

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN INGENIERÍA  
ELECTRÓNICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO  
PARA UN HORNO INDUSTRIAL AHUMADOR DE CARNE.”**

DANIEL ALEJANDRO RUALES RIOS

QUITO-ECUADOR

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que la presente Tesis de Grado, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA UN HORNO INDUSTRIAL AHUMADOR DE CARNE.” fue realizada en su totalidad por el señor Daniel Ruales Ríos bajo nuestra dirección, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Electrónico con especialidad en Automatización y Control.

---

Sr. Ing. Hugo Ortiz

**DIRECTOR DE TESIS**

---

Sr. Ing. Víctor Proaño

**CODIRECTOR DE TESIS**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todas las personas que depositaron su total apoyo y confianza en mí para la culminación de mis estudios superiores. Me dieron fuerzas cuando flaqueaba y sus sabios consejos no me permitieron abandonar la causa cuando todo parecía tornarse difícil.

A mis padres, cuya paciencia y confianza formaron un pilar sobre el cual pude edificar mi carrera profesional.

Al personal docente, que supo capacitarme y guiarme a través de mi formación académica, siempre con dedicación y certeza a la hora de satisfacer mis inquietudes.

A mi Director de Tesis, cuya eficacia y sabiduría al guiarme en el transcurso de este proyecto me permitió culminar el mismo exitosamente.

Finalmente agradezco a la empresa IANDCcontrol S.A. que me proporcionó el auspicio para la realización íntegra del proyecto y me facilitaron los medios necesarios para la culminación del mismo.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta obra a mi esposa y mi pequeña hija, que han sido y siempre serán el motivo y el fin de todas mis acciones. Mientras existan y con su apoyo podré hacerlo todo.

Daniel Ruales Rios.

## PRÓLOGO

El proyecto mostrado en el presente documento consiste en el diseño de un sistema de control automático de temperatura para un horno industrial ahumador de carne y su implementación a través de un controlador BTC-21, dispositivo que recibe la temperatura del proceso a través de una termocupla tipo J y está comunicado con una pantalla HMI táctil, en la cual se despliega el desarrollo del proceso y en la que el usuario podrá escoger en un menú el tipo de receta que desea utilizar para el proceso.

Estas recetas son configurables, es decir, un operador que conozca los comandos claves podrá cambiar los tiempos de cocción y las temperaturas deseadas..

Para desarrollar el prototipo, realizar el programa del HMI y grabarlo en la pantalla táctil se emplea una nueva herramienta de software que será explicada junto con el proyecto. Se considera importante también incluir en este documento la arquitectura y la técnica de construcción del horno, debido a que las características del horno en cuestión determina el tipo de control para la temperatura. El diseño y la implementación de este proyecto ha sido cuidadosamente detallada a manera de guía de elaboración con el fin de lograr un mejor entendimiento del mismo, incluyendo el análisis del proceso, la selección de la técnica más óptima para el control de la temperatura de horno, la selección de los componentes, la programación del controlador, desarrollo del interfaz HMI en la pantalla táctil, la instalación del sistema, su puesta en marcha y finalmente su respectiva evaluación.

## ÍNDICE

<b>Contenido</b>	<b>Pg.</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	
1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Descripción general del proyecto.	4
1.3.1 Descripción del Funcionamiento.	5
1.3.2 Descripción del proceso.	6
1.4 Diagrama de Bloques del Sistema	8
<b>CAPÍTULO 2: DETALLE DE LA ARQUITECTURA DEL HORNO</b>	
2. DETALLE DE LA ARQUITECTURA DEL HORNO	9
2.1 Definiciones.	9
2.1.1 Tipos de hornos	9
2.1.2 Detalle del horno utilizado en el Sistema de control	10
2.2 Funcionamiento.	12
2.3 Especificaciones.	14
<b>CAPÍTULO 3: REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA</b>	
3 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	19

3.1 Requerimientos Generales	19
3.2 Requerimientos específicos	20
3.2.1 Controlador de temperatura	20
3.2.2 Termocupla tipo J	21
3.2.3 Pantalla HMI táctil	21
3.2.4 Dispositivo controlador de chispa y válvula de paso de gas	22
3.2.5 Fuente de voltaje de 24 VCC	23
3.2.6 Transformador de voltaje 110-24 VAC	24
3.2.7 Relés	24
3.2.8 Armario pequeño	24
3.3 Filosofía de Control.	25
3.4 Diseño del Interfaz humano-máquina.	26
3.5 Ubicación de los elementos	29
3.6 Diseño del circuito del sistema de control	32
<b>CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL SOFTWARE</b>	
4 DESARROLLO DEL SOFTWARE.	36
4.1 Software HMI Studio 1.12.	36
4.2Diseño de las pantallas del HMI.	40
4.2.1 Páginas de Usuario.	45
4.2.2 Páginas de Operador.	49
4.3 Objetos del Ladder.	49
4.3.1 Contactos.	49
4.3.2 Contactos de Flanco ascendente.	50

---

4.3.3	Registros permanentes y registros volátiles.	51
4.3.4	Timers	51
4.3.5	Operadores matemáticos	52
4.3.6	Comparadores	53
4.3.7	Herramienta para mover registro	54
4.4	Detallado del Ladder	54
4.4.1	Detalle de contactos y bobinas	54
4.4.2	Detalle de herramientas y registros	55
4.5	Funcionamiento del Ladder	57

---

## **CAPÍTULO 5: SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN**

---

5.	SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN	64
5.1	Descripción de Componentes	64
5.2	Instalación e integración.	70
5.2.1	Integración y conexiones eléctricas.	70
5.2.2	Conexión de la Comunicación.	75
5.2.3	Conexión del sistema controlador de gas.	76

---

## **CAPÍTULO 6: PRUEBAS REALIZADAS**

---

6 .1	PRUEBAS REALIZADAS.	79
6.1.1	Prueba realizada con horno vacío.	80
6.1.2	Prueba realizada con el horno abastecido con carne de pollo	83
6.1.3	Prueba realizada con el horno abastecido con chorizo	85

---

---

6.1.4 Prueba realizada con el horno abastecido con salchicha	87
--	----

---

## **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

7.1. Conclusiones.	89
--------------------	----

---

7.2. Recomendaciones.	91
-----------------------	----

---

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	92
---------------------	----

---

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	93
--------------------------	----

---

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	95
-------------------------	----

---

<b>GLOSARIO</b>	96
-----------------	----

---

### **ANEXO 1: HOJAS TÉCNICAS**

---

### **ANEXO 2: PROGRAMAS DE LADDER**

---

### **ANEXO 3: MANUAL DE USUARIO**

---

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1. INTRODUCCIÓN.

La utilización del humo para la conservación de las carnes es tan antigua como la humanidad misma, desde que el hombre aprendió a manejar el fuego ha consumido carnes chamuscadas-ahumadas, y esa forma de consumir las carnes le dio al hombre el vigor y la nutrición necesaria para el desarrollo y la supremacía de la especie humana.



**Figura 1.1. Productos Cárnicos.** Cualquier carne puede ser ahumada, pero este procedimiento se aplica de manera más común a la carne de res, cerdo, pollo y pescado.

Como se aprecia en la Figura 1.1, existe gran variedad de productos en carnes ahumadas. Actualmente el ahumado de las carnes puede considerarse como una fase del tratamiento térmico de la carne que persigue su desecación y madurado, o como un proceso genuino de ahumado que le imparte un aroma característico, otros efectos deseables logrados con el ahumado son: mejorar el color de la masa de la carne, obtener brillo en la parte superficial y el ablandamiento de la carne.

Los elaboradores de productos cárnicos concuerdan en que la contextura y el sabor de los mismos dependen directamente de la técnica de cocción y el estricto control de la temperatura al momento de ahumar las carnes. El ahumado favorece la conservación de los alimentos por impregnación de sustancias químicas conservadoras presentes en el humo de las maderas, en una acción combinada de estos conservadores y el calor durante el proceso de ahumado con la cocción posterior y la desecación superficial de las carnes.

### **1.1 Antecedentes.**

El método por el que se realiza el control de la temperatura de hornos en la mayoría de las industrias es el de encendido/apagado. En este método se establece una temperatura cocción y se enciende o se apaga un quemador para mantener esa temperatura constante y así garantizar la adecuada cocción de la carne.

El horno en cuestión es un horno atmosférico, en esta arquitectura, las masas de aire caliente nacen en la base del horno, suben por sus paredes laterales hasta llegar a la parte superior. Una vez aquí, el aire se enfría y conforme se va enfriando desciende por la parte central del horno hasta llegar a la base, donde se vuelve a calentar y el ciclo vuelve a empezar. Además de aquello, en la base también se coloca una plancha con aserrín, que al quemarse desprende el humo que le da el sabor característico a estos productos cárnicos.

En la base del horno están dos dispositivos en forma de tubos con pequeños orificios conocidos como “flautas de gas” que son encendidos mediante un chispero eléctrico y queman el gas que hace que el horno se caliente.

La importancia de la implementación de este sistema de control radica en que va a pasar a formar parte fundamental de una herramienta útil para la práctica del ahumado de carne y será utilizada por los propios estudiantes. Una vez implementado el sistema controlador en el horno construido por estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica, el sistema completo será trasladado a Santo Domingo, y así, quedará a disposición para su uso por parte de estudiantes del IASA para la práctica en las técnicas de ahumado de carnes y el uso de hornos industriales.

## **1.2 Objetivos.**

### **1.2.1. Objetivo General.**

Diseñar e implementar un sistema de control automático para un horno industrial ahumador de carne.

### **1.2.2. Objetivos Específicos.**

- Establecer las características constructivas, de funcionamiento y de operación del horno industrial.
  
- Diseñar el sistema de control y seleccionar sus componentes en base a las características y especificaciones establecidas.
  
- Desarrollar la lógica de control y de operación del sistema.

- Desarrollar las interfaces HMI de manera que se logre una versátil interacción entre el sistema y el operador.
  
- Implementar el sistema de control automático en el horno industrial.
  
- Realizar pruebas y evaluar los resultados obtenidos.
  
- Documentar el proyecto.

### **1.3 Descripción general del proyecto.**

Durante el proceso de ahumado de carnes, se tienen establecidos dos tiempos de cocción fijos, se comienza con una temperatura baja para la cocción interna del producto, lo que se conoce como *ahumado en frío*. Luego de un tiempo se cambia bruscamente de temperatura a un nivel alto para darle el aspecto brillante (gratinado) al exterior de la carne (ahumado en caliente). Este cambio en la temperatura debe ser al momento preciso dependiendo del tipo de carne que se esté cocinando.

El control de este cambio de temperaturas, en algunas industrias, se lo realiza manualmente y lo que se requiere es implementar este control a nivel de prototipo para que sea utilizado por estudiantes de la ESPE, que están interesados más en aprender las técnicas de cocción que en el control del horno en sí.

Se va a hacer a un lado la activación manual de un quemador para mantener la temperatura del horno en un valor deseado, y se va a brindar la ventaja de disponer de varias recetas con temperaturas y tiempos de cocción preestablecidos, para que mediante un interfaz de usuario, con sólo presionar en una pantalla táctil, se realice el proceso completo de cocción deseado.

### 1.3.1 Descripción del Funcionamiento.

El cerebro del sistema, por así decirlo, va a ser un controlador de temperatura con microprocesador. Este controlador tiene conectado a su entrada una termocupla tipo J, con la cual recibe la señal de temperatura proveniente del horno.

El controlador va a estar comunicado con la pantalla táctil HMI. Esta comunicación establece al controlador como MASTER, y a la pantalla como SLAVE. De esta manera, la pantalla va a ser capaz de mostrar los registros existentes en el controlador, en los cuales se almacenan valores tales como la Variable del Proceso (PV), el Set Point 1 (SP1) y el Set Point 2 (SP2).

Al tener acceso a estos registros, se nos permite la modificación de los mismos, de esta manera se puede establecer desde el HMI los valores para el SP1 y el SP2.

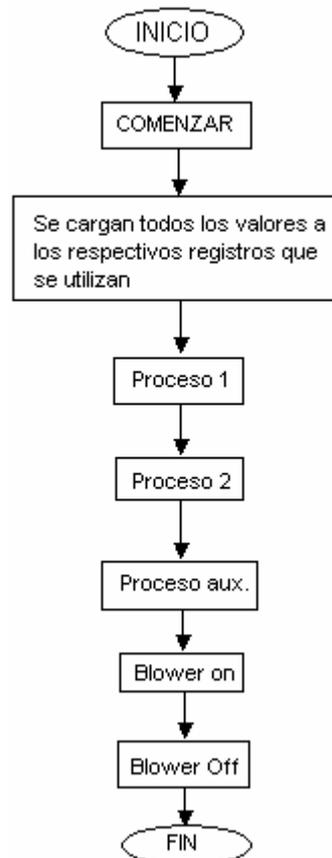
El controlador consta de dos salidas. Una salida va a ser la que active el chispero del quemador de gas del horno por medio de un dispositivo controlador de la chispa y válvula de gas<sup>1</sup>, dependiendo de lo que disponga el controlador. La otra salida va a activar un ventilador extractor de humo que va a estar ubicado en la parte superior del horno y se va a encender cuando reciba la señal proveniente del controlador que indique que el proceso de cocción ha concluido y se necesita evacuar el humo que se encuentra en el interior del horno.

---

<sup>1</sup> Se requiere que sea un solo dispositivo el que controle la chispa de encendido y la válvula de gas, para abaratar costos en el diseño del sistema y la implementación.

### 1.3.2 Descripción del Proceso.

Se ha diseñado un diagrama de flujo, que se presenta a continuación en la Figura 1.2 para explicar el funcionamiento del proceso.



**Figura 1.2 .- Diagrama de flujo del principio de funcionamiento del sistema**

En la Figura 1.2 se muestra claramente el orden de los eventos en el funcionamiento del sistema, al presionar COMENZAR se cargan los valores en los respectivos registros a utilizar, luego de esto se ejecuta el primer proceso, seguido del segundo y el tercero. Acabados los procesos se enciende el blower durante un minuto y se apaga, dando fin al proceso.

El desarrollo del proceso se puede explicar más detalladamente con un ejemplo:

Se supone que el tipo de carne que se desea cocinar es de res y para esto se establece que primero se necesita cocinar la carne a 60 °C durante una hora y media (ahumado en frío) y que luego de transcurrido este tiempo se necesita que la carne se cocine a 100 °C durante una hora más (ahumado en caliente). Estos valores son ingresados por el usuario mediante el HMI y quedan ya preestablecidos para que en caso de querer repetir el proceso no haga falta volver a ingresar los valores, simplemente se escoge la opción del tipo de carne y se comienza el proceso. A estas opciones se las ha llamado "Recetas".

Se ha establecido como SP1 a los 60 °C grados iniciales y SP2 a los 100 °C, como T1 la hora y media del ahumado en frío y T2 la hora del ahumado en caliente. Vale la pena resaltar que no se está utilizando el SP1 y el SP2 del controlador, únicamente se está usando el SP1, y en este registro del controlador, mediante el HMI, cargamos o asignamos por software el valor que nosotros dispongamos<sup>2</sup>. Nos referimos a SP1 y SP2 para explicación del proceso.

Cuando empieza el proceso, se carga el valor de 60 °C al SP1, en este momento, debido a que la temperatura del proceso es menor al SP1, la salida del controlador se va a activar, enviando la señal que indica que el chispero del quemador de gas se debe encender. Se enciende el quemador (flautas de gas) y va a permanecer encendido hasta que la temperatura del horno sea igual a la establecida en SP1. Una vez que la temperatura del horno alcanza el valor de 60 °C, el quemador se va a apagar, volviéndose a encender únicamente si la temperatura del horno baja de los 60 °C.

Transcurrido T1, comienza el ahumado en caliente, es decir, se carga el valor de 100 °C al SP1, se enciende el quemador, lo que hace que se eleve la temperatura del horno hasta llegar al SP1 establecido, el proceso es el mismo que el del ahumado en frío.

---

<sup>2</sup> Sólo se utiliza el SP1 para la asignación de temperatura, el SP2 del controlador lo utilizamos para encender el Blower.

Se ha establecido una precisión para el controlador de  $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , este valor puede ser modificado usando el HMI o directamente en las opciones del controlador.

Una vez transcurrido T2, se acaba el proceso, se carga el valor de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  al SP1, indicando al dispositivo controlador de la chispa de encendido y la válvula que se debe apagar el quemador y se debe cerrar la válvula de gas. A su vez, el HMI envía una señal al controlador indicando que el proceso ha terminado, en ese momento, el controlador activa su Salida 2 que enciende el ventilador extractor de humo. Este ventilador permanece encendido por 1 minuto<sup>3</sup>.

#### 1.4 Diagrama de Bloques del sistema.

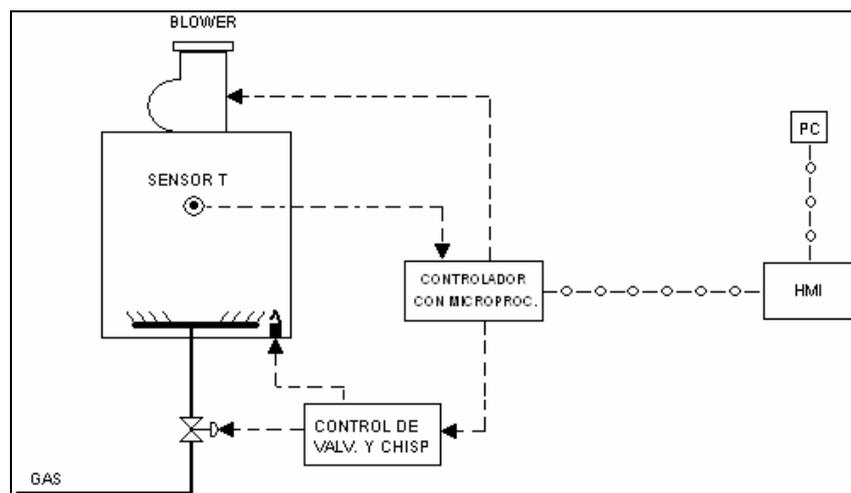


Figura 1.3.- Diagrama de bloques del sistema de control

En el diagrama de la Figura 1.2, se puede distinguir como parte central al *controlador con microprocesador*. Éste recibe la señal del *SENSOR T* y envía dos señales de control, una al *BLOWER* ubicado en la parte superior del horno, y la otra al *controlador de válvula y chispero* ubicado en la parte inferior. El controlador con microprocesador se halla comunicado con la pantalla táctil HMI.

<sup>3</sup> Los Ing. Mecánicos encargados de la construcción del horno establecieron que se requiere de 1 minuto para evacuar el humo de su interior haciendo pruebas previas con el blower.

## CAPÍTULO II

### DESCRIPCIÓN DEL HORNO INDUSTRIAL

#### 2. DETALLE DE LA ARQUITECTURA.

##### 2.1 Definiciones.

Un horno es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado. Se utiliza generalmente en la cocina para calentar, cocer o secar alimentos.

La energía calorífica utilizada para alimentar un horno puede ser suplida directamente por combustión (leña, gas), radiación (luz solar), o indirectamente por medio de electricidad (horno eléctrico), esto es lo que permite determinar los diferentes tipos de horno.

##### 2.1.1 Tipos de hornos

- **Horno de leña.** Funcionan a partir de materiales forestales, lo cual representa un grave riesgo ecológico en la actualidad.
- **Horno de gas.** Son una buena opción ya que tienen una cocción similar a la de los de leña. En cuanto a las implicaciones ecológicas es aún mejor ya que estos no mandan al ambiente gases de una combustión no controlada.

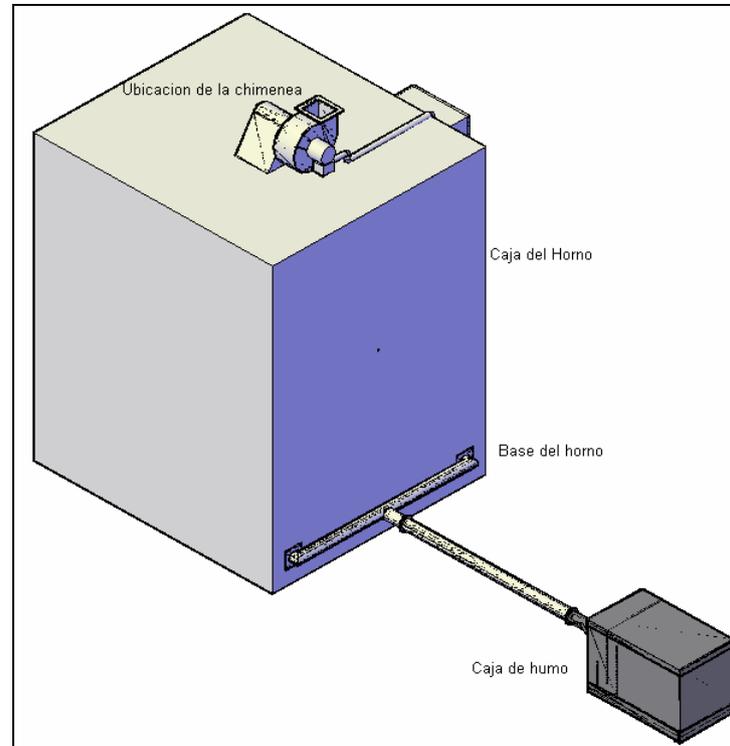
- **Horno eléctrico.** Aun cuando los hornos eléctricos son totalmente automatizados, la cocción no es la óptima y el consumo de electricidad es alto.
- **Horno solar.** Su principal funcionamiento radica en el máximo aprovechamiento de los recursos solares para obtener energía calorífica.
- **Horno de microondas.** Funciona mediante la generación de ondas electromagnéticas, las cuales interactúan con las moléculas de agua, contenidas en los alimentos. La interacción consiste en aprovechar las propiedades resonantes de las moléculas de agua que absorben la energía de las ondas electromagnéticas, elevando su temperatura.
- **Horno Atmosférico.** La arquitectura de este horno facilita el flujo de las masas de aire caliente, cocinando uniformemente los productos que se encuentran en su interior.

### 2.1.2 Detalle del horno utilizado en el Sistema de control.

El sistema de control será instalado en un Horno Atmosférico que funciona a base de gas, construido a base de planchas de acero inoxidable de 0.9 mm, recubierto con planchas de aluminio y sus medidas son 1,5 m de alto, 1.3 m de ancho por 1.10 m de profundidad. En la base del horno están dos dispositivos en forma de tubos con pequeños orificios conocidos como “flautas de gas” que son encendidos mediante un chispero eléctrico y queman el gas que hace que el horno se caliente.

El horno atmosférico se halla formado por cinco partes fundamentales que se consideran o se pueden considerar como piezas independientes y que han sido concebidas por separado para su análisis y estudio por parte de los encargados de la construcción del horno.

Todas y cada una de sus partes se pueden apreciar con claridad en la figura 2.1 que se muestra a continuación en la siguiente página.



**Figura 2.1.- Composición del horno industrial<sup>1</sup>**

- La caja del horno: Es el horno en sí, la parte más externa cuyas medidas corresponden al tamaño total del horno .
- La base del horno: Es una estructura metálica en forma de rieles que se utiliza para ubicar el Porta Carnes.
- El Porta Carnes: Como su nombre lo indica, es una estructura construida a base de rejillas que dispone de compartimientos donde se ubica la carne. Posee ruedas para su fácil desplazamiento. Esto permite ubicar fácilmente la carne en el Porta Carnes y luego desplazarlo hacia el interior del horno.

<sup>1</sup> El porta carnes no consta en la figura debido a que éste se encuentra en el interior y la figura es una vista exterior, pero su forma y dimensiones se especificará más adelante

- La caja de humo: Es externa al horno. Contiene el aserrín especial que es encendido para producir humo, el mismo que es conducido al interior del horno y que realiza el proceso de ahumado.
- La Chimenea: Ubicada en la parte superior del horno. Mediante un extractor de humo que se enciende al terminar el proceso, permite evacuar el humo excedente en el interior del horno.

## 2.2 Funcionamiento

Esta arquitectura, la del horno atmosférico, funciona de la siguiente manera:

Por medio de las flautas que queman gas, ubicadas en la base del horno, la masas de aire en esta parte se calientan. El aire caliente tiende a subir por la parte central del horno hasta llegar al techo del mismo. Una vez aquí, como las masas de aire se encuentran alejadas de la fuente de calor, se enfrían y conforme se van enfriando descienden por las paredes del horno hasta llegar a la base, donde se vuelven a calentar y el ciclo vuelve a empezar.

A más de esto, se introduce humo en la atmósfera interna del horno. Este humo ingresa a través de un orificio ubicado también en la base del horno y proviene de la Caja de Humo que contiene aserrín encendido y provee de humo durante todo el proceso. Este aserrín proviene de varios tipos especiales de madera, y el humo que produce es el que da el sabor característico a los productos ahumados. La Caja de Humo está ubicada en la parte posterior del horno afuera del sistema y el humo llega al horno por medio de tuberías.

Se podría pensar que el flujo de las masas de aire caliente determinaría diferentes tipos de temperatura en cada nivel del horno, pero pruebas realizadas demostraron que se puede considerar una temperatura única en el interior del horno, y para apreciación de la misma por parte del sistema de control de temperatura, sólo fue necesario ubicar un sensor en la parte central del horno, puesto que las temperaturas no varían considerablemente a partir de este punto,

es decir, el aire no es mucho más caliente en la parte inferior y no es mucho más frío en la parte superior.

Esta arquitectura está diseñada para aprovechar eficientemente los flujos de aire caliente y mantener una temperatura constante en todo el interior del horno. De este modo se puede aprovechar de mejor forma el espacio interno en donde se colocan las carnes que se van a cocinar, pues se considera (y de hecho es así) que todos los productos se van a cocinar al mismo ritmo y con la misma intensidad sin importar en qué parte del Porta Carnes se encuentren.

La facilidad con que se mueven o circulan las masas de aire en el interior del horno garantiza una temperatura única en el mismo, no van a existir partes más calientes que otras en el interior del horno. Así mismo, la facilidad de fluidez permite que el cambio de temperatura se produzca de una manera rápida, lo que facilita la determinación del tipo de control que se puede utilizar en este sistema.

## 2.3 Especificaciones

El horno industrial se halla formado por las siguientes partes principales:

a. **Caja del horno.-** Su forma se puede apreciar en la figura 2.2 y se halla constituido por las siguientes partes:

1. Extractor de humo
2. Campana
3. Caja del horno
4. Caja de control
5. Conexión horno-humo
6. Puerta
7. Piso
8. Entrada de humo

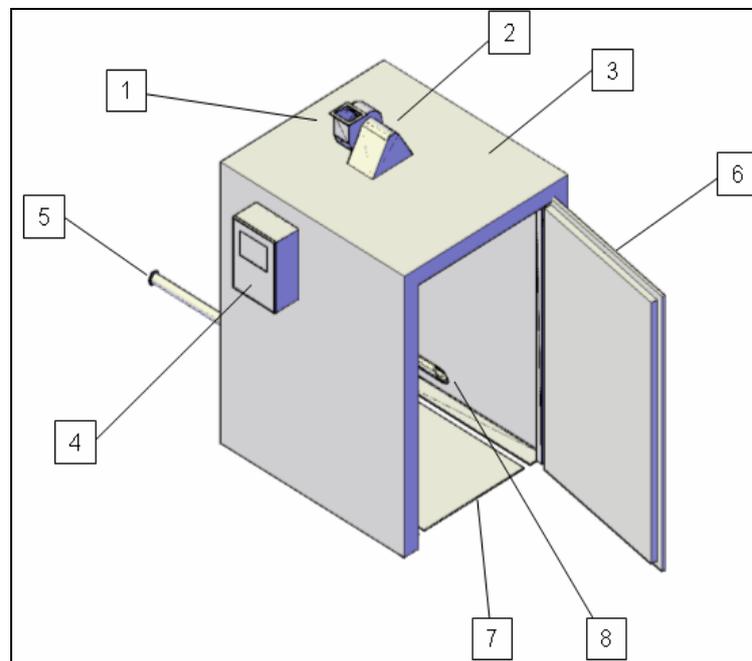
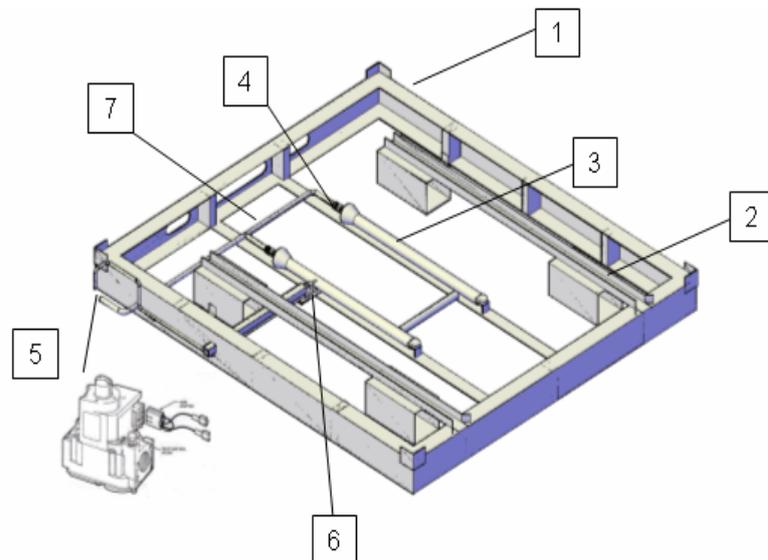


Figura 2.2.- Caja del horno

**b. Base del horno.-** Tiene la forma que se aprecia en la figura 2.3 y consta de las siguientes partes:

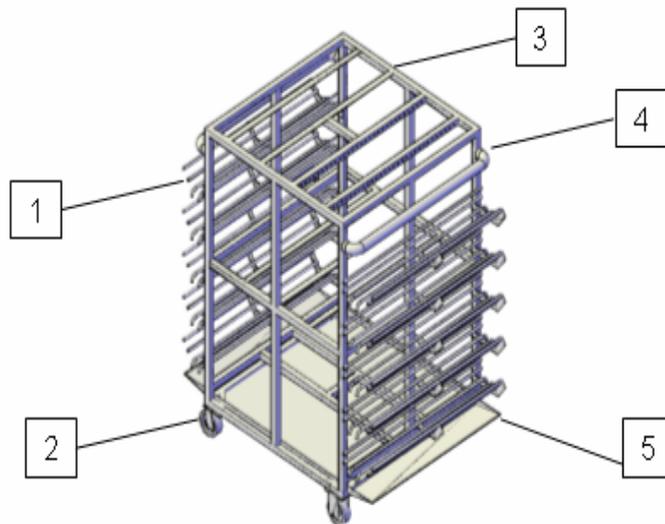
1. Base propiamente dicha
2. Rieles
3. Quemadores
4. Inyectores
5. Válvula de Control
6. Chispero
7. Tubería de cobre



**Figura 2.3.- Base del horno**

**c. Porta-carnes.-** Aquí se coloca el producto a ahumar distribuyéndolo de la mejor manera, este ingresa dentro del horno, tiene la forma de la figura 2.4 y consta de las siguientes partes:

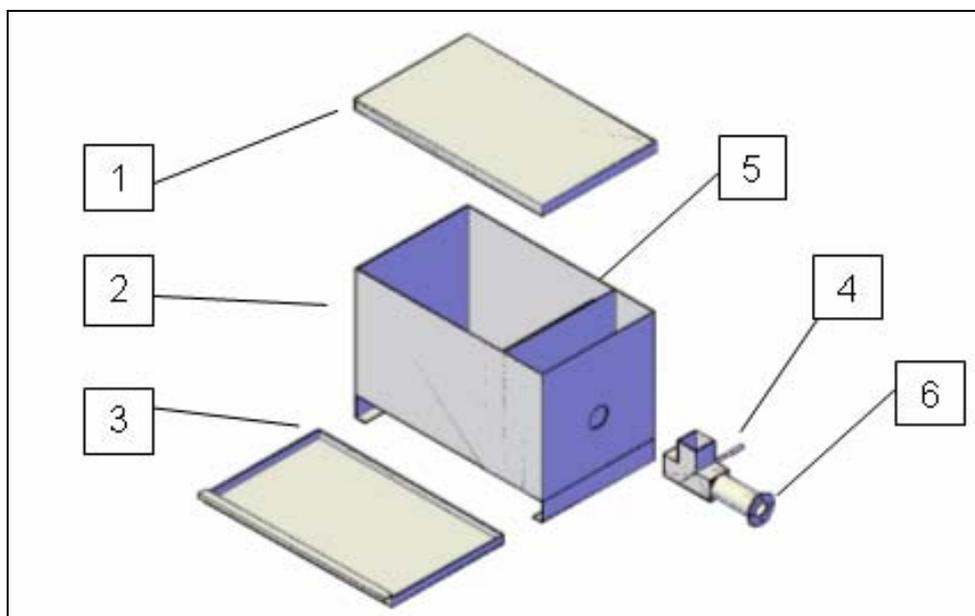
1. Canastillas
2. Garruchas (2 fijas y 2 móviles)
3. Estructura
4. Pasamanos
5. Bandeja recolectora



**Figura 2.4.- Porta Carnes**

**d. Cámara de humo.-** Tiene la forma de la figura 2.5 y consta de las siguientes partes:

1. Tapa
2. Caja
3. Bandeja recolectora de cenizas
4. Manguito de apertura / cierre
5. Laminas de trampa de humo
6. T con brida (conexión humo-horno)



**Figura 2.5.- Caja de humo**

A continuación se presenta la Tabla 2.1 que especifica las dimensiones del horno ahumador

<b>ESPECIFICACIONES DEL HORNO AHUMADOR</b>			
<i>Profundidad</i>	<i>Largo</i>	<i>Alto</i>	<i>VOLUMEN</i>
[m]	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> ]
1,14	1	1,5	1,71

**Tabla 2.1 .- Dimensiones y capacidad del horno Ahumador**

Por otra parte, en la Tabla 2.2 se muestran las dimensiones, materiales y especificaciones físicas de cada una de las partes que conforman el horno ahumador.

<b>ESPECIFICACIONES DE LAS PARTES DEL HORNO</b>			
<i><b>Elemento</b></i>	<i><b>Acero</b></i>	<i><b>Esp</b></i>	<i><b>Dimensiones</b></i>
Caja interior horno	ANSI 304	1 [mm]	1.14x1x1.5 [m]
Caja exterior horno	ANSI 430	1 [mm]	1.15x1.3x0.1 [m]
Base soporte	A-36	2 [mm]	1.16x1.3x1.6 [m]
Porta carnes	ANSI 304	1.2 [mm]	0.8x0.8x1.29 [m]
Caja de humo	ANSI 430	0.7 [mm]	0.3x0.5x0.35 [m]

**Tabla 2.2.- Especificaciones de las partes que conforman el horno.**

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL**

#### **3. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.**

En el CAPÍTULO 1, mediante un diagrama de bloques, se especificó de manera muy general y funcional los elementos que participan en el sistema de control. En este capítulo vamos a detallar cada elemento que se necesita para que el sistema de control funcione correctamente y la manera en que se van a relacionar entre sí.

##### **3.1 Requerimientos generales.**

El sistema requiere un dispositivo controlador de temperatura que funcione como cerebro o pieza fundamental, que reciba la señal de un sensor de temperatura (termocupla tipo J) que sense el horno. Además de esto, el controlador de temperatura necesita estar comunicado con una pantalla HMI que despliegue las opciones de funcionamiento y los registros del controlador para que estén a disposición del usuario.

Generalmente estos controladores funcionan a 110 V AC, se pueden conectar directamente a la red de alimentación doméstica, pero para la alimentación de la pantalla HMI es necesario utilizar una fuente de 24 VCC.

Se utilizan también relés a la salida del controlador de temperatura para activar diversos dispositivos, uno de ellos es el sistema que controla el chispero de encendido y la válvula de gas. Por petición del cliente, se requiere un sistema que controle estos dos eventos simultáneamente y en el mercado existen

módulos que al recibir una señal de activación comienzan un proceso de encendido automático, generando una chispa y abriendo la válvula de gas para que se prendan las flautas.

El otro dispositivo activado por relé es el ventilador que extrae el humo del interior del horno al terminar el proceso.

### 3.2 Requerimientos Específicos.

#### 3.2.1 Controlador de temperatura.

Entre otras características, lo que se requiere de este controlador de temperatura es que tenga un microprocesador que lo haga veloz para reaccionar y procesar la señal de entrada.

Se requiere un controlador con las especificaciones que se muestran a continuación en la tabla 3.1.

ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR DE TEMP.	
<b>Alimentacion</b>	90- 270 VAC, 47 - 63 Hz, 10 VA, 5 W max. 11 - 26 VAC /VDC, 10 A, 5W max
<b>Entrada A/D</b>	-2 VDC hasta VDC, 4-20 Ma
<b>Salida</b>	Lineal, a triac, a relè, etc.
<b>Peso</b>	No mayor a los 150 gr.
<b>Dimensiones</b>	Dentro de los parametros de un controlador para panel (mascarilla 2x5 cm, prof 5 cm. Aprox.)
<b>Comunicación</b>	RS-485, RS-232

**Tabla 3.1.- Especificaciones del controlador de temperatura requerido para el sistema**

Este controlador debe permitir conectar a su entrada una termocupla tipo J, de la cual se va a hablar más adelante y que es la que se va a utilizar en este proyecto.

Necesitamos que este controlador proporcione dos señales de salida, una para activar el dispositivo controlador del chispero y la válvula de gas, y la otra que es la que activa el BLOWER<sup>1</sup> (Ventilador).

El controlador de temperatura debe tener un puerto para comunicarse con la pantalla HMI además de las características que los controladores de este tipo presentan (display ampliamente visible, opciones configurables, etc).

### **3.2.2 Termocupla tipo J.**

La termocupla Tipo J, conocida como la termocupla hierro - constantán, es la segunda más utilizada en los EE.UU. El hierro es el conductor positivo, mientras que para el conductor negativo se recurre a una aleación de 55 % de cobre y 45 % de níquel (constantán).

Las termocuplas Tipo J resultan satisfactorias para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 760° C. Por encima de 540° C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, requiriéndose entonces alambre de mayor diámetro para extender su vida en servicio. La ventaja fundamental de la termocupla Tipo J es su bajo costo.

### **3.2.3 Pantalla HMI táctil <sup>2</sup>.**

Debe ser una pantalla sencilla, pero a la vez debe tener todas las herramientas que se necesitan para el proyecto. La ventaja de las pantallas HMI táctiles es que permiten mediante software crear botones, switches, menús, ventanas, registros y además poseen bobinas internas para programar en ladder como si fuera un PLC.

---

<sup>1</sup> A la salida del controlador, mediante la activación de un relé se envían 110 VAC al ventilador para su activación

<sup>2</sup> EL costo de las pantallas se rige en el tamaño, resolución y gama de colores, las pantallas monocromáticas son más baratas que las pantallas a color.

Las especificaciones para la pantalla requerida deben ser básicamente las que se muestran a continuación en la Tabla 3.2.

ESPECIFICACIONES DE LA PANTALLA TACTIL	
Resolución	320 x 240 pixeles (5.7 ")
Color	Monocromática, 16 escalas de grises
Control de contraste	Con potenciómetro
CPU	Procesador con velocidad mayor a los 70 MHZ
Memoria	4 MB de memoria, 3 MB para programas
Puertos	2 puertos DB-9
Alimentación	24 V.
Medidas	197 x 139 x x 58 mm
Peso	650 gr.
Certificados	CE, UL, Cul

**Tabla 3.2 .- Especificaciones de la pantalla táctil.**

Una característica que debe ser infalible en la pantalla HMI es su puerto de comunicación, que permita o que tenga los mismos estándares de comunicación compatibles con el controlador de temperatura que se va a emplear y con la computadora con la que se realiza y baja el programa.

### **3.2.4 Dispositivo controlador de chispa y válvula de paso de gas.**

Este dispositivo controlador debe permitir controlar la chispa y la válvula de gas simultáneamente. Es un sistema automático que lleva a cabo una secuencia de funcionamiento y que se activa al recibir una señal externa.

Este funcionamiento especial es el que permite el paso de gas al momento en que se activa el chispero y que apaga la chispa cuando se han encendido satisfactoriamente las "flautas". De la misma forma, evita que el gas siga circulando por las "flautas" en el momento que no es necesario quemar el gas.

Las especificaciones requeridas para el dispositivo controlador de chispa y válvula de gas se muestran a continuación en la tabla 3.3.

ESPECIFICACIONES DEL DISPOSITIVO CONTROLADOR DE ENCENDIDO Y VÁLVULA DE PASO DE GAS		
<b>Módulo controlador de encendido</b>	Alimentación	24 VAC
	Sistema de encendido	De tipo intermitente
	Chispa de encendido	De 2 Amp
	Apagado	Automático (en caso de fuga)
	Gas utilizado	Gas natural o LP
<b>Válvula de paso de gas</b>	Capacidad máx. Regulada	30 - 40 pies cúbicos / hr
	Capacidad min. Regulada	400 - 450 pies cúbicos/hr
	Tipo de tubería	Cobre o metal

**Tabla 3.3.- Especificaciones del dispositivo controlador de encendido y válvula de paso de gas.**

### 3.2.5 Fuente de voltaje de 24 VCC.

Que se alimente de los 110 VAC proveniente de la red eléctrica y que proporcione los 24 VCC que necesita la pantalla HMI para funcionar.

Básicamente, las especificaciones requeridas para la fuente que se utiliza son las que se muestran en la Tabla 3.4 a continuación.

ESPECIFICACIONES DE LA FUENTE DE VOLTAJE	
Alimentación	85 - 264 Vac
Corriente min.	0 Amp.
Corriente Máx.	2 Amps.
Potencia	48 watts
Voltaje de salida	24 VDC.

**Tabla 3.4.- Especificaciones de la fuente de voltaje**

### 3.2.6 Transformador de voltaje 110-24 VAC.

Que se alimente de los 110 VAC proveniente de la red eléctrica y que proporcione los 24 VAC que necesita el controlador del chispero y la válvula de gas.

### 3.2.7 Relés.

El sistema requiere relés que tengan un excelente desempeño y entre otras, que reúnan las propiedades que se presentan en la tabla 3.5

ESPECIFICACIONES DE LOS RELES	
Potencia nominal	1.1 VA (CA), 0.7 w (CC)
Tensión Max.	250 V
Intensidad Máx.	10 A
Tiempo de operación + rebote	10 ms
Tiempo de apertura + rebote	8 ms
Vida mecánica, ops	10 millones en CA, 20 millones en CC

Tabla 3.5.- Especificaciones de los relés requeridos en el sistema.

### 3.2.8 Armario pequeño.

Debe ser un armario pequeño metálico dentro del cual se va a construir e implementar el sistema controlador. Debe ser empotrable y disponer de algún mecanismo de seguridad para que el acceso a su interior sea únicamente posible si se dispone de una llave especial para abrirlo.

El tamaño del armario debe ser suficientemente como para que se pueda distribuir todos los dispositivos de una manera sencilla y correcta.

### 3.3 Filosofía de Control.

En lo que corresponde a la filosofía de control, el sistema requiere ante todo eficiencia y sencillez, no tanto en la elaboración de la lógica de control, mas sí en su operación por parte del usuario.

El sistema requiere que el usuario ingrese dos temperaturas y dos tiempos de cocción, este conjunto de temperaturas y tiempos se denomina “recetas”. Puede agregarse una temperatura y un tiempo de cocción más en caso de que alguna receta así lo necesite. El sistema en total va a disponer de 4 recetas, para cuatro tipos de carne. Tres recetas van a ser protegidas por clave, y la restante va a quedar a disposición del usuario para que la manipule a su gusto.

Para lograr una buena interacción con el usuario, se utiliza una pantalla HMI táctil, en ella se van a desplegar todas las páginas que contienen las herramientas (botones, barras de text, títulos, indicaciones) que se utiliza para que el usuario sea capaz de ejecutar el control del horno utilizando este dispositivo.

Los valores de los tiempos de cocción y las temperaturas necesitan ser almacenadas en registros del HMI para utilizarlos en su programa desarrollado en ladder que controla el funcionamiento del sistema.

La primera vez que se utiliza el sistema va a ser necesario ingresar tanto los tiempos de cocción con las temperaturas. Pero estos valores quedan ya almacenados en las RECETAS para que estén predefinidas en usos posteriores.

Ingresados los tiempos y las temperaturas, el usuario ha de presionar un botón de INICIO para comenzar el proceso. Es necesario que existan botones de PAUSA para pausar el proceso y de STOP para detenerlo totalmente.

Es necesario que el usuario no tenga acceso a la configuración de los tiempos y las temperaturas, únicamente el operador que conozca la clave de acceso a las páginas de configuración puede realizar estos cambios.

Al presionar INICIO, el proceso va a comenzar, se va a asignar al registro indicado la temperatura de la primera etapa del proceso, el de ahumado en frío TEMP1 y su respectivo tiempo T1. Transcurrido el tiempo T1, la primera etapa del proceso va a terminar, y va a iniciar la segunda, el ahumado en caliente, se va a asignar automáticamente al registro respectivo el valor de la temperatura de la segunda etapa TEMP2 y su respectivo tiempo T2. Transcurrido el tiempo T2, el proceso total de ahumado va a terminar, esto significa que se necesita asignar el valor de "0" al registro respectivo para que se apague el horno, y de paso, activar el ventilador para evacuar el humo del interior del horno.

### 3.4 Diseño del interfaz humano – máquina.

Para el interfaz de usuario, se va a seguir las peticiones del cliente, para este caso se tiene el siguiente esquema.

En la figura siguiente se aprecia la disposición de los elementos correspondiente a la carátula o página inicial del interfaz:

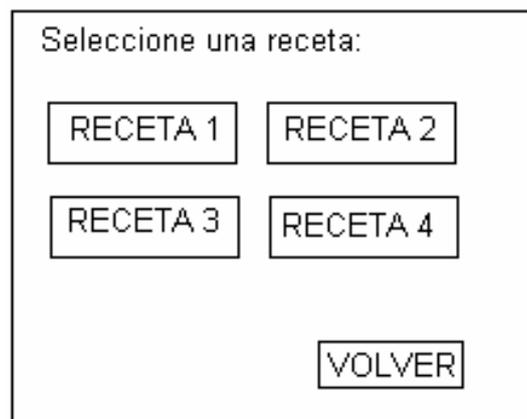


Figura 3.1.- Diseño de la página inicial del interfaz.

Haciendo referencia la Figura 3.1, se ha reservado un espacio para el logotipo del cliente, que en este caso sería un logotipo prediseñado de la ESPE. Se dispone también de un espacio para colocar el nombre del sistema (Horno Ahumador de carne). Estos dos elementos son simples figuras Bmp o sino cajas de texto sin ningún link. Además, en esta página se colocarían dos botones, uno para el ingreso al sistema y el otro para el ingreso a la configuración del mismo.

El botón de configuración conduce a una pantalla que permite cambiar las características del sistema, por ejemplo, los límites superior e inferior del controlador, el tipo de termocupla a utilizar, etc. El diseño de esta página depende del criterio del programador.

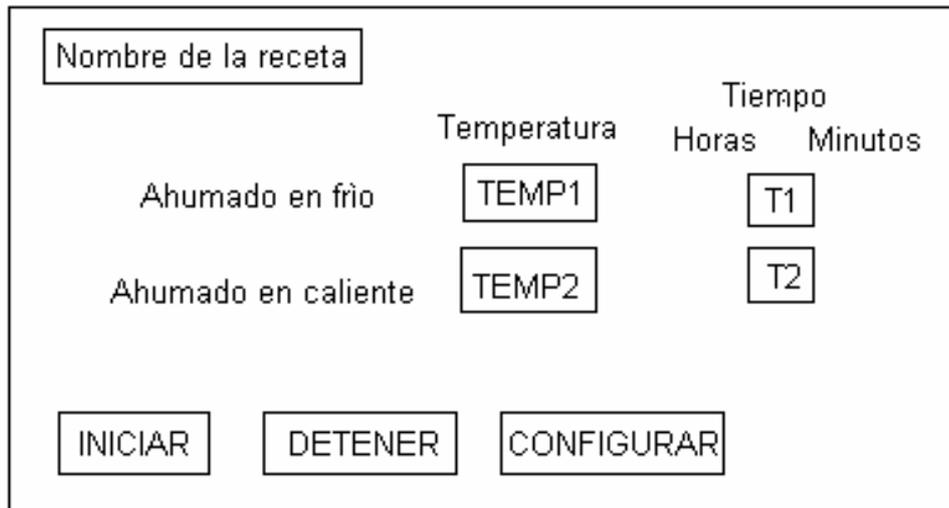
El botón de ingreso al sistema conduce a la página que se muestra en el diseño de la siguiente Figura 3.2:



**Figura 3.2.- Diseño de la página de RECETAS**

Se puede apreciar en la figura 3.2 los enlaces que conducen a las pantallas de las recetas que contiene el sistema, estos enlaces pueden ser gráficos Bmp o simples botones. Es necesario colocar un botón que permita volver a la página anterior en caso de que el usuario así lo requiera.

La página de las recetas, tendrían la forma de la figura 3.3.



**Figura 3.3 .- Esquema para la página de las recetas.**

Observando la figura 3.3, para el nombre de la receta se utilizaría un display de registro que muestre y a la vez permita el ingreso del nombre de la receta por parte del usuario y lo almacene. Lo mismo ocurriría para las temperaturas y los tiempos de cocción, pero en estos elementos serían simples displays de registros mas no permitirían el ingreso de valores. En la parte inferior de la figura 3.3 podemos observar en qué forma se colocan los botones de INICIAR, DETENER y CONFIGURAR. Cabe mencionar que al presionar DETENER, no sólo se detiene el proceso sino que también se vuelve a la pantalla de RECETAS.

El botón de CONFIGURAR conduce a un popscreen que permite el ingreso de una clave que es sólo conocida por el operador, y al ingresar la clave correcta, se accedería a la página de configuraciones que tendría el formato que se presenta en la figura 3.4.

Logotipo del cliente

Nombre de la receta

Ingrese las temperaturas:

Temp. en frio

Temp. en caliente

Temp. auxiliar

Ingrese los tiempos de coccion:

Horas Min

Tiempo en frio

Tiempo en caliente

Tiempo aux.

Boton para cargar datos

Boton para iniciar    Boton para Pausar    Boton de Reset    Boton para volver

**Figura 3.4.- Formato de la página de configuraciones de las recetas**

En la figura 3.4 se puede apreciar las cajas de texto que se utilizan para el ingreso de las temperaturas y de los tiempos. En la parte superior se tiene la caja de texto para el ingreso del nombre de la receta y en la parte inferior los botones cuyo nombre identifica su función.

### 3.5 Ubicación de los elementos.

Basándonos en los requerimientos generales y específicos del sistema controlador, se puede establecer los elementos que básicamente el sistema de control necesita:

- Controlador de temperatura con microprocesador.
- Termocupla tipo J
- Pantalla HMI táctil monocromática.
- Dispositivo controlador de chispa y válvula de paso de gas
- Fuente de voltaje de 24 VCC
- Transformador de voltaje 110-24 VAC

- Portafusibles
- Breakers
- Relés
- Borneras
- Armario pequeño

La disposición de los elementos va a depender directamente del tamaño del armario que se va a utilizar, así que se va a plantear el diseño definiendo previamente el posible armario que se va a utilizar.

En el mercado existen gran variedad de armarios o cabinas de diversos tamaños, para este tipo de proyectos, suelen utilizarse los armarios de 30x40x18 cm, cuyo tamaño es el ideal puesto que se aprovecha de mejor manera el espacio. El tamaño del armario se escoge tomando en cuenta la cantidad de elementos que participan en el sistema a implementar. Como el sistema no incluye muchos elementos, el armario escogido es el ideal, y se lo muestra en la figura ##

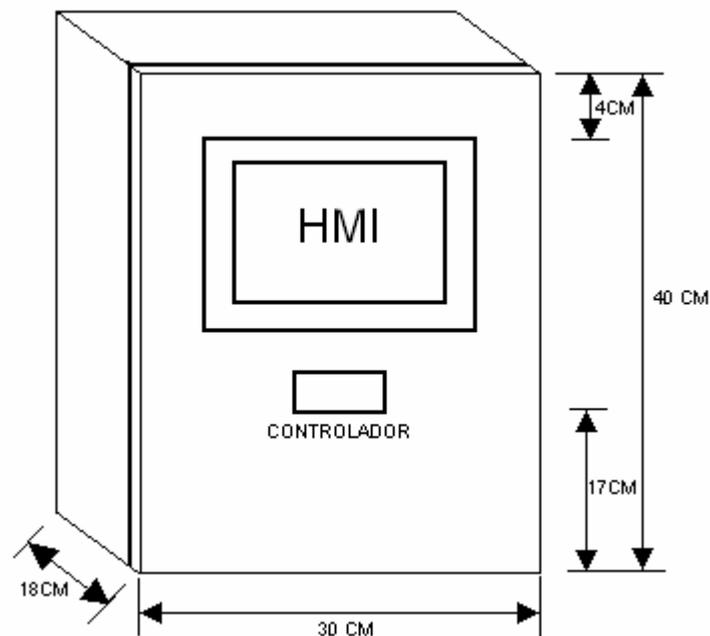
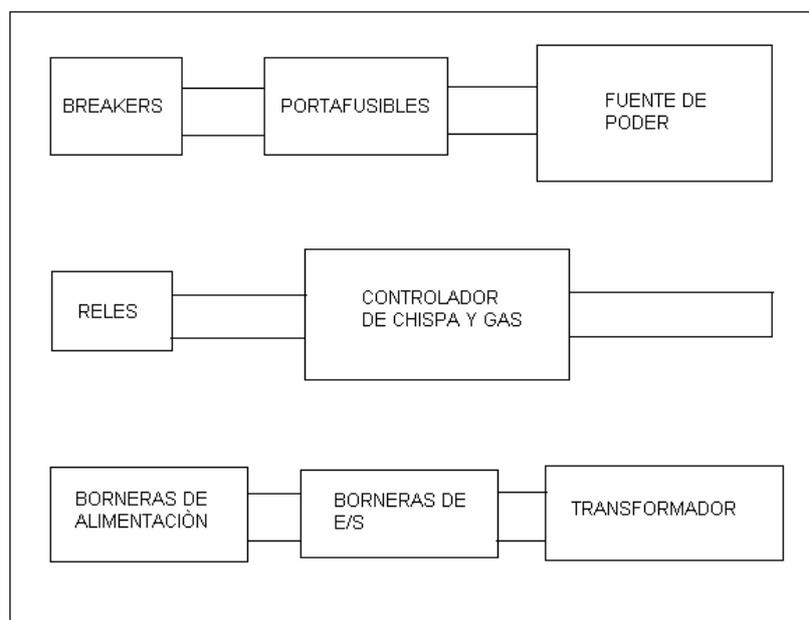


Figura 3.5.- Vista exterior del armario para el tablero de control

En la figura 3.5 se muestra una ubicación tentativa de la pantalla y el controlador, para esto se debe hacer orificios en la tapa del armario dependiendo del tamaño de la pantalla HMI y del controlador.

En cuanto a la vista interior del armario, planea utilizarse tres rieles de implementación estándares para la ubicación de los elementos, de esta manera se puede disponer del espacio interior de mejor manera sin dejar espacios vacíos, como se muestra en la figura 3.6.



**Figura 3.6 .- Diseño de la ubicación de los elementos en el interior del armario.**

En la figura 3.6 se muestra la ubicación de los elementos en sus respectivas rieles, se va a necesitar tres de éstas ubicadas de forma equidistante. Se respeta la forma tradicional de ubicación de los elementos, la parte superior para los elementos de protección (breakers y portafusibles) y la fuente de poder; la parte central para los relés de activación y los dispositivos accionados por éstos (controlador de chispa y gas); y la parte inferior para las borneras (de alimentación y las de entradas y salidas del sistema) y el transformador.

### 3.6 Diseño del circuito del sistema de control.

Una vez diseñado y establecido la ubicación de los elementos dentro del tablero de control, se puede definir como diseño único de conexiones el que se presenta en la figura 3.7. Se dice que es diseño único porque no se puede considerar otra forma de conexión, puesto que la que se presenta es la más sencilla, general y la que de mejor manera permite apreciar todas las conexiones que se realizarán en la implementación del sistema.

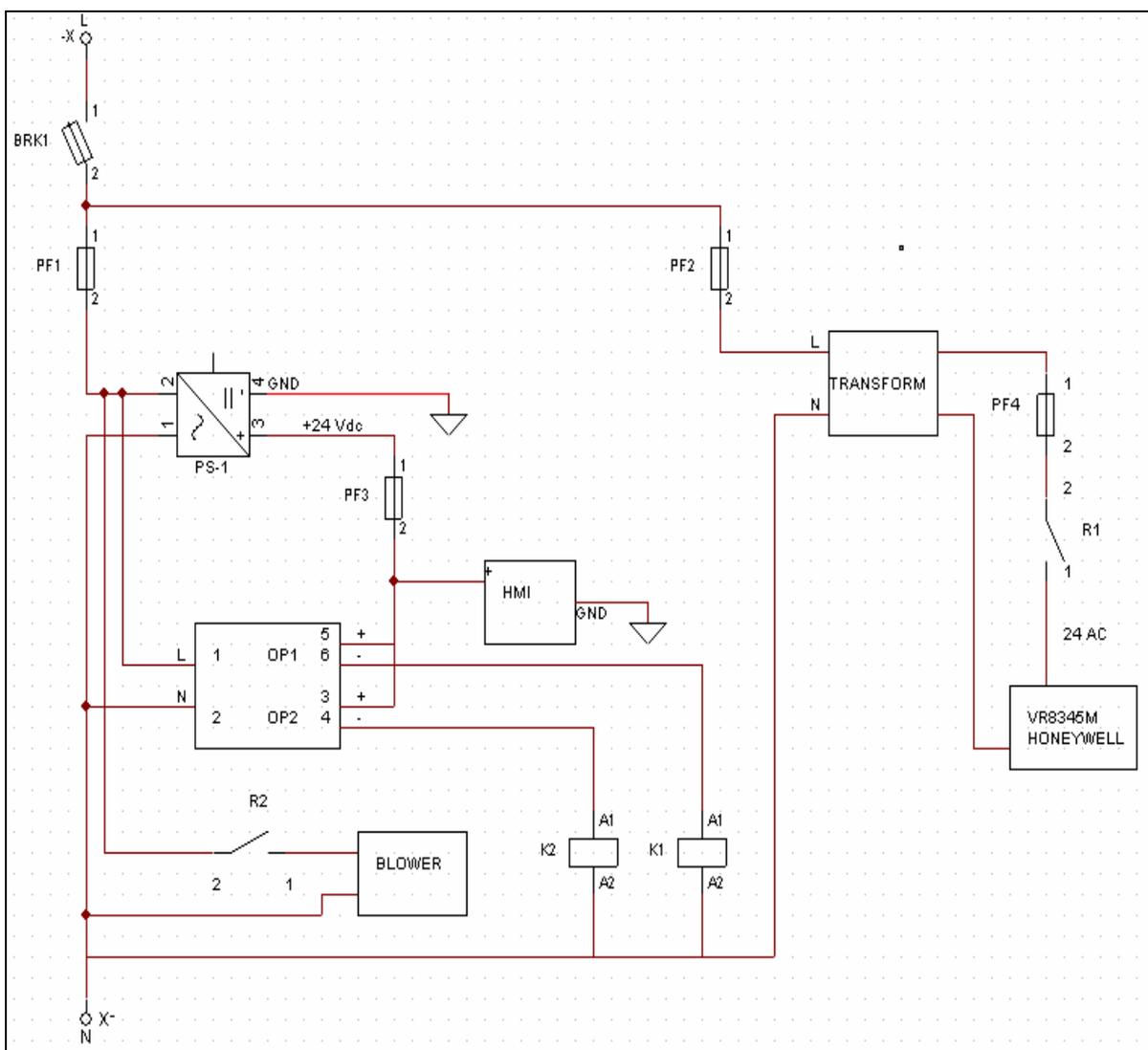
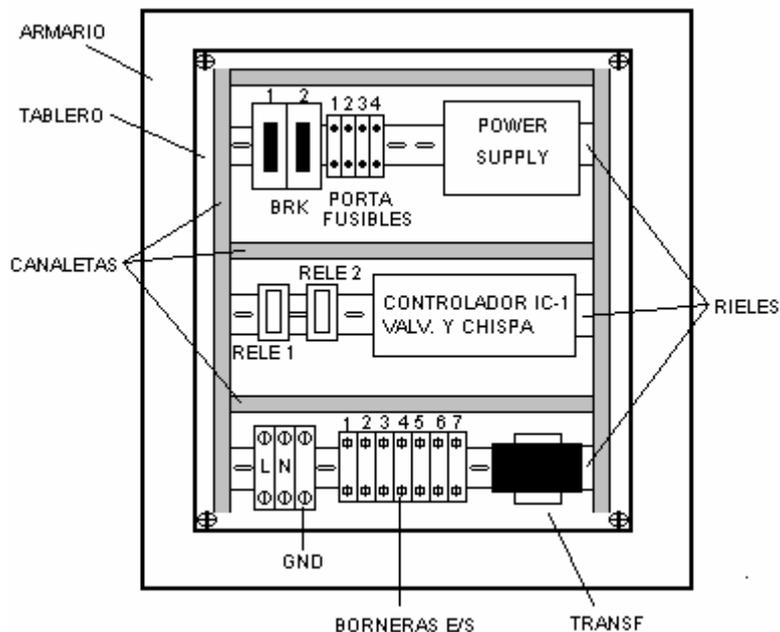


Figura 3.7.- Diagrama de conexiones

Siguiendo el patrón establecido en el diseño, en el interior del armario, los elementos se dispondrían específicamente de la forma que se aprecia en la figura 3.8 :



**Figura 3.8.- Ubicación de los elementos dentro del armario**

Como podemos observar en la Figura 3.8, ubicamos rieles de instrumentación en un tablero de metal, y en éstos se colocan los elementos y dispositivos que van a participar en el sistema de control. Posteriormente se atornilla o ajusta el tablero a la caja del armario. Se detallará de mejor manera este procedimiento en el capítulo correspondiente a la implementación.

Las conexiones se realizan de la siguiente manera, siguiendo el diagrama de la figura 3.7:

Primero se va a conectar los cables de alimentación a sus respectivas borneras (L,N y GND) y de las borneras a los breakers (BRK1 para L y BRK2 para N).

En la salida del BRK1 se conecta el PF1 y el PF2. El PF1 se va a utilizar para proteger a la fuente de voltaje PS1 y el BTC-C21, y el PF2 para proteger al transformador, se hacen estas conexiones. Así mismo, se conecta las N de estos elementos al BRK2 que es el N del sistema. Haciendo esto, se tiene alimentada a la fuente de voltaje PS1, a el Controlador BTC-C21 y a el transformador.

La fuente de voltaje PS1 proporciona en una de sus salidas (V+) 24 VCC. A esta salida (V+) se la va a hacer pasar por el fusible PF3, y esta conexión va a servir para alimentar a la pantalla HMI. De igual manera, se conecta las entradas OP1 y OP2 del controlador BTC-C21 (pin 5 y pin 3 respectivamente) a este PF3, para que al momento que se activen alimenten con 24 V a las bobinas de los relés (el A1 de R1 y el A1 de R2, que corresponden al pin 4 de los relés). El R1 va a servir para activar el módulo controlador de encendido, así que se la va a conectar a la salida del OP1 del controlador BTC-C21 (pin 6) y el R2 va a servir para activar el Blower, así que se la va a conectar a la salida del OP2 del BTC-C21 (pin 4). No olvidarse de conectar el A2 de R1 y R2 al neutro del sistema N (pin 5 de los relés).

Como se mencionó antes, mediante el PF2 se alimenta al transformador, conectando su bobinado primario. En el bobinado secundario se va a obtener 24 VAC. A este voltaje alterno se lo hace pasar por el PF4 y se lo manda hacia el pin 2 del R1, y el pin 1 de este relé se lo conecta al módulo de control de encendido. De este modo, al energizarse la bobina del R1 mediante el OP1 del BTC-C21, este va a cerrar su contacto (pin 1 y 2) haciendo pasar el voltaje que va a alimentar al módulo de control de encendido para que comience la secuencia antes explicada ( con 24 VAC).

Por otro lado, se conecta el pin 2 del R2 también al PF1. Haciendo esto, al energizarse la bobina del R2 mediante el OP2 del BTC-C21, se va a cerrar el contacto de R2 (pin1 y 2) haciendo pasar los 110 VAC a través de PF1 que es el voltaje que el blower necesita para funcionar.

---

En cuanto a las Borneras de E/S, se les asigna las siguientes señales:

- Bornera 1, entrada + de la termocupla
- Bornera 2, entrada - de la termocupla
- Bornera 3, Salida al Blower
- Bornera 4, MV proveniente del Módulo controlador de encendido (MCE)
- Bornera 5, MV/PV proveniente del MCE
- Bornera 6, PV proveniente del MCE
- Bornera 7, S/C

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DEL SOFTWARE

#### 4. DESARROLLO DEL SOFTWARE.

En este capítulo se explica todo lo concerniente al software que se utiliza, sus características y su adaptación al sistema para el correcto funcionamiento del mismo.

##### 4.1 Software HMI Studio 1.12.

El software HMI Studio 1.12 presenta todas las características de los programas diseñados bajo el sistema operativo de Windows, es decir, barras de menú y ventanas.

Para poder utilizarlo, se ubica al programa previamente instalado en la barra de INICIO/Todos los Programas/HMI Studio 1.12/HMI Studio 1.12.

Una vez ubicado, se lo ejecuta. Aparecerá la siguiente pantalla que se observa en la figura 4.1.

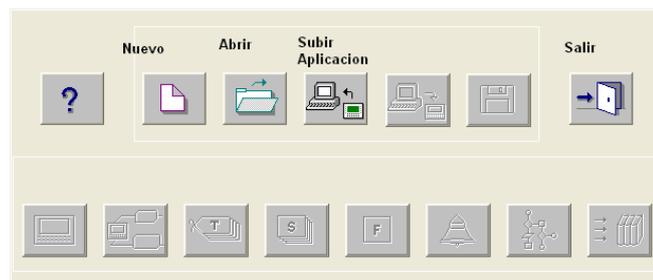
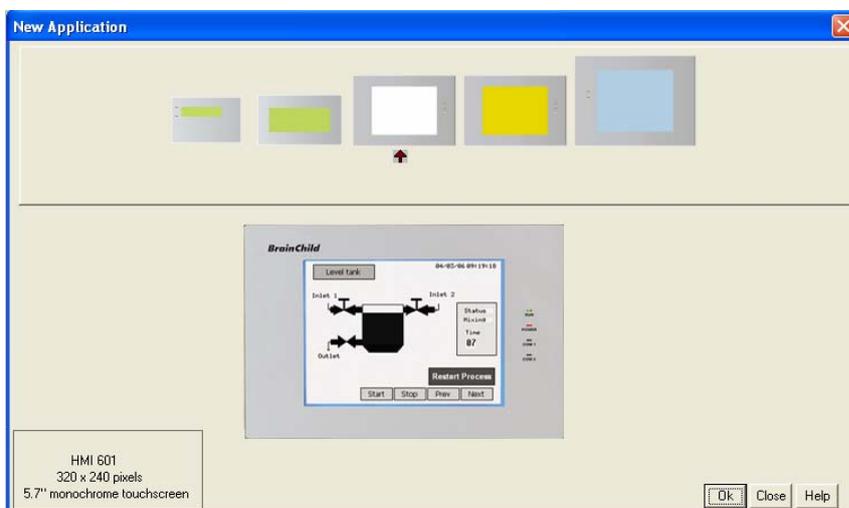


Figura 4.1.- Pantalla de inicio del software HMI studio

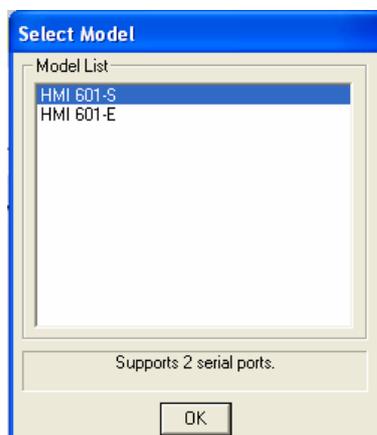
En este cuadro, se escoge **Nuevo** cuando se trata de la primera vez y se quiere crear una nueva aplicación, **Abrir** si se va a abrir una aplicación ya existente, o **Subir una aplicación** si se quiere modificar una aplicación ya existente en el HMI.

Al escoger Nuevo, va a aparecer el siguiente recuadro (figura 4.2) en el cual se va a señalar que tipo de pantalla se va a utilizar. Se selecciona la pantalla Monocromática HMI-601s.



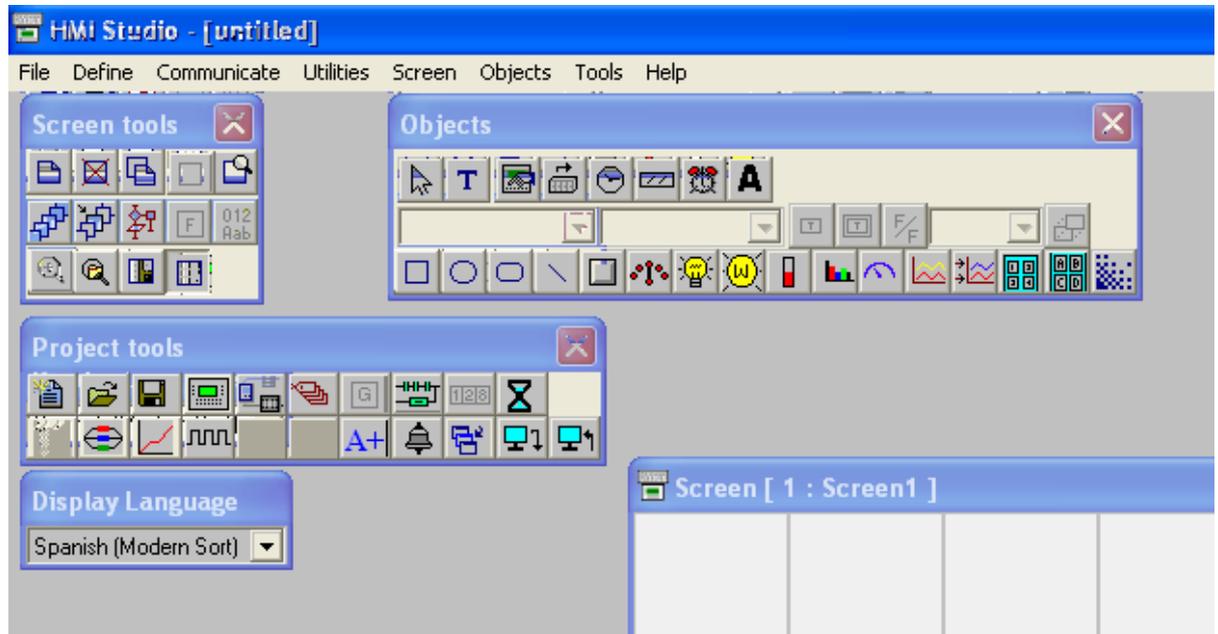
**Figura 4.2.- Selección de tipo de pantalla**

Escogido el tipo de pantalla, se debe escoger el modelo. La pantalla es modelo S, de serial y la selección se la hace en la pantalla que se muestra en la figura 4.3.



**Figura 4.3 .- Selección del modelo de la pantalla**

Hecho esto, se estará listos para trabajar. Aparecerá la pantalla principal, en la cual se despliegan todas las ventanas que contienen las herramientas de trabajo como se muestra en la figura 4.4

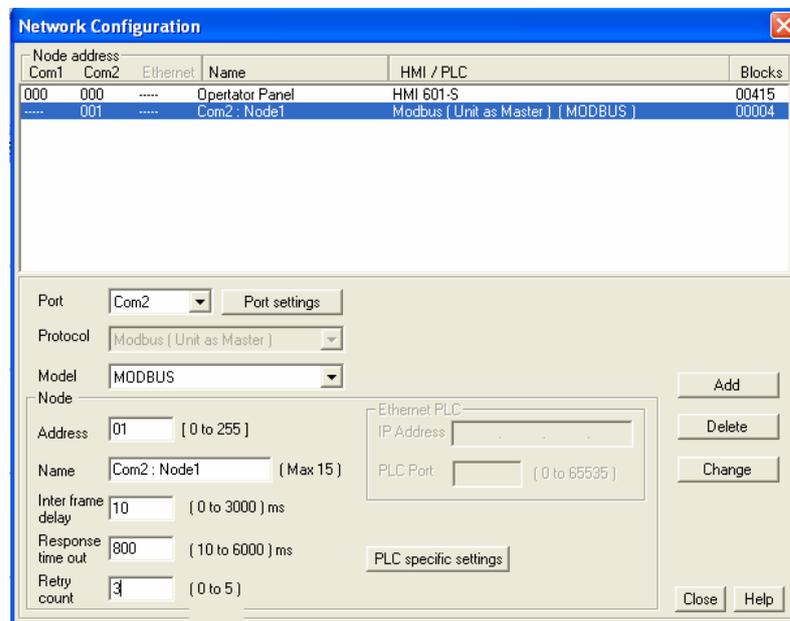


**Figura 4.4 Pantalla principal del HMI Studio**

En la figura 4.4 se puede notar cinco ventanas:

- Screen tools, son las herramientas para trabajar en las pantallas del HMI. Con ellas se puede crear una nueva ventana, borrar una existente, enlazar ventanas, cambiar su orden de aparición, etc.
- Project tools, son las herramientas para el proyecto. Permiten crear un nuevo proyecto, abrir un proyecto existente, guardar el proyecto actual, configurar la red de trabajo, asignar o crear nuevas variables, etc.
- Objects, contienen los objetos que se pueden insertar en el proyecto, como barras dinámicas, tacómetros, cajas de texto, displays, labels, bitmaps, etc.
- Display language, para escoger el idioma en el que se desea trabajar.
- Screen, la pantalla propiamente dicha que vamos a diseñar.

Luego de conocer las herramientas, lo primero que se debe hacer es establecer la red de trabajo, es decir, definir qué elemento va a participar en ella y cuál va a desempeñar el papel de maestro y cuál el de esclavo. Esto se realiza en las herramientas de Projects Tools, en Network configuration como se ve en la figura 4.5.



**Figura 4.5 .- Pantalla de Network Configuration**

Por default, a la pantalla HMI (Operator Panel) se le va a asignar la dirección 000. En cambio al controlador, considerado Nodo 1, se le asigna la dirección 001. No hace falta cambiar las opciones para la pantalla, puesto que estas se establecen automáticamente. En cambio para el controlador, NODO1, se tiene que establecer los parámetros de funcionamiento.

Como se observa en la figura 4.5, se asigna como puerto de comunicación con el HMI al COM2. El protocolo de comunicación que se va a utilizar es el MODBUS, y se define a esta unidad como amo (master). Además, se le asigna la dirección 001.

De esta manera se ha configurado la red de trabajo, ahora se puede dedicar al diseño de las páginas, de acuerdo a los requerimientos del sistema, que han de aparecer en el HMI.

## 4.2 Diseño de las pantallas del HMI.

Previo al desarrollo del ladder para el sistema, se recomienda realizar las pantallas, insertando todos los objetos que se vayan a utilizar (botones, barras, labels, displays, gráficos, etc). Cuando se llegue a las pantallas en las que ya se utilicen objetos de activación de bits y que comiencen a ejecutar el proceso, se va a proceder a desarrollar el ladder. En esta parte del diseño, se desarrollará las pantallas y el ladder simultáneamente. Si el ladder exige un objeto en la pantalla se lo instala y si la pantalla exige un objeto en el ladder se lo coloca.

Esto se puede lograr únicamente si se tiene bien claro el funcionamiento del sistema. Es por eso que se va a mostrar el diseño de las pantallas tratando de indicar cuál es la función de cada objeto y cuál es su vinculación con el ladder respectivo.

En la primera pantalla se observa los siguientes elementos que se ven en la figura 4.6:



Figura 4.6.- Diseño para la primera pantalla

Bitmap.- Se tiene la opción de diseñar aparte un mapa de bits (puede utilizarse paintbrush y guardar el dibujo como Monocromático) e insertarlo en la pantalla utilizando la herramienta Bitmap del cuadro de Objects.

Botones.- Al objeto BUTTON se le puede asignar diferentes funciones, como activar o desactivar un bit, ir a otra pantalla, realizar una operación matemática, invertir o intercambiar un valor, etc. Luego de insertar el botón (bit button) se le hace doble click y se despliega un cuadro de opciones que permiten alterar la forma del botón, ponerle un nombre y asignarle una acción específica. En esta pantalla se dispone de dos botones, el botón RECETA se va a utilizar para ir a la página de recetas, por lo tanto va a tener la función GOTO SCREEN NUMBER:0002, puesto que 0002 es el número de la página que contiene las recetas. La misma acción va a tener el botón CONFIGURACIONES, pero con otro número de pantalla, correspondiente a la pantalla de configuraciones.

Label.- Permite insertar cualquier tipo de texto, como títulos, rótulos, indicaciones para el usuario, etc.

Líneas.- con esta herramienta se puede insertar líneas con cualquier dirección y grosor, sólo para el diseño de la página.

A un Bit Button se le puede insertar un mapa de bits. Haciendo esto, puede tenerse un dibujo que al presionarlo va a cumplir con las funciones de un botón, como sucede con la página 2 en la cual se tiene varios gráficos con atributos de botón, que al tocarlos van a conducir a sus respectivas páginas. Al presionar el dibujo de la pierna de pollo, se va a ir a la receta que corresponde a la cocción del pollo, y así respectivamente. Este detalle se puede apreciar en la figura 4.7

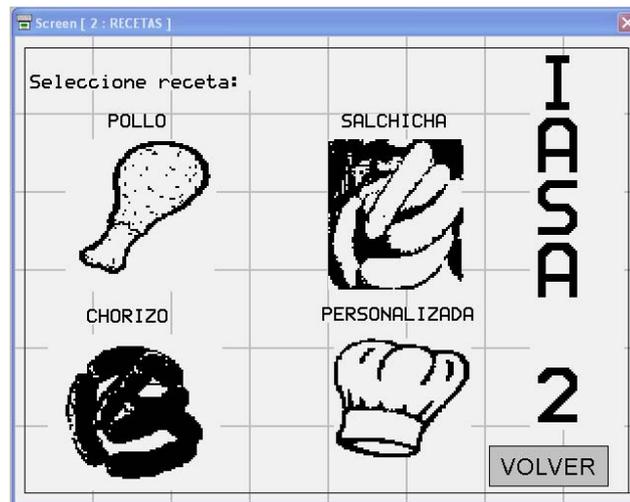


Figura 4.7.- Páginas de las recetas

En este menú se puede observar los cuatro tipos de receta que se ha propuesto implementar. El proceso de cocción en todas las recetas es el mismo, lo que las hace diferentes son los tiempos de cocción preestablecidos para cada uno y que la receta “personalizada” no está protegida para la configuración, es decir, cualquier usuario puede usar esa receta para establecer sus propios tiempo de cocción, lo que no ocurre en las otras recetas, en las que solamente la persona que conozca la clave va a poder acceder a la configuración.

Al presionar sobre el gráfico en forma de pierna de pollo se accede a la página 7, llamada “POPPOLLO”, esta ventana va a desplegar las herramientas para ejecutar el proceso de cocción con las temperaturas establecidas para, en este caso, la preparación de carne de pollo. Esta página se va a utilizar para detallar los objetos que participan en las páginas de usuario.

#### 4.2.1 Páginas de Usuario.

Se ha denominado así a las páginas o pantallas que son de uso del usuario, no poseen ningún tipo de restricción para su acceso y aparecen al escoger o presionar sobre cualquiera de las figuras de la página 2 (MENU).

Estas páginas tienen la siguiente forma y participan los elementos que se aprecian en la Figura 4.8:



**Figura 4.8.- Páginas de usuario**

Display data1. Muestra el valor del registro que contiene nombre de la página que ha sido asignado por el operador, puede ser cambiado únicamente cuando se accede a la página de configuración.

Display data2. Muestra el valor del registro que contiene la temperatura para el ahumado en Frío que ha sido asignado por el diseñador.

Display data3. Muestra el valor del registro que contiene la temperatura para el ahumado en caliente que ha sido asignado por el diseñador.

Display data 4 y 5. Muestra el valor del registro que contiene el número de horas y minutos, respectivamente, que va a durar el primer proceso de cocción, es decir, el ahumado en frio

Display data 6 y 7. Muestra el valor del registro que contiene el número de horas y minutos, respectivamente, que va a durar el primer proceso de cocción, es decir, el ahumado en caliente.

Medidor analógico. Permite una mejor apreciación gráfica de la temperatura en el interior del proceso. Representa el valor del registro que en el que se carga la temperatura proveniente del horno.

Botón 1. Este botón activa un contacto en el ladder inicia el proceso.

Botón 2. Este botón activa un contacto en el ladder que detiene el proceso, lo resetea y lo deja listo para volver a empezar.

Botón 3. Simplemente permite el ingreso a la página de configuración correspondiente a esa receta ingresando previamente una clave.

Show/Hide Text 1. Es un objeto tipo TEXTO al cual se le asigna la propiedad de aparecer o desaparecer a conveniencia. Esta cadena de texto va a permanecer invisible hasta el momento en el que termina el ahumado en frío.

Show/Hide Text 2. Con las mismas propiedades que el objeto anterior, esta cadena de texto va a permanecer invisible hasta el momento en el que termina el ahumado en caliente.

Barra indicadora 1. Muestra el valor registro en el cual se guarda el tiempo establecido para el ahumado en frío y va a ir disminuyendo conforme el tiempo que dure este proceso vaya transcurriendo.

Barra indicadora 2. Muestra el valor registro en el cual se guarda el tiempo establecido para el ahumado en caliente y va a ir disminuyendo conforme el tiempo que dure este proceso vaya transcurriendo.

BitLamp1. Representa el bit de activación que indica que el ventilador (BLOWER) está encendido y se está extrayendo el humo del horno.

BitLamp2. Representa el bit de activación que indica que el proceso se haya en marcha. Esta figura cambia al momento en que termina el proceso de cocción.

Reloj. Despliega la hora actual.

Ninguno de estos valores puede ser modificado por el usuario. Para ser modificados, un operador que conozca el código secreto puede ingresar a la página de configuración de cada receta y cambiarlos.

#### 4.2.2 Páginas de Operador.

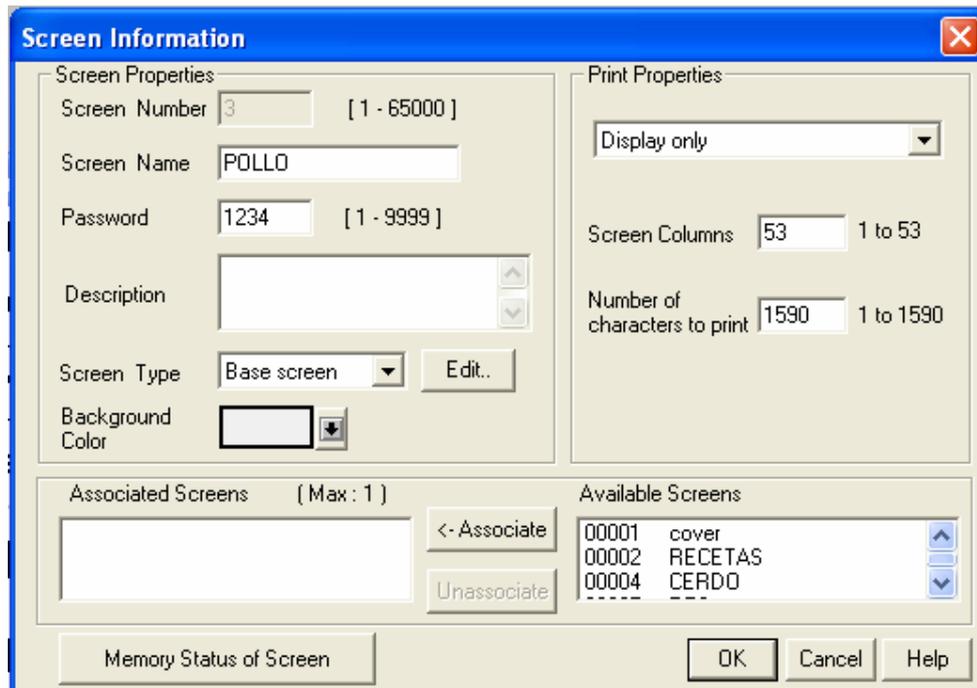
Se ha denominado así a las páginas a las que se accede mediante el botón de CONFIGURACIÓN de las páginas de usuario. Estas páginas presentan una petición de código o clave para poder acceder a ellas.

Al momento de presionar el botón CONFIGURACIÓN aparece un NUMPAD que permite ingresar el número clave, como se muestra a continuación en la figura 4.9.



Figura 4.9 .- Numpad para ingresar el número clave

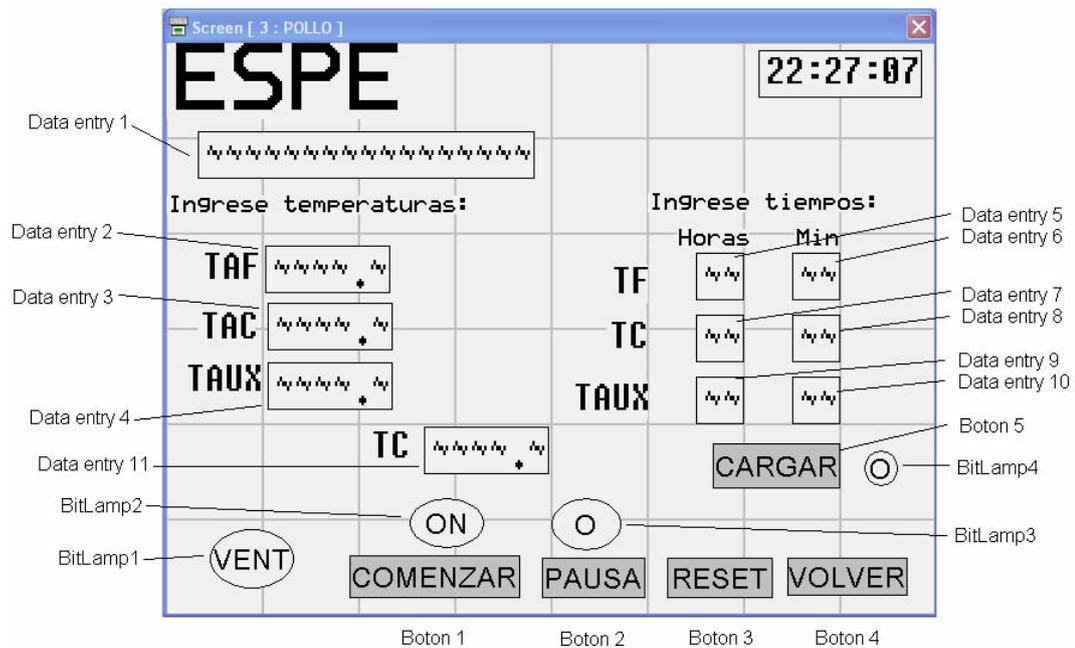
Al ingresar el código correcto se puede ingresar a la página de CONFIGURACIÓN. Este software permite asignar a cualquier página la propiedad de protegida bajo clave para que no sea alterada por el usuario. Esto se logra fácilmente con hacer click derecho sobre la página y escoger INFORMACIÓN DE LA PÁGINA. Aparecerá un cuadro como el de la figura 4.10.



**Figura 4.10.- Información de la página**

Como se puede observar en la figura 4.10, en este cuadro podemos cambiar las propiedades de la página. Aparece el nombre de la página, en este caso "POLLO", y debajo de ella el casillero de PASSWORD para asignarle una clave. Si no se asigna ninguna clave, se asume que la página no está protegida y que es de libre acceso.

Se va a utilizar la página de configuración POLLO para explicar los elementos que participan (obsérvese la figura 4.11).



**Figura 4.11.- Página de configuración de Pollo**

Data entry 1. Permite al operador ingresar un valor al registro que almacenará el título o nombre de la receta.

Data entry 2. Permite al operador establecer un valor al registro que almacena la temperatura para el ahumado en frío.

Data entry 3. Asigna el valor al registro que almacena la temperatura para el ahumado en caliente.

Data entry 4. Si el proceso lo requiere, este registro almacena una tercera temperatura. En estas recetas sólo se utilizan dos temperaturas, la tercera se la deja con "0" para que no influya en el proceso y éste se termine al terminar con el ahumado en caliente.

Data entry 5 y 6. Permiten ingresar el valor de las horas y minutos respectivamente en los registros asignados para el tiempo del ahumado en frío.

Están validadas para que no se introduzcan más de dos horas en las horas ni más de sesenta minutos en los minutos.

Data entry 7 y 8. Permiten ingresar el valor de las horas y minutos respectivamente en los registros asignados para el tiempo del ahumado en caliente. Están validadas para que no se introduzcan más de dos horas en las horas ni más de sesenta minutos en los minutos.

Data entry 9 y 10. Permiten ingresar el valor de las horas y minutos respectivamente en los registros asignados para un tercer tiempo en caso de necesitarse una tercera temperatura en el proceso. Están validadas para que no se introduzcan más de dos horas en las horas ni más de sesenta minutos en los minutos.

Data entry 11. Permite asignar un valor de temperatura al registro del SP1 del controlador. Este valor no lo asigna el operador sino el programa hecho en ladder.

Botón 1. Este botón activa un contacto en el ladder que inicia el proceso. El mismo que el de la página de usuario.

Botón 2. Activa o desactiva un contacto que pausa el proceso sin resetearlo.

Botón 3. Activa un contacto que resetea los registros que llevan la cuenta (timers) para que se reinicie el proceso.

Botón 4. Permite volver a la página de usuario.

Botón 5. Activa un contacto que permite cargar los tiempos a los registros que guardan las horas y los minutos de cada parte del proceso.

BitLamp1. Representa el contacto que activa o desactiva al blower.

BitLamp2. Indica si se ha activado o no el contacto que empieza el proceso.

BitLamp3. Indica si se ha activado o no el contacto que habilita la pausa del proceso.

BitLamp4. Indica si se ha activado o no el contacto que habilita la carga de los tiempos a los registros.

Una vez detalladas las páginas y los objetos que en ella participan, podemos detallar el programa ladder que controla el proceso.

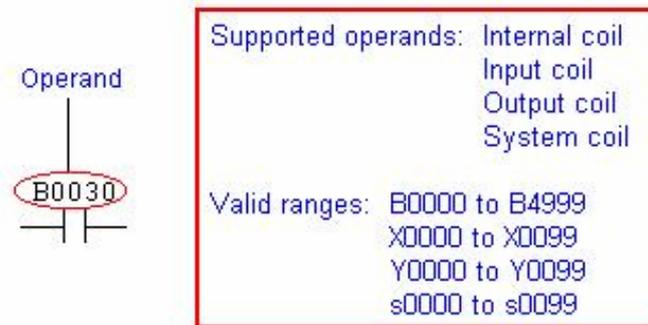
### **4.3 Objetos del Ladder.**

Existen varios tipos de objetos que se utiliza en el desarrollo del ladder, entre los principales tenemos:

- Contactos
- Contactos de flanco ascendente
- Registros permanentes
- Registros volátiles
- Timers
- Operadores matemáticos
- Comparadores
- Mover registros

#### **4.3.1 Contactos**

Al igual que en otros programas para desarrollar ladder, se lo utiliza para activar bobinas en el programa. Pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados.



**Figura 4.12.- Contacto NO, operandos utilizables con rangos establecidos**

En la figura 4.12 se observa un contacto normalmente abierto, y según el tipo de bobina que se desea activar se debe asignar la primera letra del contacto y el número dentro del rango establecido, osea:

La letra B para bobinas internas

La letra X para bobinas de entrada

La letra Y para bobinas de salida

La letra s minúscula para bobinas del sistema.

#### **4.3.2 Contactos de flanco ascendente.**

Estos contactos al recibir alimentación envían solamente un pulso y se vuelven a desactivar. Se los ha utilizado para cargar los valores del tiempo ingresado en los registros permanentes del HMI. De esta manera, al activarse los contactos de flanco ascendente, solamente envían un pulso, durante este pulso los datos se cargan en los registros permanentes y al desactivarse los datos ya se quedan guardados y no continúan cargándose constantemente. Tienen la forma que se aprecia en la figura 4.13.



Figura 4.13.- Contacto de flanco ascendente

### 4.3.3 Registros permanentes y registros volátiles.

Los registros permanentes son los tipo Rxxxx. Se los ha utilizado para almacenar los valores de las temperaturas del ahumado en frío y caliente con sus respectivos tiempos de cocción. En estos registros permanece la información a pesar de que se apague o desconecte el sistema, de manera que los datos quedan guardados como recetas preestablecidas.

Por otro lado, los registros volátiles (tipo Dxxxx) permiten almacenar datos temporalmente, es decir, al apagar el sistema, estos datos se pierden. Los utilizamos para guardar valores con los que se realizan operaciones matemáticas o lógicas y que no son necesarias para procesos futuros.

### 5.3.4 Timers.

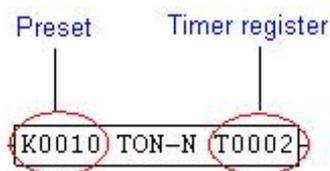
Existen tres tipos de timers:

- Los retentivos
- Los no retentivos

Los retentivos conservan la cuenta del timer una vez que dejan de ser alimentados, mientras que los no-retentivos no. En nuestro proyecto optamos por utilizar los no-retentivos.

Esta instrucción de timer utiliza tres celdas. La primera celda contiene el valor del preset, en nuestro caso, utilizamos una constante Kxxxx. La segunda celda despliega el nombre del timer y la tercera el valor del registro del timer.

El timer puede ser de 10 ms, 100 ms o 1 segundo dependiendo del valor del registro del timer. Su forma se puede ver en la figura 4.14



**Figura 4.14.- Timer**

El rango válido es el siguiente:

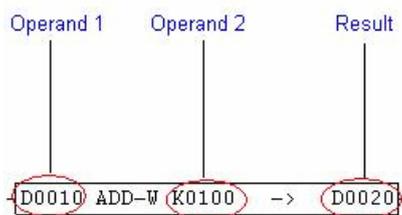
- Para 10ms, de T0000 a T0030
- Para 100 ms, de T0031 a T0095
- Para 1 seg, de T0096 a T0127

#### 4.3.5 Operadores matemáticos.

##### a) Suma

Utiliza cuatro celdas. Los operandos se ubican en la primera y tercera celda.

El resultado se ubica en la cuarta y, la segunda, contiene el nombre del operador, en este caso, ADD (suma). Su forma se aprecia en la figura 4.15.



**Figura 4.15.- Operador Sumador**

**b) Resta**

Utiliza cuatro celdas. Los operandos se ubican en la primera y tercera celda. El resultado se ubica en la cuarta y, la segunda, contiene el nombre del operador, en este caso, SUB (resta), como se ve en la figura 4.16

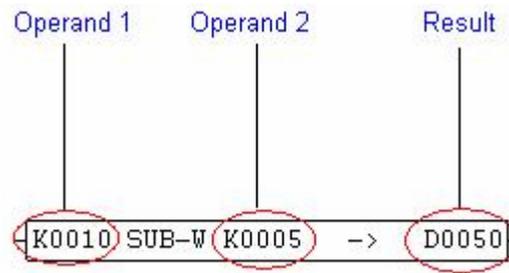


Figura 4.16.- Operador de la resta

**c) Multiplicación**

Utiliza cuatro celdas. Los operandos se ubican en la primera y tercera celda. El resultado se ubica en la cuarta y, la segunda, contiene el nombre del operador, en este caso, MUL (multiplicación). Su forma se ve en la figura 4.17

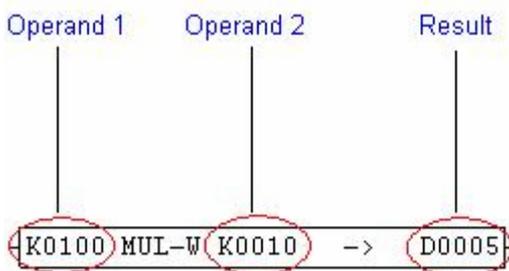


Figura 4.17.- Operador de la multiplicación

**4.3.6 Comparadores.**

Utiliza tres celdas. Los operandos se ubican en la primera y tercera celda. Al darse la igualdad entre los dos operandos se activa su salida como se ve en la figura 4.18.

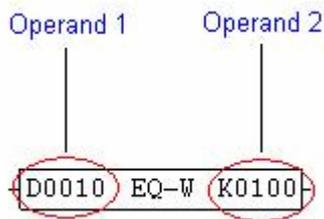


Figura 4.18.- Operador comparador

### 4.3.7 Herramienta para mover registros.

Utiliza tres celdas. Los operandos se ubican en la primera y tercera celda. Al activarse su entrada ejecuta el movimiento del registro. El valor del Operando 1 lo coloca en el Operando 2 como se ve en la figura 4.19.

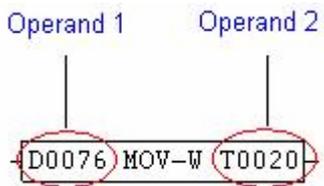


Figura 4.19.- Herramienta para mover registros

## 4.4 Detallado del Ladder.

### 4.4.1 Detalle de contactos y bobinas.

En la siguiente tabla 4.1 se muestra el número designado a cada contacto y bobina utilizados en cada una de las tres 4 recetas.

DETALLE DE CONTACTO	NUMERO ASIGNADO			
	POLLO	CERDO	RES	PERSONAL.
Ahumado en frio				
1er contac. De flanco asc	B0120	B0002	B1002	B2002
2do contac. De flanco asc	B0121	B0003	B1003	B2003
3er contac. De flanco asc	B0122	B0004	B1004	B2004
resta de tiempo de AF y act. De 2do retardo	B0100	B0006	B1006	B2006
Comparacion	B0101	B0007	B1007	B2007

act. De mov de reg	B0102	B0008	B1008	B2008
act. De 3er. Retardo e inicio de AC	B0103	B0009	B1009	B2009
<b>Ahumado en caliente</b>				
1er contac. De flanco asc	B0118	B0013	B1013	B2013
2do contac. De flanco asc	B0119	B0014	B1014	B2014
3er contac. De flanco asc	B0123	B0015	B1015	B2015
resta de tiempo de AC y act. De 2do retardo	B0200	B0016	B1016	B2016
Comparacion	B0201	B0017	B1017	B2017
act. De mov de reg	B0202	B0018	B1018	B2018
act. De 3er. Retardo e inicio de Taux	B0203	B0026	B1026	B2026
<b>Tiempo Auxiliar</b>				
1er contac. De flanco asc	B0115	B0028	B1028	B2028
2do contac. De flanco asc	B0116	B0021	B1021	B2021
3er contac. De flanco asc	B0117	B0022	B1022	B2022
resta de tiempo de Taux. y act. De 2do retardo	B0300	B0023	B1023	B2023
Comparacion	B0301	B0024	B1024	B2024
act. De mov de reg	B0302	B0025	B1025	B2025
FIN Y RESET	B0240	B0250	B0260	B0270
Activac. Del blower	B0800	B0803	B0805	B0807
<b>COMENZAR</b>	B0020	B0005	B1005	B2005
<b>PAUSAR</b>	B0500	B0011	B1011	B2011
<b>CARGAR DATOS</b>	B0110	B0001	B1001	B2001

Tabla 4.1.- Tabla de detalle de contactos y bobinas

#### 4.4.2 Detalle de herramientas y registros.

A continuación presentamos la tabla 4.2 en la que se muestra el número que se ha asignado a cada registro y herramienta utilizados.

<b>DETALLE DE REGISTRO</b>	<b>REGISTRO ASIGNADO</b>			
<b>Ahumado en frio</b>	<b>POLLO</b>	<b>CERDO</b>	<b>RES</b>	<b>PESCADO</b>
ingreso de T1 en Horas	R0100	R0601	R0701	R0801
ingreso de T1 en min	R0200	R0602	R0702	R0802
almac. de T1 en horas	D0300	D0603	D0703	D0803
almac. de T1 en min	D0400	D0604	D0704	D0804
Suma de T1 en segundos	D0401	D0605	D0705	D0805

timer de 1er. Retardo	T0010	T0001	T0002	T0003
alm. De la resta de tiempo	D0040	D0606	D0706	D0806
timer de 2do. Retardo	T0098	T0110	T0111	T0112
timer de 3er. Retardo	T0101	T0115	T0116	T0117
ingreso de Temp1	R0001	R0600	R0700	R0800
cont. General del proceso1	T0097	T0113	T0114	T0109
<b>Ahumado en caliente</b>				
ingreso de T2 en Horas	R0101	R0609	R0709	R0809
ingreso de T2 en min	R0201	R0610	R0710	R0810
almac. de T2 en horas	D0301	D0611	D0711	D0811
almac. de T2 en min	D0500	D0612	D0712	D0812
Suma de T2 en segundos	D0403	D0613	D0713	D0813
timer de 1er. Retardo	T0011	T0004	T0005	T0006
alm. De la resta de tiempo	D0050	D0614	D0714	D0814
timer de 2do. Retardo	T0099	T0118	T0119	T0120
ingreso de Temp2	R0002	R0607	R0707	R0807
cont. General del proceso2	T0100	T0121	T0122	T0123
<b>PROCESO AUXILIAR</b>				
ingreso de Taux en Horas	R0102	R0616	R0716	R0816
ingreso de Taux en min	R0202	R0617	R0717	R0817
almac. de Taux en horas	D0303	D0618	D0718	D0818
almac. de Taux en min	D0501	D0619	D0719	D0819
Suma de Taux en segundos	D0404	D0620	D0720	D0820
timer de 1er. Retardo	T0012	T0007	T0008	T0009
alm. De la resta de tiempo	D0060	D0621	D0721	D0821
timer de 2do. Retardo	T0101	T0115	T0116	T0117
ingreso de Tempaux	R0300	R0615	R0715	R0815
cont. General del proc.aux	T0102	T0124	T0125	T0126
Registro para SP1	D0010	D0608	D0708	D0808
registro con "0"	D0007	D0622	D0722	D0822
Registro para SP2	D0008	D0901	D0904	D0907
Reg. Con valor ≠ "0"	D0900	D0903	D0906	D0909
Reg. 60 seg. Para blower	D0009	D0902	D0905	D0908
retardo del blower	T0022	T0020	T0021	T0019
Contador de blower	T0103	T0104	T0105	T0106

Tabla 4.2.- Detalle de herramientas y registros

## 4.5 Funcionamiento del ladder.

Los ladders de las cuatro recetas funcionan de manera similar, de modo que se puede explicar el funcionamiento del ladder utilizando solamente uno de ellos. Se ha optado por utilizar el ladder de “POLLO”..

Luego de encender el sistema, el programa del HMI comienza a funcionar. El programa se ubica en la pantalla de INICIO que ya se ha mencionado, se elige RECETAS, y en esta pantalla se escoge POLLO. Hasta el momento parece que no se ha hecho nada complicado en el programa, pero hay comandos globales que comienzan a funcionar desde que se ingresa a una pantalla, se sale de una pantalla e inclusive desde que se enciende el sistema.

A las aplicaciones se las declara en la pantalla de Applications (Power-on and global) task list en el recuadro de Project Tools que se muestra en la figura 4.20

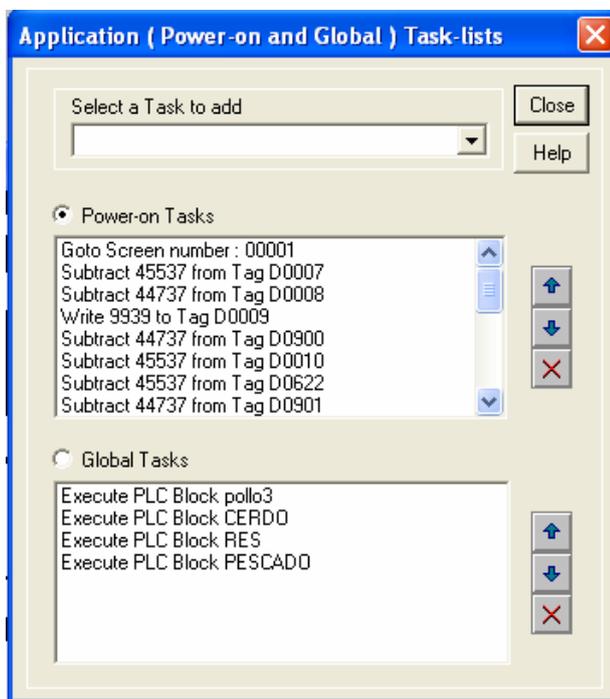


Figura 4.20.- Pantalla de Application (Power-on and Global) Task-List

Entre otras, estas tareas van a asignar valores predeterminados a los registros que se van a ocupar en el desarrollo del programa que se necesita que estén listos apenas se enciende el sistema, como por ejemplo, asignar el valor de “0” a los registros que se necesita que sean “0”, de “60” para que la duración del blower encendido sea de 60 segundos y la asignación de un valor alto al SP2 para que este se encienda.

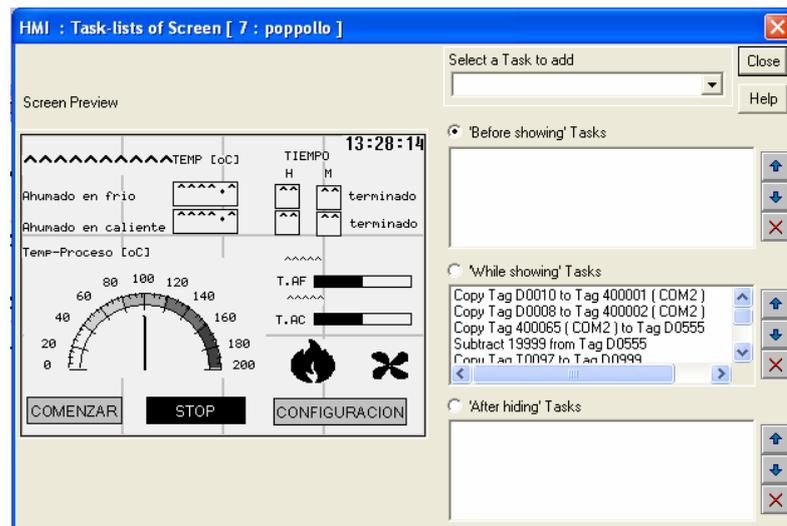
En algunos casos la asignación de estos valores no se la puede hacer directamente. Es necesario aplicar una resta, puesto que por defecto se asignan valores a los registros. Por ejemplo, al encender el sistema, se asigna automáticamente el valor de 45537 al registro D0007, entonces para que este registro sea igual a “0” se debe restar este valor, es por eso que se coloca **Subtract 45537 from tag D0007**.

Lo que no ocurre con los valores que se va a utilizar para los contadores. Como en estos registros la cuenta se realiza en forma regresiva partiendo desde 9999, si se quiere que cuente sólo 60 segundos, es necesario que se asigne al registro el valor de 9939. Por eso se utiliza **Write 9939 to Tag D0009**.

Otra serie de comandos que es necesario que se ejecuten son los ladders de las recetas. Como se puede observar en la figura anterior, en la sección de Global Task list mandamos a que se ejecuten constantemente en forma global todos los bloques de ladder que se ha realizado.

A más de estas tareas, como se mencionó antes, pueden asignarse tareas para que se ejecuten en una pantalla en particular y que sea independiente del resto del programa.

En las pantallas de usuario, también existen comandos que se ejecutan cuando están abiertas. Aparecen cuando se hace click derecho sobre la página y se ubica en Task-lists of Screen como se ve en la figura 4.21.



**Figura 4.21.- Pantalla de lista de tareas (Task –list of Screen) poppollo.**

En la lista que corresponde a las tareas que se ejecutan cuando la pantalla está activa (while showing tasks). Se Puede observar tareas importantes como:

- Que se copie el valor del registro D0010 a la etiqueta que corresponde al SP1 del controlador conectado en el Com 2 del HMI (Copy tag D0010 to Tag 40001 Com2).
- Que se copie el valor del registro D0008 a la etiqueta que corresponde al SP1 del controlador conectado en el Com 2 del HMI (Copy tag D0010 to Tag 40001 Com2).
- Asignar valores para que se pueda efectuar el correcto display de los valores de los registros (Substract 19999 from Tag D0555)

En esta pantalla, al presionar COMENZAR es donde el ladder comienza a funcionar (Ver el programa ladder de “POLLO” en Anexos 2). El funcionamiento del ladder se aprecia de manera gráfica en el diagrama de flujo que se presenta en la figura 4.22 y 4.23 en la página siguiente.

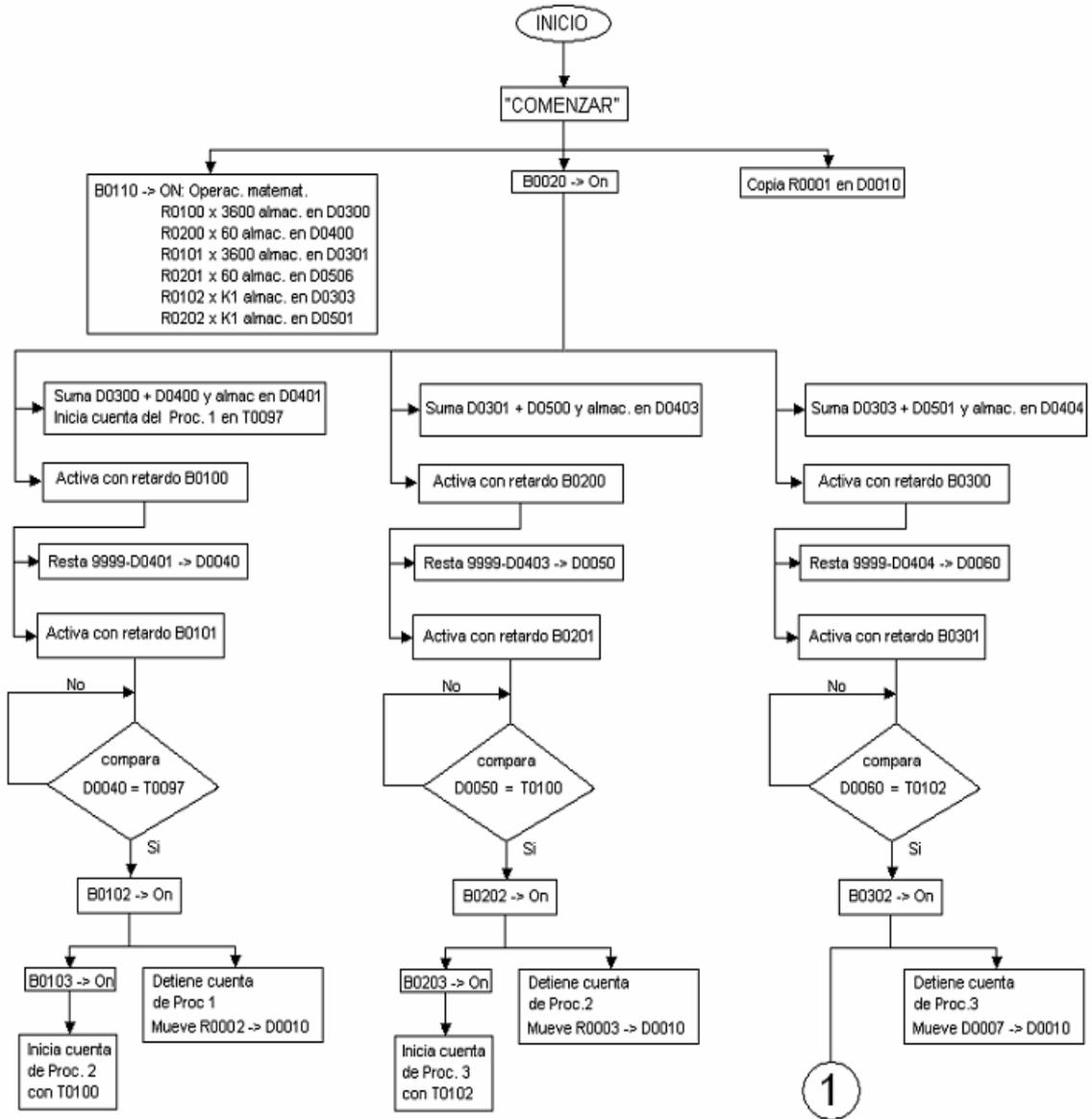


Figura 4.22.- Diagrama de Flujo del funcionamiento del ladder (Parte 1)

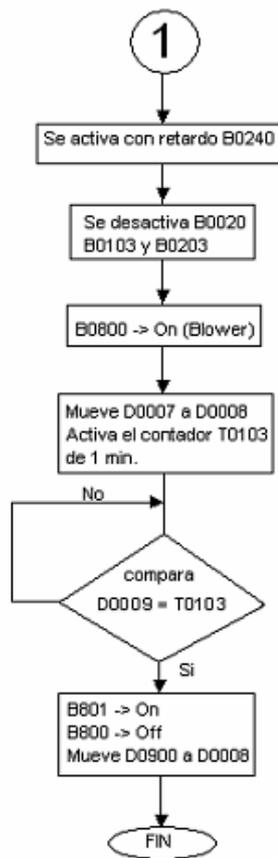


Figura 4.23.- Diagrama de Flujo del funcionamiento del ladder (Parte 2)

El botón COMENZAR tiene asignado las tareas que se ven en la siguiente figura y que se despliegan cuando se hace doble click en COMENZAR /Operation/ Action for touch screen, como se puede apreciar en la figura 4.24.

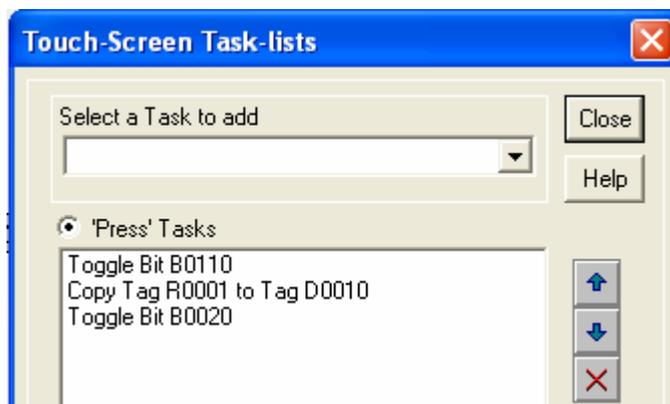


Figura 4.24.- Pantalla de Touch-Screen Task-List

Como se puede observar, cuando se presione COMENZAR, va a cambiar el estado del Bit B0110 (línea 1 del ladder), haciendo que se realicen las operaciones matemáticas respectivas que transforman el tiempo ingresado en horas y minutos en un tiempo total en segundos. El registro R0100 en el que se ingresan las horas se va a multiplicar por 3600 y se va a guardar este resultado en el registro D0300 (línea 1 del ladder). Como se utiliza el contacto de flanco ascendente, no importa que el contacto B0110 se quede activado, puesto que se ha utilizado el pulso de B0120 para realizar este proceso. De igual manera, el registro que corresponde al ingreso de los minutos R0200 se multiplica por 60 y el resultado se almacena en D0400, utilizando el contacto de flanco ascendente B0121 (línea 2).

Al presionar COMENZAR también se copia el valor del registro R0001 que corresponde a la temperatura en frío al registro D0010, que como se había mencionado antes, por medio de una tarea de la página, va a estarse copiando constantemente al SP1 (40001) del controlador.

Otra tarea de COMENZAR, es activar el bit B0020 que comienza la cuenta general del ahumado en frío (línea 12 del ladder) mediante el contador T0097, realiza la suma de D0300 y D0400 y lo guarda en D0401 mediante el flanco de B0122 (línea 3 del ladder), y además, mediante un retardo de 50 ms (línea 4 del ladder) activan a B0100, que es el que realiza la resta de 9999 menos D0401 y la almacena en D0040 (línea 5 del ladder). Esta resta es necesaria debido a que, como la cuenta de los timers es descendente, se necesita que transcurra hasta que llegue al valor equivalente en la escala de 9999. Por ejemplo, si se quiere contar 3600 segundos, se necesita que la cuenta que empieza en 9999 termine en 6399, y este valor lo obtenemos restando  $9999 - 3600 = 6399$ , este valor es el que se va a almacenar en D0040, de manera que luego de un retardo de 2 seg. ocasionado por B0100 y al activarse el B0101 (línea 6 del ladder), se activa la comparación y al momento en que T0097 es igual al valor guardado en D0040 se activa B0102 (línea 7 del ladder).

Al activarse el B0102 se carga la temperatura para ahumado en caliente R0002 en el registro D0010 (línea 11 del ladder) correspondiente al SP1 del

controlador. La activación de B0102 enclava a B0103 (línea 8 y 9 del ladder). B0103 es el que da inicio a la cuenta del proceso de ahumado en caliente (línea 21 del ladder).

En el ahumado en caliente y el proceso auxiliar, el procedimiento es el mismo. Es necesario pasar por el proceso auxiliar, ya que los tres se desarrollan secuencialmente. Si no se desea el proceso auxiliar, simplemente en los registros de ingreso de temperatura se ingresa "0 " para que no se envíe temperaturas al controlador y en los tiempos se ingresa valores bajos para que el proceso se desarrolle imperceptiblemente.

Al final del proceso auxiliar, mediante B0302 se va a cargar el valor de "0" utilizando el registro D0007 en el registro D0010 que corresponde al SP1 (línea 32 del ladder). Esto indica al controlador que el proceso ha terminado. B0302 mediante un retardo activa B0240 (línea 33 del ladder) el cual resetea los bits de B0020 (comenzar), B0103 (inicio de ahumado en caliente) y B0203 (inicio de proceso auxiliar) (líneas 34,35,36) dejando al sistema listo para iniciar de nuevo, es decir, cuando el proceso termina se resetea y queda listo para volver a utilizarse.

B0240 activa también a B0800 (línea 37 del ladder) que a su vez carga el valor de "0" de D0007 a D0008 que corresponde al registro del SP2 (línea 39 del ladder). Al enviar "0" al registro de SP2, este se va a encender, y como se ha conectado a esta salida el BLOWER, el blower va a ser quien se encienda. B0800 activa también una cuenta descendente de sesenta segundos cargados en D0009 que al terminar, va a activar B0801 (línea 41 del ladder). Este último va a habilitar el movimiento del contenido de D0900, que es un valor alto, a D0008, haciendo que se desactive la señal del SP2 (línea 42 del ladder), de esta manera se apaga el blower. Así se logra que el blower permanezca encendido durante sesenta segundos luego de que el proceso de ahumado haya terminado. Es muy importante que se encuentre el objeto END al final del programa para lograr la correcta compilación.

## CAPÍTULO V

### IMPLEMENTACIÓN

#### 5. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN.

En esta sección del documento vamos a detallar brevemente las características técnicas principales de los elementos que se han escogido para el sistema de control.

##### 5.1 Descripción de Componentes.

###### a) Controlador de temperatura con microprocesador.

Se ha optado por utilizar en este proyecto el controlador de temperatura con microprocesador BTC-C21<sup>1</sup> que cumple perfectamente con los requerimientos establecidos en el capítulo 3. Su forma se aprecia en la figura 5.1.



Figura 5.1.- Controlador BTC-C21

<sup>1</sup> Las especificaciones técnicas detalladas puede apreciarse en las hojas técnicas del controlador en la sección de anexos.

Entre otras, presenta las siguientes características principales:

- Es fácil de usar
- Entrada universal (RTD, termocuplas) con una precisión de 18 bits A- D
- Interfaz RS-485, RS-232
- Programación desde el panel
- Amplia variedad en la selección del tipo de alarma
- Bloqueo de protección
- Aprobación del UL/CSA/CE
- Alto desempeño a bajo costo.

Para explicación de la implementación, se incluye el diagrama de conexiones del BTC-C21 en la figura 5.2:

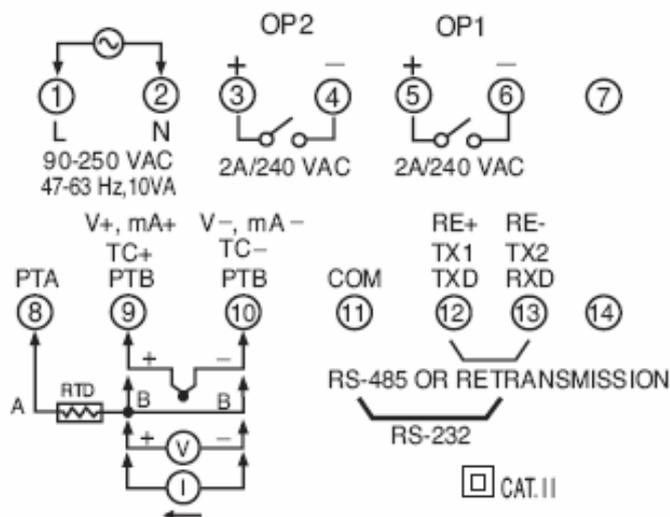


Figura 5.2.- Diagrama de conexiones del C21

### b) Pantalla HMI táctil monocromática.

La pantalla que mejor cumple nuestros requerimientos es la HMI-601S<sup>2</sup> de la marca BRAINCHILD. Su forma se muestra en la figura 5.3

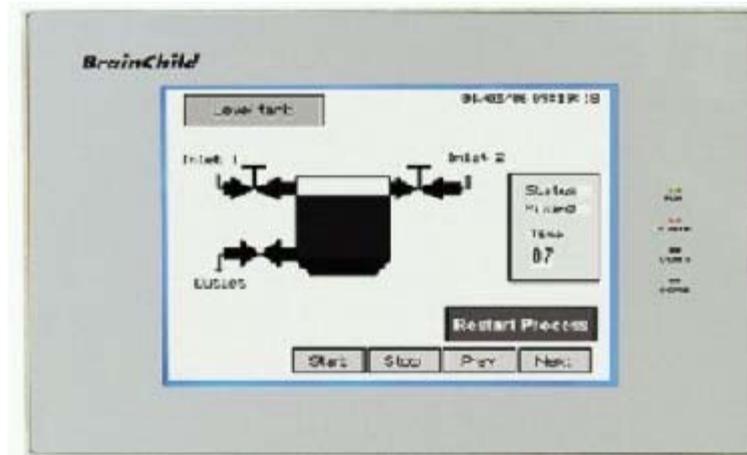


Figura 5.3.- HMI-601s

Sus características principales, entre otras, son las siguientes:

- Tiene compatibilidad con un gran número de PLCs
- El usuario final puede escoger el tipo de idioma.
- Permite hacer animaciones
- Interpreta variables de forma gráfica (barras de estado, tacómetros, etc)
- Permite programación en Ladder.
- Tiene objetos prediseñados para botones, barras, lámparas, etc.
- Proporciona 256 alarmas en tiempo real y hasta 2000 históricas.
- Proporciona contadores predeterminados.

### c) Dispositivo controlador de chispa y válvula de paso de gas

Como se explicó con anterioridad, se necesita un sistema que controle la chispa de encendido y la válvula de gas simultáneamente, y el sistema que

<sup>2</sup> Las especificaciones técnicas de la pantalla se muestran en las hojas técnicas en la sección de anexos.

precisamente hace esto es el VR8345M<sup>3</sup> de Honeywell, que es un controlador universal electrónico del encendido a gas.

Este sistema consta básicamente de dos partes principales:

- El Módulo de Control del encendido y
- La válvula controladora del gas

### Módulo de Control de encendido

Su forma se aprecia claramente en la figura 5.4.



Figura 5.4.- Módulo de control de encendido

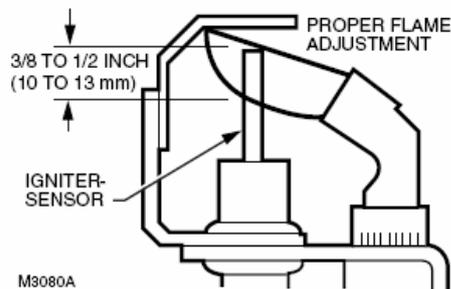
Es el que provee de la secuencia de encendido de la llama piloto, monitorea la llama y se apaga automáticamente en caso de existir una fuga en el sistema de gas.

Esta secuencia se inicia al momento en que recibe la señal del sistema de control (BTC-21).

El módulo de control de encendido se comunica con la válvula controladora de gas mediante tres señales: MV, MV/PV, PV.

<sup>3</sup> Los detalles técnicos del VR8345M se exponen en las hojas técnicas en la sección de anexos.

De éste controlador sale la señal de encendido del chispero (IGNITER) que se aprecia en la figura 5.5



**Figura 5.5.- Chispero**

### **Válvula controladora de gas**

Su forma se aprecia en la figura 5.6



**Figura 5.6.- Válvula controladora de gas**

Recibe instrucciones del módulo de control de encendido indicándole que éste se encuentra activando el chispero y que debe permitir el paso de gas para que se encienda la llama. Una vez encendida la llama, el controlador de encendido deja de activar el chispero y las “flautas de gas” permanecen encendidas.

Cuando el sistema controlador quiere disminuir la temperatura en el interior del horno, ordena al módulo controlador de encendido que se apague, de esta manera se le indica a la válvula controladora de gas que debe cerrarse también, cortando el suministro de gas a las “flautas de gas”.

**d) Fuente de voltaje de 24 VCC**

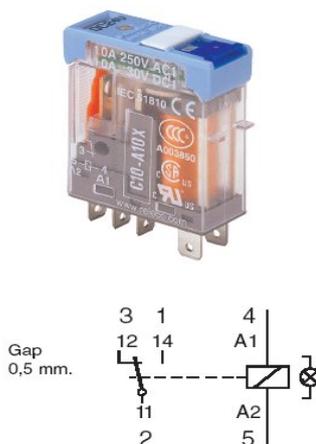
Se ha optado por la fuente de voltaje marca MEAN WELL modelo DR-4524<sup>4</sup>, porque cumple a cabalidad con las especificaciones requeridas, a parte de su sencillez, confiabilidad y bajo precio. Su forma se aprecia en la figura 5.7



**Figura 5.7.- Fuente de voltaje MEAN WELL**

**e) Relés**

Los relés que mejor cumplen con las características necesarias son los relés marca Releco serie IR-C tiene la forma que se presenta en la figura 5.8.



**Figura 5.8.- Relé Releco Serie IR-C**

<sup>4</sup> Los detalles técnicos de este elemento se especifican en la hoja técnica en la sección de anexos.

### **f) Fusibles**

Fusibles de vidrio de 10 A

### **g) Breakers**

Se escogió al breaker C60N de CAMSCO, puesto que cumple con todas las características de un breaker protector de circuito. Se adapta convenientemente a circuitos de 50 Hz en CA. Se lo utiliza para la iluminación tanto como para la protección de motores eléctricos.

A más de eso, presenta las características que se presentan a continuación:

- Alta capacidad de interrupción
- Ensamblado en multipolos
- Acción sensitiva.
- Permite 230 V en ensambaje de polo simple
- Permite hasta 400 V para dos, tres y cuatro polos.
- También se lo utiliza para el apagado y encendido de aparatos eléctricos en condiciones normales.

## **5.2 Instalación e integración.**

### **5.2.1 Integración y conexiones eléctricas.**

A continuación se describe el procedimiento que se realiza para la integración de los diferentes elementos que participaron en la construcción de este sistema automático de control de temperatura.

Se va a empezar con el Tablero de control.

La empresa IANDCEcontrol, además de realizar proyectos de ingeniería, también se dedica a la venta de todo tipo de equipos y dispositivos para la realización de proyectos. Esta empresa puso a disposición un armario prefabricado que precisamente se lo utiliza para la implementación de tableros de control.

Una vez conseguido el armario, se necesita realizar los cortes en la sección que corresponde a la tapa del armario, para la ubicación del controlador y de la pantalla HMI.

Como este proceso no requiere tanto de conocimientos de electrónica, es preferible que lo realice una persona experta en el uso de herramientas utilizadas para el corte y perforación del metal. Además, se recomienda que esta parte del procedimiento sea la que se realice primero, para que luego de eso se dedique de lleno a la parte de la implementación y conexión de los elementos electrónicos.

Se dispone de los orificios, de la manera más centrada posible, como podemos apreciar en la Figura 5.9.

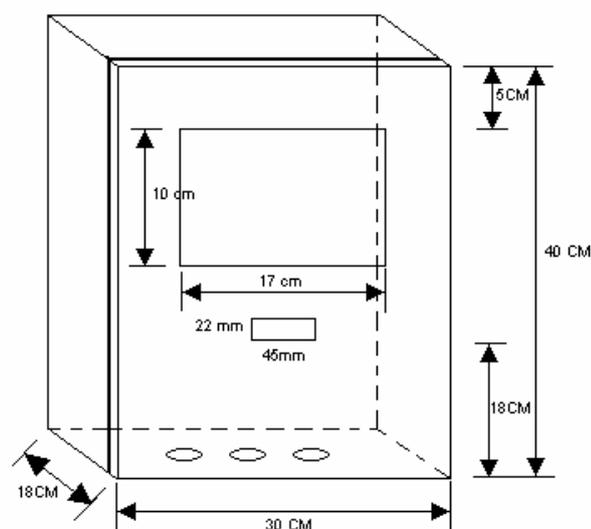
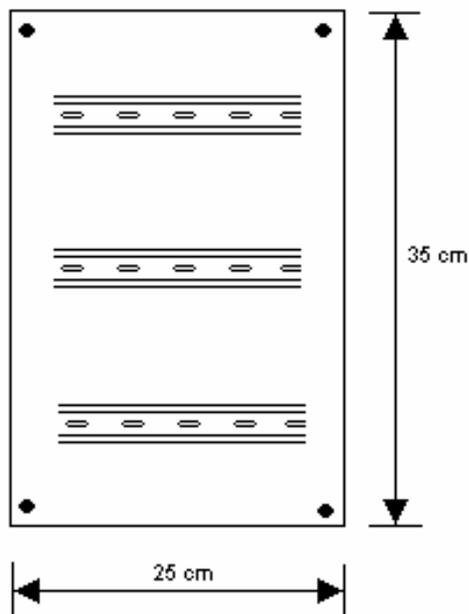


Figura 5.9.- Ubicación de los orificios para HMI y BTC-C21

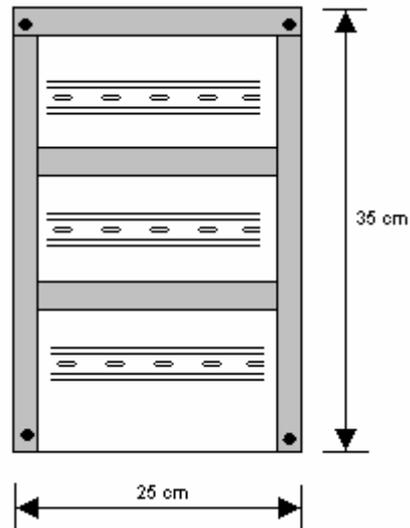
Cabe mencionar que estos armarios prefabricados traen en su base tres orificios sellados que se los puede habilitar, si el caso lo amerita, para el cableado.

En un tablero de metal, vamos a disponer de tres rieles equidistantes que van atornilladas y en las cuales se van a colocar los elementos. Como se ve en la Figura 5.10 de la siguiente página.



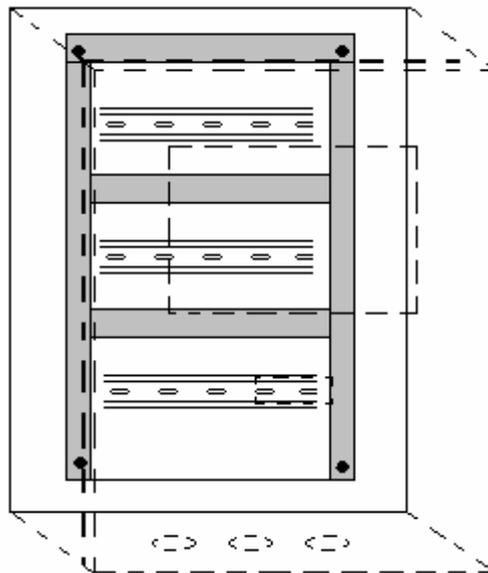
**Figura 5.10.- Ubicación de los rieles.**

El siguiente paso en la implementación es colocar las canaletas que se van a utilizar en el cableado, las canaletas también se atornillan al tablero. En la Figura 5.11 se puede apreciar la correcta ubicación de las canaletas.



**Figura 5.11.- Ubicación de las canaletas**

Una vez correctamente ubicadas las rieles y las canaletas en el tablero de metal se procede a atornillar el tablero en la cara interna del armario, de manera centrada, como se muestra en la Figura 5.12.



**Figura 5.12.- Ubicación del tablero dentro del armario.**

Terminada esta parte de la implementación, se puede decir que ha terminado lo más trabajoso y complicado del procedimiento, al menos para un estudiante de ingeniería electrónica.

Lo siguiente va a ser colocar los elementos respetando la ubicación que se planteó en el diseño del sistema de control<sup>5</sup>.

Ubicados los elementos en el tablero, se procede con lo que corresponde a las conexiones.<sup>6</sup>

Se obtiene el resultado que se aprecia en la Figura 5.13 .

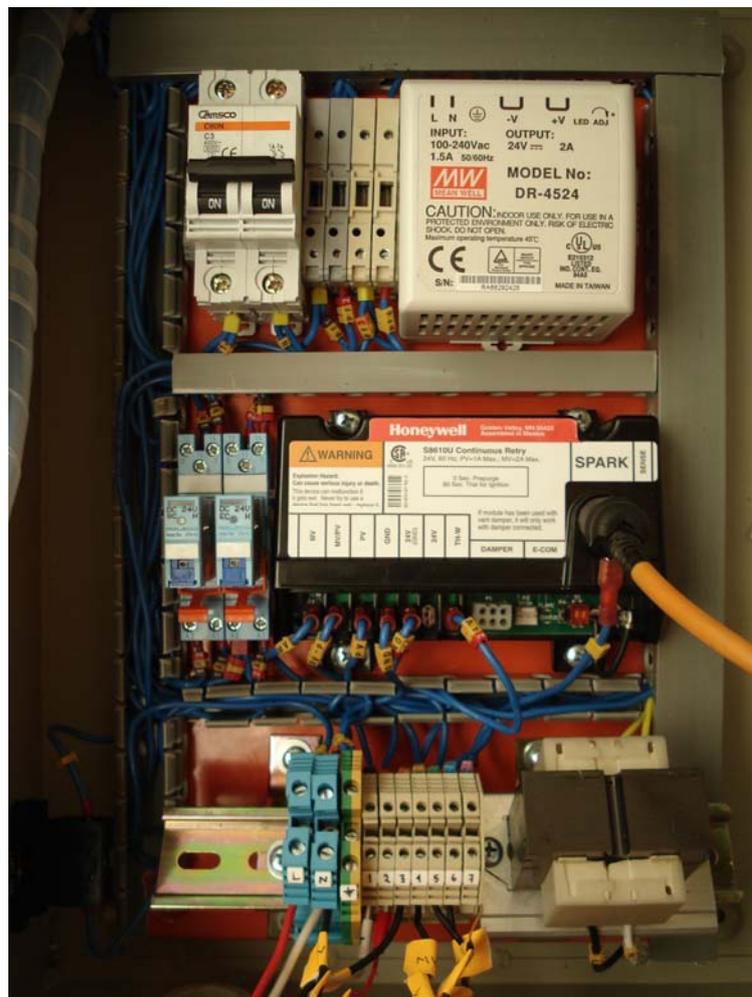


Figura 5.13.- Tablero de control completamente armado.

<sup>5</sup> Ver figura 3.8 de requerimientos y diseño

<sup>6</sup> Siguiendo el diseño establecido en la sección 3.6 de Diseño del circuito del sistema de control

### 5.2.2 Conexión de la Comunicación.

Es necesario establecer la comunicación entre el controlador y el HMI. Esto se logra fácilmente a través del puerto Com2 del HMI y los pines de comunicación del controlador (pines 12 y 13). Es necesario elaborar un cable de comunicación que tenga un conector DB9 macho para el lado del HMI y para el lado del controlador resulta más fácil atornillar directamente los cables con ferules. La estructura de este cable se aprecia en la figura 5.14, en la siguiente página.

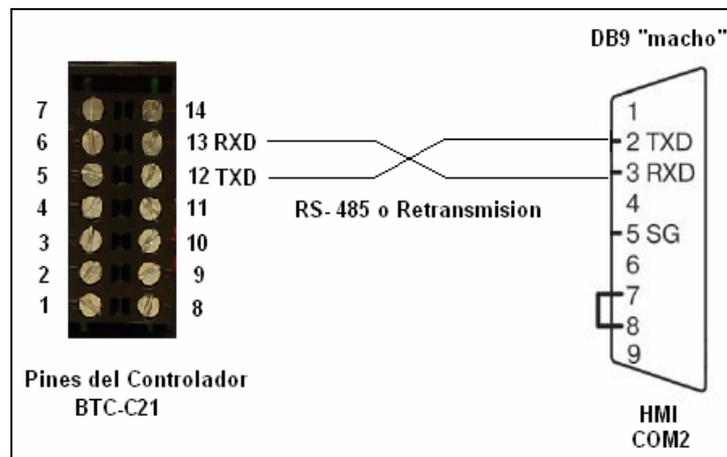


Figura 5.14.- Comunicación entre el controlador y el HMI

Físicamente, la conexión se realiza como se puede apreciar en la Figura 5.15.

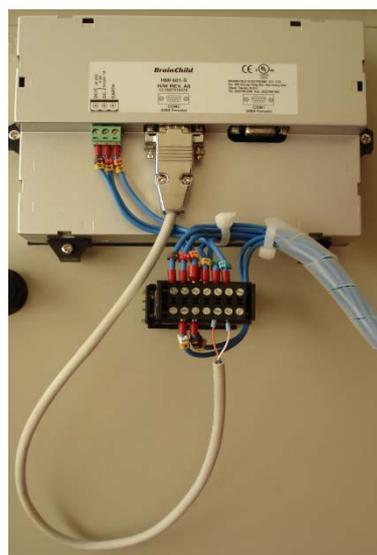


Figura 5.15.- Fotografía de conexión establecida

Además de eso, es necesario realizar el cable de conexión que comunique al HMI con la PC. Es muy sencillo de realizar, únicamente hay que seguir el esquema que se muestra a continuación en la figura 5.16.

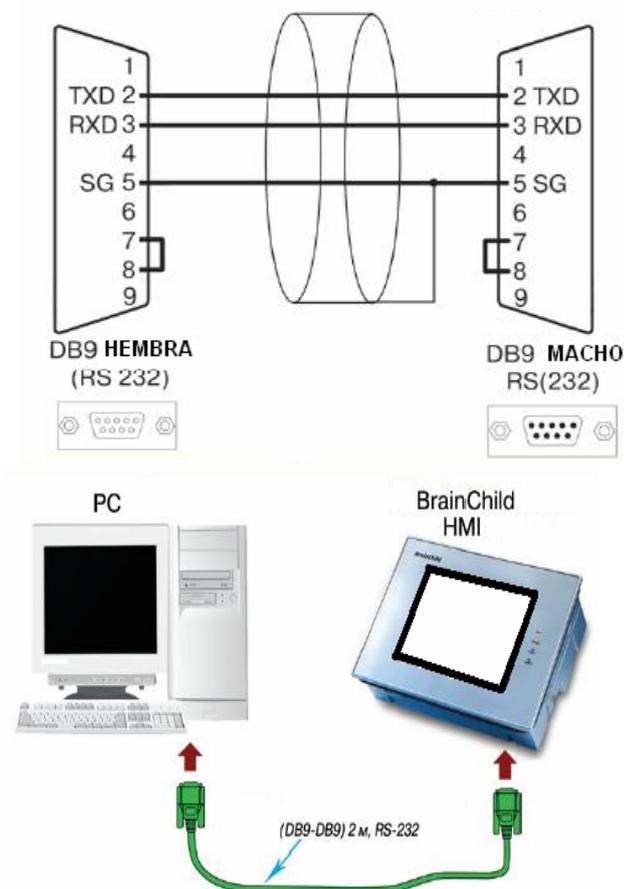
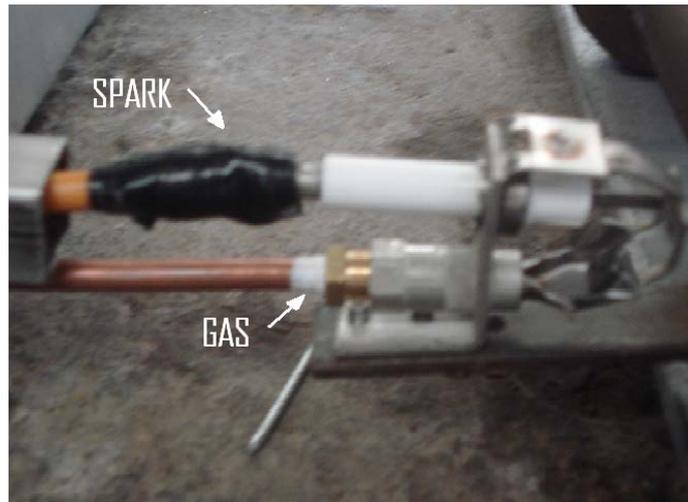


Figura 5.16.- Conexión PC-HMI

### 5.2.3 Conexión del sistema controlador de gas.

El sistema controlador universal electrónico de encendido a gas incluye en sus componentes el cable que conecta la salida de la chispa del MCE (SPARK) al chispero, es el cable amarillo grueso que se ve en la Figura 5.13.

El cable amarillo se extiende hasta el chispero, y se lo conecta de la forma que se puede apreciar en la Figura 5.17.



**Figura 5.17.- Conexión del Chispero**

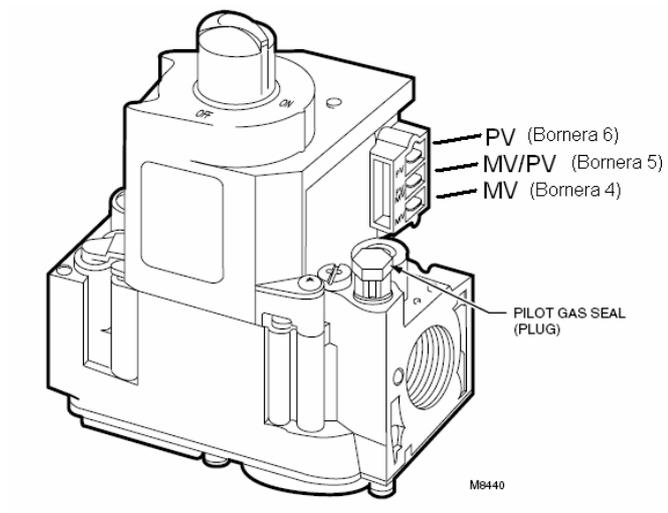
Una vez conectado el chispero, se procede a ubicarlo en su respectiva posición, la correcta ubicación es la que se puede apreciar en la Figura 5.18.



**Figura 5.18.- Ubicación del Chispero**

El otro elemento que queda por conectar es la válvula controladora de gas.

Se había indicado que el módulo de control de encendido se comunica con la válvula controladora de gas mediante tres señales: MV, MV/PV, PV. Estas señales provenientes del módulo las habíamos dispuesto en las borneras 4, 5 y 6 respectivamente. De esas borneras se conecta a las entradas de la válvula, dispuestas también como entradas MV, MV/PV, PV que se muestran en la figura 5.19. Además de esto, obviamente, deben hacerse las conexiones de gas respectivas.



**Figura 5.19.- Conexión de la Válvula de gas**

## CAPÍTULO VI

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 6.1 PRUEBAS REALIZADAS.

Para probar el funcionamiento del sistema controlador automático del horno ahumador de carne se han realizado varias pruebas básicas:

- Funcionamiento con el horno vacío.
- Funcionamiento con el horno abastecido con carne de pollo.
- Funcionamiento con el horno abastecido con chorizo.
- Funcionamiento con el horno abastecido con salchicha.

Para establecer la temperatura a la que se debe cocer o ahumar la carne puede tomarse como referencia dos temperaturas: la temperatura del producto o la temperatura del horno.

Los estudios e investigaciones que determinan la temperatura la cual se deben cocinar los diversos tipos de carne utilizando como referencia la temperatura del horno la han realizado los encargados de la construcción del mismo, en este caso, los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Espe. Ellos han especificado mediante la tabla 6.1 la temperatura y el tiempo de cocción a la cual se debe ahumar tres tipos de carne.

PRODUCTO	Tiempo en frío h:min	T1 en °C	Tiempo en caliente h:min	T2 en °C
Pollo	1:00	50	1:30	180
Chorizo	2:00	40	1:40	90
Salchicha	1:00	40	1:50	70

Tabla 6.1 .- Tiempos y temperaturas de cocción para carne de pollo, chorizo y salchicha

Al tener como referencia la temperatura del horno, el proceso de cocción es independiente de la cantidad de carne que se coloque en el interior del mismo, puesto que al alcanzar la temperatura requerida se asegura la correcta cocción del producto.

### 6.1.1 Prueba realizada con el horno vacío.

Para la realización de esta prueba se utilizó la receta PERSONALIZADA en el menú de recetas, pantalla que se muestra en la Figura 6.1.



Figura 6.1.- Menú de recetas del HMI

Esta receta permite modificar los tiempos y las temperaturas de cocción directamente sin necesidad de insertar la clave, pues como se había mencionado,

las otras páginas se hallan protegidas por un código secreto conocido únicamente por el operario que puede modificar las características de cada receta.

Se establecieron los valores que se muestran en la tabla 6.2

PRODUCTO	Tiempo en frío h:min	T1 en °C	Tiempo en caliente h:min	T2 en °C
vacío	1:00	50	1:00	100

Tabla 6.2.- Tabla de valores establecidos para la prueba con el horno vacío.

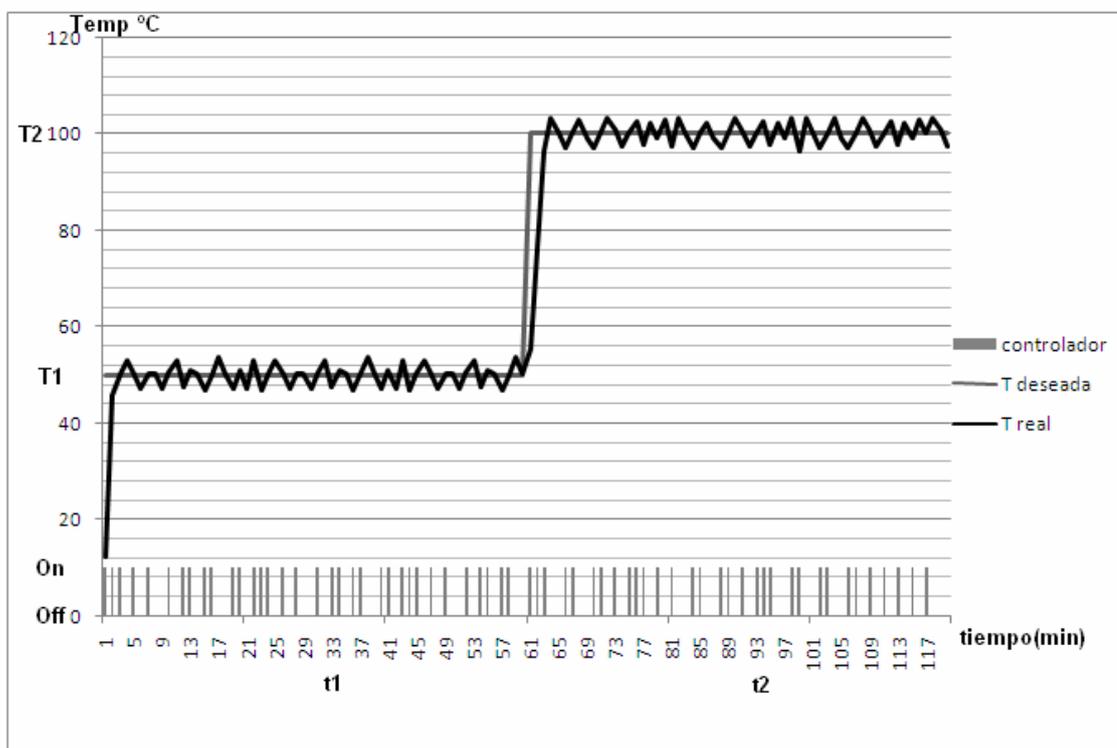
Estos valores se colocan en sus respectivos campos, como podemos observar en la Figura 6.2.



Figura 6.2.- Pantalla de la receta PERSONALIZADA

En esta prueba se ha tomado lectura de la temperatura del horno cada minuto, por lo tanto se dispone de una tabla con 120 muestras. Pese a que es un largo proceso, es la única manera de verificar si la precisión de  $\pm 3$  °C con la que se regulo el controlador del horno está funcionando correctamente.

Teniendo los datos correspondientes, se ha realizado el gráfico que se muestra en la figura 6.3. En él se puede apreciar la curva que representa al funcionamiento ideal del horno ( $T$  deseada) y el funcionamiento real ( $T$  real).



**Figura 6.3 .- Gráfico de Temperatura VS. Tiempo del horno vacío y desempeño del controlador.**

Como se aprecia en la figura anterior, controlador mantiene la temperatura en el rango de precisión deseada. Por ejemplo, si la temperatura deseada es de 50 °C, al momento en que la temperatura baja de los 47 °C el quemador se enciende haciendo que suba la temperatura hasta que llega a los 53 °C, que es cuando el quemador se apaga. En este proceso, según el gráfico, se demora apenas un poco más de dos minutos en alcanzar los 50 °C y alrededor del mismo tiempo en pasar de los 50 °C a los 100°C.

También el gráfico demuestra que una temperatura baja en el horno es más fácil de lograr que una temperatura alta, es decir, para una temperatura baja el

controlador no tiene que mandar a encender al quemador tan frecuentemente como se necesita que lo haga en una temperatura alta.

El controlador del horno tiene el desempeño que se muestra en la figura 6.4 en la parte inferior, ahí se muestra los momentos en los que se enciende el quemador y los momentos en que permanece apagado durante el transcurrir del proceso.

### **6.1.2 Prueba realizada con el horno abastecido con carne de pollo**

Comprobado el correcto funcionamiento del controlador con el horno vacío, no se espera que exista mucha diferencia cuando este se haya llenado de carne, puesto que como se había explicado anteriormente, se tiene como referencia la temperatura del horno, la cual es independiente de la cantidad de producto que se encuentre en el interior del horno. Ahora bien, la cantidad de producto en el interior del horno puede influir en el flujo de las masas de aire caliente en el interior del horno, y por tanto, en el tiempo en que se demora el horno en pasar de una temperatura a otra.

Como se ha utilizado carne de pollo, las temperaturas establecidas para este tipo de carne y los tiempos de cocción necesarios, son los que se aprecian en la tabla 6.1 correspondientes a pollo.

Para realizar la prueba con la carne de pollo, se utiliza la receta establecida para POLLO en el menú de recetas.

Se lo selecciona en la pantalla de menús (Figura 6.1) y tiene la forma que se muestra en la siguiente página, en la Figura 6.4.



Figura 6.4.- Pantalla de receta de Pollo

Con los datos obtenidos, se ha formado una tabla y se ha realizado el gráfico que se muestra en la figura 6.5, en la cual se representa el funcionamiento real del horno (T real), el funcionamiento deseado (T deseada) y el desempeño del controlador.

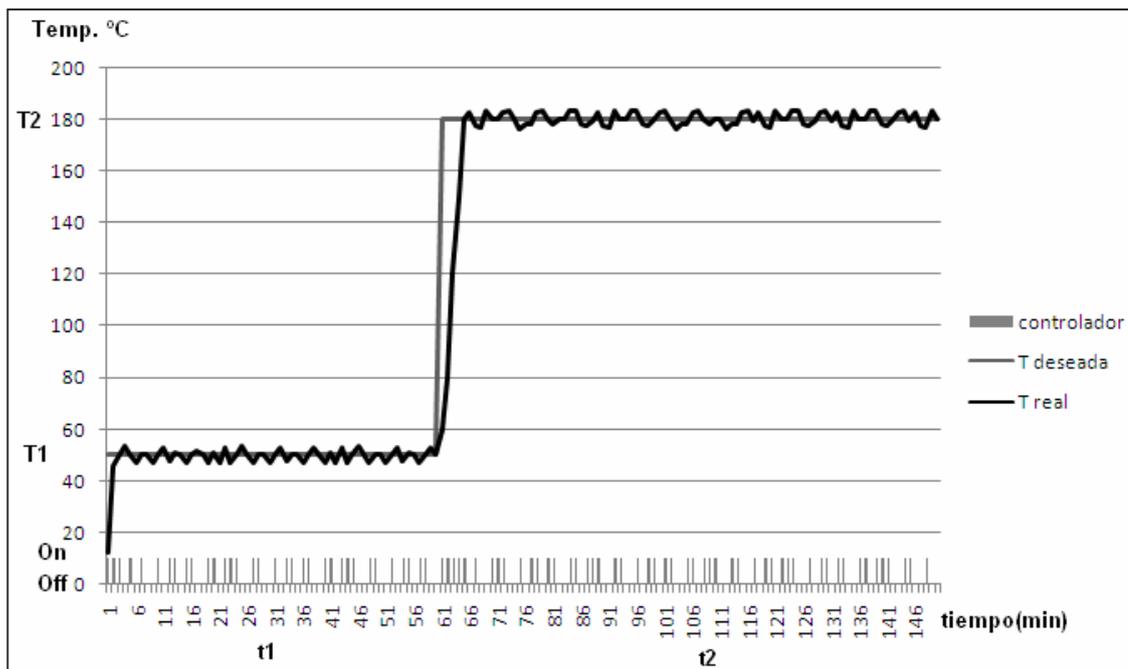


Figura 6.5.- Gráfico de Temperatura VS. Tiempo de horno abastecido y desempeño del controlador.

Como era de esperarse, en el gráfico anterior se puede apreciar que en este caso el horno se demora un poco más de tres minutos en alcanzar y estabilizarse en la temperatura deseada de 50 °C y alrededor de cinco en pasar de 50°C a los 180°C y estabilizarse.

Por otra parte el controlador se desempeñó de la manera que se puede apreciar en la parte inferior de la figura 6.5.

### 6.1.3 Prueba realizada con el horno abastecido con chorizo.

Resultados similares se obtuvo al realizar la prueba abasteciendo al horno con chorizos. Para realizar esta prueba se escogió la receta para CHORIZO en el menú de recetas (ver figura 6.1 de Menú de recetas).

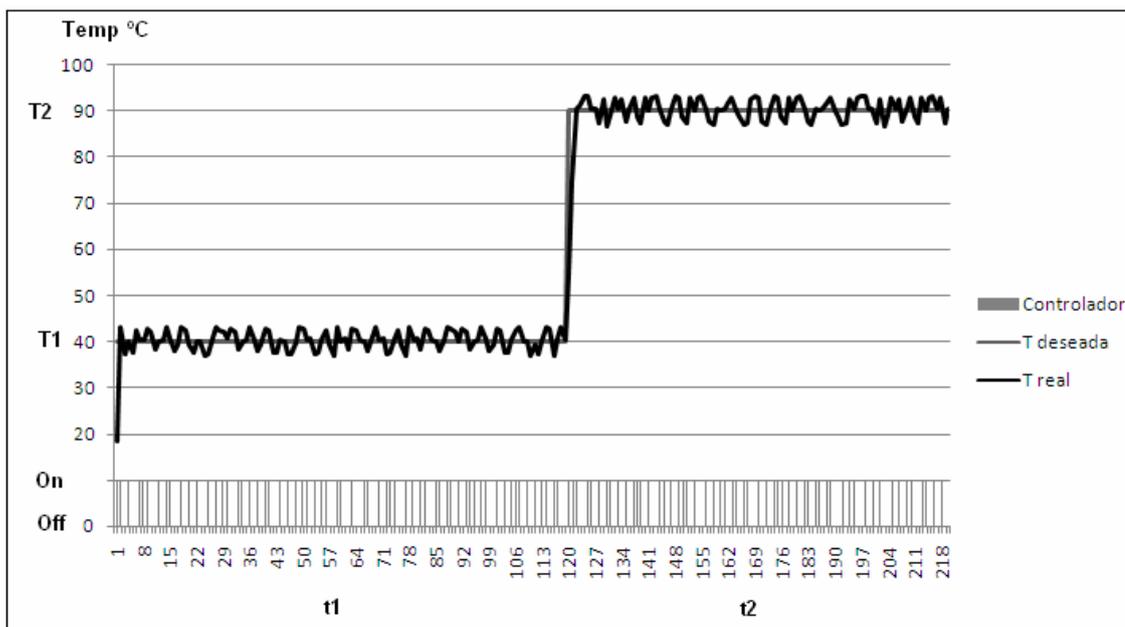
Una vez escogida la receta, vamos a disponer de una pantalla como la que se muestra a continuación en la Figura 6.6.



Figura 6.6.- Pantalla de Receta de chorizo

Como se aprecia en la Figura 6.6, en la receta ya se hayan establecidos las temperaturas y los tiempos de cocción requeridos para el ahumado de este tipo de producto.

Con los datos obtenidos, se ha formado una tabla y se ha realizado el gráfico que se muestra en la figura 6.7, en la cual se representa el funcionamiento real del horno ( $T_{real}$ ), el funcionamiento deseado ( $T_{deseada}$ ) y el desempeño del controlador.



**Figura 6.7.- Gráfico de Temperatura VS. Tiempo de horno abastecido y desempeño del controlador.**

Como se observa en la figura 6.7, el horno demora en alcanzar la temperatura deseada y estabilizarse en los 40 °C alrededor de 4 minutos. Al terminar el proceso de ahumado en frío, el horno demora alrededor de tres minutos en alcanzar y estabilizarse en los 90 °C que se necesitan para realizar el proceso de ahumado en caliente.

Así mismo, en la figura 6.8, en la parte inferior, se puede apreciar el desempeño del controlador durante esta prueba.

#### 6.1.4 Prueba realizada con el horno abastecido con salchicha.

Se obtuvieron excelentes resultados en la prueba realizada en el horno abastecido con salchicha. Para realizar esta prueba se utiliza la receta previamente configurada para SALCHICHA que se observa en el menú de recetas (ver figura 6.1).

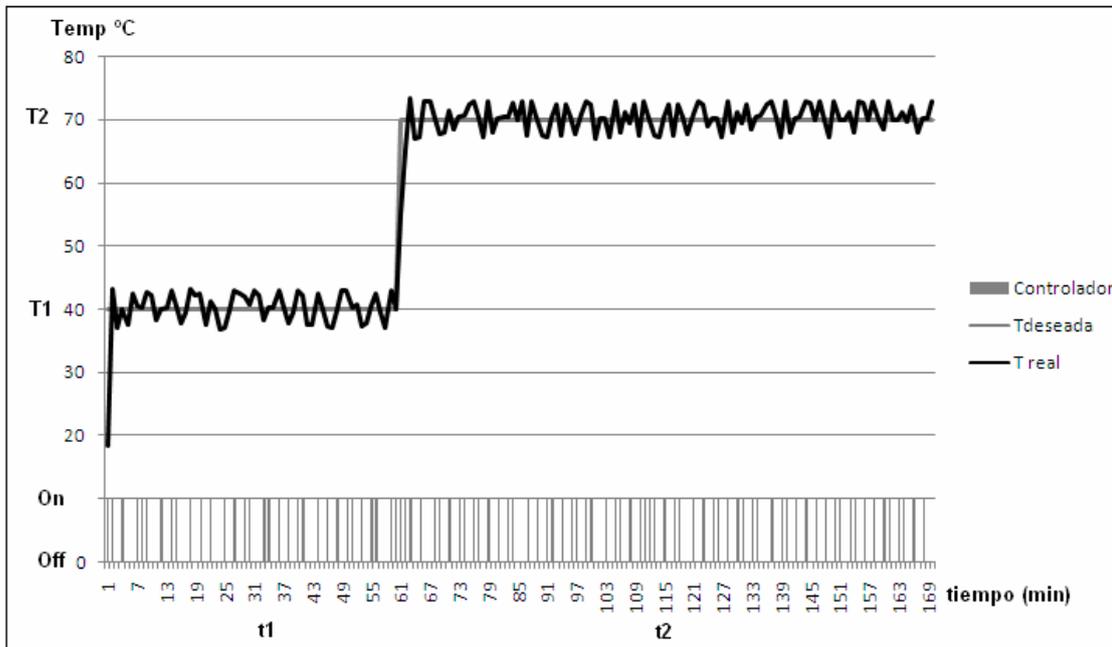
Una vez accedido a la receta, se observa una pantalla como la que se muestra a continuación.



Figura 6.8.- Pantalla de la receta de SALCHICHA

Con los datos obtenidos durante el proceso de ahumado se ha formado una tabla de datos, la cual nos permite desarrollar el gráfico del funcionamiento real del horno, el funcionamiento deseado y el desempeño del controlador.

El desarrollo de este proceso en su totalidad se muestra en la Figura 6.9.



**Figura 6.9.- Gráfico de Temperatura VS. Tiempo de horno abastecido y desempeño del controlador.**

Como se observa en la figura 6.9, al igual que en el proceso anterior, el horno demora en alcanzar la temperatura deseada y estabilizarse en los 40 °C alrededor de 4 minutos. Al terminar el proceso de ahumado en frío, el horno demora alrededor de dos minutos en alcanzar y estabilizarse en los 70 °C que se necesitan para realizar el proceso de ahumado en caliente.

De igual forma, en la parte inferior de la figura 6. se observa el desempeño del controlador durante el proceso de ahumado.

Estas pruebas realizadas ayudaron a comprobar el correcto funcionamiento del horno. La adecuada cocción del producto se asegura al no excederse de los  $\pm 3$  °C de precisión.

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

- El diseño e implementación del controlador automático de temperatura para un horno ahumador de carne fue satisfactorio puesto que se obtuvo un producto de buena calidad y bajo costo que resulta muy útil en la producción de embutidos.
- El ahumado de carnes no necesita un control preciso en su temperatura, puede manejarse un control con precisión de  $\pm 3$  °C y obtener excelentes resultados. Debido a que no se requiere un control muy preciso, esta precisión en este tipo de hornos se puede lograr con un control on/off.
- La utilización del controlador BTC-C21 demostró ser una elección acertada debido a su confiabilidad, fácil manejo y a la disponibilidad de herramientas para el desarrollo de esta aplicación.
- La arquitectura del horno facilitó el control que se necesita para alcanzar una temperatura deseada y mantenerla controlada asegurando la correcta cocción del producto.
- La cantidad de producto que se pretenda ahumar influye en el tiempo que se demora el horno para pasar de una temperatura a otra, esto se debe a la obstrucción que sufre el flujo de masas de aire caliente en el interior del horno.

- La implementación del controlador automático de temperatura emplea elementos de fácil adquisición en el mercado nacional.
  
- El controlador BTC-C21 en conjunto con la pantalla táctil HMI BrainChild forman un equipo robusto suficiente para el control y monitoreo de cualquier proceso. La pantalla HMI facilita el manejo y operación del controlador al proporcionar la ventaja de poder desplegar al usuario todas las características que éste presenta.
  
- Para el proceso de ahumado de carne se necesita únicamente dos etapas de cocción, ahumado en frío y ahumado en caliente. Este proyecto se ha realizado con tres etapas debido a que así lo requirió el cliente. El tercer tiempo se ha denominado “Proceso auxiliar” y se lo utiliza para alargar el tiempo de cocción si el usuario así lo dispone.
  
- El desarrollo de este proyecto ha sido realizado paso a paso para que las personas interesadas puedan entender la manera en que el controlador automático de temperatura ha sido construido y además sirve de guía para implementar aplicaciones con controladores y pantallas táctiles.
  
- En lo que corresponde a la filosofía de control, el sistema requiere ante todo eficiencia y sencillez, no tanto en la elaboración de la lógica de control, mas sí en su operación por parte del usuario.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Se debe respetar el esquema establecido en la etapa de diseño, puesto que éste se consideró como única opción debido a su sencillez y óptimas prestaciones.
- Las conexiones del suministro de gas deben ser realizadas por personas capacitadas para esa tarea. La falta de presión en el suministro de gas provoca un mal funcionamiento en el chispero y por lo tanto en el encendido del horno.
- Pese a que la pantalla táctil es resistente, se recomienda no utilizar objetos punzantes o de metal para operarla.
- Si quiere optimizarse la presentación del sistema y la interacción con el usuario, puede utilizarse pantallas a color en vez de las monocromáticas. Básicamente presentan las mismas características y herramientas, pero la resolución de los gráficos en la pantalla es superior. Esto además representa un alza en la inversión para la implementación de este sistema.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **INTERNET Y AYUDAS**

<http://www.promer.cl/getdoc.php?docid=662> , Introducción

<http://es.wikipedia.org/wiki/Horno>, Definiciones

[http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm), termocuplas

<http://www.brainchild.com.tw/> , Controlador BTC-C21

<http://customer.honeywell.com/techlit/PDF/68-0000s/68-0160.pdf>, Honeywell

<http://www.trcelectronics.com/Meanwell/dr-4524.shtml>, Fuente de Poder

<http://www.made-in-china.com/showroom/chinahapn/offer-detailGJmQuVtyunXN/Sell-Mini-Circuit-Breaker-C60N-.html>, Breakers

### **DOCUMENTOS**

ALCÍVAR y LA TORRE, Tesis: Construcción del Horno Industrial a gas de acero inoxidable.

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
Figura 1.1. Productos Cárnicos	1
Figura 1.2 .- Diagrama de flujo del principio de funcionamiento del sistema	6
Figura 1.3.- Diagrama de bloques del sistema de control	8
Figura 2.1.- Composición del horno industrial	11
Figura 2.2.- Caja del horno	14
Figura 2.3.- Base del horno	15
Figura 2.4.- Porta Carnes	16
Figura 2.5.- Caja de humo	17
Figura 3.1.- Diseño de la página inicial del interfaz	26
Figura 3.2.- Diseño de la página de RECETAS	27
Figura 3.3 .- Esquema para la página de las recetas	28
Figura 3.4.- Formato de la página de configuraciones de las recetas	29
Figura 3.5.- Vista exterior del armario para el tablero de control	30
Figura 3.6 .- Diseño de la ubicación de los elementos en el interior del armario	31
Figura 3.7.- Diagrama de conexiones	32
Figura 3.8.- Ubicación de los elementos dentro del armario	33
Figura 4.1.- Pantalla de inicio del software HMI studio	36
Figura 4.2.- Selección de tipo de pantalla	37
Figura 4.3 .- Selección del modelo de la pantalla	37
Figura 4.4 Pantalla principal del HMI Studio	38
Figura 4.5 .- Pantalla de Network Configuration	39
Figura 4.6.- Diseño para la primera pantalla	40
Figura 4.7.- Páginas de las recetas	42
Figura 4.8.- Páginas de usuario	43
Figura 4.9 .- Numpad para ingresar el número clave	45
Figura 4.10.- Información de la página	46
Figura 4.11.- Página de configuración de Pollo	47
Figura 4.12.- Contacto NO, operandos utilizables con rangos establecidos	50
Figura 4.13.- Contacto de flanco ascendente	51
Figura 4.14.- Timer	52
Figura 4.15.- Operador Sumador	52
Figura 4.16.- Operador de la resta	53
Figura 4.17.- Operador de la multiplicación	53

Figura 4.18.- Operador comparador	54
Figura 4.19.- Herramienta para mover registros	54
Figura 4.20.- Pantalla de Aplicación (Power-on and Global) Task-List	57
Figura 4.21.- Pantalla de lista de tareas (Task –list of Screen) poppollo	59
Figura 4.22.- Diagrama de Flujo del funcionamiento del ladder (Parte 1)	60
Figura 4.23.- Diagrama de Flujo del funcionamiento del ladder (Parte 2)	61
Figura 4.24.- Pantalla de Touch-Screen Task-List	61
Figura 5.1.- Controlador BTC-C21	64
Figura 5.2.- Diagrama de conexiones del C21	65
Figura 5.3.- HMI-601s	66
Figura 5.4.- Módulo de control de encendido	67
Figura 5.5.- Chispero	68
Figura 5.6.- Válvula controladora de gas	68
Figura 5.7.- Fuente de voltaje MEAN WELL	69
Figura 5.8.- Relé Releco Serie IR-C	69
Figura 5.9.- Ubicación de los orificios para HMI y BTC-C21	71
Figura 5.10.- Ubicación de las rieles	72
Figura 5.11.- Ubicación de las canaletas	73
Figura 5.12.- Ubicación del tablero dentro del armario	73
Figura 5.13.- Tablero de control completamente armado	74
Figura 5.14.- Comunicación entre el controlador y el HMI	75
Figura 5.15.- Fotografía de conexión establecida	75
Figura 5.16.- Conexión PC-HMI	76
Figura 5.17.- Conexión del Chispero	77
Figura 5.18.- Ubicación del Chispero	77
Figura 5.19.- Conexión de la Válvula de gas	78
Figura 6.1.- Menú de recetas del HMI	80
Figura 6.2.- Pantalla de la receta PERSONALIZADA	81
Figura 6.3 .- Gráfico de Temperatura VS. Tiempo del horno vacío y desempeño del Controlador	82
Figura 6.4.- Pantalla de receta de Pollo	82
Figura 6.5.- Gráfico de Temperatura VS. Tiempo de horno abastecido y desempeño del controlador	84
Figura 6.6.- Pantalla de Receta de chorizo	85
Figura 6.7.- Gráfico de Temperatura VS. Tiempo de horno abastecido y desempeño del controlador	86
Figura 6.8.- Pantalla de la receta de SALCHICHA	87
Figura 6.9.- Gráfico de Temperatura VS. Tiempo de horno abastecido y desempeño del controlador	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.- Dimensiones y capacidad del horno ahumador	17
Tabla 2.2.- Especificaciones de las partes que conforman el horno	18
Tabla 3.1.- Especificaciones del control de temperatura requerido Para el sistema	20
Tabla 3.2.- Especificaciones de la pantalla táctil	22
Tabla 3.3.- Especificaciones del dispositivo controlador de encendido y Válvula de paso	23
Tabla 3.4.- Especificaciones de la fuente de voltaje	23
Tabla 3.5.- Especificaciones de los relés requeridos en el sistema	24
Tabla 4.1.- Detalle de contactos y bobinas	54
Tabla 4.2.- Detalle de herramientas y registros	55
Tabla 6.1.- Tiempos y temperaturas de cocción para carne de pollo, Chorizo y salchicha.	80
Tabla 6.2.- Valores establecidos para la prueba con el horno vacío	81

**GLOSARIO**

<b>ANSI</b>	American National Standar Intitute ( Instituto Nacional Americano de Estándares)
<b>BLOWER</b>	Ventilador, instrumento utilizado para evacuar el humo del interior del horno y enfriarlo.
<b>BMP</b>	Bitmaps o mapa de Bits
<b>BRK1</b>	Breaker de protección 1
<b>BRK2</b>	Breaker de protección 2
<b>BTC</b>	Brainchild Temperature Controller (Controlador de temperatura Brainchild)
<b>CE</b>	Certificado de estándares y calidad entregado por la Comunidad Europea
<b>COM2</b>	Puerto de comunicación 2
<b>CSA</b>	Canadian standar Association (Asociación de estándares Canadiense)
<b>E/S</b>	Referente a entradas y salidas.
<b>GND</b>	Ground (Conexiones a tierra)
<b>HMI</b>	Human-Machine Interface (Interfaz humano-máquina)
<b>MCE</b>	Módulo controlador de encendido
<b>MV</b>	Main valve (válvula principal)
<b>NO</b>	Normally open (normalmente abierto)
<b>OP1</b>	Output 1 (salida 1)
<b>OP2</b>	Output 2 (salida 2)
<b>PF1</b>	Porta fusible 1
<b>PF2</b>	Porta fusible 2
<b>PF3</b>	Porta fusible 3
<b>PLC</b>	Programable Logical Controller (Controlador lógico programable)
<b>PS1</b>	Power supply 1 (fuente de poder 1)
<b>PV</b>	Pilot Valve (válvula piloto).
<b>T1</b>	Temperatura 1, correspondiente al ahumado en frío
<b>T2</b>	Temperatura 2, correspondiente al ahumado en caliente
<b>UL</b>	Underwriters Laboratories.
<b>VAC</b>	Voltaje en corriente alterna
<b>VCC</b>	Voltaje en corriente continua