



**Diseño e implementación de un sistema de control automático para dos hornos a vapor
utilizados para la elaboración de embutidos**

Quiroz Aguas, Carlos Andrés y Villacís Vásquez, Stalyn Xavier

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica,
Automatización y Control

Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro. MSc

30 de septiembre de 2020



Document Information

Analyzed document TITULACIÓN_QUIROZ_VILLACIS.docx (D80361321)
Submitted 10/1/2020 4:32:00 AM
Submitted by Ortiz Tulcán Hugo Ramiro
Submitter email hrtortiz@espe.edu.ec
Similarity 0%
Analysis address hrtortiz.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Tesis_Villacis_Rodriguez.pdf Document Tesis_Villacis_Rodriguez.pdf (D21293481) Submitted by: exsegovia@espe.edu.ec Receiver: exsegovia.espe@analysis.arkund.com	 2
SA	INFORME_FINAL_TESIS_RICARDO_CRESPO.docx Document INFORME_FINAL_TESIS_RICARDO_CRESPO.docx (D77708287)	 1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TITULACION_DANIEL_AGUIRRE_VICTOR_NUNEZ.docx Document TITULACION_DANIEL_AGUIRRE_VICTOR_NUNEZ.docx (D80361273) Submitted by: hrtortiz@espe.edu.ec Receiver: hrtortiz.espe@analysis.arkund.com	 1



ING. HUGO ORTIZ T. MGS

CC. 1707721591



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Diseño e implementación de un sistema de control automático para dos hornos a vapor utilizados para la elaboración de embutidos”** fue realizado por los señores **Quiroz Aguas, Carlos Andrés** y **Villacís Vásconez, Stalyn Xavier** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 30 de septiembre de 2020

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue circular stamp. The signature is written over a horizontal dashed line.

Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro MSc.
CC:1707721591



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

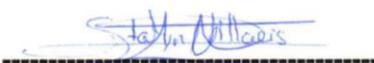
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Quiroz Aguas, Carlos Andrés** con cédula de ciudadanía 1722818802 y **Villacís Vásconez, Stalyn Xavier** con cédula de ciudadanía 1717207334, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de un sistema de control automático para dos hornos a vapor utilizados para la elaboración de embutidos”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Quito, 30 de septiembre de 2020



Quiroz Aguas, Carlos Andrés
C.C.: 1722818802



Villacís Vásconez, Stalyn Xavier
C.C.: 1717207334



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Quiroz Aguas, Carlos Andrés** con cédula de ciudadanía 1722818802 y **Villacís Vásconez, Stalyn Xavier** con cédula de ciudadanía 1717207334, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**Diseño e implementación de un sistema de control automático para dos hornos a vapor utilizados para la elaboración de embutidos**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Quito, 30 de septiembre de 2020



Quiroz Aguas, Carlos Andrés
C.C.: 1722818802



Villacís Vásconez, Stalyn Xavier
C.C.: 1717207334

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación, dedico principalmente a mis padres y hermanos, quienes, con su inquebrantable apoyo, han sido el motor de mi carrera profesional. Por ustedes y para ustedes todo, los amo tanto. Mi felicidad su orgullo.

A mi familia en general, Abuelitos, tíos y primos, quienes siempre se han mantenido pendientes de mi progreso académico y personal, apoyándome totalmente.

A quien se ha convertido en mi apoyo incondicional, la persona más creyente de mis capacidades, Daya, que con su amor supo acompañarme en todo momento en el transcurso de esta etapa culminante de gran importancia. Amo su total entrega a mí y todos nuestros sueños, la amo.

A mis amigos/as quienes siempre estuvieron con una palabra de aliento y entre desvelos, estrés y hasta lagrimas me contaron sus sueños y metas, espero verlos triunfar a todos.

A todas aquellas personas que formaron parte de mi vida universitaria, brindándome experiencias y anécdotas llenas de lecciones.

-Xavier Villacís

A mis padres Ángel y María, por el esfuerzo y sacrificio de cada día para darnos el ejemplo a mí y a mis hermanos de cómo ser un profesional y a la vez ser buena persona y por darme todo el apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

A mi familia en general que de alguna u otra manera han sido el apoyo para mí o para mis padres en cualquier momento de necesidad o alegría.

A Elizabeth con quien he compartido grandes momentos y experiencias, brindándonos apoyo mutuamente para sobrellevar cualquier obstáculo que se nos ha presentado en la vida o en el estudio.

A mis compañeros y amigos por haber vivido gratas experiencias que siempre se recordaran como la mejor etapa de la vida estudiantil. Espero que todos seamos unos excelentes profesionales y que siempre exista ese apoyo y esa amistad.

A mis profesores quienes, a lo largo de la carrera universitaria, con sus palabras y consejos que me supieron expresar han sido parte de mi formación como Ingeniero.

- Andrés Quiroz

Agradecimiento

Un extenso agradecimiento a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en especial a la carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control y a sus docentes, quienes con su enseñanza y dedicación han sabido formarnos profesionalmente.

A la empresa INASEL Cía. Ltda., por abrirnos sus puertas, manifestando su apoyo y conocimiento necesario para la elaboración de este proyecto.

A la empresa dedicada a la elaboración de embutidos, en la cual se ejecutó el proyecto y que por motivos de confidencialidad no puede ser nombrada. Gracias por facilitarnos los suministros necesarios.

A nuestro tutor y guía, Ing. Hugo Ortiz, quien confió en nuestra entrega y capacidad académica, para la elaboración del presente trabajo de titulación, instruyéndonos y encaminándonos a utilizar lo aprendido, en la vida profesional futura.

- Autores

Principalmente a Dios, que con su bendición me ha permitido cumplir grandes y valiosas metas en el transcurso de mi vida, de la mano de las personas que amo.

A mis padres, Mariana y Gualberto, quienes han sido fuente de inspiración y perseverancia, demostrándome a diario su incondicional apoyo, con aliento y fortaleza.

A mi hermana, Fernanda, quien, con su ímpetu y sabiduría, ha sabido guiarme y aconsejarme, preparándome así para la vida profesional y personal.

A mi hermano, Alex, quien me ha brindado su conocimiento y ayuda, tanto en el transcurso académico como en el personal, promoviendo así, un modelo de superación y persistencia profesional.

Así mismo, a mi persona ideal, Dayana, y su familia, quienes, con su constante motivación, ha originado confianza en mí y en cada paso que he dado en el transcurso de esta etapa final de mi carrera Universitaria.

A mi amigo y casi hermano Wladimir, con quien a lo largo de nuestra amistad me ha demostrado su total apoyo y su constante superación ha sido fuente para mi crecimiento.

A mi amigo y compañero de tesis, Andrés, quien durante el curso de esta carrera ha mostrado compañerismo y nobleza, gracias por el empeño en este proyecto.

A mis amigos y compañeros de esta carrera, quienes, durante el proceso estudiantil compartido, me brindaron hospitalidad, conocimiento y ayuda cuando más lo necesite, en especial a Edison Landázuri.

-Xavier Villacís

A Dios en primer lugar, por darme la salud a mí y mi familia y ser mi fortaleza en los tiempos más difíciles.

A mis padres quienes me educaron y formaron a la persona que soy hoy en día y que nunca les voy a decepcionar como el profesional que siempre he querido ser. Gracias por darnos la educación y valores a mí y a mis hermanos para ser mejores cada día.

A Elizabeth por ser un ejemplo para mí de perseverancia y demostrarme que no importa los obstáculos, lo que importa es llegar al objetivo. Gracias por el apoyo y la confianza en cada etapa que hemos vivido.

A Xavi con quien compartí la experiencia de realizar el trabajo de titulación, adentrándonos en la vida profesional y sobrellevando los desafíos que se nos impuso para cumplir con el objetivo de ser Ingenieros.

A mis amigos y compañeros con quienes he compartido aulas durante la carrera y han sido de gran ayuda y motivación en cada aspecto de mi vida, en especial a Katherine Gancino, Edison Mena, Dennis Córdova y Daniel Domínguez.

- Andrés Quiroz

Índice de Contenidos

Diseño e implementación de un sistema de control automático para dos hornos a vapor utilizados para la elaboración de embutidos	1
Hoja de Resultados de la Herramienta Urkund	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	8
Índice de Contenidos.....	11
Índice de Tablas	18
Índice de Figuras	19
Resumen	25
Abstract	26
Capítulo I	27
Introducción	27
Antecedentes.....	27
Justificación e Importancia	29
Alcance del Proyecto	30
Objetivos.....	32
General	32
Específicos.....	32
Capítulo II	34
Marco teórico.....	34
Introducción	34
Descripción General del Proceso	35

	12
Preparación de materia prima.....	35
Picado o Triturado.....	36
Mezclado y Amasado.....	36
Empaque o Embutido	37
Tratamiento Térmico.....	37
Cocción.....	38
Ahumado.....	38
Secado.....	39
Hornos Industriales.....	39
Hornos de Tratamiento Térmico en Embutidos	40
Motor y Ventilador para Circulación de Aire.....	42
Ventilador para Extracción de Aire.....	42
Compuerta de Aire Fresco y Extractor.....	42
Fuente de Calor.....	42
Sistemas de Humidificación.....	43
Sistemas de Duchado.....	43
Control y Automatización de Hornos	43
Sistemas de Control Automático	44
Elementos de Sistema de Control Automático	45
Controladores Industriales	45
Dispositivos de Mando y Maniobra	46
Interruptores.....	47
Disyuntores	47
Contactores.....	47
Variadores y Arrancadores	48
Sensores.....	48

	13
Actuadores.....	49
Operación o Visualización	50
Interfaz Humano-Máquina	51
Factores Humanos y Ergonomía	53
Interacción del Usuario	54
Capítulo III	55
Diseño Eléctrico y Electrónico	55
Estado Inicial del Sistema.....	55
Funcionamiento	56
Requerimientos del Sistema.....	58
Flexibilidad del Sistema	59
Condiciones Ambientales	59
Seguridad.....	59
Diseño de Gabinetes	59
Armario de Fuerza-Control	59
Gabinete de Control.....	60
Diseño de Circuito de Fuerza-Control	61
Alimentación Principal.....	61
Circuito de Fuerza.....	62
Controlador	63
Entradas y Salidas	63
Circuito Control	66
Alimentación Neumática	66
Sistema de Control	66
Control de Temperatura y Humedad Relativa	68
Medición de Temperatura y Humedad Relativa.....	69

	14
Control de Velocidad.....	69
Diagrama de bloques.....	70
Diagrama P&ID.....	70
Diagrama de Flujo.....	71
HMI	75
Diagrama de Red.....	75
Capítulo IV.....	76
Desarrollo de Software	76
Modos de Operación	76
Modo Manual	76
Modo Automático.....	76
Recetas.....	77
Lectura de Temperatura.....	77
Cálculo de Humedad Relativa.....	77
Lógica de Programación.....	79
Programación Grafcet.....	80
Programación Ladder	80
Servidor Web.....	81
Diseño del HMI (Interfaz Humano Máquina)	81
Arquitectura del HMI	81
Distribución de las Ventanas	82
Ventana Principal.....	82
Ventana de Estado de los dos Hornos.....	83
Ventana de Estado del Horno 1 o 2.....	84
Ventana de Control Manual.....	84
Ventana de Recetas.....	85

	15
Ventana de Gráficas del Proceso.	85
Ventana de Configuración.....	86
Ventana de Gestión de Alarmas.	86
Ventana de Gestión de Usuarios.	87
Capítulo V.....	89
Implementación del Sistema	89
Instalación de Gabinetes	89
Instalación de Armario Fuerza-Control	89
Instalación de Gabinete de Operación.....	93
Conexión de la Comunicación	95
Montaje y Cableado.....	95
Conexión de Motores.....	95
Configuración Variadores de Frecuencia.....	97
Instalación de Actuadores Rotativos.....	97
Montaje Sensores de Temperatura	99
Configuración Transmisores de Temperatura	99
Instalación de Balizas	100
Conexión Ahumador	101
Equipos Presentes en el Sistema.....	106
Software de Programación	107
Configuración del PLC	108
Programación	109
Programación Ladder	109
Bloque Main [OB1].	111
Hardware Interrupt [OB40].	120
Cyclic Interrupt [OB31].	121

Histéresis [OB31].	122
Manual [FB1].	123
Escalamiento [FB3].	124
Proceso [FB2].	129
MillisecToTime [FB40].	130
Alarmas [DB30].	130
Data_Log [DB9].	131
Escalamiento [DB8].	131
Receta [DB2].	132
DB_General [DB5].	132
DB_HMI [DB1].	133
Implementación del HMI (Interfaz Humano Máquina)	134
Diseño y descripción de las Ventanas	134
Ventana Principal.	134
Ventana de Estado de los dos Hornos.	135
Ventana de Estado del Horno 1 o 2.	137
Ventana de Control Manual.	138
Ventana de Recetas.	139
Ventana de Gráficas del Proceso.	142
Ventana de Configuración.	143
Ventana de Gestión de Alarmas.	144
Ventana de Gestión de Usuarios.	145
Ventana de Datos de la Empresa.	145
Configuración del Servidor Web	146
Capítulo VI.	150
Pruebas y Resultados	150

Calibración de Sensores.....	150
Funcionamiento en Horno Vacío	152
Funcionamiento Dotado con Materia Prima (Jamón)	156
Funcionamiento Dotado con Materia Prima (Chuleta).....	159
Capítulo VII.....	161
Conclusiones y Recomendaciones	161
Conclusiones	161
Recomendaciones	162
Bibliografía	163
Anexos	167
Anexo A Diagrama P&ID	167
Anexo B Planos Eléctricos y Electrónicos	167
Anexo C Diagramas Grafcet.....	167
Anexo D Descripción de Equipos Presentes en el Sistema	167
Anexo E Bloque de Función FB40 MillisecToTime.....	167
Anexo F Bloque de Función FB2.....	167

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Descripción de Entradas Discretas</i>	64
Tabla 2 <i>Descripción de Salidas Discretas</i>	65
Tabla 3 <i>Descripción de Entradas Analógicas</i>	65
Tabla 4 <i>Procesos que Realizarán los Hornos Según la Receta y Activación de los Actuadores</i>	77
Tabla 5 <i>Descripción de las Alarmas del Sistema</i>	87
Tabla 6 <i>Descripción de Calibre en Conductores Presentes en el Sistema.</i>	105
Tabla 7 <i>Equipos Presentes en el Sistema.</i>	106
Tabla 8 <i>Direcciones IP de cada Dispositivo</i>	108
Tabla 9 <i>Descripción de la Representación de las Balizas y Actuadores</i>	135
Tabla 10 <i>Descripción de los Iconos de Navegación</i>	136
Tabla 11 <i>Descripción de los Iconos de Navegación y Proceso</i>	138
Tabla 12 <i>Descripción de los Iconos de Navegación y Proceso</i>	140
Tabla 13 <i>Descripción de los Iconos de Navegación y Proceso</i>	141
Tabla 14 <i>Direcciones IP de cada Horno</i>	146

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Clasificación de Embutidos en Base a Tratamiento Térmico</i>	28
Figura 2 <i>Alcance del Proyecto</i>	31
Figura 3 <i>Ejemplo de Cuarto Frio</i>	35
Figura 4 <i>Hornos y Marmitas de Cocción Industrial</i>	37
Figura 5 <i>Hornos Industriales</i>	39
Figura 6 <i>Componentes Básicos de un Horno Discontinuo</i>	41
Figura 7 <i>Controlador Lógico Programable (PLC) Simatic S7-1200</i>	46
Figura 8 <i>Variadores de Velocidad</i>	48
Figura 9 <i>Clasificación de Sensores Industriales Según su Aplicación</i>	49
Figura 10 <i>Clasificación de Actuadores Según su Tecnología</i>	50
Figura 11 <i>Dispositivos de Operación o Visualización</i>	51
Figura 12 <i>Ciclo de Vida de la HMI</i>	52
Figura 13 <i>Cámaras de Hornos VEMAG - AEROMAT</i>	55
Figura 14 <i>Estructura Inicial de Hornos</i>	56
Figura 15 <i>Sistema del Horno VEMAG - AEROMAT</i>	57
Figura 16 <i>Diseño de Armario Fuerza-Control</i>	60
Figura 17 <i>Diseño de Gabinete Control</i>	61
Figura 18 <i>Diagrama Circuito de Fuerza para un Horno</i>	63
Figura 19 <i>Diagrama Circuito de Control</i>	66
Figura 20 <i>Control ON-OFF con Histéresis</i>	68
Figura 21 <i>Diagrama de Bloques del Sistema</i>	70
Figura 22 <i>Diagrama de Flujo Proceso General</i>	71
Figura 23 <i>Diagrama de Flujo Control Temperatura</i>	73
Figura 24 <i>Diagrama de Flujo Control Humedad Relativa</i>	74
Figura 25 <i>Arquitectura de la Interfaz Humano Máquina</i>	82

Figura 26 <i>Distribución - Ventana Principal</i>	83
Figura 27 <i>Distribución - Ventana de Estado de los dos Hornos</i>	83
Figura 28 <i>Distribución - Ventana de Estado del Horno 1 o 2</i>	84
Figura 29 <i>Distribución - Ventana de Estado de Control Manual</i>	84
Figura 30 <i>Distribución - Ventana de Configuración o Carga de las Recetas</i>	85
Figura 31 <i>Distribución - Ventana de Visualización de Gráficas del Proceso</i>	85
Figura 32 <i>Distribución - Ventana de Configuración de Fecha/Hora y Calibración de los Sensores</i>	86
Figura 33 <i>Distribución - Ventana de Calibración de los Sensores</i>	86
Figura 34 <i>Distribución - Ventana de Gestión de Alarmas</i>	87
Figura 35 <i>Distribución - Ventana de Gestión de Usuarios</i>	88
Figura 36 <i>Colocación de Canaletas Ranuradas</i>	90
Figura 37 <i>Conexión Breaker Principal con Barra de Distribución</i>	90
Figura 38 <i>Ubicación de Equipos en Tablero de Fuerza</i>	91
Figura 39 <i>Ubicación de Dispositivos en Tablero de Control</i>	92
Figura 40 <i>Instalación Armario Fuerza - Control</i>	93
Figura 41 <i>Instalación Panel HMI en Gabinete</i>	94
Figura 42 <i>Conexión Cable de Red con Conector RJ45</i>	95
Figura 43 <i>Motor Trifásico con Estructura Metálica (Aspas)</i>	96
Figura 44 <i>Conexión de Motores Trifásicos</i>	96
Figura 45 <i>Configuración de Variador de Frecuencia</i>	97
Figura 46 <i>Acoplamiento de Actuadores Rotativos en Conductos</i>	98
Figura 47 <i>Ubicación Caja de Distribución para Actuadores Rotativos</i>	98
Figura 48 <i>Acoplamiento de Bandeja para Elementos Sensores</i>	99
Figura 49 <i>Módem para SITRANS TH100/TH200/TR200</i>	100
Figura 50 <i>Ubicación de Balizas</i>	101

Figura 51 <i>Conexión de Ahumadores</i>	101
Figura 52 <i>Banco de Electroválvulas</i>	102
Figura 53 <i>Cableado por la Parte Superior de la Planta</i>	103
Figura 54 <i>Cableado por la Parte Superior del Armario</i>	103
Figura 55 <i>Capacidad de Corriente Permisible en Conductores Aislados</i>	104
Figura 56 <i>Inspección y Asesoramiento Equipo INASEL</i>	105
Figura 57 <i>Entorno del Software TIA PORTAL V15.1</i>	107
Figura 58 <i>Configuración de la Interfaz en TIA PORTAL</i>	108
Figura 59 <i>Configuración de la Interfaz PROFINET en TIA PORTAL</i>	109
Figura 60 <i>Bloques de Funciones y Datos</i>	109
Figura 61 <i>Bloques de Funciones y Datos del Programa</i>	110
Figura 62 <i>Etapa de Inicio del Sistema</i>	111
Figura 63 <i>Etapa de Espera para un Control Manual o Automático</i>	112
Figura 64 <i>Salida del Estado 1</i>	112
Figura 65 <i>Salida del Estado 2</i>	113
Figura 66 <i>Salida del Estado 3</i>	113
Figura 67 <i>Puesta en Cero al Finalizar el Proceso Automático</i>	113
Figura 68 <i>Encendido del Generador de Humo o Ahumador</i>	114
Figura 69 <i>Subrutinas Activas en el Programa Principal “Main”</i>	114
Figura 70 <i>Variables de Activación del Variador de Frecuencia VF_1</i>	115
Figura 71 <i>Variables de Activación de la Válvula Neumática V_1 Para el Ingreso de Vapor Directo</i>	115
Figura 72 <i>Variables de Activación de la Válvula Neumática V_2 Para el Ingreso de Vapor al Serpentín</i>	116
Figura 73 <i>Variables de Activación de la Válvula Neumática V_3 Para el Ingreso de Agua Fría a las Cabinas</i>	116

Figura 74 <i>Variables de Activación de Actuador VP_1 Para la Extracción del Aire de la Cabina</i>	116
Figura 75 <i>Variables de Activación de Actuador VP_2 Para la Entrada de Aire Fresco a la Cabina</i>	117
Figura 76 <i>Variables de Activación de Actuador VP_3 Para el Ingreso de Humo a la Cabina</i>	117
Figura 77 <i>Variables de Activación la Generación de Humo por los Ahumadores</i>	117
Figura 78 <i>Variables de Activación de la Baliza Verde</i>	118
Figura 79 <i>Variables de Activación de la Baliza Roja</i>	118
Figura 80 <i>Variables de Activación de la Baliza Amarilla</i>	119
Figura 81 <i>Bloques de Funciones y Datos del Programa</i>	119
Figura 82 <i>Configuración del Bloque de Interrupción por Hardware</i>	120
Figura 83 <i>Configuración del Canal 4 del PLC Como Interrupción en Flanco Descendente</i>	120
Figura 84 <i>Programación del Paro de Emergencia del Sistema</i>	121
Figura 85 <i>Configuración Bloque de Interrupción Cíclica</i>	121
Figura 86 <i>Bloque de Interrupción Cíclica Para la Lectura de los Sensores Análogos</i>	122
Figura 87 <i>Programación del control ON/OFF con Histéresis para la Cocción en Función a la Temperatura</i>	122
Figura 88 <i>Programación del Control ON/OFF con Histéresis para el Secado en Función a la Humedad Relativa</i>	123
Figura 89 <i>Variables de Activación de los Actuadores en Modo Manual</i>	124
Figura 90 <i>Normalización y Escalamiento de la Lectura de Temperatura (Bulbo Seco)</i>	125
Figura 91 <i>Normalización y Escalamiento de la Lectura de Temperatura (Bulbo Húmedo)</i>	126

Figura 92 <i>Cálculo de Humedad Relativa</i>	127
Figura 93 <i>Instrucciones Extendidas para la Creación de Data Logging</i>	128
Figura 94 <i>Bloques de Funciones para la Creación y Escritura de un DataLog</i>	129
Figura 95 <i>Proceso Automático del Sistema</i>	130
Figura 96 <i>Bloque de Datos de Configuración de Variables para las Alarmas del Sistema</i>	131
Figura 97 <i>Bloque de Datos de Configuración de Variables del DataLog</i>	131
Figura 98 <i>Bloque de Datos de Configuración de Variables del Escalamiento</i>	132
Figura 99 <i>Bloque de Datos de Configuración de la Receta</i>	132
Figura 100 <i>Bloque de Datos General</i>	133
Figura 101 <i>Bloque de Datos de la HMI</i>	133
Figura 102 <i>Ventana Principal</i>	134
Figura 103 <i>Ventana de Estado de los dos Hornos</i>	135
Figura 104 <i>Ventana de Estado del Horno 1 o 2</i>	137
Figura 105 <i>Ventana de Estado de Control Manual</i>	139
Figura 106 <i>Ventana de Configuración o Carga de las Recetas</i>	139
Figura 107 <i>Ventana de Configuración de la Receta</i>	140
Figura 108 <i>Ventana de Confirmación de la Receta</i>	142
Figura 109 <i>Ventana de Visualización de Graficas del Proceso</i>	142
Figura 110 <i>Ventana de Configuración de Fecha/Hora y Calibración de los Sensores</i>	143
Figura 111 <i>Ventana de Calibración de los Sensores</i>	144
Figura 112 <i>Ventana de Gestión de Alarmas</i>	144
Figura 113 <i>Ventana de Gestión de Usuarios</i>	145
Figura 114 <i>Ventana de Datos de la Empresa</i>	145
Figura 115 <i>Configuración del Servidor Web</i>	146
Figura 116 <i>Ventana Principal Servidor Web</i>	147

Figura 117 <i>Ventana Inicial del Servidor Web</i>	147
Figura 118 <i>Ventana de Navegador de Archivos</i>	148
Figura 119 <i>Ventana de Datos</i>	148
Figura 120 <i>Ejemplo de un Archivo Generado</i>	149
Figura 121 <i>Gráfico Calibración de Temperatura</i>	151
Figura 122 <i>Ingreso de Datos en Panel HMI</i>	151
Figura 123 <i>Ubicación de Cool-Tracks Dentro de los Hornos</i>	152
Figura 124 <i>Gráfico de Distribución de Calor Dentro del Horno</i>	153
Figura 125 <i>Gráfico de Distribución de Calor Sensor 1</i>	154
Figura 126 <i>Gráfico de Distribución de Calor Sensor 2</i>	154
Figura 127 <i>Gráfico de Distribución de Calor Sensor 3</i>	155
Figura 128 <i>Gráfico de Distribución de Calor Sensor 4</i>	155
Figura 129 <i>Introducción de Producto (Jamón de Espalda) Dentro de los Hornos</i>	156
Figura 130 <i>Lote de Producto en Pruebas</i>	157
Figura 131 <i>Comprobación de Temperatura por Técnicos de Calidad</i>	158
Figura 132 <i>Gráfico Temperatura vs Tiempo de Jamón de Espalda</i>	158
Figura 133 <i>Introducción de Producto (Chuleta) Dentro de los Hornos</i>	159
Figura 134 <i>Gráfico de Temperatura vs Tiempo en Chuletas</i>	160

Resumen

El desarrollo del presente proyecto contempla el diseño e implementación de un sistema de control automático y manual para dos hornos que se incluyen a la línea de producción de embutidos de una empresa de alimentos para abastecer la demanda creciente en el mercado ecuatoriano, ejecutando procesos de cocción, ahumado o secado durante el tiempo establecido. En la actualidad, la aplicación de sistemas automáticos es indispensable para la industria, es así como, tanto los autómatas programables como el panel HMI utilizados son de la marca SIEMENS, permitiendo el desarrollo de la programación y el diseño de la interfaz utilizando el software TIA PORTAL. El automatismo se lleva a cabo con la lectura de sensores de temperatura y la activación de válvulas mediante un control ON/OFF con histéresis. El operador establece las variables y asigna los procesos a ejecutarse con la configuración de recetas o puede hacer el uso del control manual según sea la necesidad, empleando la interfaz HMI que cumple con un diseño ergonómico y en base a normas internacionales tomando en cuenta la seguridad del usuario. El Administrador puede realizar el monitoreo de los procesos ejecutados a través del servidor web y utilizar los datos para temas de control de calidad de los productos. La automatización de los hornos permitirá una mayor eficiencia en tiempos de producción, garantizando la ejecución de los procesos acorde a los diferentes productos que la empresa distribuye.

Palabras clave:

- **HORNO**
- **CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES**
- **HMI**
- **CONTROL ON/OFF CON HISTÉRESIS**

Abstract

The development of this project is about the design and implementation of an automatic and manual control system for two ovens that were include in the sausage production line of a food company for to supply the growing demand in the Ecuadorian market , executing different processes like cooking, smoking or drying, during the time established. Actually, the application of automatic systems is essential for the industry, therefore the programmable automaton and the HMI panel used are from the SIEMENS brand, allowing the development of programming and the design of the interface using the TIA PORTAL software. The automation is carried out with the reading of temperature sensors and the activation of valves through an ON / OFF control with hysteresis. The operator establishes the variables and assigns the processes to be executed with the recipe configuration or can make use of the manual control according to the need, using the HMI interface that complies with an ergonomic design and based on international standards taking into consideration the safety of the user. The Administrator can monitor the processes executed through the web server and use the data for quality control issues of the products. The automation of the furnaces will allow greater efficiency in production times, guaranteeing the execution of the processes according to the different products that the company distributes.

Keywords:

- **OVEN**
- **PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS**
- **HMI**
- **ON / OFF CONTROL WITH HYSTERESIS**

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEC 1217:2013 (segunda revisión), define embutido, como: “Operación de introducción de un producto cárnico en una tripa o envoltura natural o artificial”.

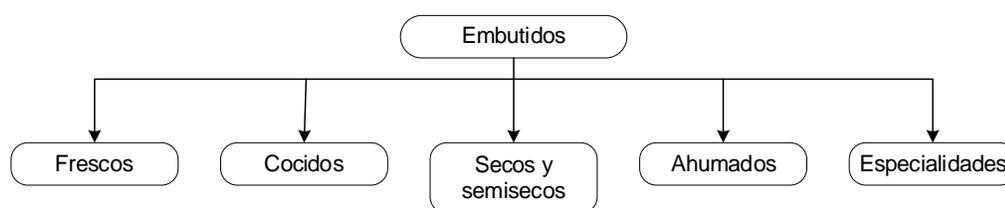
Los embutidos, surgieron empíricamente como consecuencia de la necesidad de conservar los alimentos. Su evolución posterior, que ha dado origen a una gran variedad de productos de características bien diferenciadas, fue consecuencia de los distintos procesos de elaboración impuestos por la disponibilidad de materias primas y de las condiciones climáticas existentes. (Jiménez & Carballo, 1989)

En función del tipo de producto, la fabricación de embutidos puede constar de distintas fases, que en general se pueden agrupar en los procesos a continuación.

- Preparación de materia prima
- Picado o triturado
- Mezclado y amasado
- Embutido
- Tratamiento térmico

En la Norma Técnica Ecuatoriana, los embutidos quedan enmarcados dentro de Carne y Productos Cárnicos, los cuales existen ciertas categorías de productos cárnicos tratados por el calor.

(Schweigert & Price, 1976) hacen una división con base en el tratamiento térmico que reciben, y es la que exponen en el esquema siguiente.

Figura 1*Clasificación de Embutidos en Base a Tratamiento Térmico*

Nota: Adaptada de *Clasificación general embutidos con base a tratamiento térmico* (p. 92), de A. Hernández, 2003, Microbiología Industrial

Al ser un proceso industrial importante para su productividad la tecnología de la misma cumple con un gran papel para su desarrollo.

El sector industrial ecuatoriano es uno de los pilares en que se apoya la economía del país, este sector se caracteriza por una presencia predominante de ramas intensivas en recursos naturales y trabajo. La estructura productiva de la industria en el Ecuador se focaliza en las ramas tradicionales como son la producción de alimentos y bebidas que son las que generan las mayores ventas en toda la industria manufacturera. (It Ahora, 2018)

Las tecnologías inteligentes pueden facilitar a los fabricantes de alimentos y bebidas, gestionando de forma proactiva los requisitos de mejorar el rendimiento del sistema y reducir los costos. La fabricación inteligente ayuda a las empresas a mejorar el uso de los activos, aumentar el rendimiento, incrementar la productividad del personal, optimizar la gestión de los recursos y mitigar los riesgos de seguridad, entre otros aspectos. Este es uno de los ejemplos en los que la automatización es eficiente para las empresas y su importancia para un mejor y mayor crecimiento en los años futuros, siendo relevante si lo que se busca es ser líderes en sus sectores. (El Telégrafo, 2008)

INASEL Cia. Ltda. Distribuidor Autorizado y Solution Partner SIEMENS, es una empresa ecuatoriana dedicada a proveer soluciones de ingeniería especializadas en Automatización y Control, además de encargarse de realizar montajes y puesta en marcha de proyectos industriales con énfasis en la optimización de recursos y responsabilidad ambiental, aplicando innovación en la implementación de sistemas capaces de mejorar la productividad y alcanzando mayor eficiencia en el desarrollo y competitividad en la industria local. (Inasel Cía. Ltda., 2020)

Justificación e Importancia

Actualmente la infraestructura de la empresa donde se desarrollará el presente trabajo cuenta con cinco hornos para la elaboración de embutidos los cuales trabajan a temperatura en un rango de 0 °C a 160 °C y humedad relativa de 0% a 100%.

Con la necesidad de brindar una mayor producción de embutidos manteniendo normas y estándares de calidad planteó la viabilidad de aumentar una línea de producción para cubrir el despacho de producto al consumidor.

La ejecución de este proyecto busca abastecer la demanda creciente en la elaboración de embutidos en el mercado ecuatoriano, utilizando tecnologías de automatización, y así reducir tiempos de producción implementando dos hornos adicionales a las líneas de producción actuales de la empresa.

La fase fundamental en la línea de elaboración de embutidos es el tratamiento que realizan los hornos ya que dentro de las cámaras de acero inoxidable se cumplen con los procesos de cocción, ahumado y secado tomando en cuenta niveles de humedad, temperatura y tiempos de preparación los cuales varían según el producto y el proceso a cumplir.

La cocción tiene por finalidad dar al embutido una consistencia firme debido a la coagulación de las proteínas y la deshidratación parcial del producto para así prolongar su tiempo de consumo debido a la pasteurización que realiza.

El ahumado confiere al producto un aspecto y aroma característicos. Los compuestos de humo tienen un efecto bacteriostático y también producen una desecación que contribuye a inhibir el crecimiento bacteriano.

El secado de los embutidos experimenta una serie de transformaciones físicas, químicas, bioquímicas y microbiológicas cuyas consecuencias fundamentales son un aumento en la estabilidad del producto y el desarrollo de las propiedades organolépticas características.

Actualmente en el mercado internacional existen varios proveedores que ofrecen hornos capaces de realizar los procesos descritos anteriormente, mismos que tienen un elevado precio de instalación y mantenimiento en relación con una solución de ingeniería brindada por una empresa nacional.

La implementación de este sistema de control automático en los hornos de cocción, secado y ahumado de embutidos es primordial para mantener tiempos y niveles de temperatura y humedad establecidos para óptimos resultados.

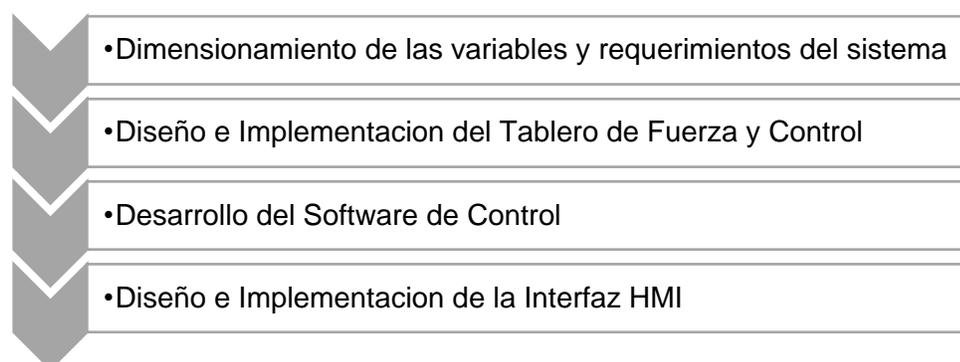
Del mismo modo es fundamental tener en cuenta el buen funcionamiento del sistema de control y automatización, ya que los procesos realizados por los hornos en la línea de producción necesitan ser establecidos de una manera precisa para así disminuir potencialmente pérdidas de producto.

Alcance del Proyecto

En la Figura 2 se muestra las actividades que conforman el alcance del proyecto.

Figura 2

Alcance del Proyecto



El proyecto está enfocado en el diseño e implementación de un sistema de control automático y manual para dos hornos térmicos, utilizando PLC's, sensores, actuadores y paneles de operador.

La infraestructura metálica de los hornos de dimensiones 2.45 m de altura, 1.92 m de ancho y 2.40 mm de profundidad, como el conexionado de tuberías a la fuente de vapor han sido implementadas previamente al desarrollo de este proyecto.

El proyecto incluye el diseño y la implementación del gabinete de fuerza y control donde estarán ubicados los equipos que controlan los actuadores con sus respectivas seguridades y el gabinete donde estará colocado el panel de operador HMI. El panel de operador permitirá la operación total de los hornos a través de una interfaz de usuario diseñada utilizando normas internacionales de ingeniería.

El sistema cuenta con el manejo manual de los actuadores de los hornos, permitiendo el encendido y apagado de las turbinas de aire y válvulas de vapor, de agua, actuadores de compuertas de aire fresco, chimenea, ingreso de humo y la marcha automática que consta de 10 pasos secuenciales, en los cuales se pueden configurar los procesos de:

- Cocción
- Ahumado
- Secado
- Duchado
- Extracción

La automatización de dichos procesos permitirá que el operador mediante recetas ingrese el procedimiento que debe realizar cada horno, la temperatura y humedad relativa deseada dentro de las cabinas y el tiempo que debe cumplir cada uno de los procesos según del producto a preparar. Los rangos de temperatura, humedad y el margen de error se establecerá en base a los requerimientos del cliente considerando las características de los hornos existentes.

A diferencia de los equipos con los que cuenta actualmente la planta de producción se realizará un control de los dos hornos mediante una sola interfaz de la pantalla HMI permitiendo cumplir recetas diferentes a la vez en cada horno, dando así una facilidad al operador de visualización de los procesos.

Objetivos

General

Diseñar e implementar un sistema de control automático y manual para dos hornos a vapor, utilizados en la elaboración de embutidos.

Específicos

- Minimizar tiempos de producción en la elaboración de embutidos, diseñando e implementando un sistema de control óptimo para los diferentes procesos que realizan los hornos.

- Facilitar el manejo de los procesos del horno con una interfaz humano-máquina (HMI) cumpliendo normas y estándares de ingeniería.
- Minimizar los riesgos existentes para el operador utilizando funciones de seguridad ante cualquier falla o emergencia en el proceso.
- Mantener estándares de calidad controlando los valores de temperatura y humedad relativa ideales para el producto dentro de los hornos.
- Facilitar la operación y mantenimiento del sistema de control automático mediante la elaboración de documentación técnica y manuales de ingeniería.

Capítulo II

Marco teórico

Introducción

Al hablar actualmente de la industria dedicada a la elaboración de embutidos, podemos hacer referencia grandes avances, ya que esta ha experimentado una aguda diversificación de procesos, puesto que desde sus inicios la elaboración que surgió de manera artesanal, ha evolucionado con el paso del tiempo debido al aumento de exigencia de calidad por parte de la sociedad, lo cual gradualmente a nivel industrial se han ido desarrollando procedimientos que escapan al control humano, llegando a procesos altamente mecanizados.

Desde hace algunas décadas atrás, la elevada demanda de calidad ha ido exigiendo un alto índice de competitividad empresarial. Conllevando esto a que cada año, toda empresa se vea obligada a integrar grandes y rápidos procesos, forzando a sostener medios de producción apropiados y flexibles para poder reformar convenientemente como estrategia de producción. (García Moreno & Universidad Politécnica de Valencia, 1999)

Como lo menciona (Orellana & Palacios, 2016) “En Ecuador, con el paso del tiempo la producción de embutidos ha ido incrementado en su cobertura de consumo, por esta razón las industrias dedicadas a este tipo de producto han ido implementado la automatización de procesos”, gestionando así el fortalecimiento de la calidad y productividad, en conjunto con tecnologías capaces de brindar credibilidad y mayor precisión en dicha mecanización.

A continuación, se describirá los principales procesos en la elaboración de embutidos, enfatizando el tratamiento térmico que reciben, visto que el presente

proyecto trata de la automatización de hornos centrándose básicamente en el control de temperatura de los mismos.

Descripción General del Proceso

El proceso de elaboración de embutidos puede constar de distintas etapas para su producción. Estas pueden variar en función a la categoría del producto a preparar, dado que cada uno cuenta con características propias. El proceso de producción, en general, puede ser agrupadas de distintas maneras, a continuación, se las explicará brevemente:

Preparación de materia prima

La materia prima procede principalmente de ganado porcino, vacuno o aviar, esto tendrá una variación dependiendo del producto que se realizará. Esta es rigurosamente seleccionada de animales sanos que cumplan con las normas de higiene establecidas. Después del respectivo faenamiento, continúan con el despiezado o corte según el tipo de embutido o producto a elaborar.

Figura 3

Ejemplo de Cuarto Frio



Nota: Tomada de *Cuartos fríos*, de M&M Refrigeración, 2020

La conservación de la materia prima es fundamental, es por eso que este proceso se lleva a cabo en cuartos fríos como se muestra en la Figura 3, o a su vez los mismos son llevados a congelación, con el objetivo de evitar alteraciones fermentativas y conservar un producto de calidad.

Picado o Triturado

La trituración o picado de la materia prima puede ser efectuada con diferente maquinaria, las cuales implican cuchillas giratorias que tienen como función cortar y trasladar a discos perforados con diferentes diámetros, o incluso el uso de máquinas inyectoras que, a base de un sistema de agujas, tritura la carne e inyecta salmuera o el llamado adobo para agregarle sabor.

Esta etapa debe ser llevada a cabo fundamentalmente con materia prima congelada o a su vez refrigerada, cumpliendo una temperatura de entre 3° C y 7° C, para no ocasionar triturados o picados deficientes, que conlleva pérdidas de producción.

Mezclado y Amasado

Seguido del triturado o picado de la materia prima, se ejecuta el mezclado y amasado. Este proceso puede contener variantes en la introducción o no, de aditivos, condimentos y conservantes permitidos, dependiendo del tipo de producto. El procedimiento se realiza en maquinarias amasadoras tipo bombos al vacío, logrando así de esta manera a extraer la proteína y consiguiendo una masa o pasta uniforme.

Al culminar esta etapa la pasta queda en reposo para homogenizar el sabor y textura, manteniendo la temperatura de la masa por debajo de los 7°C.

Empaque o Embutido

Una vez lista la masa, se inicia el ciclo de empaquetamiento o embutido del mismo, esto obedecerá a la dependencia del producto realizado, por ende, indistintamente del mismo se realiza el pesaje pertinente y empaquetado al vacío, o simplemente se llevará a la máquina embutidora.

Es imprescindible evitar la presencia de aire, tanto en el proceso de amasado, así como en el de empaque, dado que esto podría causar en el producto enmohecimiento, alterando la calidad y deterioro del mismo.

Tratamiento Térmico

Subsiguiente al empaquetado o embutido, se procede a una de las etapas más críticas e importantes, en donde los embutidos son sometidos. Durante este ciclo el calentamiento del producto ayuda a la disminución de carga microbiana y eleva el periodo de vida útil.

Figura 4

Hornos y Marmitas de Cocción Industrial



Nota: Tomado de *Hornos y Marmitas de cocción*, de Suministros Lizondo, 2020

Es habitual que para este tipo de procedimientos se emplee marmitas de cocción u hornos. Los primeros son sistemas de cocción, de manera que su uso se

reduce únicamente para el subproceso de cocimiento, ya que se emplea agua, en donde esta confiere la temperatura uniforme para realizar esta acción. Mientras que los hornos emplean cámaras de acero inoxidable acondicionadas capaces hoy en día de brindar varios de los subprocesos como se los detalla a continuación:

Cocción. El propósito fundamental de la cocción es impartir al producto una consistencia firme, a causa de la deshidratación parcial del embutido, que con frecuencia se lo realiza directamente en agua o en vapor de agua. Esto generara una prolongación en su tiempo de consumo, además de brindar una inhibición microbiológica.

La cocción se la realiza, en temperaturas comprendidas de entre 72°C y 84°C, en donde, dependiendo el tipo de producto a realizarse, el tiempo variará en ciclos de entre 1 y 4 horas, asimismo verificando humedades relativas altas.

Ahumado. La exposición de humo otorga al producto un aroma y aspecto característico, además de que las propiedades bactericidas y antimicrobianas brindadas contribuyen a elevar su tiempo de consumo, ya que gracias a estos ácidos proporcionados por el humo desnaturalizan las proteínas de la superficie.

Esta etapa por lo general en la secuencia de procesos viene seguido del respectivo secado del producto para conseguir un equilibrio en la superficie del embutido. De igual manera que en la cocción, las variables a considerar son el tiempo de exposición que se somete el producto al humo, la temperatura que oscilara de entre 20°C y 80°C ya que esta fase se lo puede realizar en frio o caliente y la humedad relativa que debe estar comprendida entre el 60% y 70%, esta última es importante debido a que influirá en la fijación del humo en el embutido.

Secado. Esta etapa en la elaboración de embutidos conlleva a un correcto control de temperatura, humedad relativa y así mismo de la exposición de aire seco o ventilación al producto, dado que son elementales para poder alcanzar las características organolépticas aptas para su debida calidad.

El secado de embutidos beneficia por un lado a la disminución de capacidad de retención de agua, concentrando así el sabor y a la consistencia elástica que adquieren las partículas del producto.

Hornos Industriales

Como describe (Trinks & Trinks, 2004). “Los hornos de calentamiento en procesos industriales son áreas aisladas diseñados para suministrar calor a las cargas de diferentes formas de tratamiento térmico”

Figura 5

Hornos Industriales



Nota: Tomado de *Hornos VEMAG* (p.20), de VEMAG – ANLAGENBAU, 2015

Para lo cual se comprende como hornos industriales a mecanismos o dispositivos empleados en la industria que tiene como objetivo impartir calor empleando diferentes métodos de energía calorífica a elementos ubicados en su interior por encima de la temperatura ambiente.

Este calentamiento puede ser usado para incineración, fundición de piezas, ablandamiento, recubrimiento de piezas con otros elementos que no es posible realizar en temperatura ambiente y en aplicaciones alimenticias para impartir determinadas propiedades por tratamiento térmico.

Hornos de Tratamiento Térmico en Embutidos

En la actualidad existe en el mercado una gran diversidad de hornos o cámaras de cocción utilizadas en el procesamiento térmico de productos cárnicos, estos básicamente se diferencian por su diseño y autonomía.

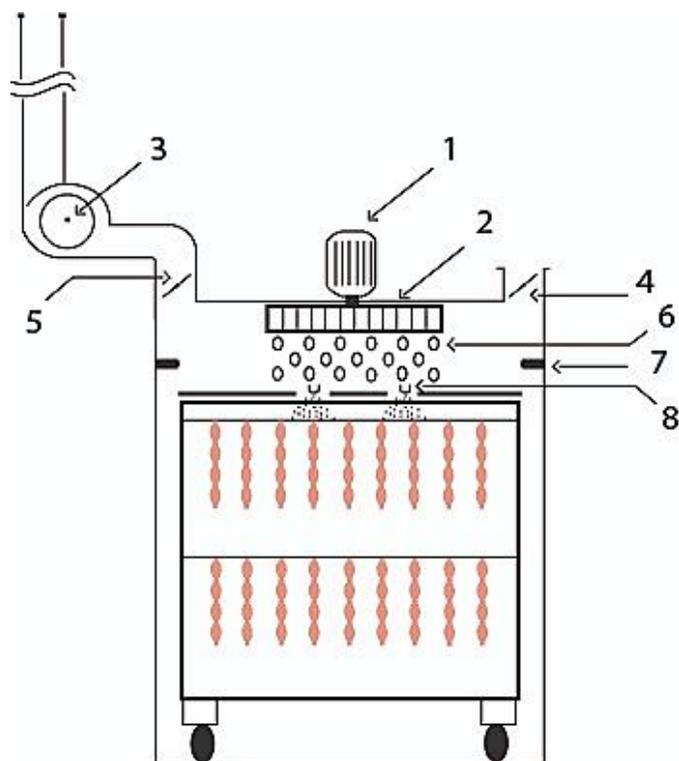
La gran mayoría de estos hornos ocupan como principio calorífico el manejo de vapor vivo o calor seco, estas dos fuentes de calor, pueden ser empleadas simultáneamente o por separado según la fase en la que el proceso se encuentre. Es notable mencionar que, para ambos casos, usualmente se ocupa vapor de agua procedente de una caldera para alcanzar dichas condiciones.

Existen también hornos, que ocupan como fuente calorífica, gas o sistemas eléctricos. El empleo de gas demanda un flujo abundante y constante de aire para llevar a cabo la combustión.

En la Figura 6 se aprecia los componentes habituales y primordiales de la gran mayoría de hornos usados en el tratamiento térmico de productos cárnicos. Estos pueden variar dependiendo su diseño.

Figura 6

Componentes Básicos de un Horno Discontinuo.



Nota: Tomado de *Componentes básicos de un horno por batches o discontinuo*, (p.172)

de A. Amézquita & D. Restrepo, 2001, *Industria de carnes*

1. Motor para circulación de aire
2. Ventilador para circulación de aire
3. Ventilador de extracción (extractor)
4. Compuerta de aire fresco
5. Compuerta de extracción
6. Fuente de calor
7. Sistema de humidificación (también inyección de vapor)
8. Sistema de duchado

Detallando a continuación cada uno de los componentes se tiene:

Motor y Ventilador para Circulación de Aire. Este sistema en donde el ventilador se encuentra unido con el motor, ayuda a la circulación de aire dentro de la cámara del horno. La velocidad del motor determina la rapidez de la circulación del aire.

La rapidez con la que se mueve el aire dentro del horno es primordial para la transferencia de calor al producto, debido que son directamente proporcionales.

Ventilador para Extracción de Aire. Este comúnmente llamado extractor, excluye el aire agotado del interior del horno, expulsándolo por una chimenea. Estos son indispensables para controlar la presurización dentro de la cabina, además que es de gran ayuda en la etapa de secado.

Al igual que el ventilador de circulación de aire este puede contar también con diferentes velocidades para un mejor control de proceso.

Ya que en la etapa de secado donde es fundamental eliminar la humedad es recomendable una velocidad alta, contrario al ciclo de ahumado que se necesita una baja velocidad para contener un significativo contacto de humo con el producto.

Compuerta de Aire Fresco y Extractor. Ambas cumplen con la misma función de control, en la cual en la del aire fresco interviene en la entrada de aire (ambiente) mientras que en la de extractor regula la cantidad de aire agotado de la cámara. Cuentan por lo general con tres posiciones: cerrada, completamente abierta y media abierta, estas posiciones variarán de acuerdo a los requerimientos de cada etapa de tratamiento térmico.

Fuente de Calor. Para el calentamiento del aire que circula dentro de la cámara se emplea fuentes de energía, las cuales y más comunes pueden ser el vapor, gas o sistemas eléctricos.

Sistemas de Humidificación. Son sistemas instalados dentro de la cámara capaces de adicionar humedad al aire en circulación ocupando vapor a bajas presiones.

Sistemas de Duchado. Generalmente son opcionales dentro de los hornos, debido a que pueden ser sustituidas por mangueras con agua a temperatura ambiente. Los sistemas modernos incluyen aspersores dentro de la cámara los cuales pueden ser controlados para dar duchados intermitentes, con el objetivo del ahorro de agua.

Control y Automatización de Hornos

La gran mayoría de hornos en la actualidad cuentan con sistemas que permiten la programación y el control de limitaciones requeridas de cada etapa del tratamiento térmico. Esto facilita al operador a no ajustar mecánicamente el horno para la ejecución de posibles funciones, a cambio de ello el operador únicamente determinará las etapas necesarias dentro del proceso programando la temperatura, humedad y tiempo. En general casi todos los productos, requieren de más de una etapa dentro del proceso.

Existen hornos que poseen tableros de control los cuales simplemente les permiten programar una etapa a la vez la cual el operador debe modificar el control al finalizar cada etapa. Mientras que existen alternativas en las cuales se tiene sistemas de control de múltiples etapas en la cual el sistema automáticamente ajustará las variables de cada etapa.

Finalmente, están los hornos que cuentan con microprocesadores como sistemas de control. En este caso los programas con sus etapas pertinentes pueden ser almacenadas en la memoria del microprocesador que previamente son programadas.

Sistemas de Control Automático

Podemos definir a los sistemas de control como un grupo de elementos físicos capaces de intervenir, ordenar, dirigir, o regular en el funcionamiento del sistema. El propósito fundamental de un sistema de control es manipular las variables de control, logrando un dominio sobre las variables de salida, para así obtener valores determinados.

Un sistema de control ideal cumple con brindar estabilidad frente a perturbaciones, no dejando de lado la eficiencia, evitando comportamientos bruscos e irreales y la flexibilidad de implementación y operación. Los elementos fundamentales que constituyen un sistema de control son los siguientes:

- Sensor
- Controlador
- Actuador

Generalmente se emplea dos clases de sistemas de control, sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado.

Como lo menciona (Ogata, 2003) “Los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada, mientras que los sistemas de control realimentados o denominados también sistemas de control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema”.

Cuando se trata de técnicas de control se puede citar algunas clásicas y modernas que en la actualidad son empleadas y se mencionan a continuación:

- Control ON-OFF

- Control Proporcional (P)
- Control Proporcional Integral (PI)
- Control Proporcional Integral Derivativo (PID)

Dentro de estos también podemos citar algoritmos digitales como control fuzzy, control por redes neuronales, entre otros. Los factores que pueden incidir en su funcionamiento son diversos, entre ellos se tiene: el tiempo de respuesta que tiene el sistema, el tipo de sistema, el error máximo admitido, entre otros.

Según (Ogata, 2003) “El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia, convirtiéndose en una parte importante e integral en los sistemas de vehículos espaciales, en los sistemas robóticos, en los procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera el control de temperatura, presión, humedad, flujo, etc.”

Elementos de Sistema de Control Automático

Controladores Industriales

Industrialmente los controladores por las condiciones que su entorno demanda, requieren tener robustez y eficiencia en sus operaciones. Estos pueden ser de dos características, Controladores Dedicados o Controladores Lógicos Programables (PLC), también conocidos como Automatas Programables, los primeros son dedicados exclusivamente al control de un sistema en específico, mientras que los PLC admiten mediante su lógica de programación intervenir varios sistemas a la vez dependiendo del equipo en uso.

En la actualidad el empleo de los autómatas programables o PLC ha revolucionado los procesos industriales debido a la flexibilidad en programación, la capacidad de almacenamiento de datos, comunicación mediante redes industriales y el control de mayor número de variables.

Figura 7*Controlador Lógico Programable (PLC) Simatic S7-1200*

Nota: Tomado de *PLC Simatic S7-1200*, de Inasel, 2020

En sus orígenes su programación fue basada en lógica de contactos llegando hoy a la capacidad de controlar procesos de mayor escalabilidad. Según el estándar IEC – 61131 la cual trata de la estandarización en la programación del control industrial, menciona la posibilidad de programación en varios lenguajes como su definición en la que especifica que es un sistema electrónico programable que emplea memoria dedicada al almacenamiento de instrucciones como funciones lógicas, secuenciales, aritméticas y entre otras, con el fin de intervenir mediante entradas y salidas (digitales y/o análogas) varios procesos.

Uno de los principales inconvenientes es su costo inicial, ya que representa una elevada inversión por la capacitación de técnicos en su mantenimiento y programación. Existen en el mercado una gran variedad de equipos con distintas características dependiendo la necesidad de automatización.

Dispositivos de Mando y Maniobra

Son elementos o aparatos que son utilizados para la ejecución de operaciones tales como unir, interrumpir o seccionar, ajuste o variación de magnitudes de servicio

en los circuitos eléctricos, entre otros. Existe una diversidad de equipos los cuales podemos mencionar a continuación:

Interruptores

Son dispositivos capaces de establecer o interrumpir el paso de corriente en los diferentes apartados de control o potencia de su alimentación general. Estos pueden clasificarse según su accionamiento, funcionamiento, capacidad de maniobra y empleo.

Disyuntores

Son elementos principalmente de protección idóneos para abrir o cerrar el paso de corriente en el circuito eléctrico cuando la intensidad de corriente que circula sobrepasa de valores establecidos, producidos por sobrecargas eléctricas o cortocircuitos, con el fin de precautelar los equipos eléctricos. Industrialmente podemos encontrar los también conocidos como guardamotores.

Contactores

Es un dispositivo eléctrico accionado por un electroimán, capaz de efectuar acciones de maniobra como abrir o cerrar el paso de corriente eléctrica, con cierto grado de control lógico, ya sea con carga o al vacío. Esencialmente son empleados en el control de circuitos de potencia.

El contactor primordialmente cuenta con contactos principales conocidos también como contactos de potencia, los cuales son empleados como alimentación del circuito de potencia, generalmente son contactos abiertos en reposo y también cuenta con los contactos auxiliares utilizados para el circuito de mando o maniobra donde se puede existir dos tipos, normalmente abierto (NA) o normalmente cerrado (NC).

Variadores y Arrancadores

Son equipos de maniobra capacitados en variar, frenar o poner en marcha su movimiento rotacional, convirtiendo su energía para controlar lo suministrado a un motor de corriente alterna. Son empleados generalmente como solución de problemas en corrientes de arranque, las cuales pueden alterar la marcha o funcionamiento de los demás aparatos como también posibilitan el regular la velocidad dependiendo los requerimientos del sistema.

Figura 8

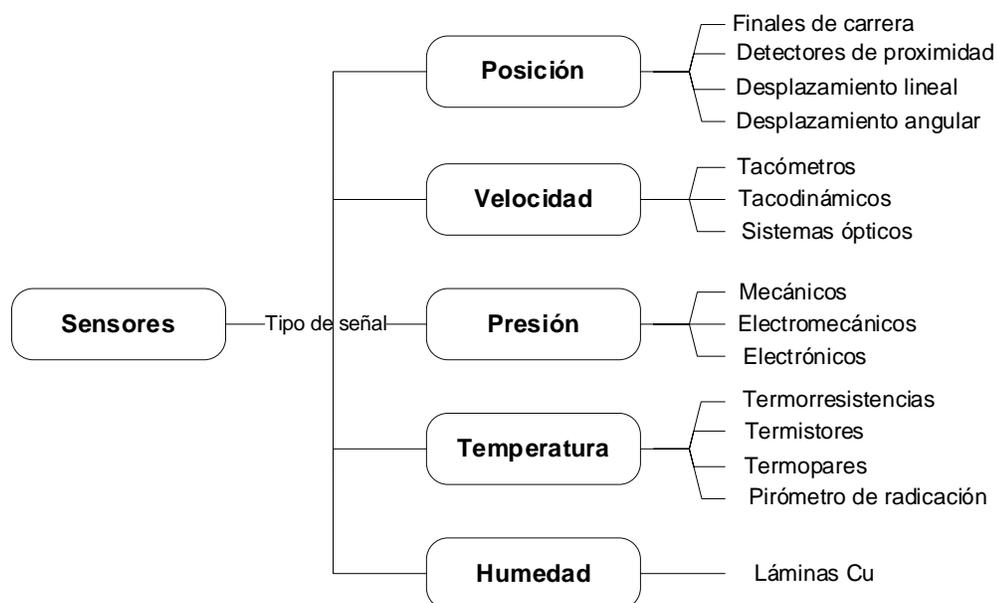
Variadores de Velocidad



Nota: Tomado de Productos/Convertidores/Variadores de frecuencia, de VMC, 2020

Sensores

Son dispositivos capaces de captar información a través de estímulos y convertirlos en señales eléctricas que en su posterioridad son procesadas para generar una acción predefinida. Existen una variedad de sensores que son determinados por su aplicación. Como se los describe a continuación.

Figura 9*Clasificación de Sensores Industriales Según su Aplicación*

Nota: Adaptado de *Sensores industriales de aplicación general*, (p.10), de A. Calderón, 2017, Automatización I

Su uso industrial conlleva características como robustez, rangos de funcionamiento, fiabilidad, principalmente. Su relevancia en la automatización es amplia ya que permiten captar información sin intervención humana y esta ser procesada para ejecutar una operación de forma autónoma.

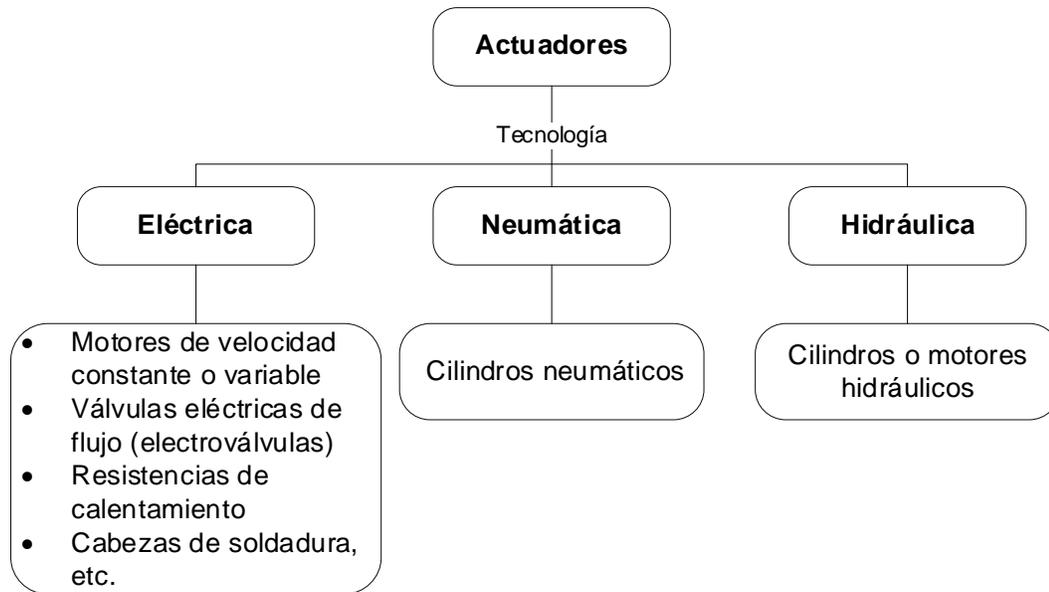
Actuadores

Los actuadores son dispositivos generalmente que se encuentran en la culminación del proceso, brindando una transformación de energía en un movimiento mecánico provocando una fuerza o efecto sobre un elemento dinámico.

Los tipos más comunes industrialmente de accionamientos se pueden clasificar dependiendo su tecnología.

Figura 10

Clasificación de Actuadores Según su Tecnología



Nota: Adaptado de Accionamientos clasificación, (p.30), de A. Calderón, 2017,

Automatización I

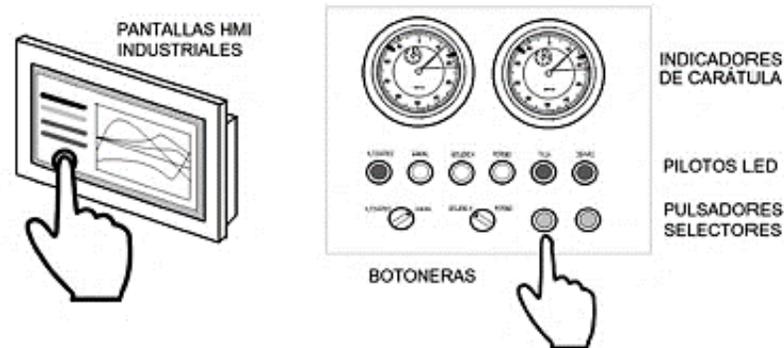
Operación o Visualización

Son dispositivos encargados en la funcionalidad de supervisión y operación de estados de un proceso, en el cual la intervención humana conlleva a la modificación de valores u acciones, generalmente ejecutadas en las denominadas estaciones de operación. Esta interacción entre el proceso y la persona puede darse con indicadores luminosos, de carátula, botoneras.

En la actualidad el uso de pantallas o sistemas HMI (Interfaz Humano-Máquina) para la supervisión, operación o visualización ha tomado gran relevancia puesto que su digitalización y centralización de los datos proporciona una asistencia de mayor soporte al operador.

Figura 11

Dispositivos de Operación o Visualización



Nota: Tomado de *Implementación de la función operación*, (p.26), de A. Ortiz, 2017, Programación de PLC – HMI y Comunicaciones en la Industria

Interfaz Humano-Máquina

Son sistemas principalmente utilizados por operarios y supervisores dentro de la línea de producción, mostrando en tiempo real información y proporcionando datos referentes al proceso. Permiten la optimización visual y de manejo de operaciones dentro del control de máquinas con una interfaz gráfica de usuario. El perfeccionamiento de la HMI dependerá de la complejidad del sistema en el cual será empleado.

La importancia de las HMI reside en la transmisión de información entre operadores y máquinas, conseguida de los procesos, siendo así un facilitador para esta comunicación, permitiendo un monitoreo y control adecuado de los procesos.

El desarrollo de interfaces demanda el cumplimiento de normas y estándares, debido que la interacción del usuario debe ser la adecuada con el sistema. El principal estándar que recopila una pauta de diseño y ergonomía, es conocida como ANSI-ISA

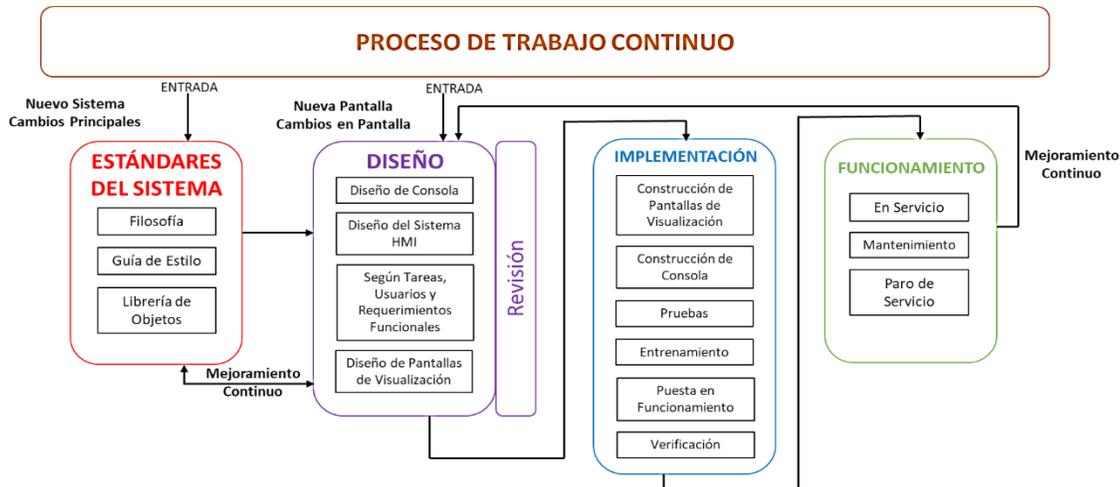
101, la cual proporciona lineamientos para la presentación de información en una pantalla.

Este estándar aborda el diseño, la implementación, la operación y el mantenimiento de las HMI para los sistemas de automatización de procesos, proporcionando orientación durante su diseño, construcción y operación, denotando la eficacia de un HMI resultante, con un control más seguro, más efectivo y eficiente en procesos en donde la capacidad del usuario detecte, diagnostique y responda a situaciones presentadas. (Morales, 2019)

En relación al estándar, la HMI debe regirse a un modelo de ciclo de vida para su desarrollo y gestión como el presentado en la Figura 12

Figura 12

Ciclo de Vida de la HMI



Nota: Tomado de *Ciclo de vida HMI*, (p.34), de A. Morales, 2019, Características del Estándar ANSI/ISA-101.01-2015: Interfaces Humano-Máquina para Sistemas de Automatización de Procesos

Factores Humanos y Ergonomía

Algunos puntos de importancia que apoya a un efectivo diseño de HMI, en donde relaciona las capacidades del usuario a operar la interfaz, pueden plantearse a continuación:

1. Se debe enfatizar el diseño en las tareas de prioridad o principales del proceso.
2. La HMI debe contar con una apariencia apropiada para la interacción del usuario.
3. La HMI debe enfocarse en las necesidades de operarios al momento de controlar o supervisar una tarea.
4. Las funciones del HMI deben ser intuitivas para el usuario.
5. Las HMI deben ser diseñadas para soportar tareas incluyendo operaciones inesperadas.
6. La HMI proporciona la información necesaria así mismo que los controles adecuados.
7. La información debe ser presentada en formatos convenientes para el objetivo del operario.
8. La información de respaldo, como lo son manuales de usuario, debe ser de fácil acceso para el usuario.
9. La terminología utilizada en las Interfaces debe ser coherente para el usuario.

En el color de pantallas debe tener un contraste y brillo adecuado para lo cual:

- Los fondos grises se utilizan para minimizar el deslumbramiento y brindar una presentación de bajo contraste.

- Para resaltar las alarmas o situaciones anormales deben presentarse colores brillantes.
- Los colores usados en alarmas no pueden ser presentados en ningún otro subproceso.

La densidad de información presentada por pantalla debe basarse en su propósito evitando la complejidad y confusión de datos.

Interacción del Usuario

El uso de una jerarquía de pantallas ayuda a proporcionar al operador el alcance de responsabilidad y a la vez la visión entera del proceso. Para ello el estándar ANSI/ISA 101 recomienda un máximo de cuatro niveles, como plantea (Rivera, 2018) en su trabajo de titulación:

- Nivel 1: Visión entera del proceso del cual se es responsable.
- Nivel 2: Pantallas primarias para monitoreo y control. Subunidades controladas por el operador.
- Nivel 3: Detalles específicos acerca de partes del proceso, sistemas, subsistemas o equipos. Representación pictórica del proceso.
- Nivel 4: Pantallas de diagnóstico, informativas o de soporte.

La aplicación de nivel de seguridad brinda restricción de acceso y de contenido para evitar daños causados por la inexperiencia del usuario.

Se debe considerar para los botones su respectiva etiqueta de texto que conlleve claridad y se asocie a la confirmación en su ejecución. Las ventanas emergentes deben ser diseñadas de forma que no opaquen ni oculten partes fundamentales de la interfaz.

Capítulo III

Diseño Eléctrico y Electrónico

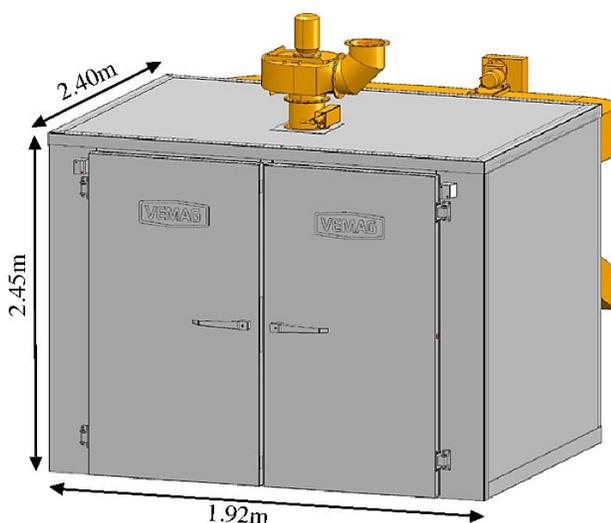
Estado Inicial del Sistema

La implementación de hornos en la elaboración de embutidos conlleva en su gran mayoría una elevada inversión debido a su estructura física y funcionamiento, para lo cual una solución de ingeniería local es la alternativa de menor coste frente a una opción comercial.

Puesto que la empresa dedicada a la elaboración de embutidos en la cual se desarrollará este proyecto, en sus otras líneas de producción, cuenta con hornos de marca VEMAG – AEROMAT, es así que la empresa ve ventajoso guiarse de esta marca comercial para la solución de ingeniería que brindará INASEL Cía. Ltda., pretendiendo una rápida adaptación de operarios a su sistema.

Figura 13

Cámaras de Hornos VEMAG - AEROMAT



Nota: Tomada y Adaptada de VEMAG – AEROMAT datos técnicos, (p.6), VEMAG ANLAGENBAU, 2007, Vemag - Aeromat

Debido a que la empresa solicitante del proyecto, cuenta previamente con las estructuras metálicas de dos cabinas de aproximadamente 2.45 m de altura, 1.92 m de ancho y 2.40 mm de profundidad, cada una, adecuándose así a las medidas de los hornos VEMAG – AEROMAT. Por lo cual el presente proyecto abarca la solución eléctrica y electrónica, omitiendo así el ámbito estructural.

Figura 14

Estructura Inicial de Hornos



Funcionamiento

El horno VEMAG-AEROMAT trabaja con vapor como fuente energética principalmente en el cual el vapor pasa por la tubería y al tener contacto con el material, gana energía aumentando así su temperatura.

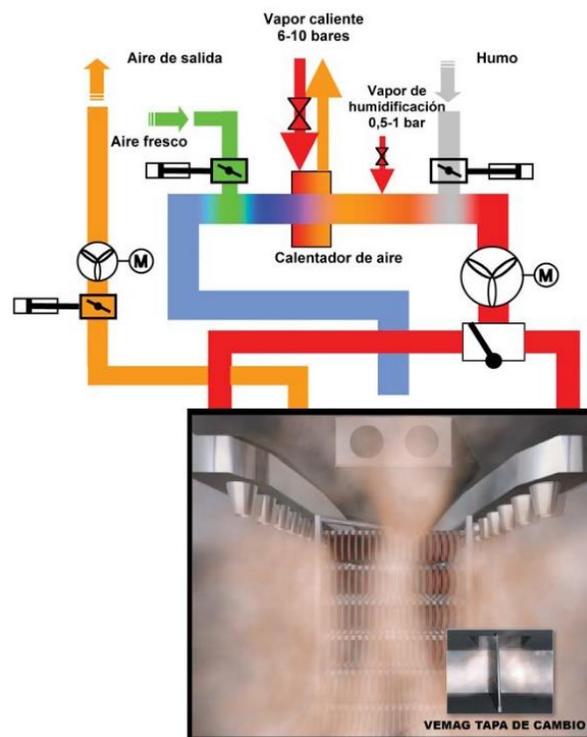
Esto se obtiene mediante la aplicación de su sistema de circulación de aire el cual hace recorrer el volumen de la cámara varias veces por minuto en intervalos adaptados al proceso.

El acondicionamiento de aire central ayuda a introducción de aire acondicionado en la cámara a través de los canales de entrada con boquillas de acero inoxidable posicionados en el techo de la misma, que aseguran con exactitud la distribución uniforme del aire en la cámara.

Para crear las condiciones de flujo especiales, una tapa de cambio que trabaja de forma continua varía permanentemente la velocidad de salida de aire y la intensidad del aire en las boquillas de los canales de entrada. La respiración uniforme tiene lugar a través de un canal de aspiración central. Según lo mencionan (VEMAG, 2007) en su ficha técnica.

Figura 15

Sistema del Horno VEMAG - AEROMAT



Nota: Tomada y Adaptada de *Sistema del horno VEMAG – AEROMAT*, (p.6), VEMAG ANLAGENBAU, 2007, Vemag - Aeromat

El control utilizado por estos hornos se fundamenta en la supervisión de temperatura y humedad relativa para su eficiencia en el proceso a realizar, lo cual emplea un controlador PLC SIEMENS de libre programación, con funciones estándar

que ayudan a la vigilancia, regulación y documentación de los procesos. El manejo tiene lugar a través de un cómodo panel de operador SIEMENS.

De este modo, sus procesos exigentes se pueden desarrollar de forma totalmente automatizada y sin necesidad de supervisión constante. La función integrada de aviso de errores y vigilancia de valores límite asegura el funcionamiento seguro de la instalación.

Requerimientos del Sistema

Los requerimientos por parte de la empresa dedicada a la elaboración de embutidos hacia INASEL Cía. Ltda. a partir de la información previamente recolectada, para el sistema de control automático de los hornos en procesos térmicos, son los siguientes:

- Sistema de control con modos de marcha manual y automático fundamentados en un controlador lógico programable (PLC).
- Control automático por medio de recetas.
- Panel con interfaz HMI para control y supervisión del sistema.
- Técnica de control de temperatura ON-OFF con histéresis.
- Control de velocidad para motores, utilizados como ventiladores.
- Manejo de válvulas para ingreso de vapor.
- Lectura de temperatura y cálculo de humedad relativa
- Señalización luminosa y sonora para culminación de procesos.

Todos los requerimientos expuestos anteriormente cuentan con algunos aspectos a considerar los cuales se menciona a continuación.

Flexibilidad del Sistema

La posibilidad de adaptación a modificaciones es un requerimiento fundamental dentro de los aspectos a considerar debido a la expansión o mejora dentro del sistema implementado.

Condiciones Ambientales

Uno de los factores a considerar son las condiciones ambientales a los cuales estará expuesto el sistema implementado, debido a que se trata de una industria alimenticia, la estructura del gabinete del panel de control, el cual se encontrará cerca de los hornos debido a su operación, este será de acero inoxidable con protección para su debida limpieza externa, cumpliendo así sus debidas medidas sanitarias. Mientras que el armario de control y fuerza estará ubicado en el exterior expuesto a condiciones medio ambientales.

Seguridad

El sistema de control automático respaldará la seguridad en cuanto a operarios como el personal de mantenimiento por lo que se aplicará normas de protección convenientes para los procesos industriales.

Diseño de Gabinetes

Para el diseño de gabinetes presentes en el proyecto se debe considerar la ubicación de los mismos y la accesibilidad que tendrán, para ello es indispensable conocer el lugar en donde se instalarán.

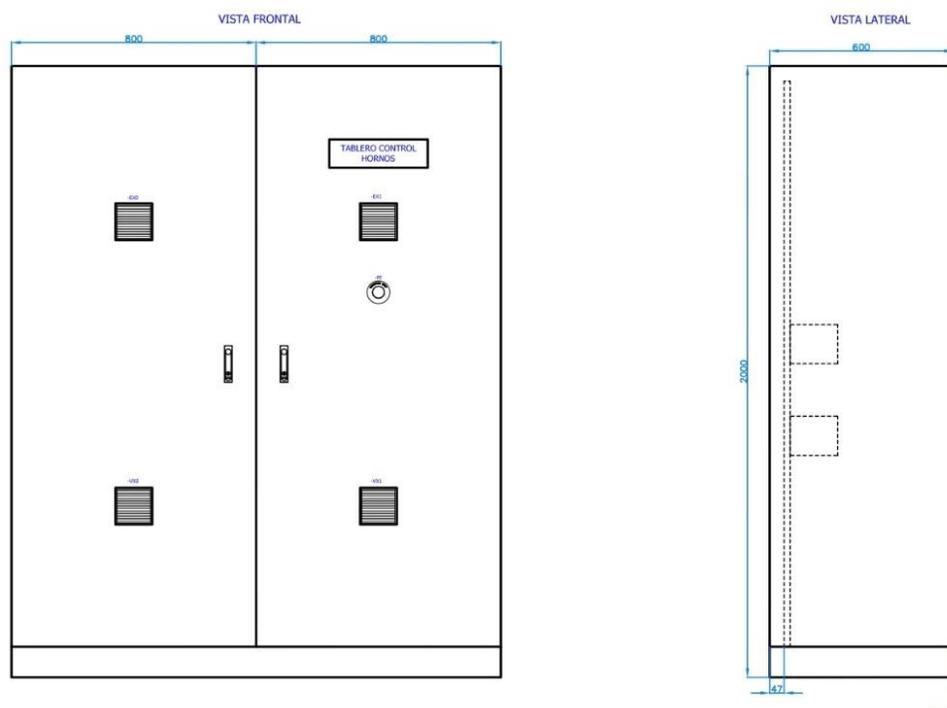
Armario de Fuerza-Control

La ubicación asignada para el armario se encontrará en el exterior de la nave industrial con una cubierta metálica, para lo cual se requiere enfatizar la robustez y seguridad debido a las condiciones medio ambientales que se expondrá el armario.

Según el espacio disponible, se procede a desarrollar el diseño del armario con las dimensiones de 1.60 m de ancho, que ayudara a la distribución del tablero de fuerza y el tablero de control, 2 m de alto con una base de 10 cm desde el piso y 0.6 m de profundidad, como se lo puede apreciar en la Figura 16.

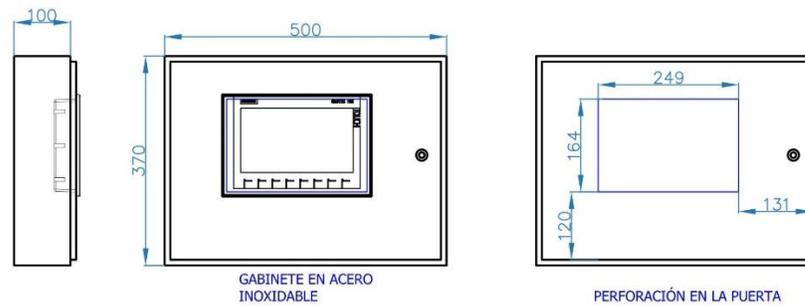
Figura 16

Diseño de Armario Fuerza-Control



Gabinete de Control

El gabinete se localizará cerca de los hornos, lo cual al ser una industria alimenticia este se verá sometido a condiciones de temperatura y humedad para su limpieza, y se tendrá en cuenta en el diseño exacto para la perforación de la puerta donde se instalará el panel, evitando daños eléctricos por ingreso de agua. Como se muestra en la Figura 17.

Figura 17*Diseño de Gabinete Control***Diseño de Circuito de Fuerza-Control*****Alimentación Principal***

La tensión suministrada para la alimentación principal que puso a disposición la empresa dedicada a la elaboración de embutidos para el tablero de mando y fuerza fue desde un gabinete de distribución trifásica con una línea neutro, entregando 440 V AC a 120 A, lo cual es idóneo para la capacidad de operación de los diferentes componentes que tendrán los hornos. Esta distribución al estar localizada en el área de suministro eléctrico de la empresa, se tendrá que realizar el respectivo cableado hacia la ubicación del tablero de fuerza y control.

La tensión del suministro entregado por la empresa principalmente en el tablero se distribuirá de la siguiente manera:

- La alimentación de circuitos de fuerza que implica elementos de protección, variadores de frecuencia, motores, actuadores giratorios.
- Alimentación del sistema de control que comprende la fuente de corriente continua, controlador (PLC) sus módulos de entradas y salidas, electroválvulas, iluminación del tablero.

Circuito de Fuerza

Partiendo desde la distribución principal, el sistema trifásico con una línea neutro, se deberá implementar seccionadores para la protección de elementos y del circuito en general a lo cual se dispondrá de un interruptor automático de 3 polos (Q0), como protección de la distribución principal que a su vez alimenta a una barra repartidora, como se lo visualiza en el diagrama de la Desde la barra repartidora se alimentará 10 interruptores automáticos (Q1-Q10) más conocidos como guardamotors cumpliendo el rol de protección, que a su vez conecta con 8 variadores de frecuencia (VDF1-VDF8) para el control de velocidad en los ventiladores de distribución de aire en la cámara y 2 contactores (K1-K2) que ayuda al control de encendido de los ahumadores.

Controlador

Representa el dispositivo fundamental dentro del sistema de automatización debido a las tareas que ejecuta como la adquisición de datos, procesamiento y acción de control en los diferentes procesos y subprocesos del sistema. Uno de los requerimientos puntuales por parte de la empresa dedicada a elaboración de embutidos es que el sistema de control sea basado en un controlador lógico programable (PLC) por lo tanto la elección del autómatas considerará las necesidades del sistema y más aún la flexibilidad del mismo siendo susceptible a mejoras.

Entradas y Salidas

Para el diseño del sistema de control se establece las entradas y salidas indispensables a ocuparse en el controlador para las funciones previstas, esto ayuda a la vez a identificar si es exigente el uso de módulos para incrementar el número de E/S en el autómatas. A continuación, se describe las variables requeridas por el sistema.

Figura 18 .

Desde la barra repartidora se alimentará 10 interruptores automáticos (Q1-Q10) más conocidos como guardamotors cumpliendo el rol de protección, que a su vez conecta con 8 variadores de frecuencia (VDF1-VDF8) para el control de velocidad en los ventiladores de distribución de aire en la cámara y 2 contactores (K1-K2) que ayuda al control de encendido de los ahumadores.

Controlador

Representa el dispositivo fundamental dentro del sistema de automatización debido a las tareas que ejecuta como la adquisición de datos, procesamiento y acción de control en los diferentes procesos y subprocesos del sistema. Uno de los requerimientos puntuales por parte de la empresa dedicada a elaboración de embutidos es que el sistema de control sea basado en un controlador lógico programable (PLC) por lo tanto la elección del autómeta considerará las necesidades del sistema y más aún la flexibilidad del mismo siendo susceptible a mejoras.

Entradas y Salidas

Para el diseño del sistema de control se establece las entradas y salidas indispensables a ocuparse en el controlador para las funciones previstas, esto ayuda a la vez a identificar si es exigente el uso de módulos para incrementar el número de E/S en el autómeta. A continuación, se describe las variables requeridas por el sistema.

Figura 18

Diagrama Circuito de Fuerza para un Horno

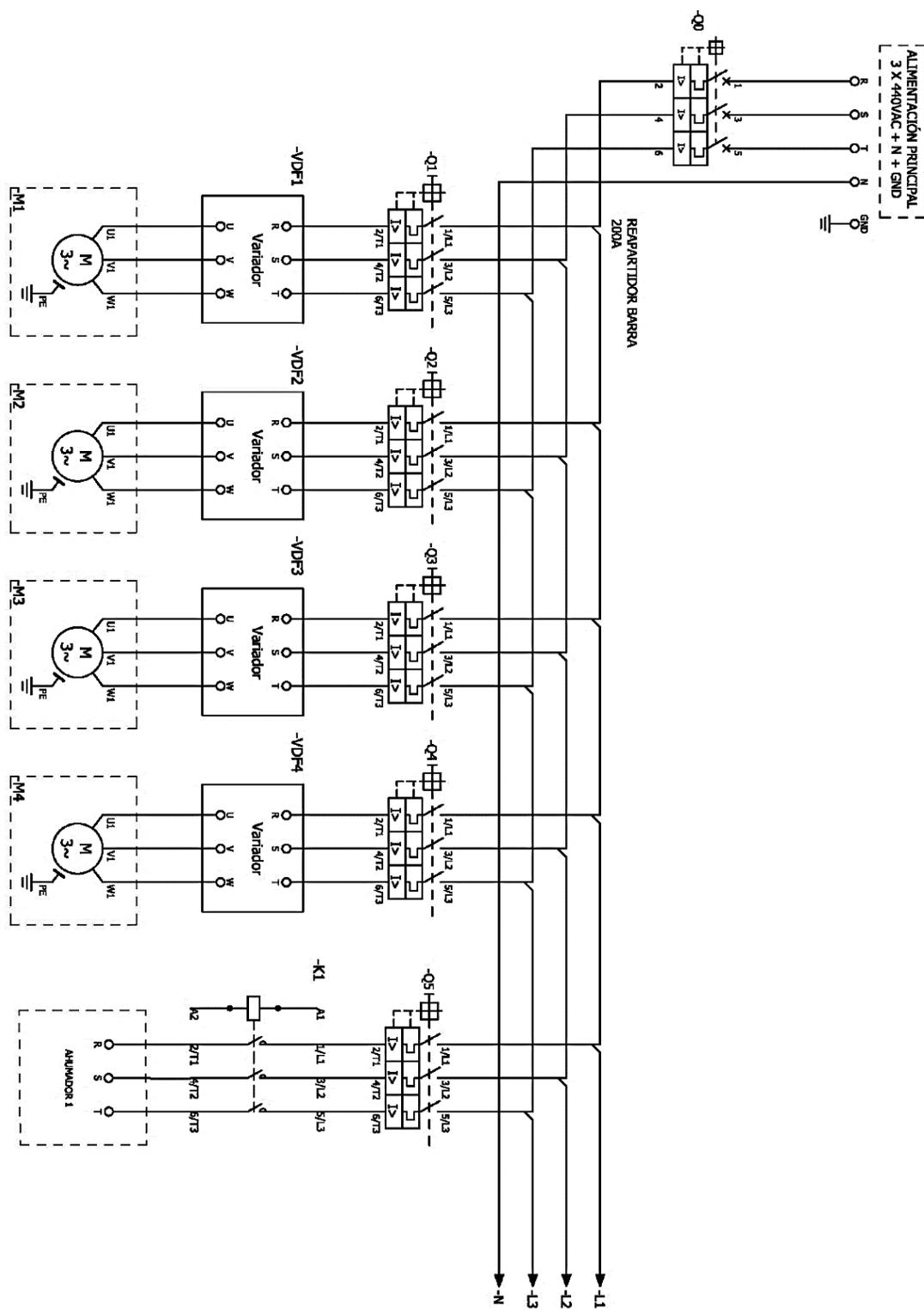


Tabla 1

Descripción de Entradas Discretas

Entrada	Descripción
1	Paro de emergencia
2	Activación del ahumador
3	Control del ahumador
4	Variador de frecuencia 1
5	Variador de frecuencia 2
6	Variador de frecuencia 3
7	Variador de frecuencia 4

Tabla 2*Descripción de Salidas Discretas*

Salida	Descripción	Salida	Descripción
1	Encendido ahumador	13	Reset variador de frecuencia 2
2	Activación de ahumador automático	14	Velocidad variador de frecuencia 2
3	Válvula de serpentín	15	ON/OFF variador frecuencia 3
4	Válvula de ingreso de vapor directo	16	Reset variador frecuencia 3
5	Válvula de ingreso de agua fría	17	Velocidad variador de frecuencia 3
6	Activación chimenea	18	ON/OFF variador frecuencia 4
7	Activación entrada de aire fresco	19	Reset variador de frecuencia 4
8	Activación entrada de humo	20	Velocidad variador de frecuencia 4
9	ON/OFF variador de frecuencia 1	21	Baliza luz verde
10	Reset variador de frecuencia 1	22	Baliza luz amarilla
11	Velocidad variador frecuencia 1	23	Baliza luz roja - bocina
12	ON/OFF variador de frecuencia 2		

Tabla 3*Descripción de Entradas Analógicas*

Entrada	Descripción
----------------	--------------------

1	Sensor de temperatura 1
2	Sensor de temperatura 2

Circuito Control

Establecidos los requerimientos de uso de autómatas programables y determinadas las entradas y salidas que se ocuparán se establece un diagrama en general de conexión del circuito de control, que se observa en la Figura 19.

Alimentación Neumática

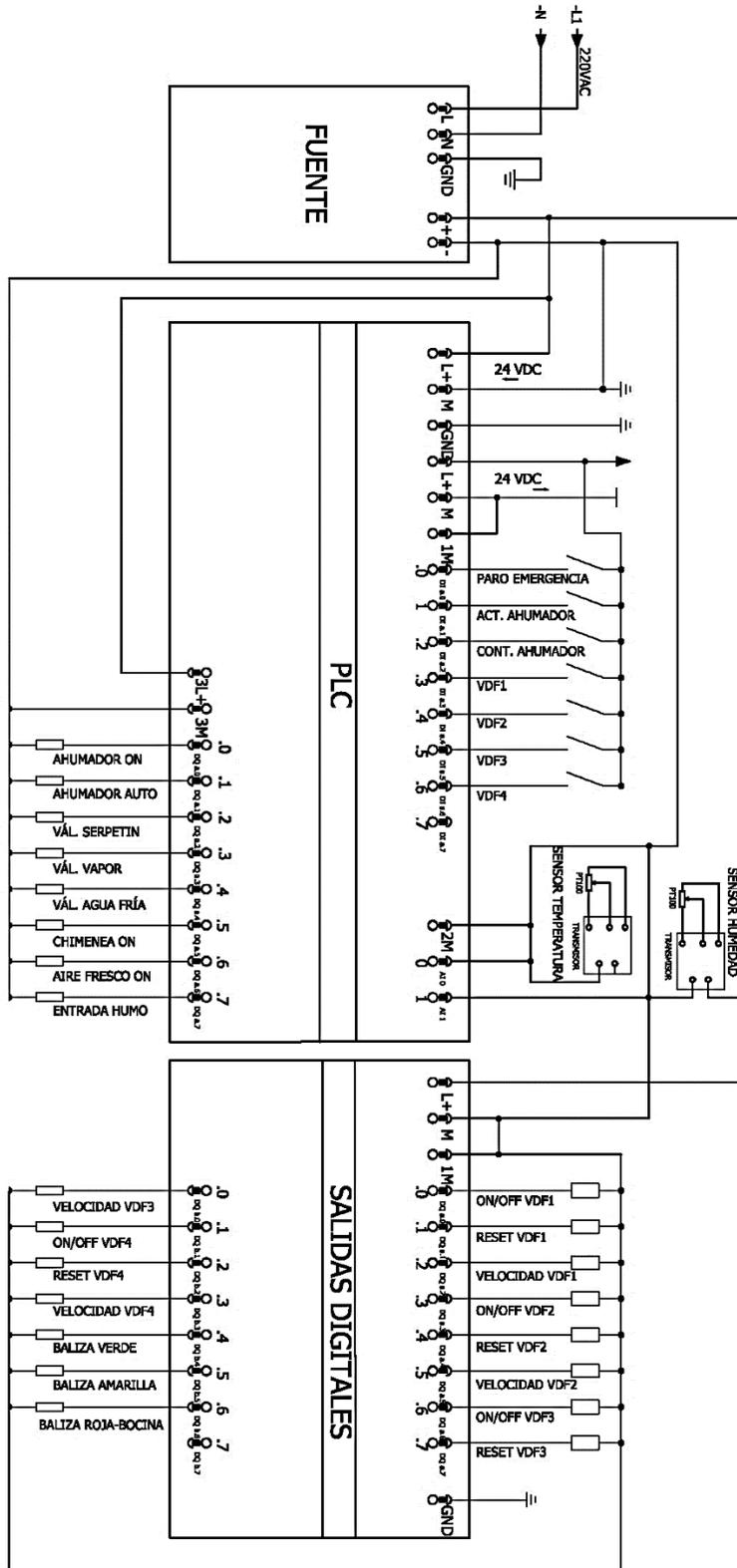
La alimentación neumática que generará la presión en la activación del banco de electroválvulas, las cuales ayudan al ingreso de vapor, se conectará a una red centralizada de la planta con una presión promedio de entre 4 y 6 bares, ideal para el trabajo a realizar en los hornos.

Sistema de Control

En lo que corresponde para la automatización de los procesos térmicos de los hornos se considera principalmente el control de temperatura y humedad relativa así mismo del encendido y variación de velocidad de motores como ventiladores encargados en la distribución de aire dentro de la cámara térmica y del tiempo de cada etapa que intervienen en su procesamiento.

Figura 19

Diagrama Circuito de Control



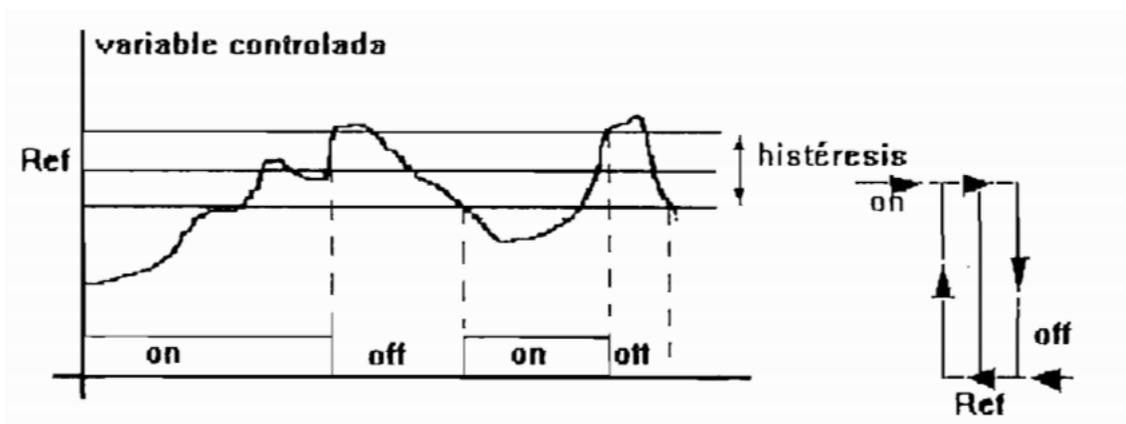
Control de Temperatura y Humedad Relativa

El proceso térmico contempla el accionamiento de las válvulas de forma automática para el paso de vapor dentro del horno. Es así que, haciendo uso de sensores de temperatura, dentro del hornos, se podrá dar el debido control de funcionamiento de los actuadores.

A causa de los requerimientos impuestos como también a que el rango de temperatura de trabajo es alto y no es necesario una exactitud relevante, se considera conveniente un controlador simple que mantenga la temperatura en un margen de tolerancia a $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$. El control ON-OFF con histéresis debido a que su respuesta es de tipo todo o nada, activará las válvulas cuando la temperatura descienda hasta un valor por debajo de la histéresis diferencial y se desactivarán cuando dicha variable supere el límite superior como se observa en la Figura 20, evitando así el número excesivo de conmutaciones.

Figura 20

Control ON-OFF con Histéresis



Nota: Tomado de *Control ON/OFF con Histéresis*, (p.9), de P. Dutan, Diseño y reconstrucción del control de temperatura de un horno con calentamiento eléctrico.

Medición de Temperatura y Humedad Relativa

Para la medición de temperatura los aspectos a considerar que más sobresalen para este tipo de aplicaciones térmicas dentro de la industria alimenticia es su rango de operación, su exactitud y estabilidad para lo cual se designó el uso de un detector de temperatura por resistencia (RTD) como lo es el PT100, al cual se conectará a un transmisor de temperatura que generará una señal de 4 a 20 mA.

Mientras que para la captación de humedad relativa dentro de la cámara se acondicionó otro sensor de temperatura PT100 cubierto en una envoltura húmeda de algodón conocido como bulbo húmedo que al relacionar con la señal del sensor de temperatura de bulbo seco en el controlador se obtiene la magnitud requerida.

Control de Velocidad

El control de velocidad en los ventiladores de aire dentro de la cámara, es un requerimiento necesario por parte de la empresa encargada de la elaboración de embutidos, ya que la velocidad del aire influye en la transferencia de calor. Un variador de frecuencia notoriamente es la solución debido a la facilidad de variación de velocidad rotacional del motor, trabajando directamente en la frecuencia de la corriente eléctrica suministrada, además de que este puede ser configurable desde el controlador.

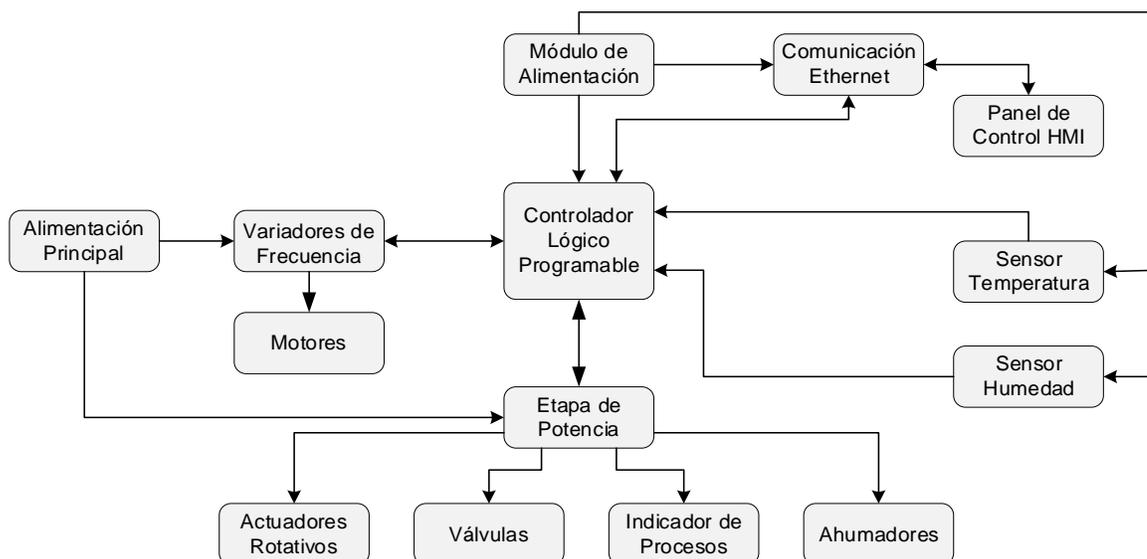
El uso de variadores de frecuencia puede brindar además la ventaja de permitir el arranque suave del motor aumentando la vida útil del mismo y mejorando su rendimiento.

Diagrama de bloques

Con un diagrama de bloques se brinda una representación gráfica generalizada del funcionamiento interno de los elementos implicados en el control y automatización del sistema.

Figura 21

Diagrama de Bloques del Sistema



Como se lo observa en la Figura 21 se precisa la etapa de alimentación, potencia, comunicación, control y supervisión que requiere el sistema que se instalará en los hornos.

Diagrama P&ID

El diagrama P&ID denota la representación de condiciones de diseño, el flujo de proceso, como también los equipos e instrumentos a instalarse en el sistema. en el Anexo A se adjunta el plano del diagrama en cuestión indicando la interconexión de los diferentes elementos del proceso y la función de cada instrumento, proporcionando una información clara y concisa con un giro más técnico.

Diagrama de Flujo

En la Figura 22 se presenta el diagrama de flujo el mismo que demuestra el proceso de control que se plasmará en el algoritmo que utilizará el controlador para su debido funcionamiento en el sistema, en la Figura 23 y Figura 24 se muestra también los subprocesos de control de temperatura y humedad relativa por implementar, ya que estos deben cumplir algunas condiciones para su ejecución en el proceso general.

Figura 22

Diagrama de Flujo Proceso General

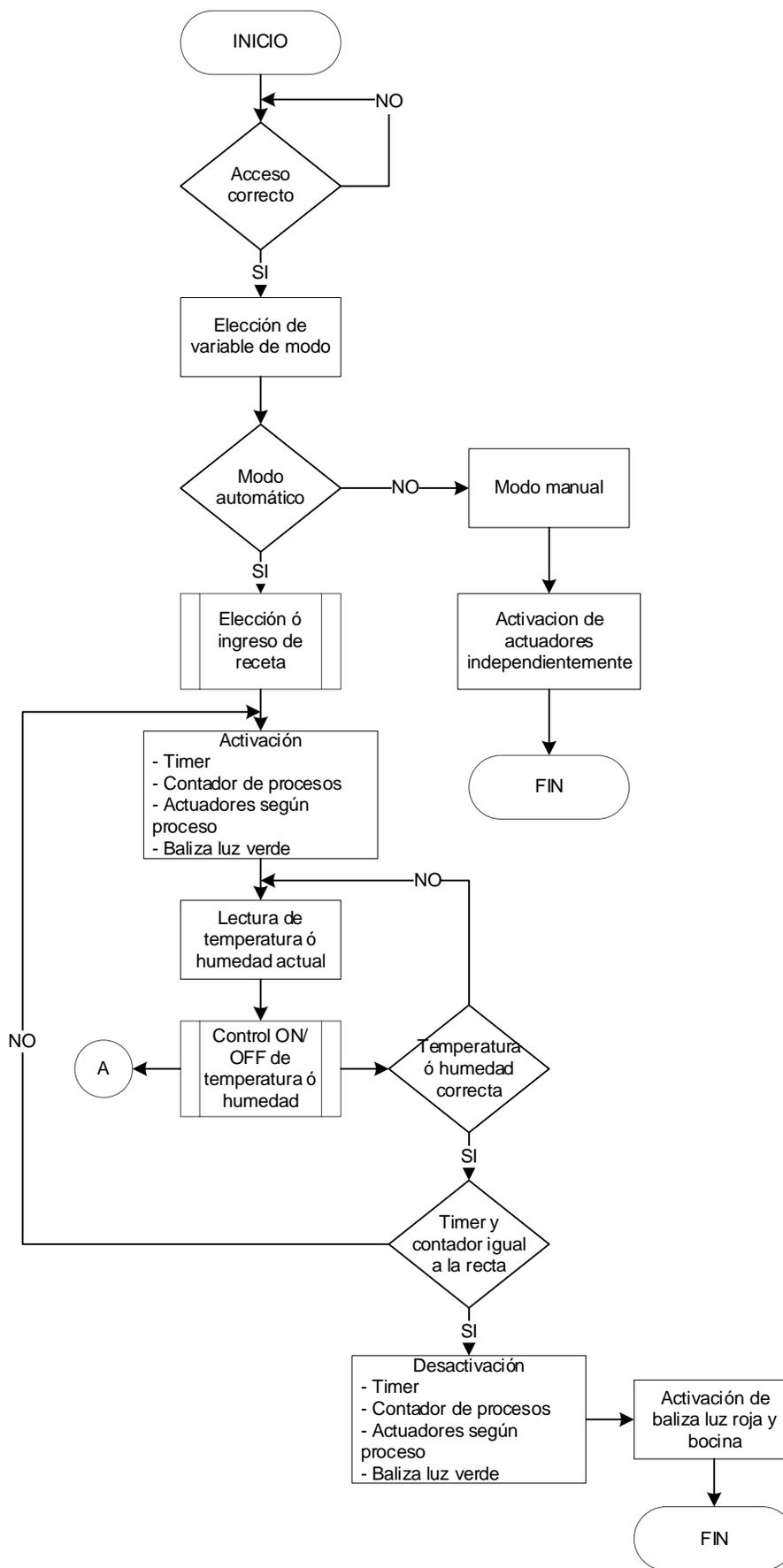


Figura 23

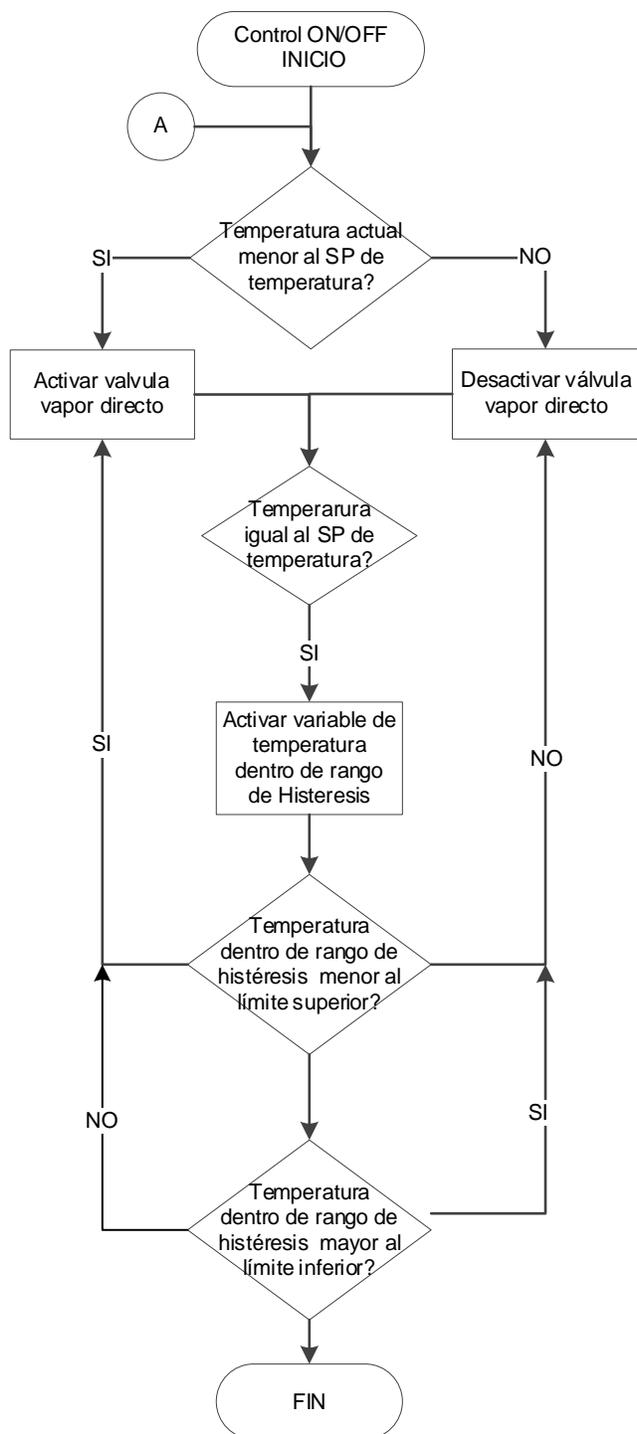
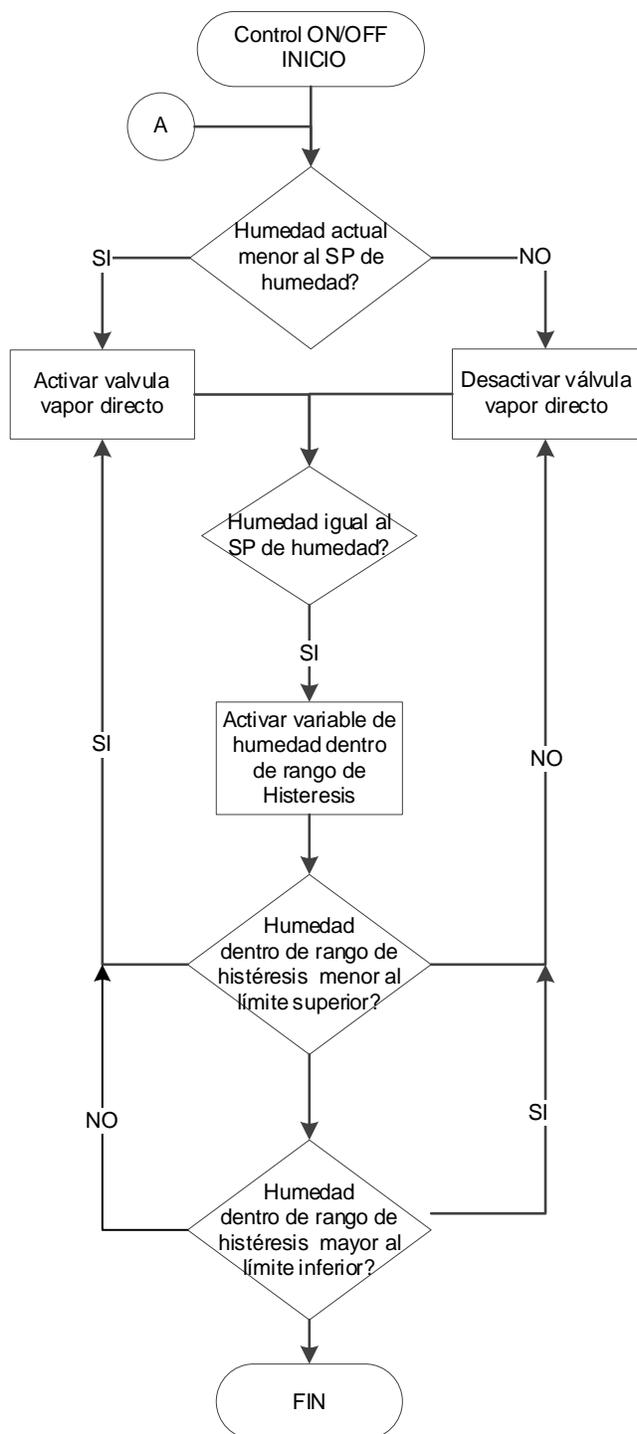
Diagrama de Flujo Control Temperatura

Figura 24

Diagrama de Flujo Control Humedad Relativa



HMI

Complementando los requerimientos expuestos para cubrir la necesidad de supervisión y operación del proceso, se idealizó que el HMI se lo implemente en un panel de mando táctil, contemplando un fácil manejo y navegabilidad en la cual el operario sienta rápida adaptación al sistema.

Diagrama de Red

Al presentar el sistema dos hornos cada uno con su controlador y un único panel de mando se incluye una comunicación que gestione la información de cada horno, lo indicado es el uso de un conmutador, contemplando con un estándar ethernet en estos equipos y aplicando un protocolo de comunicación PROFINET, el cual es basado en estándares abiertos TCP/IP que ayudará a intercambiar datos entre controladores y dispositivos, cuyo esquema se presenta en Anexo B (diagrama de red).

Capítulo IV

Desarrollo de Software

En este capítulo se planteará el funcionamiento de los autómatas programables (PLCs) y la interfaz humano-máquina (HMI) los cuales son los encargados de controlar todo el sistema de los hornos ya sea en modo automático o manual utilizando rutinas de control para un correcto trabajo según las condiciones que el operador asigne a los procesos.

Modos de Operación

El diseño del funcionamiento de los hornos está basado en los requerimientos y condiciones de la empresa usuaria del sistema para cumplir con los procesos que solicitan y que el uso sea acorde a las capacidades de un operador, los cuales se describe a continuación:

Modo Manual

El modo de operación manual permitirá la activación de cada uno de los actuadores desde el panel de control que está ubicado cerca de los hornos, independientemente de los valores de temperatura y humedad relativa de las cabinas.

Para la marcha en modo manual, los hornos no deberán estar en modo automático y solo el administrador del sistema tendrá acceso. Dicho funcionamiento permitirá verificar el estado de los actuadores y realizar rutinas de mantenimiento necesarias para la limpieza y sanitación de las cabinas.

Modo Automático

Los hornos en modo automático ejecutarán tareas en base a recetas ingresadas por el administrador del sistema y efectuarán los procesos los cuales se detalla en la Tabla 4. La activación de los actuadores será en función a los datos de temperatura o humedad relativa y acorde a los procesos establecidos.

Tabla 4

Procesos que Realizarán los Hornos Según la Receta y Activación de los Actuadores

Proceso	Turbinas	V1	V2	V3	VP1	VP2	VP3	Ahumador
Cocinado	X	X	X		X			
Ahumado	X	X					X	X
Secado	X	X	X		X	X		
Duchado	X			X				
Extracción	X				X			
Sin Proceso								

Nota. V1: Válvula de Vapor Directo, V2: Válvula del Serpentín, V3: Válvula de Agua Fría, VP1: Extracción de Aire, VP2: Entrada de Aire Fresco, VP3: Entrada de Humo

Recetas. El sistema tendrá la capacidad de realizar hasta 10 procesos consecutivos los cuales serán configurados por el operador a través del panel HMI. Las variables que ingresará el operador serán los datos de Temperatura, Humedad Relativa, Tiempo y Proceso a realizar. Las recetas serán ingresadas solo por el Administrador del Sistema y el operador seleccionará el producto a realizar sin modificar los procesos establecidos.

Lectura de Temperatura. A través del sensor de temperatura PT100 se realizará la lectura análoga por uno de los puertos del módulo analógico del PLC de 4 a 20 mA., obteniendo valores entre [0; 27648] para lo cual se ejecutará un escalamiento para obtener datos de temperatura en grados centígrados en el rango de [-10; 150].

Cálculo de Humedad Relativa. Al igual que la temperatura, los valores de humedad relativa dentro de las cabinas, se utilizará un sensor de temperatura PT100 cubierto con un bulbo que permanece húmedo. Los datos que se obtendrá al escalar la lectura del sensor también son de temperatura en el rango de [-10: 150] grados

centígrados y se realizará el cálculo de la humedad relativa en un rango de [0; 100]% con la siguiente ecuación: (Medrano, 2003) (Huang et al., 2013)

$$HR = \frac{e(T)}{e_s(T)} \cdot 100\% \quad (1)$$

Donde:

- HR : Humedad Relativa en porcentaje
- $e(T)$: Presión parcial real vapor de agua en aire húmedo, en Pa.
- $e_s(T)$: Presión parcial vapor agua en aire húmedo saturado, en Pa.

La presión parcial de vapor saturado $e_s(T)$ se calcula en función a la temperatura con el bulbo seco la cual representa la cantidad máxima de vapor de agua presente dentro de la cabina de los hornos. Dicha presión se calcula con la siguiente ecuación:

$$e_s(T) = 1Pa \cdot e^{(A \cdot T^2 + B \cdot T + C + \frac{D}{T})} \quad (2)$$

Donde:

- $e_s(T)$ = Presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado en Pa, a la temperatura de bulbo seco T
- e = 2,718 281 828 46: número de Euler.
- $A = 1,2378847 \cdot 10^{-5}$
- $B = -1,9121316 \cdot 10^{-2}$
- $C = 33,93711047$
- $D = -6,343164 5 \cdot 10^3$
- T : temperatura ambiente de bulbo seco en $K = t(^{\circ}C) + 273,15$

La presión parcial real del vapor de agua se obtiene mediante la ecuación de Carrier utilizando el concepto del psicrómetro de giro:

$$e(T) = e_s(Tw) - \frac{[P - e_s(Tw)] \cdot (T - Tw)}{\theta + \chi \cdot Tw} \quad (3)$$

Donde:

- $e(T)$: Presión parcial real de vapor de agua en aire húmedo en Pa, a la temperatura de bulbo seco T
- $e_s(Tw)$: Presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado en Pa, a la temperatura de bulbo húmedo Tw
- P : Presión atmosférica local en Pa
- Tw : temperatura de bulbo húmedo en $K = Tw(^{\circ}C) + 273,15$
- $\theta = 1\,940$ (Carrier)
- $\chi = -1,44$ (Carrier)

Para la calibración de temperatura se corregirá la desviación de la curva de cada sensor con las siguientes ecuaciones:

$$T_{seco}^{\circ} = m T_o^{\circ} + b \quad (4)$$

$$T_{Hum}^{\circ} = m T_o^{\circ} + b \quad (5)$$

Donde:

- T_{seco}° : Temperatura real o de bulbo seco
- T_{Hum}° : Temperatura de bulbo húmedo
- m : Pendiente de la curva de calibración
- b : Desviación de la temperatura

Lógica de Programación

Para la organización de las variables y funciones que realizarán los PLC se desarrolló la programación mediante Grafcet para representar el flujo del programa y utilizando el software de programación del PLC se realizará la programación Ladder del automatismo.

Programación Grafcet

La programación Grafcet es un método gráfico donde se utiliza organigramas para la representación de los estados de acción y las transiciones de las secuencias que el autómata realiza en su sistema de control. Dichos organigramas se encuentran en el Anexo C.

Los organigramas se dividen según los modos de operación disponibles que son el Modo Manual, Modo Automático y el Proceso de Estado de Emergencia, los cuales permiten tener una vista general del sistema y el flujo de trabajo que realizan los autómatas.

La etapa inicial se mantiene hasta que haya una modificación por parte del operador, ya sea iniciar un proceso manual o automático o si se realiza un paro de emergencia del sistema.

A partir de la etapa inicial, el proceso manual realiza acciones de activación y desactivación independiente de cada uno de los actuadores sin necesidad de asignar un proceso automático.

La transición a la etapa de marcha automática se genera a través de la asignación de una receta lo cual deriva a las diferentes subrutinas dependiendo del proceso establecido hasta finalizar el tiempo de cada paso y cumplir con la rutina.

Programación Ladder

La programación en Ladder o Escalera, la cual está basada en la lógica de contactos, es uno de los lenguajes de programación estandarizado de forma secuencial y que cumple el proceso cíclico que realizan los autómatas.

Con la utilización de los diagramas Grafcet se realiza la programación de las rutinas de control para los diferentes procesos y las condiciones que debe cumplir la lógica de control, utilizando herramientas como temporizadores, contadores y diferentes bloques de funciones específicos según el software utilizado.

Servidor Web

Para monitorizar las variables de temperatura y humedad relativa de los hornos se necesitará de una aplicación web conectada a la red de la planta y el Administrador del Sistema tendrá la capacidad de ingresar al servidor configurado en cada PLC ya sea del Horno 1 o 2 mediante un navegador de internet con las direcciones IP asignadas a los autómatas.

La utilización de un servidor web permitirá la creación de archivos por cada receta realizada en los hornos y se almacenarán en formato CSV para la utilización en análisis de datos de producción. Los archivos contendrán una tabla con los datos de fecha, hora, temperatura y humedad relativa configurada y real del proceso.

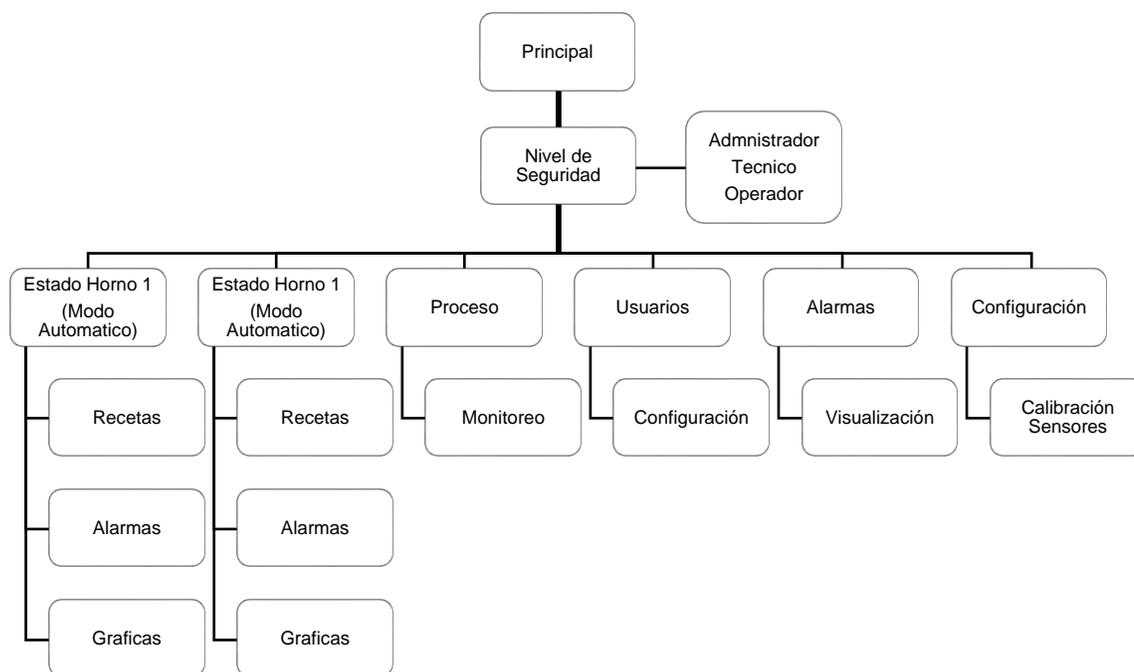
Diseño del HMI (Interfaz Humano Máquina)

El desarrollo de la HMI se lo realizará considerando la utilización de un estándar para el usuario que es la Norma Internacional ANSI/ISA 101, la cual ofrece una metodología para la creación adecuada de la interfaz, tomando en cuenta parámetros de ubicación, estándares de colores, fuentes y animación gráfica del panel aprovechando el uso de la pantalla a color. (Morales, 2019)

Arquitectura del HMI

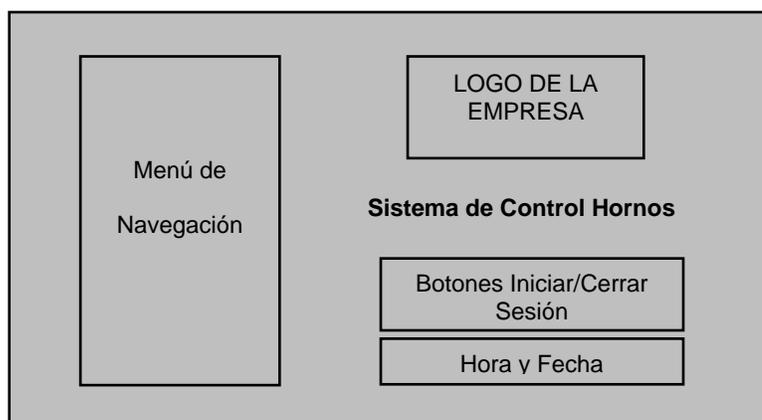
En el desarrollo de la interfaz gráfica del sistema se establece un esquema que define de manera general las ventanas disponibles en el HMI para la interacción del operador con todo el sistema de automatización y control. En la Figura 25 se indica la base para el diseño de las ventanas y las relaciones entre ellas para la navegación.

En la arquitectura de la interfaz Humano Máquina se define una navegación sencilla entre las ventanas en el cual se precisan los niveles de acceso o seguridad de cada proceso disponible en el sistema.

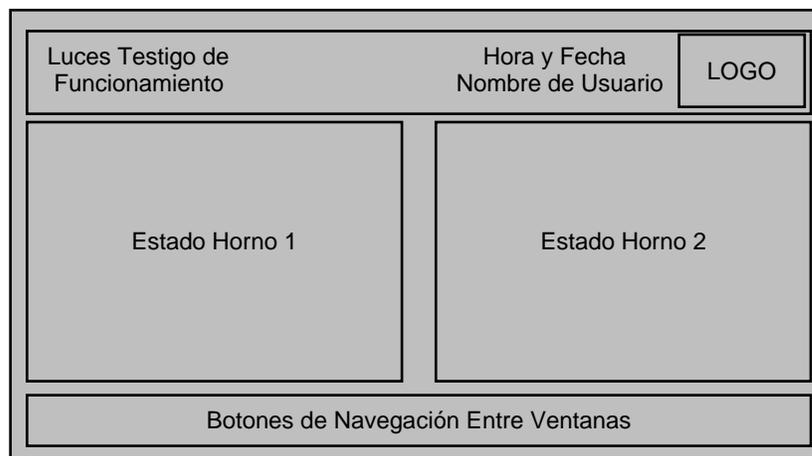
Figura 25*Arquitectura de la Interfaz Humano Máquina****Distribución de las Ventanas***

Ventana Principal. El sistema inicia con la ventana principal como se muestra la distribución en la Figura 26, en la cual se encuentra el menú de navegación para dirigirse a las demás ventanas, el logo de la empresa, el inicio o cierre de sesión y la fecha y hora del sistema. Para el ingreso a las demás ventanas se deberá iniciar sesión con el nombre de usuario y contraseña acorde al nivel de seguridad.

La ventana principal se configurará con los colores acorde a la empresa donde se instalará el sistema de control de los hornos para mantener la misma estética de los demás paneles existentes en la planta.

Figura 26*Distribución - Ventana Principal*

Ventana de Estado de los dos Hornos. En la distribución de la ventana que se muestra en la Figura 27, se visualizará la marcha de los hornos a través de la representación de los Testigos de Funcionamiento en la parte superior. En la parte central se mostrará el estado de los actuadores de cada horno, el nombre del producto o receta, el paso que está realizando y los valores de tiempo transcurrido, temperatura y humedad relativa reales y configurados, si el horno se encontrara en un proceso automático. A partir de esta ventana se presenta los botones de navegación en la parte inferior para dirigirse a los diferentes procesos en la interfaz.

Figura 27*Distribución - Ventana de Estado de los dos Hornos*

Ventana de Estado del Horno 1 o 2. En la ventana de estado que se visualiza en la Figura 28 se indicará el mímico del proceso del Horno 1 o del Horno 2. En dicha ventana se representará el estado de los actuadores en marcha automática de cada horno que será activada por los Botones de Control.

Figura 28

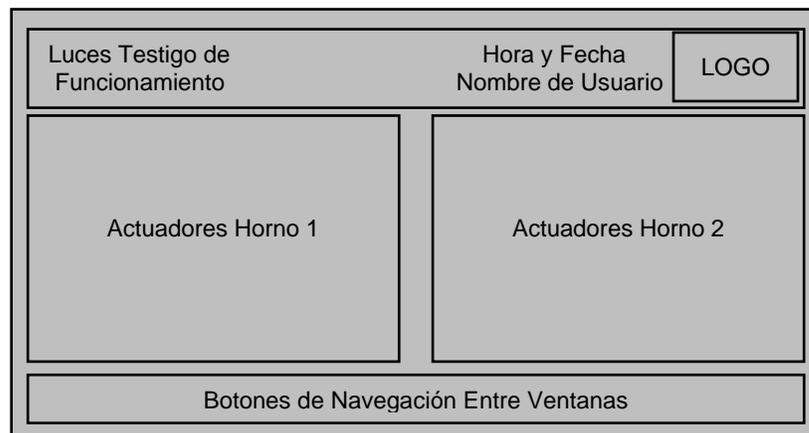
Distribución - Ventana de Estado del Horno 1 o 2



Ventana de Control Manual. En la Figura 29 se visualiza el mímico del control manual del sistema en el cual realizará la activación o desactivación de las válvulas y las turbinas de los hornos.

Figura 29

Distribución - Ventana de Estado de Control Manual



Ventana de Recetas. En la Figura 30 se visualiza la pantalla para la configuración de las recetas que el operador ingresará según el proceso requerido.

Figura 30

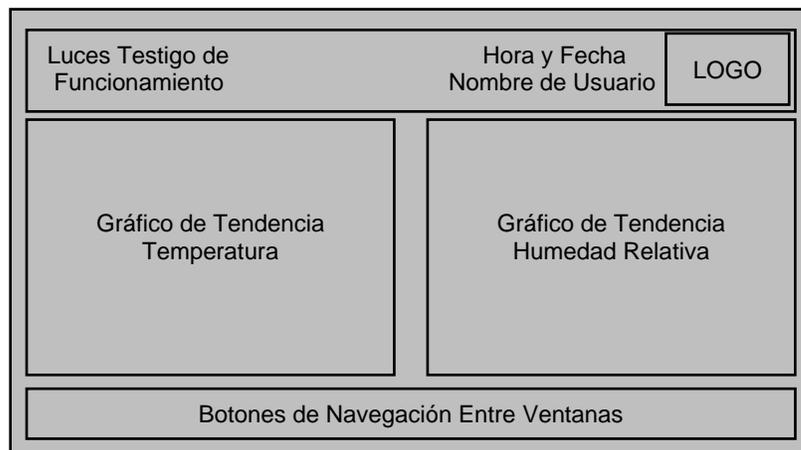
Distribución - Ventana de Configuración o Carga de las Recetas



Ventana de Gráficas del Proceso. En la Figura 31 se mostrarán las variables de Temperatura y Humedad Relativa en dos gráficas de tendencias para visualizar los cambios a través del tiempo en el proceso. La supervisión de dichos parámetros permitirá el monitoreo del proceso automático con los valores reales de las variables para ser comparados con el análisis que el técnico encargado del sistema genera.

Figura 31

Distribución - Ventana de Visualización de Gráficas del Proceso



Ventana de Configuración. En la ventana de configuración que se muestra en la Figura 32 permitirá el ajuste de la hora y fecha del sistema y la calibración de los Sensores de Temperatura de los dos hornos.

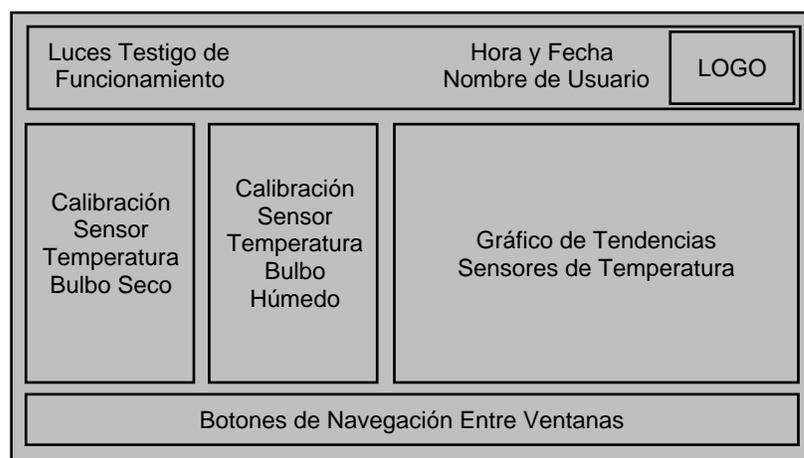
Figura 32

Distribución - Ventana de Configuración de Fecha/Hora y Calibración de los Sensores



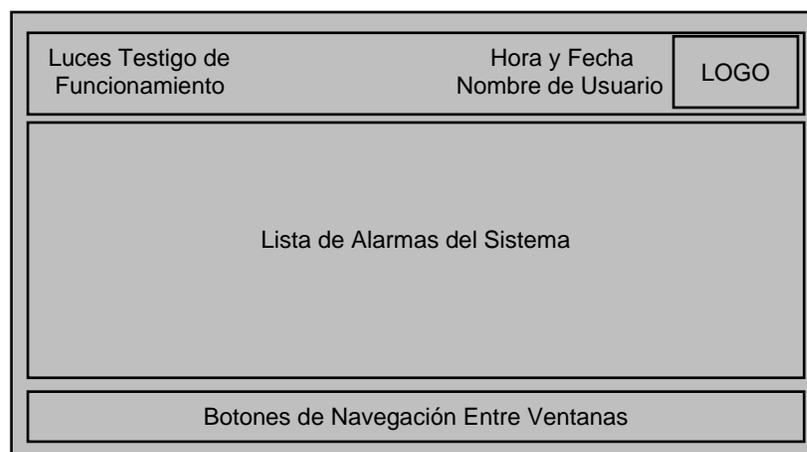
Figura 33

Distribución - Ventana de Calibración de los Sensores



Ventana de Gestión de Alarmas. La ventana Alarmas de la Figura 34 mostrará los avisos, ya sea del Horno 1 o del Horno 2 donde se verificará si existe algún problema en el sistema físico de los hornos las cuales se detallan en la

Tabla 5.

Figura 34*Distribución - Ventana de Gestión de Alarmas***Tabla 5***Descripción de las Alarmas del Sistema*

Alarma	Descripción
Motor 1	Variador de frecuencia del motor 1 se encuentra en falla
Motor 2	Variador de frecuencia del motor 2 se encuentra en falla
Motor 3	Variador de frecuencia del motor 3 se encuentra en falla
Motor 4	Variador de frecuencia del motor 4 se encuentra en falla
Temperatura Alta	Valor de temperatura fuera del rango permitido > 85°C
Paro Emergencia	Botón de Paro de Emergencia Activado

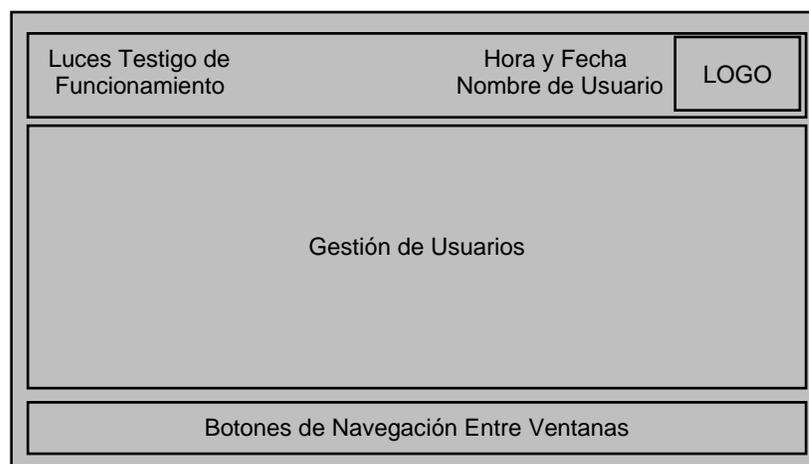
Ventana de Gestión de Usuarios. El acceso a las pantallas está protegido por un usuario y contraseña las cuales se dividen en niveles según el tipo de usuario:

- Nivel 1: Administrador del Sistema
- Nivel 2: Nivel de Supervisor
- Nivel 3: Nivel de Operador

Los usuarios solo pueden ser asignados y modificados por el administrador.

Figura 35

Distribución - Ventana de Gestión de Usuarios



Capítulo V

Implementación del Sistema

Una vez culminados y aprobados los diseños tanto eléctricos como electrónicos, y plantear el software de control del sistema, se procede a su implementación. Este se desarrolla con un proceso de integración de todos los componentes y equipos empleando normas a las cuales se rige INASEL Cía. Ltda.

Instalación de Gabinetes

La empresa INASEL Cía. Ltda., además de realizar proyectos de ingeniería, también se dedica a la asesoría y venta de equipos eléctricos y electrónicos contando como distribuidores autorizados de SIMENS-INDUSTRY. Esta empresa puso a disposición los elementos pertinentes en la utilización del sistema además de los gabinetes a usar para tanto en los tableros de fuerza – control como para el panel de operación.

Siguiendo el diseño según las medidas requeridas y los componentes a utilizar como se lo especifica en el Anexo B (planos del armario y el gabinete), se procede a la colocación y montaje de estas estructuras.

Instalación de Armario Fuerza-Control

Este armario cuenta con una división de dos tableros mismos que se los diseño para la ubicación de elementos de fuerza y dispositivos de control. Para la ubicación y distribución de los elementos en ambos tableros se ubicaron rieles en los cuales embonarán los dispositivos, mientras que para una mejor organización y distribución de cables se colocaron las canaletas ranuradas de 6cm x 6cm que ayudarán la interconexión entre equipos.

Figura 36

Colocación de Canaletas Ranuradas



Primero se procede con el tablero de fuerza el cual se ubica en la parte superior el breaker principal del sistema con las barras de distribución, proseguido de un riel para la ubicación de portafusibles y elementos que asegurarán una ventilación correcta del tablero.

Figura 37

Conexión Breaker Principal con Barra de Distribución



A continuación, se ubican las protecciones de los motores seguida de los variadores de frecuencia utilizados, mismos que en sus manuales especifican un distanciamiento para evitar sobrecalentamientos. Estos últimos son empotrados al tablero ya que por sus dimensiones y estructura no pueden ser colocados en los rieles.

Figura 38

Ubicación de Equipos en Tablero de Fuerza



En la parte inferior se colocan los contactores con sus debidas protecciones, el transformador de control y una barra pequeña de distribución que nos ayudara para conexión a tierra.

En el tablero de control se procede de la misma manera con diferencia que este tablero se lo distribuye en dos secciones la cual la parte superior cuenta con el controlador, módulos, borneras de portafusibles y de conexión, relés de interfaz de entrada en borna, del horno uno y la parte inferior los mismos dispositivos del horno dos.

Figura 39*Ubicación de Dispositivos en Tablero de Control*

La interconexión y cableado de ambos tableros a sus dispositivos según los planos presentados, es mediante cables flexibles debidamente dimensionados y utilizando terminales tipo puntera y tipo U. Para este tipo de terminales se debe utilizar remachadoras para ajustar apropiadamente el terminal con el cable.

Un factor fundamental para el interconexionado de los equipos en los tableros, es el etiquetado de cables de acuerdo a los diagramas diseñados, puesto que esto ayudará a la flexibilidad, reparaciones o mantenimientos del sistema, para ello se utilizó etiquetadoras acordes a cada elemento.

El montaje del armario se lo realizó en la parte externa de la planta de producción adecuándolo de una manera en la cual todo el cableado de actuadores, ingrese por la parte superior del armario. Una vez colocado el armario se instala los tableros dentro del armario dejando un doble fondo como se especificó en el diseño.

Figura 40*Instalación Armario Fuerza - Control*

Como se indicó anteriormente, la empresa que requiere del diseño e implementación del proyecto cuenta con algunos materiales como lo son los actuadores rotativos que ayudarán en las compuertas de ingreso de vapor y de aire fresco así como la apertura del conducto de la chimenea, lo óptimo es el uso de válvulas proporcionales para tener un mayor control de caudal en el sistema, es así que indispensable mencionar que para mejoras en un futuro se decide aumentar un módulo de salidas analógicas, que por el momento simplemente se lo instalará en el tablero de control.

Instalación de Gabinete de Operación

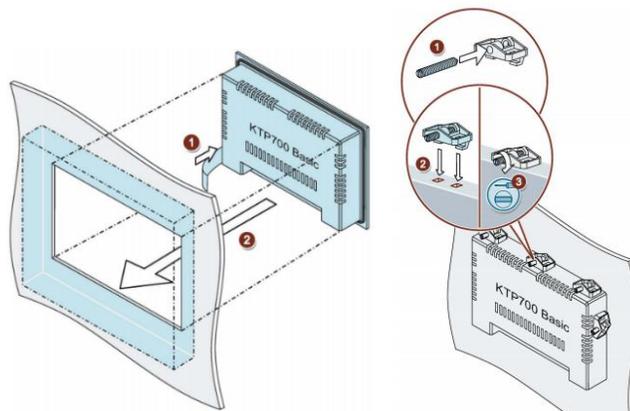
La instalación del panel de operación según las especificaciones se la monto dentro de la planta cerca de los hornos en una posición ergonómica para el operador, eligiendo una altura de montaje adecuada. puesto que su principal función es la supervisión y manejo del sistema de control de los hornos.

Este gabinete es empotrado a la pared con un espacio que permita su limpieza externa, ya que al mantenerse dentro de la planta sabiendo que es una industria alimenticia, requiere debidos cuidados sanitarios.

La colocación de la pantalla es de manera sencilla ya que cuenta con aberturas alrededor de la pantalla en su parte posterior, las cuales encajan con los clips de montaje y tornillos provistos en el equipo, el panel es insertado en el orificio de medidas con las cuales se diseñó el gabinete, asegurándose que la junta de montaje quede por delante. Para la sujeción del panel atornillamos los tensionadores al gabinete.

Figura 41

Instalación Panel HMI en Gabinete



Nota: Tomada de Paneles de operador Basic Panels Instrucciones de servicio, (p.28) de SIMENS, 2012, Simatic HMI

Su alimentación es cableada desde el armario ubicado en el exterior de la planta el cual se adecua al conector que provee el equipo. A si mismo su comunicación con el controlador.

Conexión de la Comunicación

Es indispensable establecer la comunicación entre los controladores y el HMI, su conexión es albergada por un Switch, ya que este conmutador permite la interconexión de varios equipos en una red. Esta conexión es llevada a cabo por un cableado industrial Ethernet, mismos que cumplen como mínimo las exigencias de Cat. 5 y sus respectivos conectores RJ45.

Para la comunicación de los controladores de los hornos y el panel HMI, se utilizó un cable de 4 hilos apantallado y conectores RJ45 con caja de metal robusta, como se puede apreciar en la Figura 42, su conexión es de manera sencilla, ya que se procede como primer paso el desproteger el aislante y recubrimiento, dejando a exposición los 4 hilos de colores, de manera seguida estos dos pares de cables se coloca en el conector RJ45 guiándose según los colores indicados en cada ranura, y a continuación, se asegura el conector girando su bincha posterior.

Figura 42

Conexión Cable de Red con Conector RJ45



Nota: Tomada de Modular Connector Plug RJ45, de Elektrotools, 2020

Montaje y Cableado

Conexión de Motores

En cuanto, lo que concierne al armazón metálico de las cámaras, la respectiva tubería que proporciona el vapor a los hornos y la alimentación neumática, fue

debidamente adecuado por el equipo de mantenimiento de la empresa de embutidos adquirente del proyecto, es así también que la instalación de los motores puesto que estos cuentan con una estructura metálica adaptada para su funcionamiento de ventiladores como los muestra la Figura 43. En su conexión se tomó en cuenta la conectividad que se debía realizar, puesto que se especifica una conexión en estrella.

Figura 43

Motor Trifásico con Estructura Metálica (Aspas)



Figura 44

Conexión de Motores Trifásicos



Configuración Variadores de Frecuencia

Para establecer una configuración de los variadores e instituir valores de frecuencia procedemos con la modificación mediante el display y teclado, que cuenta el variador. Para su respectiva programación es necesario e indispensable la lectura de su respectivo manual de configuración, mismo que cuenta con las especificaciones pertinentes y pasos necesarios para la parametrización de valores requeridos, además de su configuración para el manejo mediante el controlador.

Figura 45

Configuración de Variador de Frecuencia



Nota: Tomado de *LS Electric controls*, de LS Electric, 2020

Mediante la configuración y ayuda del manual técnico del dispositivo, se estableció una frecuencia de trabajo de 35 Hz y una aceleración a 10 segundos, valores a los cuales se registrarán todos los variadores en el sistema.

Instalación de Actuadores Rotativos

Una vez instalado lo citado anteriormente, se procede al montaje de los demás actuadores empleados en el sistema, Para ello los actuadores rotativos utilizados en los conductos de ingreso de aire fresco, el humo distribuido por el sistema comercial de ahumador y la chimenea, su acoplamiento es directo y sencillo en el eje respectivo de

compuerta en los conductos con una nuez de arrastre universal que cuenta el actuador, este debe ser empotrado impidiendo que el actuador gire.

Figura 46

Acoplamiento de Actuadores Rotativos en Conductos



Figura 47

Ubicación Caja de Distribución para Actuadores Rotativos



Para la unión desde el armario externo de fuerza - control y el dispositivo, se empleó una caja de derivación en PVC ubicando con borneras los tres actuadores por horno que ocupa en el sistema como se denota en la Figura 47.

Montaje Sensores de Temperatura

La localización de los sensores dentro de la cámara representa un factor de importancia sobre el rendimiento del proceso, para lo cual se ubican los sensores de temperatura PT100, uno de ellos recubierto por una envoltura de algodón el cual debe mantenerse mojado, es así que se adecuo un recipiente con agua para mantenerlo empapado, con una ubicación precisa para evitar lecturas erróneas.

Figura 48

Acoplamiento de Bandeja para Elementos Sensores



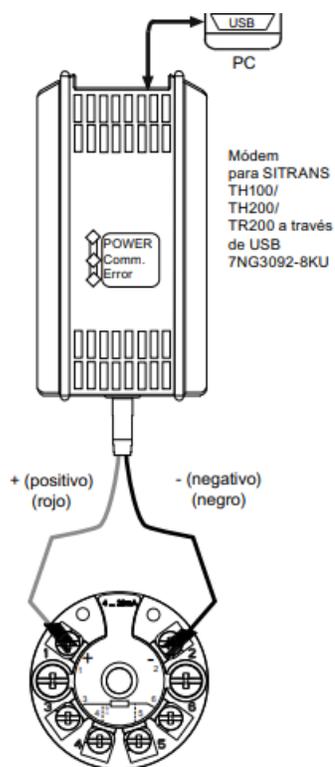
Estos sensores para su conexión en el exterior de la cámara con los transmisores se los colocó dentro de una caja de distribución para impedir perturbaciones y lograr mejoras en el sistema.

Configuración Transmisores de Temperatura

Para la configuración de los transmisores de temperatura SITRANS TH100 mismo que se emplearán en el sistema, se debe conectar a una PC que contenga el programa SIPROM T mediante el módem como se lo especifica en la Figura 49.

Figura 49

Módem para SITRANS TH100/TH200/TR200



Nota: Tomada de *Configuración SITRANS TH100/TH200/TR200*, de SIMENS Industry, 2020

Esta parametrización del transmisor es indispensable puesto que mediante el software se logró la configuración del límite tanto superior como inferior de corriente de salida, la conexión del sensor (entrada a dos, tres o cuatro hilos) y lo más importante el ajuste del rango de medida de temperatura en el cual actuará el sensor.

Instalación de Balizas

El montaje de la baliza tipo torre utilizada como señalización visual y auditiva de procesos en el sistema, se la adecuo en la parte superior de los hornos específicamente frente a las campanas de ventilación, facilitando así la supervisión del operario.

Figura 50*Ubicación de Balizas***Conexión Ahumador**

Para la conexión de ahumador con el sistema de control se debió analizar los planos eléctricos y electrónicos de dicho dispositivo, puesto que para el sistema de los hornos se necesita un contacto que active el ahumador cuando se requiera de su funcionamiento, es así que se realizó un acoplamiento con su sistema de control propio, mismo que debe estar configurado y que nuestro controlador solo acceda a su activación.

Figura 51*Conexión de Ahumadores*

Para la conexión tanto del banco de electroválvulas como de la válvula solenoide su alimentación eléctrica es enviada desde el tablero de control, mientras que la alimentación neumática que requieren el banco de electroválvulas se las realiza con mangueras de poliuretano de 6 mm, misma que utiliza para la conexión entre la válvula de asiento inclinado la cual es la encargada del paso de vapor y el banco de electroválvulas.

Figura 52

Banco de Electroválvulas



Todos estos instrumentos y equipos en su conexión con la el armario de fuerza y control que se encuentra en el exterior de la planta, se efectuó un cableado de aproximadamente 35 metros, puesto que su instalación se la realizo por la parte superior de la planta, específicamente por el techado de la edificación empleando bandejas como se muestra en la Figura 53. Esto desemboca al techo de los hornos en la cual el uso de las bandejas ayuda a mantener una forma segura y guiada del cableado en el sistema.

Figura 53

Cableado por la Parte Superior de la Planta

**Figura 54**

Cableado por la Parte Superior del Armario



Los conductores utilizados para las respectivas conexiones cumplen las normas a las cuales INASEL Cía. Ltda., siendo distribuidor de insumos eléctricos y desarrolladores de soluciones de ingeniería se rigen. Es así como la (NEC, 2018) en su capítulo de Instalaciones Eléctricas toma como fuente la tabla 310-16 de la National

Electrical Code, la cual trata acerca de la capacidad de corriente permisible en conductores aislados, mostrada en la Figura 55.

Figura 55

Capacidad de Corriente Permisible en Conductores Aislados

Sección Transversal	Temperatura nominal del conductor						Calibre
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	Tipo S, TW, UF	Tipos FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	Tipos TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-E, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW*, UF*	Tipos RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	Tipos TBS, SA, SIS, THHN*, THW-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	....	....	14	....	....	....	18
1,31	....	....	18	....	....	....	16
2,08	20*	20*	25	....	....	....	14
3,3	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,2	110	130	150	85	100	115	1
53,5	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	2530	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500

Nota: Tomada de Capacidad de Corriente Permisible en Conductores Aislados, (p.20)

de NEC, 2018, Norma Ecuatoria de Construcción Instalaciones Eléctricas

Basados en los valores presentados en la Figura 55 y de los datos técnicos de cada elemento se procede a la selección del calibre para cada circuito del sistema.

Tabla 6

Descripción de Calibre en Conductores Presentes en el Sistema.

Circuito / Equipo	Calibre
Acometida / Interruptor principal / Barras de Distribución	2 AWG
Circuito de fuerza / Motores / Alimentación Ahumador	12 AWG
Circuito de control / Sensores / Alimentación panel HMI	18 AWG
Entradas/Salidas Analógicas	20 AWG (apantallado)
Control Ahumador / Electroválvulas / Actuadores rotativos	16 AWG

Un aspecto importante e imprescindible fue la asesoría y supervisión técnica brindada por la empresa INASEL Cía. Ltda., para el montaje y cableado del sistema, puesto que la experiencia impartida por los mismos facilitó el desenvolvimiento dentro del campo.

Figura 56

Inspección y Asesoramiento Equipo INASEL



Equipos Presentes en el Sistema

Tabla 7

Equipos Presentes en el Sistema.

Dispositivo	Marca	Modelo
Interruptor Automático Trifásico	SIMENS	3VM1220-4EE32-0AA0
Interruptor Automático	SIMENS	3RV2011-4AA10
Contactador de Potencia	SIMENS	3RT2023-1AN20
Interruptor de Corriente	SIMENS	5SL4205-7RC
Transformador de control	GE	9T58K2803
Fuente de Alimentación DC	SIMENS	6EP1333-3BA10
Controlador Lógico Programable	SIMENS	6ES7214-1AG40-0XB0
Módulo de E/S Digitales	SIMENS	6ES7223-1BL32-0XB0
Relés de interfaz	SIMENS	3RQ3118-1AB01
Módulo de Entradas Analógicas	SIMENS	6ES7231-4HF32-0XB0
Módulo de Salidas Analógicas	SIMENS	6ES7232-4HD32-0XB0
Módulo Switch	SIMENS	6GK7277-1AA10-0AA0
Panel de Operación HMI	SIMENS	6AV2123-2JB03-0AX0
Transmisor de Temperatura	SIMENS	7NG3211-0AN00-Z
Sensor de Temperatura	SIMENS	7MC7511-1EA12-9CA1
Variador de Frecuencia	LS Industrial	SV040 iG5A-4
Motor Asíncrono Trifásico	MOTELCA	MS112M - 2
Actuador Rotativo	BELIMO	LM230A
Válvula Solenoide	COVNA	HK08-25
Electroválvula Neumática	FESTO	MFH-3-1/4-S
Válvula de Asiento Inclinado	GENEBRE	5060N 08

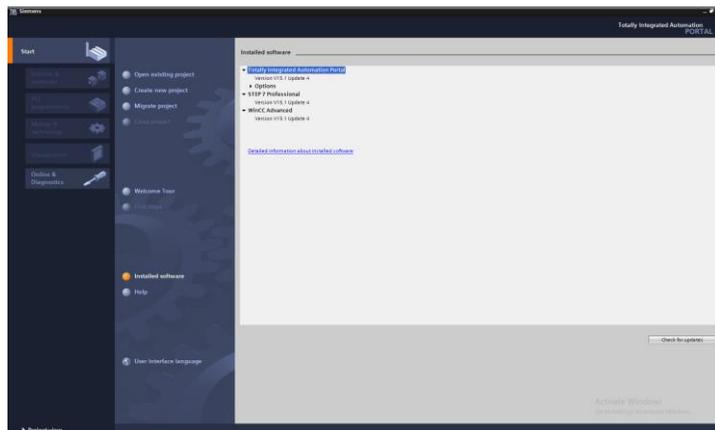
Nota: Las especificaciones de cada equipo en el sistema se detalla en el Anexo D.

Software de Programación

Los equipos de la marca Siemens tienen la ventaja de utilizar un solo software para la programación de sus dispositivos PLC o los paneles HMI. El software utilizado es el TIA PORTAL V15.1 el cual incluye los sistemas STEP7 Professional y WinCC Advanced. En la Figura 57 se muestra la ventana de inicio del programa.

Figura 57

Entorno del Software TIA PORTAL V15.1



Para realizar simulaciones tanto de la programación como la visualización del panel HMI se integra el programa S7-PLCSIM V15.1

El software de programación, también llamado STEP 7 Professional V15, tiene la capacidad de implementar sistemas utilizando controladores lógicos de la serie SIMATIC S7 y empleando lenguajes de programación según la norma DIN 61131-3 los cuales son:

- FBS: Diagrama de Funciones
- KOP: Diagrama de Contactos
- AWL: Lista de Instrucción

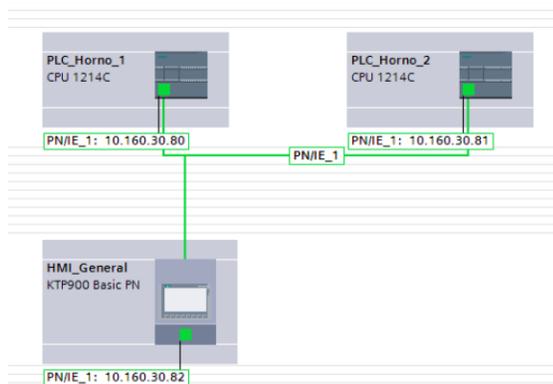
Para el desarrollo de la programación se utilizó el lenguaje de programación KOP o también conocido como Ladder o Tipo Escalera.

Configuración del PLC

La automatización de los dos hornos consta de dos controladores PLC S7-1200, modelo CPU 1214C DC/DC/DC y un panel de operador Basic Panel KTP900. Los tres dispositivos se encuentran en comunicación PROFINET a través de un switch industrial como se representa en la Figura 58 y en conexión con la red de la planta.

Figura 58

Configuración de la Interfaz en TIA PORTAL



El diseño de la programación se realizó con un PC portátil y el software ya mencionado. En la Tabla 8 se detalla las direcciones IP de los dispositivos.

Tabla 8

Direcciones IP de cada Dispositivo

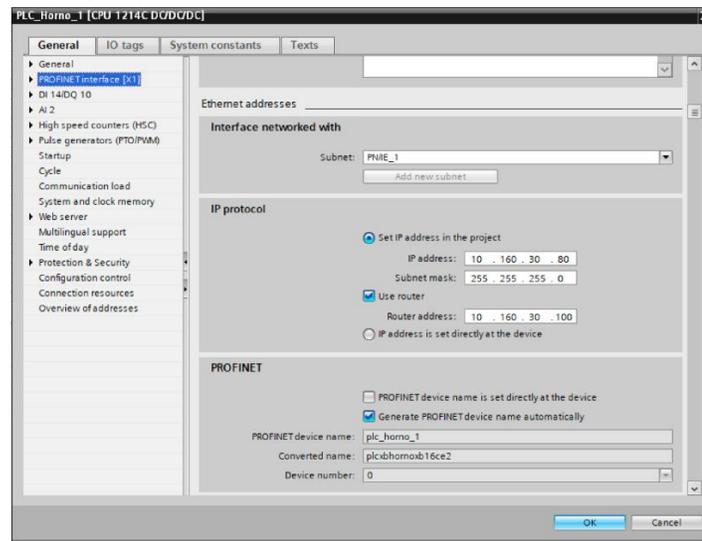
Dispositivo	Dirección IP
PLC_Horno_1	10.160.30.80
PLC_Horno_2	10.160.30.81
PANEL HMI	10.160.30.82
PC Portátil	10.160.30.83

Nota. Se configura para todos los dispositivos la máscara de subred: 255.255.255.0 y puerta de enlace 10.160.30.100

En la Figura 59 se visualiza la configuración de la interfaz PROFINET del PLC con los datos del protocolo IP asignados por la empresa para tener acceso a la red.

Figura 59

Configuración de la Interfaz PROFINET en TIA PORTAL



Programación

El PLC S7 1200 utiliza el software TIA PORTAL en el cual se realizó la programación del automatismo en lenguaje de Escalera para generar las rutinas y subrutinas para cumplir con la lógica de control establecida.

Programación Ladder

La programación en Ladder o Escalera en el software STEP7 permite organizar los procesos del automatismo mediante bloques de funciones y bloques de datos como se indica en la Figura 60.

Figura 60

Bloques de Funciones y Datos



Los bloques de organización OB se utilizan para el proceso principal Main al igual que la configuración de interrupciones mediante hardware o cíclicas necesarias para la lógica de programación.

Los bloques de funciones FB permiten el almacenamiento de valores de forma permanente en bloques de datos y permanecen disponibles para la ejecución del sistema. Dichos bloques se utilizan en los procesos de escalamiento y para el proceso automático.

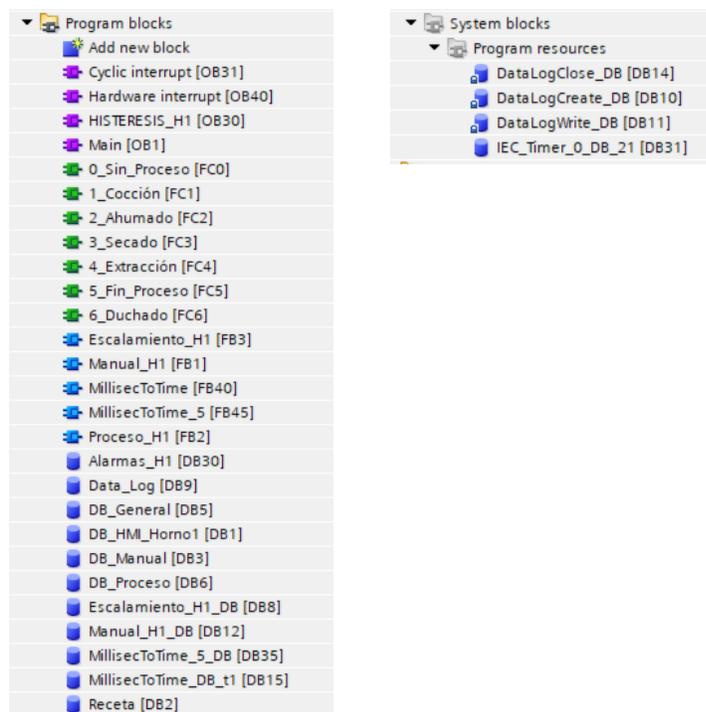
Los bloques de funciones FC se utiliza para la configuración de subrutinas del programa principal sin un almacenamiento en la memoria del PLC dedicada. Se utiliza para los procesos que realiza el horno donde se activan o desactivan los actuadores.

Los bloques de datos DB permiten almacenar los datos del programa y se utiliza para la configuración los valores de la receta cargada para la marcha automática del sistema y los datos que son dirigidos al panel HMI.

En la Figura 61 se precisa el árbol de bloques utilizados en el programa. Cabe indicar que los dos PLC utilizan la misma programación, pero con las variables identificadas como H1 o H2.

Figura 61

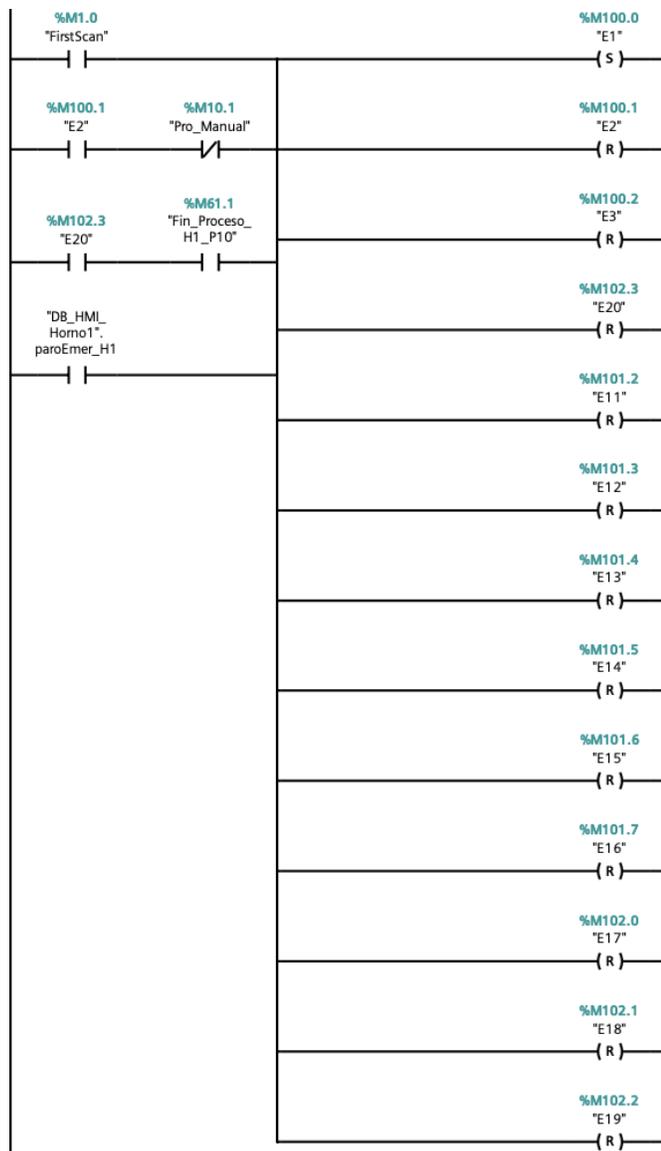
Bloques de Funciones y Datos del Programa



Bloque Main [OB1]. Al energizar el sistema, los hornos permanecen en la Etapa inicial E1 como se muestra en la Figura 62 hasta que el operador realice un cambio a un modo ya sea manual o automático.

Figura 62

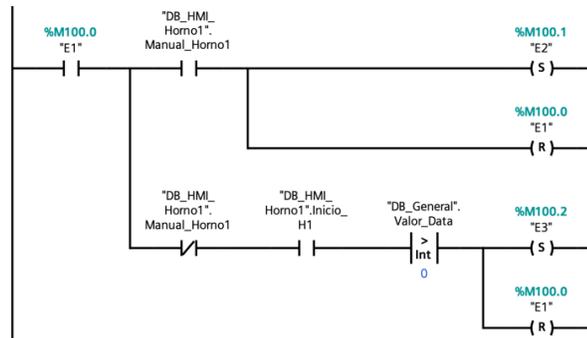
Etapa de Inicio del Sistema



A partir del estado inicial el operador puede realizar un proceso manual o automático activando los estados E2 y E3 respectivamente como se muestra en la Figura 63, utilizando la interfaz HMI.

Figura 63

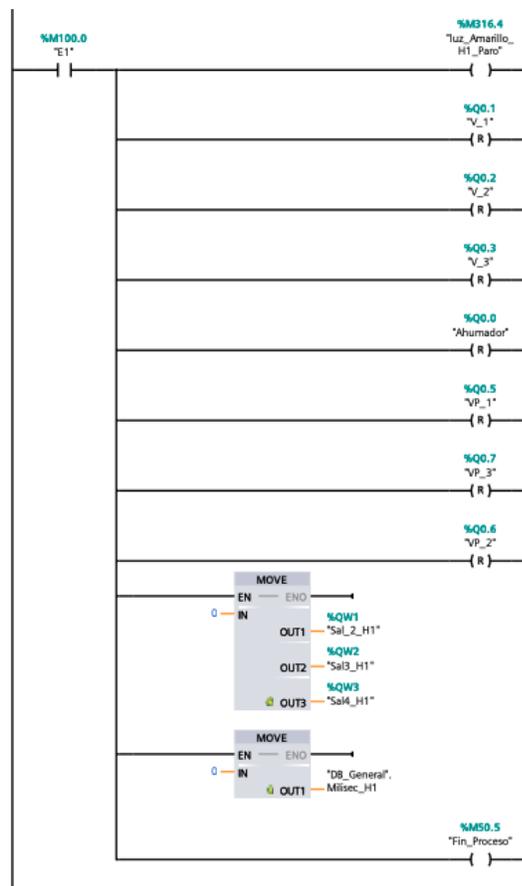
Etapa de Espera para un Control Manual o Automático



El Estado 1 como se muestra en la Figura 64, acciona la baliza de color amarillo que indica el estado de paro y todos los actuadores se encuentran desactivados al igual que se envía valores de 0 al interfaz HMI.

Figura 64

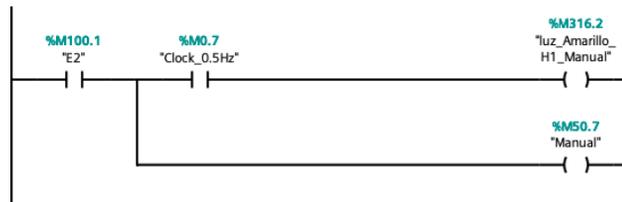
Salida del Estado 1



El Estado 2 activa el proceso manual del sistema y la activación de la baliza amarilla intermitente como se muestra en la Figura 65.

Figura 65

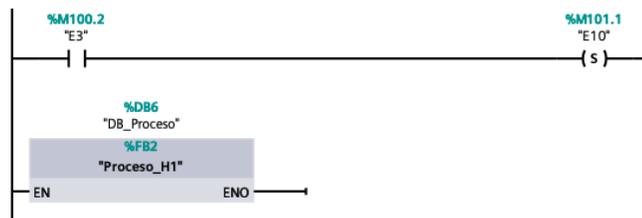
Salida del Estado 2



El Estado 3 que se muestra en la Figura 66 da paso a la subrutina de Proceso la cual da inicio el modo automático del sistema.

Figura 66

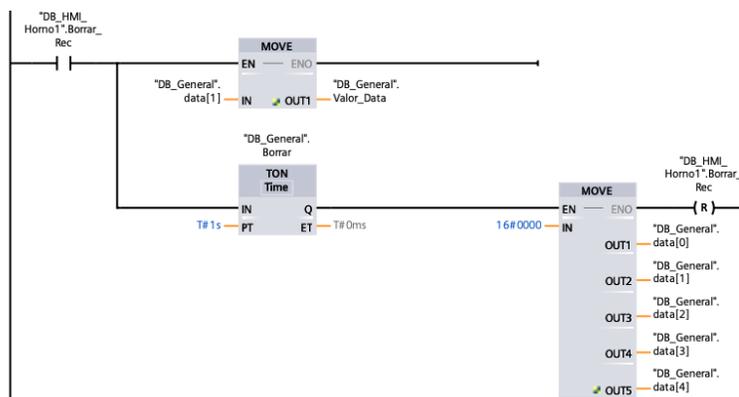
Salida del Estado 3



Al finalizar un proceso automático los valores cargados de la receta son eliminados para no generar errores futuros como se muestra en la Figura 67.

Figura 67

Puesta en Cero al Finalizar el Proceso Automático



El encendido de los ahumadores se encuentra siempre activo como se muestra en la Figura 68, por un contacto del PLC listo para ingresar humo cuando el proceso de ahumado sea configurado.

Figura 68

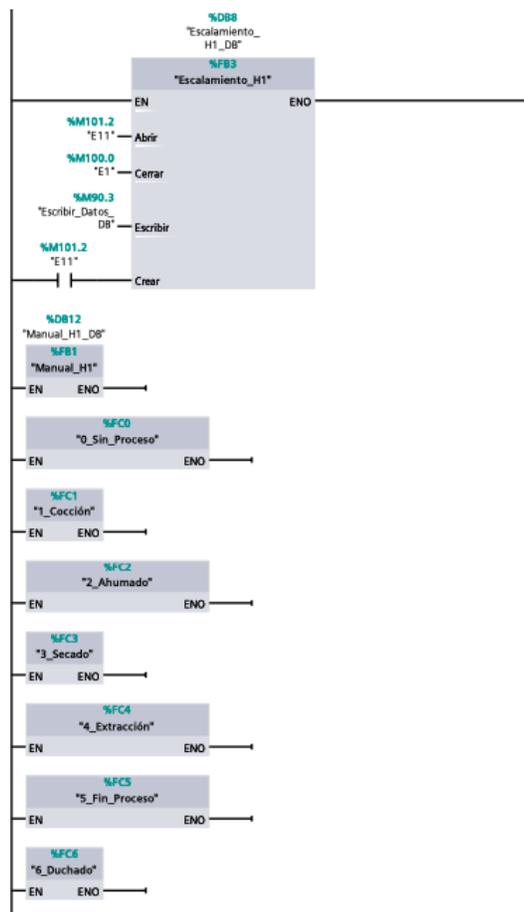
Encendido del Generador de Humo o Ahumador



Las subrutinas del sistema se encuentran activas en el programa principal y son iniciadas por la variable según el proceso a realizar en forma automática como se muestra en la Figura 69.

Figura 69

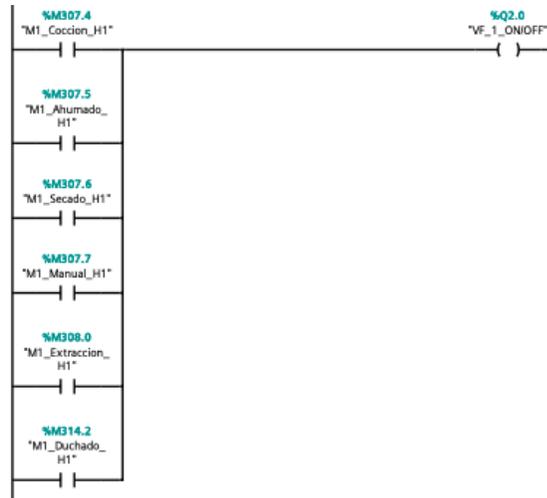
Subrutinas Activas en el Programa Principal "Main"



A continuación, desde la Figura 70 hasta la Figura 80 se muestran los contactos de activación de cada uno de los actuadores como los son las válvulas, los motores y las balizas.

Figura 70

Variables de Activación del Variador de Frecuencia VF_1



Nota. Los variadores de frecuencia VF_2, VF_3 y VF_4 se activan de igual manera con las variables correspondientes.

Figura 71

Variables de Activación de la Válvula Neumática V_1 Para el Ingreso de Vapor Directo

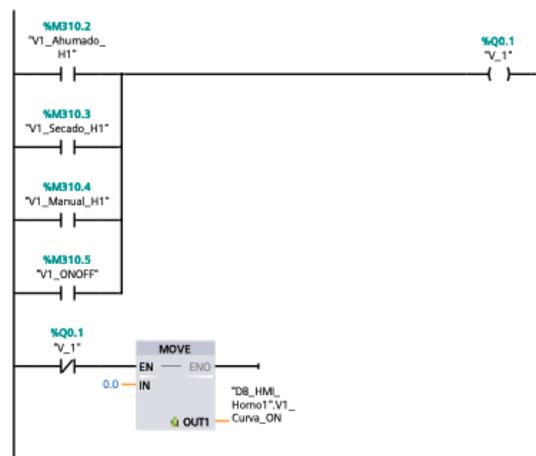


Figura 72

Variables de Activación de la Válvula Neumática V_2 Para el Ingreso de Vapor al Serpentín

**Figura 73**

Variables de Activación de la Válvula Neumática V_3 Para el Ingreso de Agua Fría a las Cabinas

**Figura 74**

Variables de Activación de Actuador VP_1 Para la Extracción del Aire de la Cabina

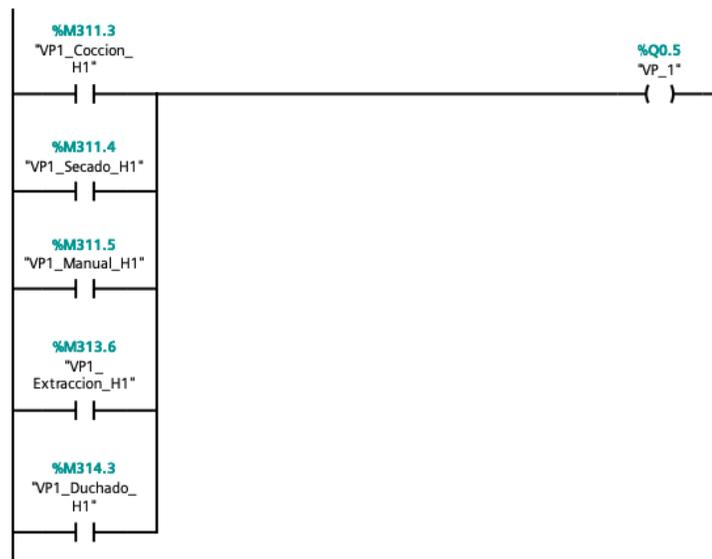
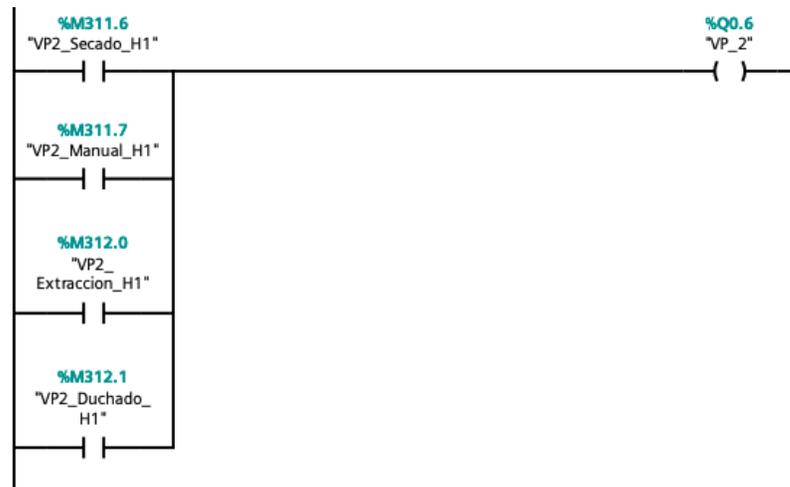


Figura 75

Variables de Activación de Actuator VP_2 Para la Entrada de Aire Fresco a la Cabina

**Figura 76**

Variables de Activación de Actuator VP_3 Para el Ingreso de Humo a la Cabina

**Figura 77**

Variables de Activación la Generación de Humo por los Ahumadores.



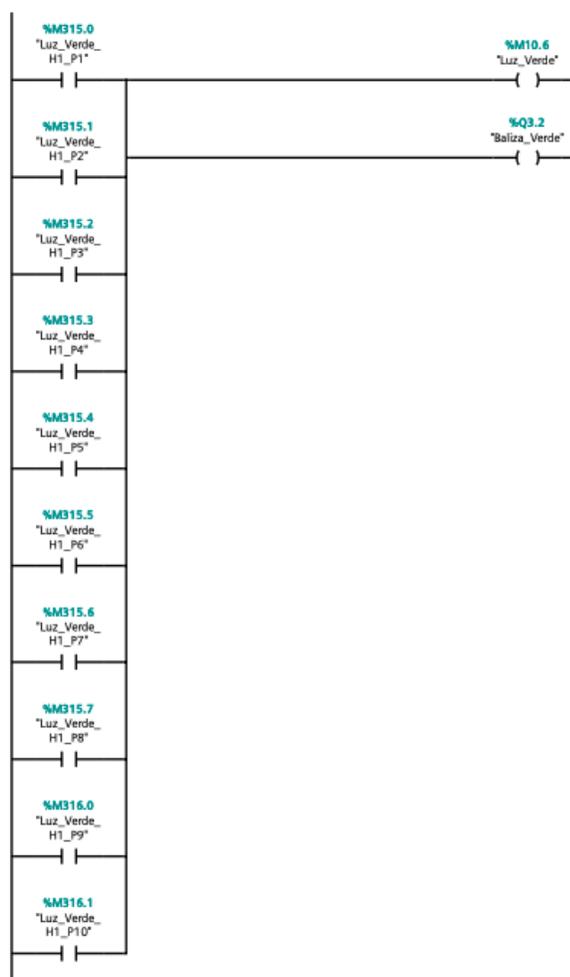
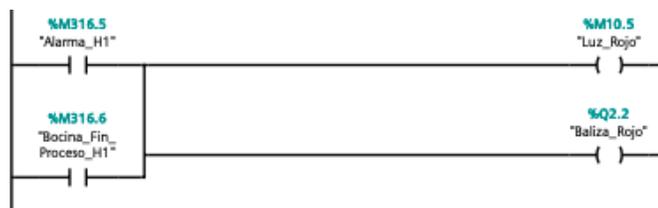
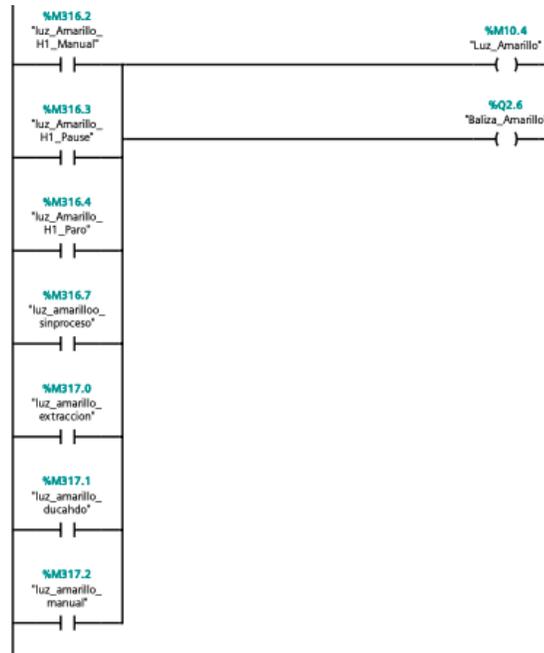
Figura 78*Variables de Activación de la Baliza Verde***Figura 79***Variables de Activación de la Baliza Roja*

Figura 80

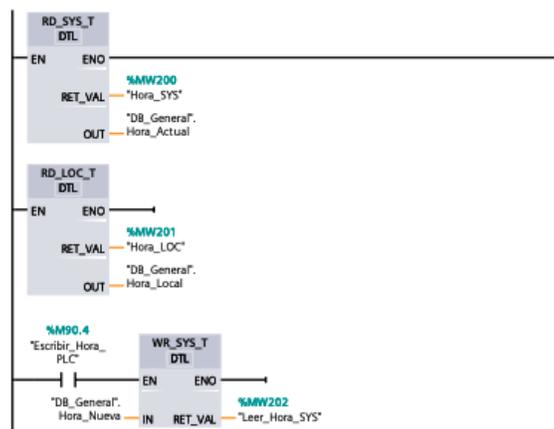
Variables de Activación de la Baliza Amarilla



Para sincronizar la hora y fecha actual entre en PLC y el Panel HMI como se muestra en la Figura 81 se realiza la siguiente configuración utilizando los bloques de funciones extendidas Read time-of-day, Read local time y Write local time, los cuales sirven para leer la hora que se configura en el panel HMI y escribir en el autómata para mantener la hora local GMT-5.

Figura 81

Bloques de Funciones y Datos del Programa



Hardware Interrupt [OB40]. La seguridad del sistema se configura con una interrupción mediante hardware como se muestra en la Figura 82 que hace referencia a un botón físico en el gabinete el cual permite detener todo el sistema si se produjese un estado de emergencia en los procesos al igual que las alarmas configuradas mediante el estado de los motores o una lectura de temperatura alta que pondría en riesgo al operador.

Figura 82

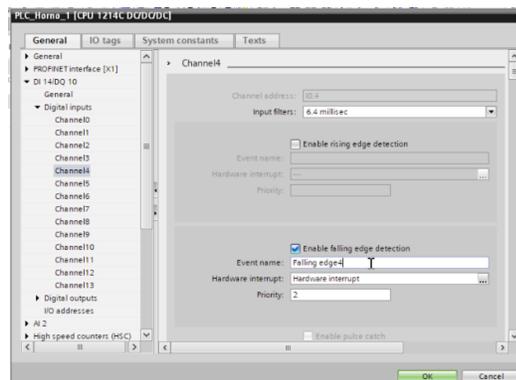
Configuración del Bloque de Interrupción por Hardware



La entrada digital del PLC se configura para el botón de Paro_Emergencia con un nivel de prioridad máxima asignada al bloque de interrupción OB40 como se muestra en la Figura 83.

Figura 83

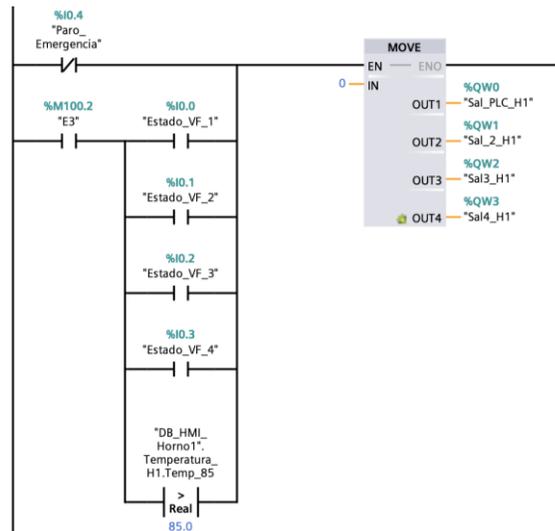
Configuración del Canal 4 del PLC Como Interrupción en Flanco Descendente.



En la Figura 84 se muestra la programación de la interrupción mediante hardware deteniendo todos los actuadores del sistema.

Figura 84

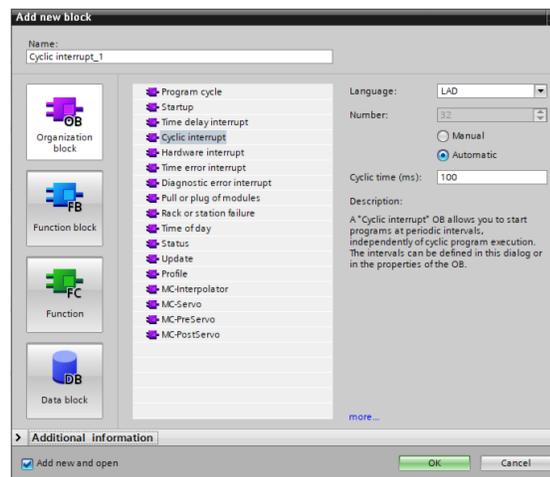
Programación del Paro de Emergencia del Sistema



Cyclic Interrupt [OB31]. Para la lectura de los sensores PT100 y tener un ciclo de adquisición más lento se configura una interrupción cíclica de 5000 ms como complemento al ciclo de adquisición del canal del módulo analógico del PLC como se muestra en la Figura 85.

Figura 85

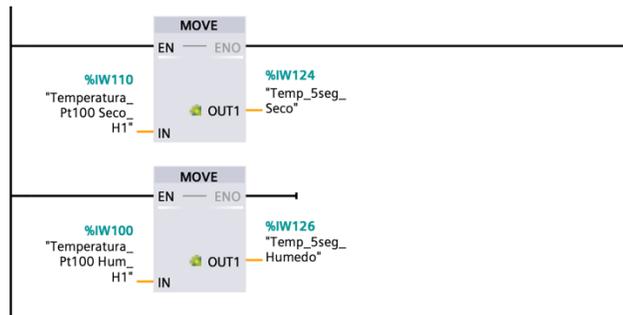
Configuración Bloque de Interrupción Cíclica



En la Figura 86 se muestra la lectura de los dos sensores de temperatura y son enviados a otra variable auxiliar de la subrutina de escalamiento.

Figura 86

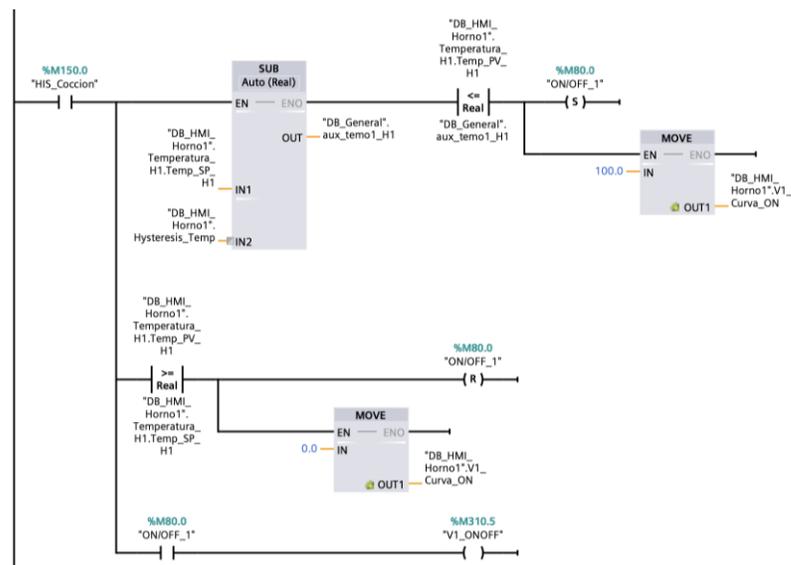
Bloque de Interrupción Cíclica Para la Lectura de los Sensores Análogos



Histéresis [OB31]. Para la rutina de control ON/OFF con Histéresis se configura otro bloque de interrupción cíclico. En la Figura 87 se muestra el proceso de activación de las válvulas correspondientes al control de temperatura con un rango de histéresis de 3 grados centígrados. El rango de histéresis puede ser modificado a través de la interfaz HMI.

Figura 87

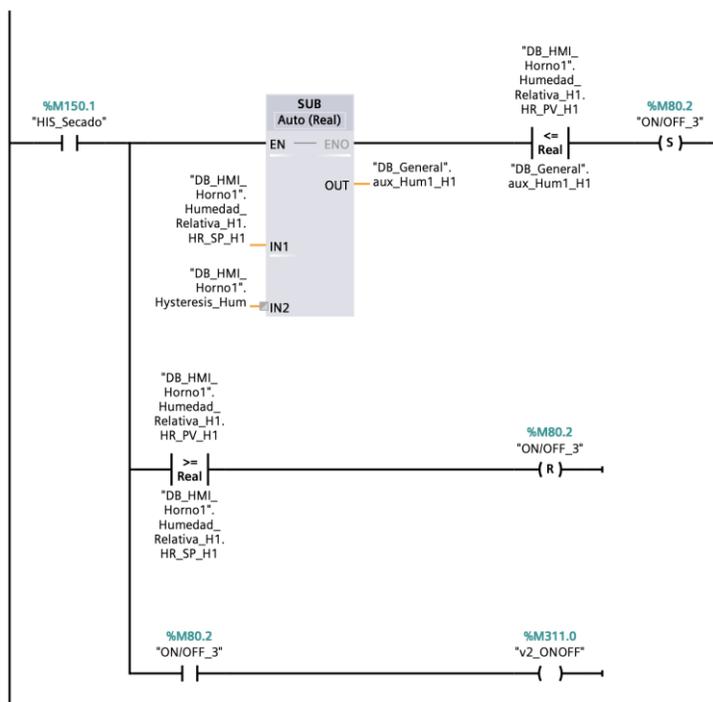
Programación del control ON/OFF con Histéresis para la Cocción en Función a la Temperatura



En la Figura 88 se muestra el control de humedad relativa con un rango de histéresis predeterminado con variación de 3 % y puede ser configurado mediante el panel HMI.

Figura 88

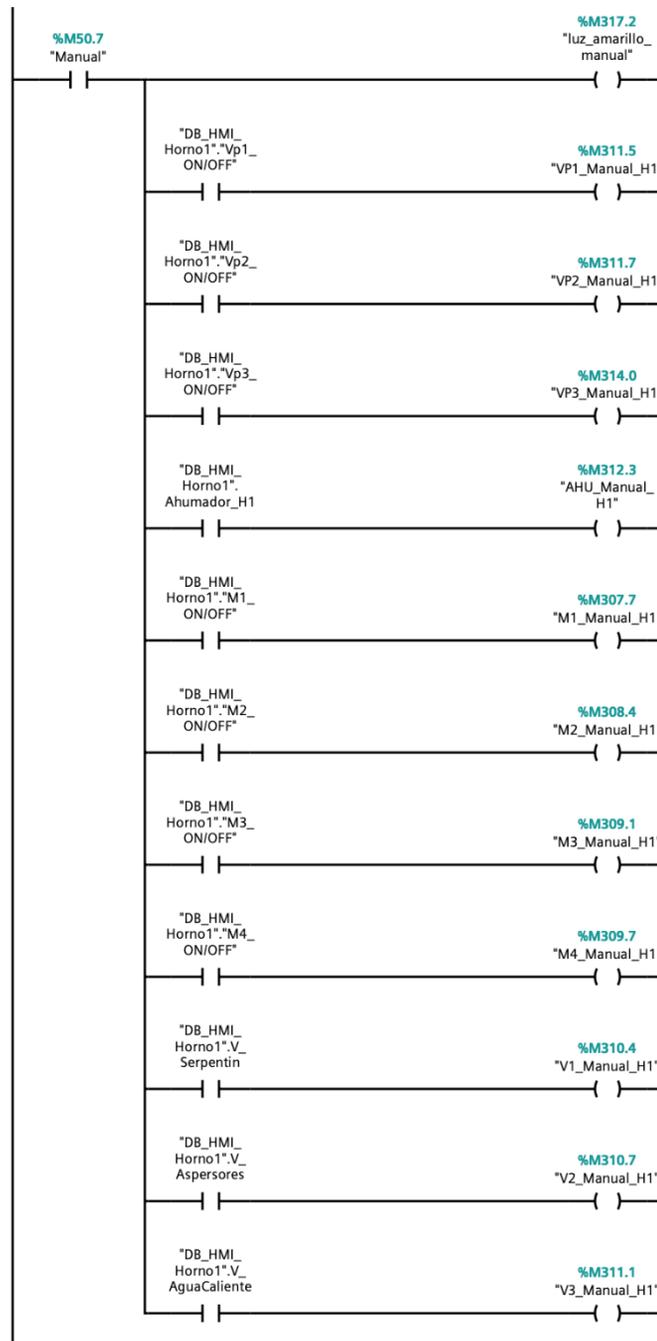
Programación del Control ON/OFF con Histéresis para el Secado en Función a la Humedad Relativa



Manual [FB1]. La subrutina del proceso manual permite la activación y desactivación de cada uno de los actuadores independientemente según el técnico lo requiera como se muestra en la Figura 89. Se activa dicho estado desde el panel HMI y no puede ser activado mientras se encuentre en un proceso automático al igual que un proceso automático no puede ser activado si el control manual se encuentra en funcionamiento.

Figura 89

Variables de Activación de los Actuadores en Modo Manual



Escalamiento [FB3]. La subrutina de escalamiento realiza la normalización de las lecturas análogas de los sensores y el escalamiento a los rangos de temperatura asignados como se muestra Figura 90 y Figura 91 respectivamente.

Figura 90

Normalización y Escalamiento de la Lectura de Temperatura (Bulbo Seco)

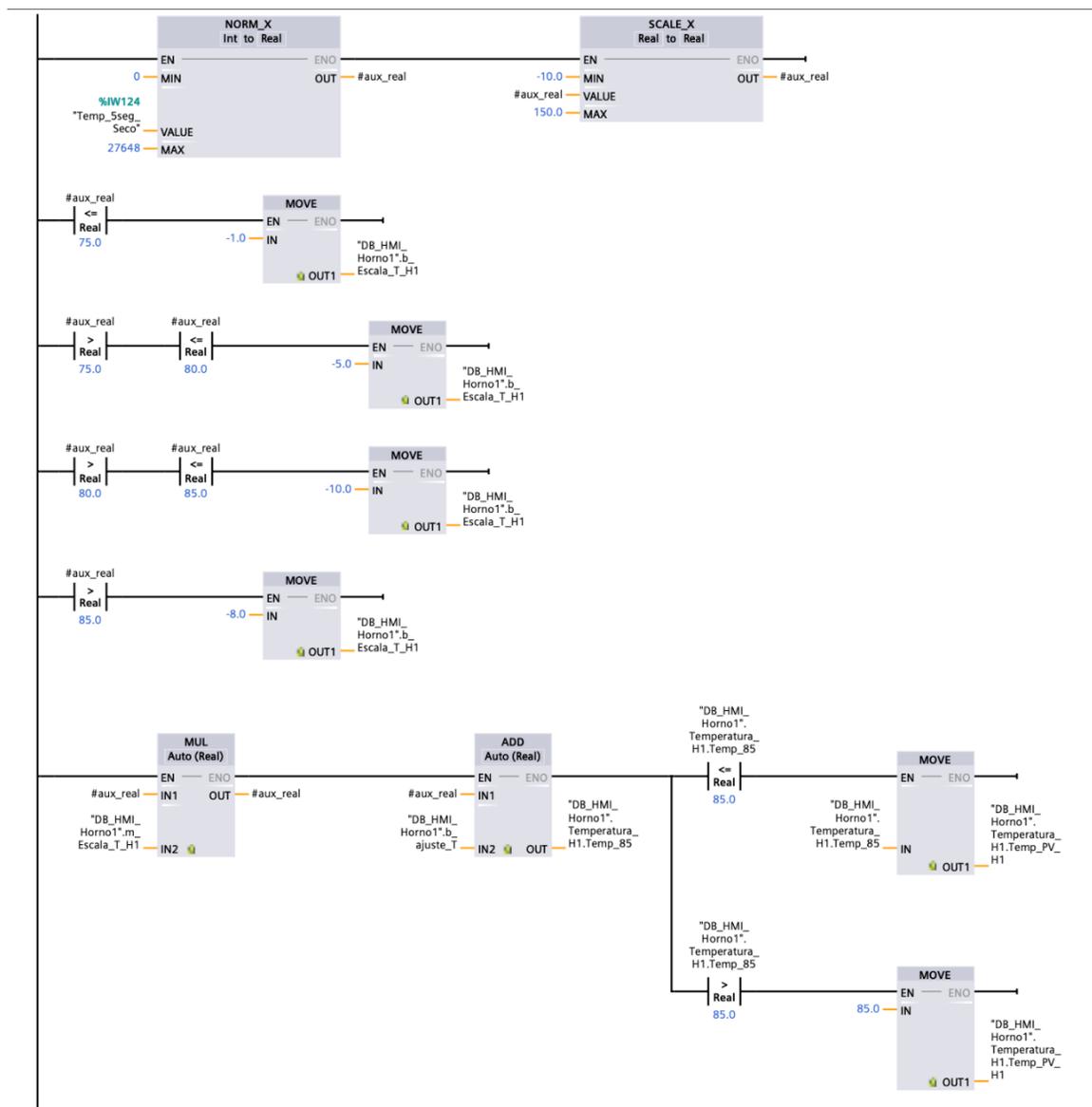
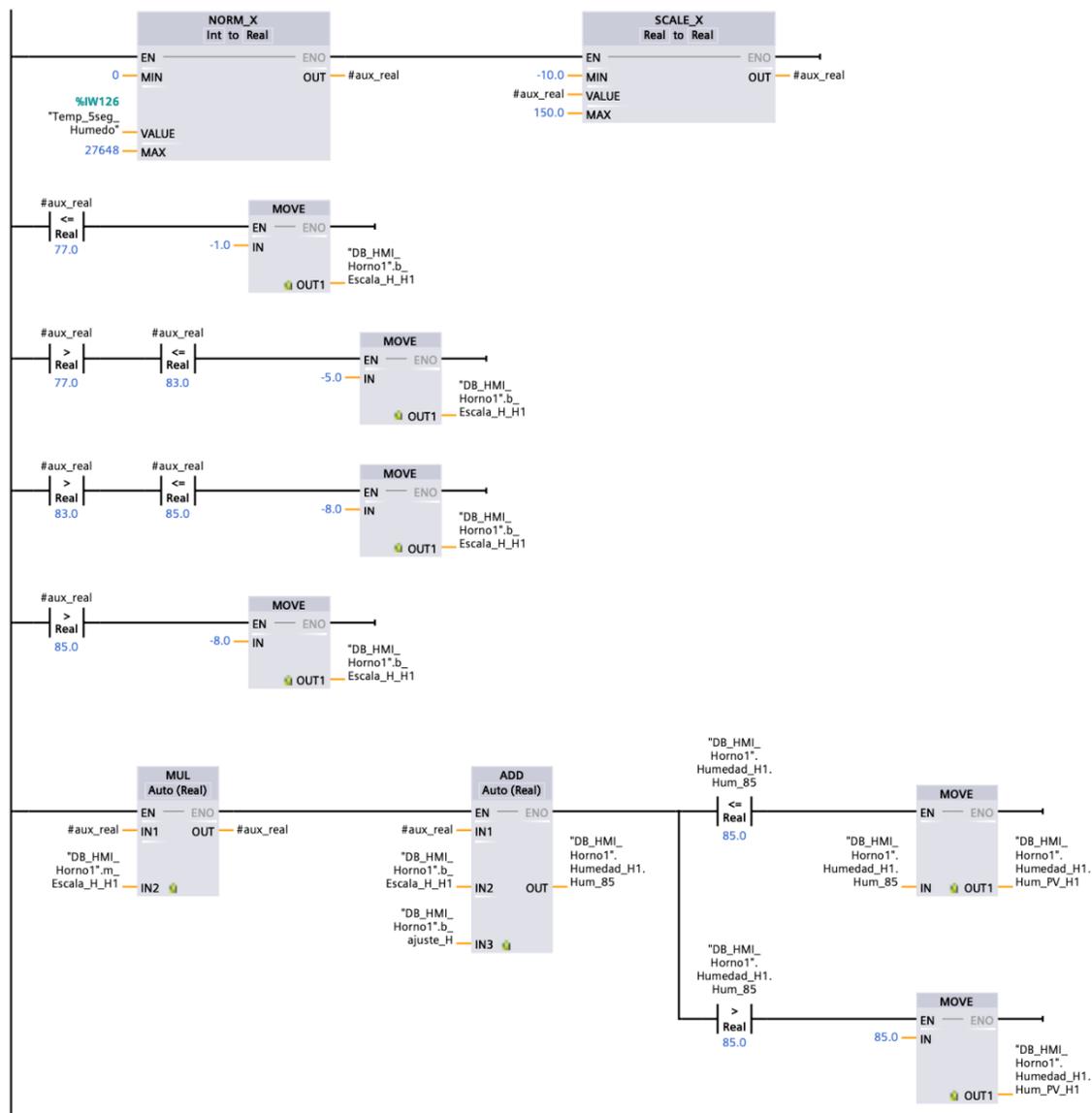


Figura 91

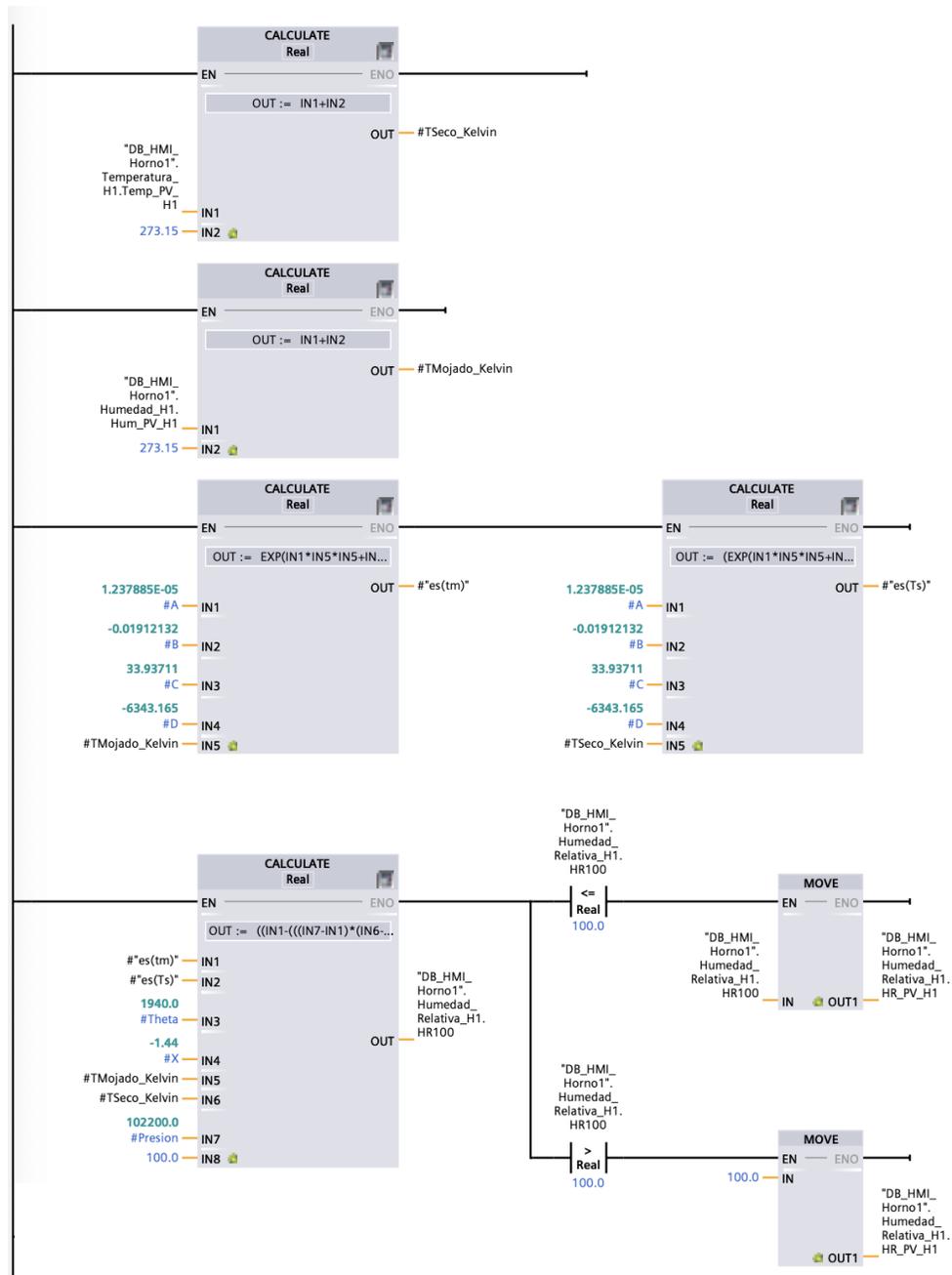
Normalización y Escalamiento de la Lectura de Temperatura (Bulbo Húmedo)



Para el cálculo de la humedad relativa se utilizan las ecuaciones (1),(2) y (3) con los valores de las constantes almacenadas en la función y la lectura de los dos sensores de temperatura como se muestra en la Figura 92.

Figura 92

Cálculo de Humedad Relativa



Una de las funciones que integra el proceso es la creación de archivos mediante el servidor web que se incluye en el PLC. Para monitoreo de los procesos que requiere el Administrador del Sistema se crea archivos a través de los bloques de

Instrucciones Extendidas en la carpeta Recipe and Data Logging como se muestra en la Figura 93.

Figura 93

Instrucciones Extendidas para la Creación de Data Logging

Extended instructions		
Name	Description	Version
▶ Diagnostics		V1.7
▶ Pulse		V1.1
▼ Recipe and data logging		V1.3
Recipe functions		
▶ RecipeExport	Exporting recipes	V1.2
▶ RecipeImport	Importing recipes	V1.2
Data Logging		
▶ DataLogCreate	Create data log	V1.0
▶ DataLogOpen	Open data log	V1.1
▶ DataLogWrite	Write data log	V1.0
▶ DataLogClear	Empty data log	V1.1
▶ DataLogClose	Close data log	V1.0
▶ DataLogDelete	Delete data log	V1.1
▶ DataLogNewFile	Data log in new file	V1.1
▶ Data block control		V1.3
▶ Addressing		V1.3

Con los bloques mencionados se crean los archivos y se almacenan en la memoria interna del PLC como se muestra en la Figura 94 para su posterior descarga mediante una PC conectada a la misma interfaz de red.

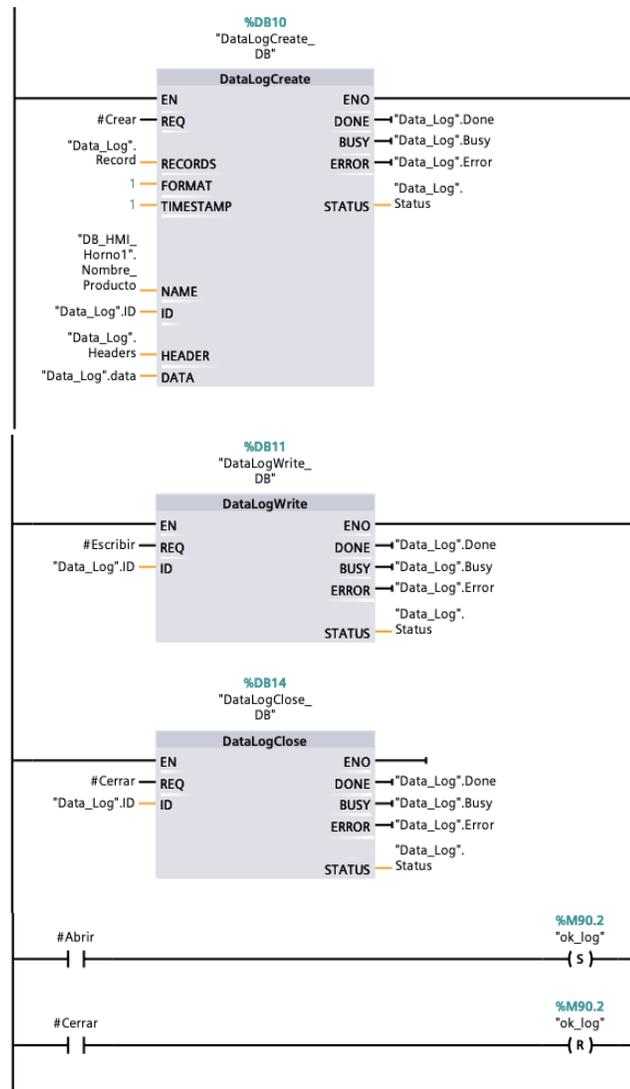
Las funciones de data Logging utilizadas permiten:

- La función Create crea un archivo nuevo con el nombre de la receta asignada.
- La función Write se escriben los datos en el archivo creado.
- La función Close cierra el archivo una vez finalizado el proceso.

Los datos almacenados en los archivos creados se los descarga ingresando al servidor web de los autómatas.

Figura 94

Bloques de Funciones para la Creación y Escritura de un DataLog



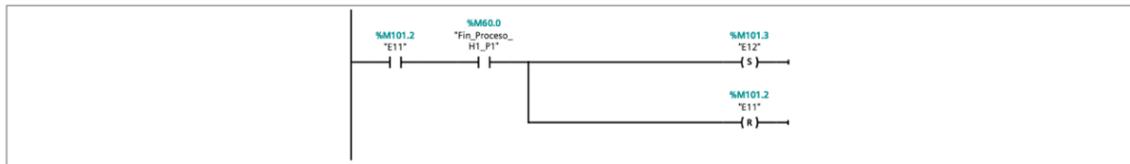
Proceso [FB2]. En el bloque de función Proceso se encuentra la marcha automática de los hornos que consta de máximo 10 pasos como se muestra en la Figura 95 y en cada uno se almacena los datos de la receta cargada para la marcha automática.

Figura 95*Proceso Automático del Sistema*

Paso 1

**Network 2:**

Paso 2



Nota. El programa realiza todos los pasos del 1 al 10 secuencialmente

La salida de cada paso consta de la misma configuración donde se cargan los valores de la receta y realiza el proceso asignado durante el tiempo establecido. Es posible activar la variable de Pause según la necesidad del operador y con la variable inicio continua con el tiempo restante del proceso donde se detuvo. Anexo E

MillisecToTime [FB40]. Este bloque de función se encuentra escrito en lenguaje SCL basado en texto, el cual permite la conversión del tiempo de milisegundos a segundos, minutos, horas y días.

Dicho bloque pertenece a una librería configurada para la implementación como librería de acceso libre para ser utilizada en el entorno de programación. (SIEMENS, 2016) Anexo F

Alarmas [DB30]. El sistema cuenta alarmas de estado cuando exista un error en la activación de los motores o si la lectura de temperatura se encuentra fuera del rango permitido. En la Figura 96 se muestran las variables que se utilizan en la programación para la activación del estado de emergencia.

Figura 96

Bloque de Datos de Configuración de Variables para las Alarmas del Sistema

Alarmas_H1								
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Estado_M1_H1	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Estado_M2_H1	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Estado_M3_H1	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Estado_M4_H1	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Manual_H1	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Temperatura_Alta_H1	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Data_Log [DB9]. En este bloque de datos se configura las variables utilizadas para la creación de los archivos .csv del servidor web como se muestra en la Figura 97.

Figura 97

Bloque de Datos de Configuración de Variables del DataLog

Data_Log								
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Record	UDInt	200	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Nombre	String	'Logging'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	ID	DWord	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Headers	String	'Temp_Seco_SET,Temp_Se...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	data	Struct		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	SP_Temp_Seco	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	real_temp_seco	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	SP_Temp_Hum	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	real_temp_hum	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	SP_Hum	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	real_hum	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	Done	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Busy	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	Error	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	Status	Word	16#0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Escalamiento [DB8]. En este bloque de datos se configura las variables utilizadas en las funciones de escalamiento y normalización como variables estáticas como se muestra en la Figura 98 dentro de la rutina.

Figura 98

Bloque de Datos de Configuración de Variables del Escalamiento

Escalamiento_H1_DB							
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...
1	Input						
2	Abrir	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Cerrar	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Escribir	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Crear	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Output						
7	InOut						
8	Static						
9	m_mezcladora	Real	1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	b_mezcladora	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	m_intercambiador	Real	1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	b_intercambiador	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	TSeco_Kelvin	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	TMojado_Kelvin	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	es(tm)	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	es(Ts)	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	eDry	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	eWet	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	aux_HR	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Receta [DB2]. En este bloque de datos que se muestra en la Figura 99 se configura las variables utilizadas en la interfaz HMI para ingresar las recetas y posteriormente cargar en el programa para el funcionamiento automático de los procesos.

Figura 99

Bloque de Datos de Configuración de la Receta

Receta							
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...
1	Static						
2	Nombre_Receta_1	String	"	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Paso_1	Int	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	P1_Temp	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	P1_Temp_N	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	P1_Hum	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	P1_Horas	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	P1_Minutos	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	P1_Segundos	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	P1_Proceso	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Paso_2	Int	2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	P2_Temp	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	P2_Temp_N	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	P2_Hum	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	P2_Horas	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	P2_Minutos	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	P2_Segundos	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	P2_Proceso	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

DB_General [DB5]. En este bloque de datos se configura las variables utilizadas en todos los bloques de funciones para facilitar el acceso sin generar otras variables con marcas de memoria del PLC. Los datos son de tipo String, Word, Real, DInt y IEC_TIMER como se indica en la Figura 100.

Figura 100

Bloque de Datos General

DB_General							
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...
1	Static						
2	Static_3	IEC_TIMER					
3	data	Array[0..4] of Word					
4	Valor_Data	Word	16#0				
5	T_Paso_1	IEC_TIMER					
6	T_Paso_2	IEC_TIMER					
7	T_Paso_3	IEC_TIMER					
8	T_Paso_4	IEC_TIMER					
9	T_Paso_5	IEC_TIMER					
10	T_Paso_6	IEC_TIMER					
11	T_Paso_7	IEC_TIMER					
12	T_Paso_8	IEC_TIMER					
13	T_Paso_9	IEC_TIMER					
14	T_Paso_10	IEC_TIMER					
15	T_Marcha	IEC_TIMER					
16	Borrar	IEC_TIMER					
17	Espera_Coccion	IEC_TIMER					
18	cuenta_productos	IEC_COUNTER					
19	Hora_Actual	DTL	DTL# 1970-01-01-4				
20	Hora_Local	DTL	DTL# 1970-01-01-4				
21	Hora_Nueva	DTL	DTL# 1970-01-01-4				
22	Dia	String	"				
23	Mes	String	"				
24	Year	String	"				
25	Hora	String	"				
26	Minuto	String	"				
27	DiaMes	String	"				
28	DiaMesA	String	"				
29	HoraMin	String	"				
30	Fecha_Total	String	"				
31	Data_Log_Fecha	String	"				

DB_HMI [DB1]. En este bloque de datos se establece las variables empleadas en el programa y son utilizadas tanto por el PLC como por el HMI. Algunas variables son almacenadas en la memoria interna del PLC y su valor no se modifica al quitar la alimentación del sistema.

Figura 101

Bloque de Datos de la HMI

DB_HMI_Horno1							
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...
25	Humedad_H1	Struct					
26	S_Resante_H1	Dint	0				
27	M_Resante_H1	Dint	0				
28	H_Resante_H1	Dint	0				
29	M_Set_H1	Dint	0				
30	M_Reset_H1	Dint	0				
31	H_Set_H1	Dint	0				
32	H_Reset_H1	Dint	0				
33	S_Set_H1	Dint	0				
34	S_Reset_H1	Dint	0				
35	Ahumador_H1	Bool	false				
36	Humedad_Relativa_H1	Struct					
37	HR_PV_H1	Real	0.0				
38	HR100	Real	0.0				
39	HR_SP_H1	Real	0.0				
40	HR_OUT_H1	Real	0.0				
41	paroEmer_H1	Bool	False				
42	m_Escala_T_H1	Real	1.0				
43	m_Escala_H_H1	Real	1.0				
44	b_Escala_T_H1	Real	-2.3				
45	b_Escala_H_H1	Real	-3.1				
46	b_ajuste_T	Real	0.0				
47	b_ajuste_H	Real	0.0				
48	Pause_H1	Bool	false				
49	V1_Curva_ON	Real	0.0				
50	V1_Curva_OFF	Real	0.0				
51	Hysteresis_Temp	Int	2				
52	Hysteresis_Hum	Int	2				
53	encerrar_mili	Bool	false				
54	Saltar_Pasos	Bool	false				

En la Figura 101 se muestran los tipos de variables del bloque de datos utilizadas para todos los procesos y en referencia cruzada con el panel HMI.

Implementación del HMI (Interfaz Humano Máquina)

La utilización de la pantalla KTP 900 de Siemens permite el diseño de las ventanas de navegación en el mismo software de programación TIA PORTAL y contemplando las recomendaciones de la Norma Internacional ANSI/ISA 101 se realizó la interfaz Humano Máquina.

Diseño y descripción de las Ventanas

Ventana Principal. Al iniciar el sistema, la ventana principal que se muestra en la Figura 102, contiene el menú de navegación para dirigirse a las demás ventanas, el logo de la empresa, inicio o cierre de sesión y la fecha y hora del sistema.

Las teclas de funciones no se encuentran configuradas.

Figura 102

Ventana Principal



Ventana de Estado de los dos Hornos. Se visualiza en la parte superior de la Figura 103 el modo de funcionamiento de los hornos a través de la representación de las balizas físicas indicando al operador en qué estado se encuentra cada horno.

En la parte inferior se observa el estado de los actuadores ya sean las válvulas o los motores. Los iconos se describen en la Tabla 9 .

Figura 103

Ventana de Estado de los dos Hornos

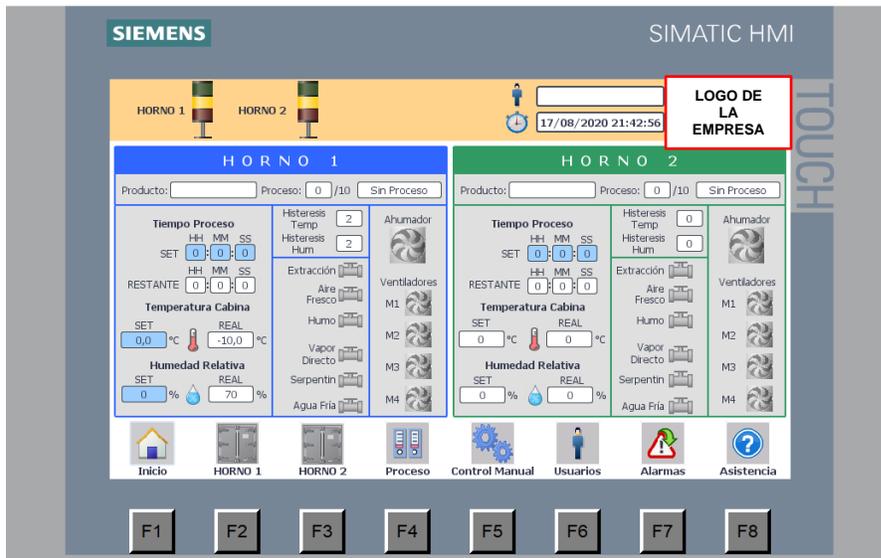


Tabla 9

Descripción de la Representación de las Balizas y Actuadores

Ícono	Descripción
	Baliza Roja y Bocina. Estado Emergencia o Fin Proceso
	Baliza Verde. Proceso en modo automático
	Baliza Amarilla. Proceso en modo manual
	Válvula en estado ON

Ícono	Descripción
	Válvula en estado OFF
	Motor en estado ON
	Motor en estado OFF

Los iconos que se encuentran en la parte inferior de la pantalla son botones de navegación que dirigen a las demás ventanas como se indica en la Tabla 10.

Tabla 10

Descripción de los Iconos de Navegación

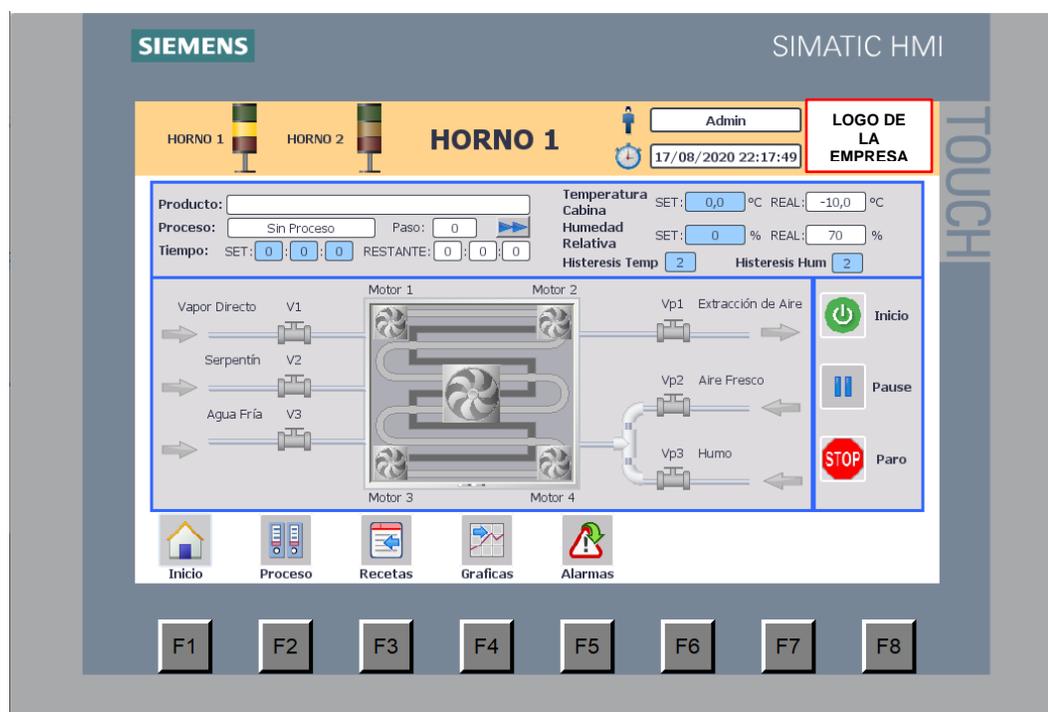
Ícono	Tecla	Función
 Inicio	F1	Botón para dirigirse al menú principal
 HORNO 1	F2	Botón para dirigirse al proceso actual del Horno 1
 HORNO 2	F3	Botón para dirigirse al proceso actual del Horno 2
 Proceso	F4	Ventana Actual
 Config. Manual	F5	Botón para ingresar a la Ventana de Configuración Manual
 Usuarios	F6	Botón para ingresar a la ventana de Administración de Usuarios
 Alarmas	F7	Botón para ingresar a la ventana de Alarmas del Sistema
 Asistencia	F8	Botón para Ingresar a la ventana de Asistencia

Ventana de Estado del Horno 1 o 2. La ventana de estado que se visualiza en la Figura 104 indica los detalles del Horno 1 o del Horno 2. En dicha ventana se visualizan todas las funciones disponibles para la marcha en modo automático de cada horno una vez cargada una receta por parte del operador.

Se muestra el nombre del producto o receta, el proceso que realiza, en que paso se encuentra, el tiempo configurado y el restante, el estado de cada uno de los actuadores, los valores de temperatura y humedad relativa reales y configurados y la histéresis configurada respectivamente.

Figura 104

Ventana de Estado del Horno 1 o 2



Los botones disponibles en la pantalla permiten el inicio, pause y parada del modo automático, una función rápida para saltar al siguiente paso de la receta si el operador lo requiere y los botones de navegación. En la Tabla 11 se detalla la función de cada botón.

Tabla 11

Descripción de los Iconos de Navegación y Proceso

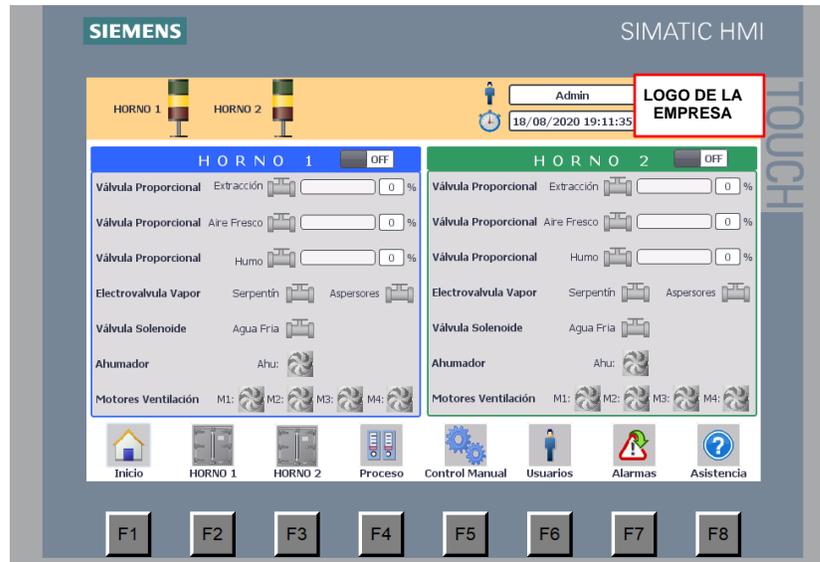
Ícono	Tecla	Función
 Inicio	F1	Botón para dirigirse a la ventana PRINCIPAL
 Proceso	F2	Botón para dirigirse al proceso actual de los dos hornos
 Recetas	F3	Botón para ingresar a la ventana de recetas del horno 1
 Graficas	F4	Botón para visualizar graficas del proceso
 Alarmas	F5	Botón para visualizar alarmas presentes en el proceso
 Inicio		Botón para iniciar el proceso automático
 Pause		Botón para pausar el proceso
 Paro		Botón para detener todo el proceso del horno 1
		Botón para saltar al siguiente paso de la receta

Ventana de Control Manual. El administrador del sistema puede activar o desactivar las válvulas y las turbinas de los hornos manualmente y realizar el control del sistema sin necesidad de utilizar una receta específica.

Se activa mediante los botones ON/OFF y se realiza la activación y desactivación de los actuadores. En el estado de OFF no se activa ningún actuador y se debe colocar en dicho estado para volver a iniciar cualquier proceso automático como se indica en la Figura 105.

Figura 105

Ventana de Estado de Control Manual



Ventana de Recetas. El ingreso de recetas lo realiza el administrador del sistema para dar inicio a un proceso automático, En la Figura 106 se visualiza la pantalla para configurar la receta.

Figura 106

Ventana de Configuración o Carga de las Recetas



Tabla 12

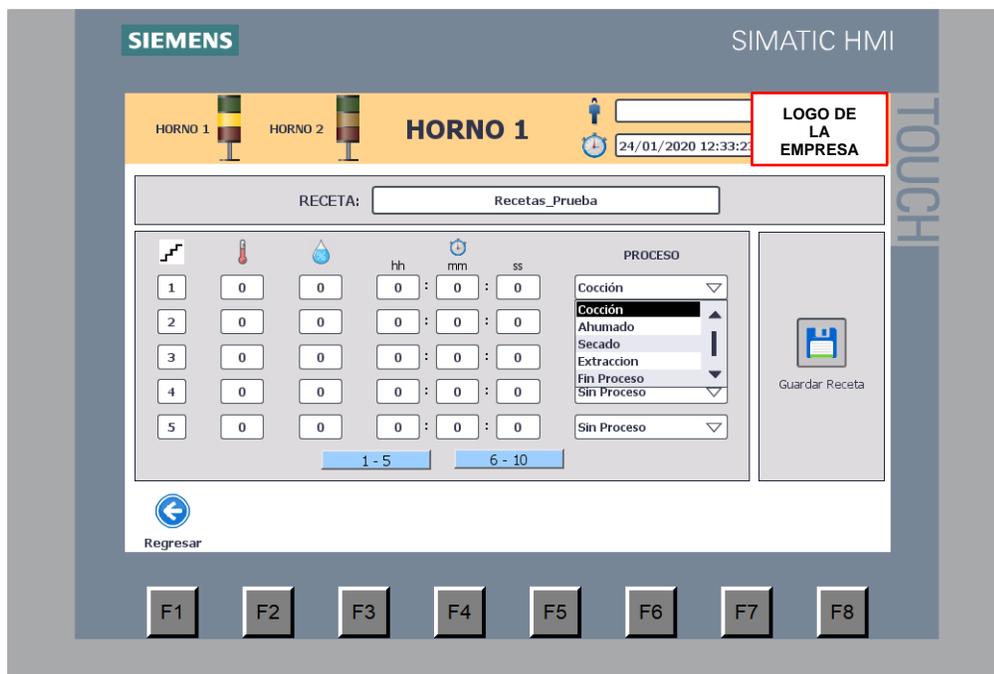
Descripción de los Iconos de Navegación y Proceso

Ícono	Función
 Nueva Receta	Botón para agregar una nueva Receta
 Guardar	Botón para guardar la nueva Receta creada
 Eliminar	Botón para eliminar la Receta seleccionada
 Configurar Receta	Botón para configurar los parámetros de la Receta
 Cargar Receta	Botón para cargar la Receta al sistema

La receta que se configurará se muestra mediante una tabla donde se ingresan los valores de Set Point de Temperatura, Humedad Relativa y Tiempo y el Proceso a cumplir durante todos los pasos. Se puede definir un máximo 10 pasos.

Figura 107

Ventana de Configuración de la Receta



SIEMENS SIMATIC HMI

HORNO 1 HORNO 2 HORNO 1

LOGO DE LA EMPRESA

24/01/2020 12:33:22

RECETA: Recetas_Prueba

	Temp	Hum	hh	mm	ss	PROCESO
1	0	0	0	0	0	Cocción
2	0	0	0	0	0	Cocción
3	0	0	0	0	0	Ahumado
4	0	0	0	0	0	Secado
5	0	0	0	0	0	Extracción

Fin Proceso Sin Proceso

Guardar Receta

Regresar

F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8

Tabla 13

Descripción de los Iconos de Navegación y Proceso

Ícono	Función
 <p data-bbox="513 447 626 468">Guardar Receta</p>	<p data-bbox="906 373 1372 457">Botón para guardar la configuración ingresada de la receta</p>
 <p data-bbox="513 548 626 569">Regresar</p>	<p data-bbox="906 510 1372 541">Botón regresar a la ventana anterior</p>

Variables:

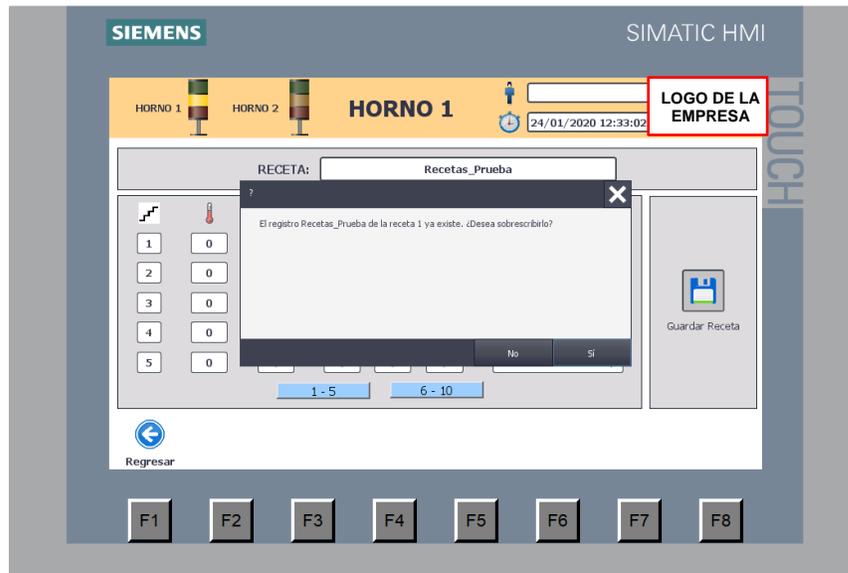
- Pasos: El sistema dispone de un máximo de 10 pasos a cumplir. Se encuentra colocado por defecto SIN PROCESO
- Temperatura: La variable temperatura puede estar configurada en un rango de 0 °C a 150 °C
- Humedad Relativa: La variable Humedad Relativa puede ser configurada en un rango de 0% a 100%
- Tiempo de Ejecución: El tiempo puede ser ingresado en horas, minutos y segundos.
- Procesos: El horno realiza procesos de cocinado, secado, ahumado, extracción y duchado.

Al terminar la configuración de la Receta, se debe guardar el registro de los datos ingresados presionando el botón Guardar Receta en la Ventana Configuración o en la Ventana Recetas o los datos se perderán.

Una vez guardado el registro de datos se presiona el botón Cargar Receta en la Ventana Recetas para permitir dar inicio al proceso automático desde la ventana Flujo.

Figura 108

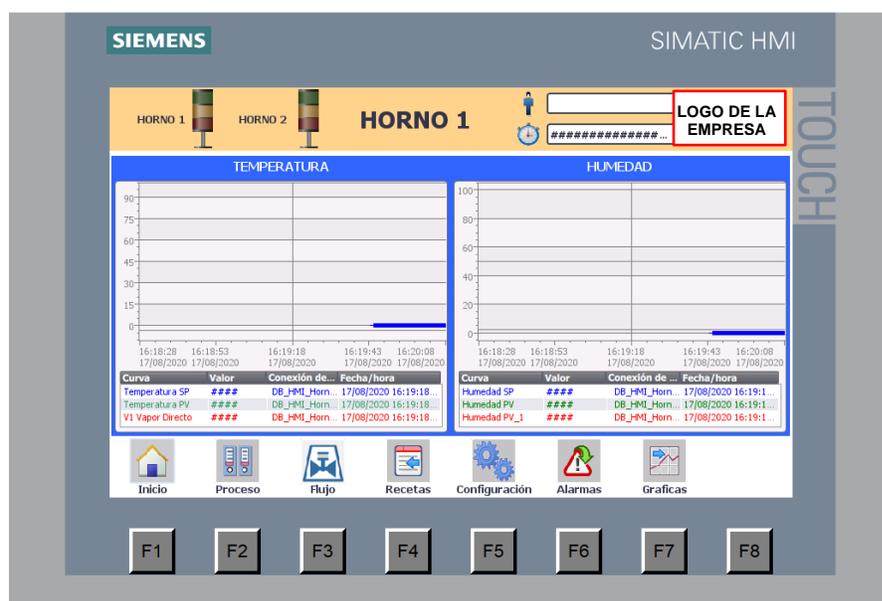
Ventana de Confirmación de la Receta



Ventana de Gráficas del Proceso. Se muestra en la Figura 109 las variables de Temperatura y Humedad Relativa en dos graficas para comprobar el proceso realizado por la activación de las válvulas.

Figura 109

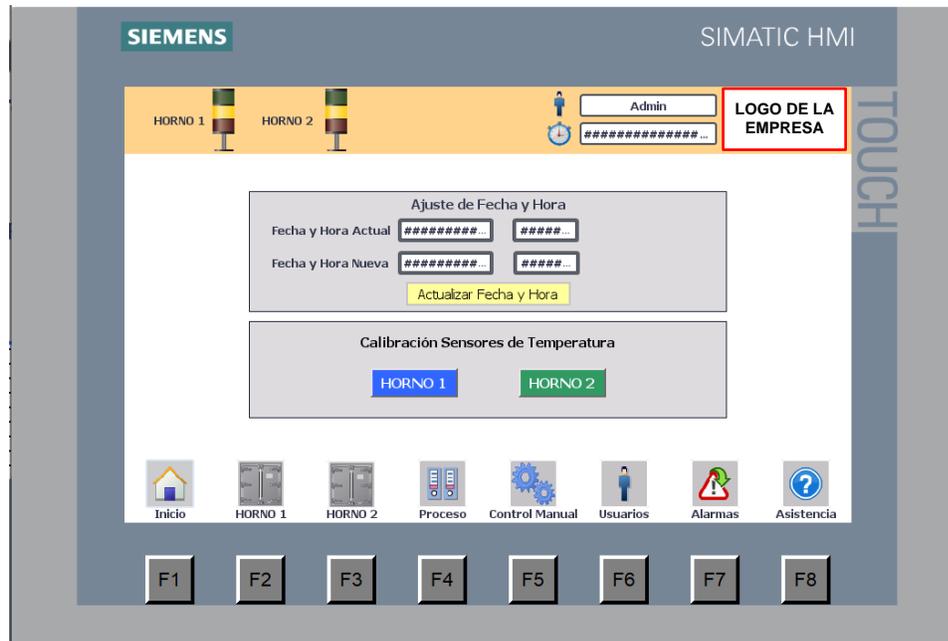
Ventana de Visualización de Graficas del Proceso



Ventana de Configuración. En la ventana de configuración que se muestra en la Figura 110 se realiza el ajuste de hora y fecha de la pantalla y sincronizarla con el PLC y la calibración de los Sensores de Temperatura de los dos hornos.

Figura 110

Ventana de Configuración de Fecha/Hora y Calibración de los Sensores

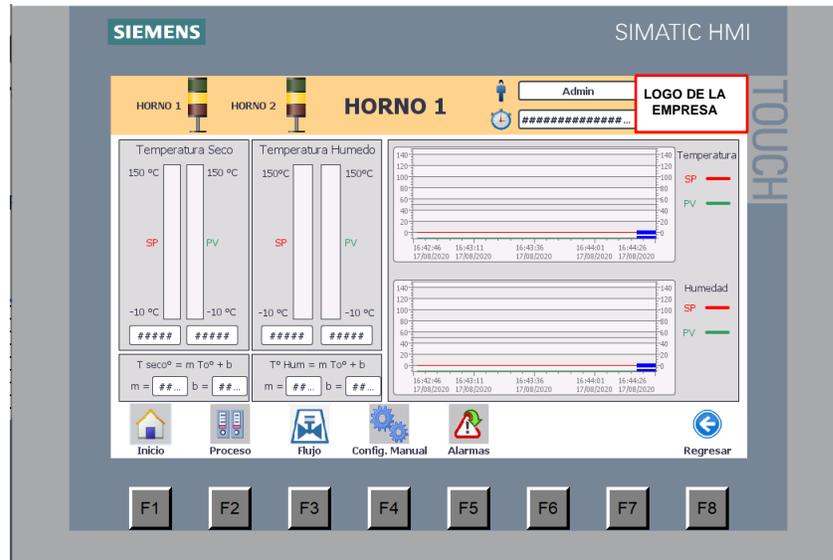


Únicamente el personal capacitado podrá desarrollar las configuraciones del sistema ya que es indispensable tener los conocimientos necesarios para una correcta calibración de los sensores al realizar el mantenimiento de estos.

El administrador del sistema puede modificar los datos de calibración de los dos sensores de temperatura corrigiendo la desviación de la curva con las ecuaciones (4) y (5) citadas en el capítulo anterior.

Figura 111

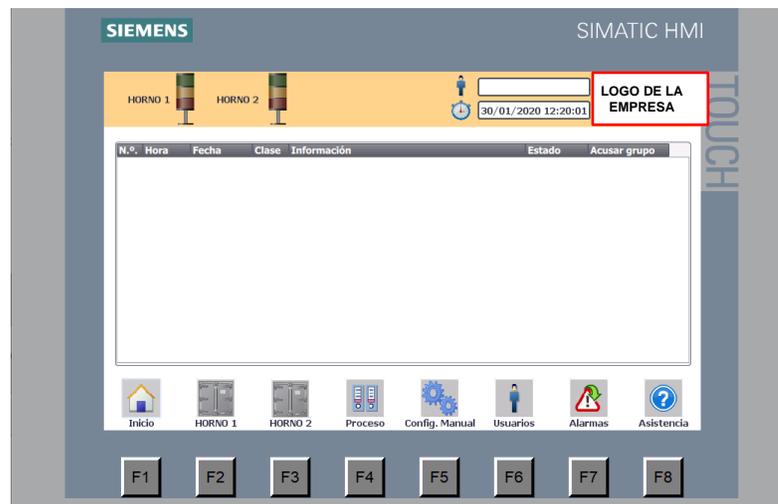
Ventana de Calibración de los Sensores



Ventana de Gestión de Alarmas. Las alarmas del sistema muestran las fallas existentes en el Horno 1 y Horno 2 generando avisos visuales y deteniendo el proceso.

Figura 112

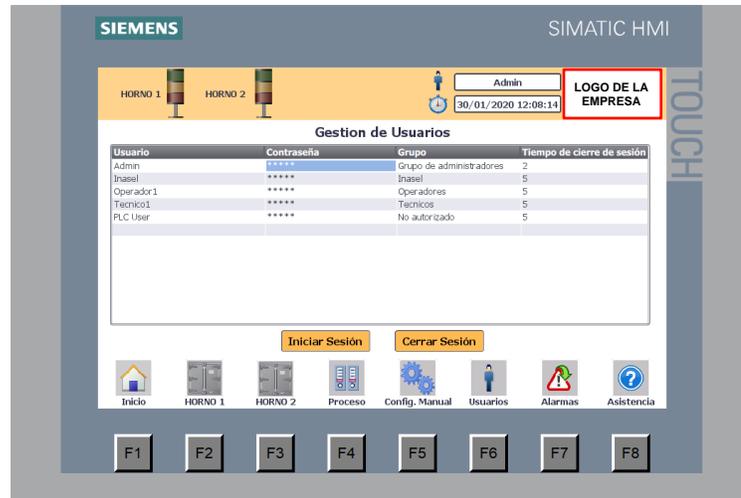
Ventana de Gestión de Alarmas



Ventana de Gestión de Usuarios. El acceso al sistema se encuentra protegido por un usuario y contraseña designados por el administrador ya sea para un técnico o un operador para el uso de los hornos.

Figura 113

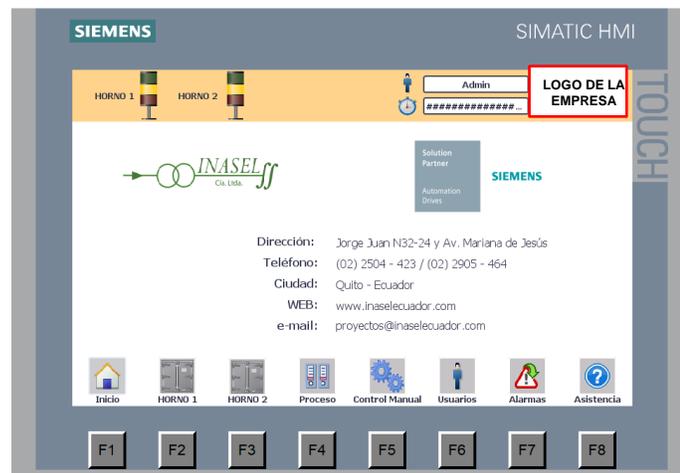
Ventana de Gestión de Usuarios



Ventana de Datos de la Empresa. Los datos de la empresa que facilitó el desarrollo de sistema de control de los hornos se muestran en la Figura 114 y son los encargados de brindar el servicio técnico posterior a la entrega.

Figura 114

Ventana de Datos de la Empresa



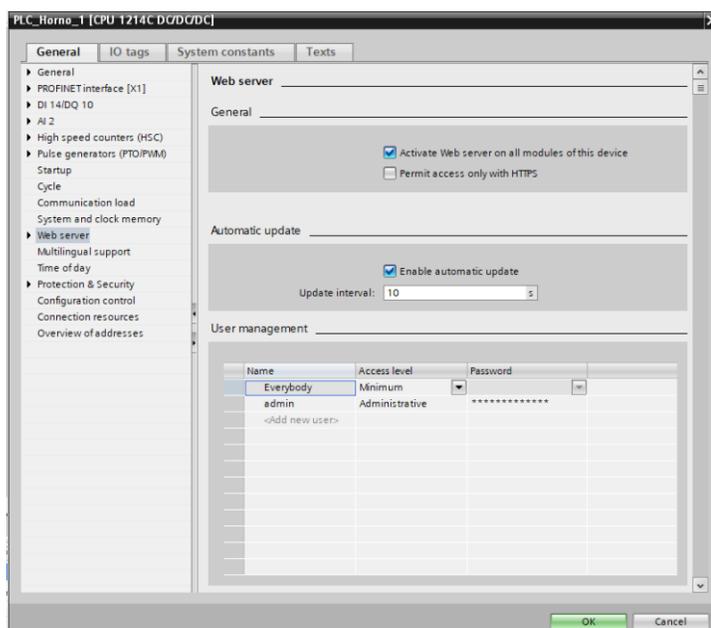
Configuración del Servidor Web

La serie S71200 y S71500 de Siemens traen consigo integrado un servidor web con la capacidad de ser configurado para el acceso y visualización de las variables utilizando un dispositivo con acceso a la red del sistema. (Gútiez, 2017)

Para configurar el servidor web se ingresa a las propiedades del PLC al apartado Web Server y se marcan la casilla y se asigna un usuario y contraseña como se muestra en la Figura 115 para el ingreso mediante un navegador de internet.

Figura 115

Configuración del Servidor Web

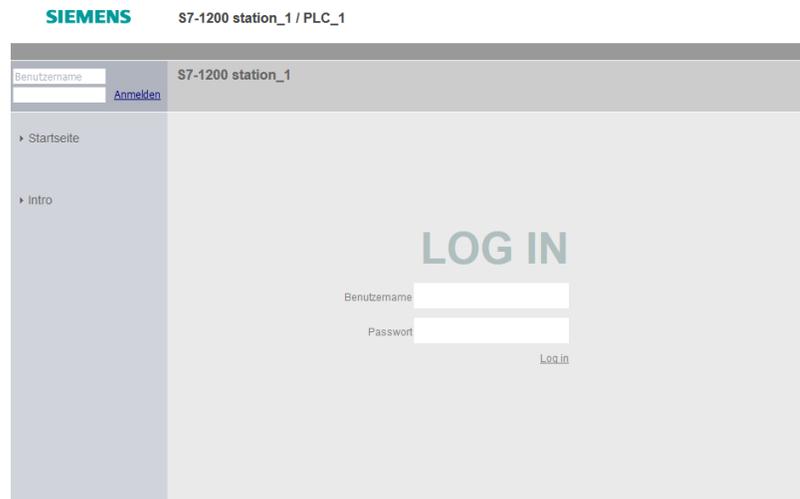


El ingreso al servidor se lo realiza con una PC conectada a la red de los autómatas con las direcciones IP de la Tabla 14 como se muestra en la Figura 116.

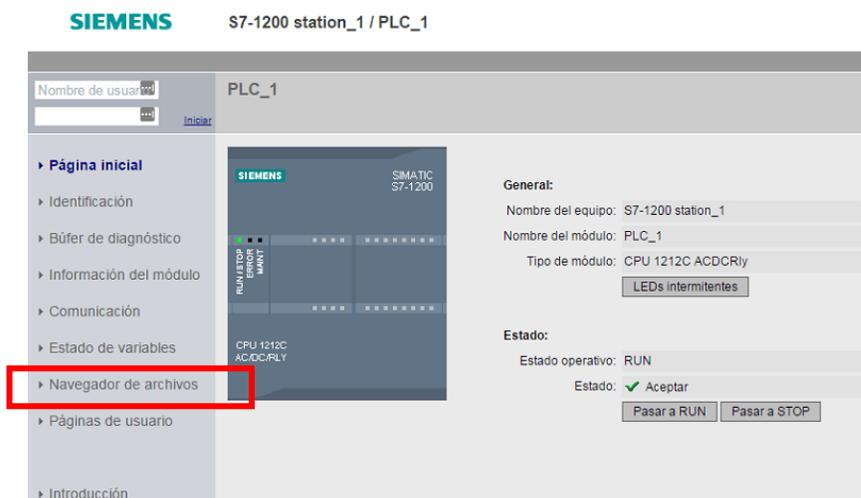
Tabla 14

Direcciones IP de cada Horno

Ícono	Dirección IP
Horno 1	10.160.30.80
Horno 2	10.160.30.81

Figura 116*Ventana Principal Servidor Web*

Al ingresar a la página inicial del servidor web que se muestra en la Figura 117, se puede observar el estado del PLC y en menú de la izquierda se encuentra el apartado de Navegador de Archivos.

Figura 117*Ventana Inicial del Servidor Web*

En el navegador de archivos que se muestra en la Figura 118 se ingresa a la carpeta datalogs donde se encontrarán todos los archivos generados para el monitoreo de los procesos.

Figura 118*Ventana de Navegador de Archivos*

SIEMENS CPU 1516/SIMATIC S7 CPU 1516 PN/DP

16:43:22 15.11.2014 Español

Admin [Cerrar sesión](#)

Navegador de archivos

Nombre	Tamaño	Modificado el	Borrar	Renombrar
log_	32768	10:22:31 13.11.2014		
datalogs	17097	09:17:43 12.11.2014		
recipes	2525	07:39:54 12.11.2014		
cdinfo.bin	512	10:22:31 13.11.2014		

Directory operations:

Admin [Cerrar sesión](#)

- ▶ Página inicial
- ▶ Diagnóstico
- ▶ Búfer de diagnóstico
- ▶ Información del módulo
- ▶ Avisos
- ▶ Comunicación
- ▶ Topología
- ▶ Estado de variables
- ▶ Tablas de observación
- ▶ Páginas de usuario
- ▶ **Navegador de archivos**

Los archivos se crean por cada receta realizada en los hornos y se almacenan en formato CSV como se muestra en la Figura 119. Los archivos pueden ser descargados y posteriormente eliminados para liberar la memoria ocupada en el PLC.

Figura 119*Ventana de Datos*

SIEMENS CPU 1516/SIMATIC S7 CPU 1516 PN/DP

08:12:03 23.07.2014 Español

Admin [Cerrar sesión](#)

DataLogs

Nombre	Tamaño	Modificado el	Recuperar y borrar
MyDataLog1.csv	43	12:05:18 22.07.2014	
MyDataLog2.csv	17	09:32:07 22.07.2014	
MyDataLog3.csv	8	17:01:41 22.07.2014	

Admin [Cerrar sesión](#)

- ▶ Página inicial
- ▶ Diagnóstico
- ▶ Búfer de diagnóstico
- ▶ Información del módulo
- ▶ Avisos
- ▶ Comunicación
- ▶ Topología
- ▶ Estado de variables
- ▶ Tablas de observación
- ▶ Páginas de usuario
- ▶ Navegador de archivos
- ▶ **DataLogs**

Los archivos descargados contienen una tabla con los datos de fecha, hora, temperatura y humedad relativa configurada y real del proceso obtenidos cada 5 minutos transcurridos en un proceso automático.

Figura 120

Ejemplo de un Archivo Generado

MORTADELA

Record	Date	UTC Time	Temp_Seco_SET	Temp_Seco_REAL	Temp_Hum_SET	Temp_Hum_REAL	Hum_SET	Hum_REAL
1	4/15/2020	10:39:17	0	21.13310	0	19.787730	0	88.501820
2	4/15/2020	10:44:17	0	20.803240	0	19.747220	0	90.853660
3	4/15/2020	10:50:13	0	20.814820	0	19.631480	0	89.777930

Capítulo VI

Pruebas y Resultados

Concluido con la implementación del sistema en su totalidad, el presente apartado denota la verificación de actividades a las cuales el sistema se impondrá, esto ayudará a la depuración de detalles y confirmación de un adecuado desarrollo de producción en el sistema.

Al ser la cocción el proceso fundamental a controlar, este se somete con mayor énfasis a pruebas de funcionamiento, verificando su control automático dentro del horno, para ello se efectuó las siguientes pruebas.

- Calibración de sensores de temperatura
- Funcionamiento en horno vacío
- Funcionamiento dotado con materia prima (Jamón)
- Funcionamiento dotado con materia prima (Chuleta)

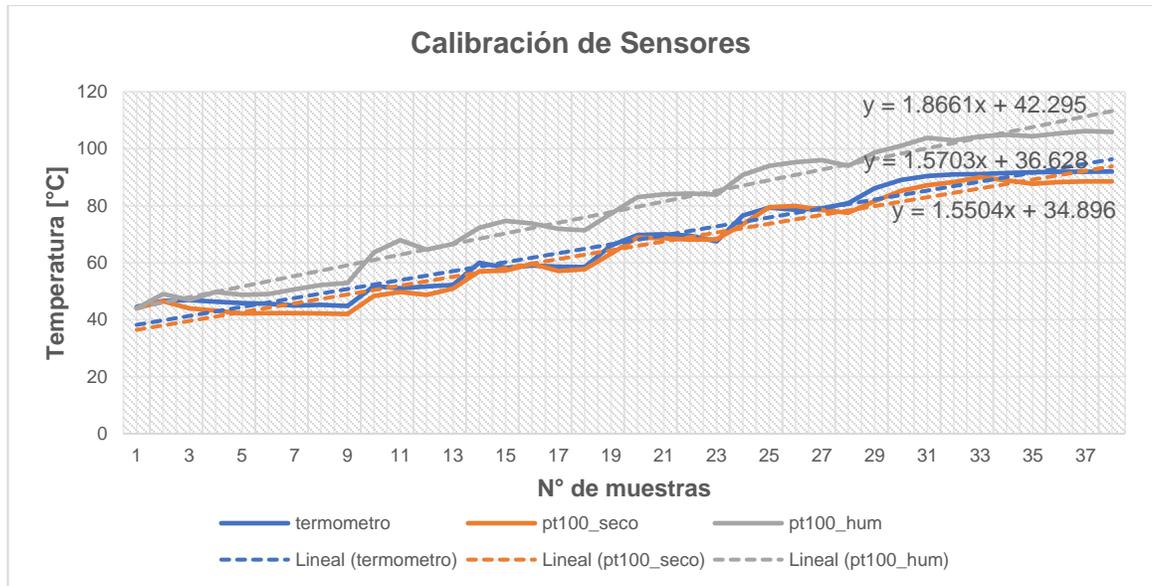
Calibración de Sensores

Para la obtención de la curva de calibración de los sensores de temperatura PT100 utilizados en sistema, que en definitiva permite interpretar la información obtenida y corregir las inexactitudes, se tomaron aproximadamente 40 lecturas de temperatura en un intervalo de 5 minutos dentro del horno.

La comparación de temperatura fue mediante un termómetro de alimentos, comúnmente conocido como termómetro de varilla, estos son empleados principalmente en la industria agroalimentaria.

Figura 121

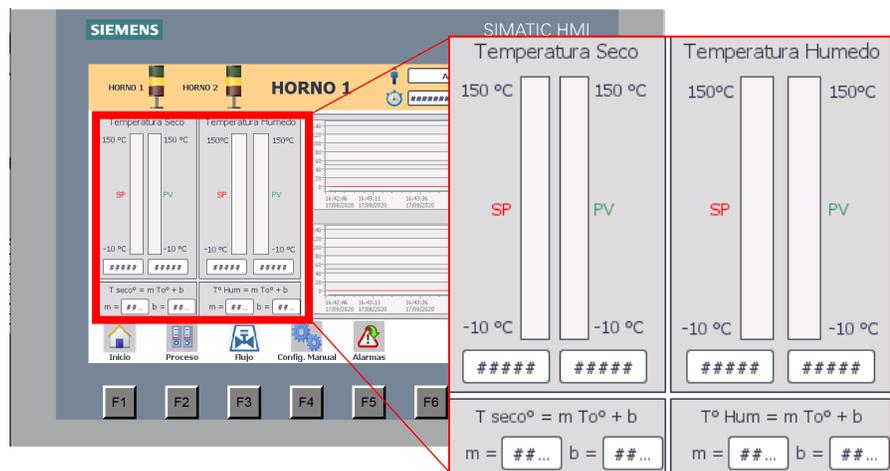
Gráfico Calibración de Temperatura



En la Figura 121 muestra la obtención de datos los cuales ayudan a su linealización dependiendo la ecuación resultante, de esta forma en el programa mediante el panel de operación se podrá ingresar los datos de la ecuación y así conseguir un correcto control automático.

Figura 122

Ingreso de Datos en Panel HMI



El administrador del sistema puede modificar los datos de calibración de los dos sensores de temperatura corrigiendo los datos de desviación de la curva.

Funcionamiento en Horno Vacío

Una de las pruebas más importantes antes de poder ingresar producto dentro de las cámaras de los hornos es verificar la temperatura, si se distribuye de la mejor manera el calor dentro del horno, para esto se ubican en puntos estratégicos sensores tipo Cool-Track que nos ayudará mediante el software que manejan estos elementos, conocer la temperatura alcanzada en cada sensor y el tiempo en que tardó en lograr dicha temperatura seteada en el panel de operación.

Figura 123

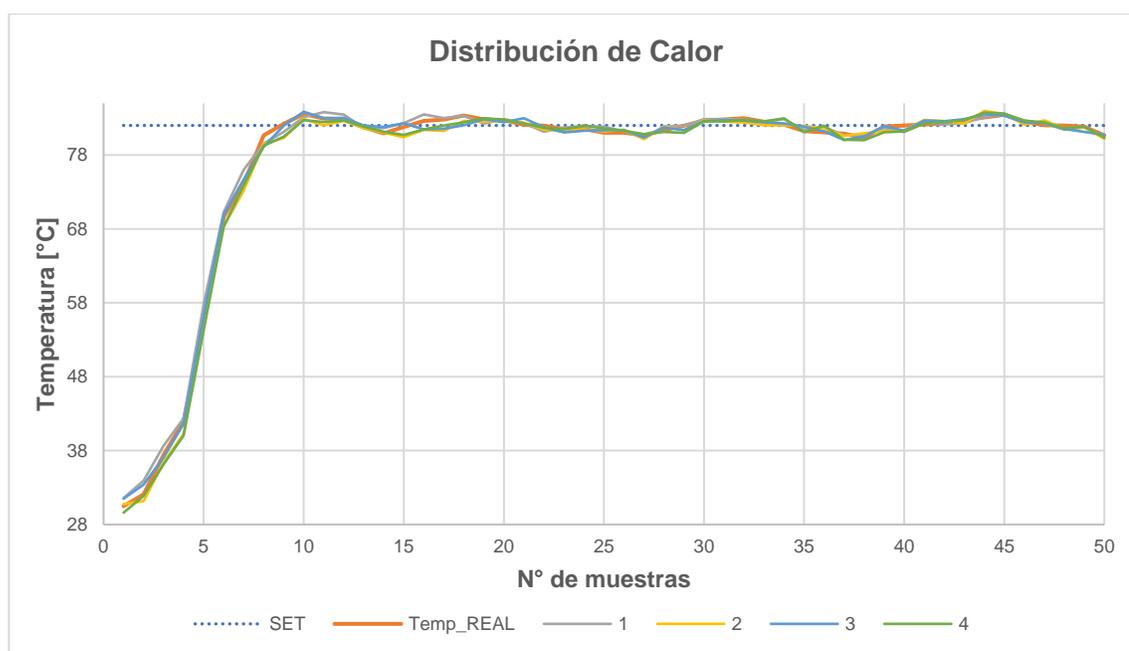
Ubicación de Cool-Tracks Dentro de los Hornos



Para esta prueba se tuvo que definir una receta personalizada, previniendo la desconfiguración de las recetas que se han cargado al programa. Esto nos permite la delineación de tiempo, humedad relativa y temperatura, además de los subprocesos que se desee en la receta configurada.

Figura 124

Gráfico de Distribución de Calor Dentro del Horno



Como se puede apreciar en la Figura 124, en donde indica las gráficas de temperatura de los cuatro puntos en los cuales se colocó los sensores, dan como resultado lecturas similares con las obtenidas por el termómetro, esto nos quiere decir que la circulación de aire generada por los ventiladores es homogénea dentro de la cámara, lo cual garantiza que el producto se somete a los mismos cambios a lo largo de todo el proceso.

Para mayor comprensión de los gráficos a continuación se los desglosará cada sensor con la comparación de temperatura tomada por el termómetro.

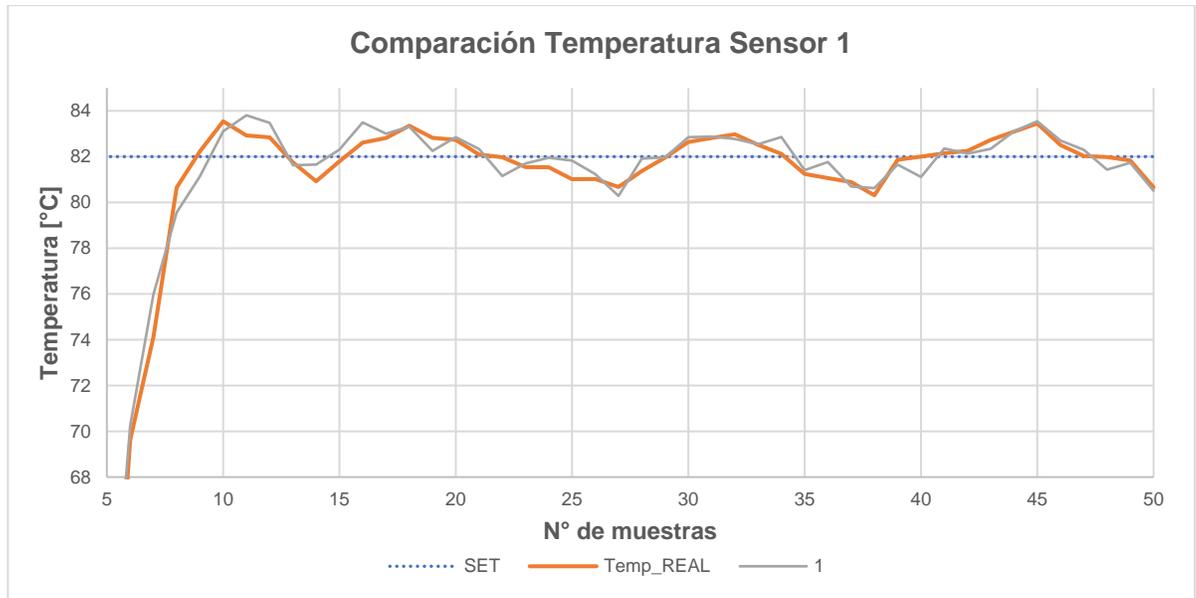
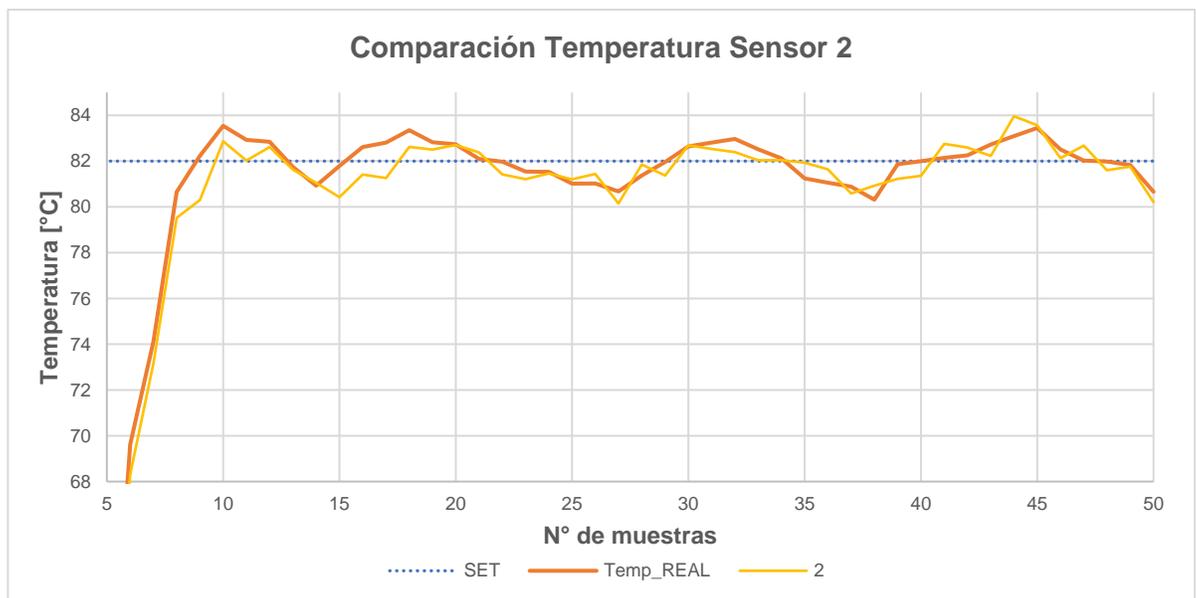
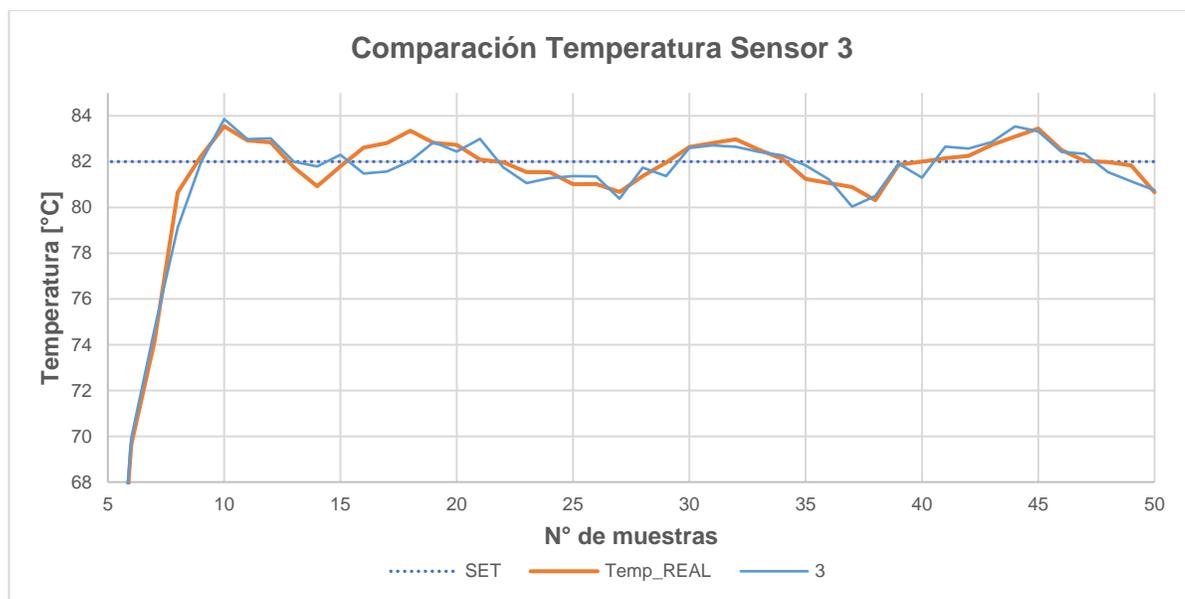
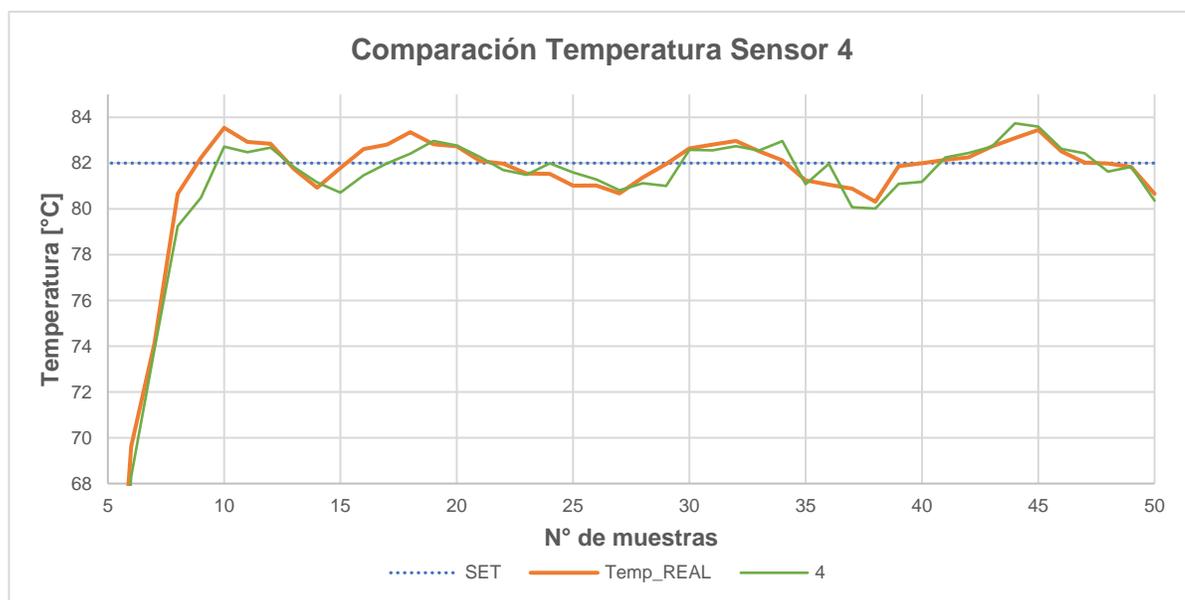
Figura 125*Gráfico de Distribución de Calor Sensor 1***Figura 126***Gráfico de Distribución de Calor Sensor 2*

Figura 127*Gráfico de Distribución de Calor Sensor 3***Figura 128***Gráfico de Distribución de Calor Sensor 4*

Ya desglosadas cada gráfica de los sensores según su ubicación, se puede determinar de una mejor manera que el sensor 1 y 3 tienen más similitud en relación a la temperatura tomada, puesto que estos sensores se los ubicó en la parte superior, mientras que los sensores 2 y 4 se encuentran en la parte inferior, además que a partir de la muestra 10 logra una estabilización de calor, esto conlleva a que la resistividad térmica es homogénea en toda la cabina, alcanzado aproximadamente los 80 °C en un tiempo de 30 minutos, manteniendo la temperatura durante todo el proceso.

Funcionamiento Dotado con Materia Prima (Jamón)

Puesto que el funcionamiento de los hornos conlleva la producción de varios tipos de materia prima como lo es el Jamón de Espalda, el cual es uno de los productos estrella de la empresa de embutidos adquiriente del proyecto, se procedió con las respectivas pruebas de temperatura y función de rectas programadas.

Para esta prueba se seleccionó una receta previamente cargada en el sistema debido a que la empresa adquiriente del proyecto tiene sus tiempos y subprocesos específicos a los cuales debe someterse la elaboración de dicho producto.

Figura 129

Introducción de Producto (Jamón de Espalda) Dentro de los Hornos



La ubicación del producto dentro del horno se la llevó a cabo en 4 modulares de acero inoxidable tipo bandejeros en los cuales la distribución del insumo no fue en su totalidad, puesto que este tipo de pruebas es fundamental la verificación en su elaboración para el consumo, para ello se ubicó en ciertos puntos tal y como se lo hizo en las pruebas con los sensores, pero esta vez con producto.

Figura 130

Lote de Producto en Pruebas



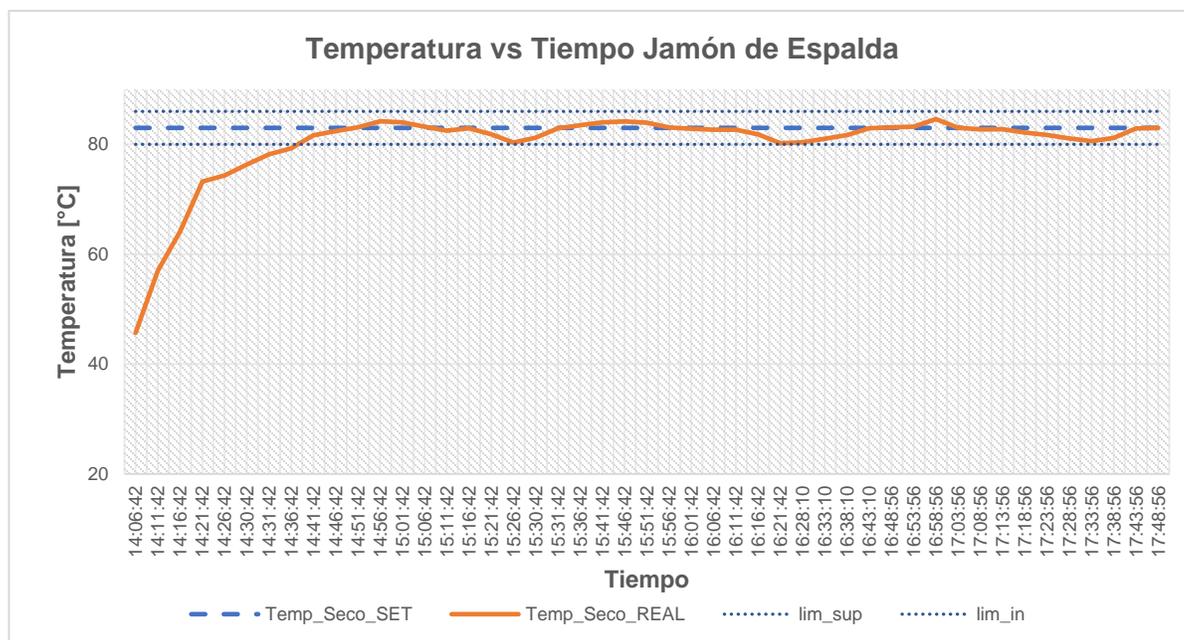
Para la verificación de la temperatura en el producto se realizaban pausas de producción, y se tomaba lectura de la temperatura, introduciendo el respectivo termómetro en el producto, de esta forma se comparaba con datos que ya eran determinados por el equipo de control de calidad en la planta de elaboración de embutidos.

Figura 131

Comprobación de Temperatura por Técnicos de Calidad

**Figura 132**

Gráfico Temperatura vs Tiempo de Jamón de Espalda



Como se puede observar en la Figura 132 el sistema logra alcanzar después de aproximadamente 50 minutos el valor de temperatura seteada mismo valor al cual está

dentro del rango permitido, lo cual según la receta de jamón de espalda es de 83 °C, manteniéndose estabilizada en un rango de histéresis de (± 3 °C), durante 180 minutos aproximadamente, hasta culminar con la etapa de cocción.

De acuerdo con la curva obtenida existe un control óptimo de temperatura rigiéndose a la técnica de control ON – OFF con banda de histéresis.

Funcionamiento Dotado con Materia Prima (Chuleta)

Continuando en el proceso de pruebas con producto, la comprobación de otra receta, favorece a la confiabilidad del sistema, la cual se comprobará con el llenado total de producto dentro de las cámaras en los hornos.

Figura 133

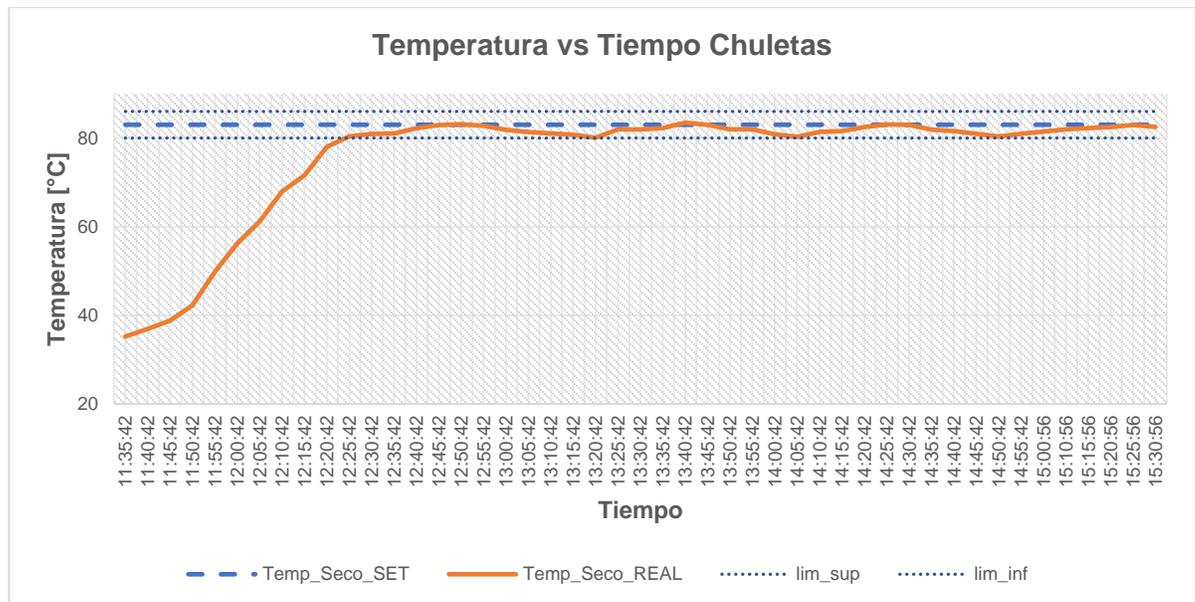
Introducción de Producto (Chuleta) Dentro de los Hornos



Para el análisis de esta prueba se verificó una vez más con valores previamente establecidos por el equipo de producción, que conlleva la temperatura y tiempo de cocción de chuletas.

Figura 134

Gráfico de Temperatura vs Tiempo en Chuletas



La curva resultante en la Figura 134, pertenece a un Set Point de 83 °C, mismas que se encuentra configurada para la receta del producto especificado anteriormente, este rango de temperatura implica una banda diferencial de 80 °C a 86 °C, que equivale al rango de histéresis permitida en el controlador.

La producción de chuletas en el marco de pruebas realizadas en los hornos destino a la comprobación del funcionamiento automático del ahumador en el sistema, dando como resultados positivos la adaptación de control del mismo a los hornos.

Capítulo VII

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

El óptimo desarrollo del sistema de control implementado en los hornos a vapor para la elaboración de embutidos presenta ventajas tales como la eficiencia en su funcionamiento, precisión de subprocessos térmicos y control de tiempos de producción, lo que implica un resultado satisfactorio la solución de ingeniería aplicada.

El eficiente y asequible diseño de la interfaz HMI puesto en marcha, permite una correcta manipulación y monitoreo del sistema por parte de los operarios, dándoles una facilidad de manejo sin obviar normas y estándares establecidos.

La restricción por grupo de usuarios en el manejo de la interfaz del sistema, permite brindar seguridad de eventuales desconfiguraciones, que conlleve paros de procesos, sufriendo pérdidas en producción.

La implementación de funciones de seguridad en la ejecución del presente proyecto, denota confiabilidad y seguridad del sistema para evitar riesgos al operador, posibles daños en la máquina o en trabajos en curso.

Al prescindir de un control preciso de temperatura y humedad relativa en los diferentes procesos térmicos a intervenir, la técnica de control ON – OFF con lazo de histéresis, se acopla perfectamente al sistema de control automático, permitiendo procesos eficientes manteniendo estándares de calidad en el producto establecidos por la empresa.

La localización y tipo de sensores de temperatura ocupados dentro de las cámaras en los hornos, revelaron un factor de importancia, ya que de ello depende la exactitud y eficacia en las diferentes etapas de los procesos térmicos en los embutidos.

La correcta formación a los operadores de los hornos, mediante documentación técnica y manuales de ingeniería, capacita al personal a hacer uso del sistema sin supervisión técnica especializada.

Recomendaciones

La implementación de dispositivos de protección en el sistema, prevé daños, sin embargo, la manipulación negligente por parte del operario, puede ocasionar averías, para lo cual, es considerable capacitar al personal acerca del funcionamiento del sistema antes de su uso.

Es recomendable dedicar un adecuado plan de mantenimiento, tanto al sistema de control como al de fuerza, con lo cual se reduciría a lo mínimo paros de producción por cuestiones técnicas.

La conexión de suministro de vapor hacia los hornos debe ser realizada por personal capacitado, puesto que la presión transmitida al interior del horno puede causar riesgos en su uso, provocando presurización dentro de las cámaras.

Es indispensable el correcto uso del panel táctil de control al momento de operarla, pese a presentar una robustez para ambientes industriales se confía evitar el uso de objetos cortopunzantes que puedan provocar daños.

Bibliografía

- BELIMO. (2019, diciembre 16). *BELIMO, Ficha técnica LM230A*. BELIMO.
https://www.belimo.es/pdf/es/LM230A_datasheet_es-es.pdf
- Calderón, Antonio. (2020, junio 5). *Sensores y actuadores industriales*. Academia.edu.
https://www.academia.edu/36138491/Sensores_y_actuadores_industriales
- COVNA. (2020, julio 20). *COVNA, Solenoid valve*. COVNA. http://www.covna-china.com/product_show.asp?typefid=&id=907
- Dutan, P. (2000). *Diseño y reconstrucción del control de temperatura de un horno con calentamiento eléctrico* [Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11755>
- El Telégrafo. (2008, noviembre 8). “Automation Fair” tendrá lo último en tecnología para industrias de alimentos y bebidas. El Telégrafo.
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/automation-tecnologia-industrias>
- ELEKTROTOOLS. (2020, agosto 1). *Modular connector Plug RJ45 8(4) 6GK19011BB102AA0*, Elektrotools. Elektrotools.
<http://en.elektrotools.de/Product/Modular-connector-Plug-RJ45-8-4-6GK19011BB102AA0>
- FESTO. (2018, diciembre 14). *FESTO*. FESTO. <https://docs.rs-online.com/8370/0900766b816a2399.pdf>
- García Moreno, E., & Universidad Politécnica de Valencia. (1999). *Automatización de procesos industriales: Robótica y automática*. Universidad Politécnica de Valencia.
- GENEBRE. (2017, mayo 15). *GENEBRE, Válvula asiento inclinado con actuador neumático de simple efecto*. GENE BRE. <https://www.genebre.es/5531-valvula-asiento-inclinado-con-actuador-neumatico-de-simple-efecto>

- Gútiez, I. (2017). *Data Logging en TIA PORTAL*. Programación Siemens.
<https://programacionsiemens.com/data-logging-en-tia-portal/>
- Hernández, A. (2003). *Microbiología Industrial* (1a ed.). EUNED.
- Huang, Y., Zhang, K., Yang, S., & Jin, Y. (2013). A Method to Measure Humidity Based on Dry-Bulb and Wet-Bulb Temperatures. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6(16), 2984–2987.
<https://doi.org/10.19026/rjaset.6.3682>
- Inasel Cía. Ltda. (2020, enero 4). *INASEL*. Inasel Ecuador.
<http://www.inaselecuador.com>
- It Ahora. (2018, abril 18). *Educación e Industria*. It Ahora.
<https://www.itahora.com/analisis-y-tendencias/el-sector-industrial-adopta-tecnologia-que-integra-sus-procesos/>
- Jiménez, F., & Carballo, J. (1989). *Principios básicos de elaboración de embutidos*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Servicio de Extensión Agraria.
- Lizondo. (2020, mayo 20). *Hornos Cárnicos*. Suministros Lizondo.
<http://www.suministroslizondo.com/index.php/hornos-carnicos-y-brasa>
- LSElectric. (2020). *IG5A General Drive*.
https://www.lselectric.co.kr/products/view/Smart_Automation_Solution/Inverter_-*VFD*/-Low_Voltage_VFD/iG5A
- Medrano, S. (2003). Medición de Humedad Relativa con Psicrómetro. *Boletín periódico del laboratorio de metrología*.
- M&MRefrigeración. (2020, mayo 12). *Cuartos Fríos*. M&M Refrigeración.
<http://mmrefrigeracion.com.ec/solutions/alimentosypesca/#!>
- Morales, A. (2019). Características del Estándar ANSI/ISA-101.01-2015: Interfaces Humano-Máquina para Sistemas de Automatización de Procesos. *InTech México Automatización*, 32–38.

MOTELCA. (2010, marzo 1). *Catalogo Molteca*. SCRIBD.

<https://es.scribd.com/document/355243535/Frame-Catalogo-CDF-SDF1-pdf>

NEC. (2018, febrero). *Instalaciones Eléctricas, Norma Ecuatoriana de Construcción*.

Norma Ecuatoriana de Construcción. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>

Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna* (4a ed.). Pearson Educación.

Orellana, F., & Palacios, K. (2016). *Caracterización y análisis de la cadena de suministros de productos cárnicos; embutidos en Ecuador período 2015* [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca].

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25568>

Ortíz Rosas, A. (2018). *Programación de PLC, HMI y comunicaciones en la industria* (1a ed.). Universidad Autónoma de Occidente y CELSIA, S.A. E.S.P.

<https://editorial.uao.edu.co/acceso-abierto/pdf/programacion-de-plc-hmi-y-comunicaciones-en-la-industria.pdf>

Restrepo, D., Arango, C., Restrepo, R., & Amézquita, A. (2001). *Industria de Carnes*. Universidad Nacional de Colombia.

Rivera, B. (2018). *Desarrollo de una interfaz humano máquina de alto desempeño (HPHMI) para procesos de producción de crudo y gas en Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.* [Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14915/T-ESPE-040282.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Schweigert, B. S., & Price, J. F. (1976). *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Acribia.

SIEMENS. (2012, abril). *Paneles de operador Basic Panels Instrucciones de servicio*.

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/678/31032678/att_25341/v1/hmi_basic_panels_operating_instructions_es-ES_es-ES.pdf

- SIEMENS. (2016, octubre 21). *¿Cómo se puede convertir en STEP 7 (TIA Portal) un valor disponible en milisegundos en los valores necesarios de días, horas, minutos y segundos correspondientes?* Industry Online Support Siemens.
[https://support.industry.siemens.com/cs/document/42637538/¿cómo-se-puede-convertir-en-step-7-\(tia-portal\)-un-valor-disponible-en-milisegundos-en-los-valores-necesarios-de-d%C3%ADas-horas-minutos-y-segundos-correspondientes-?dti=0&lc=es-EC](https://support.industry.siemens.com/cs/document/42637538/¿cómo-se-puede-convertir-en-step-7-(tia-portal)-un-valor-disponible-en-milisegundos-en-los-valores-necesarios-de-d%C3%ADas-horas-minutos-y-segundos-correspondientes-?dti=0&lc=es-EC)
- SIEMENS. (2020, mayo 31). *Industry Mall*.
<https://mall.industry.siemens.com/goos/WelcomePage.aspx?regionUrl=/EC&language=es>
- TEMCO. (2020, junio 5). *Productos*. TEMCO Industrial.
<https://temcoindustrial.com/general-electric-9t58k2803-control-transformer.html>
- Trinks, W., & Trinks, W. (Eds.). (2004). *Industrial furnaces* (6th ed). J. Wiley.
- VEMAG. (2007). *VEMAG AEROMAT*. VEMAG ANLAGENBAU. <http://www.vemag-anlagenbau.com/home.html>
- VMC. (2020, junio 15). *Productos / Convertidores / Variadores de frecuencia*. Vector Motor Control. <https://www.vmc.es/es/ig5a>

Anexos

Anexo A Diagrama P&ID

Anexo B Planos Eléctricos y Electrónicos

Anexo C Diagramas Grafcet

Anexo D Descripción de Equipos Presentes en el Sistema

Anexo E Bloque de Función FB40 MillisecToTime

Anexo F Bloque de Función FB2