



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

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

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE  
CONTROL AUTOMÁTICO PARA UN HORNO TIPO TÚNEL  
PARA LA LÍNEA DE GALLETTERÍA DE LA EMPRESA  
NUTRINATURALS**

**AUTOR: VITERI MARTÍNEZ, ANDREA CAROLINA**

**DIRECTOR: TIPÁN CONDOLO, EDGAR FERNANDO**

**SANGOLQUÍ**

**2016**



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

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA UN HORNO TIPO TÚNEL PARA LA LÍNEA DE GALLETTERÍA DE LA EMPRESA NUTRINATURALS”*** realizado por la señorita ***ANDREA CAROLINA VITERI MARTÍNEZ***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita ***ANDREA CAROLINA VITERI MARTÍNEZ*** para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 27 de julio del 2016**

---

**ING. EDGAR FERNANDO TIPÁN CONDOLO**  
**DIRECTOR**



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

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **ANDREA CAROLINA VITERI MARTÍNEZ**, con cédula de identidad N<sup>0</sup> 1804878583 declaro que este trabajo de titulación **“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA UN HORNO TIPO TÚNEL PARA LA LÍNEA DE GALLETTERÍA DE LA EMPRESA NUTRINATURALS”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Sangolquí, 27 Julio del 2016**

---

**ANDREA CAROLINA VITERI MARTÍNEZ**

1804878583



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

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **ANDREA CAROLINA VITERI MARTÍNEZ**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA UN HORNO TIPO TÚNEL PARA LA LÍNEA DE GALLETERÍA DE LA EMPRESA NUTRINATURALS”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Sangolquí, 27 Julio de 2016**

-----  
**ANDREA CAROLINA VITERI MARTÍNEZ**

1804878583

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres quienes siempre me han persuadido a trabajar duro y ser perseverante, me han tendido la mano luego de tropiezos y han tenido una palabra oportuna para alentarme a seguir adelante.

A mi hermana, que siempre me ha apoyado incondicionalmente a lo largo de toda mi vida estudiantil, sin importar la hora, el lugar o lo que necesitare.

A mi hermano en quien he fijado un modelo profesional a seguir, provocando un apego a lo que se ha convertido en una pasión y modo de vida.

Finalmente deseo dedicar este trabajo a todas las personas que necesiten una guía en cuanto al tema, esperando que les sea de mucha ayuda en su aprendizaje.

Andrea Viteri

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por brindarme sabiduría y fuerza a lo largo de este trabajo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas por acogerme en sus aulas y permitirme una formación académica de primer nivel, dándome competencia en el mercado laboral.

A mi hermana, quien siempre tuvo una palabra de ánimo, o un gesto amable cuando me encontraba cansada, ha sido un inmensurable apoyo para mi formación personal y profesional, enseñándome que hay mucha nobleza en la solidaridad.

A mis padres quienes con paciencia me han visto trabajar hasta el cansancio durante estos años, y han sido el impulso para que pudiera continuar el camino de constante aprendizaje.

A los ingenieros Jorge Tonato, Edgar Tipán, Rodolfo Gordillo, Saulo Rivera, y David Viteri agradezco efusivamente por el gran apoyo en la labor de este trabajo y a lo largo de estos años.

A la empresa Nutrinaturals por permitirme acceder a información confidencial para el desarrollo de mi trabajo de investigación y apoyarme en la aplicación de mis conocimientos en un proyecto real a implementarse.

A mis maestros y amigos que en el periodo universitario me dieron muchas lecciones que me permitieran mejorar como persona.

A. Viteri

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CARÁTULA</b>	
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación e importancia.....	2
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. General .....	2
1.3.2. Específicos .....	3
1.4. Alcance.....	3
1.4.1. Diseño del sistema de control automático del horno tipo túnel .....	4
1.4.2. La simulación del sistema de control del proceso.....	4
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Horneado de galletas en modo industrial .....	6
2.1.1. Técnicas de horneado para galletas.....	6
2.1.2. Hornos tipo túnel.....	7

2.1.3. Control de los hornos tipo túnel .....	8
2.1.4. Ventajas del uso de hornos tipo túneles en el proceso galletero .....	8
2.2. Sistemas de control .....	9
2.2.1. Controladores industriales.....	10
2.3. Interfaz Humano Máquina .....	11
2.3.1. Normas y estándares para diseño de HMI.....	12
2.4. Sistema de instrumentación.....	15
2.4.1. Instrumentación y sensores de temperatura .....	16
2.4.2. Encoders incrementales y absolutos.....	18
2.5. Accionamientos y actuadores.....	20
2.5.1. Posicionadores .....	20
2.5.2. Variadores de frecuencia.....	20
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>22</b>
<b>DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN</b>	
3.1. Introducción .....	22
3.2. Explicación de la estructura mecánica .....	22
3.3. Propuesta de automatización.....	24
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>26</b>
<b>DISEÑO ELÉCTRICO</b>	
4.1. Planteamiento del diagrama eléctrico .....	26
4.1.1. Diagrama unifilar .....	26
4.1.2. Lista de equipos y elementos a dimensionar .....	27
4.2. Dimensionamiento y selección de aparatos de maniobra .....	27
4.2.1. Selección de interruptores, relés y contactores .....	27
4.2.2. Selección de luces piloto.....	30

4.2.3. Selección de accionamientos.....	31
4.2.4. Dimensionamiento y selección de los elementos de protección y seguridad...	33
4.2.5. Dimensionamiento y selección del transformador.....	37
4.2.6. Dimensionamiento y selección de conductores .....	38
4.3. Planteamiento de la ubicación de los equipos en el tablero eléctrico .....	41

## **CAPÍTULO V** **43**

### **DISEÑO ELECTRÓNICO**

5.1. Dimensionamiento y selección de equipos .....	43
5.1.1. Dimensionamiento y selección del Autómata Programable .....	43
5.1.2. Dimensionamiento y selección de dispositivo para interfaz HMI .....	48
5.1.3. Dimensionamiento y selección de instrumentación.....	49
5.1.4. Selección de la fuente de poder.....	50
5.1.5. Selección del equipo de red.....	51
5.2. Diseño de la lógica de control del sistema de horneado .....	53
5.2.1. Descripción del funcionamiento .....	53
5.2.2. Selección de la técnica de control .....	54
5.3. Diseño de la interfaz humano máquina.....	56
5.3.1. Arquitectura.....	56
5.3.2. Navegación.....	57
5.3.3. Distribución de pantallas.....	58
5.3.4. Uso del color .....	61
5.3.5. Información textual .....	62
5.3.6. Estado de los equipos .....	63
5.3.7. Valores del proceso e información adicional.....	64
5.3.8. Gráficas .....	65
5.3.9. Comandos e ingreso de datos.....	65

5.3.10. Alarmas .....	67
5.4. Diagramas electrónicos .....	68
5.4.1. Diagrama de proceso P&ID .....	68
5.4.2. Esquemas de control y señalización.....	68

## **CAPÍTULO VI** **69**

### **SIMULACIÓN**

6.1. Descripción de las herramientas de simulación .....	69
6.2. Evaluación de la lógica planteada para el proceso de horneado .....	70
6.3. Evaluación del interfaz humano máquina .....	77
6.3.1. Inicio de sesión.....	77
6.3.2. Recetas y valores de proceso.....	77
6.3.3. Alarmas y configuraciones.....	79
6.3.4. Tendencias y parámetros.....	88
6.3.5. Ayuda .....	88
6.3.6. Usuarios .....	90

## **CAPÍTULO VII** **92**

### **ANÁLISIS FINANCIERO Y DE COSTOS**

7.1. Presupuesto de materiales de implementación.....	92
7.1.1. Listado de materiales con sus respectivas especificaciones.....	92
7.1.2. Presupuesto de materiales y elementos .....	93
7.2. Propuesta de optimización de costos.....	94
7.2.1. Resultados estimados actuales .....	94
7.2.2. Costos proyectados con implementación del sistema de producción .....	94
7.2.3. Análisis horizontal porcentual de componentes de costos.....	95
7.3. Flujos de retorno de inversión.....	95

7.3.1. Flujo de inversión propuesto con financiamiento .....	95
7.3.2. Punto de equilibrio y rentabilidad del proyecto mediante VAN y TIR. ....	97
<b>CONCLUSIONES</b> .....	99
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	100
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	102
<b>ANEXOS</b> .....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Elementos presentes en el diseño eléctrico del sistema .....	27
Tabla 2 Descripción de pulsador de emergencia.....	28
Tabla 3 Descripción del relé para activación del quemador .....	28
Tabla 4 Descripción del contactor para ventiladores .....	29
Tabla 5 Descripción del contactor para estado de emergencia .....	30
Tabla 6 Descripción de las balizas .....	31
Tabla 7 Descripción de posicionador.....	31
Tabla 8 Características del motor del sistema de transporte .....	32
Tabla 9 Descripción de variador de frecuencia.....	32
Tabla 10 Características del guardamotor.....	33
Tabla 11 Características del motor en el quemador .....	34
Tabla 12 Características del disyuntor .....	35
Tabla 13 Resumen de cargas conectadas al sistema .....	36
Tabla 14 Características del disyuntor principal.....	37
Tabla 15 Cargas conectadas al transformador 440/230 Vac .....	38
Tabla 16 Características del transformador .....	38
Tabla 17 Características de los conductores para el circuito de fuerza.....	39
Tabla 18 Características de los conductores para el circuito de control .....	39
Tabla 19 Características de los conductores de instrumentación.....	40
Tabla 20 Características del gabinete a usar .....	42
Tabla 21 Elementos a dimensionar en el diseño electrónico .....	43
Tabla 22 Características del autómatas programable .....	44
Tabla 23 Características del módulo de entradas analógicas .....	45
Tabla 24 Características de los transmisores de temperatura.....	46
Tabla 25 Características del módulo de salidas analógicas .....	47
Tabla 26 Características del equipo para HMI.....	48
Tabla 27 Características de los equipos de temperatura .....	49
Tabla 28 Características de los sensores de temperatura .....	49
Tabla 29 Características del oncoeder .....	50
Tabla 30 Características de la fuente de poder.....	51
Tabla 31 Características del equipo de red .....	51
Tabla 32 Fondos de pantalla .....	61

Tabla 33 Estado de los equipos y variables en general.....	62
Tabla 34 Valores analógicos.....	62
Tabla 35 Otros elementos .....	62
Tabla 36 Características de los textos .....	63
Tabla 37 Acrónimos usados en la HMI .....	63
Tabla 38 Señales relacionadas a lazos de control de temperatura .....	64
Tabla 39 Señales relacionadas a los estados de alarmas de temperatura .....	64
Tabla 40 Señales del lazo de control de la velocidad de la banda transportadora .....	64
Tabla 41 Señales relacionadas a los estados de alarmas de velocidad.....	65
Tabla 42 Señales representadas en visores de curvas en tiempo real.....	65
Tabla 43 Lista de botones e interruptores en la HMI.....	66
Tabla 44 Lista de campos de texto en la HMI .....	66
Tabla 45 Alarmas de temperatura .....	67
Tabla 46 Alarmas de velocidad.....	67
Tabla 47 Programas de desarrollo.....	69
Tabla 48 Grupos de usuarios en la HMI .....	90
Tabla 49 Permisos asignados a los grupos de usuarios en la HMI .....	90
Tabla 50 Listado de Materiales y Especificaciones. Julio 2016 .....	92
Tabla 51 Presupuesto 1. Presupuesto de materiales, elementos y servicios. Julio 2016.....	93
Tabla 52 Resultados de Producción Previo a la Implementación. Julio 2016 .....	94
Tabla 53 Resultados Proyectados Después de la Implementación. Julio 2016.....	94
Tabla 54 Análisis Horizontal de Costos. Julio 2016.....	95
Tabla 55 Datos para elaboración de flujo de inversión.....	95
Tabla 56 Tabla de Amortización 1. Flujo de Inversión con Financiamiento. Julio 2016 ....	96
Tabla 57 Flujo 1. Flujo de Proyección de Inversión. Julio 2016.....	96
Tabla 58 Datos para elaboración de punto de equilibrio.....	97
Tabla 59 Flujo 2. Comprobación de Punto de Equilibrio. Julio 2016.....	97
Tabla 60 Resultados financieros .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema y señales de encoder incremental.....	18
Figura 2 Esquema del rotor de un encoder absoluto.....	19
Figura 3 Bosquejo de la estructura mecánica del horno tipo túnel.....	23
Figura 4 Bosquejo de la estructura mecánica del horno tipo túnel con sentido de orientación del flujo del aire caliente.....	23
Figura 5 Bosquejo de la estructura mecánica del horno tipo túnel con instrumentación.....	25
Figura 6 Diagrama unifilar.....	26
Figura 7 Pulsador de emergencia.....	28
Figura 8 Relé para activación del quemador.....	29
Figura 9 Contactor para ventiladores.....	29
Figura 10 Contactor para estado de emergencia.....	30
Figura 11 Posicionador.....	32
Figura 12 Variador de frecuencia.....	33
Figura 13 Guardamotor Sirius Innovations 3RV20.....	34
Figura 14 Disyuntor magneto térmico GB2.....	35
Figura 15 Disyuntor termomagnético tripolar.....	37
Figura 16 Transformador monofásico 440/230Vac.....	38
Figura 17 Ubicación de los elementos en el tablero de control.....	41
Figura 18 PLC S7 1200, CPU 1214C DC/DC/DC.....	45
Figura 19 Módulo de entradas analógicas, SM 1231 AI 8x13bit.....	46
Figura 20 Transmisor de temperatura, SITRANS TH300.....	47
Figura 21 Panel de operación SIMATIC, KTP900 PN Básica.....	48
Figura 22 Encoder incremental, OMRON.....	50
Figura 23 Fuente de poder, SITOP Modular.....	51
Figura 24 Conmutador SCALANCE X005.....	52
Figura 25 Esquema de red.....	52
Figura 26 Esquema de lazo de control de temperatura.....	54
Figura 27 Esquema de lazo de control de velocidad.....	55
Figura 28 Arquitectura de la HMI.....	57
Figura 29 Distribución de la HMI.....	58
Figura 30 Plantilla para diseño de HMI.....	59
Figura 31 Plantilla para diseño de HMI (Pantalla de inicio).....	59

Figura 32 Plantilla para diseño de HMI (Pantalla del proceso). .....	60
Figura 33 Plantilla para diseño de HMI (Pantalla para alarmas, recetas, administración de usuarios). .....	60
Figura 34 Plantilla para diseño de HMI (Pantalla para tendencias en tiempo real). .....	60
Figura 35 Plantilla para diseño de HMI (Pantalla para configuraciones). .....	61
Figura 36 Plantilla para diseño de HMI (Pantalla para ayuda). .....	61
Figura 37 Diagrama de flujo del macroproceso de la lógica de control .....	70
Figura 38 Pantalla: Proceso, Estado del sistema: Detenido. ....	72
Figura 39 Pantalla: Proceso, Estado del sistema: Calentando.....	72
Figura 40 Diagrama en SIMIT - Planta de temperatura.....	73
Figura 41 Pantalla: Proceso, Estado del sistema: En espera. ....	74
Figura 42 Diagrama en SIMIT - Planta de velocidad. ....	74
Figura 43 Pantalla: Proceso, Estado del sistema: Listo.....	75
Figura 44 Pantalla: Tendencia en camisa A.....	75
Figura 45 Pantalla: Tendencia en camisa B.....	76
Figura 46 Pantalla: Tendencia en camisa C. ....	76
Figura 47 Pantalla: Tendencia en la banda transportadora. ....	77
Figura 48 Pantalla: Inicio.....	78
Figura 49 Pantalla: Inicio, Inicio de sesión.....	78
Figura 50 Pantalla: Recetas, Carga de receta “Galletas blandas”. ....	79
Figura 51 Pantalla: Proceso, Visualización de valores para receta “Galletas blandas”. ....	79
Figura 52 Pantalla: Alarmas.....	80
Figura 53 Pantalla: Configuraciones.....	80
Figura 54 Simulación de TAHH en el producto en camisa A.....	82
Figura 55 Simulación de TAH en el producto en camisa B.....	83
Figura 56 Simulación de TAL en el producto en camisa C. ....	84
Figura 57 Simulación de TALL en el producto en camisa C.....	85
Figura 58 Simulación de TAH en la camisa A. ....	86
Figura 59 Simulación de TAHH en la camisa A. ....	87
Figura 60 Simulación en modificación en cambio de parámetros .....	88
Figura 61 Pantalla: Ayuda. ....	89
Figura 62 Pantalla: Administración de usuarios .....	91

## **RESUMEN**

Los hornos tipo túnel son la mejor opción en aplicaciones de galletería, gracias a la cocción en distintos niveles de temperatura, son ideales para mejorar la calidad en el producto. Un control automático es indispensable para la utilización de estos hornos en la industria. Previo a la implementación de este control se encuentra el trabajo de diseño del mismo. Así, en el diseño de la automatización, se ha involucrado la determinación de los equipos y otros elementos necesarios para la automatización, el desarrollo del programa que comandará el sistema considerando las medidas de seguridad respectivas, el diseño de la interfaz entre el usuario y el sistema y como aporte adicional se ha optado por usar una herramienta informática para evaluar el trabajo realizado. Otra información generada en el proyecto ha sido la elaboración de los diagramas útiles para la comprensión general del proyecto y para la etapa de la implementación, con el desarrollo del presente trabajo de investigación se pudo llegar a conclusiones técnicas, así como recomendaciones desde el punto de vista del autor del presente trabajo de titulación.

### **PALABRAS CLAVES:**

- HORNO
- PLC
- HMI
- INSTRUMENTACIÓN
- TEMPERATURA
- VELOCIDAD

## ABSTRACT

The tunnel type furnaces are the best choice in applications biscuits, cooking due to different temperature levels, are ideal for improving product quality. Automatic control is essential for the use of these furnaces in the industry. Prior to the implementation of this control design work is required. Thus, in the design automation, has involved the determination of equipment and other items necessary for automation, program development that will command the system considering measures respective security, the design of the interface between the user and the system and as an additional contribution has chosen to use a software tool to evaluate the work done. Other information generated in the project has been the development of workflows to the general understanding of the project and the stage of implementation, with the development of this research it could be reached technical conclusions and recommendations from the point of views of the author of this work degree.

### KEYWORDS:

- OVEN
- PLC
- HMI
- INSTRUMENTATION
- TEMPERATURE
- SPEED

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

La empresa “Nutrinaturals” & “Cereales Hedi’s” elabora productos naturales y nutritivos desde el año 2000, posee una línea de granola, una línea de galletería y panificación y la comercialización de otros productos. Esta empresa se desarrolló por muchos años en la ciudad de Ambato, sin embargo por motivos de desarrollo migró a la ciudad de Quito en el año 2014.

Actualmente la empresa lleva sus procesos tanto administrativos como de producción en una planta ubicada en el sector de Cotogchoa, en el Cantón Rumiñahui. Esta planta cumple normas de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en consecuencia sus procesos de producción cumplen con todos los estándares para productos alimenticios en líneas de panadería y pastelería.

Al momento, la línea de cereales tiene los siguientes productos, “Granola Sport”, “Granola Nutrilight” y “Granola para Desayuno Escolar” este último convirtió a “Nutrinaturals” en uno de los proveedores del estado ecuatoriano, desde el año 2008 hasta el 2014. Esta empresa posee trabajadores a nivel obrero y administrativo, en temporadas de producción alta llega a emplear hasta 45 trabajadores. Sus productos pueden encontrarse en cadenas comerciales como “Corporación El Rosado”, “Tiendas Industriales Asociadas”, “Comerciales Marveca”, “Pro-Insular”, entre otros.

Por un periodo de tiempo, la línea de galletería fue suspendida debido a varios factores, entre ellos, atender a clientes cuyas demandas de producción requerían todos los recursos disponibles en la empresa. Sin embargo los planes a futuro contemplan la reactivación de esta línea con productos de calidad los cuales mantengan un buen sabor, un alto valor nutritivo y sean libres de conservantes y otros químicos aditivos.

En la reactivación de la línea de galletería se desea utilizar un horno continuo o también llamado horno tipo túnel, cuya descripción se presentará en el segundo capítulo de este documento.

## **1.2. Justificación e importancia**

“Nutrinaturals”, es una empresa aún en categoría artesanal, cuya producción es variable de acuerdo a los pedidos semanales, sin embargo su costo fijo exige un nivel de producción mediano, el cual se busca mantener y aumentar por medio de varias soluciones administrativas presentadas. Entre ellas se encuentra la reactivación de la línea galletera la cual fue suspendida por requerir una gran cantidad de recursos humanos y de tiempo para la elaboración de una cantidad menor de producto que no justificaba mantenerla.

En un inicio la masa de las galletas era laminada y recortada por medio de una máquina laminadora, luego la masa era colocada manualmente en bandejas, que luego debían ser agrupadas en coches para entrar a la etapa de cocción en un horno giratorio. Sin embargo el uso de este horno no es recomendado en galletería debido a que no es capaz de entregar una coloración similar en todas las galletas como lo exige la norma de calidad.

Actualmente se ha adquirido una nueva máquina galletera que es capaz de entregar las figuras de masa cruda colocadas en bandejas. El siguiente proceso a optimizar es la cocción. La empresa “Nutrinaturals” tiene entre sus proyectos la utilización de un horno tipo túnel, los beneficios que se presentan debido a esta maquinaria es una cocción homogénea y disminución en el tiempo de horneado.

Luego de que la empresa realizó un análisis económico y comparó costos entre, adquirir una máquina en el exterior o plantear el diseño y desarrollo de la misma máquina realizada con mano de obra nacional se ha encontrado que la mejor opción es la segunda descrita.

En virtud de lo antes expuesto, la empresa “Nutrinaturals” ha dado paso al proyecto “Diseño y simulación de un sistema de control automático para un horno tipo túnel para la línea de galletería de la empresa Nutrinaturals”.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. General**

Diseñar un sistema de control automático para el proceso de cocción de galletas en un horno tipo túnel, mediante criterios y tecnologías en el área de control de procesos, consiguiendo una reducción en costos del producto y optimización de recursos.

### 1.3.2. Específicos

- Dimensionar los elementos necesarios para la automatización del horno tipo túnel.
- Desarrollar un software de solución para el control del proceso de cocción de galletas en horno tipo túnel, el cual permita la configuración por parte de los operarios.
- Presentar un interfaz humano máquina que permita la variación de parámetros de control y monitorización del proceso.
- Mostrar la validez de la solución de ingeniería propuesta por medio de la simulación del proceso con el uso de herramientas informáticas.

### 1.4. Alcance

El proyecto presenta dos etapas, la primera: El diseño del sistema de control automático del horno tipo túnel y la segunda: La simulación del sistema de control del proceso para verificar su funcionamiento.

Los requerimientos planteados por el área de ingeniería en alimentos son directrices para las etapas del desarrollo del proyecto, estas se detallan a continuación:

- El error admitido en el control de temperatura deberá ser menor al 1,5%.
- El error admitido en el control de velocidad deberá ser menor al 1,5%.
- Las temperaturas se podrán configurar entre 60°C y 240°C.
- Las velocidades de la banda transportadora se podrán configurar entre 0.6 y 1 metros por minuto
- El sistema de control automático deberá ser flexible para futuras expansiones del sistema en la que se añadirá nuevas etapas en el sistema continuo. El planteamiento inicial será de 3 etapas.
- El interfaz humano máquina deberá tener una pequeña curva de aprendizaje, la misma que permita un manejo fácil para los operarios.
- Las características de fuerza y potencia del sistema de transporte serán valores estimados, propuestos en cooperación con el criterio del grupo de ingeniería mecánica.

Las etapas del proyecto se describen a continuación.

### **1.4.1. Diseño del sistema de control automático del horno tipo túnel**

En esta etapa se dimensionan los elementos requeridos en la automatización del horno tipo túnel, trabajo que será reflejado en la obtención de los siguientes resultados:

- Diseño eléctrico del sistema.
- Diseño del diagrama de instrumentación y proceso.
- Selección de las técnicas de control a ser utilizadas
- Selección del sistema de control
- Selección de la instrumentación.
- Diseño de las redes de comunicación.
- Diseño e implementación del programa del autómatas que controlará el proceso.
- Diseño e implementación del HMI/SCADA (Interfaz Humano Máquina, Sistema de Supervisión Control y Adquisición de Datos).
- Análisis de resultados.

Se desarrollarán los planos de conexión eléctrica de los elementos inmersos en la automatización (entradas y salidas de los controladores) y el plano de Diagrama del Proceso e Instrumentación (P&ID), estos brindarán la información suficiente para la futura implementación del proyecto.

Se desarrollará el programa que controlará el proceso de la cocción de las galletas en el horno tipo túnel y la interfaz necesaria para la configuración del sistema por parte del operario así como la visualización de variables del proceso para una correcta monitorización del sistema. Es importante destacar que el software deberá ser flexible, de tal manera que en caso de una futura expansión mecánica la modificación en el software sea un trabajo muy breve y en su mayoría de configuración de hardware.

### **1.4.2. La simulación del sistema de control del proceso**

En esta etapa se verificará el correcto funcionamiento del programa de control desarrollado, por medio de herramientas informáticas de simulación. A su vez el proceso podrá ser reflejado a través del interfaz humano máquina previamente desarrollada, esta permitirá variar los parámetros de control de cada uno de los lazos para su adecuada sintonización.

Se analizará la posibilidad de simulación del sistema utilizando alguna herramienta como “SIMIT”, Factory I/O, u otra.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Horneado de galletas en modo industrial**

El proceso de horneado en las galletas es un punto crítico para la calidad final del producto, es por ello que a nivel industrial tanto fabricantes de hornos como productores de galletas han fijado el uso de los hornos continuos para esta aplicación, cuyas ventajas en el proceso se expondrán más adelante, sin embargo dentro de esta clasificación existe un variedad de tipos de hornos continuos, es posible clasificarlos por el tipo de transferencia de calor que usan para llevar a cabo su propósito ya sea el leudado, horneado o dorado.

##### **2.1.1. Técnicas de horneado para galletas**

De acuerdo con el tipo de galleta que se desee elaborar se recomienda el tipo de transferencia de calor adecuado para la misma, así de acuerdo a catálogos de fabricantes como “Baker Perkins” y “HAAS” quienes exponen en su documentación para clientes, recomendaciones según la aplicación de sus hornos, se obtiene la siguiente información:

Se usan hornos a gas calefacción directa cuando como producto resultante se desea una galleta dura. Por otro lado se usan hornos de convección calefacción indirecta cuando como resultado se desea una galleta blanda. La fuente de calor en ambos casos puede ser obtenida por medio de combustibles como gas natural o gasóleo, también conocido como diésel, o una fuente eléctrica como el uso resistencias para calentamiento. Los hornos de convección se recomiendan para la mayor parte de los casos.

A su vez este tipo de hornos pueden ser usados en otras líneas de productos como pan pita, pan árabe y algunos tipos de pizzas en el caso de hornos de calefacción directa, mientras que es posible el procesamiento de otros productos como tortas, pan, y productos en masa hojaldre en el caso de hornos con calefacción indirecta.

Habiendo establecido esta gama de posibilidades se plantea también el uso de hornos híbridos, en los que, en la primera etapa del horno se establece un horno a gas calefacción directa, mientras que para las etapas posteriores se utiliza un horno de convección.

Para una mejor comprensión de lo antes mencionado, se entenderá por calefacción directa que, es aquella en la que es producido el calor y emitido dentro del mismo ambiente de forma simultánea, mientras que, la calefacción indirecta es aquella en la que, el calor es producido y almacenado en un periodo de tiempo para luego ser liberado en el ambiente. Por otro lado se ha mencionado la convección como, un tipo de transferencia de calor recomendado, para ello, considerar una superficie calentada y si adyacente a esta circula un fluido, la transferencia de calor se producirá por la superposición de dos mecanismos presentes, el primero, transferencia de la energía debido al movimiento molecular aleatorio y el otro, transferencia de energía por el movimiento global o macroscópico del fluido, a este fenómeno físico se le denomina convección.

Para clarificar el uso de los hornos y elección de cada uno de ellos según el requerimiento, se planteará una breve explicación acerca de los objetivos en el horneado de las galletas.

En 2008, Loor expuso que los cambios que sufre la masa en la etapa de horneado son principalmente tres, al inicio se produce una disminución de la densidad a la par con el crecimiento de la textura y surgimiento de poros, luego se origina una reducción de la humedad, y posteriormente como etapa final, viene la coloración de la superficie. Un sistema que es capaz de llevar cada uno de estos cambios bajo control es, justamente un horno continuo u horno tipo túnel, dado que este tiene controles de temperatura en cada una de sus etapas y es esta, la variable física que juega un rol en los cambios que sufre el producto.

### **2.1.2. Hornos tipo túnel**

Los hornos tipo túnel u hornos continuos son sistemas que poseen etapas en las cuales, cada una de ellas tiene un control independiente de temperatura. El objetivo de estos sistemas, es llevar el producto por medio de varios niveles de temperaturas, de manera que, este reciba la temperatura precisa necesaria para la fase en la que se encuentra, ya sea leudado, cocción, o coloración. Los niveles de temperatura en este tipo de hornos son bajos en las primeras etapas, en etapas intermedias son temperaturas elevadas y luego, vuelven a descender. Además existen hornos con acople a una etapa de enfriamiento que, con ayuda de ventiladores busca disminuir rápidamente la temperatura del producto con fines de mejorar los tiempos del proceso.

El eje de estos sistemas es un mecanismo de transporte de bandejas, cuya velocidad es regulable, su trabajo es transportar los productos a través de las diferentes etapas del túnel. Los sistemas más sofisticados poseen la capacidad de ingreso de recetas, así a partir de la información de la receta el sistema se auto-configura tanto en el control de temperatura de cada etapa, como en la velocidad del mecanismo de transporte.

### **2.1.3. Control de los hornos tipo túnel**

En el control de los hornos tipo túnel existen dos variables que se requiere regular, estas son, la temperatura y la velocidad. La temperatura será controlada de forma independiente en cada una de las etapas del túnel, para ello suelen ser colocados sensores en la parte interna superior del sistema o en las paredes del mismo. La velocidad es regulada en el sistema de transporte, este trabajo es responsable del tiempo que permanezcan expuestos los productos en un mismo nivel de temperatura.

### **2.1.4. Ventajas del uso de hornos tipo túneles en el proceso galletero**

Se había mencionado los cambios que sufre la masa de galletas en el horneado, permitir que estas etapas se produzcan de forma ordenada y concatenada es el método ideal para la elaboración de galletas, por lo tanto, los sistemas continuos con regulación de temperatura independiente en cada tramo son la respuesta ideal.

Por otro lado se mencionó también los distintos tipos de transferencia de calor hacia los productos, si bien es cierto existen productos cuyas necesidades son satisfechas con ciertos hornos, los hornos continuos al estar constituidos por varias etapas, pueden tener estructuras distintas de acuerdo a la necesidad del producto, es por ello la existencia de los hornos continuos híbridos.

Los hornos continuos son sistemas que permiten fácil ampliación, es así que, algunos fabricantes los venden en una presentación modular, de esta forma en caso de que se requiera una mayor producción de galletas no será necesario dar por obsoleto la maquinaria anterior sino, únicamente añadir módulos al sistema existente.

Estos sistemas permiten la estructura de procesos continuos y reducción de tiempos muertos, no es así el caso en el que los procesos incluyen hornos tradicionales y agrupamiento de producto por bloques, por ejemplo aquellos en los que el producto debe ser colocado en bandejas, enviado a hornear y luego de un periodo de tiempo es obtenido el producto caliente para pasar por una etapa de

enfriamiento, así, en caso de un cálculo erróneo de tiempos o descoordinación de una área, pueden producirse retrasos en los que las siguientes etapas de producción, no tienen producto para continuar su trabajo. En el caso de los hornos continuos todo el tiempo se está colocando en el sistema de transporte producto crudo y así mismo, todo el tiempo está saliendo del horno producto caliente que pasa por una etapa continua de ventilación y entrega producto para posterior empaquetado u otro proceso requerido según el tipo de galleta.

## **2.2. Sistemas de control**

Un sistema de control es un conjunto de elementos físicos cuyo objetivo es regular una variable física perteneciente a un entorno. La forma en la que este trabaje lo define como un sistema de control en lazo abierto o un sistema de control retroalimentado.

Para una mejor comprensión de este tema se expondrán conceptos básicos esenciales.

Según Ogata (1998) “La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada”. (p.2)

Según Ogata (1998) “Los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto”. (p.7)

Un sistema en lazo cerrado es aquel que tiene una retroalimentación del valor actual de la variable que se desea controlar, y a su vez la compara con el valor deseado para obtener una señal de error, esta señal se ubica a la entrada del controlador.

Dentro de las técnicas de control moderno es posible encontrar algunas opciones sofisticadas, sin embargo la elección de la técnica de control será escogida según el requerimiento del sistema. Los aspectos a considerar son varios, entre ellos se tiene: el tiempo de respuesta que tiene el sistema, el tipo de sistema, el error máximo admitido, entre otros. Las técnicas de control clásico y moderno más conocidas son: Control ON-OFF, Control Proporcional Integral Derivativo (PID), control P, control PI, algoritmos digitales basados en controles PID mucho más potentes tipo A, B, C y adaptativos, control fuzzy, control por redes neuronales, entre otros.

### 2.2.1. Controladores industriales

En la industria los controladores pueden ser de dos tipos, Controladores Dedicados y Controladores Lógicos Programables (PLC). Los controladores dedicados poseen todos los recursos para mantener regulado un sistema específico mientras que, los PLC permiten introducir una lógica de control a cualquier sistema, hoy en día estos equipos son muy potentes y pueden controlar varios sistemas a la vez, dependiendo del número de lazos de control que sea permitido por el equipo, y del número de módulos de entradas y salidas que posea. Para el propósito de este trabajo se tomará en consideración estos últimos controladores.

Los PLC son equipos electrónicos que le dieron un giro al control industrial desplazando la lógica cableada debido a que esta no admite una fácil modificación, en lugar de ello, se desarrolló la opción de programación en lógica de contactos. Sin embargo no son equipos de fuerza y requieren las respectivas conexiones a aparatos como contactores para controlar los sistemas.

A continuación se presentarán algunas características de estos equipos:

- Son equipos de alta confiabilidad, diseñados para resistir vibraciones, temperaturas hostiles, humedad y ruido electromagnético.
- Tienen capacidad de procesamiento similar al de un computador, sin embargo tienen un tamaño menor.
- Al inicio su programación fue basada en la lógica de contactos, hoy en día se ofrecen varios lenguajes de programación para el mismo equipo y programas de conversión de lenguaje y actualización de versiones antiguas a modernas.
- No requieren mayor mantenimiento.
- Presentan una inversión inicial elevada, más la prestación de su servicio puede extenderse por más de una década sin ningún inconveniente.
- Se presentan modulares, compactos y semi-modulares.
- Están disponible en el mercado una gran variedad de equipos con distintas características según la necesidad de la automatización.

Los aspectos a considerar para la elección de un PLC son los siguientes:

- El número de entradas y salidas que se requieren para el sistema, entradas tanto discretas como analógicas. Se escoge entre modulares, semi-modulares y compactos.

- Los recursos como el tipo de operaciones que puede realizar, tamaño de la memoria, y tipo de variables que admite.
- La velocidad del procesamiento como valor del tiempo de SCAN (tiempo que tarda la Unidad Central de Proceso CPU en procesar todas las instrucciones del programa, medible en  $\mu\text{s}$ ), tiempo que se tarda en cada instrucción y velocidad de comunicación.
- El costo del equipo, de los accesorios, del software de programación, de los módulos que se necesite y rack si aplica.
- El posicionamiento de la marca en el país en donde se vaya a realizar la automatización, de este punto depende la disponibilidad de accesorios, garantía, repuestos y servicio técnico.
- El soporte técnico como consultas y manuales pudiendo también ser estas en línea.
- Los protocolos de comunicación para interfaces u otros equipos presentes en la automatización como sensores y actuadores.

### **2.3. Interfaz Humano Máquina**

En un entorno controlado es necesaria una interacción con el humano, esta disciplina es llamada Interacción Persona-Ordenador (IPO). Y para ello son desarrolladas las interfaces conocidas como Interfaz Humano Máquina (HMI). Las HMI pueden ser simples como un conjunto de controles y luces que permitan accionar elementos o indiquen estados del sistema respectivamente. En la actualidad se desarrollan HMI mucho más extensas, con pantallas que reflejan estados del sistema, animaciones que permiten comprender al instante alertas y otras necesidades de atención, ingreso sofisticado de datos como recetas, control de acceso por niveles y uso de contraseñas entre otras características.

El planteamiento de interfaces requiere cumplir normativas y estándares para que la respuesta que el usuario presente sea la adecuada. Un documento que recopila la información de los estándares es la guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión, este documento conocido como GEDIS ofrece un método de diseño para interfaces basadas en niveles. El documento se secciona en dos, inicialmente presenta pautas para el diseño de las interfaces, mientras que luego, expone un sistema de

evaluación con resultados cuantitativos que, le permite al desarrollador evaluar su trabajo y mejorarlo si es el caso.

### **2.3.1. Normas y estándares para diseño de HMI**

Para el desarrollo de interfaces, la guía Gedis enlista los siguientes indicadores:

#### **Arquitectura**

Se establece un mapa en el que se incluyen todas las ventanas que se van a diseñar junto con su respectiva función, a su vez, se define la relación que tendrán entre ventanas, esta actividad será útil en el desarrollo de la navegación del sistema. La recomendación de la guía es que, los niveles de jerarquía no excedan a cuatro.

#### **Navegación**

Se busca una navegación fácil e intuitiva, para conseguir esto se puede organizar menús. Se establece un mapa en el que se incluyen todas las ventanas que se van a diseñar junto con su respectiva función, a su vez se define la relación que tendrán entre ventanas, esta actividad será útil en el desarrollo de la navegación del sistema. Se debe brindar facilidad de navegación entre áreas para que el operar pueda revisar rápidamente todas sin requerir la mayor cantidad de acciones.

#### **Distribución**

Se definen las plantillas para los distintos tipos de pantallas y la ubicación de los elementos en cada una de ellas. Para la elaboración de las plantillas se debe considerar el Diagrama de Gutenberg el cual sostiene que, el movimiento del ojo va de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, por lo tanto los elementos de mayor importancia deberán estar de arriba hacia abajo, por otro lado el centro de la pantalla es también un lugar fácilmente apreciable. Las funciones e información importante deben tener un lugar fijo en las pantallas. Los gráficos se aprecian mejor del lado izquierdo de la pantalla y tanto este como las plantillas en general deben conservar simetría.

#### **Color**

El uso adecuado del color genera cambios positivos en la reacción que tiene el usuario al usar la interfaz. Este debe ser conservador y acentuar estados críticos del sistema cuando sea oportuno, la combinación de colores debe ser consistente para toda la interfaz. Las combinaciones deben ser máximas de cuatro colores para novatos y siete para un desarrollador con experiencia. Se aconseja además resaltar

con tamaños de fuente y formas. En caso de existir intermitencia debe permitir una declinación una vez percibido el objetivo.

Se recomienda uso de colores neutros para el fondo de la pantalla (azul, beige, arena o gris) se excluyen totalmente blanco y negro por generar resplandor. El color en los controles debe estar en contraste y evitar el uso de colores primarios en especial en zonas extensas de la pantalla.

### **Texto**

Son escogidas las fuentes y tamaños no más de tres, alineación, espaciamiento, acrónimos y abreviaturas. La fuente que se aconseja es “Sans serif” y tamaños no menores a 8, debe ser posible leer el texto a distancia. No se debe abusar del uso de las mayúsculas y usar énfasis en casos netamente especiales. La alineación adecuada es a la izquierda para el texto, a la derecha para los números y el punto decimal siempre debe estar alineado.

### **Estado de los equipos y eventos del proceso**

Se eligen los iconos que se exponen en los diferentes estados de un equipo, o de un proceso, generalmente aplicado para bombas, ventiladores, bandas, filtros, válvulas, etc. Estos símbolos deben estar ligados a estándares internacionales para no provocar confusiones, deben ser simples y estar enmarcados en bordes de colores oscuros. Al final se desea obtener una lista de todos los iconos que serán usados.

### **Valores del proceso e información adicional**

El sistema puede tener una gran cantidad de datos sin embargo mucha de esta no es necesaria para el operador, se debe procurar no abombar la pantalla con demasiada información, para no caer en un error la guía clasifica los datos de la siguiente manera:

- Los datos de conducción de un área de la planta, ubicarlos en zonas cercanas al equipo.
- Los datos de la seguridad de la planta, ubicarlos en zonas de alta visibilidad.
- Los datos de las alarmas críticas del proceso, ubicarlos en zonas cercanas al equipo.
- Los datos de las alarmas no críticas del proceso, ubicarlos en pantallas de detalles.
- Los datos de las alarmas de los equipos, ubicarlos en pantallas de detalles.
- Los datos estadísticos del área, ubicarlos en zonas de menor visibilidad.

- Los datos estadísticos de los equipos individuales, ubicarlos en pantallas de detalles.

### **Tablas y gráficos de tendencias**

A continuación se presentarán las respectivas recomendaciones para el uso de tablas y gráficos de tendencias:

- No colocar más de nueve variables en un mismo gráfico.
- Diferenciar las variables con colores y tipos de línea.
- Definir los rangos con coherencia.
- Exponer el valor máximo y el valor mínimo de cada variable.
- Colocar los nombres de los ejes de los gráficos.
- Permitir al operador quitar alguna variable.
- Usar una rejilla leve en el fondo.
- Colocar nombre en los encabezados.
- Ordenar las filas por importancia, frecuencia de uso, función, tipo, tiempo o alfabéticamente.

### **Comandos e ingreso de datos**

Estos deben tener alta visibilidad y fácil operación, además de una retroalimentación con una respuesta positiva o negativa. Pueden ubicarse en los lugares fijados por las plantillas o en caso de ser información crítica o muy usada pueden ubicarse en los sinópticos. El mismo tipo de comando debe tener el mismo tipo de ingreso o botón.

En cuanto a los diálogos, estos deben presentarse en el centro únicamente cuando su información es crítica, caso contrario deben aparecer en la parte inferior de la pantalla. La solicitud de confirmaciones es requerida en acciones irreversibles o críticas.

### **Alarmas**

Es conveniente agrupar las alarmas por críticas, de advertencia y mensajes. Las alarmas críticas amenazan la seguridad de la planta y pueden relacionarse con el paro de las actividades de producción. Mientras que las advertencias son señales que se deben atender al instante para que no evolucionen a un estado crítico. Luego, los mensajes contienen información útil para el operario y no representan una amenaza para la planta.

Su uso deber ser prudencial, en caso de abusar de este recurso el operario no podrá distinguir entre un estado verdadero de peligro y otro que no lo es. Los mensajes pueden ser colocados en una ventana aparte los cuales estén disponibles en el caso en el que el operario requiera revisarlos. La información debe ser clara y precisa incluyendo el nombre del área o equipo relacionado, la condición, el valor anómalo, la prioridad y la fecha y hora del evento. En caso de usar una alerta sonora debe poder declinarse aun si el estado de anomalía continúa.

#### **2.4. Sistema de instrumentación**

Un sistema de instrumentación es un conjunto de instrumentos que permiten obtener el nivel de las variables físicas de un entorno para fines de reporte o control. En este conjunto se encuentran los sensores, transductores y transmisores, a continuación se definirán cada uno de estos para una mejor comprensión:

##### **Sensor**

Según Pallás (2003) “Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida”. (p.3)

##### **Transductor**

Según Espinoza (2011) un transductor es “Un dispositivo que convierte una señal estandarizada en otra señal estandarizada y que realiza algún tipo de procesamiento en esta señal”. (p.3)

##### **Transmisor**

Según Espinoza (2011) un transmisor es “Un dispositivo que traduce la señal producida por un elemento principal en una señal normalizada de instrumentación”. (p.4)

Los elementos de un sistema de instrumentación obedecen a ciertas características físicas que permiten la elección entre uno u otro según la necesidad del sistema, estas características son rango, alcance, error, sensibilidad, repetibilidad, histéresis, exactitud, e incertidumbre de la medida.

El rango hace referencia a los límites superior e inferior en el que el sistema de medida puede medir. El alcance es la diferencia algebraica entre los límites antes mencionados. El error es la desviación que tiene el valor medido respecto al valor real del entorno. La sensibilidad es la mínima variación en la variable medida que puede causar un cambio en la salida del sistema de medición. La repetibilidad es la

capacidad del sistema de medida para entregar el mismo valor en distintas ocasiones cuando el valor real es el mismo. La histéresis es la diferencia máxima que puede observarse en el cambio de los valores obtenidos por el sistema de medida cuando el valor real tiene una variación desde el límite inferior al superior y de vuelta. La exactitud es la característica del sistema de aproximar el valor verdadero a un valor superior o inferior.

Cada sistema de medida debe ser comparado con un equipo patrón la diferencia resultante es declarado por el fabricante en las especificaciones del equipo, sin embargo el patrón a su vez presenta un error frente a la medida real, adicionalmente existen otros factores como condiciones ambientales, error en la lectura, entre otros, los cuales generan un inevitable error para todo instrumento que no es posible de obtener, a este inconveniente se le conoce como “Incertidumbre en la medida”

#### **2.4.1. Instrumentación y sensores de temperatura**

La medición de la temperatura es una de las tareas más comunes en la industria, para ello es posible ayudarse de ciertos fenómenos físicos que alteran a los cuerpos dependiendo de la temperatura a la que se encuentren sometidos tales como, la variación del volumen y resistencia de conductores (sondas de resistencia) y semiconductores (termistores), el efecto termoeléctrico entre dos metales distintos (termopares), intensidad de la radiación emitida (pirómetros de radiación), velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.

La detección de estos fenómenos ha permitido el desarrollo y uso de sistemas de medición como termómetros de vidrio, termómetros bimetalicos, termómetro de bulbo y capilar actuados por líquidos, vapor, gas o mercurio, termómetros de resistencia, termopares, pirómetros de radiación, termómetros ultrasónicos, y termómetros de cristal de cuarzo. Su aplicación dependerá entre otras características del rango en el que pueden ser empleados, así se expondrá a continuación los rangos y otras características de los termómetros más comunes.

##### **Termómetro de vidrio**

Al calentarse, el cuerpo contenido se dilata, entre los fluidos utilizados son mercurio (-35°C a 280°C), tubo capilar lleno de gas mercurio (-35°C a 450°C), pentano (-200°C a 20°C), alcohol (-110°C a 50°C), tolueno (-70°C a 100°C).

### **Termómetro bimetalico**

Se basa en el fenómeno físico que se produce por los distintos coeficientes de dilatación de dos metales, por ejemplo el latón o acero y una aleación de ferróniquel o Invar, laminados y unidos firmemente. Estas láminas pueden estar colocadas rectas o en forma de espirales. Dependiendo de la aplicación estos sensores son fabricados con una longitud de vástago distinto con rangos de medida de  $-70^{\circ}\text{C}$  a  $400^{\circ}\text{C}$ .

### **Termómetro de resistencia**

Según la temperatura a la que está expuesto el material, este cambia su resistencia eléctrica. Estos equipos se presentan en un arrollamiento de hilo del conductor bobinado entre capas de material aislante y cubierto con vidrio o cerámica. Cada conductor tiene una característica de “Coeficiente de temperatura de resistencia” y es la variación de la resistencia en ohmios por cada grado centígrado de temperatura. La información de cada material usado en esta aplicación está disponible en la literatura de instrumentación que no será detalla en este documento.

Los materiales usados en estos termómetros de resistencia son metales como Platino con rango de  $-260^{\circ}\text{C}$  a  $850^{\circ}\text{C}$ , Cobre con rango de  $-100^{\circ}\text{C}$  a  $260^{\circ}\text{C}$ , Níquel con rango de  $-100^{\circ}\text{C}$  a  $260^{\circ}\text{C}$ , Níquel-Hierro con rango de  $-100^{\circ}\text{C}$  a  $204^{\circ}\text{C}$ .

### **Termistor**

Son semiconductores electrónicos que tienen un coeficiente de temperatura negativo y de valor elevado, permiten variaciones rápidas y de gran amplitud ante pequeños cambios de temperatura, mas su respuesta no es lineal. Para aplicaciones de control su uso recomendado va en el rango de trabajo de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$ .

### **Termopar**

Se basa en el efecto Seebeck, en el que hay una emisión de electricidad en un circuito termo-eléctrico que consta de dos metales distintos conectados en serie produciéndose un flujo de electrones desde el lado con mayor temperatura hacia el lado con menor temperatura. También llamados termocuplas, estos de acuerdo a sus materiales se los conoce como del tipo E, T, R, S, B, N, C, D, G, L, U y las más comunes, termocupla tipo J par Hierro y Cobre-Níquel con rango de  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $1200^{\circ}\text{C}$ , y termocupla tipo K par Níquel-Cromo y Níquel-Aluminio con rango de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $1250^{\circ}\text{C}$  dependiendo mucho de la aplicación.

### **Pirómetro de radiación**

Se basa en la ley de Stefan-Boltzmann, quien afirma que la intensidad de energía radiante que emite la superficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta

potencia de la temperatura absoluta en escala Kelvin. Dentro de esta clasificación se encuentran el pirómetro de infrarrojo que mide temperaturas de 0°C a 4000°C.

### 2.4.2. Encoders incrementales y absolutos

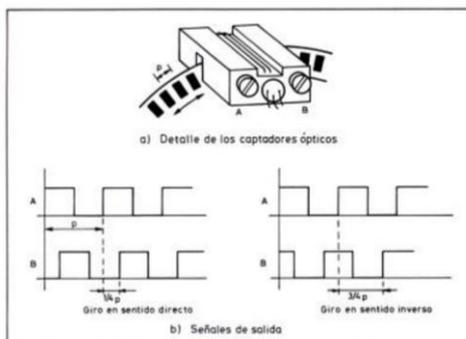
Los encoders son mecanismos constituidos por un elemento rotor que posee una cantidad de bandas alternadas y un elemento estator que posee lectores ópticos que detectan la presencia o no de las bandas según la posición del rotor. Existen dos tipos de encoders, los incrementales y los absolutos los cuales se detallan a continuación:

#### Encoders incrementales

En este tipo de encoders su lectura reconoce la presencia de una banda más opaca o de una transparente, brindan la capacidad de medir el número de vueltas que ha dado el estator, por medio de la entrega de un número de pulsos entregados por vuelta. Permiten a su vez obtener el recorrido angular únicamente si se cuenta con punto de inicio conocido.

Son colocados dos lectores ópticos para obtener la información de sentido de giro, como lo indica la figura 1.a (Balcells & Romeral, 1997), esto permite obtener señales desfasadas en forma de pulsos como lo indica la figura 1.b, así el desfase entre las señales indica el sentido de giro, de modo que en un sentido se tendrá un desfase de  $\frac{1}{4}$  de periodo de la señal y en el otro sentido el desfase será de  $\frac{3}{4}$  del periodo de la señal. Otros encoders del mismo tipo incluyen una señal que se activa en forma de pulso por cada vuelta. La resolución angular del equipo dependerá inversamente del número de divisiones que tenga el rotor como lo indica la expresión a continuación, donde N es el número de bandas en el rotor.

$$\text{Resolución} = \frac{360^{\circ}}{N}$$



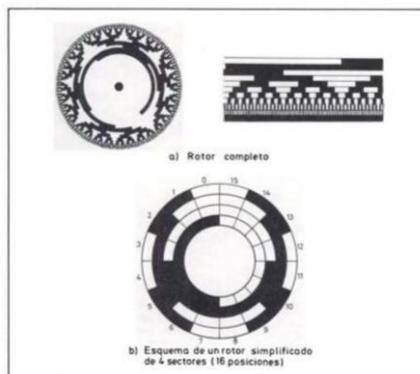
**Figura 1 Esquema y señales de encoder incremental.**

Fuente: (Balcells & Romeral, 1997)

### Encoders absolutos

Este tipo de encoders cubren las prestaciones de los encoders incrementales y además permiten conocer el estado del sistema sin requerir un punto de origen conocido, gracias al tipo de bandas incluidas en el rotor, estas bandas son codificadas de forma binaria, así aún después de un corte de energía es posible conocer la posición del rotor, algunos encoders presentan codificaciones binarias para más de una vuelta por lo que, permiten conocer además después de una caída de tensión el número de vueltas que había recorrido el rotor y su posición.

La codificación que tienen estas bandas en forma de coronas circulares concéntricas es la codificación Gray o binario reflejado, como lo indica la figura 2 (Balcells & Romeral, 1997), de esta forma cada posición tiene una combinación única, por otra parte en el estator se colocan lectores para cada una de las coronas. Una ventaja del uso del código reflejado es la variación que tiene el valor leído en cada posición continua, esta es de un solo bit por lo que es más sencillo detectar errores en la lectura de la posición.



**Figura 2 Esquema del rotor de un encoder absoluto.**

Fuente: (Balcells & Romeral, 1997)

Sí un encoder absoluto tiene N número de bandas en el rotor se tendrá una lectura de N bits que permite  $2^N$  combinaciones, así la resolución será fijada por la siguiente ecuación:

$$\text{Resolución} = \frac{360^\circ}{2^N}$$

## **2.5. Accionamientos y actuadores**

Un pre-accionamiento es un elemento que transforma o amplifica una señal de control, en un sistema de automatización recibe la señal de un controlador y la transmite convertida hacia un elemento actuador. Un accionamiento o actuador es el elemento final en un sistema mecatrónico, si este pertenece a un sistema automático el actuador tendrá efecto sobre la variable a controlar del sistema.

### **2.5.1. Posicionadores**

Un posicionador es un tipo de actuador que transforma una señal de control en una posición bajo un movimiento lineal o rotacional.

#### **Posicionadores rotativos**

Estos posicionadores reciben una señal de control, de tensión o de corriente y realizan un movimiento angular, estos equipos pueden efectuar sus movimientos por medio de energía eléctrica, neumática u otro tipo de energía.

El ángulo de desplazamiento es un valor especificado por el fabricante, así el porcentaje de la señal de control que se envíe será el porcentaje del desplazamiento que tendrá dentro del rango señalado.

### **2.5.2. Variadores de frecuencia**

Los variadores de frecuencia son elementos de electrónica de potencia, que permiten que la alimentación de un motor de corriente alterna tenga una frecuencia en hertzios susceptible a cambiar entre un rango de trabajo definido por el fabricante. Aunque generalmente es usado para alimentar al motor con señales de frecuencia menor a la red eléctrica es también posible usarlos para proporcionar señales con una frecuencia mayor, causando así que el motor trabaje más rápido de la velocidad que al diseñar fue puesto como límite superior.

Los parámetros a configurar en estos equipos son distintos según el fabricante y por supuesto el modelo, entre ellos se tiene la rampa de aceleración y desaceleración, que son tiempos en segundos que el motor debe tardar en llegar a la velocidad deseada o desde esta llegar a detenerse respectivamente. Otro parámetro es la velocidad máxima y mínima que se desea permitirle al motor. Es posible ingresar un conjunto de velocidades predefinidas las cuales van a presentarse cuando el usuario o controlador envía el comando respectivo. Otra característica es el movimiento por impulsos conocido en los variadores de frecuencia como JOG, al configurar este

parámetro se le debe asignar una señal lógica para transmitir por ella la señal de pulsos, esta característica es útil en el caso de que sea importante la posición de un motor. Por último, entre la configuración se debe elegir, el tipo de frenado que se desea que tenga el motor, entre las opciones se tiene frenado por inyección de corriente continua o rueda libre o rampa de desaceleración.

Las entradas y salidas de estos equipos pueden incluir tanto señales discretas como analógicas, indistinto de su comunicación que puede ser por puertos de comunicación como RS232, RS485, Ethernet u otro.

## **CAPÍTULO III**

### **DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN**

#### **3.1. Introducción**

Dado lo expuesto, y debido a la recomendación del área de ingeniería en alimentos se tiene que, la mejor opción para horneado de galletas es un horno tipo túnel con transferencia de calor por convección. Así el área mecánica por tanto propone una estructura de tres camisas las cuales en su interior tendrán aire caliente circulante proveniente del trabajo de un quemador de gasóleo y con desfogue a una chimenea.

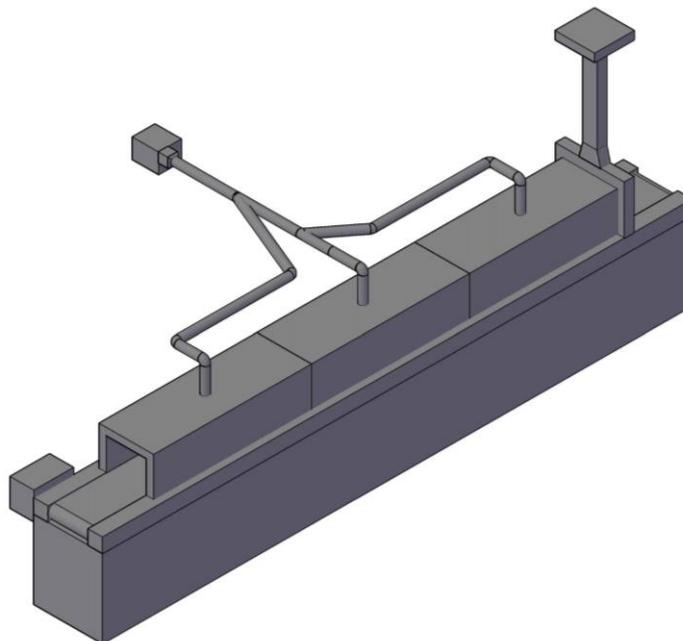
Por otro lado el horno tendrá un sistema de transporte que, por medio de una banda desplazará las bandejas a lo largo de las camisas cumpliendo así con el horneado de las galletas. Para una mejor comprensión de la estructura mecánica observe la figura 3.

#### **3.2. Explicación de la estructura mecánica**

Los valores que se presentarán en este capítulo, respecto a datos relacionados con la parte mecánica del horno son valores estimados provistos por el criterio del área de ingeniería mecánica, habiendo expuesto esto se tiene que, la energía térmica necesaria para calentar el interior del horno está alrededor de los 70kW, existen varios medios para conseguirlo, sin embargo luego de un análisis comparativo entre el uso de actuadores eléctricos y el uso de un equipo de combustión a base de diésel el segundo consigue ser el más conveniente para la economía de la empresa y por consecuencia para el precio del producto final. Es así que en primera instancia se ha observado el uso tentativo de un quemador cuya potencia térmica se encuentra en el rango de 52,2 – 86,6 kW con un consumo de gasóleo en el rango de 4,4 a 7,3kg/h.

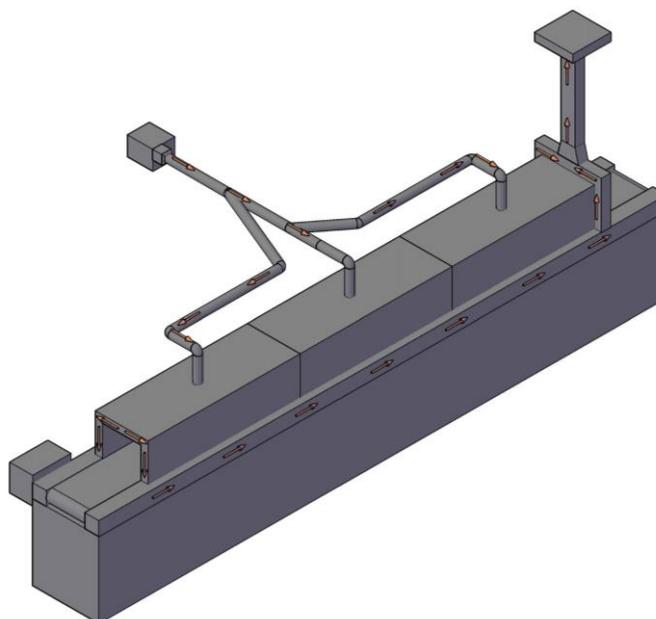
Es necesario el uso de un ventilador de 3580W que empuje la masa de aire caliente siguiendo la ruta indicada en la figura 4. Para comprender el flujo de calor en el sistema se expondrá la orientación del aire caliente de una sola camisa debido a que, casos similares suceden en las otras dos camisas, así, como puede observarse en la figura 4. El aire caliente proviene de un quemador de diésel, y atraviesa el conducto hasta llegar a la camisa, luego fluye por la camisa calentando el interior del horno y por consiguiente el producto a hornearse, luego es conducido hacia un canal de desfogue cuyo elemento final es una chimenea situada en el exterior de la planta.

La longitud de cada camisa es de 2 metros por consiguiente el túnel representa aproximadamente 6 metros de calor. Es preciso señalar que el producto de la combustión del diésel no tiene contacto directo alguno con el producto a hornearse dado que este permanece en sus propios ductos hasta llegar al exterior.



**Figura 3 Bosquejo de la estructura mecánica del horno tipo túnel.**

Fuente: (Nutrinaturals, Area de mecánica, 2016)



**Figura 4 Bosquejo de la estructura mecánica del horno tipo túnel con sentido de orientación del flujo del aire caliente.**

Fuente: (Nutrinaturals, Area de mecánica, 2016)

El sistema de transporte está planteado de tal forma que, las bandejas con masa cruda serán colocadas en el inicio del túnel sobre una banda, la misma que, permite que las bandejas atraviesen el túnel de calor para luego ser retiradas al final del recorrido con el producto listo para la etapa de enfriamiento. La longitud de la banda transportadora es de aproximadamente 8 metros. El sistema de transporte será impulsado por un motor eléctrico trifásico de 2 HP de potencia.

Es necesario establecer que la estructura tendrá materiales coherentes para la aplicación es decir de grado alimenticio, mismos que son nombrados en la normativa técnica de Buenas Prácticas de manufactura (BPM). El uso de un horno que funcione a diésel no es nuevo para la empresa por lo que cuenta y renueva anualmente los permisos respectivos de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrico (ARCH).

En cuanto a la ergonomía de la estructura, el espacio y la altura son adecuados para una alimentación de bandejas de forma manual sin embargo, el ideal para el futuro es que, en el inicio de la banda transportadora se encuentre acoplada la entrega de bandejas de la máquina laminadora y al final de la banda se encuentre acoplada una estación de enfriamiento y posterior empaque, de esta manera la máquina puede ser parte de un proceso continuo.

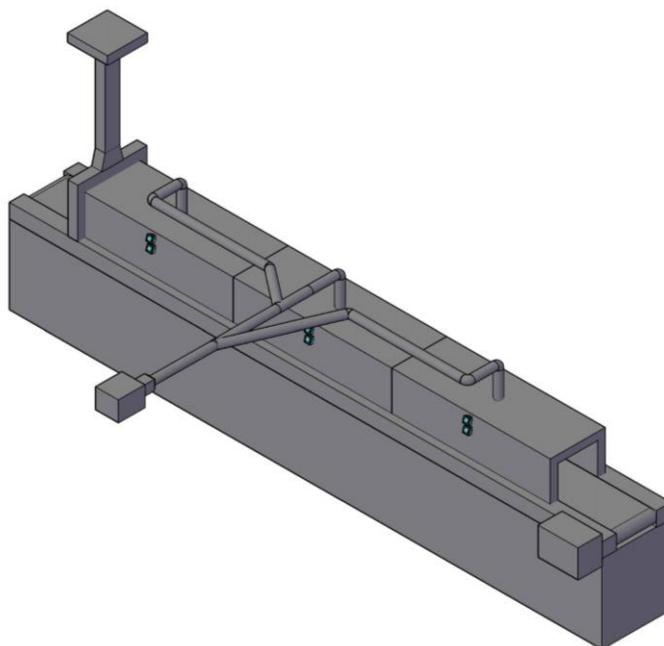
### **3.3. Propuesta de automatización**

De acuerdo a lo expuesto las variables a controlar en la automatización de este sistema son temperatura y velocidad. Serán colocados dos sensores de temperatura por camisa, uno dentro del horno para obtener la temperatura a la cual estarán sometidos los productos cuando atraviesen dicha camisa mientras que, otro será colocado entre las paredes de la camisa expuesto al aire caliente proveniente del quemador, este último cumplirá funciones de seguridad, así en caso de que la temperatura sea mayor a un determinado valor el sistema podrá desactivar automáticamente el quemador de diésel (ver figura 5).

Al contar con tres camisas para el túnel, se podrá regular tres niveles de temperatura independientes entre ellos. El operador deseará no solo configurar los valores de temperatura según el tipo de galleta sino también el tiempo de horneado, para lo cual se desarrollará una regulación de la velocidad de la banda transportadora por medio de un variador de frecuencia aplicado al motor que impulsará el sistema

de transporte, este control tendrá retro-alimentación proveniente de un encoder acoplado a dicho motor.

Como se ha mencionado los rangos de control, en el caso de la temperatura se encuentran entre  $60^{\circ}\text{C}$  y  $240^{\circ}\text{C}$ , mientras que los rangos de velocidad para el sistema de transporte se encuentran entre 0.6 y 1 metros por minuto.



**Figura 5 Bosquejo de la estructura mecánica del horno tipo túnel con instrumentación.**

Fuente: (Nutrinaturals, Area de mecánica, 2016)

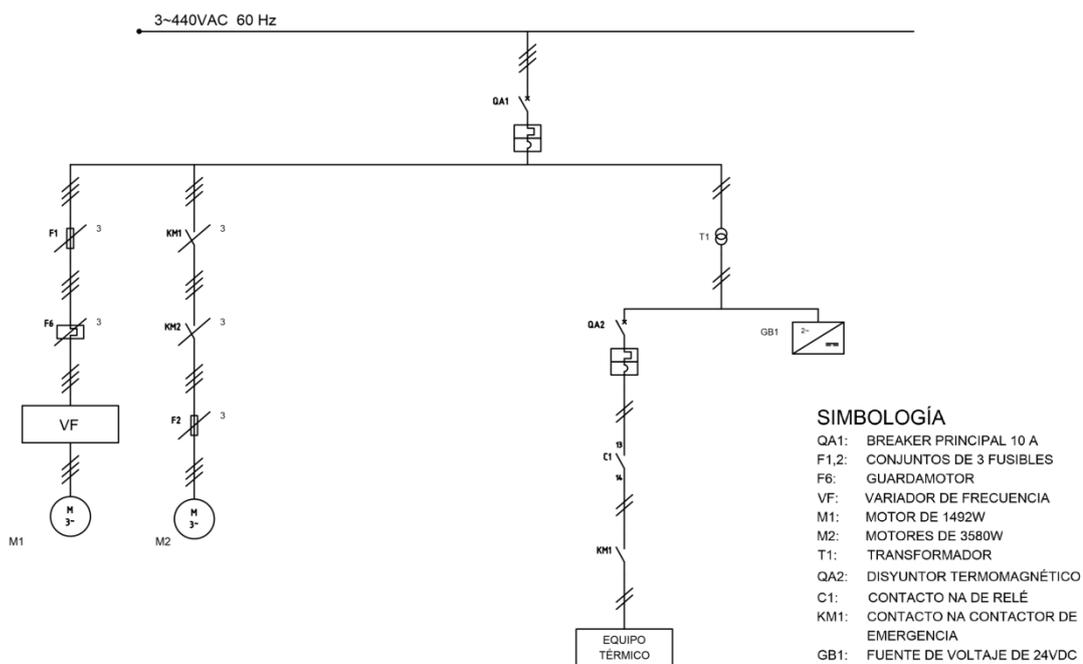
## CAPÍTULO IV

### DISEÑO ELÉCTRICO

#### 4.1. Planteamiento del diagrama eléctrico

Para comprender los elementos citados más adelante se debe observar el diagrama unifilar (ver figura 6), otros elementos que no se visualizan allí son actuadores y pre-actuadores de los lazos de control de temperatura y velocidad que también serán determinados en este capítulo. Una lista de los elementos mencionados y su respectiva función se encuentra disponible más adelante (ver tabla 1). Una imagen más amplia del diagrama unifilar se encuentra en el anexo 1.

##### 4.1.1. Diagrama unifilar



**Figura 6 Diagrama unifilar**

#### 4.1.2. Lista de equipos y elementos a dimensionar

**Tabla 1**  
**Elementos presentes en el diseño eléctrico del sistema**

<b>Descripción</b>	<b>Funcionalidad</b>
<b>Disyuntor</b>	Protección general del sistema
<b>Guarda motor</b>	Protección del motor de la banda transportadora
<b>Variador de frecuencia</b>	Protección y mando para el motor de la banda transportadora
<b>Contactador</b>	Interruptor automático para energización del sistema de ventilación
<b>Contactador</b>	Interruptor automático para cambios en estado de emergencia
<b>Fusibles</b>	Protección contra corto circuito en alimentación de ventiladores
<b>Transformador</b>	Reductor de voltaje para conexión a fuente de corriente continua
<b>Termomagnético</b>	Protección para quemador
<b>Relé</b>	Interruptor automático para quemador
<b>Balizas</b>	Indicadores de estado del sistema
<b>Posicionadores</b>	Elementos actuadores en el control de temperatura
<b>Conductor</b>	Transmisores de señal y alimentación
<b>Armario metálico</b>	Contenedor y protector de los equipos
<b>Pulsador de emergencia</b>	Elemento de mando para emergencia

#### 4.2. Dimensionamiento y selección de aparatos de maniobra

##### 4.2.1. Selección de interruptores, relés y contactores

Se tendrá un interruptor para uso en caso de emergencia, el aparato se describe en la Tabla 2. Más adelante se describirá el contactor que se activará con este elemento y su rol de seguridad para los elementos de fuerza del sistema. La corriente que soportará el ramal donde estará conectado el botón de emergencia será la generada por la bobina del contactor, la cual no supera el valor de 10 A.

**Tabla 2**  
**Descripción de pulsador de emergencia**

<b>Tipo de aparato de maniobra</b>	<b>Pulsador tipo hongo</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Diámetro de montaje</b>	22mm
<b>Desenclavamiento</b>	Por giro
<b>Diseño</b>	Ergonómico para mayor comodidad al operar.
<b>Corriente térmica</b>	10A
<b>Nivel de protección</b>	IP67
<b>Imagen</b>	(ver figura 7)



**Figura 7 Pulsador de emergencia**

Fuente: (Siemens S.A., 2016)

En cuanto al uso de relés, se incluirá uno en las salidas digitales del autómata que permitirá la activación del quemador bajo un control automático. Las características del relé a usar se presentan la Tabla 3. Este es un equipo propio para interfaz de voltaje de 24Vdc a 230Vac, cuyo uso es ideal para el sistema.

**Tabla 3**  
**Descripción del relé para activación del quemador**

<b>Tipo de aparato de maniobra</b>	<b>Relé</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Tipo</b>	3RQ3018-1AB01
<b>Diseño</b>	Ultra delgado 6.2 mm
<b>Corriente térmica</b>	10 A
<b>Imagen</b>	(ver figura 8)



**Figura 8 Relé para activación del quemador**

Fuente: (Siemens S.A., 2016)

Se usará un contactor para la alimentación a voluntad del ventilador del horno, así por medio del automático se podrá activar o desactivar. Las características del contactor se presentan la Tabla 4.

**Tabla 4**  
**Descripción del contactor para ventiladores**

<b>Tipo de aparato de maniobra</b>	<b>Contactador</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	Contacto Sirius Innovation 3RT20
<b>Serie</b>	3RT2016-1AF01
<b>Contactos auxiliares</b>	1 Normalmente abierto
<b>Alimentación de bobina</b>	24 V Corriente Continua (DC)
<b>Potencia</b>	6 HP con 440V Corriente Alterna (AC)
<b>Imagen</b>	(ver figura 9)



**Figura 9 Contactor para ventiladores**

Fuente: (Siemens S.A., 2016)

Se usará otro contactor para la desactivación de los actuadores en el estado de emergencia, la bobina de este contactor se energizará por medio del contacto normalmente cerrado del botón de emergencia, mientras que los contactos

principales permitirán la alimentación o no del ventilador, un contacto auxiliar normalmente cerrado notificará al variador de frecuencia el estado de emergencia para detener el sistema de transporte, mientras que el contacto normalmente abierto permitirá la activación o no del quemador. Las características del contactor se presentan la Tabla 5.

**Tabla 5**  
**Descripción del contactor para estado de emergencia**

<b>Tipo de aparato de maniobra</b>	<b>Contactor</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	Contacto Sirius Innovation 3RT20
<b>Serie</b>	3RT2023-1AG20
<b>Contactos auxiliares</b>	1 Normalmente abierto 1 Normalmente cerrado
<b>Alimentación de bobina</b>	24 V DC
<b>Potencia</b>	6 HP con 440V AC
<b>Imagen</b>	(ver figura 10)



**Figura 10 Contactor para estado de emergencia**

Fuente: (Siemens S.A., 2016)

#### **4.2.2. Selección de luces piloto**

Se tiene presente en el diseño el uso de balizas para indicar los estados del proceso, de esta forma se presenta una alerta visible al operario para que pueda prevenir alguna situación o simplemente alistar las bandejas para el ingreso dentro del horno. Las características de las balizas se presentan la Tabla 6.

**Tabla 6**  
**Descripción de las balizas**

<b>Tipo de aparato de maniobra</b>	<b>Baliza luminosa</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Tipo de luz</b>	Luz permanente
<b>Colores disponibles</b>	Roja, verde, amarillo, transparente y azul.
<b>Tensión de alimentación</b>	24 V AC/V DC

#### 4.2.3. Selección de accionamientos

En el control de temperatura se utilizarán posicionadores para la regulación de compuertas en las tuberías, estas permitirán un mayor o menor paso de aire caliente. Las características de los posicionadores a usar se presentan en la Tabla 7. Al ser tres camisas en el horno el número de posicionadores será también tres.

**Tabla 7**  
**Descripción de posicionador**

<b>Tipo</b>	<b>Posicionador ASF 113S</b>
<b>Marca</b>	Sauter
<b>Serie</b>	ASF113SF122
<b>Aplicaciones</b>	Compuertas de aire, válvulas mariposa, entre otros.
<b>Fuente de alimentación</b>	24V AC con $\pm 20\%$ con 50/60Hz, 24/48V DC $\pm 20\%$
<b>Consumo en potencia</b>	3.5W, 5.0 VA
<b>Ángulo de rotación</b>	Max. $95^{\circ}$
<b>Entrada de control</b>	0...10V, $R_i=100k\Omega$
<b>Grado de protección</b>	IP 54
<b>Imagen</b>	(ver figura 11)



**Figura 11 Posicionador**

Fuente: (AG, Fr. Sauter, 2016)

En cuanto al sistema de transporte, se requiere seleccionar un equipo para el control de velocidad del motor de la banda transportadora, las características del motor que será colocado se detallan en la Tabla 8.

**Tabla 8**  
**Características del motor del sistema de transporte**

<b>Tipo</b>	<b>Motor trifásico</b>
<b>Alimentación</b>	440V AC ~ 50/60Hz
<b>Potencia</b>	2Hp
<b>Corriente</b>	3.5 A

Con base en esta información se selecciona un equipo variador de frecuencia cuyas características técnicas se detallan en la Tabla 9.

**Tabla 9**  
**Descripción de variador de frecuencia**

<b>Tipo</b>	<b>Variador de frecuencia</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Serie</b>	6SL3210-1KE15-8UF1
<b>Unidad de control</b>	CU240E-2 PN
<b>Panel operador</b>	BOP-2
<b>Entrada de voltaje</b>	380-480V AC -20% +10%
<b>Frecuencia de trabajo</b>	50/60 Hz +/-5%
<b>Entradas y salidas de señal</b>	6 entradas digitales, 2 salidas digitales, 1 entrada analógica, 1 salida analógica.

Continúa

<b>Potencia del motor(Par constante)</b>	2HP
<b>Comunicación</b>	Comunicación integrada Profinet
<b>Grado de protección</b>	IP20
<b>Imagen</b>	(ver figura 12)



**Figura 12 Variador de frecuencia**

Fuente: (Siemens S.A., 2016)

#### **4.2.4. Dimensionamiento y selección de los elementos de protección y seguridad**

La protección que requiere el sistema de transporte obedece a las características del motor en el eje de la banda transportadora. Dado que la corriente que se espera por los ramales es 3,5 amperios el criterio para escoger el guardamotor es, la elección de un equipo que en su rango tenga el valor de la corriente nominal. Las características del guarda-motor se describen en la Tabla 10.

**Tabla 10**  
**Características del guardamotor**

<b>Tipo</b>	<b>Guardamotor Sirius Innovations 3RV20</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Serie</b>	3RV20 11 – 1EA10
<b>Tipo de protección</b>	Protege contra sobrecarga, cortocircuito y pérdidas de fase
<b>Regulación bimetalica</b>	2.8 – 4.0 A
<b>Cortocircuito</b>	52 A
<b>Número de polos</b>	Tres
<b>Frecuencia</b>	50/60Hz

Continúa

<b>Grado de protección</b>	IP20
<b>Imagen</b>	(ver figura 13)



**Figura 13 Guardamotor Sirius Innovations 3RV20**

Fuente: (Siemens S.A., 2016)

En sistemas de baja potencia el uso de fusibles no es necesario debido a que la protección contra cortocircuito se encuentra en el guardamotor, sin embargo se presentará el criterio para la elección de los mismos. El valor de la corriente para los fusibles se determina de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 I_f &= k * I_N \\
 &= 4 * 3,5A \\
 &= 14A
 \end{aligned}$$

Donde,

$I_f$ , corriente para elegir los fusibles a conectar.

$k$ , es un valor recomendado para definir la corriente máxima tolerada antes que se corte la alimentación por cortocircuito.

$I_N$ , corriente presente a plena carga.

El valor comercial siguiente es 16A. Adicionalmente se requiere colocar la protección termo-magnética para el motor del ventilador incluido en el quemador, los datos que el fabricante proporciona acerca del motor se encuentran en la Tabla 11.

**Tabla 11**  
**Características del motor en el quemador**

<b>Tipo</b>	<b>Motor monofásico</b>
<b>Alimentación</b>	230V ~ 50/60Hz
<b>Potencia</b>	100W

Se desea colocar entonces un disyuntor que inhabilite el paso de corriente en caso de sobrecarga. La corriente que se espera que cruce por los ramales de alimentación se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = V * I$$

$$I = \frac{P_m}{V * \text{Cos } \varphi * n}$$

$$I = \frac{100W}{230V * 0,8 * 0,9}$$

$$I = 0,6A$$

Donde,

$P_m$ , es el valor de la potencia del motor acoplado al eje del ventilador del quemador.

V, voltaje nominal de alimentación.

$\text{Cos } \varphi$ , factor de potencia de la carga (Valor estimado).

n, rendimiento de la máquina (Valor estimado).

I, corriente esperada en los ramales de alimentación.

El disyuntor que se recomienda se describe en la Tabla 12.

**Tabla 12**  
**Características del disyuntor**

Tipo	Disyuntor magneto térmico GB2
Marca	Schneider
Serie	GB2CB06
Regulación bimetalica	1 A
Imagen	(ver figura 14)



**Figura 14 Disyuntor magneto térmico GB2**

Fuente: (Schneider Electric, 2016)

Se contempla el uso de un juego de fusibles para la protección del ventilador, siendo que la potencia de este es 3580W, se espera una corriente en los ramales de 7A. El cálculo para la determinación de los fusibles se muestra a continuación.

$$\begin{aligned} I_f &= k * I_N \\ &= 4 * 7A \\ &= 28A \end{aligned}$$

El valor comercial a usarse será 30A. Finalmente se detalla las características del disyuntor principal para la alimentación de todo el sistema, este equipo de protección se ha dimensionado en base a la suma de cargas que se conectarán al circuito aguas abajo como se observará en los diagramas eléctricos y electrónicos, esto incluye tanto elementos de fuerza como elementos de control, sin embargo los elementos de control representan un valor mucho menor en comparación a los elementos fuerza. Se presenta un resumen de las cargas del sistema en la Tabla 13.

**Tabla 13**  
**Resumen de cargas conectadas al sistema**

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia por unidad (W)</b>	<b>Potencia total (W)</b>
<b>Motor banda</b>	1	1492	1492
<b>Ventilador</b>	1	3580	3580
<b>Motor ventilador en el quemador</b>	1	100	100
<b>Fuente de poder</b>	1	120	120
<b>Otros</b>	1	200	200
		<b>Total</b>	<b>5492</b>

Para el cálculo de la corriente que se espera, fluya por los ramales de la alimentación principal, se considerará un sistema trifásico balanceado cuya carga conectada es aproximadamente 5492W. Así la corriente en cada ramal se calcula a continuación:

$$\begin{aligned} P &= S * \text{Cos } \varphi \\ P &= \sqrt{3} * V_L * I_L * \text{Cos } \varphi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_L &= \frac{P}{\sqrt{3} * V_L * \text{Cos } \varphi} \\
 &= \frac{5492\text{W}}{\sqrt{3} * 440\text{V} * 0,95} \\
 &= 7,58\text{A}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto el equipo escogido posee las siguientes características:

**Tabla 14**  
**Características del disyuntor principal**

<b>Tipo</b>	<b>Disyuntor termomagnético tripolar</b>
<b>Marca</b>	Schneider
<b>Modelo</b>	IC60N
<b>Corriente nominal</b>	10A
<b>Capacidad de interrupción</b>	440Vac – 6KA
<b>Imagen</b>	(ver figura 15)



**Figura 15 Disyuntor termomagnético tripolar**

Fuente: (Schneider Electric, 2011)

#### **4.2.5. Dimensionamiento y selección del transformador**

Se ha planteado el uso de un nivel de voltaje igual a 440V AC para los elementos de fuerza, sin embargo estarán presentes otros elementos que requieren de un nivel de voltaje de 230V AC, por ello se plantea el uso de un transformador de voltaje cuyas cargas se presentan en la siguiente tabla 15. Para observar las características observe la tabla 16.

**Tabla 15**  
Cargas conectadas al transformador 440/230 Vac

Equipo	Cantidad	Potencia(W)
Motor ventilador en el quemador	1	100
Fuente de poder	1	120
	Total	220

El transformador escogido presenta las siguientes características:

**Tabla 16**  
Características del transformador

<b>Tipo</b>	<b>Transformador monofásico</b>
<b>Marca</b>	Magnetronic devices
<b>Voltaje</b>	Voltajes seleccionables tanto en el bobinado primario como en el secundario. (Se requiere 440/230Vac).
<b>Potencia</b>	0,300KVA
<b>Imagen</b>	(ver figura 16)



**Figura 16 Transformador monofásico 440/230Vac**

Fuente: (Siemens AG, 2011)

#### 4.2.6. Dimensionamiento y selección de conductores

Para la determinación de los conductores es considerada la corriente que fluirá por los ramales, por lo general son escogidos dos calibres de conductores, uno para control y otro para fuerza, como se ha presentado el valor más alto de la corriente en el circuito de fuerza es 7,58A y en el circuito de control se esperan valores en el rango de los miliamperios, de esta manera las características de los cables seleccionados se presentan a continuación:

**Tabla 17**  
**Características de los conductores para el circuito de fuerza**

<b>Tipo</b>	<b>Conductor de cobre tipo THHN</b>
<b>Tensión máxima</b>	600V
<b>Temperaturas máximas</b>	90°C en ambiente seco, 75°C húmedo.
<b>Calibre</b>	12 AWG
<b>Corriente</b>	25A
<b>Conductor</b>	Cobre blando, extra flexible.
<b>Aislación</b>	Policloruro de vinilo (PVC).
<b>Cubierta exterior</b>	Nylon con excelentes propiedades, eléctricas, mecánicas, térmicas y químicas.
<b>Diámetro exterior aproximado</b>	2,4mm aproximadamente

**Tabla 18**  
**Características de los conductores para el circuito de control**

<b>Tipo</b>	<b>Conductor de cobre tipo THHN</b>
<b>Tensión máxima</b>	600V
<b>Temperaturas máximas</b>	90°C en ambiente seco.
<b>Calibre</b>	18 AWG
<b>Corriente</b>	10A
<b>Diámetro exterior aproximado</b>	1,98mm

Además se requiere el uso de conductores de instrumentación, se necesitará cable de instrumentación de dos hilos con blindaje general (BG) para la conexión desde los transmisores de señal de las termocuplas hasta las entradas digitales del autómata programable, se necesitará además cable de instrumentación de cuatro y cinco hilos con blindaje general(BG) y blindaje individual (BI) para la conexión desde el autómata hasta los actuadores de posición y desde el encoder del motor de la banda hasta el autómata respectivamente.

Entendiendo que, la diferencia entre los blindajes es que, el blindaje general recubre externamente el cable para que las señales no tengan perturbaciones electromagnéticas externas mientras que el blindaje individual es aquel que protege

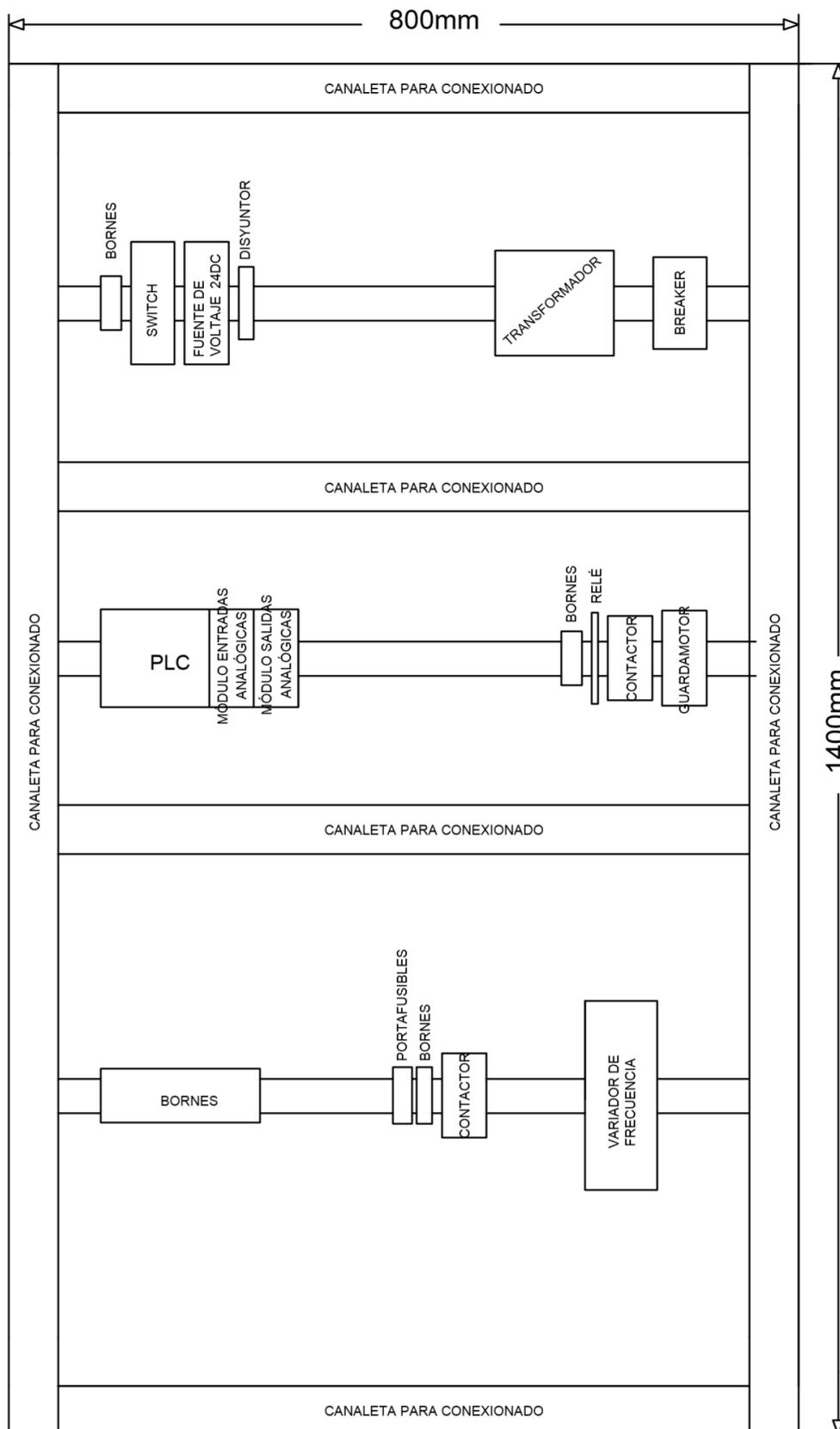
cada par o terna para que las señales no interfirieran entre ellas. Así los conductores elegidos presentan las siguientes características:

**Tabla 19**  
**Características de los conductores de instrumentación**

<b>Tipo</b>	<b>Cable de instrumentación PLTC</b>
<b>Tensión máxima</b>	300V
<b>Temperaturas máximas</b>	105 <sup>0</sup> C en ambiente seco.
<b>Calibre</b>	18 AWG
<b>Número de hilos</b>	2, 4 y 5 hilos para transmisores, actuadores de posición y encoder respectivamente.
<b>Diámetro exterior aproximado</b>	5.8, 6.9mm y 7.7mm en 2, 4 y 5 hilos.

Entendiendo PLTC como cable de bandeja de energía limitada. Otros elementos que se necesitarán en la implementación son cables de red, los cuales permitirán la comunicación entre el conmutador, el panel, el PLC y el variador de frecuencia. Siemens provee cable red de uso industrial por metros, así como los conectores de los mismos en unidades, en este caso la necesidad es seis conectores, estos conectores difieren a los comunes en el hecho de que son metálicos y más robustos.

### 4.3. Planteamiento de la ubicación de los equipos en el tablero eléctrico



**Figura 17 Ubicación de los elementos en el tablero de control.**

La distribución de los equipos será como lo indica la figura 17. De esta manera los elementos de fuerza estarán separados de los elementos de control, cabe señalar que han sido revisadas las hojas técnicas o manuales según corresponde de cada uno de los equipos, respetando las distancias sugeridas por los fabricantes entre cada uno de los elementos. Así el gabinete sugerido para usar, presenta las siguientes características.

**Tabla 20**  
**Características del gabinete a usar**

<b>Tipo</b>	<b>Armario metálico</b>
<b>Medidas</b>	1400x800x350 (mm)
<b>Protección IP</b>	IP-66

## CAPÍTULO V

### DISEÑO ELECTRÓNICO

#### 5.1. Dimensionamiento y selección de equipos

En este capítulo se expondrán los equipos inmersos en la lógica de control, una lista de los equipos que serán definidos se expone en la tabla 21 así como su respectivo papel en el control del sistema.

**Tabla 21**  
**Elementos a dimensionar en el diseño electrónico**

Descripción	Funcionalidad
Fuente de poder	Convertidor de AC/DC para circuito de control
PLC	Autómata programable que interpretará la lógica de control
Encoder	Sensor para detectar la velocidad de la banda transportadora
Transmisor	Convertidor de señal para adquisición de datos de temperatura
Sensor de temperatura	Convertidor de señal de temperatura (elemento primario)
Pantalla	Equipo para interfaz entre el usuario y el sistema
Conmutador	Elemento conmutador de información

##### 5.1.1. Dimensionamiento y selección del Autómata Programable

Los criterios para la selección de un autómata programable han sido planteados antes en el documento. De esta manera inicialmente se debe escoger el tipo de controlador a usar. Debido a los requerimientos del sistema es necesario elegir un controlador lógico programable el cual, realice una cantidad de instrucciones adicionales al control de velocidad del sistema de transporte y al control de temperatura del horno.

Lo siguiente es la elección de la marca de este autómata, Siemens posee equipos industriales con amplia cobertura de servicio técnico en Ecuador, además, la fiabilidad en sus equipos ofrece alta seguridad tanto para el cliente como para el equipo de desarrollo de proyectos de automatización.

Dentro de las familias de autómatas programables que presenta Siemens, el grupo destinado para aplicaciones de control de procesos actualmente es la S7-1200. Esta familia presenta varias versiones de CPU, existen tres grupos cuyas diferencias están entre la capacidad de la memoria para el usuario, número de entradas y salidas digitales incluidas, área de marcas, y frecuencias de los contadores rápidos. Debido a que la lógica de control se realiza con 24V DC y una vez revisados los modelos de CPU para este autómata en el catálogo 2016 de Siemens, el idóneo resulta ser la CPU 1214C DC/DC/DC cuyas características se presentan en la Tabla 22.

**Tabla 22**  
**Características del autómata programable**

<b>Tipo</b>	<b>Controlador Lógico Programable</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>CPU</b>	CPU 1214C DC/DC/DC
<b>Memoria</b>	Memoria de trabajo 25 KB Memoria de carga 1 MB Memoria remanente 2KB
<b>E/S integradas locales</b>	Digitales, 14 entradas a 24V y 10 salidas tipo relé. Análogicas, 2 entradas de 0 a 10V con resolución de 10 bits.
<b>Contadores rápidos</b>	6 en total
<b>Rendimiento</b>	0.1 $\mu$ s por instrucción en velocidad de ejecución booleana. 18 $\mu$ s por instrucción en velocidad de ejecución de funciones matemáticas
<b>Número de puertos Ethernet</b>	1
<b>Fuente de alimentación</b>	Tensión de 85 a 264 V AC y frecuencia de 47 a 63 Hz o de 20.4 a 28.8 VDC
<b>Disipación de potencia</b>	9W
<b>Imagen</b>	(ver figura 18)



**Figura 18 PLC S7 1200, CPU 1214C DC/DC/DC**

Fuente: (Siemens, 2016)

Es preciso señalar el uso de módulos para agregar señales de entrada y salida. Se requiere un módulo de entradas analógicas para la adquisición de las señales provenientes de los estados de temperatura del horno.

Por motivo de seguridad en cada camisa se tendrán dos termocuplas, una termocupla interna en la camisa y otra interna en el horno, la primera permitirá controlar los límites superiores de temperatura dentro de la camisa y en caso de que exista alguna anomalía serán tomadas acciones emergentes. La segunda permitirá el control de temperatura como tal. Inicialmente el horno contará con tres etapas por lo que se requerirá el uso de seis termocuplas.

Adicionalmente se tendrá el uso de transmisores que convertirán las señales diferenciales a señales de corriente para cada uno de los sensores, esta opción facilita la instalación, suprime la necesidad de llevar el conductor con señal diferencial hasta el tablero de control, el tratamiento de este conductor requiere mayor cuidado y presenta mayor costo. Otro factor influyente es el caso en el que exista una modificación posterior en el sistema, las entradas restantes pueden ser usadas para otro tipo de sensores. Las características del módulo de entradas analógicas se presentan en la Tabla 23. Las características de los respectivos transmisores se señalan en la Tabla 24.

**Tabla 23**  
**Características del módulo de entradas analógicas**

<b>Tipo</b>	<b>Módulo de entradas analógicas</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	SM 1231 AI 8x13bit
<b>Número de entradas</b>	8
<b>Tipo</b>	Tensión o intensidad.

Continúa

<b>Rango</b>	$\pm 10V$ , $\pm 5V$ , $\pm 2.5V$ o 0 a 20mA
<b>Resolución</b>	12 bits + bit de signo
<b>Diagnóstico</b>	Rebase por exceso o defecto
<b>Fuente de alimentación</b>	24 VDC
<b>Disipación de potencia</b>	1.5 W
<b>Imagen</b>	(ver figura 19)



**Figura 19 Módulo de entradas analógicas, SM 1231 AI 8x13bit**

Fuente: (Siemens, 2016)

**Tabla 24**  
**Características de los transmisores de temperatura**

<b>Tipo</b>	<b>Transmisor de temperatura</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	SITRANS TH300
<b>Entradas posibles</b>	Para termorresistencias, termocuplas, emisores de resistencia y fuentes de tensión continua.
<b>Tipo de salida</b>	Intensidad.
<b>Rango</b>	4 a 20mA
<b>Conexión</b>	Conexión a dos hilos
<b>Montaje</b>	Montaje en el cabezal del sensor de temperatura.
<b>Tiempo de respuesta</b>	Menor a 250 ms
<b>Compensación de unión fría</b>	Interna, con termorresistencia Pt100 integrada. Externa, con termorresistencia Pt100, con conexión a 2 o 3 hilos. Externa, configurable un valor fijo.
<b>Rango de medida</b>	Parametrizable

Continúa

<b>Configuración</b>	Programable bajo software y modem HART.
<b>Imagen</b>	(ver figura 20)



**Figura 20 Transmisor de temperatura, SITRANS TH300**

Fuente: (Siemens Aktiengesellschaft, 2008)

Respecto a las señales de control, se requiere el uso de un módulo de salidas analógicas, el sistema regulará la posición de compuertas de aire para permitir mayor o menor paso de aire caliente proveniente de un quemador de diésel. Al contar con tres etapas en el horno, se necesitará el mismo número de señales de control. El módulo escogido es el descrito en la Tabla 25.

**Tabla 25**  
**Características del módulo de salidas analógicas**

<b>Tipo</b>	<b>Módulo de salidas analógicas</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	SM 1232 AQ 4x14bit
<b>Número de salidas</b>	4
<b>Tipo</b>	Tensión o intensidad.
<b>Rango</b>	$\pm 10V$ o 0 a 20mA
<b>Resolución</b>	Tensión: 14 bits Intensidad: 13 bits
<b>Diagnóstico</b>	Rebase por exceso o defecto Corto circuito a tierra (solo en modo de tensión). Rotura de hilo (solo en modo de corriente)
<b>Fuente de alimentación</b>	24 VDC
<b>Disipación de potencia</b>	1.5 W

### 5.1.2. Dimensionamiento y selección de dispositivo para interfaz HMI

El objetivo de la interfaz para el usuario es permitirle al operador configurar los parámetros del sistema, así conseguir la cocción del producto en las temperaturas y en el tiempo deseado, además proporcionarle la capacidad de monitorizar los estados de las variables en tiempo real, es por ello que se debe considerar el tamaño para visualización de la pantalla, capacidad de ingreso de valores y capacidad de almacenamiento de recetas, el equipo escogido se describe en la Tabla 26.

**Tabla 26**  
**Características del equipo para HMI**

<b>Tipo</b>	<b>Panel de operación SIMATIC</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	KTP900 PN Básica
<b>Tamaño</b>	9 pulgadas
<b>Resolución</b>	800x480
<b>Elemento de mando</b>	Pantalla táctil y 8 teclas de función
<b>Memoria</b>	10 MB
<b>Profinet/ Ethernet industrial</b>	Disponible
<b>Variables</b>	800 variables
<b>Pantallas</b>	250
<b>Avisos</b>	1000
<b>Recetas</b>	50 recetas, 100 registros, 100 entradas por registro
<b>Protección</b>	IP65 (en la parte frontal)
<b>Imagen</b>	(ver figura 21)



**Figura 21 Panel de operación SIMATIC, KTP900 PN Básica**

Fuente: (Siemens S.A., 2016)

### 5.1.3. Dimensionamiento y selección de instrumentación

Se ha mencionado que los sensores de temperatura se situarán tanto dentro de las camisas para detectar la temperatura del aire caliente proveniente del quemador como en la parte interna del horno para detectar la temperatura a la que es sometido el producto, es por eso que se considera el uso de seis sensores de temperatura.

Los sensores de temperatura a utilizar son termopares o termocuplas, estos sensores son robustos, de respuesta rápida, no requieren alimentación y presentan un menor efecto de vibración en la medida, en comparación con sensores de resistencia. Siemens ofrece equipos que incluyen el soporte mecánico para el punto de medida, es decir su selección se enfoca en el tipo de sensor que se usará, la vaina protectora, el cabezal acoplado, entre otros. El equipo elegido tiene coherencia con el transmisor mencionado anteriormente. Las características del equipo a usar se encuentran en la Tabla 27. Las características del sensor se encuentran en la Tabla 28.

**Tabla 27**  
**Características de los equipos de temperatura**

<b>Tipo</b>	<b>SITRANS TS500 tipo 2N tubo con boquilla roscada</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Cabezal</b>	BA0 Aluminio protección IP54
<b>Sensor</b>	Termocupla tipo K

**Tabla 28**  
**Características de los sensores de temperatura**

<b>Tipo</b>	<b>Termocupla tipo K (Ni Cr/Ni)</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	Termopar recto
<b>Rango de temperatura</b>	-40 °C a 1000 °C
<b>Sensibilidad</b>	41µV/°C

Además de la temperatura, se requiere captar la velocidad de la banda transportadora, aunque algunos sistemas no presentan una señal de retro-alimentación para la situación de la banda transportadora, la velocidad de la banda es crítica en este caso, por lo que se desea obtener una señal de confirmación de la

velocidad del sistema de transporte. Para efectuar la idea descrita se hará uso de un encoder incremental y entradas digitales del autómatas programable con configuración de contador rápido, las características del encoder se describen a continuación:

**Tabla 29**  
**Características del encoder**

<b>Tipo</b>	<b>Encoder incremental</b>
<b>Marca</b>	OMRON
<b>Modelo</b>	E6B2-CWZ6C
<b>Señales incrementales</b>	Pista A, pista B, y Z
<b>Resolución</b>	2000 pulsos por rotación
<b>Salida</b>	Tensión
<b>Frecuencia máxima</b>	100KHz
<b>Voltaje de alimentación</b>	+5 ... +24 VDC
<b>Disipación de potencia</b>	~1.5 W
<b>Imagen</b>	(ver figura 22)



**Figura 22 Encoder incremental, OMRON**

Fuente: (Automation, Omron Corporation Industrial, 2014)

#### **5.1.4. Selección de la fuente de poder**

En el circuito de control el voltaje que se tendrá para la alimentación será 24 Vdc. Se ve necesario plantear el uso de una fuente de poder, siendo que las cargas conectadas a este equipo estarán por debajo de los 120W de potencia se procede a elegir el equipo cuyas características se presentan a continuación en la Tabla 30.

**Tabla 30**  
**Características de la fuente de poder**

<b>Tipo</b>	<b>Fuente de poder</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	SITOP Modular Tipo 6EP1333-3B A10
<b>Voltaje de entrada</b>	120/230-500 VAC
<b>Voltaje de salida</b>	24 VDC
<b>Corriente de salida</b>	5 Amperios
<b>Imagen</b>	(ver figura 23)



**Figura 23 Fuente de poder, SITOP Modular**

Fuente: (Siemens S.A., 2016)

#### 5.1.5. Selección del equipo de red

En el control del sistema se encuentran presentes tres equipos con estándar Ethernet cuya comunicación entre ellos requiere de un equipo que gestione la información proveniente de cada uno, el uso de un conmutador es adecuado para esta aplicación, dentro de la familia de SCALANCE de Siemens se encuentra un equipo con las características suficientes para realizarlo, estas se describen a continuación en la Tabla 31. El estándar que utilizarán los equipos para comunicarse será PROFINET, cuyo esquema de red se observa en la figura 25.

**Tabla 31**  
**Características del equipo de red**

<b>Tipo</b>	<b>Conmutador SCALANCE X</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	SCALANCE X005

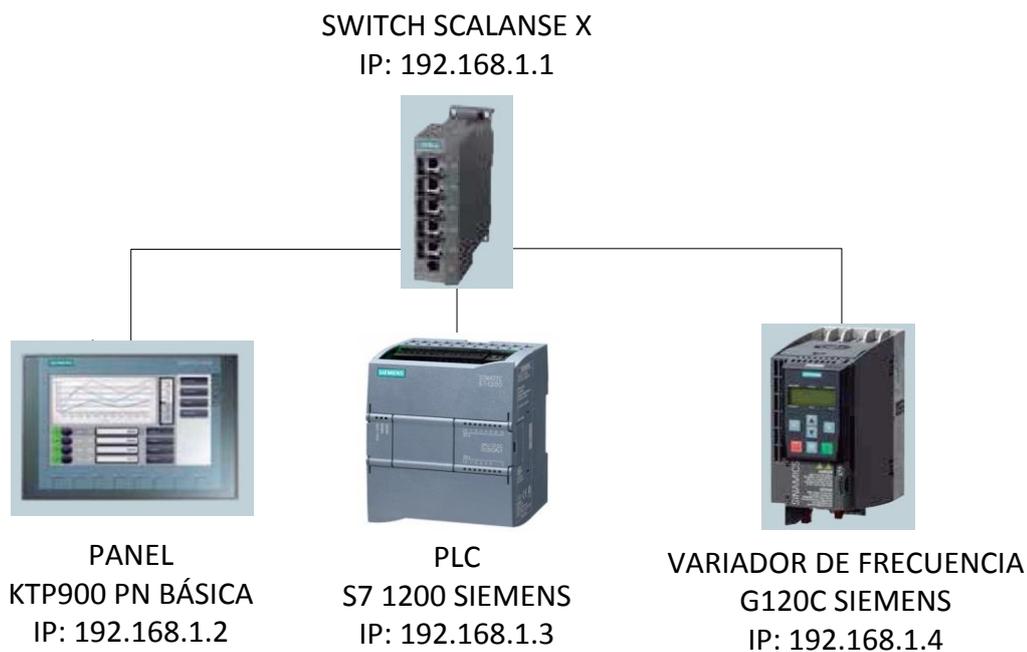
Continúa

<b>Puerto</b>	5 puertos RJ45
<b>Velocidad</b>	10 / 100 Mbps
<b>Alimentación</b>	24 V DC
<b>Imagen</b>	(ver figura 24)



**Figura 24 Conmutador SCALANCE X005**

Fuente: (Siemens S.A., 2016)



**Figura 25 Esquema de red.**

Las direcciones de Protocolo de Internet (IP) asignadas a los equipos son privadas y dentro de la clase C, observando que la clase C engloba aplicaciones para empresas pequeñas y medianas y que el uso de las direcciones IP 192.168.1.X es un

conjunto de direcciones privadas usadas para identificar equipos dentro de una Red de Área Local (LAN), (ver figura 25).

## **5.2. Diseño de la lógica de control del sistema de horneado**

### **5.2.1. Descripción del funcionamiento**

El planteamiento para el funcionamiento del horno tipo túnel se describe a continuación:

#### **Al encender**

El horno arrancará en modo automático y con valores por defecto en cuanto a la temperatura y la velocidad de la banda transportadora. Esto con el fin de ahorrarle trabajo al operador, entendiéndose que, es en este modo en el que habitualmente se mantendrá el sistema. Si bien, se planteará también un modo manual, este será utilizado únicamente con fines de evaluación del sistema y pruebas para productos en caso de ser necesario.

#### **Ingreso de recetas**

Por medio de la HMI, el operador podrá ingresar el conjunto de los valores de temperaturas y el tiempo de cocción del producto es decir, la velocidad a la que se desea mantener la banda transportadora. El sistema convertirá el valor ingresado por el usuario, de minutos a velocidad en revoluciones por minuto para control de la banda transportadora. El juego de valores que pertenecen a la receta podrá ser almacenado para usos futuros en el modo automático del sistema.

#### **Modo automático**

En este modo, el sistema tomará la receta escogida por el operador o en caso de no existir ninguna, tomará una receta por defecto. De esta manera el horno se calentará hasta llegar a valores de referencia. Una vez alcanzada la temperatura deseada, se presentará un cambio en el estado de las balizas, un periodo de tiempo después la banda transportadora se activará con velocidad de referencia igual a la correspondiente en la información de la receta escogida, mientras que las balizas cambiarán de estado nuevamente. Si el operador cambia la receta, entonces los valores de temperatura y velocidad se actualizarán automáticamente, además la secuencia de cambios en las balizas antes mencionada también se presentará.

#### **Modo manual**

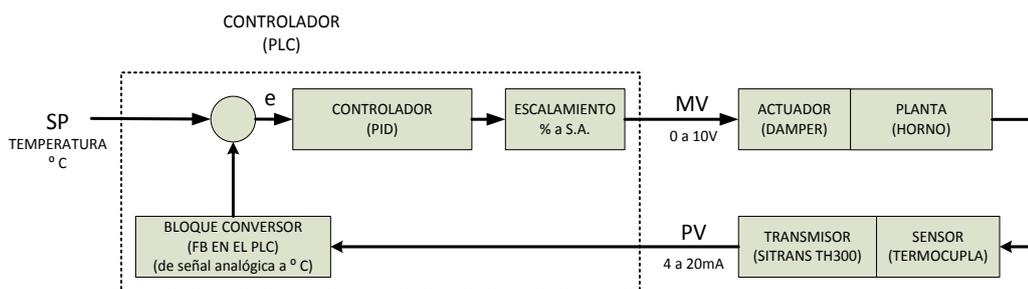
En este modo es posible variar los valores de referencia o valores deseados de temperatura y velocidad desde la HMI y cambio de estado del quemador.

### Botón de emergencia

En cualquier instante este botón es usado para detener instantáneamente la banda transportadora y desactivar el funcionamiento del quemador.

### 5.2.2. Selección de la técnica de control

Antes de definir la técnica de control a usar, es oportuno plantear los esquemas de los lazos de control con los cuales se procederá a regular las variables del sistema. En cuanto al control de la temperatura, el esquema será el mismo para las tres etapas. Para exponer el lazo de control de temperatura se mencionará el valor de referencia en grados centígrados, este valor será comparado con una señal de temperatura medida en la planta y convertida a valores de registro en el PLC en su respectiva equivalencia a grados centígrados, la señal de error resultante de esta comparación será la entrada al controlador, el cual presentará una señal de salida porcentual la misma que se escalará a un valor de salida analógica del PLC teniendo el rol de señal de control para el actuador sobre la planta o sistema térmico del horno en este caso (ver figura 26). El significado de las señales se detalla luego del esquema del lazo de control.



**Figura 26 Esquema de lazo de control de temperatura**

Donde

**SP:** Variable de referencia, valor deseado en el sistema.

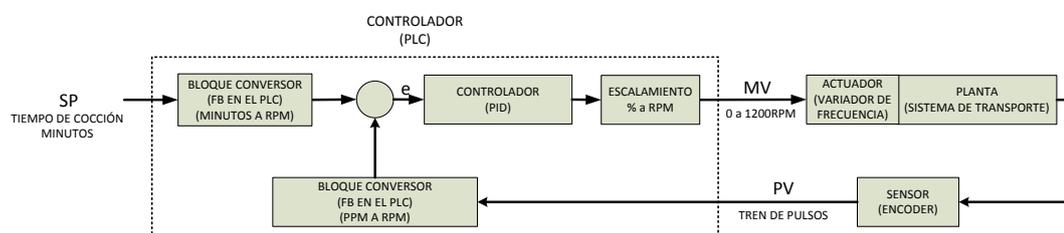
**e:** Error absoluto, resultado de la diferencia entre el SP y el PV.

**MV:** Señal de control.

**PV:** Variable del proceso o variable medida.

**S.A.:** Salida analógica.

Se tiene presente el uso de otro lazo de control, el lazo de control de velocidad del sistema de transporte en el que se busca regular la velocidad de la banda, la velocidad de la banda es consecuencia de la velocidad del motor acoplado a los ejes de esta. Así el lazo de control inicia por el valor de referencia, un valor comprensible para el usuario es el tiempo de cocción de las galletas, no así la velocidad de la banda transportadora, el sistema luego convertirá este tiempo ingresado en minutos a Revoluciones Por Minuto (RPM); la velocidad del motor es detectada por medio de un encoder incremental, este presenta una señal de tren de pulsos cuya frecuencia varía dependiendo de la velocidad del motor, esta señal es dirigida a la entrada del contador rápido del PLC y posteriormente es convertida a su equivalente a RPM; teniendo los valores tanto de referencia como medido en sus equivalencias a RPM es posible realizar la comparación y obtención de la señal de error para el controlador, la señal saliente del controlador está determinada a un valor porcentual, luego un bloque dentro del autómeta convertirá este valor porcentual a RPM, este valor es colocado en los registros de lectura del variador de frecuencia y con lo cual, la alimentación del motor causará un cambio en la velocidad del motor (ver figura 27). El significado de las señales fueron expuestas luego del primer esquema del lazo de control.



**Figura 27 Esquema de lazo de control de velocidad**

Ha sido mencionado ya, el uso de un PLC como autómeta para controlar el sistema, incluso se ha definido la marca, familia y serie que se usará en la implementación, entre las técnicas de control que pueden ser aplicadas con este PLC se encuentra en control PID cuyo desempeño resulta preciso para las necesidades de la aplicación.

El control PID provee una señal de control analógica, lo cual resulta útil respecto al control de temperatura, ya que este requiere una señal analógica determinada a porcentajes para controlar la posición de la compuerta o persiana que permitirá el paso de mayor o menor aire caliente proveniente del quemador, además el sistema

térmico posee una alta inercia en su comportamiento por lo que un controlador PID puede ofrecer un mejor resultado.

El control de velocidad también requiere una señal analógica determinada en porcentajes y además una respuesta rápida, por lo que también es aconsejable el control PID. Otra ventaja que se obtiene al usar un bloque de control PID es la reducción del error en tiempo estacionario, capacidad de reducción de sobre-impulso, y disminución de oscilaciones en las variables medidas.

### **5.3. Diseño de la interfaz humano máquina**

#### **5.3.1. Arquitectura**

El organizador expuesto en la figura 28. Expone la arquitectura para la interfaz, en el primer nivel se ha situado el inicio de la sesión, mientras que en el segundo nivel se ha colocado las pantallas que serán usadas para configuración del sistema, luego en la tercera etapa se ha ubicado las pantallas informativas.

La arquitectura de la interfaz propuesta tendrá las siguientes pantallas:

##### **Inicio de sesión**

En esta pantalla se indicará el logotipo de la empresa, el listado de las teclas de navegación hacia las distintas pantallas y también existirá la posibilidad de inicio y cierre de sesión para definir el nivel de acceso del usuario.

##### **Proceso**

Esta pantalla contiene los valores del proceso, como los valores de referencia, las variables medidas, estado del quemador y modo del sistema. Desde esta pantalla será posible arrancar y detener el proceso, cambiar el modo del sistema y prender y apagar el quemador.

##### **Recetas**

En esta pantalla se encontrará el visor de recetas de WinCC Professional, mediante el cual será posible almacenar nuevas recetas, cargar recetas en el autómata y eliminar recetas creadas con anterioridad.

##### **Alarmas**

En esta pantalla se encontrará el visor de alarmas de WinCC Professional, mediante el cual se visualizará las alarmas configuradas. Las alarmas analógicas que se dispondrán serán aquellas relacionadas con la temperatura del producto y estado del sistema de transporte. En caso de que la variable medida se aleje demasiado de la

referencia se tendrán alarmas para casos “Alto Alto”, ”Alto”, “Bajo” y “Bajo Bajo”, por otro lado se conformarán alarmas para temperaturas muy altas en las camisas, detonando señales “Alto Alto” y ”Alto”. Se tendrá también una alarma discreta en caso de que el variador retroalimente un estado de error.

### **Tendencias**

Esta pantalla presentará cuatro tendencias, sin embargo se podrá ver una a la vez; para ver las otras tres, el usuario deberá navegar usando los controles de navegación dentro de la misma. Cada lazo de control tendrá la posibilidad de ser sintonizado desde esta pantalla.

### **Configuración**

En esta pantalla serán visualizados y pueden ser modificados los porcentajes de los límites para las alarmas de temperatura y velocidad, con estos porcentajes se calcularán los valores para las alarmas “Alto Alto”, ”Alto”, “Bajo” y “Bajo Bajo” antes mencionadas.

### **Ayuda**

Esta pantalla incluirá información básica para uso del sistema.

### **Usuarios**

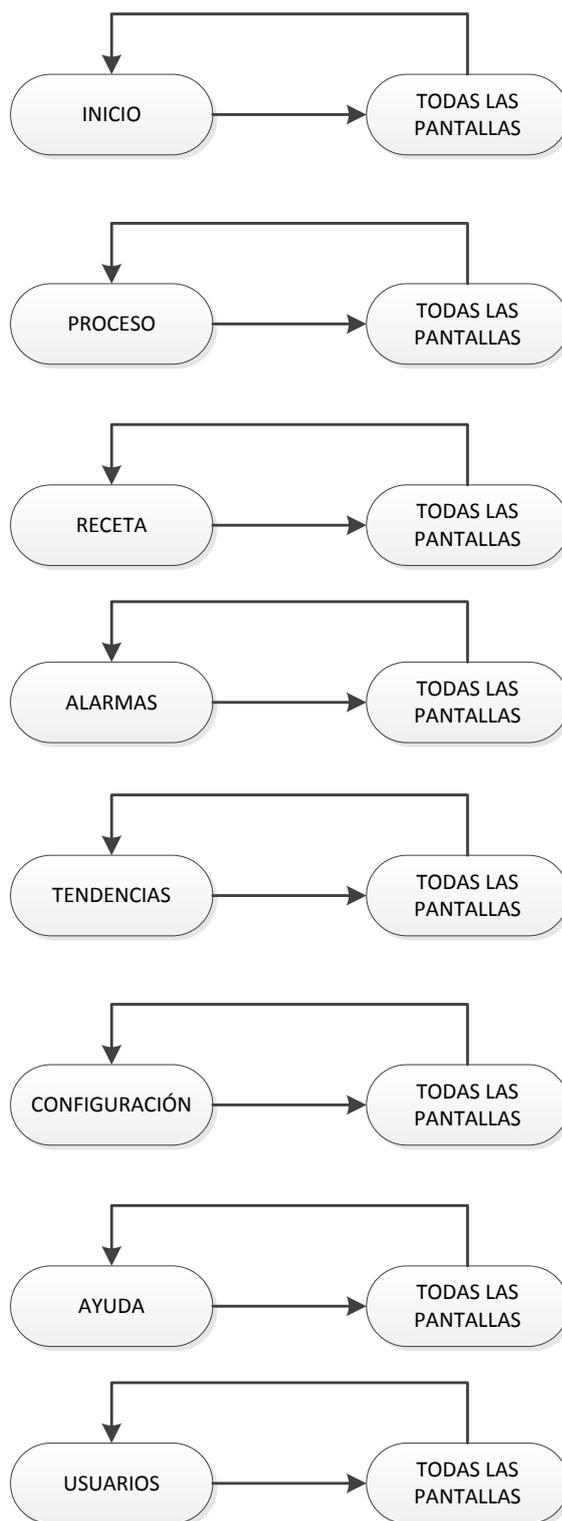
Esta pantalla incluirá información de los usuarios registrados en el sistema.



**Figura 28 Arquitectura de la HMI**

### **5.3.2. Navegación**

La navegación se expone en la figura 29. En donde, las flechas indican que todas las pantallas están interconectadas gracias a la colocación de controles de navegación mostrada en la plantilla general como “Barra para navegación entre pantallas”. Observe figura 30.

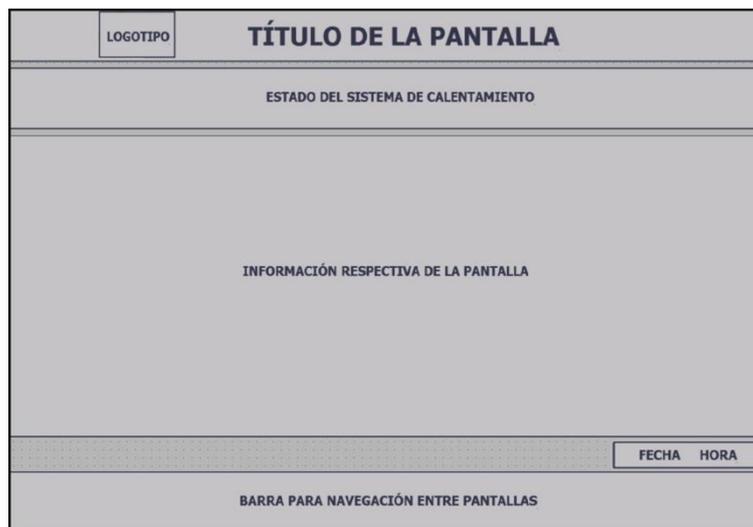


**Figura 29 Distribución de la HMI**

### **5.3.3. Distribución de pantallas**

Para especificar la distribución en las pantallas se presenta una plantilla general como base para el orden de los elementos, sin embargo dependiendo de la cantidad y

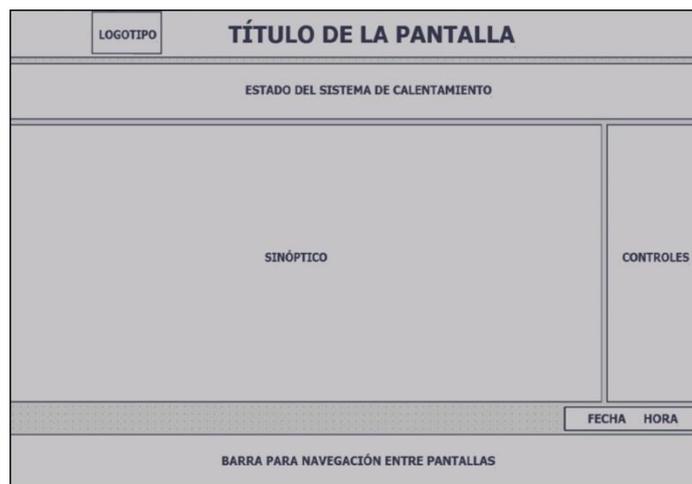
tipo de elementos las pantallas tendrán diferencias entre ellas. La plantilla general se expone en la figura 30. El área reservada como “Información respectiva de la pantalla” según la figura 30, es la que tendrá variantes de acuerdo a la necesidad de utilización de elementos para la interfaz, esto se clarifica observando las figuras de la 31 hasta la 36 en las cuales se presenta la distribución interna de esta área según la pantalla.



**Figura 30** Plantilla para diseño de HMI.



**Figura 31** Plantilla para diseño de HMI (Pantalla de inicio).



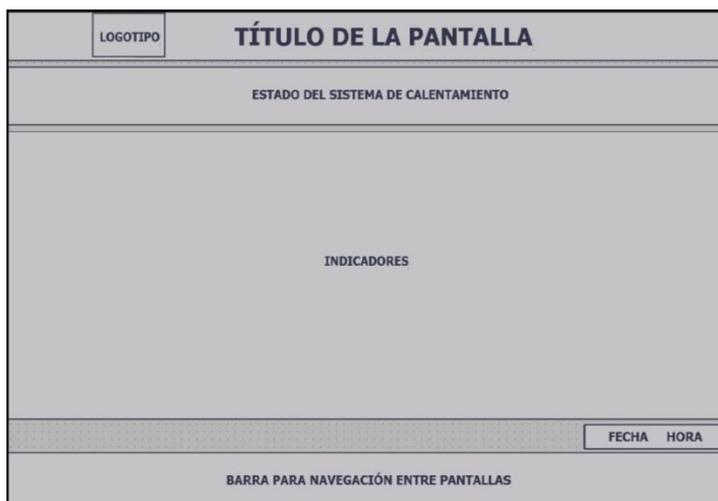
**Figura 32** Plantilla para diseño de HMI (Pantalla del proceso).



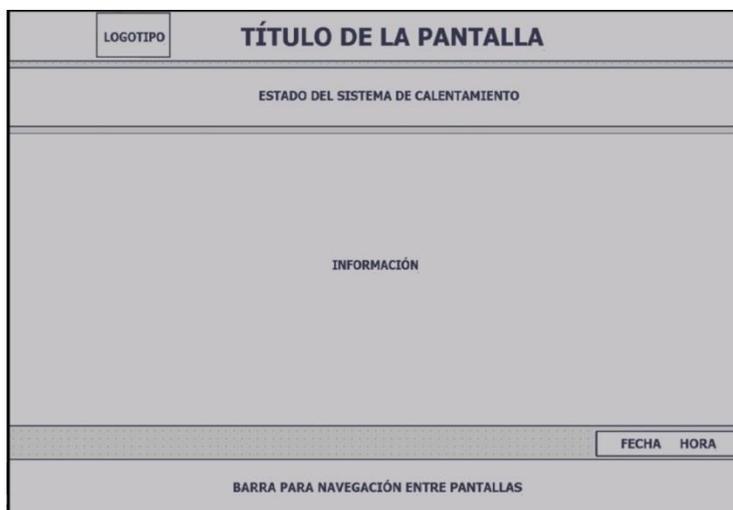
**Figura 33** Plantilla para diseño de HMI (Pantalla para alarmas, recetas, usuarios).



**Figura 34** Plantilla para diseño de HMI (Pantalla para tendencias en tiempo real).



**Figura 35** Plantilla para diseño de HMI (Pantalla para configuraciones).



**Figura 36** Plantilla para diseño de HMI (Pantalla para ayuda).

#### 5.3.4. Uso del color

Los colores han sido escogidos de manera que se resalte el contraste en áreas de atención y que por otro lado no cause fatiga visual al usuario. Otros colores han sido mantenidos de la paleta original de los controles de WinCC. Expuesto esto la selección de colores para la HMI se expone en las tablas a continuación:

**Tabla 32**  
**Fondos de pantalla**

Ítem	Color	Descripción	Rojo/ Verde / Azul
Fondo base		Gris oscuro	181; 182; 181
Sub fondo 1		Gris	198; 195; 198

Continúa

<b>Sub fondo 2</b>		Gris claro	222; 219; 222
<b>Partes de la máquina</b>		Gris claro	222; 219; 222
<b>Visor de receta</b>		Gris claro	247; 243;247
<b>Visor de alarmas</b>		Blanco	255; 255; 255
<b>Campo de texto</b>		Negro	0; 0; 0
<b>Botones</b>		Gris oscuro	99;101;115

**Tabla 33**  
**Estado de los equipos y variables en general**

<b>Ítem</b>	<b>Color</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rojo/ Verde / Azul</b>
<b>Equipo apagado</b>		Gris oscuro	148; 150; 148
<b>Equipo encendido</b>		Verde	0; 255; 0
<b>Variable fuera de rango</b>		Gris claro	222; 219; 222
<b>Tiempo de espera</b>		Gris claro	222; 219; 222

**Tabla 34**  
**Valores analógicos**

<b>Ítem</b>	<b>Color</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rojo/ Verde / Azul</b>
<b>Variables de referencia</b>		Verde	0; 255; 0
<b>Variables del proceso</b>		Verde	0; 255; 0
<b>Límites para error</b>		Verde	0; 255; 0
<b>Parámetros</b>		Verde	0; 255; 0

**Tabla 35**  
**Otros elementos**

<b>Ítem</b>	<b>Color</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rojo/ Verde / Azul</b>
<b>Etiquetas</b>		Gris oscuro	49; 52; 74
<b>Curvas de referencia</b>		Verde	0; 255; 0
<b>Curvas de variables medidas</b>		Azul	0; 0; 255

### 5.3.5. Información textual

La fuente “Tahoma” es tomada por defecto al agregar etiquetas en WinCC, dado que es totalmente legible se opta por conservarla. Este y otras características de los textos se detallan en la tabla a continuación:

**Tabla 36**  
**Características de los textos**

<b>Ítem</b>	<b>Fuente</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Estilo</b>
<b>Títulos</b>	Tahoma	25	Bold
<b>Subtítulos 1</b>	Tahoma	17	Bold
<b>Subtítulos 2</b>	Tahoma	13	Bold
<b>Campos de texto</b>	Tahoma	13	Bold
<b>Botones</b>	Tahoma	13	Bold
<b>Otra información</b>	Tahoma	13	Bold

Considerando que una leyenda como mensaje para el estado de alarma será lo más fácil de asimilar para el operador, se considera usar los mensajes planteados en la tabla 37, han sido añadidos los acrónimos respectivos para referencias futuras.

**Tabla 37**  
**Acrónimos usados en la HMI**

<b>Descripción</b>	<b>Acróni.</b>	<b>Mensaje en WinCC</b>
<b>Temperatura alta alta</b>	TAHH	TEMPERATURA PRODUCTO/CAMISA X HH
<b>Temperatura alta</b>	TAH	TEMPERATURA PRODUCTO/CAMISA X H
<b>Temperatura baja</b>	TAL	TEMPERATURA PRODUCTO/CAMISA X L
<b>Temperatura baja baja</b>	TALL	TEMPERATURA PRODUCTO/CAMISA X LL
<b>Velocidad alta alta</b>	SAHH	VELOCIDAD DE LA BANDA HH
<b>Velocidad alta</b>	SAH	VELOCIDAD DE LA BANDA H
<b>Velocidad baja</b>	SAL	VELOCIDAD DE LA BANDA L
<b>Velocidad baja baja</b>	SALL	VELOCIDAD DE LA BANDA LL

### 5.3.6. Estado de los equipos

El diseño de la interfaz es minimalista, la representación de un equipo encendido solo se manifiesta por medio del cambio de color de una circunferencia asociada al equipo, el color varía de gris oscuro a verde.

### 5.3.7. Valores del proceso e información adicional

Las variables del sistema que son recuperadas desde el autómatas se encuentran en las tablas de la 38-41. La lista se ha seccionado en cuatro tablas de forma que, se agrupan aquellas relacionadas a los lazos de control y aquellas que permiten las señales de alarmas del sistema.

**Tabla 38**  
**Señales relacionadas a lazos de control de temperatura**

<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
Temperatura de referencia en el producto en la camisa A, B, C	Analógica
Temperatura medida en el producto en la camisa A, B, C	Analógica
Estado del interruptor para energización del quemador	Discreta

**Tabla 39**  
**Señales relacionadas a los estados de alarmas de temperatura**

<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
Temperatura medida en el interior de la camisa A, B, C	Analógica
Temperatura límite para TAHH en el producto en camisa A, B, C	Analógica
Temperatura límite para TAH en el producto en camisa A, B, C	Analógica
Temperatura límite para TAL en el producto en camisa A, B, C	Analógica
Temperatura límite para TALL en el producto en camisa A, B, C	Analógica
Temperatura límite para TAHH en la camisa A, B, C	Analógica
Temperatura límite para TAH en la camisa A, B, C	Analógica
Porcentaje para cálculo de límites alarmas TAHH y TALL	Analógica
Porcentaje para cálculo de límites alarmas TAH y TAL	Analógica

**Tabla 40**  
**Señales del lazo de control de la velocidad de la banda transportadora**

<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
Velocidad de referencia en la banda transportadora	Analógica
Velocidad medida en la banda transportadora	Analógica

**Tabla 41**  
**Señales relacionadas a los estados de alarmas de velocidad**

<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
Velocidad límite para SAHH en la banda transportadora	Analógica
Velocidad límite para SAH en la banda transportadora	Analógica
Velocidad límite para SAL en la banda transportadora	Analógica
Velocidad límite para SALL en la banda transportadora	Analógica
Porcentaje para cálculo de límites alarmas SAHH y SALL	Analógica
Porcentaje para cálculo de límites alarmas SAH y SAL	Analógica
Estado de falla del variador de frecuencia	Discreta

### 5.3.8. Gráficas

La HMI incluirá cuatro visores de curvas en donde se apreciará el seguimiento de las variables del proceso respecto a sus referencias, las señales que se representarán se han colocado en la tabla 42.

**Tabla 42**  
**Señales representadas en visores de curvas en tiempo real**

<b>Descripción</b>	<b>Color</b>
Temperatura de referencia en el producto en la camisa A, B, C	Verde
Temperatura medida en el producto en la camisa A, B, C	Azul
Velocidad de referencia en la banda transportadora	Verde
Velocidad medida en la banda transportadora	Azul

### 5.3.9. Comandos e ingreso de datos

La interacción con el usuario en cuanto a comandos e ingreso de datos se basará en botones, interruptores y digitación de valores en campos de texto respectivamente, los cuales se describen en las tablas a continuación:

**Tabla 43**  
**Lista de botones e interruptores en la HMI**

<b>Texto de Pantalla visualización</b>	<b>Pantalla</b>	<b>Acción</b>
Iniciar	Inicio	Inicia sesión del usuario
Cerrar	Inicio	Cierra sesión del usuario
Iniciar	Proceso	Inicia proceso
Parar	Proceso	Detiene proceso
Auto/Manual	Proceso	Cambia de modo entre automático y manual
Prender	Proceso	Prende quemador en modo manual
Apagar	Proceso	Apaga quemador en modo manual
Camisa A	Tendencia en Camisa A, B, C y banda transportadora	Presenta pantalla de la tendencia en la camisa A
Camisa B	Tendencia en Camisa A, B, C y banda transportadora	Presenta pantalla de la tendencia en la camisa B
Camisa C	Tendencia en Camisa A, B, C y banda transportadora	Presenta pantalla de la tendencia en la camisa C
Banda	Tendencia en Camisa A, B, C y banda transportadora	Presenta pantalla de la tendencia en la banda transportadora

**Tabla 44**  
**Lista de campos de texto en la HMI**

<b>Pantalla</b>	<b>Variable relacionada</b>
<b>Inicio</b>	Variable interna que almacena el nombre del usuario
<b>Inicio</b>	Variable interna que almacena la clave del usuario
<b>Proceso</b>	Variable de referencia de temperatura para camisa A, B, C.
<b>Proceso</b>	Variable de temperatura medida para camisa A, B, C.
<b>Proceso</b>	Variable de referencia para velocidad de la banda transportadora
<b>Proceso</b>	Variable de velocidad medida para la banda transportadora.

Continúa

---

**Tendencia en** Variable que almacena el valor de la ganancia del controlador  
**Camisa A, B, C** PID respectivo.

**y transporte**

**Tendencia en** Variable que almacena el valor del factor integrador del  
**Camisa A, B, C** controlador PID respectivo.

**y transporte**

**Tendencia en** Variable que almacena el valor del factor derivativo del  
**Camisa A, B, C** controlador PID respectivo.

**y transporte**

---

### 5.3.10. Alarmas

Se ha mencionado la presencia de alarmas en el sistema, por lo tanto a continuación se presentará una tabla resumen con las alarmas que se configurarán para la HMI.

**Tabla 45**  
**Alarmas de temperatura**

<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
TAHH en el producto en camisa A, B, C	Analógica
TAH en el producto en camisa A, B, C	Analógica
TAL en el producto en camisa A, B, C	Analógica
TALL en el producto en camisa A, B, C	Analógica
TAHH en la camisa A, B, C	Analógica
TAH en la camisa A, B, C	Analógica

**Tabla 46**  
**Alarmas de velocidad**

<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
SAHH en la banda transportadora	Analógica
SAH en la banda transportadora	Analógica
SAL en la banda transportadora	Analógica
SALL en la banda transportadora	Analógica
Estado de falla del variador de frecuencia	Discreta

---

## **5.4. Diagramas electrónicos**

### **5.4.1. Diagrama de proceso P&ID**

(Anexo 2)

### **5.4.2. Esquemas de control y señalización**

(Anexo 3)

## CAPÍTULO VI

### SIMULACIÓN

#### 6.1. Descripción de las herramientas de simulación

La simulación de los sistemas de control previo a la implementación de la solución tiene varios alcances, habitualmente los programas en los que se desarrolla la lógica de control presentan una herramienta con la capacidad de observar y modificar las entradas, salidas y variables internas del autómeta, en este proyecto se ha buscado llegar a un paso más allá en la simulación.

Siemens ha desarrollado un programa llamado SIMIT, que permite representar la planta sobre la cual el sistema llevará el control. Si bien es cierto SIMIT es un programa con licencia pagada, provee una versión gratuita para que el usuario pueda conocerlo y probar ciertas áreas de la lógica de control desarrollada.

Es así como se ha efectuado las pruebas del programa desarrollado para controlar el sistema automático del horno tipo túnel galletero. A continuación se presentará un listado de los programas que fueron usados para el desarrollo y simulación del sistema.

**Tabla 47**  
**Programas de desarrollo**

<b>Programa</b>	<b>Versión</b>
Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal)	V13 SP1
STEP 7 Professional	V13 SP1
WinCC Professional	V13 SP1
S7-PLCSIM	V5.4+SP5+Upd3
SIMIT	V8.0

Siemens ofrece un paquete de programas “Totally Integrated Automation Portal” el cual, integra las herramientas necesarias para, la generación del programa de control del sistema “STEP 7 Professional”, el programa que permite desarrollar la HMI “WinCC Professional”, y la conexión con la herramienta de simulación “S7-PLCSIM”. Por otro lado, SIMIT es una herramienta del mismo fabricante, más no



En la figura 38 se observa la pantalla llamada “Proceso”, y fue capturada en el estado inicial del sistema es decir, con los valores de referencia de temperatura a 0°C, la banda detenida y el quemador apagado.

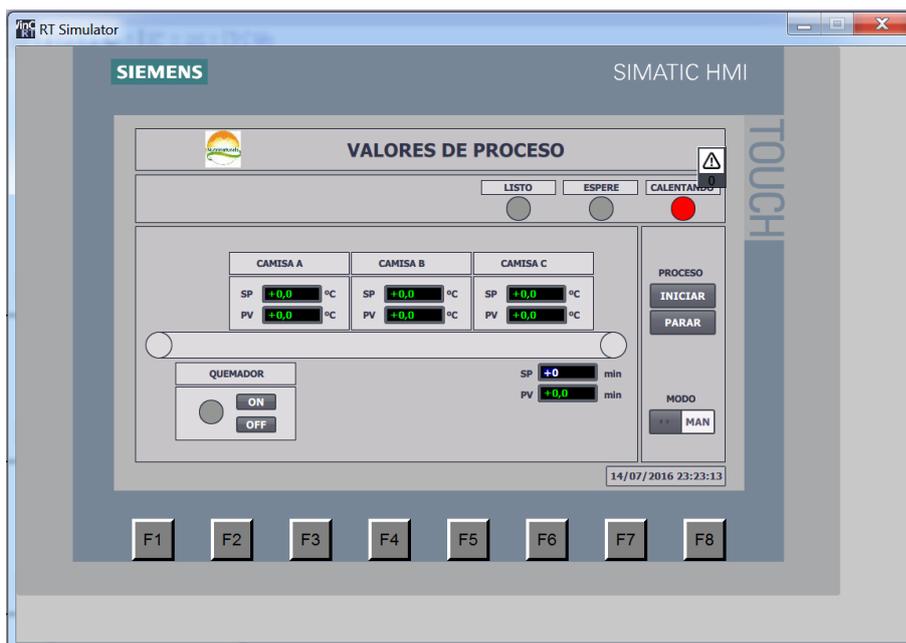
Al presionar el botón “Iniciar”, los valores de referencia de temperatura cambian a valores por defecto, el quemador es activado y el horno empieza a elevar su temperatura mientras el indicador “Calentando” permanece en rojo (ver figura 39).

Para lograr este efecto, en el diagrama de simulación se ha colocado un bloque cuya entrada discreta es una salida del autómeta y pertenece al quemador. Al plazo de 5 segundos el bloque presentará una señal discreta de total apertura, el plazo es para simular un retardo entre la activación del quemador y el aumento de temperatura en el sistema.

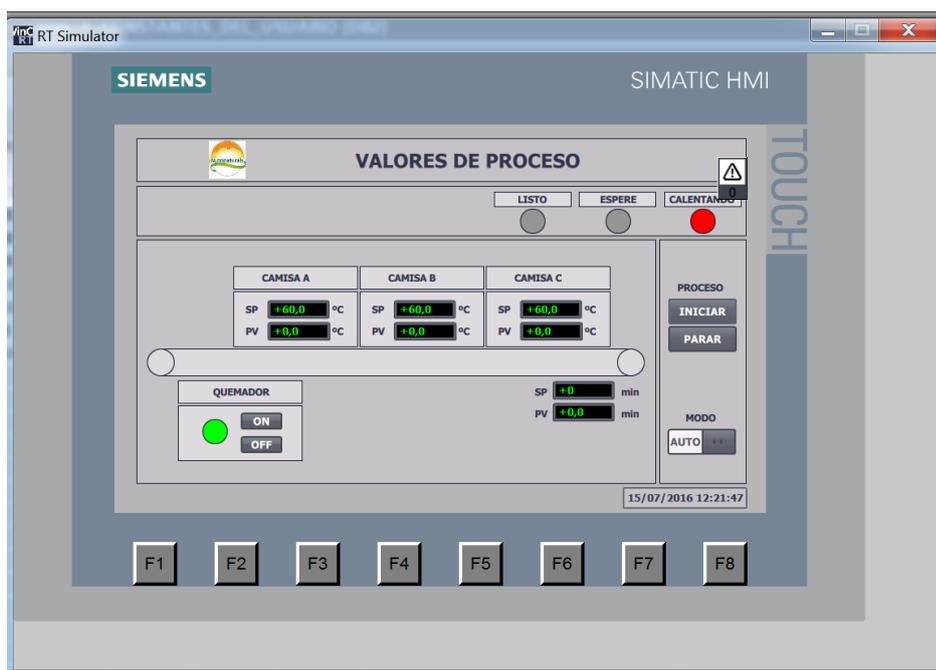
Con la señal de apertura del bloque mencionado, se provocará el paso de las señales de control que vienen de las salidas analógicas del autómeta, estas fueron generadas por los bloques de control en el PLC y destinadas a la conexión de las compuertas o actuadores para los lazos de temperatura. La señal de control de cada compuerta está limitada de 0 a 100% y son escaladas en registros de salidas analógicas del PLC. El mismo tratamiento de las señales es configurado en SIMIT para usarlas.

Las señales de control manipularán de manera independiente, tres bloques que serán análogos al comportamiento de la temperatura dentro del horno, teniendo cada uno un periodo de apertura y de cierre. Únicamente para crear un entorno semejante al horno, se ha multiplicado el valor de salida de los bloques para establecer 300°C en caso de que la compuerta esté totalmente abierta por un determinado periodo de tiempo. Estas señales de salida del diagrama de SIMIT están conectadas a las entradas analógicas del autómeta, como si tanto las termocuplas como los transmisores estuvieran conectados (ver figura 40).

Luego, cuando las temperaturas en el interior del horno entran en un rango permitido por los límites internos configurados, el indicador “Espere” cambia a color amarillo. El sistema permanecerá en este estado por 30 segundos antes de iniciar el movimiento de la banda transportadora (ver figura 41).



**Figura 38 Pantalla: Proceso, Estado del sistema: Detenido.**



**Figura 39 Pantalla: Proceso, Estado del sistema: Calentando.**

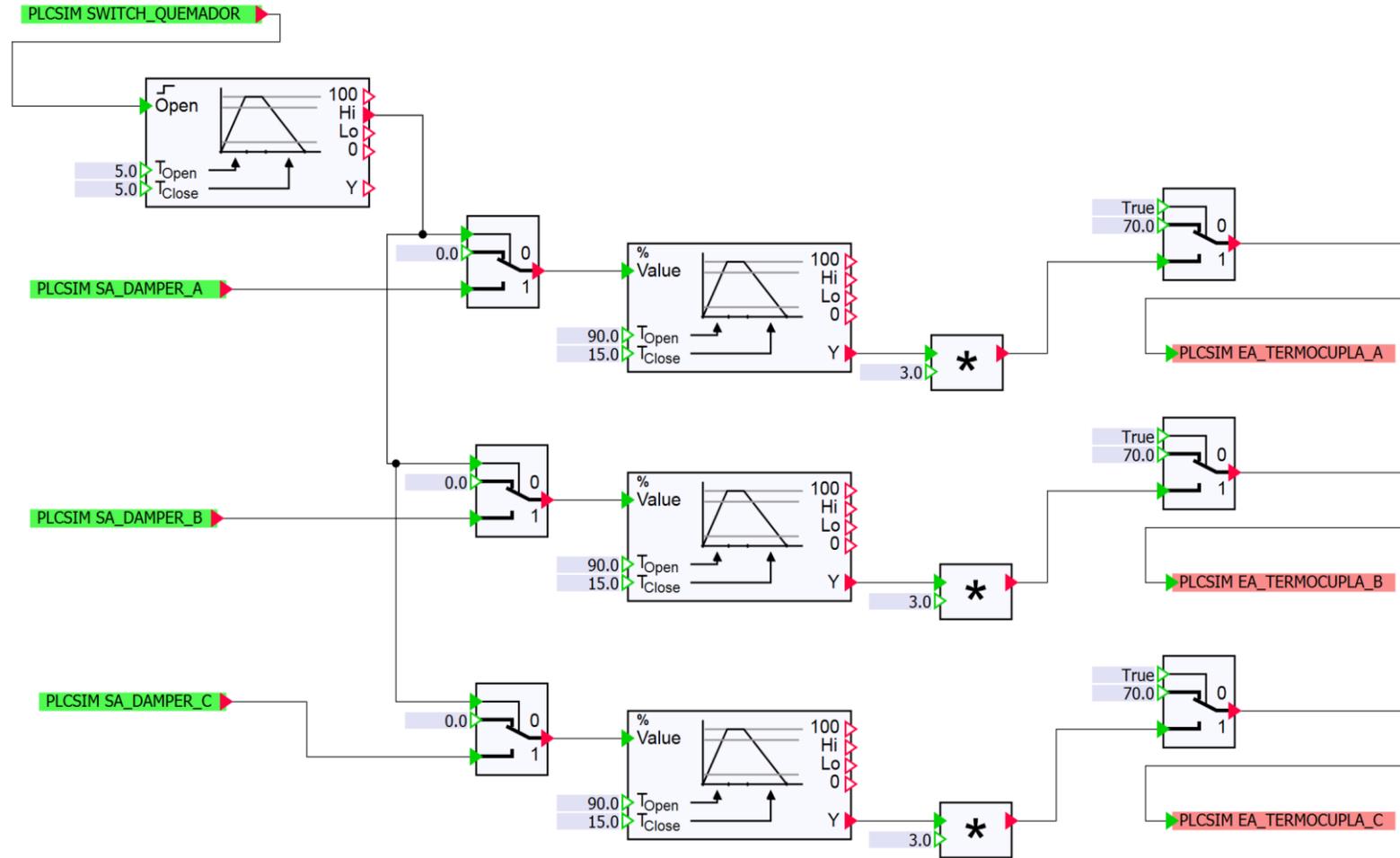
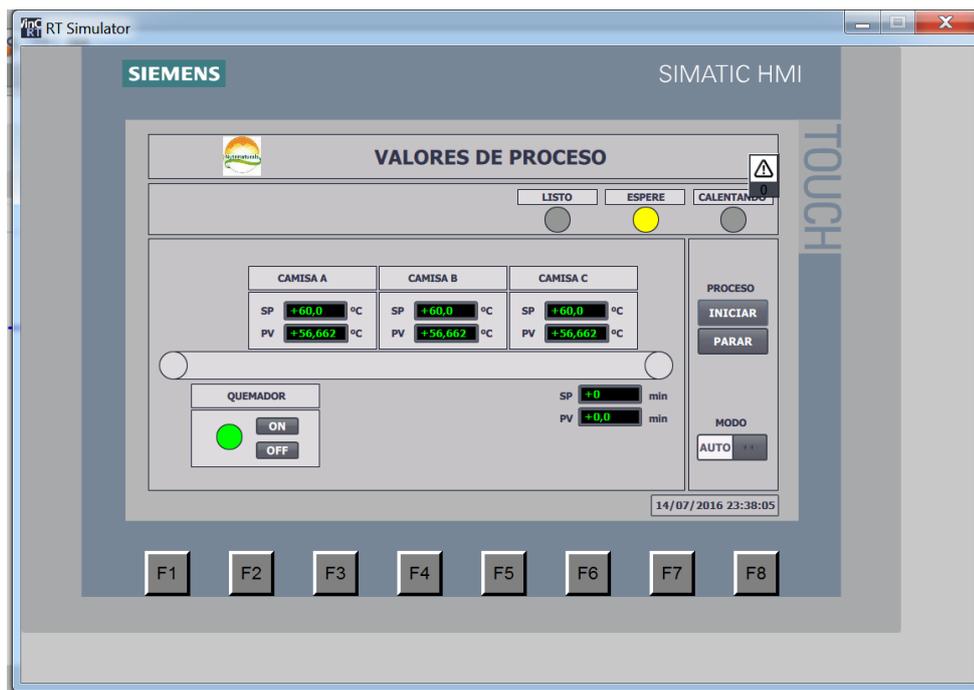


Figura 40 Diagrama en SIMIT - Planta de temperatura

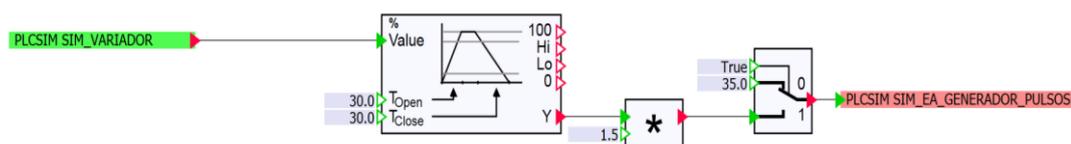


**Figura 41 Pantalla: Proceso, Estado del sistema: En espera.**

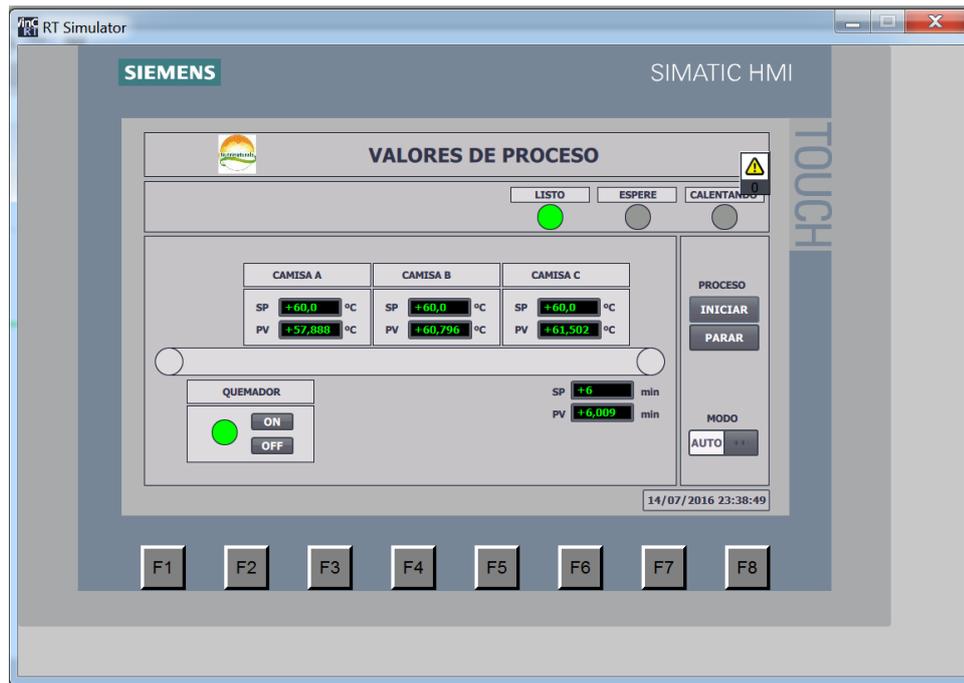
Transcurridos los 30 segundos el sistema de transporte comenzará su trabajo. El valor de referencia para la banda será 6 minutos, un valor por defecto que podrá ser modificado más adelante (ver figura 43). La planta que simula el sistema de transporte es similar a la que se utiliza para simular el comportamiento de la temperatura en el horno (ver figura 42).

En este punto el sistema está listo y en caso de necesitar otros valores de temperatura el operador podrá hacerlo por medio de las funciones de la HMI en modo manual. Mientras las variables medidas respecto a la temperatura se encuentren en el rango interno configurado, el indicador “Listo” estará en verde, caso contrario el indicador “Calentando” estará en rojo.

Si el interruptor de modo es cambiado a manual es posible introducir otros valores de referencia para la temperatura de las camisas, el tiempo de cocción de las galletas, y además es posible apagar o prender el quemador.



**Figura 42 Diagrama en SIMATIC - Planta de velocidad.**



**Figura 43 Pantalla: Proceso, Estado del sistema: Listo**

En las figuras desde la 44-47. Se muestra el comportamiento en tiempo real de las variables del proceso, de temperatura en el producto y de tiempo de cocción del mismo.



**Figura 44 Pantalla: Tendencia en camisa A**



**Figura 45 Pantalla: Tendencia en camisa B**



**Figura 46 Pantalla: Tendencia en camisa C.**



**Figura 47 Pantalla: Tendencia en la banda transportadora.**

### **6.3. Evaluación del interfaz humano máquina**

#### **6.3.1. Inicio de sesión**

En la pantalla de inicio de la HMI, se encuentra el logo de la empresa, información para navegación y la interfaz para inicio de sesión (ver figura 48). Es indispensable iniciar sesión para poder realizar cualquier acción en el sistema. En la HMI se ha configurado cuatro grupos de usuarios y cada uno tiene un juego de permisos establecidos, estos se detallarán más adelante. Se observa un ejemplo de inicio de sesión en la figura 49.

#### **6.3.2. Recetas y valores de proceso**

Dentro del modo automático el operador puede cambiar los valores de referencia de temperatura y tiempo de cocción a través de la descarga de recetas. La HMI tiene una pantalla con el visor propio de WinCC que permite entre otras cosas, registrar, guardar, descargar al autómatas y eliminar recetas (ver figura 50). En la figura 51 se muestra el resultado de la descarga de una receta en el autómatas programable.

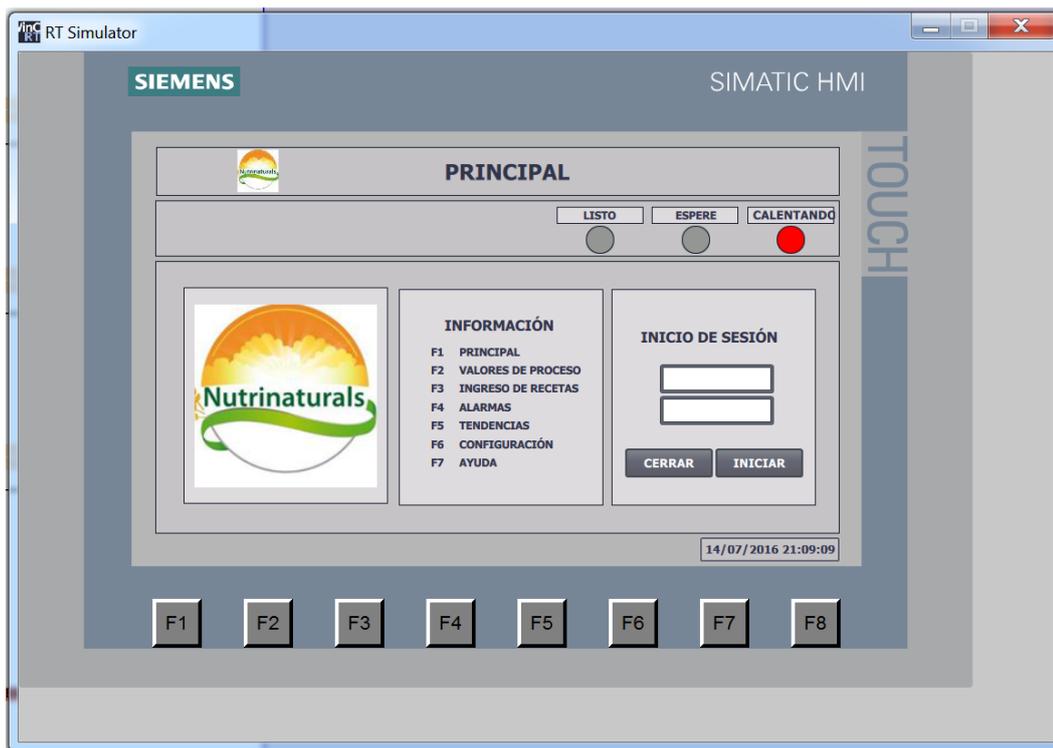


Figura 48 Pantalla: Inicio.

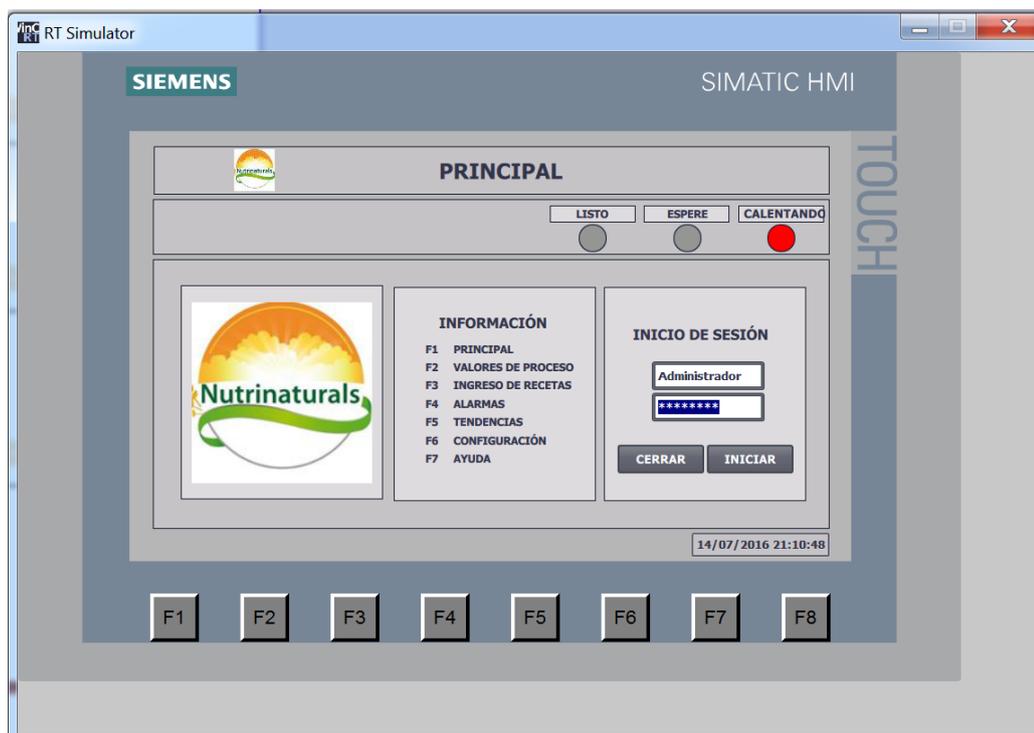
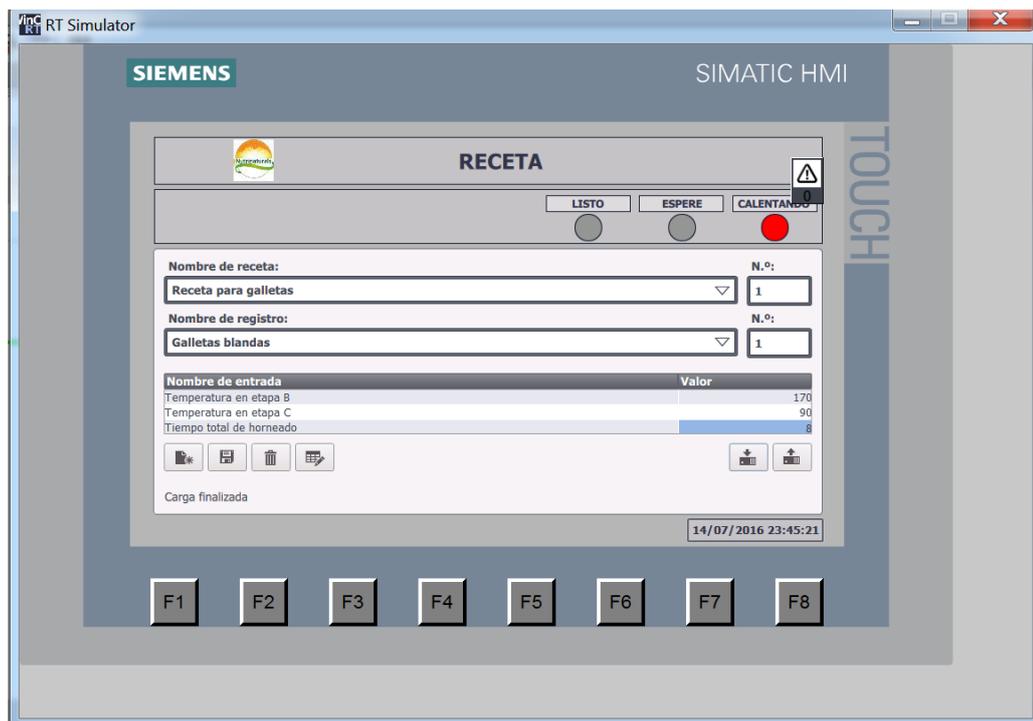
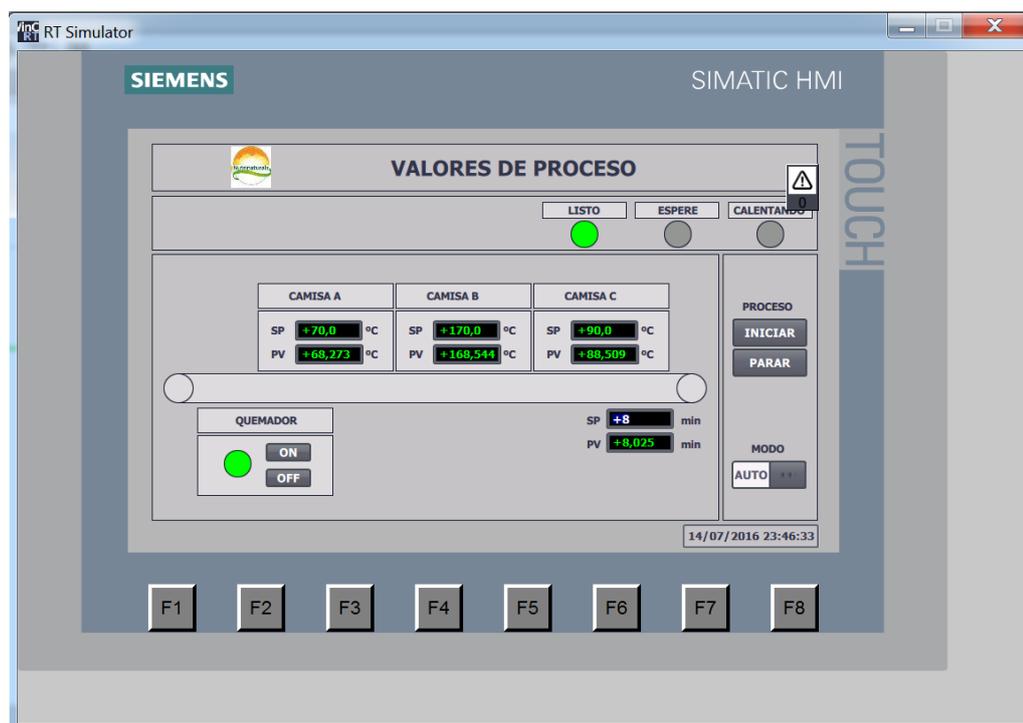


Figura 49 Pantalla: Inicio, Inicio de sesión.



**Figura 50 Pantalla: Recetas, Carga de receta “Galletas blandas”.**



**Figura 51 Pantalla: Proceso, Visualización de valores para receta “Galletas blandas”.**

### 6.3.3. Alarmas y configuraciones

La pantalla de alarmas tendrá el listado de alarmas configuradas, las mismas que se han descrito antes en el documento (ver figura 52). En la figura 53 se observa la

pantalla “Configuraciones”, esta tiene cuatro campos de texto en los cuales, se ingresan los porcentajes que servirán para calcular límites y consecuentemente estados de alarmas, mencionadas en la etapa de diseño de HMI, estas son Alto- Alto, Alto, Bajo, Bajo- Bajo.

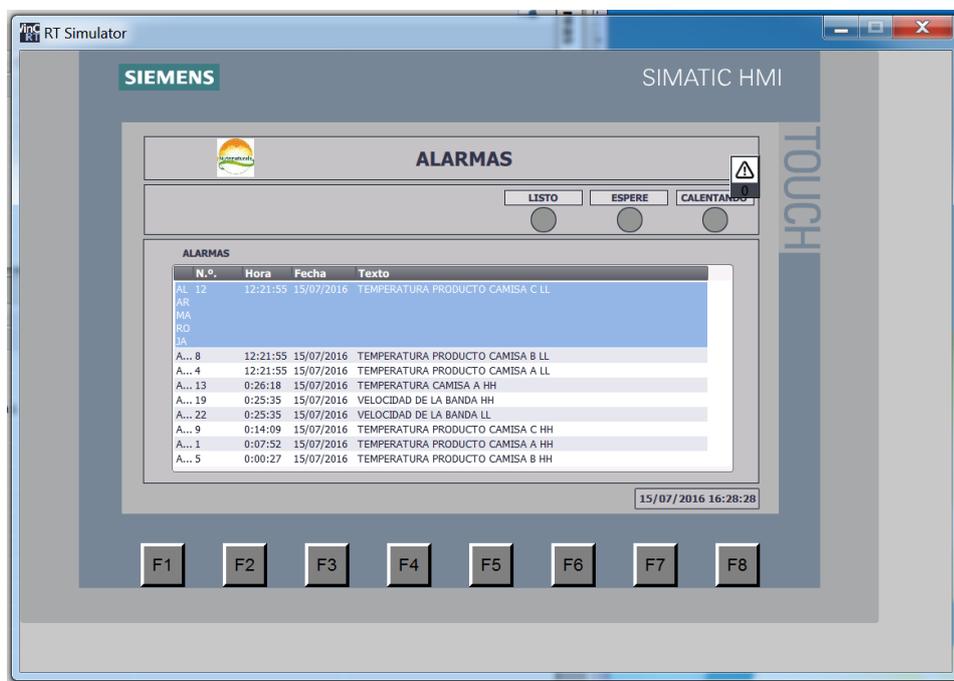


Figura 52 Pantalla: Alarmas

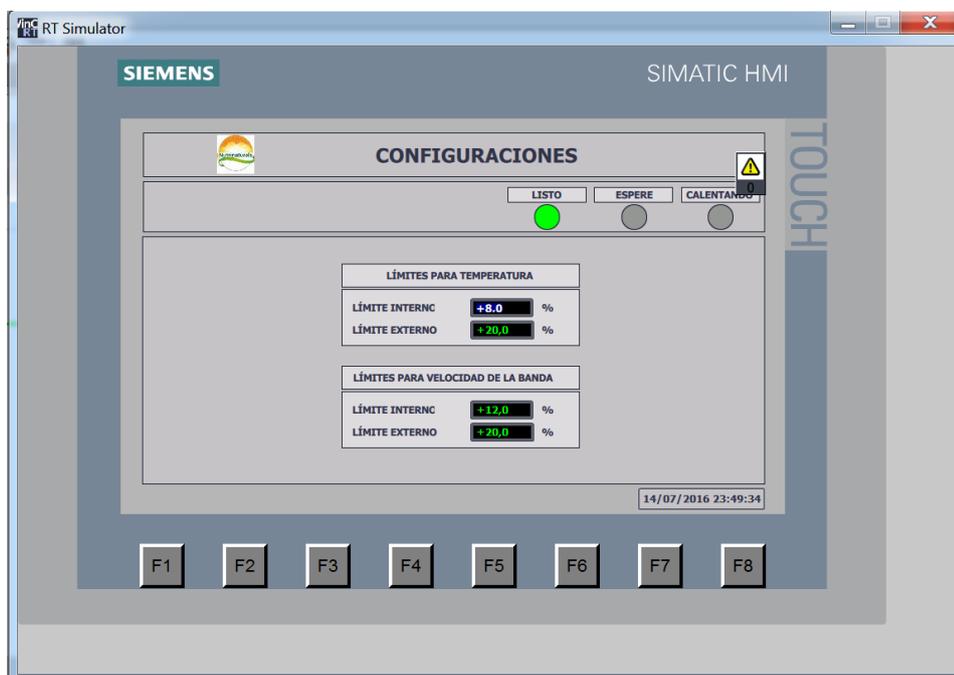


Figura 53 Pantalla: Configuraciones.

Otra consideración en el diagrama de la planta desarrollado en SIMIT es la utilización de un interruptor que, permite simular una variable medida fuera del rango que se está buscando, en las figuras de la 54 a la 57 se presentan ejemplos de generación de alarmas. Las ventanas en la imagen se han acomodado de manera tal que sea posible comprender la detonación de las alarmas. En el lado izquierdo se encuentra una porción del código en el autómeta en línea, en donde se observa, un bloque cuyas entradas son valores de referencia, variables medidas, y los porcentajes para el cálculo de los límites permitidos, al otro lado en las salidas, se observa la variable de control, y los valores que usan las alarmas para presentarse. En el lado superior derecho se encuentra una parte del diagrama en SIMIT, en el que se expone el mencionado interruptor cuya entrada para efectos de simulación se encuentra en falso, y permite enviar otro valor distinto al que tiene la planta en ese instante.

En caso de que la alarma haya sido categorizada como advertencia el operador podrá visualizarla por medio del visor de alarmas en la pantalla respectiva que tiene la HMI (ver figura 55). Mientras que si la alarma fue categorizada como error el mensaje se sobrepondrá ante la imagen presentada en ese instante (ver figura 54). Para observar el comportamiento en caso de otras alarmas configuradas observe las figuras 56 y 57. Cada camisa posee cada una de las alarmas presentadas en los ejemplos.

Otras alarmas configuradas son aquellas que dependen de la temperatura en el interior de la camisa, cuyos sensores están expuestos directamente al aire caliente proveniente del quemador, si bien es cierto en el lazo de control de temperatura para la cocción de las galletas no se involucra a estas señales, su fin es el de protección y seguridad para la planta y la máquina, por lo tanto, además de mostrar una ventana emergente anunciando una temperatura excesiva también es generada una acción, el autómeta desactivará inmediatamente el quemador. En la figura 58 se expone el ejemplo de la alarma en categoría advertencia, mientras que, en la figura 59 se observa que el indicador del quemador se encuentra en gris y por lo tanto el quemador se encuentra apagado.

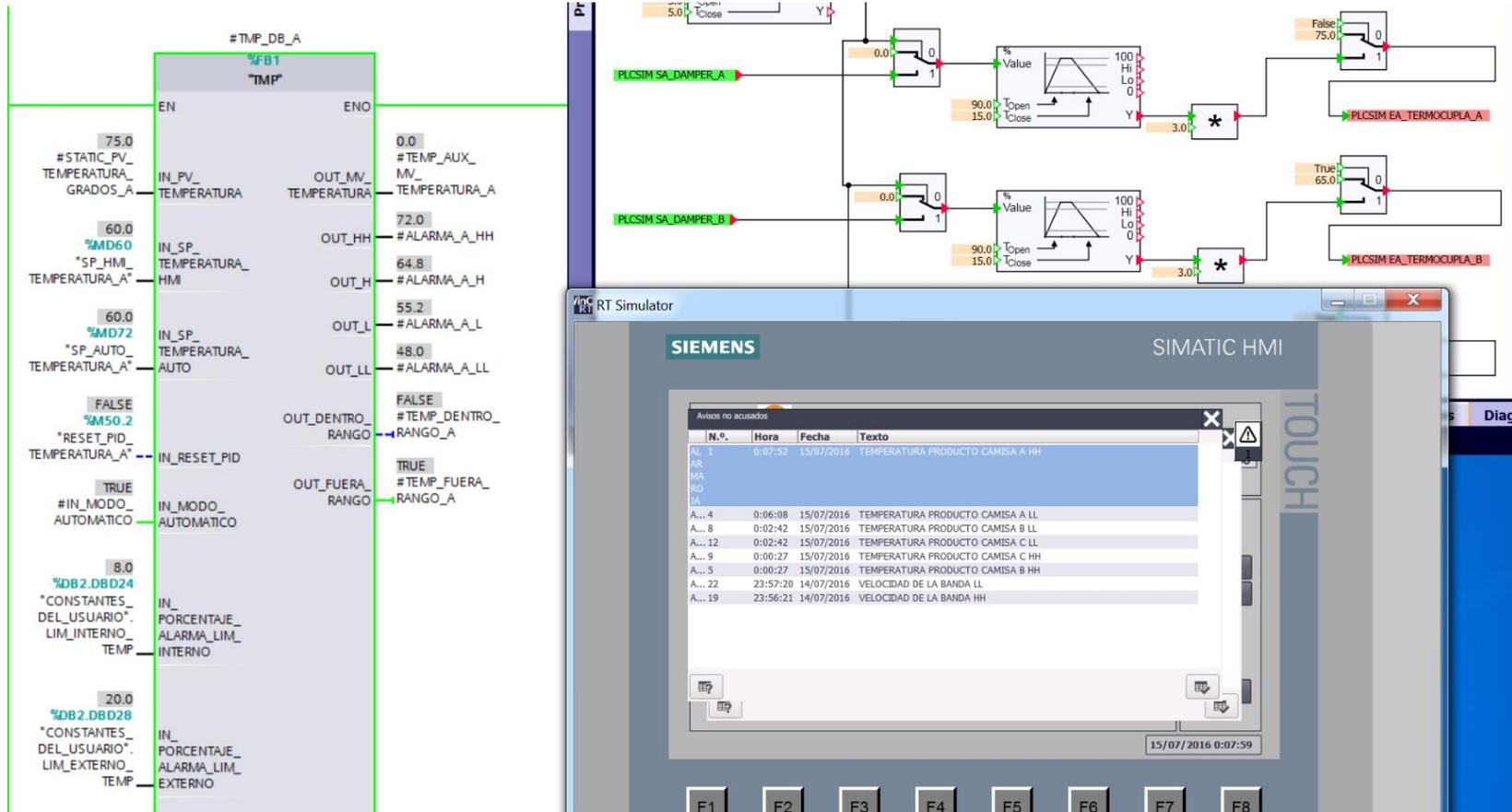


Figura 54 Simulación de TAHH en el producto en camisa A.

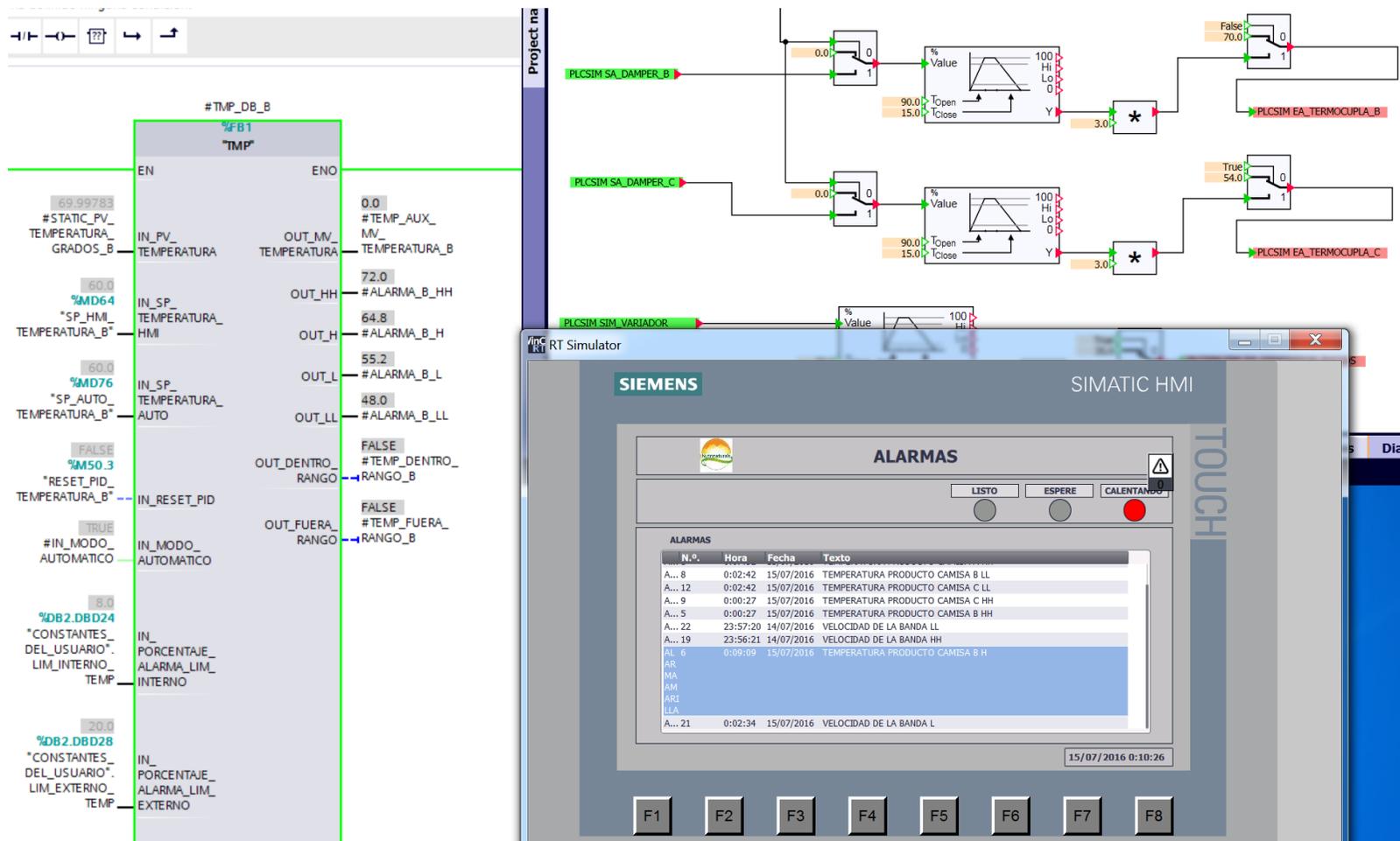


Figura 55 Simulación de TAH en el producto en camisa B.

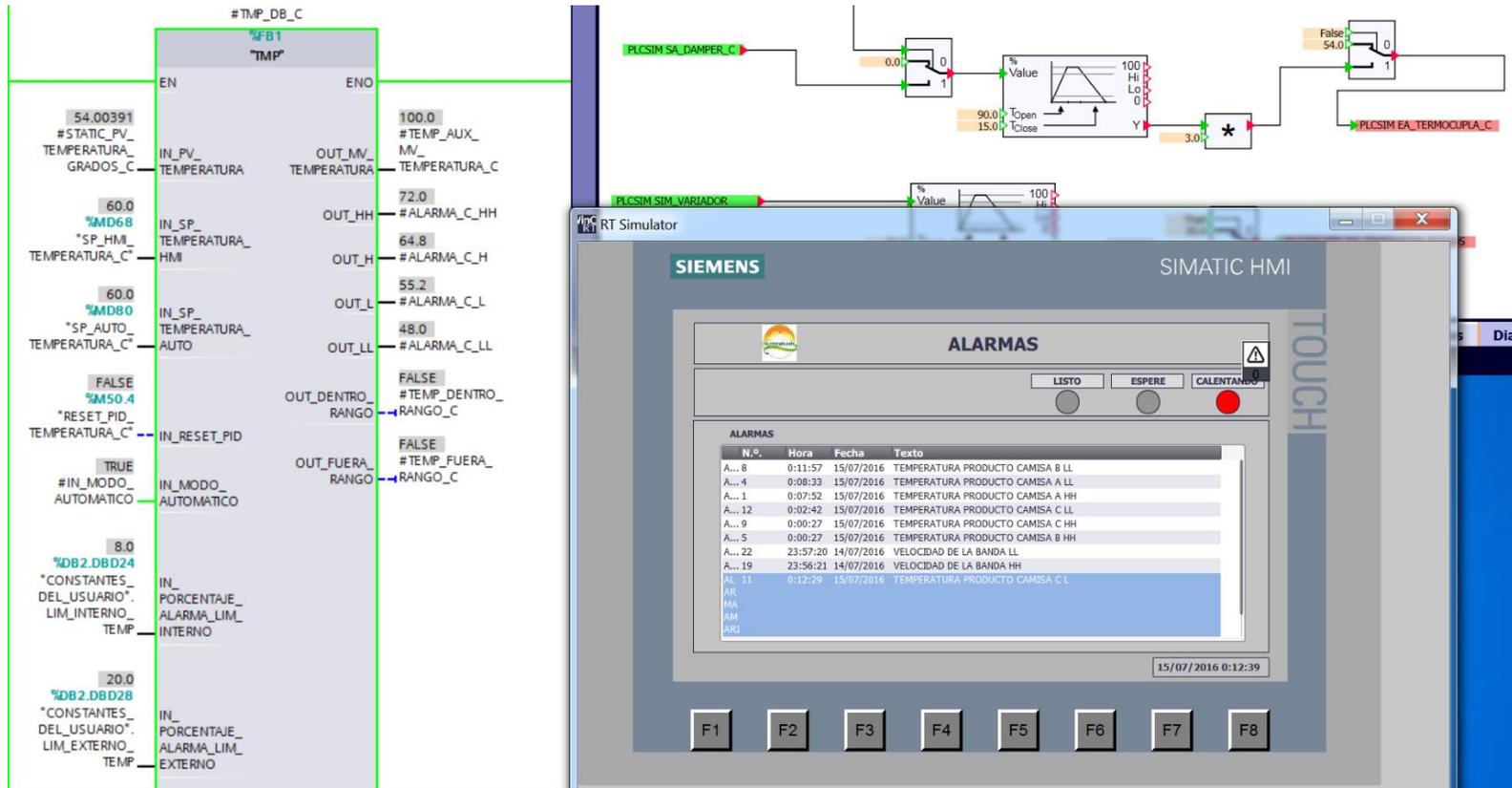


Figura 56 Simulación de TAL en el producto en camisa C.

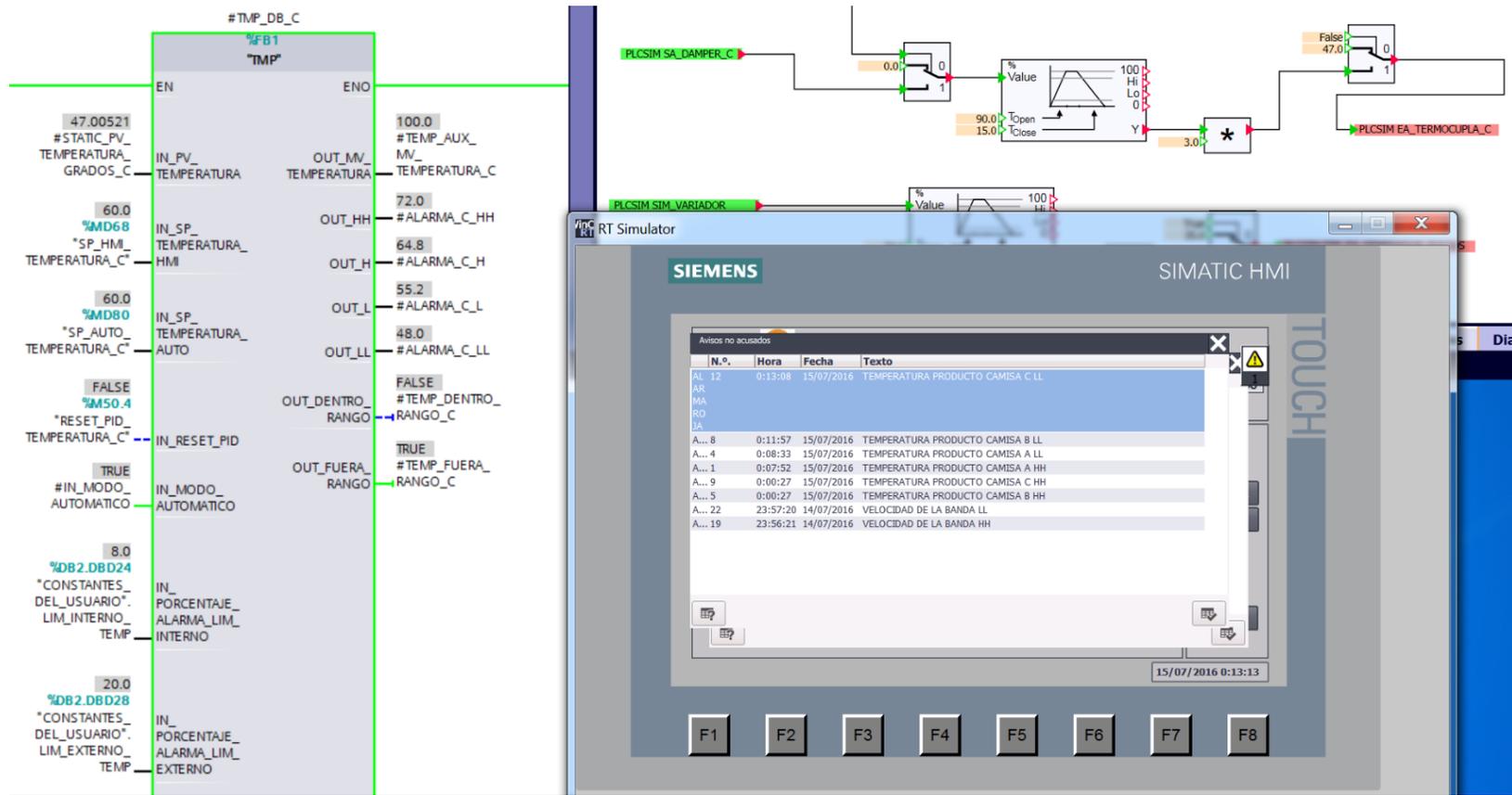


Figura 57 Simulación de TALL en el producto en camisa C.

**CONSTANTES\_DEL\_USUARIO**

Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Visible en ...
1 Static					
2 TIEMPO_APAGAR_SEGURIDAD	Time	0.0	T#30S	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3 FACTOR_REDUCCION_MECANICA	Real	4.0	100.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4 TEMPERATURA_INTERNA_CAMISA_HH	Real	8.0	900.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5 TEMPERATURA_INTERNA_CAMISA_H	Real	12.0	700.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6 LIM_INTERNO_VELOCIDAD	Real	16.0	12.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7 LIM_EXTERNO_VELOCIDAD	Real	20.0	20.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8 LIM_INTERNO_TEMP	Real	24.0	8.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9 LIM_EXTERNO_TEMP	Real	28.0	20.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**ALARMAS**

LISTO ESPERE CALENTANDO

N.º	Hora	Fecha	Texto
A... 1	0:07:52	15/07/2016	TEMPERATURA PRODUCTO CAMISA A HH
A... 5	0:00:27	15/07/2016	TEMPERATURA PRODUCTO CAMISA B HH
A... 22	23:57:20	14/07/2016	VELOCIDAD DE LA BANDA LL
A... 19	23:56:21	14/07/2016	VELOCIDAD DE LA BANDA HH
A... 18	0:17:21	15/07/2016	TEMPERATURA CAMISA C H
A... 16	0:17:17	15/07/2016	TEMPERATURA CAMISA B H
AL 14	0:17:12	15/07/2016	TEMPERATURA CAMISA A H
AR			
MA			
AM			
ARI			
LLA			
A... 21	0:02:34	15/07/2016	VELOCIDAD DE LA BANDA L

15/07/2016 0:18:07

F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8

**Inputs** Reset filter

Symbol name	Address	Data type	Comment	Scaling
58.1054687 EA_TERMOCUPLA_A	IW64	WORD		Unipolar
57.9513888 EA_TERMOCUPLA_B	IW66	WORD		Unipolar
57.8923611 EA_TERMOCUPLA_C	IW68	WORD		Unipolar
700.0 EA_TERMOCUPLA_CAMISA_A	IW70	WORD		Unipolar
700.0 EA_TERMOCUPLA_CAMISA_B	IW74	WORD		Unipolar
700.0 EA_TERMOCUPLA_CAMISA_C	IW76	WORD		Unipolar

Figura 58 Simulación de TAH en la camisa A.

The image displays the Siemens SIMATIC Manager interface. The top window, titled "CONSTANTES\_DEL\_USUARIO", lists user-defined constants. Below it, the "Inputs" table shows the configuration for various inputs, including temperature sensors for the shirt (camisa).

Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Visible en ...
Static					
TIEMPO_APAGAR_SEGURIDAD	Time	0.0	T#30S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FACTOR_REDUCCION_MECANICA	Real	4.0	100.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TEMPERATURA_INTERNA_CAMISA_HH	Real	8.0	900.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TEMPERATURA_INTERNA_CAMISA_H	Real	12.0	700.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
LIM_INTERNO_VELOCIDAD	Real	16.0	12.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
LIM_EXTERNO_VELOCIDAD	Real	20.0	20.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
LIM_INTERNO_TEMP	Real	24.0	8.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
LIM_EXTERNO_TEMP	Real	28.0	20.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Symbol name	Address	Data type	Comment	Scaling
0.0 EA_TERMOCUPLA_A	IW64	WORD		Unipolar
0.0 EA_TERMOCUPLA_B	IW66	WORD		Unipolar
0.0 EA_TERMOCUPLA_C	IW68	WORD		Unipolar
901.0 EA_TERMOCUPLA_CAMISA_A	IW70	WORD		Unipolar
700.0 EA_TERMOCUPLA_CAMISA_B	IW74	WORD		Unipolar
700.0 EA_TERMOCUPLA_CAMISA_C	IW76	WORD		Unipolar

The right-hand side of the image shows a "TUCH" (Touchscreen) interface with a "Avisos pendientes" (Pending Alerts) window. The alert window contains the following data:

N.º	Hora	Fecha	Texto
A... 4	0:19:31	15/07/2016	TEMPERATURA PRODUCTO CAMISA A LL
A... 12	0:19:30	15/07/2016	TEMPERATURA PRODUCTO CAMISA C LL
A... 8	0:19:30	15/07/2016	TEMPERATURA PRODUCTO CAMISA B LL
AL 13	0:19:21	15/07/2016	TEMPERATURA CAMISA A HH

The touchscreen interface also features a "TOUCH" label, a "OFF" button, an "AUTO" button, and a date/time display showing "15/07/2016 0:19:56". At the bottom, there are function keys labeled F1 through F8.

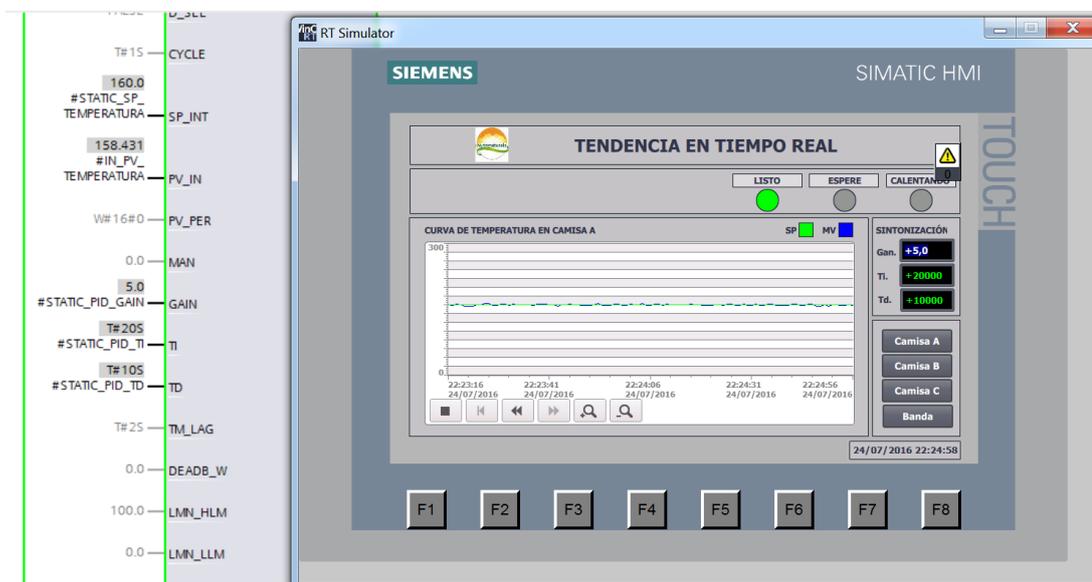
Figura 59 Simulación de TAHH en la camisa A.

### 6.3.4. Tendencias y parámetros

La HMI tiene cuatro pantallas que muestran las tendencias de los lazos de control, la figura de cada una de ellas ya ha sido expuesta anteriormente en las figuras de la 44 a la 47. El visor de WinCC presenta por defecto los valores de las variables en el periodo de los últimos 100 segundos y son almacenados los valores de los últimos 3 minutos y 20 segundos, para acceder a esta información el usuario tiene disponibles los controles de acercamiento, alejamiento, retroceso o adelanto según requiera. Es importante añadir que, en estas pantallas se ha reservado un área para campos de texto que permitan modificar los parámetros de los controladores PID en el autómeta. Esto es necesario para sintonizar cada uno de los lazos en la implementación del sistema. Un ejemplo de modificación de los parámetros se expone en la figura 60.

### 6.3.5. Ayuda

La pantalla de ayuda incluye una síntesis de información de cada ventana, suficiente para comprender en general la interacción del sistema, no es recomendable añadir más información debido a que esto podría ocasionar confusión en el operario, además de que la resolución de la pantalla no es adecuada para presentar más información (ver figura 61).



**Figura 60 Simulación en modificación en cambio de parámetros**

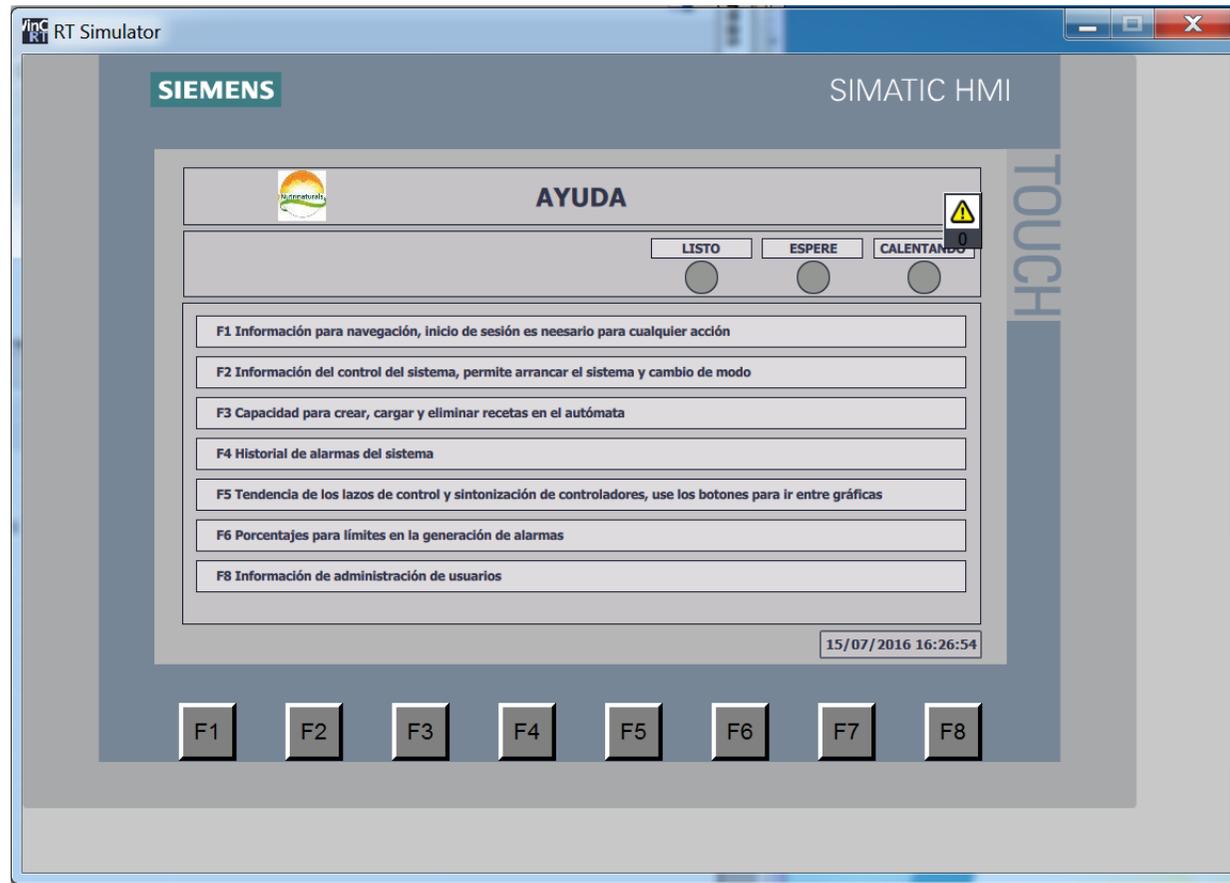


Figura 61 Pantalla: Ayuda.

### 6.3.6. Usuarios

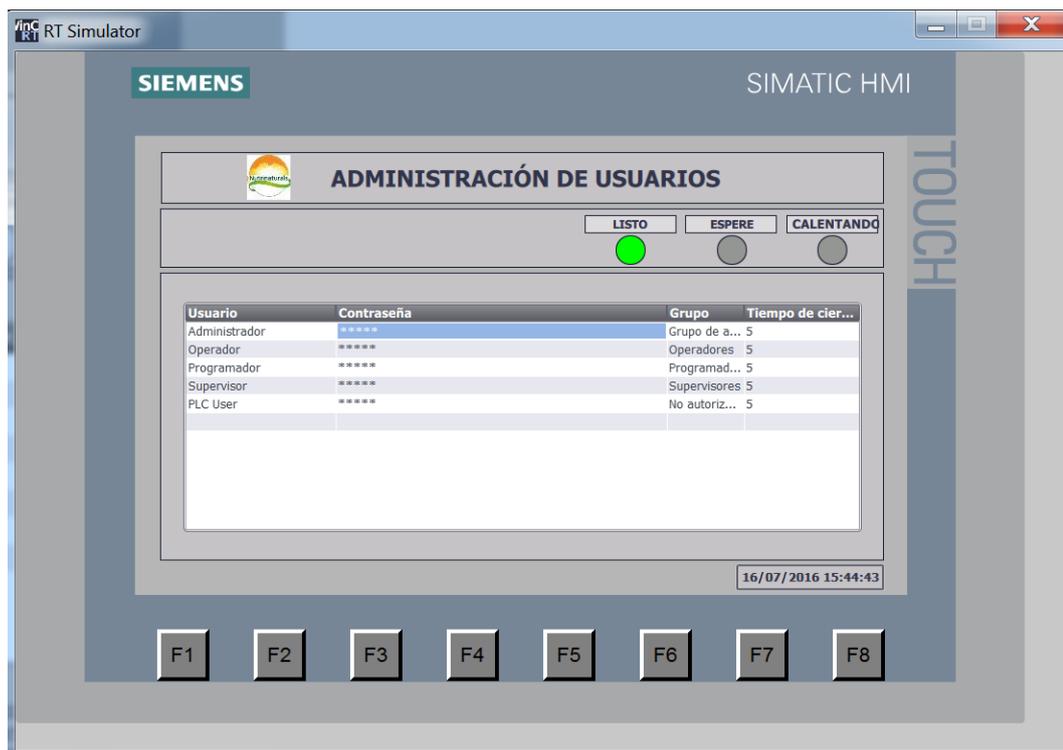
Como se ha mencionado, en la configuración de administración de usuarios de la HMI se ha registrado cuatro grupos de usuarios, los permisos que se han definido se encuentran en la tabla 48 y los permisos correspondientes a cada grupo se encuentran en la tabla 49. El inicio de sesión será por medio de la pantalla “Inicio”, mientras que el cierre de sesión puede ser manualmente usando el botón respectivo junto al de inicio o, únicamente esperar un periodo de tiempo para que la sesión se cierre automáticamente. Dependiendo del nivel de acceso el usuario podrá visualizar los grupos de usuarios disponibles en la HMI (ver figura 62).

**Tabla 48**  
**Grupos de usuarios en la HMI**

Número	Grupo de usuario
1	Administración de usuarios
2	Cambio de referencia
3	Cambio de modo
4	Creación y descarga de recetas
5	Manipulación del quemador
6	Sintonización
7	Límites de rango de error
8	Iniciar y detener proceso

**Tabla 49**  
**Permisos asignados a los grupos de usuarios en la HMI**

Número	Permisos
Grupo de administradores	1-8
Programador	2-8
Supervisor	2-5 y 7,8
Operador	4,8



**Figura 62 Pantalla: Usuarios**

## CAPÍTULO VII

### ANÁLISIS FINANCIERO Y DE COSTOS

#### 7.1. Presupuesto de materiales de implementación

##### 7.1.1. Listado de materiales con sus respectivas especificaciones.

**Tabla 50**  
**Listado de Materiales y Especificaciones. Julio 2016**

N.	Descripción	Cantidad	Especificación
1	Termomagnético	1	Schneider IC60N- 10A, tripolar
2	Guarda motor	1	Marca Siemens, modelo Sirius Innovations
3	Variador de frecuencia	1	Marca Siemens, modelo G120C, CPU 240E-2
4	Contactador	1	Contacto Sirius Innovation 3RT20
5	Contactador	1	Contacto Sirius Innovation 3RT20
6	Fusibles	3	30A
7	Transformador	1	440/230 V y 0,300KVA
8	Termomagnético	1	Schneider GB2 1A
9	Relé	1	Siemens 3RQ3 ultradelgado
10	Fuente de poder	1	Siemens SITOP Modular 230/24 V
11	PLC	1	Siemens S7 1200
12	Encoder	1	OMRON Encoder incremental E6B2
13	Balizas	1	Siemens 24Vdc
14	PLC módulo EA	1	Siemens SM 1231 AI 8x13bit
15	Transmisor	6	Siemens SITRANS TH300
16	Sensor de temperatura TS500	6	Siemens SITRANS TS500
17	PLC módulo SA	1	Siemens SM 1232 AQ 4x14bit
18	Posicionadores	3	Sauter Posicionador ASF 113S
19	Porta fusibles	3	
20	Borneras	21	Para cable hasta 12 AWG
21	Borneras de instrumentación	18	Para cable hasta 18 AWG
22	Pantalla	1	Siemens KTP900 PN Básica
23	Conmutador	1	Siemens SCALANCE X
24	Conductor AWG 18 (m)	50	
25	Conductor AWG 12 (m)	130	
26	Cable ethernet (m)	4	Siemens industrial con blindaje
27	Conector ethernet	6	Siemens industrial
28	Cable de instrumentación 2 hilos	36	Con doble blindaje
29	Cable instrumentación 4 hilos	22	Con doble blindaje
30	Cable de instrumentación 5 hilos	4	Con doble blindaje
31	Canaletas	3	40x60x2000mm
32	Armario metálico	1	1400x800x350
33	Riel	3	Riel din 35mm
34	Pulsador de emergencia	1	Siemens, rojo y exuberante
35	TIA Portal Step7	1	TIA Portal Step7 Profesional V13
39	TIA Portal WinCC Advance Runtime	1	Para aplicaciones de una sola estación, licencia para 128 etiquetas

## 7.1.2. Presupuesto de materiales y elementos

**Tabla 51**

**Presupuesto 1. Presupuesto de materiales, elementos y servicios. Julio 2016**

N.	Descripción	Cantidad	V. Unitario	V. Total	IVA 14%	Total	Participación Porcentual
1	Disyuntor	1	40,30	40,30	5,64	45,94	0,08%
2	Guarda motor	1	58,66	58,66	8,21	66,87	0,11%
3	Variador de frecuencia	1	488,00	488,00	68,32	556,32	0,95%
4	Contactador	1	28,19	28,19	3,95	32,14	0,05%
5	Contactador	1	24,26	24,26	3,40	27,66	0,05%
6	Fusibles	3	1,79	5,37	0,75	6,12	0,01%
7	Transformador	1	442,53	442,53	61,95	504,48	0,86%
8	Termomagnético	1	22,10	22,10	3,09	25,19	0,04%
9	Relé	1	22,56	22,56	3,16	25,72	0,04%
10	Fuente de poder	1	327,00	327,00	45,78	372,78	0,64%
11	PLC	1	718,00	718,00	100,52	818,52	1,40%
12	Encoder	1	74,98	74,98	10,50	85,48	0,15%
13	Balizas	1	53,10	53,10	7,43	60,53	0,10%
14	PLC módulo EA	1	723,00	723,00	101,22	824,22	1,41%
15	Transmisor	6	560,39	3.362,34	470,73	3.833,07	6,55%
16	Sensor de temperatura TS500	6	182,00	1.092,00	152,88	1.244,88	2,13%
17	PLC módulo SA	1	742,00	742,00	103,88	845,88	1,44%
18	Posicionadores	3	123,27	369,80	51,77	421,57	0,72%
19	Porta fusibles	3	2,81	8,43	1,18	9,61	0,02%
20	Borneras	21	1,79	37,59	5,26	42,85	0,07%
21	Borneras de instrumentación	18	1,24	22,32	3,12	25,44	0,04%
22	Pantalla	1	2.450,00	2.450,00	343,00	2.793,00	4,77%
23	Conmutador	1	367,00	367,00	51,38	418,38	0,71%
24	Conductor AWG 18 (m)	50	0,24	12,00	1,68	13,68	0,02%
25	Conductor AWG 12 (m)	130	0,49	63,70	8,92	72,62	0,12%
26	Cable ethernet (m)	4	4,45	17,80	2,49	20,29	0,03%
27	Conector ethernet	6	40,00	240,00	33,60	273,60	0,47%
28	Cable de instrumentación 2 hilos	36	2,32	83,52	11,69	95,21	0,16%
29	Cable instrumentación 4 hilos	22	3,08	67,76	9,49	77,25	0,13%
30	Cable de instrumentación 5 hilos	4	4,83	19,32	2,70	22,02	0,04%
31	Canaletas	3	2,57	7,71	1,08	8,79	0,02%
32	Armario	1	874,00	874,00	122,36	996,36	1,70%
33	Riel	3	3,06	9,18	1,29	10,47	0,02%
34	Pulsador de emergencia	1	11,36	11,36	1,59	12,95	0,02%
35	TIA Portal Step7	1	1.503,33	1.503,33	210,47	1.713,80	2,93%
39	TIA Portal WinCC Ad. Runtime	1	980,00	980,00	137,20	1.117,20	1,91%
40	Parte mecánica	1	36.000,00	36.000,00	5.040,00	41.040,00	70,08%
<b>SUBTOTAL</b>				51.369,21	7.191,69	58.560,90	100,00%
Variación estimada en materiales		5,00%		2.568,46	359,58	2.928,04	
<b>TOTAL</b>				<b>53.937,67</b>	<b>7.551,27</b>	<b>61.488,94</b>	

En el listado presentado en la tabla 51, se ha incluido el valor de la parte mecánica del horno, este valor incluye diseño, construcción y mano de obra. El detalle por elementos mecánicos y servicios no es un tema fundamental para continuar con el análisis financiero por lo que se ha optado por incluir el monto total de la parte mecánica como un ítem en el listado del presupuesto. El valor marcado para el

software de ingeniería es un valor proporcional, debido a que el precio total será distribuido en varios proyectos de automatización, afrontando “Nutrinaturals” la amortización anual.

## 7.2. Propuesta de optimización de costos

### 7.2.1. Resultados estimados actuales

**Tabla 52**  
**Resultados de Producción Previo a la Implementación. Julio 2016**

Componente	Detalle	Método Manual	
		Resultados por proceso	Variación porcentual por componente
Materia Prima Directa	MPD	25,10%	15,00%
Mano de Obra Directa	MOD	45,40%	5,00%
Costos Indirectos de Fabricación	CIF	29,50%	5,00%
Producción en 8 horas	Kg.	57,60	
Desperdicio estimado		15,00%	5,00%

### 7.2.2. Costos proyectados con implementación del sistema de producción

**Tabla 53**  
**Resultados Proyectados Después de la Implementación. Julio 2016**

Componente	Detalle	Método Manual	Implementación de Maquinaria		
		Resultados por proceso	Variación porcentual por componente	Resultados por proceso	Variación porcentual por componente
Materia Prima Directa	MPD	25,10%	15,00%	67,74%	4,00%
Mano de Obra Directa	MOD	45,40%	5,00%	15,30%	3,00%
Costos Indirectos de Fabricación	CIF	29,50%	5,00%	16,96%	3,00%
Producción en 8 horas	Kg.	57,60		120,00	
Desperdicio estimado		15,00%	5,00%	5,00%	2,00%

### 7.2.3. Análisis horizontal porcentual de componentes de costos.

**Tabla 54**  
**Análisis Horizontal de Costos. Julio 2016**

Componente	Detalle	Método Manual		Implementación de Maquinaria	
		Costos de Producción	Resultados por proceso	Costos de Producción	Resultados por proceso
Materia Prima Directa	MPD	376,50	25,10%	417,96	67,74%
Mano de Obra Directa	MOD	681,00	45,40%	94,40	15,30%
Costos Indirectos de Fabricación	CIF	442,50	29,50%	104,64	16,96%
Total		<b>1.500,00</b>	<b>100,00%</b>	<b>617,00</b>	<b>100,00%</b>
Unidades		1374,00		1374,00	
Costo unitario		<b>1,09</b>		<b>0,45</b>	

### 7.3. Flujos de retorno de inversión

#### 7.3.1. Flujo de inversión propuesto con financiamiento

**Datos:**

**Tabla 55**  
**Datos para elaboración de flujo de inversión**

Implementación maquinaria	61.488,94
Interés anual	14,00%
Plazo (años)	5,00
Cantidad de venta objetiva mensual	2.400,00
Costo de Producción	0,45
Precio de Venta (Distribuidor)	1,50



### 7.3.2. Punto de equilibrio y rentabilidad del proyecto mediante VAN y TIR.

**Tabla 58**

**Datos para elaboración de punto de equilibrio**

Cantidad de venta objetiva mensual	1.421,00
Costo de Producción	0,45
Precio de Venta (Distribuidor)	1,50
Tasa activa referencial	14,00%

**Tabla 59**

**Flujo 2. Comprobación de Punto de Equilibrio. Julio 2016**

Tabla de Amortización	Periodos Mensuales													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Inversión	61.488,94													
Proyección de ingresos		2.131,50	2.131,50	2.131,50	2.131,50	2.131,50	2.131,50	2.131,50	2.131,50	2.131,50	2.131,50	2.131,50	2.131,50	
(-) Costos de producción		-638,11	-638,11	-638,11	-638,11	-638,11	-638,11	-638,11	-638,11	-638,11	-638,11	-638,11	-638,11	
(-) Cuotas de préstamo		-1.492,56	-1.492,56	-1.492,56	-1.492,56	-1.492,56	-1.492,56	-1.492,56	-1.492,56	-1.492,56	-1.492,56	-1.492,56	-1.492,56	
<b>Utilidad Operacional</b>		<b>0,83</b>												

**Tabla 60**

**Resultados financieros**

VAN	\$5.828,46
TIR	-19%

El resultado del análisis financiero refleja que, es posible financiar la deuda a 5 años con una cuota mensual de \$1492,56 obteniendo al mismo tiempo una utilidad operacional de \$1029,71 con un nivel de producción de moderado a bajo. En aquellos meses en los que la empresa eleve su nivel de producción la utilidad consecuentemente va a ser superior. Estos datos le permiten a la empresa “Nutrinaturals” dar una aceptación al proyecto.

La tabla 60 refleja un valor de TIR negativo debido a que para su cálculo han sido tomados únicamente los valores de utilidad del primer año, sin embargo si se proyecta el retorno que se obtendrán los siguientes cinco años resulta muy conveniente dar paso al proyecto, ya sea bajo una figura de financiamiento bancario o desde una figura de inversionista externo.

## Conclusiones

- Con base en los resultados obtenidos en la etapa de determinación de elementos y equipos se afirma que es factible la automatización de un horno tipo túnel, puesto que los elementos y equipos que se requieren se encuentran disponibles en el mercado nacional.
- Respecto a algunos equipos es posible escoger entre varias marcas posicionadas en el mercado, siempre y cuando las características fijadas en la etapa de selección sean respetadas.
- Se obtuvo un programa para el autómeta que considera, seguridades para el usuario, la estructura y el proceso, y además posee un orden adecuado de energización de los equipos representando ahorro de recursos, como la reducción en uso de energía eléctrica y disminución en el desgaste de los equipos.
- El uso de la restricción por grupos de usuarios y paquetes de permisos, permitieron tener amplias prestaciones a la interfaz manteniendo la seguridad del sistema al mismo tiempo.
- El uso de un simulador para evaluar la propuesta de solución resultó muy conveniente, el programa en efecto permitió comprobar el funcionamiento de los bloques PID del programa que se descargará en el autómeta, fue posible comprobar el direccionamiento de entradas y salidas tanto discretas como analógicas y además el algoritmo en general.
- No fue posible probar todas las comunicaciones que se incluyó en el autómeta, debido a que el simulador requiere una licencia pagada para usar el estándar PROFINET. La comprobación del bloque de comunicación se postergó por tanto hasta la adquisición del equipo, en este caso el variador de frecuencia.
- El programa para desarrollo de soluciones de automatización que provee Siemens llamado TIA Portal aunque completo, torna un tanto lento al ordenador que lo esté utilizando si es usado sobre una máquina virtual, aunque existe la versión para el Sistema Operativo (SO) Windows 8.1 lamentablemente el simulador SIMIT del mismo fabricante, no permite ser instalado en este SO. Esta afirmación podría parecer un tanto extrema sin embargo se puede verificar usando el simulador del autómeta, el simulador del

panel para la HMI, colocando en línea el autómatas para visualización de variables, y usando a la vez SIMIT en modo de simulación.

- El análisis financiero muestra que el proyecto es viable, puesto que los montos de financiamiento son manejables para la empresa. Siendo que los cálculos fueron realizados basados en un nivel de producción de moderado a bajo, se espera un aumento de volumen en el último trimestre del año y por tanto mayor utilidad.

### **Recomendaciones**

- Considerar que los equipos y demás elementos que se solicita para la automatización estén disponibles en el mercado nacional, o a su vez que, su adquisición se establezca de una manera clara y con el recargo en el precio que signifique su respectiva importación.
- Cuando sean escogidos elementos para una automatización, seleccionar equipos estándar, que puedan ser reemplazados por otros en caso de que estos, no estén al momento disponible en el mercado nacional, de ahí la importancia de señalar las características de los equipos.
- Diseñar la lógica de control incluyendo medidas de seguridad para el cumplimiento de los procesos, haciendo énfasis en el oportuno traspaso de información hacia el usuario correspondiente, acerca de un comportamiento del sistema fuera de lo esperado.
- En el programa que comandará el sistema se deben considerar el resguardo para el usuario disminuyendo el riesgo de accidentes en el área de trabajo.
- El sistema debe estar diseñado para cuidar de su estructura, en caso de que alguna variable tienda a aumentar o disminuir demasiado poniéndolo en riesgo, debe estar configurado para que pueda tomar acciones en el momento oportuno.
- Es importante tener la capacidad de modificar los parámetros del sistema por medio de una interfaz, siempre y cuando se encuentre únicamente disponible para personal autorizado.
- No descartar el uso de niveles de acceso para los grupos de usuarios, WinCC presenta una herramienta de administrador de grupos de usuarios sumamente práctica y sencilla de modificar.

- Vigilar la lógica de control para que la secuencia con la que se inicia el sistema descarte que los actuadores estén trabajando de manera innecesaria.
- En cuanto al simulador, generar un diagrama que se comporte similar a la planta de manera muy general, el objetivo de probar la solución se habrá llevado a cabo siempre que se pueda probar la lógica de control.
- Antes de iniciar el proceso de diseño, verificar que el ordenador sobre el cual se realizará la simulación cuente con los recursos informáticos necesarios para la utilización de todos los programas involucrados en especial si son usados al mismo tiempo.
- Luego de haber usado SIMIT se recomienda su uso para evaluación de programas desarrollados en autómatas compatibles con este.

## BIBLIOGRAFÍA

- Sauter. (2016). *ASF 113S: Actuator with spring return and positioner*. Recuperado el 8 de febrero de 2016, de <http://www.sauteriberica.com/es/productos-sauter/product-category-list/pdm/51-elektrische-antriebe.html>
- Siemens. (1 de enero de 2013). *Simit 7, PLCSIM Gateway*. Recuperado el 16 de marzo de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Omron. (enero de 2014). *Incremental 40-mm-dia. Rotary Encoder, E6B2-C*. Recuperado el 30 de abril de 2016, de <http://www.omron.com/>
- Baker Perkins. (2013). *Baker Perkins*. Recuperado el 10 de febrero de 2016, de [www.bakerperkins-flip-page.com](http://www.bakerperkins-flip-page.com)
- Balcells, J., & Romeral, J. (1997). *Autómatas Programables*. Barcelona: Marcombo.
- Bastian, P., Eichler, W., Huber, F., Jaufmann, N., Manderla, J., Spielvogel, O., . . . Tkotz, K. (2001). *Electrotecnia*. Madrid: Ediciones AKAL, S. A.
- Burbano de Ercilla, S., Gracia Muñoz, C., & Burbano García, E. (2003). *Física general*. Madrid: Editorial Tebar, S.I.
- Omron. (Enero de 2014). *Incremental 40-mm-dia. Rotary Encoder, E6B2-C*. Kyoto, Kansai, Japón.
- Creus Solé, A. (2012). *Instrumentación industrial*. Barcelona: Marcombo.
- Espinosa, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. Alexander Espinoza, 2011.
- Filali, S. (2014). *Evaluación de estándares HMI/SCADA y aplicación de la guía GEDIS a los Sistemas SCADA del NAP (Network Access Point) de Canarias*. San Cristobal de La Laguna.
- Sauter. (1 de abril de 2014). *ASF 113S: Actuator de compuerta con muelle de retorno y posicionador*. Recuperado el 2 de febrero de 2016, de <http://www.sauteriberica.com/es/productos-sauter/product-category-list/pdm/51-elektrische-antriebe.html>

- General Cable Cablec. (5 de enero de 2016). *Catálogo de productos comerciales*. Recuperado el 29 de marzo de 2016, de [http://www.kywi.com.ec/files/GENERAL\\_CABLE\\_1.pdf](http://www.kywi.com.ec/files/GENERAL_CABLE_1.pdf)
- Incucables. (5 de enero de 2016). *Cables de cobre para instrumentación electrónica*. Recuperado el 1 de abril de 2016, de <http://www.inducables.com/>
- Lamborghini caloreclima. (junio de 2006). *Quemadores para gasóleo*. Recuperado el 20 de diciembre de 2015, de <http://www.lamborghini.es/documento.aspx?id=118>
- Lamborghini caloreclima. (2012). *Quemadores Gas/Gasoleo*. Recuperado el 20 de diciembre de 2015, de <http://www.lamborghini.es/>
- Lamborghini careclima. (junio de 2006). *Quemadores para gasoleo, Instalación, uso, mantenimiento*. Recuperado el 20 de diciembre de 2016, de <http://www.lamborghini.es/>
- Loor, K. (2008). *Desarrollo de un manual de operaciones para un proceso de galletas crackers*. Recuperado el 20 de enero de 2016, de [www.dspace.espol.edu.ec](http://www.dspace.espol.edu.ec)
- Magnetronic Device. (2014). *Catálogo 2014*. Recuperado el 5 de abril de 2016, de <http://www.mdexx.de/locations/>
- NutrNaturals. (2016). *Propuesta para diseño mecánico y construcción de un horno tipo túnel*. Rumiñahui.
- Ogata, K. (1998). *Ingeniería de Control Moderna*. México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- Pallás Areny, R. (2003). *Sensores y Acondicionadores de señal*. Barcelona: Marcombo, S. A.
- Phoenix Contact GmbH & Co. KG. (2016). *Catálogo Resumen*. Recuperado el 20 de abril de 2016, de <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pc>
- Schneider Electric. (2011). *Catálogo 2011*. Recuperado el 2 de abril de 2016, de <http://www.schneider-electric.com/ww/en/>

- Schneider Electric. (16 de julio de 2016). *Product data sheet GB2CB06*. Recuperado el 16 de julio de 2016, de <http://www.schneider-electric.com/ww/en/>
- Siemens. (Noviembre de 2009). *S7 Controlador programable S7-1200, Manual de sistema*. Recuperado el 12 de abril de 2016, de <http://www.siemens.com/entry/ec/es/>
- Siemens. (abril de 2010). *Simatic S7-1200 Contador de Alta Velocidad*. Recuperado el 1 de mayo de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens. (octubre de 2010). *Sirius 3RV2 motor starter protectors*. Recuperado el 30 de marzo de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens. (enero de 2013). *Sitrans, Sensores de temperatura Sitrans TSinsert/TS100/TS200/TS500, Instrucciones de servicio*. Recuperado el 20 de marzo de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens. (marzo de 2014). *Simatic HMI, Paneles de operador Basic Panels 2nd Generation, Instrucciones de servicio*. Recuperado el 29 de abril de 2016, de <http://www.siemens.com/entry/ec/es/>
- Siemens. (25 de Julio de 2016). *Industry Mall*. Recuperado el 25 de Julio de 2016, de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>
- Siemens. (agosto de 2008). *Motores asíncronos IPH4, Sinamics S120. Manual de configuración*. Recuperado el 20 de abril de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens. (2011). *Sinamics G120, Convertidor de frecuencia con las Control Units*. Recuperado el 3 de mayo de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens. (2011). *Sirius Control Industrial*. Recuperado el 29 de marzo de 2016, de <http://www.siemens.com/>

- Siemens. (2013). *Switching devices – Contactors and contactor assemblies – for switching motors*. Recuperado el 29 de marzo de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens. (2014). *Compact 1-phase and 2-phase power supplies 24 V DC/5 A and 10 A for the highest demands, SITOP Modular*. Recuperado el 22 de abril de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens. (2014). *Instrumentación de campo para la automatización de procesos*. Recuperado el 28 de febrero de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens. (noviembre de 2014). *Sinamics G: Speed Control of a G110M/G120 (Startdrive) with S7-1200 (TIA Portal) via PROFINET with Safety Integrated (via Terminal) and HMI*. Recuperado el 2 de mayo de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens. (2014). *Sinamics, Convertidores de baja tensión Sinamics G120C, Instrucciones de servicio*. Recuperado el 10 de abril de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens. (marzo de 2015). *SCE Guide Trainer Packages*. Recuperado el 1 de abril de 2016, de <http://www.siemens.com/entry/ec/es/>
- Siemens. (1 de junio de 2016). *Data sheet 3RQ3018-1AB00*. Recuperado el 18 de junio de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens Aktiengesellschaft. (marzo de 2008). *Sitrans T, Temperature transmitter Sitrans TH200/TH300, Operating Instructions*. Recuperado el 20 de marzo de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Siemens. (1 de marzo de 2016). *Lista de precios Ecuador*. Recuperado el 28 de marzo de 2016, de <http://www.siemens.com/>
- Sistemas de calefacción. (16 de noviembre de 2015). *Sistemas de calefacción*. Recuperado el 20 de enero de 2016, de <http://www.sistemascalefaccion.com/tipos/calefaccion-electrica.html>
- Tei Ingeniería de Mexicana S.A. de CV. (2010). *Tei Ingeniería Soluciones Tecnología*. Recuperado el 27 de marzo de 2016, de <http://www.teii.com.mx/>

# ANEXOS