



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

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

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN  
INGENIERÍA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN  
HORNO DE SECADO Y ENVEJECIDO DE ARROZ PARA LA  
PROCESADORA DE PROYELEC INGENIERÍAS. FASE II.**

**JORGE ICAZA**

**PAOLA TOBAR**

**SANGOLQUÍ – ECUADOR**

**2012**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente proyecto titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN HORNO DE SECADO Y ENVEJECIDO DE ARROZ PARA LA PROCESADORA DE PROYELEC INGENIERÍAS. FASE II.**

Fue desarrollado en su totalidad por el señor Jorge Esteban Icaza Saa y la señorita Paola Estefanía Tobar Jácome, como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero, bajo nuestra dirección.

---

Ing. Paul Ayala  
DIRECTOR

---

Ing. Diego Morillo  
CODIRECTOR

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos expresar nuestro agradecimiento a nuestros padres, hermanos y amigos; que son los que en todo momento de nuestras vidas han sabido apoyarnos y alentarnos a seguir recorriendo el camino no solo estudiantil sino personal.

También agradecemos a todos los profesores que con su valioso desempeño docente nos han sabido transmitir los conocimientos que hoy en día hacen posible la culminación de esta etapa de nuestras vidas.

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a todas las futuras generaciones, para impulsar en ellas un espíritu de superación, de ser cada vez mejores profesionales y sobre todo mejores personas.

## **PRÓLOGO**

Uno de los principales componentes en la dieta de todos los ecuatorianos, es el consumo de arroz, ya que está al alcance de casi todos, es rico nutricionalmente, y se lo consume en todas las regiones del país.

En el mercado arrocero ecuatoriano existen variedades de arroz que se ofrecen de acuerdo a los gustos y necesidades de los consumidores. Una de estas es el arroz envejecido ofrecido principalmente en la sierra, ya que debido a las condiciones climáticas y atmosféricas sumado a sus costumbres culinarias, esta zona del país necesita granos más secos para que al cocinar el arroz, este quede más graneado que es lo que le gusta al consumidor de la sierra ecuatoriana y que no logra conseguirlo con los arroces frescos.

Por lo citado anteriormente este proyecto se dirige al diseño y automatización del horno de la procesadora de Proyelec Ingenierías, cuya meta es producir el tipo de arroz que la población de la sierra demanda.

# ÍNDICE GENERAL

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....                                                    | <b>1</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                                  | <b>1</b>  |
| 1.1.    Tipos de arroz en el Ecuador .....                                 | 1         |
| 1.2.    Secado Natural del Arroz .....                                     | 6         |
| 1.3.    Envejecido natural del arroz.....                                  | 7         |
| 1.4.    Métodos Artificiales de envejecimiento y secado de arroz.....      | 9         |
| 1.4.2.    Método artificial de envejecido.....                             | 13        |
| <b>CAPITULO 2</b> .....                                                    | <b>16</b> |
| <b>Levantamiento de Información</b> .....                                  | <b>16</b> |
| 2.1.    Situación actual de la planta .....                                | 16        |
| 2.1.1.    Diagrama mecánico .....                                          | 19        |
| 2.2.    Reconocimiento de las variables del sistema .....                  | 20        |
| 2.2.1.    Variables del proceso de temperatura .....                       | 21        |
| 2.3.    Identificación de los factores que intervienen en el sistema ..... | 22        |
| 2.3.1.    Humedad .....                                                    | 22        |
| 2.3.2.    Temperatura .....                                                | 23        |
| 2.4.    Solución a posibles fallos del sistema.....                        | 23        |
| <b>CAPITULO 3</b> .....                                                    | <b>25</b> |
| <b>Instrumentación</b> .....                                               | <b>25</b> |
| 3.1.    Equipo Mecánico .....                                              | 25        |
| 3.1.1.    Blower .....                                                     | 25        |
| 3.1.2.    Quemador .....                                                   | 26        |
| 3.2.    Instrumentación para el control de temperatura.....                | 26        |

|        |                                                           |    |
|--------|-----------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1. | Formulación y selección de alternativas .....             | 26 |
| 3.2.2. | Transmisor de Temperatura.....                            | 27 |
| 3.2.3. | Diagrama de conexión .....                                | 28 |
| 3.3.   | Instrumentación para el control de llama .....            | 28 |
| 3.4.   | Motor DC y relés .....                                    | 29 |
| 3.4.1. | Formulación y selección de alternativas .....             | 29 |
| 3.4.2. | Diagrama de conexión .....                                | 31 |
| 3.5.   | Variador de frecuencia .....                              | 32 |
| 3.5.1. | Formulación y selección de alternativas .....             | 32 |
| 3.5.2. | Diagrama de conexión .....                                | 33 |
| 3.6.   | Relés para el quemador.....                               | 34 |
| 3.6.1. | Formulación y selección de alternativas .....             | 34 |
| 3.6.2. | Diagrama de conexión .....                                | 35 |
| 3.7.   | Controlador .....                                         | 36 |
| 3.7.1. | Formulación y selección de alternativas .....             | 36 |
| 3.7.2. | Diagrama de conexión .....                                | 38 |
| 3.8.   | Fuente de alimentación 24 VDC .....                       | 38 |
| 3.9.   | Switchs, pulsadores y luces .....                         | 39 |
| 3.9.1. | Switch para alimentación tablero de control.....          | 39 |
| 3.9.2. | Switch para modo automático y manual. ....                | 40 |
| 3.9.3. | Pulsador de paro de Emergencia.....                       | 40 |
| 3.9.4. | Luz piloto monoblock alimentación tablero de control..... | 41 |
| 3.9.5. | Luz piloto monoblock (proceso ventilación) .....          | 42 |
| 3.9.6. | Luz piloto monoblock (encendido llama) .....              | 43 |
| 3.9.7. | Luz piloto monoblock (encendido blower) .....             | 43 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 3.9.8. Baliza .....                                        | 44 |
| 3.9.8.1. Formulación y selección de alternativas .....     | 44 |
| 3.9.8.2. Diagrama de conexión .....                        | 45 |
| 3.10. Protecciones .....                                   | 46 |
| 3.10.1. Blower 10HP y Variador de frecuencia .....         | 46 |
| 3.10.1.1. Cálculo .....                                    | 46 |
| 3.10.1.2. Selección de alternativas.....                   | 46 |
| 3.10.2. Motores DC y relés. ....                           | 48 |
| 3.10.2.1. Cálculo .....                                    | 48 |
| 3.10.2.2. Selección de alternativas.....                   | 48 |
| 3.10.3. Quemador y baliza .....                            | 49 |
| 3.10.3.1. Cálculo .....                                    | 49 |
| 3.10.3.2. Selección de alternativas.....                   | 49 |
| 3.10.4. Controlador .....                                  | 51 |
| 3.10.4.1. Cálculo .....                                    | 51 |
| 3.10.4.2. Selección de alternativas.....                   | 52 |
| 3.12. Características del ordenador .....                  | 53 |
| 3.13. Diseño del tablero de control .....                  | 54 |
| 3.13.1. Dimensiones .....                                  | 54 |
| 3.13.2. Cara externa del tablero.....                      | 55 |
| 3.13.3. Cara interna del tablero .....                     | 56 |
| 3.14. Ubicación de sensores y actuadores en la planta..... | 61 |
| 3.14.1. Ubicación de sensores en la planta .....           | 61 |
| 3.14.2. Ubicación de actuadores en la planta .....         | 62 |
| 3.15. Diagrama P&ID .....                                  | 63 |

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO 4</b> .....                                                   | <b>65</b> |
| <b>IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL</b> .....                                   | <b>65</b> |
| 4.1. Sistema de control de temperatura .....                              | 65        |
| 4.1.1. Identificación de la planta.....                                   | 66        |
| 4.1.2. Control On/Off secado .....                                        | 67        |
| 4.1.3. Control On/Off envejecido.....                                     | 69        |
| <b>CAPÍTULO 5</b> .....                                                   | <b>72</b> |
| <b>PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR Y VARIADOR</b> .....                      | <b>72</b> |
| 5.1. Programación del controlador .....                                   | 72        |
| 5.1.1. Diagramas de flujo .....                                           | 73        |
| 5.1.2. Programación en Ladder.....                                        | 79        |
| 5.1.3. Tabla de Tags .....                                                | 89        |
| 5.2. Configuración del Variador.....                                      | 91        |
| <b>CAPITULO VI</b> .....                                                  | <b>95</b> |
| <b>Interfaz HMI</b> .....                                                 | <b>95</b> |
| 6.1. Diseño de la arquitectura del sistema .....                          | 95        |
| 6.1.1. Configuración de links para la comunicación PLC - Computador ..... | 98        |
| 6.1.2. Configuración del Servidor KEPDirect .....                         | 100       |
| 6.2. Comunicación DDE.....                                                | 101       |
| 6.3. Navegabilidad .....                                                  | 103       |
| 6.4. Desarrollo de La interfaz Grafica (HMI).....                         | 105       |
| 6.4.1. Principios básicos de diseño.....                                  | 105       |
| 6.4.2. Posición de indicadores y mandos.....                              | 108       |
| 6.4.3. Descripción de las ventanas del proceso y sus funciones .....      | 110       |
| 6.4.3.1. Ventana de Inicio .....                                          | 110       |

|                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------|------------|
| 6.4.3.2. Ventana Configuración de usuario .....                | 111        |
| 6.4.3.3. Ventana de Registro de Usuario .....                  | 113        |
| 6.4.3.4. Ventana Principal .....                               | 114        |
| 6.4.3.5. Ventana proceso de Secado .....                       | 115        |
| 6.4.3.6. Ventana de Configuración.....                         | 116        |
| 6.4.3.7. Ventana Marcha.....                                   | 117        |
| 6.4.3.8. Ventana de Ingeniería.....                            | 119        |
| 6.4.3.9. Ventana de alarmas .....                              | 120        |
| 6.4.3.10. Ventana de Históricos .....                          | 120        |
| 6.4.3.11. Ventana de advertencia de Inicio .....               | 121        |
| 6.4.3.12. Ventana de advertencia de fin del proceso .....      | 121        |
| 6.4.3.13. Ventana de advertencia de parada de emergencia ..... | 122        |
| 6.4.3.14. Ventana de advertencia del Quemador .....            | 122        |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>                                      | <b>123</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>                                   | <b>125</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                         | <b>126</b> |

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Tipos de arroz en el Ecuador

En el país existen diferentes variedades de grano de arroz que se siembran en las distintas zonas productoras de arroz. La materia prima, el arroz en cáscara es la base para producir todas las calidades de arroz procesado. Debe tener máximo 12% de humedad y 0% de impurezas, para poder procesarlo, separar la cáscara y pulirlo.

Existe un organismo regulador de semillas y el encargado de las investigaciones sobre el arroz en el Ecuador es el INIAP<sup>1</sup>, el cual desarrolla el trabajo de investigar la obtención de variedades de arroz que actualmente es utilizado por los agricultores, y lo clasifica de la siguiente manera:

---

<sup>1</sup>Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias

- **Por la longitud**

- ❖ Grano Extra Largo. Son aquellas que presentan una longitud mayor que 7,5 milímetros.
- ❖ Grano Largo. Son aquellas que presentan una longitud entre 7,5 milímetros y 6,6 milímetros.

Su tiempo de cocción es menor que el de grano medio, y queda suelto y entero.



**Figura 1.1. Grano Largo**

- ❖ Grano Mediano. Son aquellas que presentan una longitud entre 6 milímetros y 5,2 milímetros.

Es el de mayor consumo. Tarda más en cocer que el grano redondo, pero queda entero y suelto.



**Figura 1.2. Grano Mediano**

- ❖ Grano Corto. Son aquellas que presentan una longitud menor de 5,2 milímetros.



**Figura 1.3. Grano Corto**

El grano de arroz presenta diferentes capas de protección como lo son la cascarilla o cascara la cual mantiene al grano en una condición de impermeabilidad, además de poco contacto con el que pueda provocar la degradación de los componentes internos.

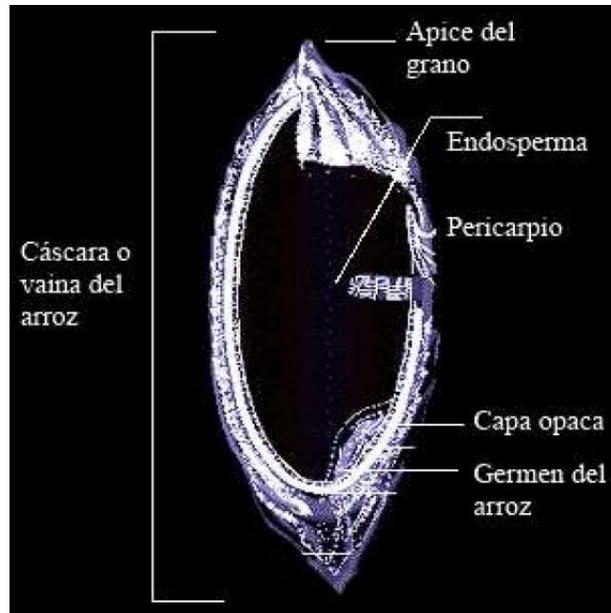


Figura 1.4. Estructura del grano de arroz

El 72% del grano está representado por el endosperma, el 20% es cascara y el restante 8% es el pericarpio.

En el proceso de pilado se obtiene dos clases de arroz dependiendo lo que quiera el consumidor: el arroz pulido o blanqueado al que se le denomina arroz blanco y el arroz integral o descascarado.

- **Arroz Blanco**

Se denomina así puesto que se le ha retirado la capa exterior de la endosperma en donde se encuentra localizado el pericarpio.

Este tipo de arroz no es tan nutritivo porque la mayor parte de vitaminas y proteínas se encuentran en la capa externa.

Casi en totalidad los consumidores prefieren este tipo de arroz por la mejor apariencia y, por brindar más tiempo de almacenamiento y fácil cocción.



**Figura 1.5. Arroz Blanco**

- **Arroz Integral**

Se denomina así puesto que solamente se le ha retirado la cáscara al gránulo de arroz mediante rodillos, sin perder la capa exterior.

A pesar de que posee todos sus componentes nutricionales, su consumo no es tan bueno, puesto que el grano es duro y se requiere lavarlo varias veces por las impurezas que puede contener.



**Figura 1.6. Arroz Integral**

- **Arroz Parbolizado.**

También conocido como arroz precocido. Este tipo de arroz tiene un distinto proceso de producción, el cual se lo realiza antes de pilar el grano de arroz. Este proceso consiste en precocer el grano que aun está en cáscara a través de agua y vapor, logrando tener un grano de mayor tamaño y con menor porcentaje de granos partidos.

Se lo puede reconocer por su color amarillento y un pequeño aroma propio de este tipo de arroz que tiene al cocinarlo.



**Figura 1.7. Arroz Parboiled**

## **1.2. Secado Natural del Arroz**

**Secado Solar en Tendales.** El método de secar arroz en tendales es el más común y utilizado en piladoras industriales, donde ahí el arroz es depositado, y luego es esparcido en todo el tendal (piso de concreto generalmente de menos de 0,10 m de espesor) mediante la utilización de rastrillos.

Cada cierto tiempo el arroz es volteado para permitir que los rayos solares sequen el arroz.



**Figura 1.8. Secado Solar en Tendales**

El proceso de secar al sol consiste en el intercambio de energía y de humedad, entre el aire y el grano, es decir; existe transferencia de masa entre la humedad del producto y el aire que circula en el ambiente. El movimiento constante del aire debido al viento hace que atrape a la humedad que tiene el grano y de esta manera disminuya, así también la energía solar es absorbida por los granos de arroz logrando de esta manera acelerar el movimiento de la humedad, desde el interior de la cascara hacia la superficie de los granos.

### **1.3. Envejecido natural del arroz**

El método de envejecido consiste en almacenar el arroz en cascara o pilado, en bodegas o silos durante por lo menos 6 o 7 meses. Durante este tiempo el arroz adquiere ciertas características.

Este proceso se lo realiza en arroz pilado fresco, logrando disminuir su porcentaje de humedad a menos de un diez por ciento.



**Figura 1.9. Almacenado del grano en cascara**

**Almacenamiento del arroz.** Un punto importante que se debe considerar en los procesos de secado y envejecido de arroz es el almacenamiento del mismo puesto que durante el almacenamiento del arroz en cascara suceden muchos cambios producidos por factores que inciden negativamente en este cereal, uno de los principales es el exceso de humedad. Una humedad excesiva favorece el crecimiento de hongos y bacterias, provocando la aparición de paracitos.

Si la humedad es relativamente alta a niveles del 15% o más el grano pierde almidón y azúcares.

El Factor de humedad es de mucha importancia a tomar en cuenta, y esta puede aumentar por factores externos como infiltración en paredes, caídas repentinas de temperaturas ocasionando una condensación, y por el metabolismo propio de insectos, hongos.

#### 1.4. Métodos Artificiales de envejecimiento y secado de arroz

Las principales desventajas que presentan los métodos artesanales de producción del arroz son:

- Método secado natural: se debe utilizar en las épocas del año en que no hay lluvias, puesto que no permiten que se lleve a cabo este proceso por la ausencia del sol.
- Método envejecido natural: está en los costos que se tiene que asumir, los costos de alquiler de bodegas o lugar de almacenamiento, luego los costos de mantenimiento para conservar el grano libre de plagas.

La industria arrocera al tener presente estos problemas en los métodos artesanales y observaban que no lograban niveles satisfactorios de producción, apostaron a los métodos artificiales de envejecimiento y secado donde obtenían grandes ventajas:

- Producto de gran calidad.
- Periodo de envejecimiento y secado corto, por tanto la rentabilidad es mayor y a corto plazo.
- Se puede manejar y controlar minuciosamente los factores de: % de humedad, % de granos partidos.
- No depende de los factores climáticos.

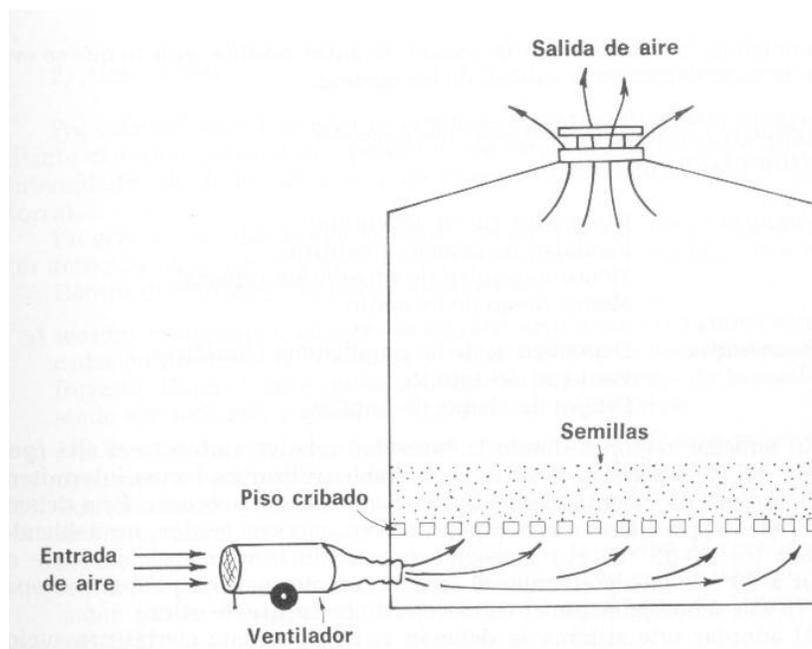
### 1.4.1. Método artificial de secado

Por este método el grano es colocado en secaderos y sometidos a una corriente forzada y controlada de aire.

#### 1.4.1.1. Aire Natural

En algunos casos, la extracción de la humedad del grano es efectuada mediante la circulación forzada de aire a temperatura natural con la intervención de ventiladores.

Las construcciones y el equipo más sencillo para este tipo de secado consisten en un depósito que puede ser un galpón, silo, etc., un ventilador (eléctrico o combustible) y un sistema de conductos, para distribuir el aire. [1]



**Figura 1.10. Depósito con dispositivo para secado de granos con aire a temperatura ambiental**

El depósito debe soportar la presión de los granos almacenados y sin aberturas que permitan la penetración de humedad.

Se debe tener muy en cuenta que el tiempo de secado tiene un límite por sobre el cual existen peligro de desarrollo de microorganismos indeseables.

Desventajas:

- Dependencia de las condiciones climáticas.
- Lentitud del secado
- Peligro de ataque de hongos

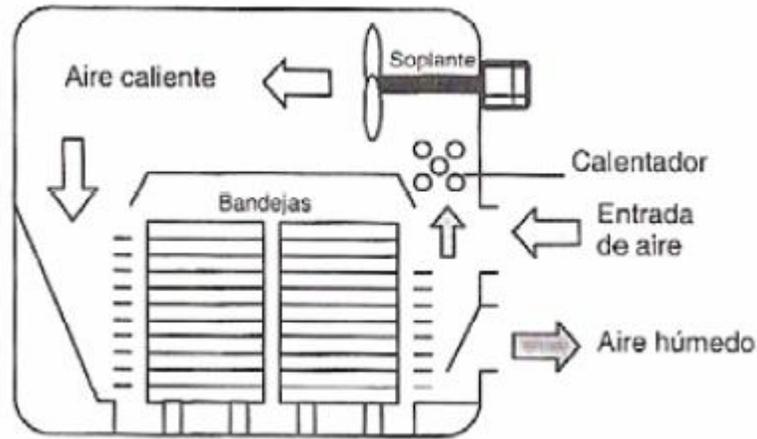
En aquellas regiones donde la humedad relativa ambiente es alta (por encima de 70%) algunas veces es aconsejable utilizar en forma intermitente un sistema de calentamiento del aire sin mucha potencia. Esta deberá ser suficiente para elevar la temperatura unos pocos grados, no debiendo exceder los 30-32 °C. Por consiguiente cuando la humedad ambiente es menor al 70% se puede efectuar el secado con aire natural pero si se sobrepasa el 75% es aconsejable poner en marcha dicha fuente de calor. [2].

#### **1.4.1.2. Aire caliente**

Por este método el grano es expuesto a corrientes de aire caliente mediante distintos sistemas que permiten regular en forma eficiente diferentes intensidades de flujo del aire y de temperaturas (ventiladores y calefactores). Dentro de este método se puede disponer de:

- Secadores por carga. Los granos son colocados en un depósito o cámara y expuestos a la acción del aire caliente forzado. Cuando

los granos alcanzaron el porcentaje de humedad deseado son retirados y reemplazados por una nueva tanda.



**Figura 1.11. Secado por carga**

- Secadores de movimiento continuo. Los granos se mueven continuamente en dirección vertical, horizontal o inclinada, pero en sentido contrario al del aire caliente. Es decir que las semillas más secas se enfrentan al aire más caliente y más seco, mientras que los granos más húmedos se enfrentan al aire más tibio y más cargado de humedad.

Cuando se seca el grano con aire caliente se debe tener en cuenta que su sistema de enzimas es muy sensible a las altas temperaturas cuando esta posee porcentajes altos de humedad. A medida que el grano pierde agua, las enzimas se presentan cada vez más estables y en consecuencia menos expuestas a ser dañadas por el calor.

Desventajas:

- Costo inicial elevado
- Supervisión controlada.
- Mayor riesgo de incendio
- Mayor posibilidad de secado excesivo

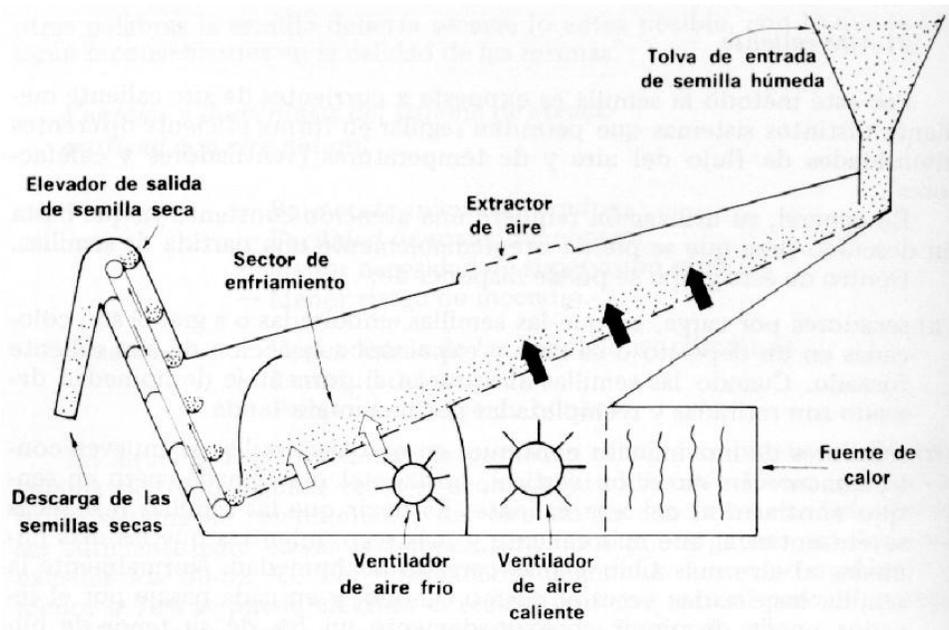


Figura 1.12. Secador continuo de aire tipo cascada.

#### 1.4.2. Método artificial de envejecido

El arroz envejecido artificialmente tiene similares características que el arroz envejecido natural o guardado; ya que mediante su proceso de producción que consiste en disminuir la humedad o secar los granos de arroces frescos, que es lo que sucede en el envejecimiento natural, ya que al guardar el arroz durante tanto tiempo, los granos pierden o disminuyen su humedad y se vuelven más secos. Mediante ambos procesos de envejecimiento se logra transformar la amilasa que es el almidón que tiene el grano del arroz y que determina la

gelatinización del arroz cocinado, en amilo pectina que son los carbohidratos pero modificados de tal manera que permita absorber mayor cantidad de agua y por ende mayor rendimiento de arroz cocido.

El proceso de envejecimiento artificial de arroz consiste en someter al arroz fresco a calor mediante hornos, se logra deshidratar el grano del arroz disminuyendo su humedad a menos de un 10%, lo cual se consigue también guardando el arroz fresco durante varios meses como se hace para envejecimiento natural; pero al final ambos procesos tienen los mismos resultados.

Como el proceso se lo realiza sobre arroz pilado, la calidad final del producto (granos partidos e impurezas) dependerá del tipo y calidad de arroz que se utilice en el proceso, ya que el único cambio que sufre el arroz se refleja en la humedad del grano y en su color crema ó amarillo que toma.

### 1.4.3 Materia prima

El arroz pilado fresco que se compra para la producción de arroz envejecido artificial debe tener un porcentaje de humedad menor a un 11%, ya que con una humedad mayor esta, el arroz se tostará al momento de secarlo con los hornos, debido que el proceso busca secar aun más el arroz. La humedad del grano es la que determina las pérdidas en la producción.



**Figura 1.13. Arroz blanco o pilado**

#### 1.4.4 Proceso en hornos

El horno debe mantener una temperatura de 70 grados centígrados por 12 horas ó más.

Se debe comprobar cada cierto tiempo el estado del producto; por lo cual el proceso puede durar más o menos tiempo, dependiendo de la humedad del grano, pero la calidad final del producto debe ser homogénea. Una vez que termina el proceso, se procederá a abrir la puerta del horno para que se enfríe y poder retirar el producto final.

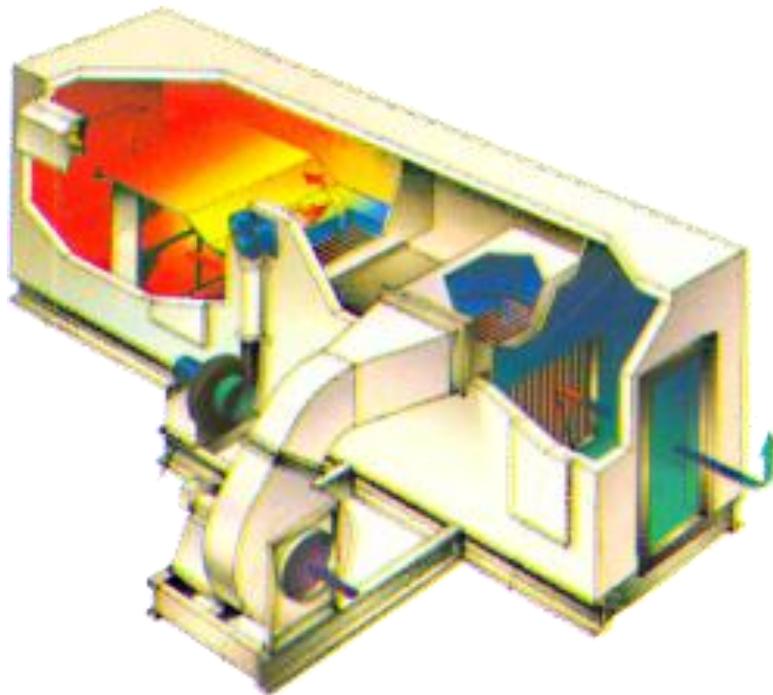


Figura 1.14. Proceso en hornos

## CAPITULO 2

### Levantamiento de Información

#### 2.1. Situación actual de la planta

La procesadora de Proyelec Ingenierías actualmente ha pasado la etapa de la construcción de su infraestructura y a empezado la etapa de ensamblaje y adquisición de los equipos referentes al horno de secado y envejecido de arroz.

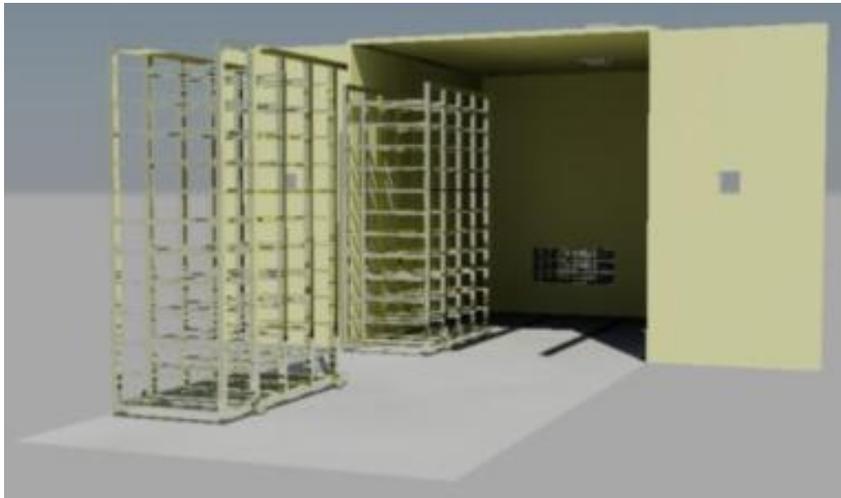
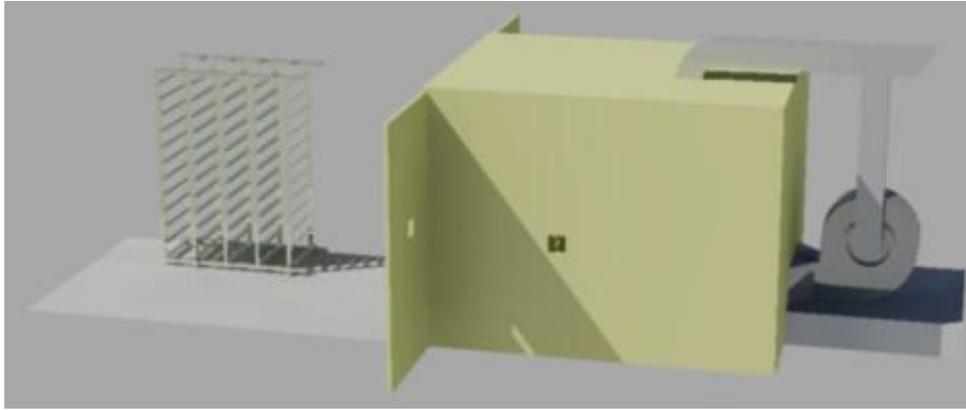
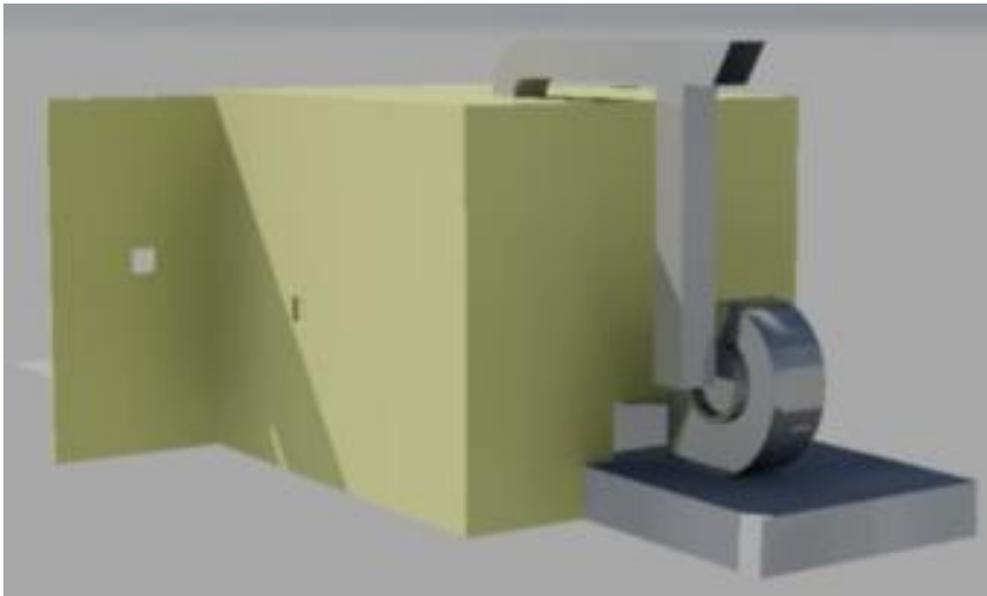


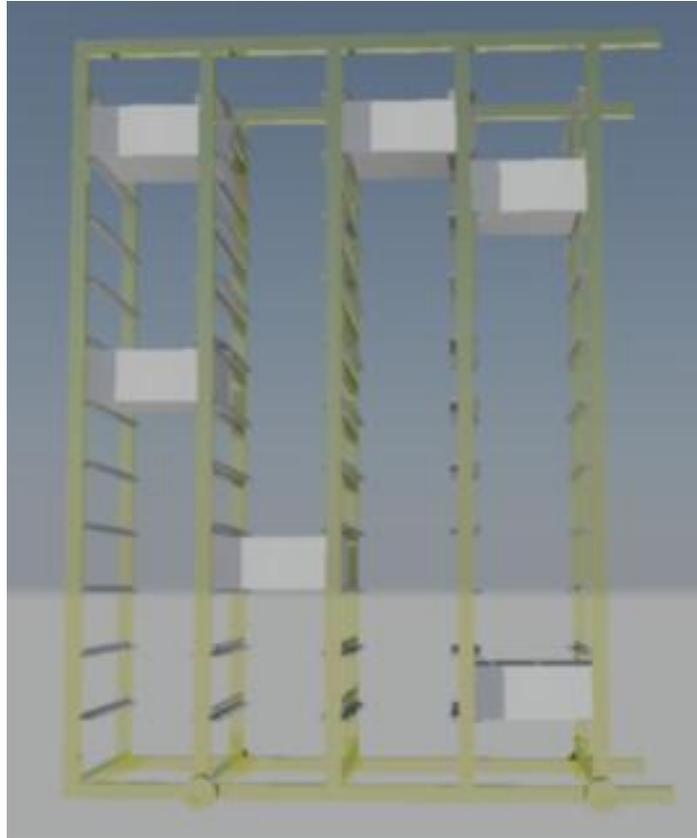
Figura 2.1. Vista frontal del Horno



**Figura 2.2. Vista lateral del Horno**



**Figura 2.3. Vista Trasera del Horno**



**Figura 2.4. Vista frontal del contenedor de bandejas y las bandejas**

Una vez finalizado estas etapas el objetivo a cumplir de la empresa es ingresar de manera exitosa en el mercado de distribución de arroz en la sierra.

### 2.1.1. Diagrama mecánico

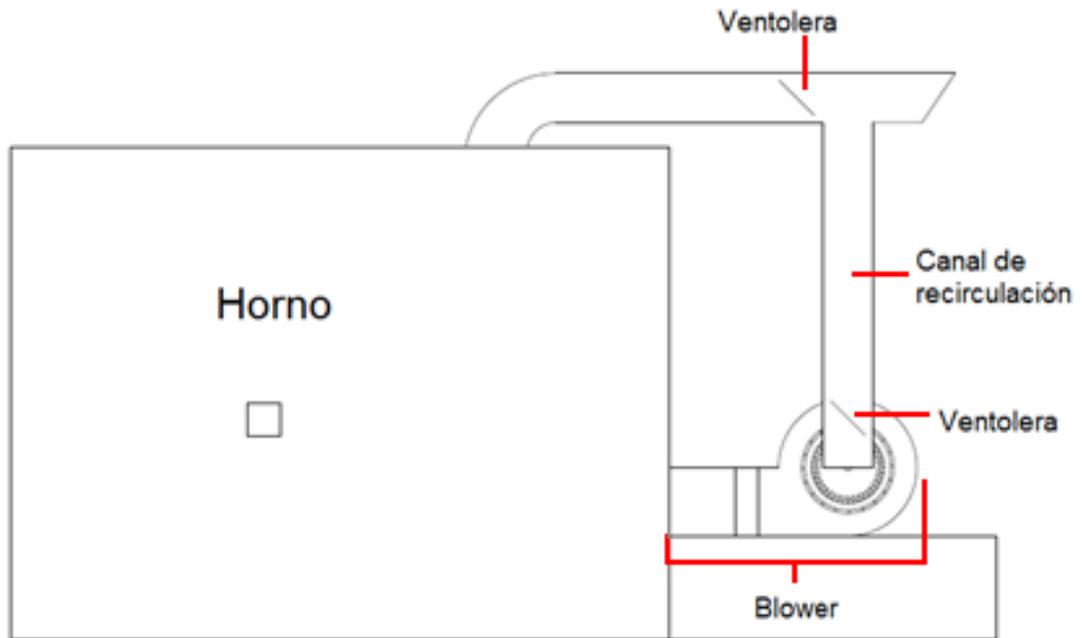


Figura 2.5. Diagrama mecánico del horno

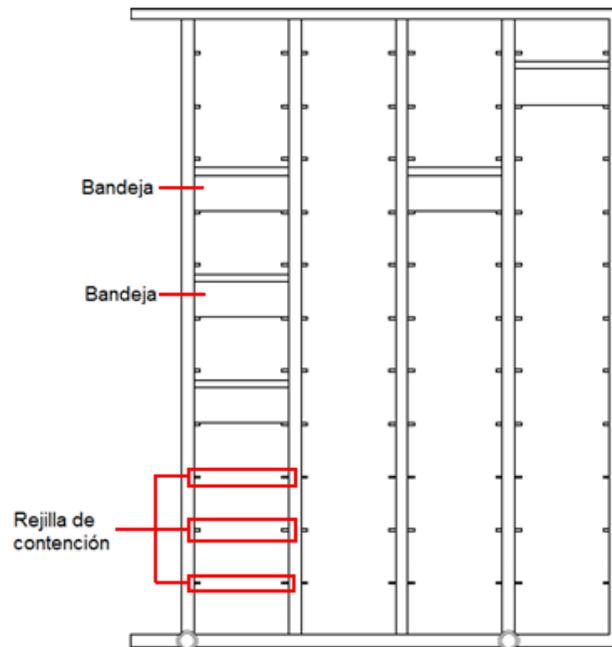


Figura 2.6. Diagrama de contenedor de bandejas

## **Horno**

Dentro del horno se colocara un sensor de temperatura para poder controlar la variación de temperatura que existirá dentro del mismo.

## **Blower (Ventilador centrífugo)**

Este dispositivo se encuentra acoplado mecánicamente un motor AC trifásico el cual mediante la frecuencia se puede realizar un control de velocidad para el ingreso de flujo de aire caliente y frío.

## **Ventoleras**

Estos dispositivos se acoplaran motores DC con caja reductora para controlar la apertura y cerrado total de las ventoleras.

## **Electroválvula**

Este dispositivo ayudara el paso/obstrucción del gas.

## **2.2. Reconocimiento de las variables del sistema**

En base a la fase I del proyecto (diseño de un horno automático de secado y envejecido de arroz para la Procesadora de Proyelec Ingenierías) el reconocimiento de las variables se analiza en base al diseño de temperatura.

Este sistema es SISO (Única salida Única entrada).

### 2.2.1. Variables del proceso de temperatura

Para determinar el proceso se debe identificar la entrada; en este caso es el sensor de temperatura, luego la acción de control que se realiza es el encender o apagar el quemador, lo cual se logra manipulando el paso o no de gas, es decir; la apertura o cierre de la electroválvula.

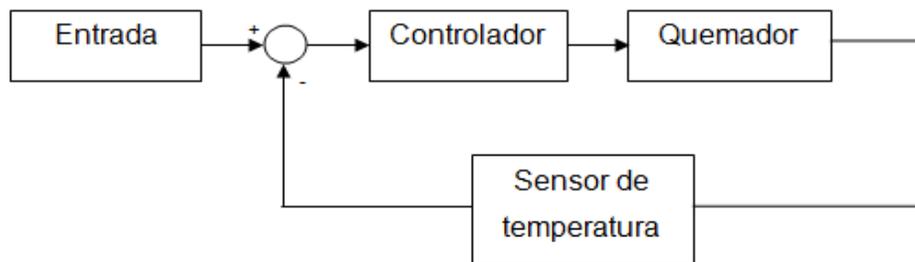
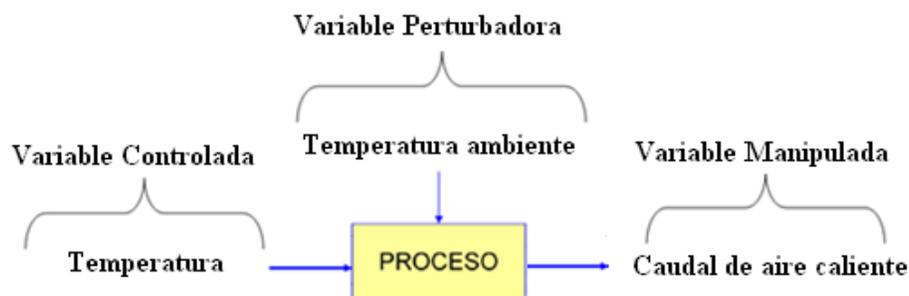


Figura 2.7. Diagrama de bloques del control de temperatura

Las variables que intervienen en este sistema son:

- **Variable Controlada:** Temperatura
- **Variable Manipulada:** Paso de gas
- **Variable Perturbadora:** Temperatura ambiente [3]



Figuran 2.8. Diagrama general de las variables del proceso de temperatura

## 2.3. Identificación de los factores que intervienen en el sistema

### 2.3.1. Humedad

La siguiente tabla muestra los valores de humedad permitida para que con proceso ya sea tanto de secado como de envejecido se consiga un producto final de alta calidad.

| % de Humedad del grano           | Proceso artificial |
|----------------------------------|--------------------|
| 22 y 20 %RH tolerancia $\pm 1\%$ | Secado             |
| 16 y 14 %RH tolerancia $\pm 1\%$ | Envejecido         |

**Tabla 2.1. Rangos de humedad que puede operar cada proceso[4]**

En la siguiente tabla se muestra los valores de %RH del grano y proceso biológico si se sobrepasa los valores establecidos.

| % de Humedad   | Proceso biológico                                                 |
|----------------|-------------------------------------------------------------------|
| Superior a 60% | La semilla puede germinar según el tipo.                          |
| Entre 35 – 60% | Existe gran peligro de desarrollo de microorganismos y de ardido. |

**Tabla 2.2. Procesos biológicos que suceden en un grano de acuerdo con su porcentaje de humedad [4]**

### 2.3.2. Temperatura

| Proceso              | Temperatura |
|----------------------|-------------|
| Secado del grano     | 40 - 50 °C  |
| Envejecido del grano | 70 – 80 °C  |

**Tabla 2.3 Rangos de Temperatura que puede operar cada proceso**

|            |                   |
|------------|-------------------|
| Ventoleras | Apertura completa |
|            | Cerrado completo  |

**Tabla 2.4. Rango de trabajo de las ventoleras**

|                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| Electroválvula | Paso completo de GLP        |
|                | Obstrucción completa de GLP |

**Tabla 2.5. Rango de trabajo de la electroválvula**

### 2.4. Solución a posibles fallos del sistema

- Si existe un fallo en el sensor de temperatura, ya sea por desconexión o sufrió un desperfecto el sistema se apagara completamente puesto que en el peor de los casos el sensor muestre valores bajos de temperatura erróneos y dentro del horno existe una temperatura alta podría causar el incendio del arroz.
- Si existe algún error en las mediciones de temperatura con el PT100 en la planta se encuentra un indicador analógico que permite visualizar los

valores de dicha variable para que de esta manera el operador se pueda dar cuenta si existe algún fallo en la medición.

- Si la posición de la válvula manual fuera cerrada ligeramente, entonces un flujo menor de gas afectaría al sistema, haciendo que el proceso descienda. Este es un cambio bajo demanda, y para restaurar el balance, la válvula manual deberá ser colocada correctamente para proveer el ingreso efectivo de gas hacia el quemador.
- Si la temperatura del horno bajara bruscamente, la cantidad de gas que existe no es la necesaria, esto ocasiona que la llama disminuya. Para restaurar el sistema se debe suministrar de la cantidad de gas requerida.

## CAPITULO 3

### Instrumentación

#### 3.1. Equipo Mecánico

##### 3.1.1. Blower

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| Fabricante          | Induhorst    |
| Modelo              | NVR17094 - 2 |
| Voltaje (3 $\phi$ ) | 220/440 V    |
| Corriente           | 42/21 A      |
| Potencia KW         | 7,5          |
| Potencia HP         | 10           |
| R.p.m               | 1730         |
| Factor de potencia  | 0,97         |
| Disponibilidad      | 5 Días       |
| Servicio técnico    | Si           |
| Precio              | 1350,00      |

Tabla. 3.1. Especificaciones técnicas del Blower

### 3.1.2. Quemador

|                  |                      |
|------------------|----------------------|
| Fabricante       | Induhorst            |
| Modelo           | QG - 1               |
| Serie            | 1008726              |
| Voltaje          | 110 V                |
| Corriente        | 10 A                 |
| Capacidad        | 3 - 12 Kg/h          |
| Valor térmico    | 150,000 -<br>600,000 |
| Disponibilidad   | 5 Días               |
| Servicio técnico | Si                   |
| Precio           | 2150,00              |

Tabla. 3.2. Especificaciones técnicas del Quemador

## 3.2. Instrumentación para el control de temperatura

### 3.2.1. Formulación y selección de alternativas

El sensor de temperatura a utilizarse es un PT100.

| Fabricante                     | Honeywell        | West             | Siemens          |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Modelo                         | T7411A           | Form B           | 7mc1006-2da11    |
| Cabezal                        | Si               | Si               | Si               |
| Rosca                          | 1/4"             | 1/4"             | 1/2"             |
| Tubo                           | Acero inoxidable | Acero inoxidable | Acero inoxidable |
| Rango de medida                | -40 - 80°C       | -200 - 850°C     | -150 - 400°C     |
| Hilos                          | 2                | 2 y 3            | 3                |
| Tiempo de respuesta            | 45 seg.          | 60 seg.          | 2 min            |
| Temperatura de trabajo cabezal | 70 °C            | 120 °C           | 120 °C           |
| Disponibilidad                 | 30 días          | 1 hora           | 2 días           |
| Precio                         | 120,00           | 80,00            | 110,00           |

Tabla. 3.3. Alternativas del sensor de temperatura

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.3 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad y costo; sin olvidar el cumplimiento de las especificaciones. Su hoja técnica que encuentra en el anexo 6.

### 3.2.2. Transmisor de Temperatura

Debido a que el PT100 nos entrega señales de resistencia, es necesario incorporar un transmisor, que nos otorgue a su salida una señal en el rango de 0 – 10 V. A continuación se presentan las opciones.

|                          |                                               |               |                                 |
|--------------------------|-----------------------------------------------|---------------|---------------------------------|
| Fabricante               | JM Industrial                                 | Electrotherm  | Automation Direct               |
| Modelo                   | SZ109REG2                                     | LKM 214       | 884501                          |
| Voltaje                  | 9 – 40 VDC                                    | 24 VDC        | 110 VAC                         |
| Corriente                | 20 mA                                         | 20 mA         | 50 mA                           |
| Entrada                  | mA, voltaje, Pt100, termocupla, potenciómetro | Pt100, Pt1000 | mA, voltaje, Pt100, termocupla. |
| Canales de entrada       | 2                                             | 1             | 1                               |
| Canales de salida        | 2                                             | 1             | 1                               |
| Salida                   | 0 – 20 mA, 4- 20 mA, 0-10 V                   | 0-10 V        | 4- 20 mA, 0-10 V                |
| Montaje                  | Rial Din                                      | Rial Din      | Rial Din                        |
| Temperatura de operación | -10 – 60 °C                                   | -25 – 85 °C   | -20 – 60 °C                     |
| Servicio Técnico         | No                                            | No            | No                              |
| Disponibilidad           | 15 días                                       | 15 días       | 15 días                         |
| Precio                   | 400,00                                        | 280,00        | 245,00                          |

**Tabla. 3.4. Alternativas del transmisor de temperatura**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.4 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad y costo;

sin olvidar el cumplimiento de las especificaciones. Su hoja técnica que encuentra en el anexo 6.

### 3.2.3. Diagrama de conexión

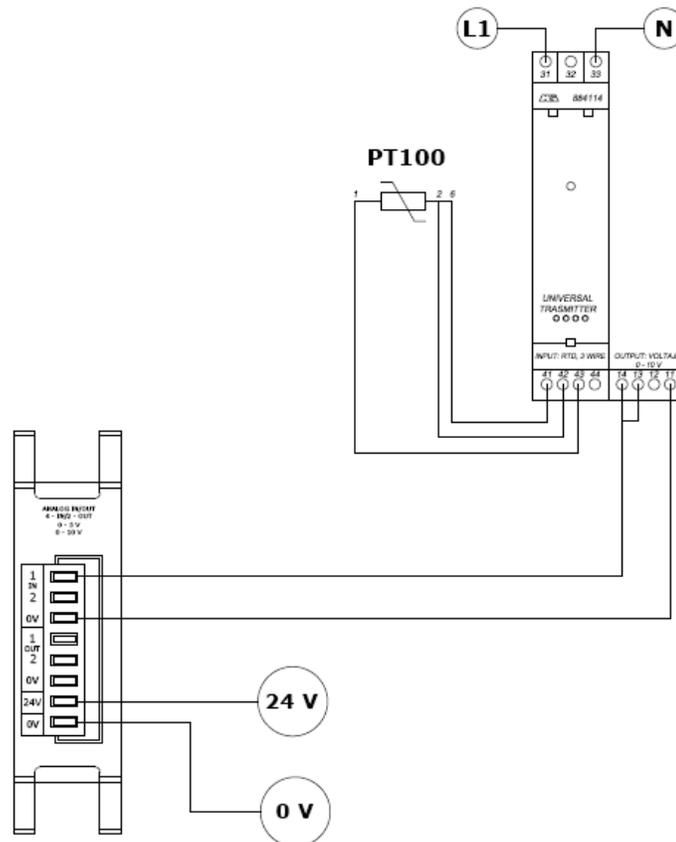


Figura. 3.1. Diagrama de conexión del PT100 y transmisor

### 3.3. Instrumentación para el control de llama

El quemador que se nos ha proporcionado tiene internamente una fotocelda, la cual detecta la presencia de llama, esto permitirá tener un control de seguridad del quemador.

La fotocelda trabaja como una resistencia, por lo tanto es necesario acondicionar esta señal para que ingrese en el rango de 0 – 10 V al PLC.

La fotocelda es una Honeywell C554A, cuya hoja técnica se encuentra en el anexo 7.

A continuación se muestra el circuito de acondicionamiento.

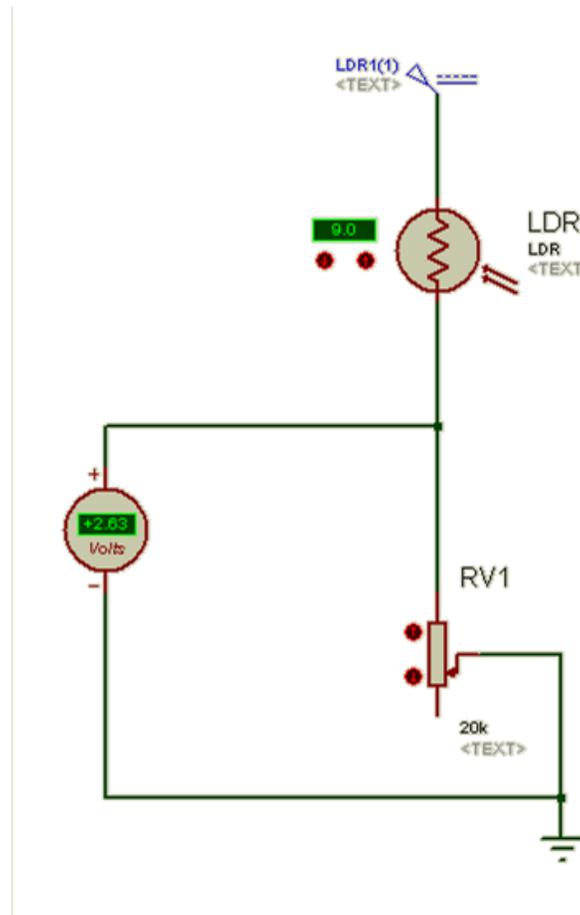


Figura 3.2. Circuito de acondicionamiento de la fotocelda

### 3.4. Motor DC y relés

#### 3.4.1. Formulación y selección de alternativas

Los requerimientos del sistema con respecto al motor DC son: debe tener un torque 0.5Kg., de preferencia a un voltaje de 24 VDC. Atendiendo a estas características presentamos las siguientes opciones.

| Fabricante        | Gear Motor  | Büehler motor | Copal         |
|-------------------|-------------|---------------|---------------|
| Modelo            | IG42        | 1.61.042.341  | LC30G - 191SA |
| Voltaje           | 12 - 24 VDC | 4 - 24 VDC    | 4 - 24 VDC    |
| Corriente         | 650 mA      | 0,27 A        | 0,03 A        |
| Corriente nominal | 2300 mA     | 2,5 A         | 0,25 A        |
| R.p.m             | 252         | 218           | 125           |
| Torque            | 10 Kgf/cm   | 10 Kgf/cm     | 2,2 Kgf/cm    |
| Disponibilidad    | 1 hora      | 1 hora        | 1 hora        |
| Precio            | 46,31       | 46,55         | 20,00         |

**Tabla. 3.5. Tabla de alternativas para el motor DC**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.5 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad, torque y precio.

El motor de corriente continua actuará en la apertura y cierre de las ventoleras de desfogue de aire caliente; debido a ello se presenta la necesidad de controlar el sentido de giro del motor relés capaces de manejar la corriente nominal del motor DC; es decir, 0.25A y un voltaje de 24 VDC.

Tomando en cuenta estos requerimientos presentamos la siguiente tabla de opciones.

| Fabricante                      | NHC            | RL            | JRC           |
|---------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Modelo                          | NGJRC23F1C24V  | N4100         | N4078         |
| Voltaje bobina                  | 24 VDC         | 24 VDC        | 24 VDC        |
| Corriente contactos             | 1A             | 2A            | 2A            |
| Potencia de la bobina           | 0,2 W          | 0,36 W        | 0,36 W        |
| Potencia nominal máxima         | 625 VA         | 625 VA        | 625 VA        |
| Resistencia de la bobina        | 2880 $\Omega$  | 1600 $\Omega$ | 1600 $\Omega$ |
| Resistencia de contacto inicial | 100 m $\Omega$ | 50 m $\Omega$ | 50 m $\Omega$ |
| Temperatura de operación        | -30 - +70°C    | -25 - +70°C   | -40 - 70°C    |
| Tiempo de operación             | $\leq 5$ ms    | $\leq 5$ ms   | $\leq 6$ ms   |

|                       |        |        |        |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| Tiempo lanzamiento de | ≤5 ms  | ≤5 ms  | ≤5ms   |
| Disponibilidad        | 1 hora | 1 hora | 1 hora |
| Precio                | 2,00   | 1,67   | 1,67   |

Tabla. 3.6. Tabla de alternativas para relé

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.6 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad, y cumplimiento de las especificaciones.

Además se necesita un diodo de 1 A para cada canal; siendo escogido el 1N4004.

### 3.4.2. Diagrama de conexión

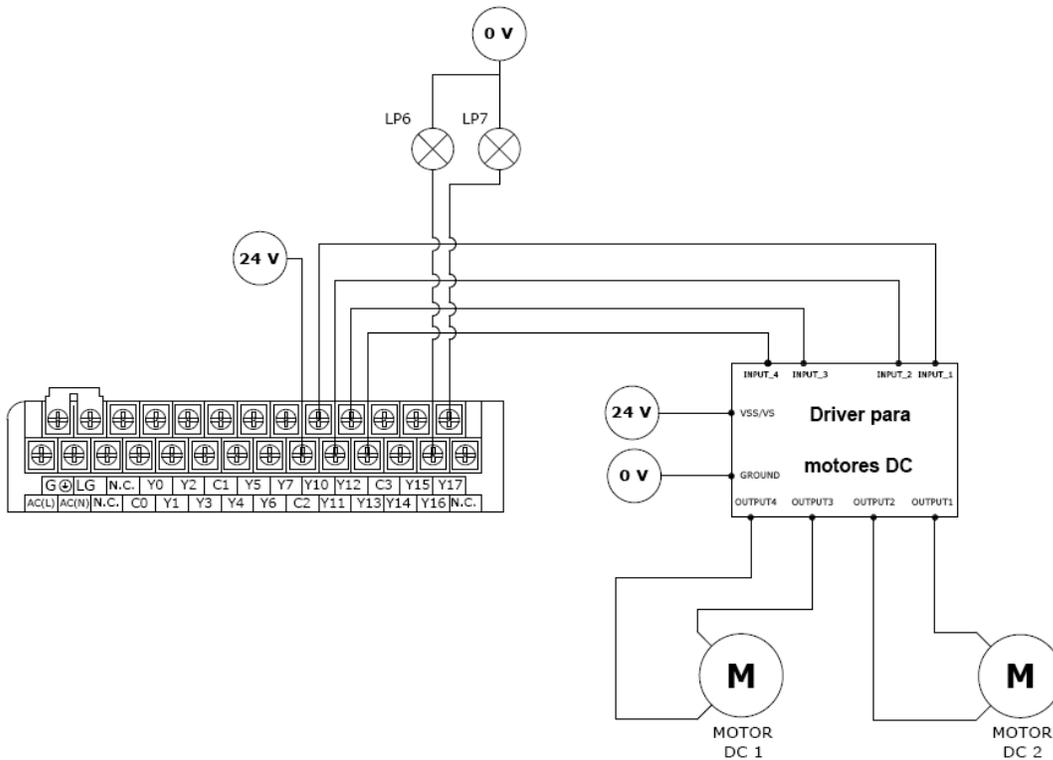


Figura. 3.3. Diagrama de conexión de motores

### 3.5. Variador de frecuencia

#### 3.5.1. Formulación y selección de alternativas

**Dimensionamiento del variador.** Es necesario denotar que aunque el blower a pesar de ser de 10 HP, este no va a trabajar a su potencia nominal; según diseño mecánico trabajará a una potencia máxima de 8 HP, por lo que para el dimensionamiento del variador se toma un 20% más de la potencia nominal del blower.

$$\text{Variador} = 8 \text{ HP} * 1.20$$

$$\text{Variador} = 9.6 \text{ HP}$$

Por motivo de potencia comercial será necesario un variador de 10 HP.

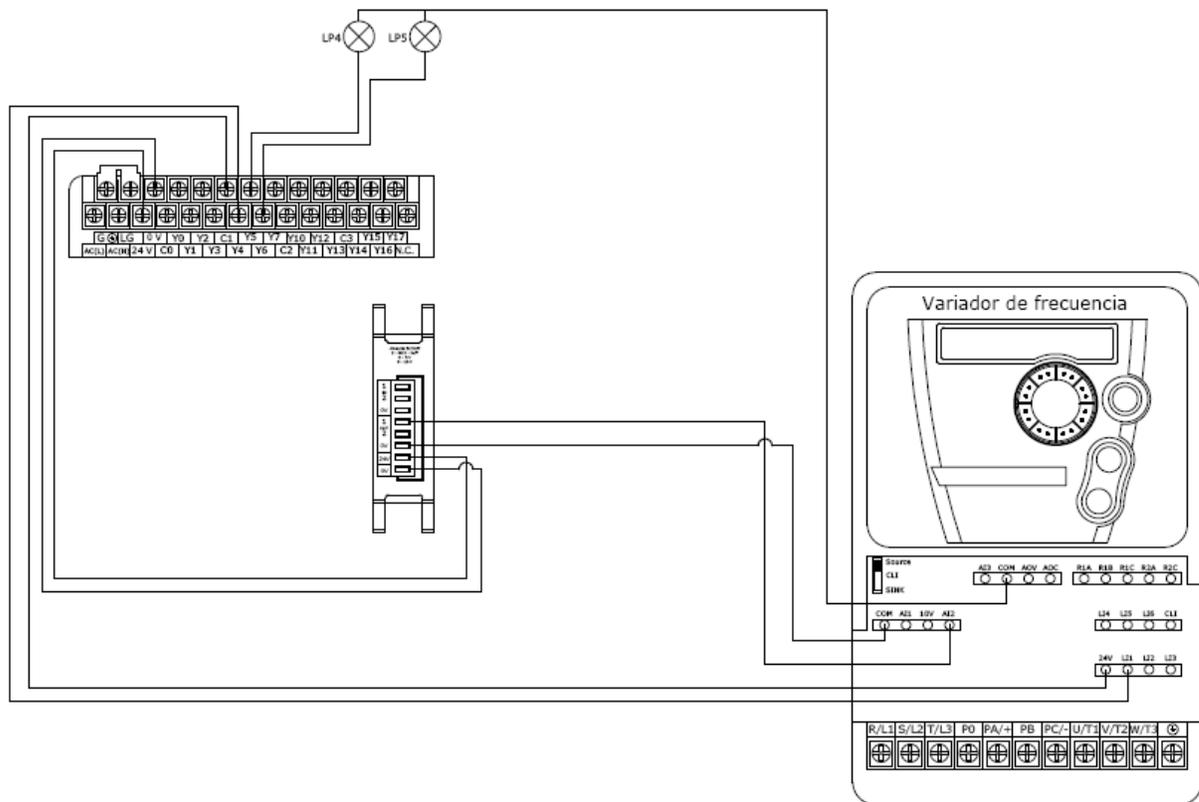
| Fabricante          | Telemecanique      | Siemens                                                   | Schneider         |
|---------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------|
| Modelo              | ATV21HU75M3X       | Micromaster<br>MM440                                      | ATV312HU75M3      |
| Voltaje             | 208-240 VAC        | Monofásica 200 -<br>240 VAC<br>Trifásica 200 - 480<br>VAC | 220 - 240 VAC     |
| Corriente           | 32 A               | 38A                                                       | 33A               |
| Motor               | 10HP               | 10 HP                                                     | 10 HP             |
| Ue                  | 240VAC             | 480                                                       | 264V              |
| Ith                 | 32A                | 42A                                                       | 49,5A             |
| Frecuencia salida   | 0 - 200 Hz         | 0 - 650 Hz                                                | 0 - 1000 Hz       |
| Fases               | 3 fases            | 1 - 3 fases                                               | 3 fases           |
| Entradas analógicas | 0 - 10V            | 0-20mA y 0 - 10V                                          | 0 - 10V           |
| Saldas analógicas   | 0 - 10V            | 0-20mA                                                    | 0 - 10V           |
| Dimensiones         | 630 * 320 * 290 mm | 520 * 275* 245 mm                                         | 232 * 180 * 172mm |
| Comunicación        | Modbus             | Profibus                                                  | Modbus, CANopen   |

|                  |         |         |         |
|------------------|---------|---------|---------|
| Disponibilidad   | 15 días | 1 hora  | 1 hora  |
| Servicio técnico | Si      | Si      | Si      |
| Precio           | 963,00  | 1265,00 | 1600,00 |

**Tabla. 3.7. Alternativas del variador de frecuencia**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.7 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad, tamaño, rango de frecuencias de salida y comunicación. Su hoja técnica que encuentra en el anexo 8.

**3.5.2. Diagrama de conexión**



**Figura. 3.4. Diagrama de conexión del Variador**

### 3.6. Relés para el quemador

El quemador consta de tres partes a ser controladas: una electroválvula que permite el paso de gas, un chispero y un motor AC que permite la circulación de aire para una mejor combustión.

#### 3.6.1. Formulación y selección de alternativas

Los relés que se colocarán para el control de la activación de la electroválvula, el chispero y el motor tendrán las siguientes especificaciones: 6 A, 24 VDC.

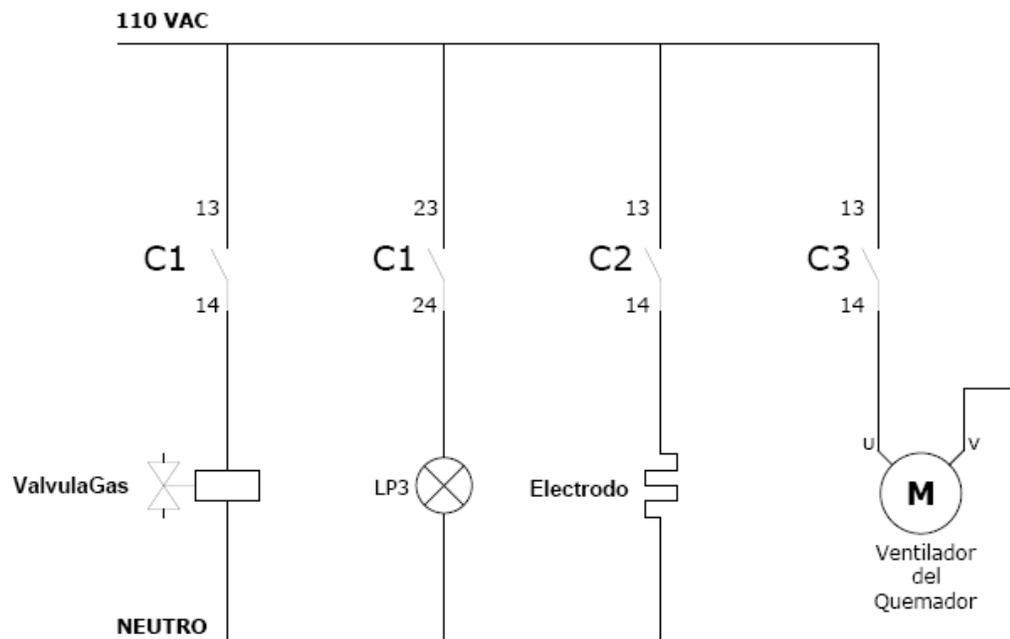
| Fabricante                      | Estrella Hitech | Omrom          | Siemens        |
|---------------------------------|-----------------|----------------|----------------|
| Modelo                          | ST1B-D12        | MY4            | LZX:PT570024   |
| Voltaje bobina                  | 24 VDC          | 24 VDC         | 24 VDC         |
| Corriente contactos             | 10A             | 10A            | 6A             |
| Potencia de la bobina           | 0,6 W           | 0,9 W          | 1,25 W         |
| Potencia nominal máxima         | 1750 VA         | 2500 VA        | 5000 VA        |
| Resistencia de la bobina        | 240 $\Omega$    | 636 $\Omega$   | 460 $\Omega$   |
| Resistencia de contacto inicial | 100 m $\Omega$  | 100 m $\Omega$ | 100 m $\Omega$ |
| Temperatura de operación        | -30 - 60°C      | -55 - 70°C     | -40 - 40°C     |
| Tiempo de operación             | $\leq 30$ ms    | $\leq 20$ ms   | $\leq 20$ ms   |
| Tiempo de lanzamiento           | $\leq 10$ ms    | $\leq 20$ ms   | $\leq 20$ ms   |
| Disponibilidad                  | 1 hora          | 1 hora         | 1 hora         |
| Precio                          | 5,20            | 4,68           | 8,57           |

**Tabla. 3.8. Alternativas del relé para electroválvula y quemador**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.8 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad, tiempos de conmutación, rangos de operación, precio y el cumplimiento de los requerimientos planteados.

Para seguridad de las salidas del PLC se colocó un diodo de protección en la bobina del relé, el diodo es el: 1N4007.

### 3.6.2. Diagrama de conexión



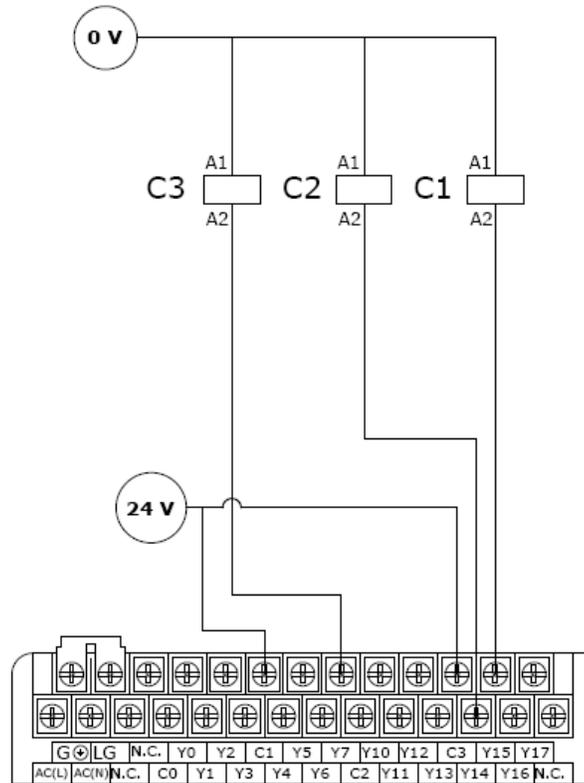


Figura. 3.5. Diagrama de conexión quemador

### 3.7. Controlador

#### 3.7.1. Formulación y selección de alternativas

Los requerimientos de la planta para el controlador son: 1 entrada analógica de 0 – 5 VDC 0 a 10 VDC, una salida analógica de 0 – 10 VDC, 6 salidas digitales.

| Fabricante          | Allen Bradley  | Siemens               | Koyo                               |
|---------------------|----------------|-----------------------|------------------------------------|
| Modelo              | 1763-L16BWA    | 6ES7298-0AA20<br>0BA3 | DL06DR1 y<br>móduloF0-<br>2AD2DA-2 |
| Alimentación        | 120/240 VAC    | 110/220 VAC           | 110/220 VAC                        |
| Entradas analógicas | 2 (0 - 10 VCC) | 4 (0 – 10 VDC)        | 2 (0 – 5 VDC o 0 –10 VDC)          |

|                         |                        |                           |                           |
|-------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Entradas digitales      | 6 (24 VCC)             | 8 (24 VCC)                | 20                        |
| Salidas analógicas      | -                      | -                         | 2 (0 – 5 VDC o 0 –10 VDC) |
| Salidas digitales       | 6 (relé)               | 6 (relé)                  | 2 (transistor) 14 (relé)  |
| Memoria                 | 8 Kbyte                | 4 Kbyte                   | 4 Kbyte                   |
| Módulos de expansión    | 4                      | 2                         |                           |
| Puerto de comunicación  | RS-232/485<br>Ethernet | RS-485                    | RS-232/485                |
| Servicio técnico        | Si                     | Si                        | Si                        |
| Disponibilidad          | 5 días                 | 5 días                    | 2 días                    |
| Software de instalación | RLogix500              | SimaticStep 7<br>MicroWin | DirectSoft                |
| Precio                  | 672,00                 | 680,00                    | 709,63                    |

**Tabla. 3.9. Alternativas del controlador**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.9 se ha escogido la tercera opción debido a que cumple con los requerimientos de la planta, además de su disponibilidad y costo. Cabe recalcar que se ha dimensionado el PLC debido a que la empresa en el futuro implementará otro horno con las mismas características. Su hoja técnica que encuentra en el anexo 9.

### 3.7.2. Diagrama de conexión

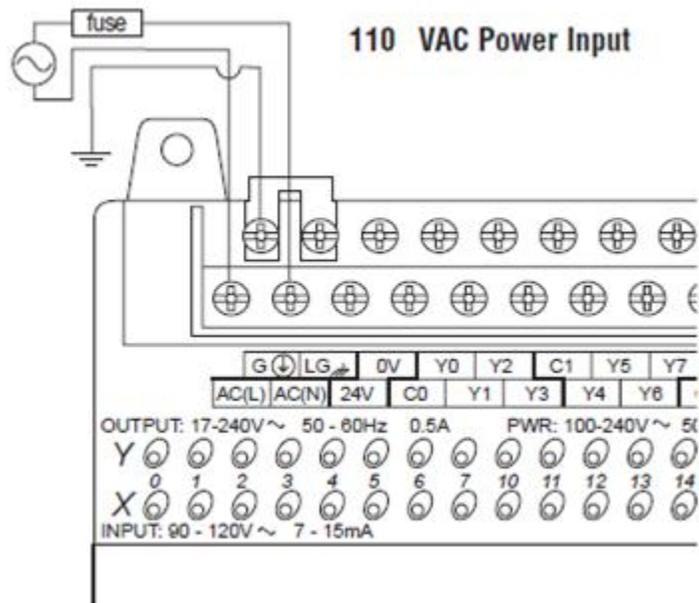


Figura. 3.6. Diagrama de conexión del controlador

### 3.8. Fuente de alimentación 24 VDC

De acuerdo a los requerimientos de la planta la fuente de 24 VDC debe manejar una corriente máxima de 2.4 A. a continuación se muestran las alternativas.

| Fabricante                  | Mean Well   | Siemens       | Altech Corp. |
|-----------------------------|-------------|---------------|--------------|
| Modelo                      | DR-4524     | 6EP1332-1SH42 | PS45N        |
| Voltaje de entrada          | 110 VAC     | 110 VAC       | 110 VAC      |
| Corriente de salida         | 2 A         | 2,5 A         | 2 A          |
| Voltaje de salida           | 24 VDC      | 24 VDC        | 24 VDC       |
| Máxima corriente de entrada | 1,5 A       | 1,22 A        | 1,5 A        |
| Temperatura de operación    | -10 a 50 °C | -20 a 55 °C   | -10 a 50 °C  |
| Montaje                     | Rial Din    | Rial Din      | Rial Din     |

|                  |         |        |        |
|------------------|---------|--------|--------|
| Disponibilidad   | 15 días | 2 días | 1 hora |
| Servicio técnico | No      | Si     | No     |
| Precio           | 100,00  | 150,00 | 46,93  |

**Tabla. 3.10. Alternativas de la fuente de alimentación 24 VDC**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.10 se ha escogido la tercera opción debido a que cumple con los requerimientos de la planta, además de su disponibilidad y costo.

### 3.9. Switchs, pulsadores y luces

#### 3.9.1. Switch para alimentación tablero de control

Este switch nos permitirá energizar el tablero de control. Debe ser un switch de dos posiciones a una tensión de 220VAC y 50A.

|                |                 |            |           |
|----------------|-----------------|------------|-----------|
| Fabricante     | Siemens         | Schneider  | Camsco    |
| Modelo         | 3SB3602 - 2KA11 | XB4 - BD21 | C63 - 099 |
| Voltaje        | 220 VAC         | 220 VAC    | 220 VAC   |
| Corriente      | 63A             | 63A        | 63A       |
| Ue             | 600VAC          | 600VAC     | 660VAC    |
| Posiciones     | 2 fijas         | 2 fijas    | 2 fijas   |
| Contactos      | 1NA             | 1NA        | 1NA       |
| Diámetro       | 40mm            | 22mm       | 40mm      |
| Disponibilidad | 1 hora          | 1 hora     | 1 hora    |
| Precio         | 12,50           | 17,00      | 11,30     |

**Tabla. 3.11. Alternativas switch alimentación tablero de control**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.11 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad y cumplimiento de los requerimientos.

### 3.9.2. Switch para modo automático y manual.

Este switch nos permitirá cambiar el modo de trabajo; debe ser un switch de dos posiciones a una tensión de 110VAC y 6A.

| Fabricante     | Siemens         | Schneider  | Camsco   |
|----------------|-----------------|------------|----------|
| Modelo         | 3SB3602 - 2KA11 | XB4 - BD21 | CA - 099 |
| Voltaje        | 110 VAC         | 110 VAC    | 110 VAC  |
| Corriente      | 6A              | 6A         | 6A       |
| Ue             | 600VAC          | 600VAC     | 660VAC   |
| Posiciones     | 2 fijas         | 2 fijas    | 2 fijas  |
| Contactos      | 1NA             | 1NA        | 1NA      |
| Diámetro       | 40mm            | 22mm       | 40mm     |
| Disponibilidad | 1 hora          | 1 hora     | 1 hora   |
| Precio         | 10,50           | 13,50      | 9,30     |

**Tabla. 3.12. Alternativas switch modo automático – manual.**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.12 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad y cumplimiento de los requerimientos.

### 3.9.3. Pulsador de paro de Emergencia

El pulsador de paro de emergencia debe ser a 24 VDC debido a que este enviará su señal de paro por medio de una de las entradas digitales del PLC.

| Fabricante     | Chint                   | Siemens                 | Schneider               |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Modelo         | NP2 - ES542             | 3SB3 - 0 - 1FA20        | XB4 - BW84M5            |
| Tipo           | Desbloqueo por rotación | Desbloqueo por rotación | Desbloqueo por rotación |
| Voltaje        | 24VDC                   | 24VDC                   | 24VDC                   |
| Corriente      | 2,5A                    | 4A                      | 4A                      |
| Ue             | 660V                    | 600V                    | 600V                    |
| Ie             | 10A                     | 10A                     | 10A                     |
| Diámetro       | 40mm                    | 40mm                    | 40mm                    |
| Disponibilidad | 1 hora                  | 1 hora                  | 1 hora                  |
| Precio         | 8,07                    | 28,20                   | 22,68                   |

**Tabla. 3.13. Alternativas para el pulsador de paro de emergencia**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.13 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad y cumplimiento de los requerimientos.

#### **3.9.4. Luz piloto monoblock alimentación tablero de control**

Esta luz se encenderá cuando se habilite la alimentación del tablero por medio del switch de dos posiciones correspondiente.

| Fabricante     | Siemens           | Schneider  | Chint       |
|----------------|-------------------|------------|-------------|
| Modelo         | 3SB3 - 44 - 6BC40 | XB4 - BVB3 | ND16 - 22DS |
| Luz            | Verde             | Verde      | Verde       |
| Tipo           | Led               | Led        | Led         |
| Voltaje        | 220VAC            | 220VAC     | 220VAC      |
| Corriente      | 20 mA             | 20 mA      | 20 mA       |
| Ue             | 250 VAC           | 250 VAC    | 250 VAC     |
| Ie             | 4 A               | 4 A        | 6 A         |
| Diámetro       | 40mm              | 22mm       | 30,5mm      |
| Disponibilidad | 1 hora            | 1 hora     | 1 hora      |
| Precio         | 7,40              | 14,08      | 6,00        |

**Tabla. 3.14. Alternativas para la luz piloto alimentación tablero de control**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.14 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad, precio y cumplimiento de los requerimientos.

### 3.9.5. Luz piloto monoblock (proceso ventilación)

Esta luz se encenderá cuando se activen los motores que abren las compuertas de ventilación, puesto que la alimentación de los motores es de 12 - 24 VDC, el indicador luminoso trabajará al mismo voltaje.

| Fabricante     | Siemens           | Schneider  | Chint       |
|----------------|-------------------|------------|-------------|
| Modelo         | 3SB3 - 44 - 6BC40 | XB4 - BVB3 | ND16 - 22DS |
| Luz            | Verde             | Verde      | Verde       |
| Tipo           | Led               | Led        | Led         |
| Voltaje        | 12 -24 VDC        | 12 -24 VDC | 12 - 24 VDC |
| Corriente      | 20 mA             | 20 mA      | 20 mA       |
| Ue             | 27VDC             | 27VDC      | 30VDC       |
| Ie             | 0,6A              | 0,63A      | 1A          |
| Diámetro       | 40mm              | 22mm       | 30,5mm      |
| Disponibilidad | 1 hora            | 1 hora     | 1 hora      |
| Precio         | 7,40              | 12,7       | 4,95        |

**Tabla. 3.15. Alternativas para la luz piloto del proceso de ventilación**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.15 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad y costo; sin olvidar el cumplimiento de los requerimientos del equipo.

### 3.9.6. Luz piloto monoblock (encendido llama)

Esta luz se encenderá cuando la electroválvula que permite el paso de gas esté abierta; es decir, cuando la llama se encienda. Puesto que la alimentación de la electroválvula es a 110 VAC la luz piloto trabajará al mismo voltaje.

| Fabricante     | Siemens           | Schneider  | Chint          |
|----------------|-------------------|------------|----------------|
| Modelo         | 3SB3 - 44 - 6BA40 | XB4 - BVG3 | ND16 - 22DS/1G |
| Luz            | Verde             | Verde      | Verde          |
| Tipo           | Led               | Led        | Led            |
| Voltaje        | 110VAC            | 110VAC     | 110VAC         |
| Corriente      | 20mA              | 20mA       | 20mA           |
| Ue             | 250V              | 250V       | 250V           |
| Ie             | 4A                | 4A         | 6A             |
| Diámetro       | 40mm              | 22mm       | 30,5mm         |
| Disponibilidad | 1 hora            | 1 hora     | 1 hora         |
| Precio         | 7,40              | 14,08      | 6,00           |

**Tabla. 3.16. Alternativas para la luz piloto para el encendido de la llama**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.16 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad y costo; sin olvidar el cumplimiento de los requerimientos del equipo.

### 3.9.7. Luz piloto monoblock (encendido blower)

Esta luz se encenderá cuando entre en marcha el blower, es decir; cuando se mande la señal de control diferente de cero al variador, por lo tanto será ocupada una salida digital del PLC a 24VDC, y ese será el voltaje de alimentación de la luz piloto.

| Fabricante     | Siemens           | Schneider  | Chint       |
|----------------|-------------------|------------|-------------|
| Modelo         | 3SB3 - 44 - 6BC40 | XB4 - BVB3 | ND16 - 22DS |
| Luz            | Verde             | Verde      | Verde       |
| Tipo           | Led               | Led        | Led         |
| Voltaje        | 24 VDC            | 24 VDC     | 24 VDC      |
| Corriente      | 20 mA             | 20 mA      | 20 mA       |
| Ue             | 27VDC             | 27VDC      | 30VDC       |
| Ie             | 0,6A              | 0,63A      | 1A          |
| Diámetro       | 40mm              | 22mm       | 30,5mm      |
| Disponibilidad | 1 hora            | 1 hora     | 1 hora      |
| Precio         | 7,40              | 12,7       | 4,95        |

**Tabla. 3.17. Alternativas para la luz piloto para el encendido del blower**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.17 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad y costo; sin olvidar el cumplimiento de los requerimientos del equipo.

### 3.9.8. Baliza

#### 3.9.8.1. Formulación y selección de alternativas

La baliza que se requiere es para montaje y de tres luces indicadoras de color: amarillo, verde, rojo; las cuales indican el estado de la planta; es decir, el color amarillo indica que la planta se encuentra lista para trabajar, el color verde indica que la planta se encuentra en operación, y el color rojo indica que la planta ha tenido un paro de emergencia.

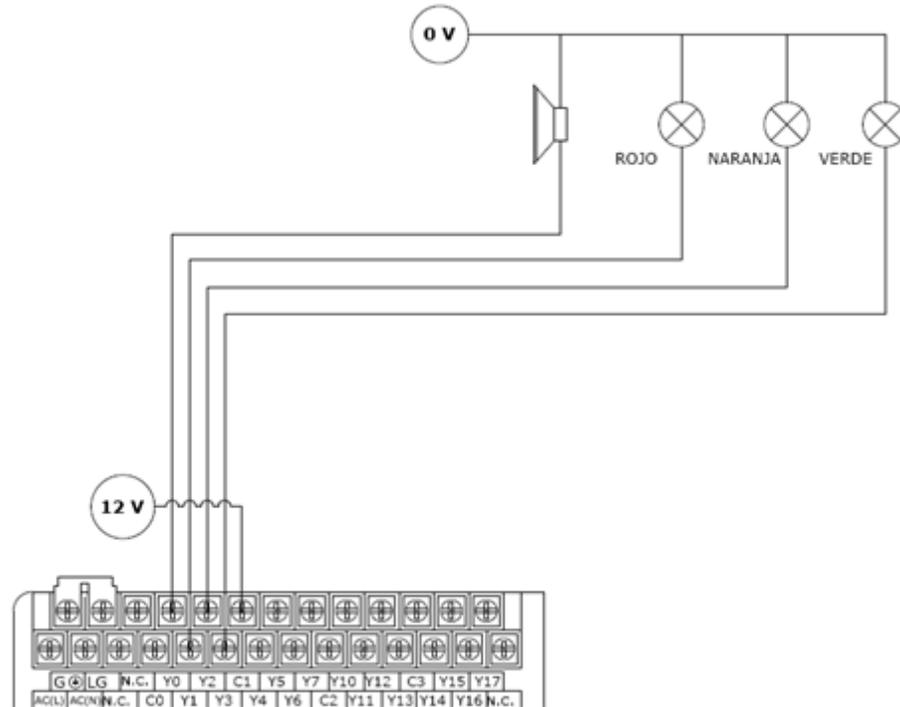
| Fabricante | Schneider | Hanyoungnux      | Camsco          |
|------------|-----------|------------------|-----------------|
| Modelo     | XVDB1GAR  | STL 040 A113D100 | LTA - 205 - 3WJ |
| Voltaje    | 24VDC/VAC | 220VAC           | 220 VAC         |
| Corriente  | 0,1A      | 0,1A             | 0,1A            |
| Ue         | 250V      | 240V             | 250V            |
| Ie         | 2A        | 1,8A             | 4A              |

| Fuente de luz  | 10 W                      | 4 W                       | 5W                                |
|----------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Tipo luminaria | Led                       | Led                       | Incandescente                     |
| Luces          | 3 (verde, amarilla, roja) | 3 (verde, amarilla, roja) | 3 (verde, amarilla, roja, sirena) |
| Diámetro       | 70mm                      | 40mm                      | 40mm                              |
| Diponibilidad  | 1 hora                    | 1 hora                    | 1 hora                            |
| Precio         | 84,00                     | 74,00                     | 63,00                             |

**Tabla. 3.18. Alternativas para baliza**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.18 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad, voltaje de alimentación y costo; sin olvidar el cumplimiento de los requerimientos del equipo.

### 3.9.8.2. Diagrama de conexión



**Figura 3.7. Diagrama de conexión de la baliza**

### 3.10. Protecciones

#### 3.10.1. Blower 10HP y Variador de frecuencia

##### 3.10.1.1. Cálculo

La corriente nominal del blower es de 42 A y la corriente nominal del driver del mismo es de 49.5 A. En vista de que el variador va a manipular el motor se toma en cuenta la corriente del mismo para el cálculo de las protecciones.

$$I_{fusible} = (49.5 A) * 20\%$$

$$I_{fusible} = 59.4 A$$

$$I_{termomagnético} = (49.5) + 15\%$$

$$I_{termomagnético} = 56.9 A$$

Por motivos comerciales la corriente será de 63 A tanto para el motor como para el termomagnético.

##### 3.10.1.2. Selección de alternativas

Las especificaciones tanto del fusible como del termomagnético serán: 63 A y 220 VAC.

|                     |            |            |            |
|---------------------|------------|------------|------------|
| Fabricante          | DFElectric | Wöhner     | Temper     |
| Modelo              | 422080     | 31228      | 01 12976   |
| Tipo de encapsulado | AG         | AG         | AG         |
| Forma encapsulado   | Cilíndrico | Cilíndrico | Cilíndrico |

|                      |          |          |          |
|----------------------|----------|----------|----------|
| Material encapsulado | Cerámico | Cerámico | Cerámico |
| Corriente            | 63A      | 63A      | 63A      |
| Voltaje máximo       | 690 VDC  | 690 VDC  | 900 VDC  |
| Potencia máx. disp.  | 18W      | 18W      | 18W      |
| Poder de corte       | 120 KA   | 100 KA   | 100 KA   |
| Disponibilidad       | 1 hora   | 1 hora   | 1 hora   |
| Precio               | 57,00    | 60,00    | 54,67    |

**Tabla. 3.19. Alternativas para fusible para Blower y variador de frecuencia**

|                  |          |             |             |
|------------------|----------|-------------|-------------|
| Fabricante       | Squar D  | Chint       | Schneider   |
| Modelo           | HGL26070 | NB1-63P2-63 | EZC100H2075 |
| Voltaje          | 220 V    | 220 V       | 220 V       |
| Corriente        | 63 A     | 63 A        | 63 A        |
| Ue               | 400V     | 500V        | 415 V       |
| Icu              | 70A      | 70A         | 6000A       |
| Polos            | 2        | 2           | 2           |
| Temperatura max. | 70 °C    | 60°C        | 85 °C       |
| Frecuencia       | 60 Hz    | 60 Hz       | 60 Hz       |
| Disponibilidad   | 1 hora   | 1 hora      | 1 hora      |
| Precio           | 31,00    | 27,30       | 39,00       |

**Tabla. 3.20. Alternativas para termomagnético para Blower y variador de frecuencia**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en las tablas 3.19 y 3.20 se ha escogido la tercera opción en cada una de estas debido a su disponibilidad y precio; sin olvidar el cumplimiento de las especificaciones.

### 3.10.2. Motores DC y relés.

#### 3.10.2.1. Cálculo

La corriente máxima del motor DC es de 0.25 A y puesto que son dos motores a utilizarse la corriente será 0.5 A y la corriente máxima del relé es 1A.

$$I_{fusible} = (0.25 + 1 A) * 20\%$$

$$I_{fusible} = 1.5 A$$

Por motivo de que en el mercado no existen fusibles de 1.5 A tomaremos uno de 2A.

#### 3.10.2.2. Selección de alternativas

Las especificaciones del fusible para los motores y relé serán: 2 A.

|                      |            |            |            |
|----------------------|------------|------------|------------|
| Fabricante           | DFElectric | Wöhner     | Temper     |
| Modelo               | 492006     | 31209      | 01 12976   |
| Tipo de encapsulado  | GR         | GR         | GR         |
| Forma encapsulado    | Cilíndrico | Cilíndrico | Cilíndrico |
| Material encapsulado | Cerámico   | Cerámico   | Cerámico   |
| Corriente            | 2A         | 2A         | 2A         |
| Voltaje máximo       | 690 VDC    | 690 VDC    | 690 VDC    |
| Potencia máx. disp.  | 1,6 W      | 1,6W       | 1,6W       |
| Poder de corte       | 100 KA     | 100 KA     | 100 KA     |
| Disponibilidad       | 1 hora     | 1 hora     | 1 hora     |
| Precio               | 5,60       | 6,08       | 5,07       |

Tabla. 3.21. Alternativas para fusible de motores DC e integrado.

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.21 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad y precio; sin olvidar el cumplimiento de las especificaciones.

### 3.10.3. Quemador y baliza

#### 3.10.3.1. Cálculo

La corriente máxima del quemador es 10 A a una tensión de 110 VAC, por lo tanto las protecciones serán las siguientes:

$$I_{fusible} = (10 A) * 20\%$$

$$I_{fusible} = 12 A$$

$$I_{termomagnético} = (10 A) + 15\%$$

$$I_{termomagnético} = 11.5 A$$

La corriente máxima de la baliza es 4 A; a una tensión de 220 VAC, por lo tanto las protecciones serán las siguientes:

$$I_{fusible} = (4 A) * 20\%$$

$$I_{fusible} = 4.8 A$$

#### 3.10.3.2. Selección de alternativas

|                      |            |            |            |
|----------------------|------------|------------|------------|
| Fabricante           | DFElectric | Wöhner     | Temper     |
| Modelo               | 422080     | 31228      | 01 12976   |
| Tipo de encapsulado  | AG         | AG         | AG         |
| Forma encapsulado    | Cilíndrico | Cilíndrico | Cilíndrico |
| Material encapsulado | Cerámico   | Cerámico   | Cerámico   |

|                     |         |         |         |
|---------------------|---------|---------|---------|
| Corriente           | 12A     | 12A     | 12A     |
| Voltaje máximo      | 690 VDC | 690 VDC | 900 VDC |
| Potencia máx. disp. | 2,99 W  | 3,00W   | 2,99 W  |
| Poder de corte      | 120 KA  | 100 KA  | 100 KA  |
| Disponibilidad      | 1 hora  | 1 hora  | 1 hora  |
| Precio              | 27,00   | 30,00   | 25,34   |

**Tabla. 3.22.1. Alternativas para fusible de quemador**

|                      |            |            |            |
|----------------------|------------|------------|------------|
| Fabricante           | DFElectric | Wöhner     | Temper     |
| Modelo               | 492006     | 31209      | 492007     |
| Tipo de encapsulado  | GR         | GR         | GR         |
| Forma encapsulado    | Cilíndrico | Cilíndrico | Cilíndrico |
| Material encapsulado | Cerámico   | Cerámico   | Cerámico   |
| Corriente            | 4A         | 4A         | 4A         |
| Voltaje máximo       | 690 VDC    | 690 VDC    | 690 VDC    |
| Potencia máx. disp.  | 2,05W      | 2,1W       | 2,1W       |
| Poder de corte       | 100 KA     | 100 KA     | 100 KA     |
| Disponibilidad       | 1 hora     | 1 hora     | 1 hora     |
| Precio               | 5,60       | 6,08       | 5,07       |

**Tabla. 3.22.2. Alternativas para fusible de baliza**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.22 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad y corriente; sin olvidar el cumplimiento de las especificaciones.

| Fabricante            | Siemens             | Chint        | Schneider    |
|-----------------------|---------------------|--------------|--------------|
| Modelo                | 5SJ4210 - 7HG41 HSJ | DZ47601 - 16 | C60N 2P 16AC |
| Voltaje               | 110 VAC             | 110 VAC      | 110 VAC      |
| Corriente             | 12 A                | 12 A         | 12 A         |
| Ue                    | 240 VAC             | 277 VAC      | 240 VAC      |
| Ith                   | 63A                 | 63A          | 63A          |
| Polos                 | 1 polo              | 1 polo       | 1 polo       |
| Temperatura operación | -5 - 40 °C          | -5 - 40 °C   | -5 - 40 °C   |
| Frecuencia            | 60 Hz               | 60 Hz        | 60 Hz        |
| Disponibilidad        | 1 hora              | 1 hora       | 1 hora       |
| Precio                | 52,58               | 40,60        | 48,82        |

**Tabla. 3.23. Alternativas para termomagnético de quemador**

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.23 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad, precio y cumplimiento de las especificaciones.

#### **3.10.4. Controlador**

##### **3.10.4.1. Cálculo**

La corriente máxima del controlador será 5 A a un voltaje de 220 VAC; por lo tanto el fusible será de:

$$I_{fusible} = 5 * 20\%$$

$$I_{fusible} = 6 A$$

Puesto que los valores obtenidos no son comerciales se considerarán la corriente de A para el fusible.

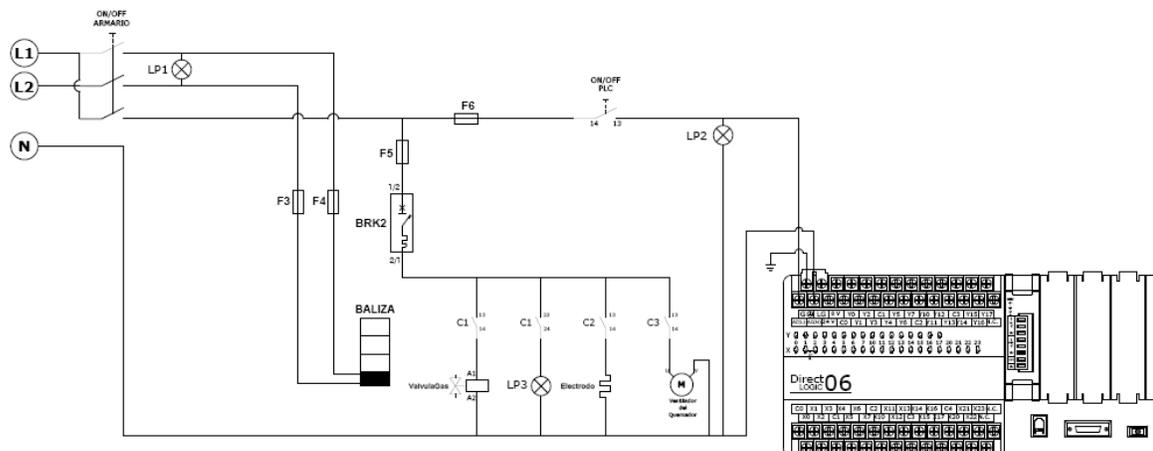
### 3.10.4.2. Selección de alternativas

|                      |            |            |            |
|----------------------|------------|------------|------------|
| Fabricante           | DFElectric | Wöhner     | Temper     |
| Modelo               | 422080     | 31228      | 01 12976   |
| Tipo de encapsulado  | GR         | GR         | GR         |
| Forma encapsulado    | Cilíndrico | Cilíndrico | Cilíndrico |
| Material encapsulado | Cerámico   | Cerámico   | Cerámico   |
| Corriente            | 6A         | 6A         | 6A         |
| Voltaje máximo       | 690 VDC    | 690 VDC    | 900 VDC    |
| Potencia máx. disp.  | 18W        | 18W        | 18W        |
| Poder de corte       | 120 KA     | 100 KA     | 100 KA     |
| Disponibilidad       | 1 hora     | 1 hora     | 1 hora     |
| Precio               | 23,10      | 25,30      | 20,27      |

Tabla. 3.24. Alternativas para fusible del PLC

Analizando las características de cada una de las alternativas propuestas en la tabla 3.24 se ha escogido la tercera opción debido a su disponibilidad, precio y el cumplimiento de las especificaciones.

### 3.11. Diagrama de conexión de protecciones, switches, pulsadores e indicadores



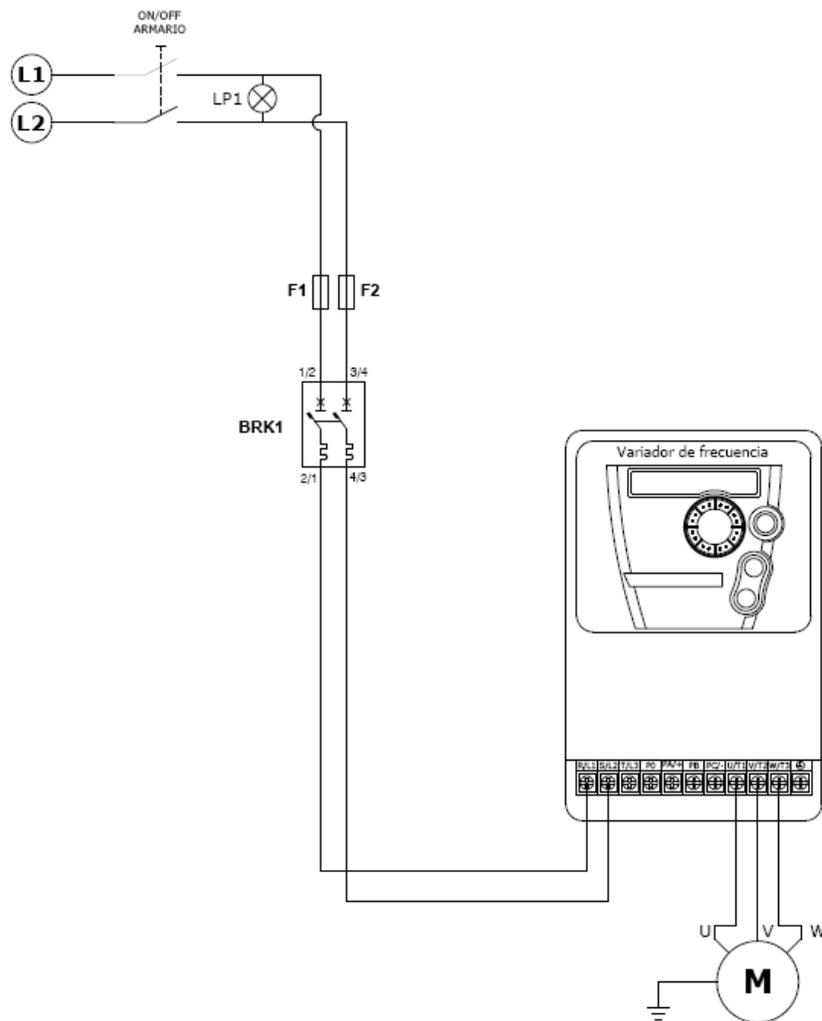


Figura. 3.8. Diagrama de conexión de protecciones, switches, pulsadores e indicadores

### 3.12. Características del ordenador

El ordenador en el cual correrá la aplicación de la HMI, debe tener las siguientes características:

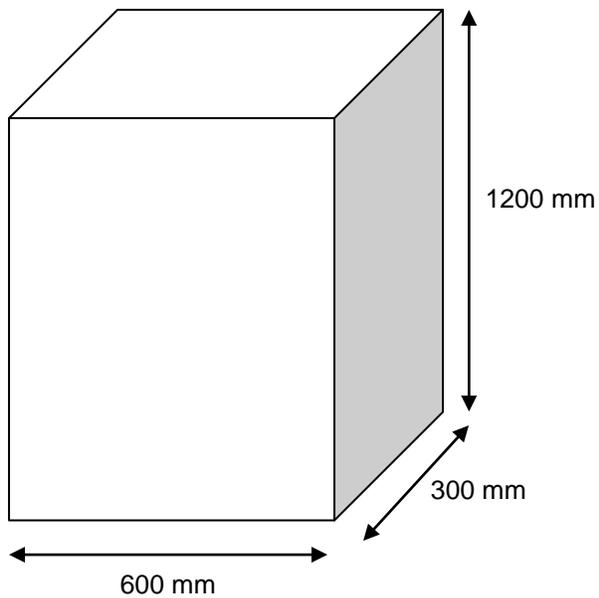
- Pentium III
- 250 GB de disco duro
- 1 GB memoria RAM

- Windows XP

### 3.13. Diseño del tablero de control

#### 3.13.1. Dimensiones

Las dimensiones del tablero sugeridas son: 1200mm de alto, 600mm de ancho y 300 de espesor. Y de preferencia con doble fondo.



**Figura 3.9. Dimensiones del tablero de control**

### 3.13.2. Cara externa del tablero

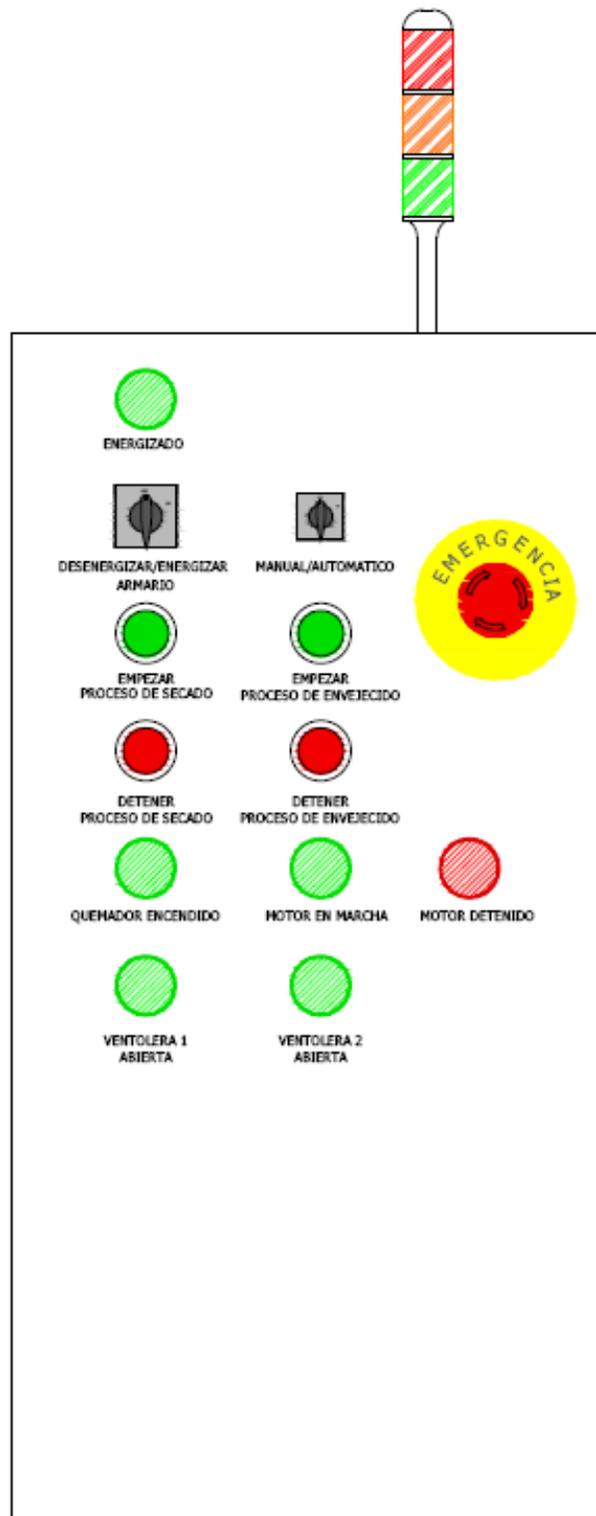


Figura 3.10. Cara externa del tablero de control

### 3.13.3. Cara interna del tablero

Las conexiones que se observan en el anexo 1 (Diagrama Eléctrico Completo) del presente documento, se encuentra representado en la figura 3.11.

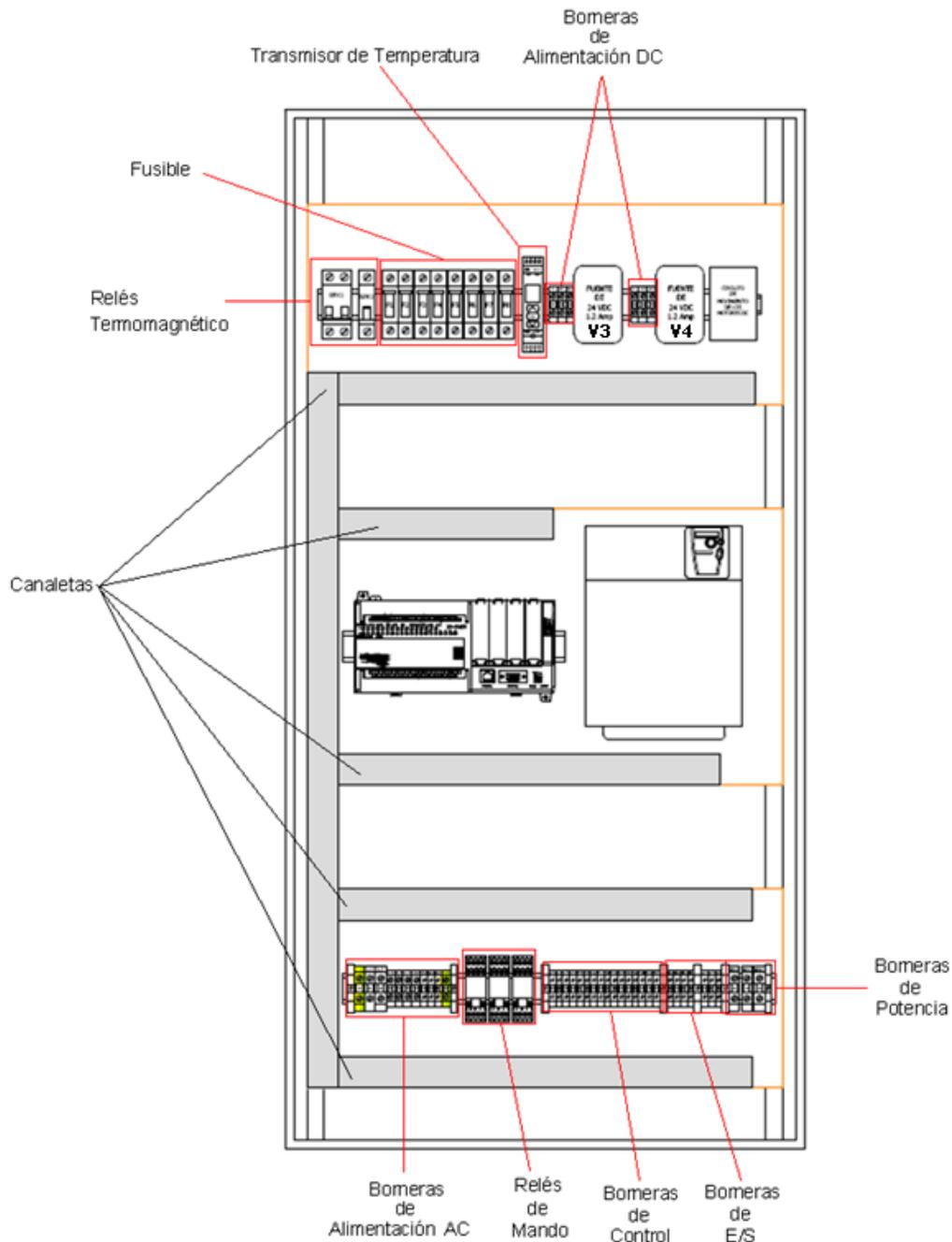


Figura. 3.11. Cara interna del tablero de control

A continuación se detallan los elementos que constan el Tablero de Control (Ver anexo 3).

### Protecciones

| Número | Componente | Descripción                                                                                |
|--------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | BRK1       | Conectado al selector Energizar Armario el cual también protege al Variador de Frecuencia. |
| 2      | BRK2       | Conectado a los elementos electrónicos del Quemador.                                       |
| 3      | F1 y F2    | Para proteger el Variador de Frecuencia.                                                   |
| 4      | F3 y F4    | Para proteger a la Baliza.                                                                 |
| 5      | F5         | Para proteger los elementos electrónicos del Quemador.                                     |
| 6      | F6         | Para proteger al PLC.                                                                      |
| 7      | F7 y F8    | Para proteger las fuentes de Poder de 24 VDC.                                              |

Tabla 3.25. Protecciones

### Borneras de Alimentación DC

| Número | Componente  | Descripción                                                                                           |
|--------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8      | Bornera N   | Es la conexión de neutro para las fuentes de 24 VDC.                                                  |
| 9      | Bornera 0 V | Es la señal negativa o referencia de la fuente de 24 VDC para distribuir a los elementos que se desea |

|    |                |                                                                                                                  |
|----|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                | alimentar.                                                                                                       |
| 10 | Bornera 24 VDC | Es la señal negativa o referencia de la fuente de 24 VDC para distribuir a los elementos que se desea alimentar. |

**Tabla 3.26. Borneras de Alimentación DC**

La fuente V3 es utilizada para alimentar la Tarjeta de Motores DC y enviar la señal positiva de la fuente al terminal común de salidas del PLC (C2), para enviar una señal de 24 VDC a la entrada del PLC mediante los pulsadores de Parada de Emergencia, Empezar proceso de Secado, Detener proceso de Secado, Empezar proceso de Envejecido, Detener proceso de Envejecido y enviar la señal negativa o referencia de la fuente al terminal común de entradas del PLC (C0).

La fuente V4 es utilizada para alimentar el Transmisor de Temperatura, enviar la señal positiva al terminal común de las salidas del PLC (C3).

### **Borneras de Alimentación AC**

| <b>Número</b> | <b>Componente</b> | <b>Descripción</b>                                            |
|---------------|-------------------|---------------------------------------------------------------|
| 11            | Bornera GND       | Tierra.                                                       |
| 12            | Bornera L1 y L2   | Para energizar el armario. Se conectan la fase 1 y la fase 2. |
| 13            | Bornera N         | Neutro.                                                       |

**Tabla 3.27. Borneras de Alimentación AC**

### Borneras de Control

| Número | Componente                 | Descripción                                                                          |
|--------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 14     | Bornera Y0                 | Sirena que posee la Baliza.                                                          |
| 15     | Bornera Y1                 | Luz indicadora roja que posee la Baliza.                                             |
| 16     | Bornera Y2                 | Luz indicadora amarilla que posee la Baliza.                                         |
| 17     | Bornera Y3                 | Luz indicadora verde que posee la Baliza.                                            |
| 18     | Bornera Y4                 | Entrada lógica del variador de frecuencia para la marcha o paro del motor trifásico. |
| 19     | Bornera Y5                 | Luz indicadora Motor en marcha                                                       |
| 20     | Bornera Y6                 | Luz indicadora Motor Detenido.                                                       |
| 21     | Bornera Y7                 | Relé de mando que activa el motor monofásico del Quemador.                           |
| 22     | Bornera Y10, Y11, Y12, Y13 | Entrada del la Tarjeta de Motores DC.                                                |
| 23     | Bornera Y14                | Relé de mando que activa el electrodo del Quemador.                                  |
| 24     | Bornera Y15                | Relé de mando que activa la electroválvula del Quemador.                             |

Tabla 3.28. Borneras de Control

**Borneras de E/S**

| <b>Número</b> | <b>Componente</b>                       | <b>Descripción</b>                         |
|---------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 25            | Bornera M1 (+), M1 (-), M2 (+) y M2 (-) | Conectadas a los motores DC.               |
| 26            | Bornera 41, 42, 43                      | Conectadas al sensor de temperatura PT100. |

Tabla 3.29. Borneras de E/S

**Borneras de Potencia**

| <b>Número</b> | <b>Componente</b>         | <b>Descripción</b>             |
|---------------|---------------------------|--------------------------------|
| 27            | Bornera M(U), M(V) y M(W) | Conectadas al motor trifásico. |

Tabla 3.30. Borneras de Potencia

### 3.14. Ubicación de sensores y actuadores en la planta

#### 3.14.1. Ubicación de sensores en la planta

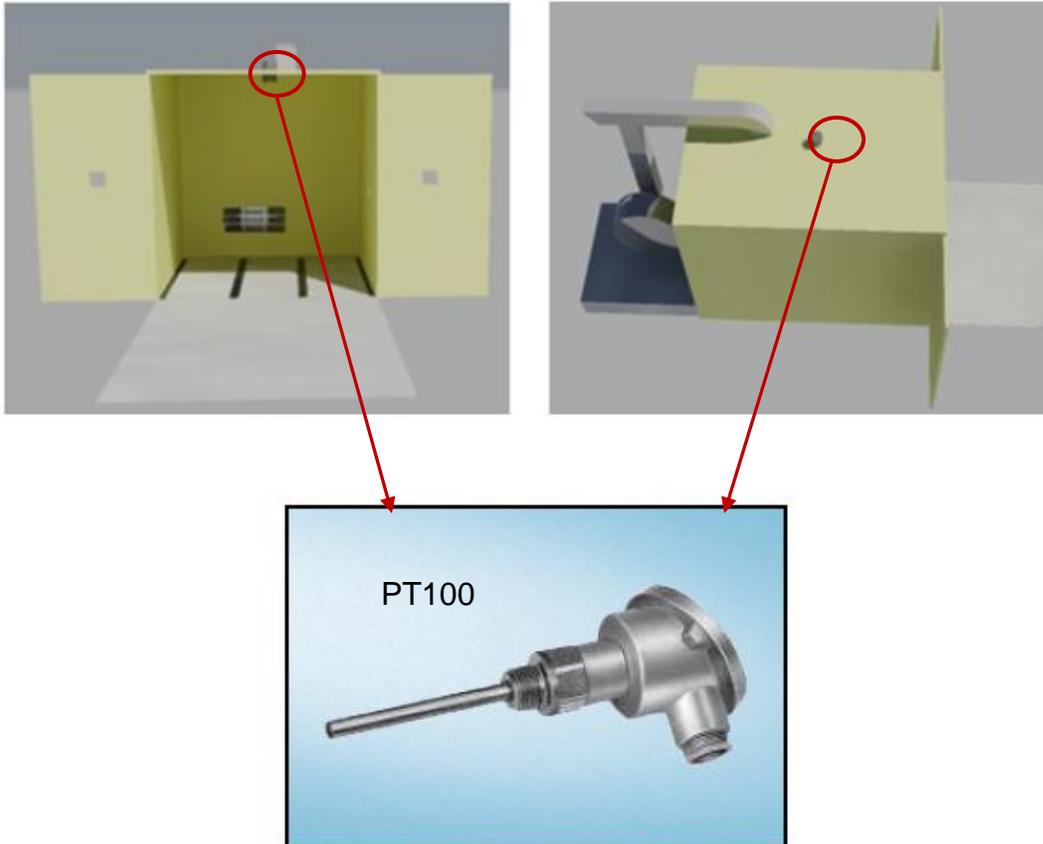


Figura 3.12. Ubicación de sensores en la planta

### 3.14.2. Ubicación de actuadores en la planta

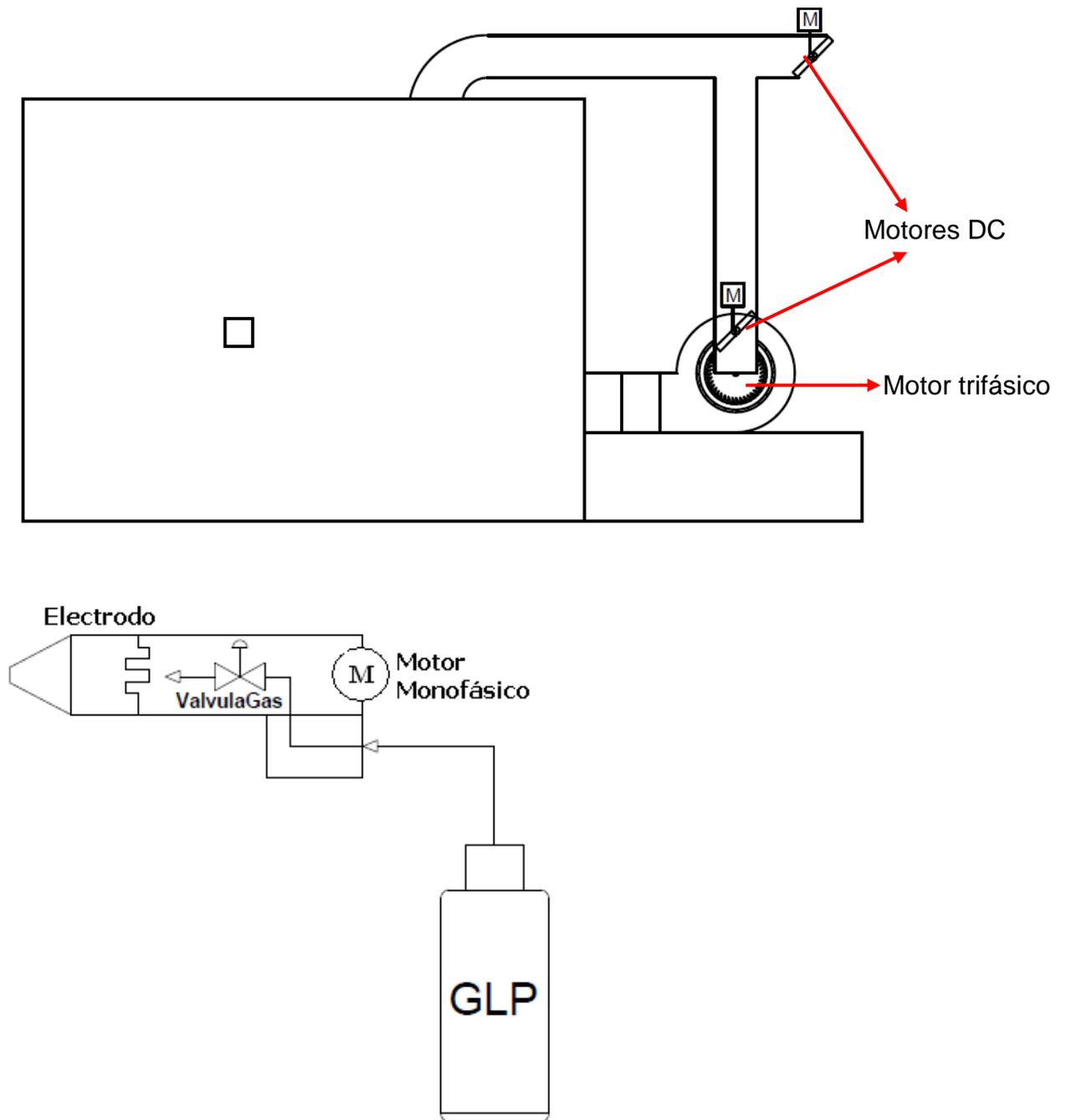
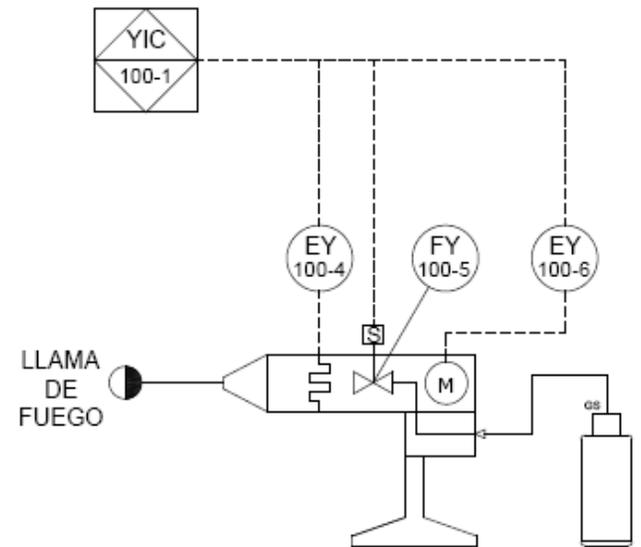
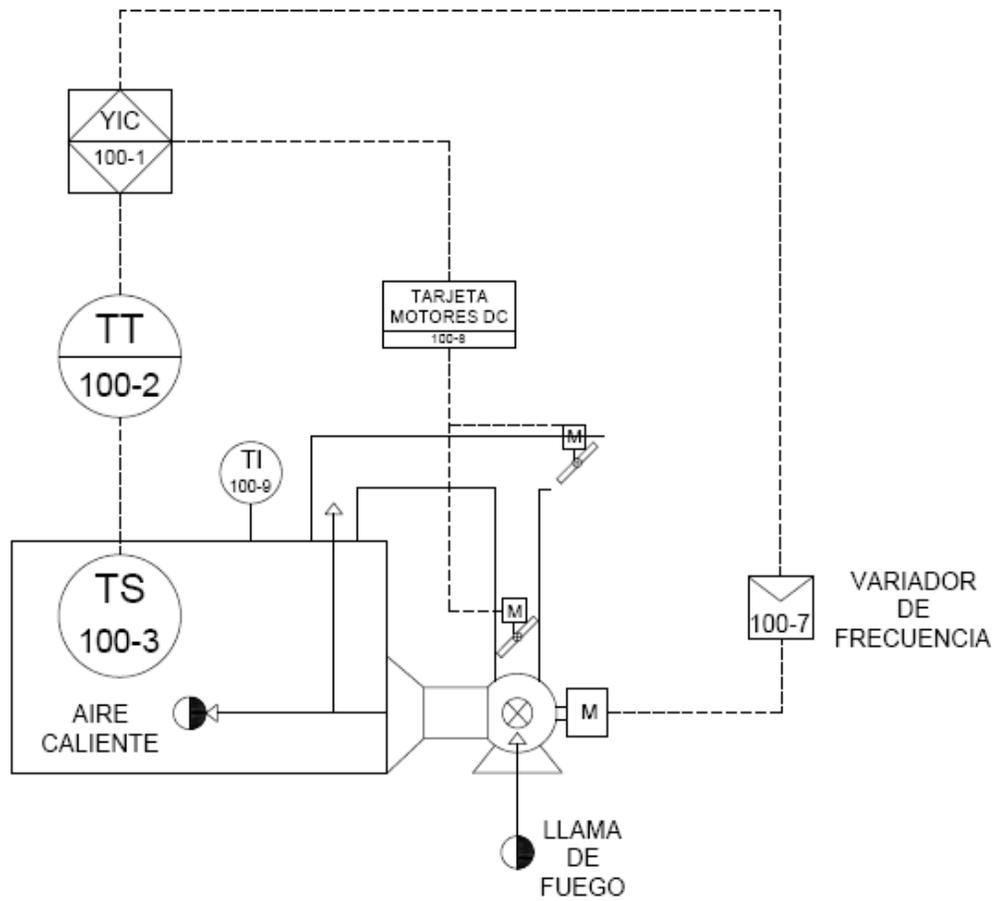


Figura 3.13. Ubicación de actuadores en la planta

### 3.15. Diagrama P&ID



| VARIABLE | ID            | DESCRIPCIÓN                          |
|----------|---------------|--------------------------------------|
| TS       | 100 - 3       | SENSOR DE TEMPERATURA                |
| TT       | 100 - 2       | TRANSMISOR DE TEMPERATURA            |
| YIC      | 100 - 1       | CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC) |
| TI       | 100 - 9       | INDICADOR DE TEMPERATURA (ANALÓGICO) |
| FY       | 100 - 5       | ELECTROVALVULA                       |
| EY       | 100-4 / 100-6 | RELÉ ELECTROMAGNÉTICO                |

| CONVENCIONES                                                                        |                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|  | CONEXIÓN A PROCESO                                   |
|  | SEÑAL ELÉCTRICA                                      |
|  | INSTRUMENTO UBICADO EN LA PLANTA                     |
|  | INSTRUMENTO UBICADO EN EL TABLERO DE CONTROL         |
|  | CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE ACCESIBLE AL OPERADOR |
| ES                                                                                  | FUENTE ELECTRICA                                     |
| GS                                                                                  | FUENTE DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO                    |

Figura 3.14. Diagrama P&amp;ID

## CAPÍTULO 4

### IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL

#### 4.1. Sistema de control de temperatura

El sensor de temperatura que se utiliza es un PT100, cuya señal se transmite al PLC a través del módulo correspondiente, del cual las especificaciones se encuentran en el capítulo 3.

La figura 4.1 muestra la curva de respuesta de la planta al escalón.

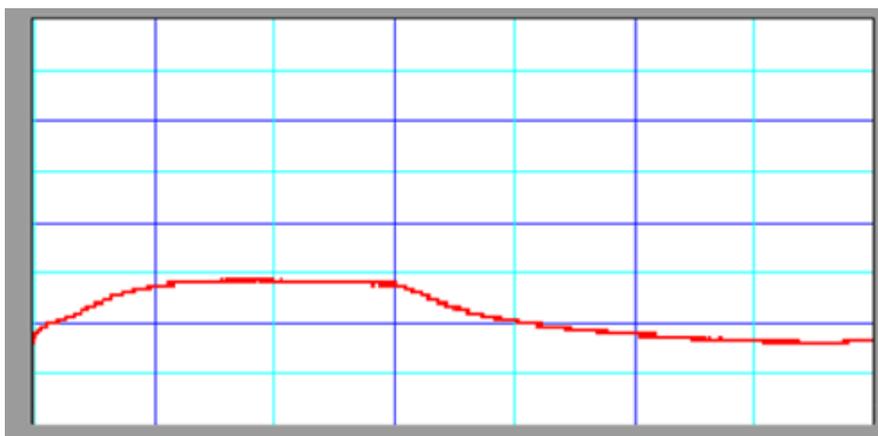


Figura 4.1. Curva de la planta (Temperatura vs. Tiempo)

### 4.1.1. Identificación de la planta

La identificación de la planta se realizó en **Matlab**, utilizando la herramienta **ident**.

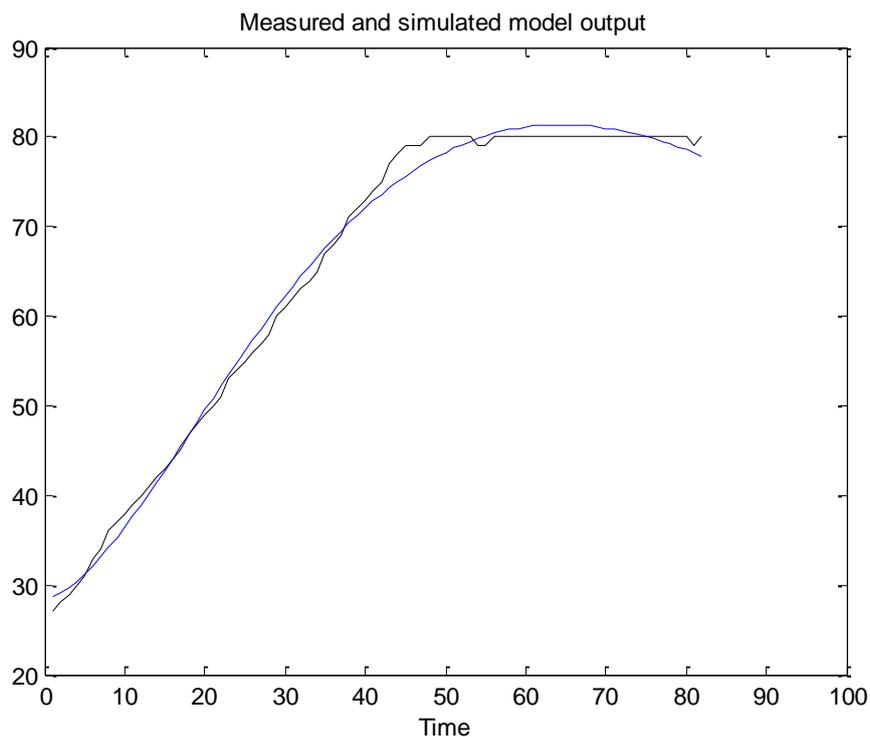
La función de transferencia que se utilizará para la identificación de los parámetros, es la planteada en la Fase I del proyecto.

$$\frac{K}{(1 + Tp1s)(1 + Tp2s)(1 + Tp3s)} \quad \text{Ecuación 1. Función de transferencia de la planta}$$

```
Process model with transfer function
      K
G(s) = -----
      (1+Tp1*s)(1+Tp2*s)(1+Tp3*s)
with  K = 0.43629
      Tp1 = 4.5618
      Tp2 = 4.6533
      Tp3 = 4.5714
```

Figura 4.2. Parámetros de la planta

Con estos parámetros se construye un modelo aproximado, que al compararlo con el modelo medido se ajusta en un 90,28%



**Figura 4.3. Modelo medido vs modelo simulado (Temperatura vs. Tiempo)**

#### **4.1.2. Control On/Off secado**

Puesto que el actuador que permite el paso de gas es una electroválvula On/Off, control que se aplicó es un control On/Off con histéresis.

En la figura 4.4 se muestra todo el proceso de secado, presentando las diferentes activaciones y desactivaciones que existen en el mismo.

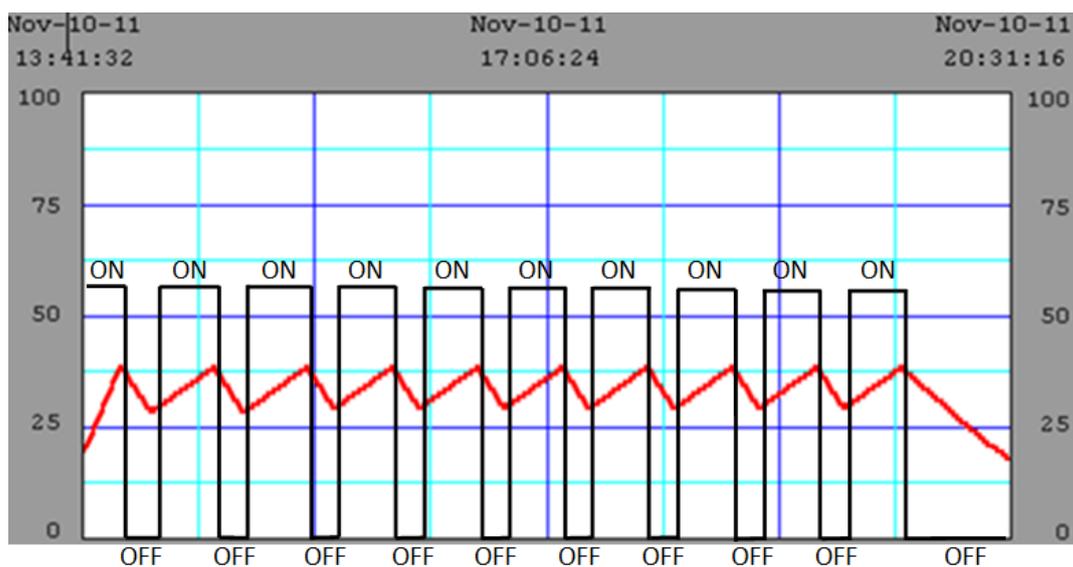


Figura 4.4. Respuesta de la planta controlada secado (Temperatura vs. Tiempo)

|           |         |
|-----------|---------|
| <b>T1</b> | 0:25:08 |
| <b>T2</b> | 0:25:09 |
| <b>T3</b> | 0:23:34 |
| <b>T4</b> | 0:23:33 |
| <b>T5</b> | 0:23:25 |
| <b>T6</b> | 0:23:46 |
| <b>T7</b> | 0:23:41 |
| <b>T8</b> | 0:23:46 |
| <b>T9</b> | 0:23:45 |

Tabla 4.1. Tiempos de pulsos de activación

Los pulsos de activación tienen una duración de: 0:25:08, 0:25:09, 0:23:34, 0:23:33, 0:23:25, 0:23:46, 0:23:41, 0:23:46, 0:23:45, por lo tanto el tiempo de activación del pulso se encuentra en el rango de 23 a 25 minutos.

|           |         |
|-----------|---------|
| <b>T1</b> | 0:12:33 |
| <b>T2</b> | 0:14:04 |
| <b>T3</b> | 0:14:03 |
| <b>T4</b> | 0:14:04 |
| <b>T5</b> | 0:14:02 |
| <b>T6</b> | 0:14:11 |
| <b>T7</b> | 0:13:56 |
| <b>T8</b> | 0:13:58 |
| <b>T9</b> | 0:13:49 |

**Tabla 4.2. Tiempos de pulsos de desactivación**

Los pulsos de desactivación tiene una duración de: 0:12:33, 0:14:04, 0:14:03, 0:14:04, 0:14:02, 0:14:11, 0:13:56, 0:13:58, 0:13:49, por lo tanto el tiempo de desactivación del pulso se encuentra en el rango de 12 a 14 minutos.

#### **4.1.3. Control On/Off envejecido**

Puesto que el actuador que permite el paso de gas es una electroválvula On/Off, control que se aplicó es un control On/Off con histéresis.

En la figura 4.5 se muestra todo el proceso de envejecido, presentando las diferentes activaciones y desactivaciones que existen en el mismo.

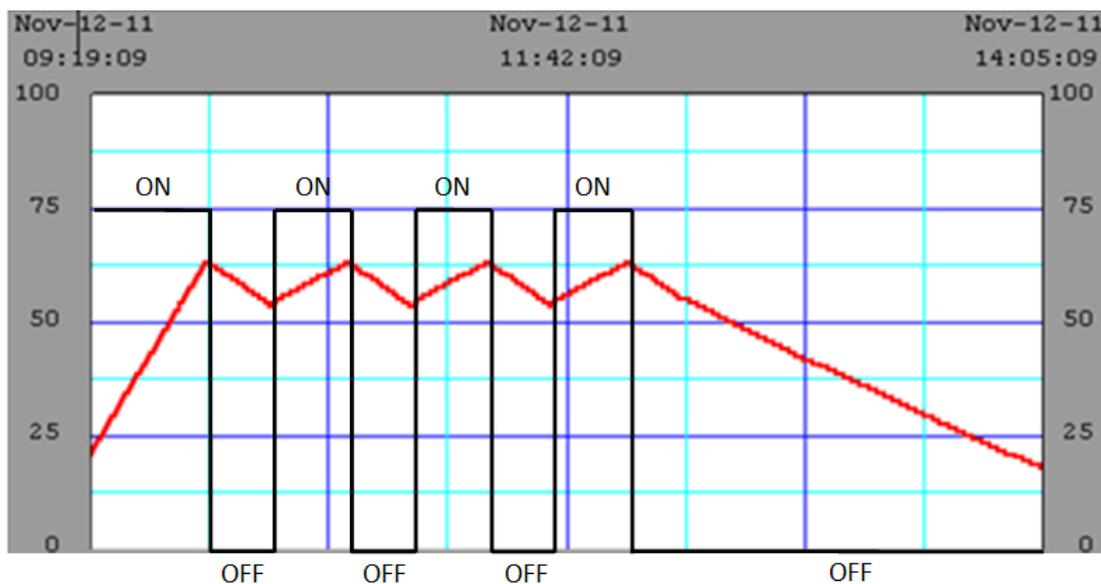


Figura 4.5. Respuesta de la planta controlada envejecido (Temperatura vs. Tiempo)

|           |         |
|-----------|---------|
| <b>T1</b> | 0:21:54 |
| <b>T2</b> | 0:20:08 |
| <b>T3</b> | 0:20:17 |

Tabla 4.3. Tiempos de pulsos de activación

Los pulsos de activación tienen una duración de: 0:21:54, 0:20:08, 0:20:17, por lo tanto el tiempo de activación del pulso se encuentra en el rango de 20 a 22 minutos.

|           |         |
|-----------|---------|
| <b>T1</b> | 0:17:10 |
| <b>T2</b> | 0:18:21 |
| <b>T3</b> | 0:17:08 |
| <b>T4</b> | 0:18:58 |

Tabla 4.4. Tiempos de pulsos de desactivación

Los pulsos de desactivación tiene una duración de: 0:17:10, 0:18:21, 0:17:08, 0:18:58, por lo tanto el tiempo de desactivación del pulso se encuentra en el rango de 17 a 19 minutos.

## CAPÍTULO 5

### PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR Y VARIADOR

#### 5.1. Programación del controlador

El PLC será el encargado de controlar el proceso mediante:

- La adquisición de datos correspondientes a la variable de temperatura; para ello el controlador tendrá como entrada analógica el sensor de temperatura.
- La manipulación de la frecuencia del motor trifásico con ventilador centrífugo.
- El control del encendido del motor del quemador, mechero y la apertura de la electroválvula; además, existe una fotocelda que detecta si hay o no llama.
- El control de señales hacia los motores DC para la apertura y cierre de los dumpers.

Por razones de seguridad en la apertura del gas hacia el quemador se debe incluir, a parte de la electroválvula, una válvula de accionamiento manual.

El control se realizará dependiendo del proceso que se quiera realizar:

- Secado.
- Envejecido.

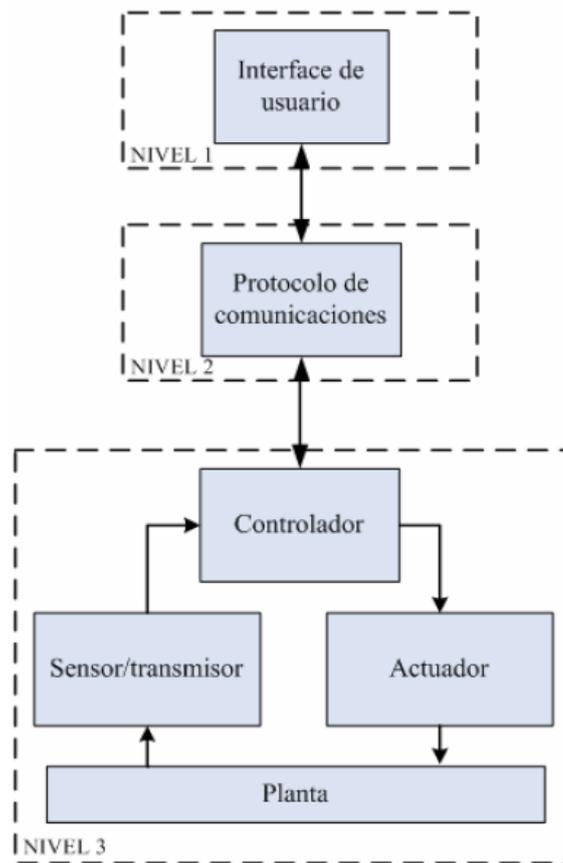


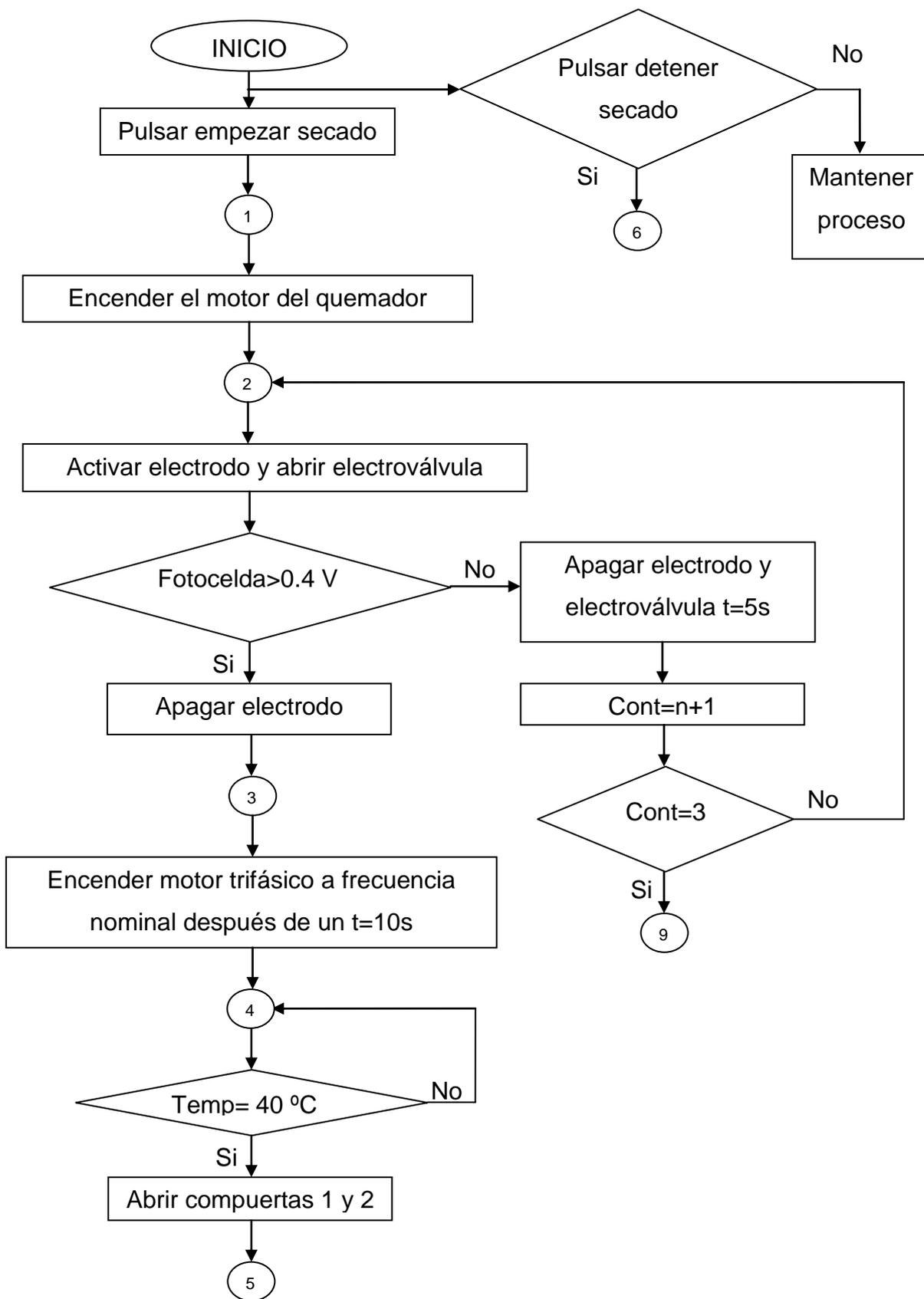
Figura 5.1. Arquitectura básica del sistema de control<sup>1</sup>

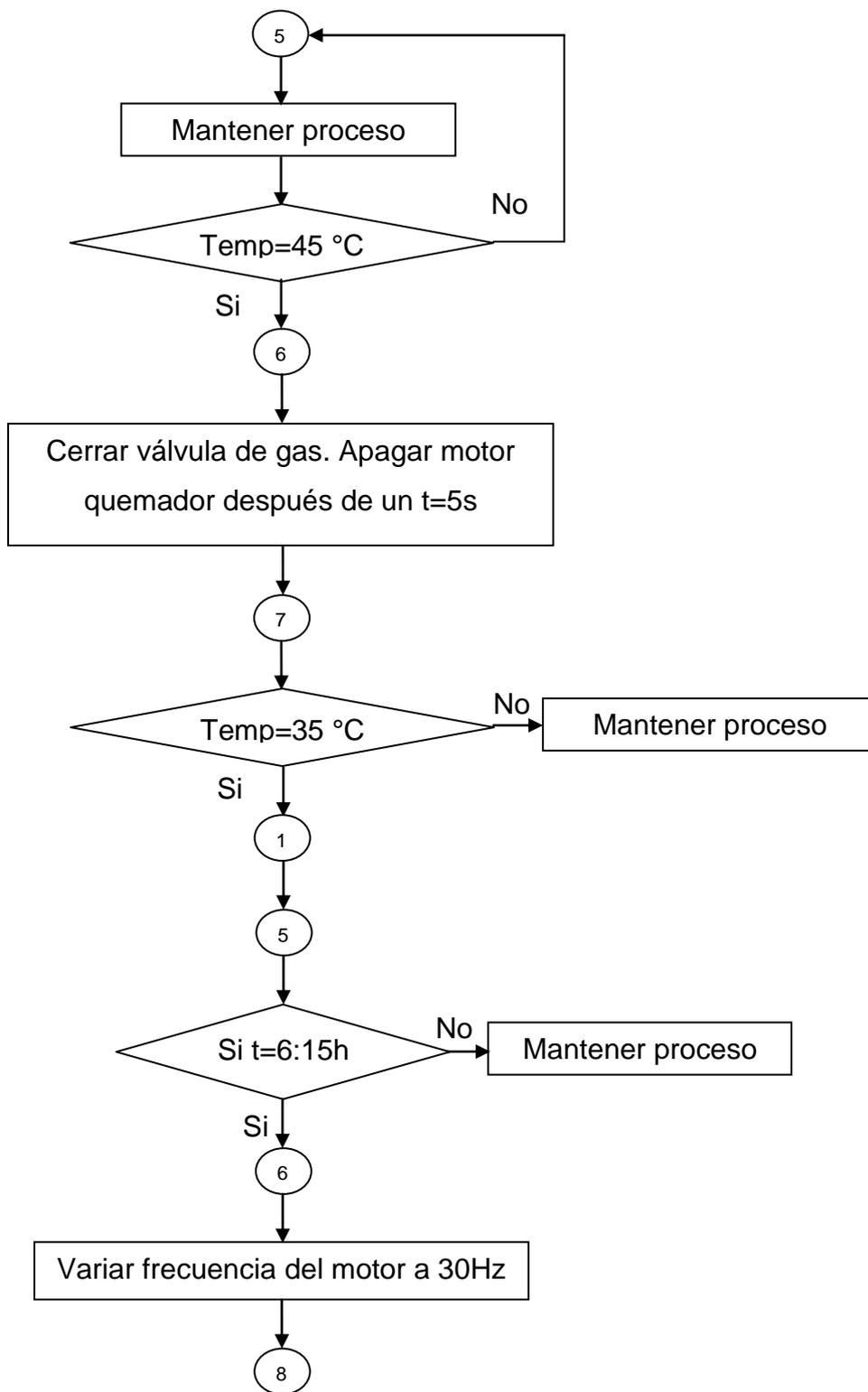
### 5.1.1. Diagramas de flujo

#### 5.1.1.1. Secado

En el proceso de secado la humedad de entrada debe estar entre 22–20 % RH y la temperatura del proceso es de 40 – 50 °C.

Se inicializa  $n = 0$





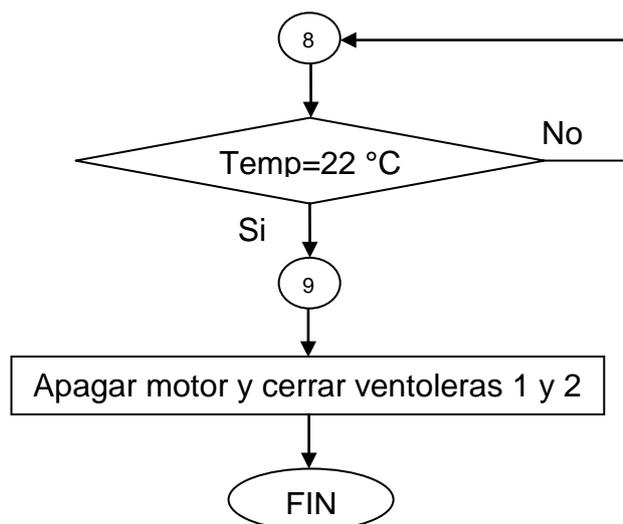
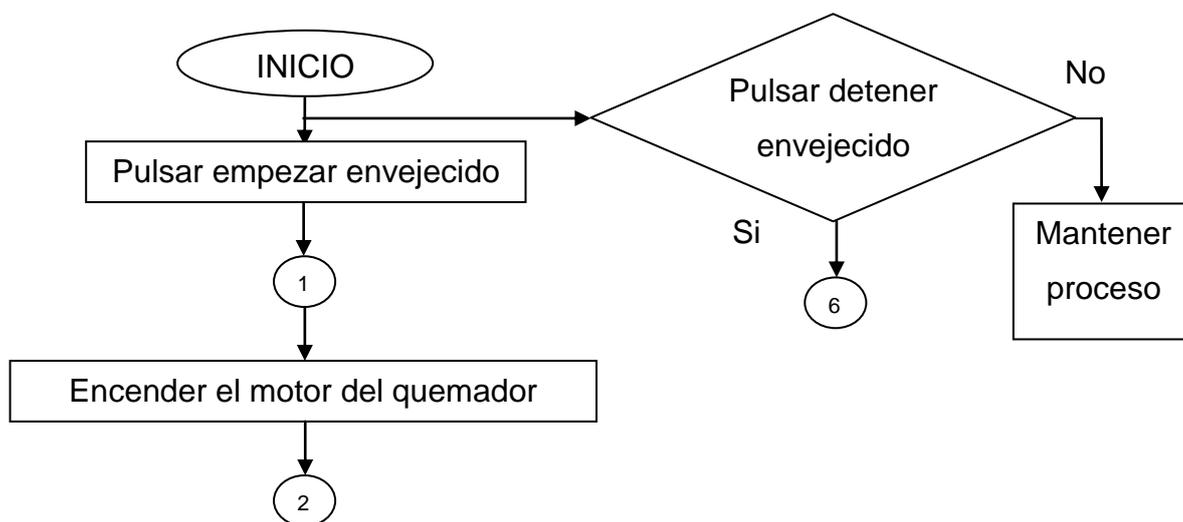


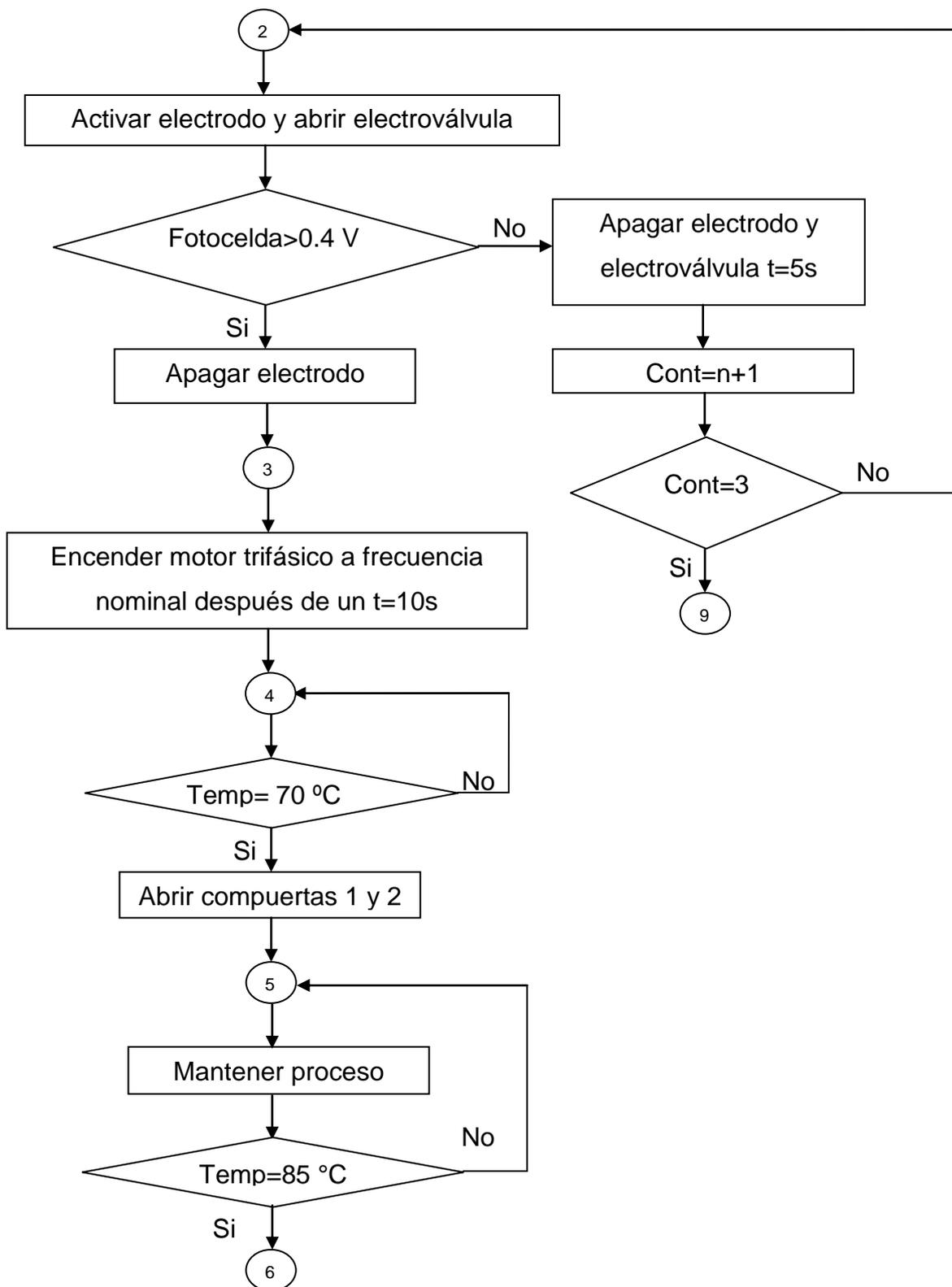
Figura 5.2. Diagrama de flujo del proceso de secado

### 5.1.1.2. Envejecido

En el proceso de envejecido solo cambia la humedad de entrada la cual debe estar entre 16-14%RH y la temperatura del proceso es de 70 - 80 °C.

Inicializamos  $n = 0$





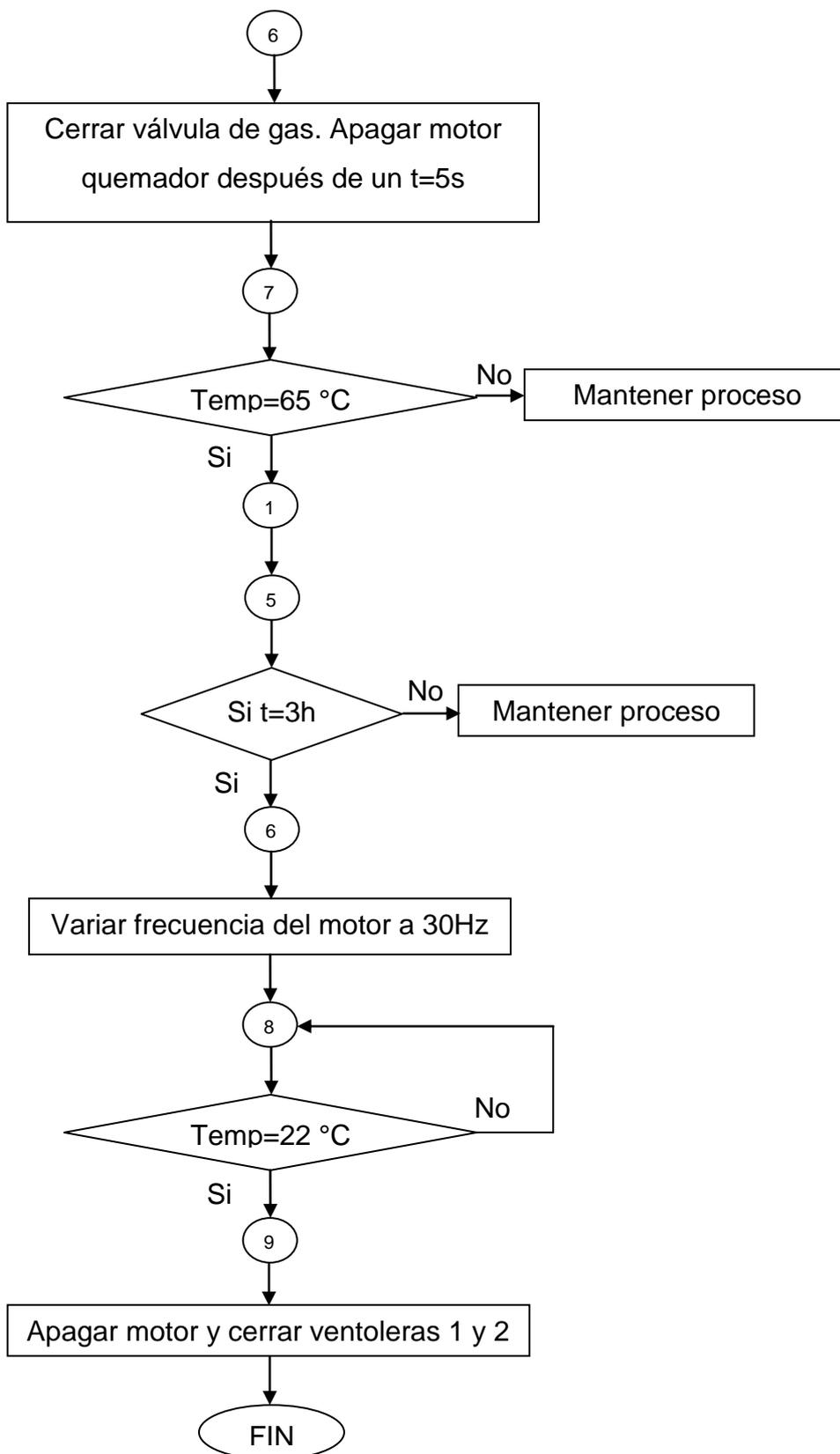


Figura 5.3. Diagrama de flujo del proceso de envejecido

### 5.1.2. Programación en Ladder [5]

En este bloque de programación se observa cómo se habilitan los canales analógicos del PLC y se definen las direcciones dónde se leerán los valores de las entradas y salida analógicas. En nuestro caso utilizaremos dos canales de entrada: uno para el PT 100 y otro para la Fococelda; y uno de salida: para el variador de velocidad.

A su vez en el mismo bloque se realizó la conversión de las variables analógicas a unidades de ingeniería.

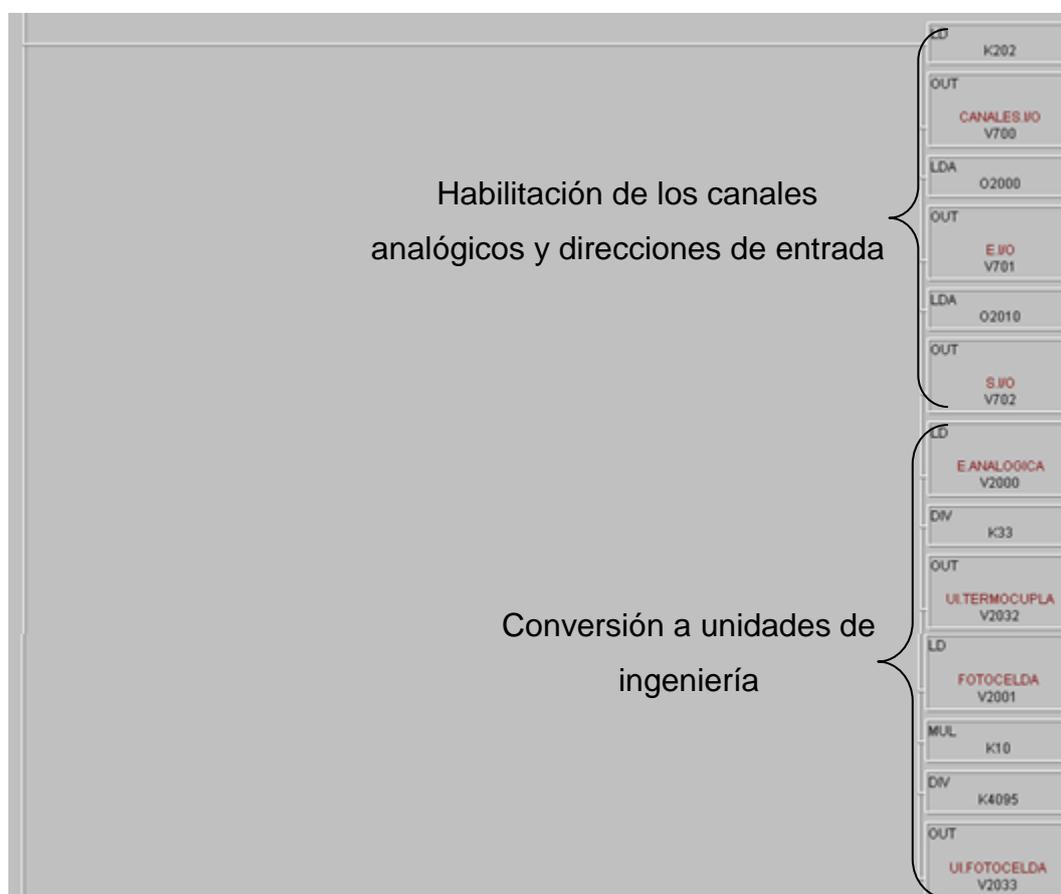


Figura 5.4. Habilitación de canales y conversión de unidades

Se cargó los valores del setpoint en direcciones de memoria, y colocamos la histéresis que debe haber para el control On/Off, tanto para el secado como para el envejecido.

El setpoint se validará únicamente si se comienza el proceso por ello existe un contacto de activación del bloque.

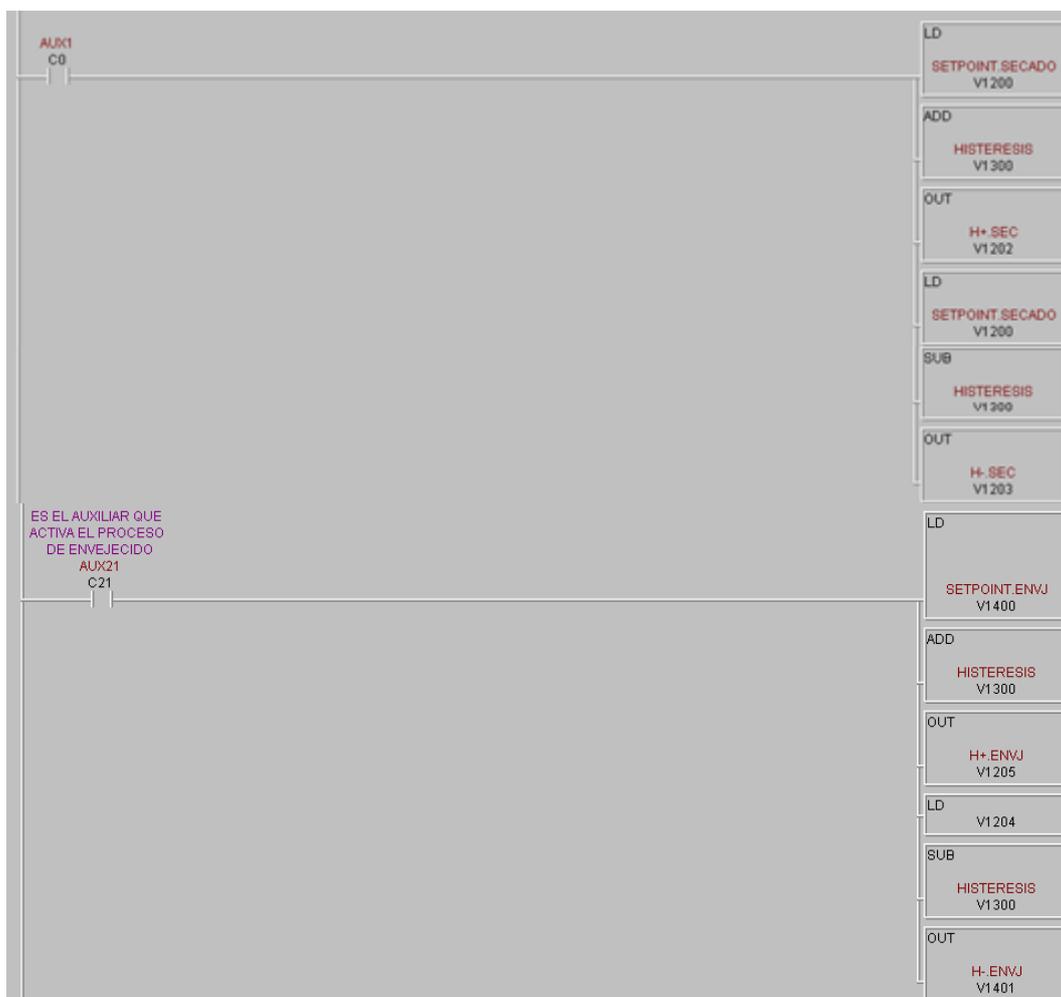


Figura 5.5. Setpoint e histéresis

En el siguiente bloque se programó el encendido del quemador, así como el encendido On/Off que requiere el proceso.



Figura 5.6.1. Proceso On/Off del quemador

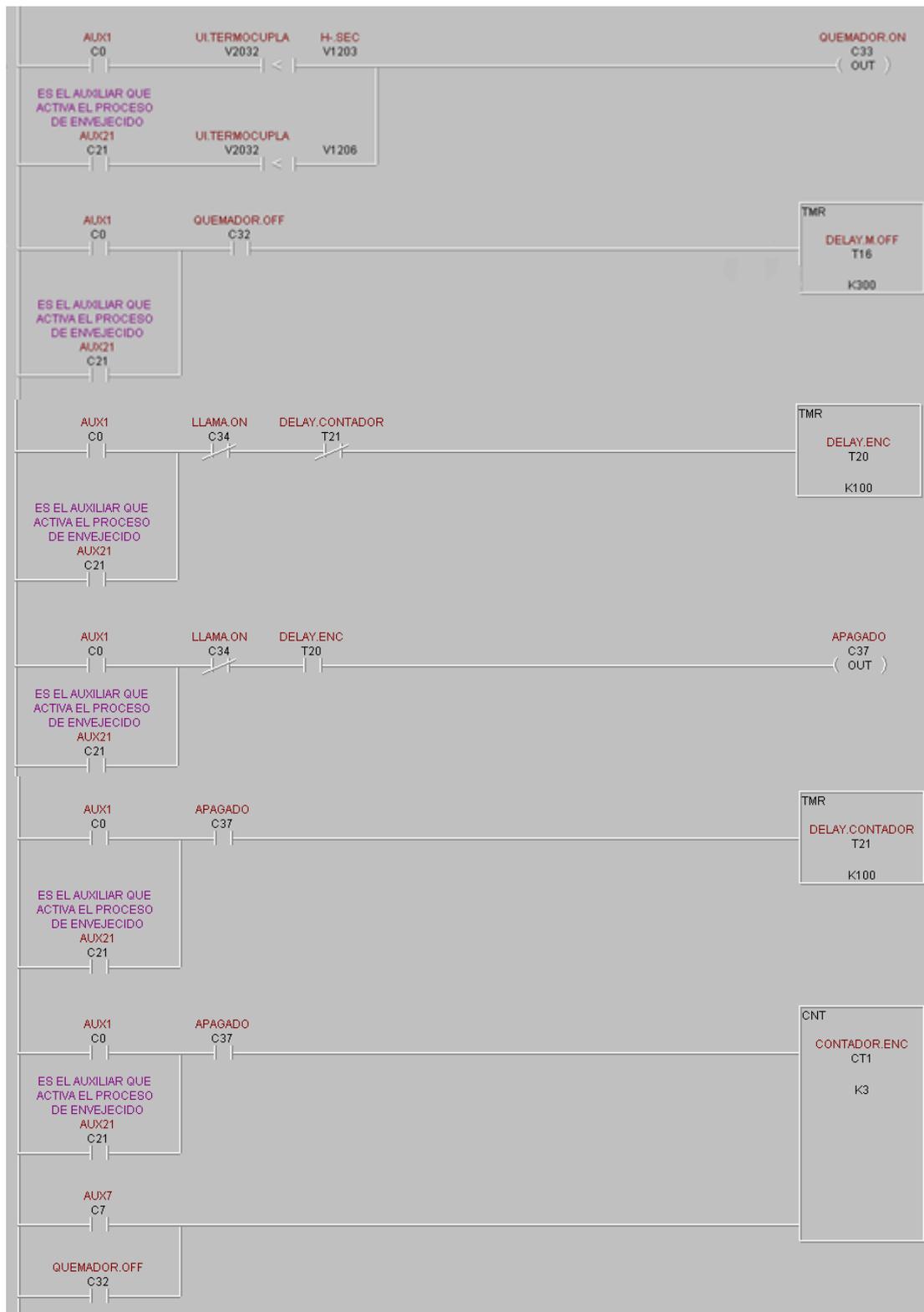


Figura 5.6.2. Proceso On/Off del quemador

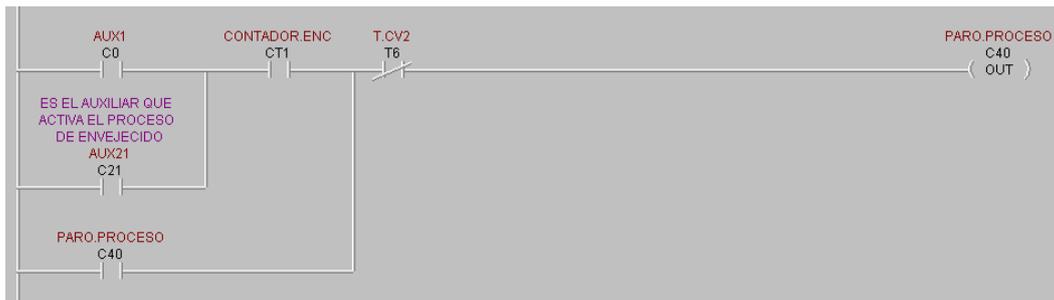


Figura 5.6.3. Proceso On/Off del quemador

La siguiente programación muestra el retraso para que el motor trifásico comience a trabajar; cargando en la salida analógica correspondiente el valor de 4095 equivalente a la frecuencia nominal del motor.

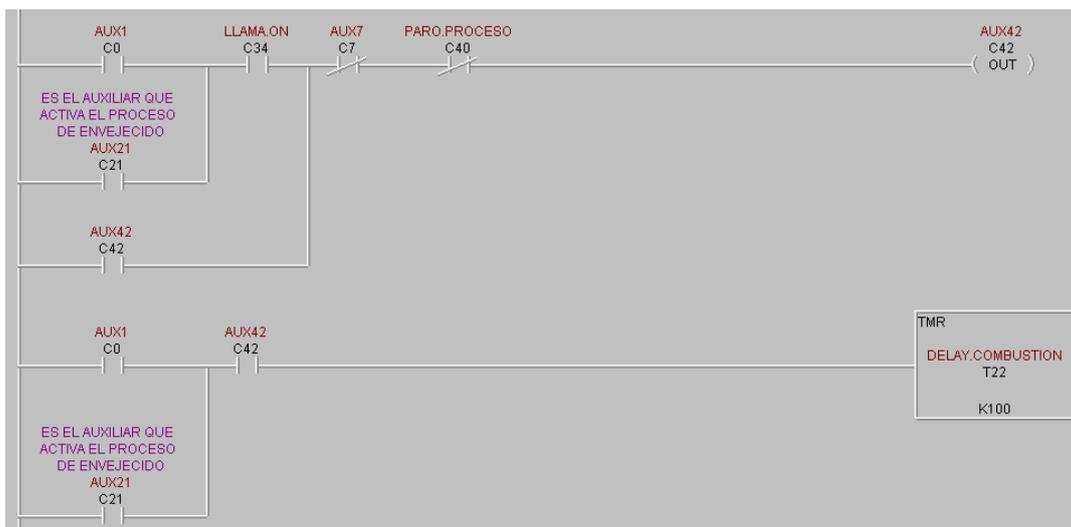
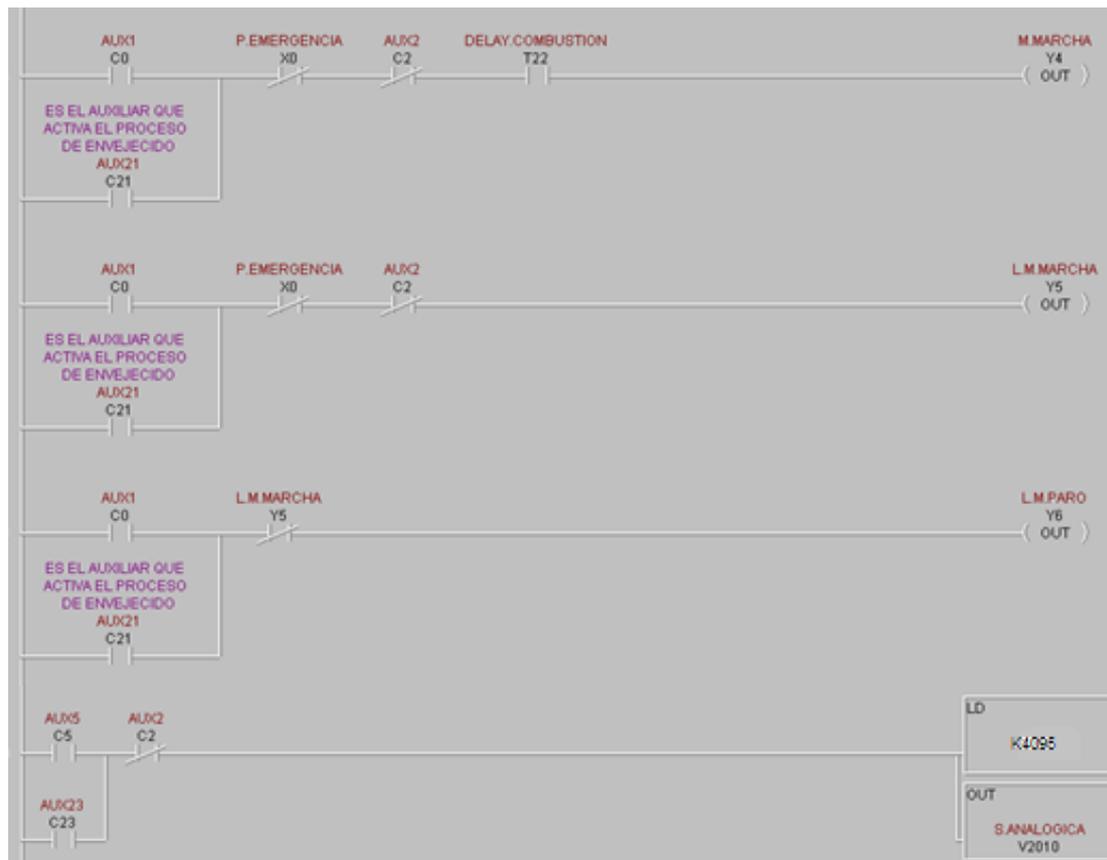


Figura 5.7.1. Motor trifásico



**Figura 5.7.2. Motor trifásico**

A continuación se encuentran los bloques del proceso desde la abierta de las ventoleras, hasta la culminación del mismo.

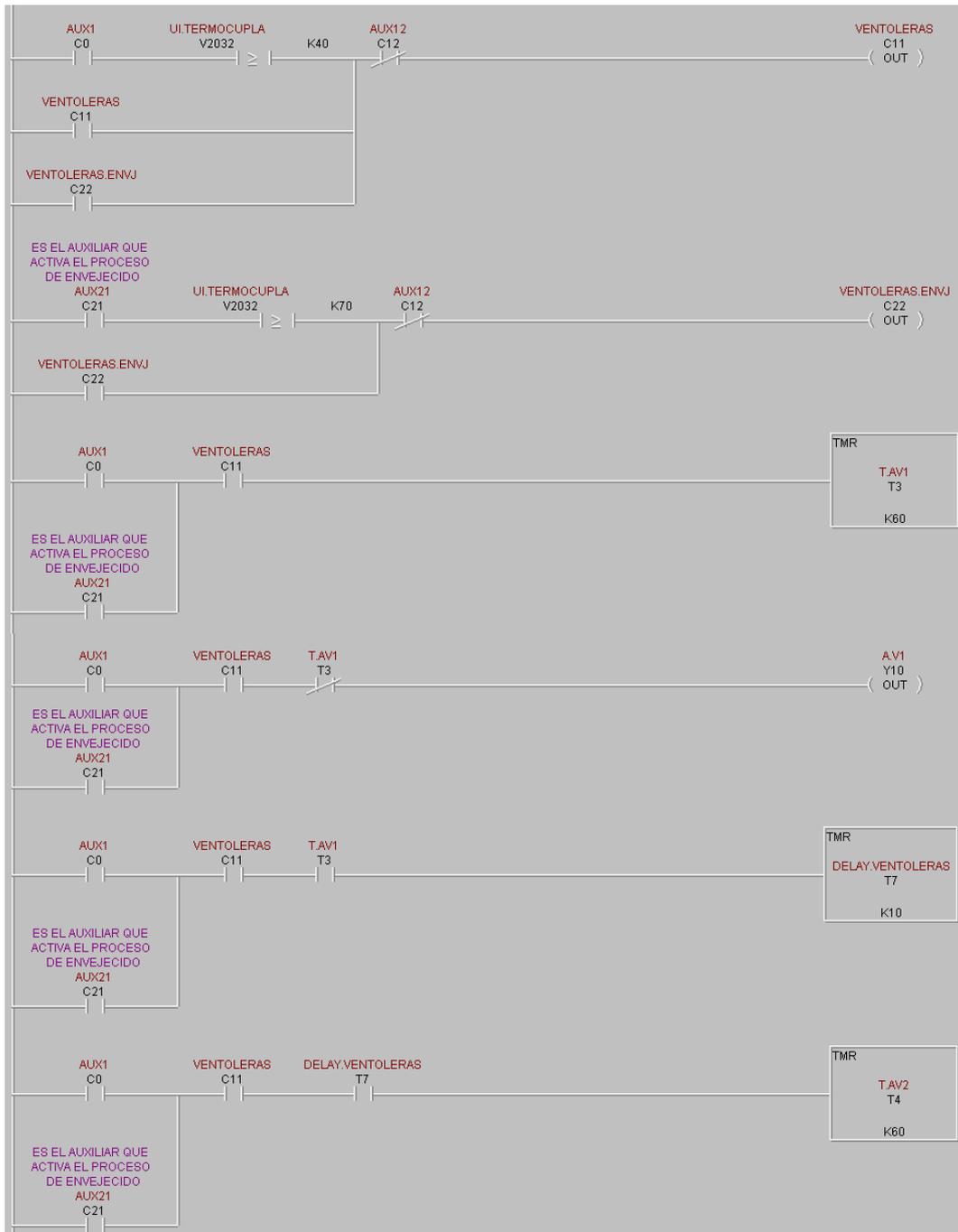


Figura 5.8.1. Ventoleras, condiciones y culminación del proceso

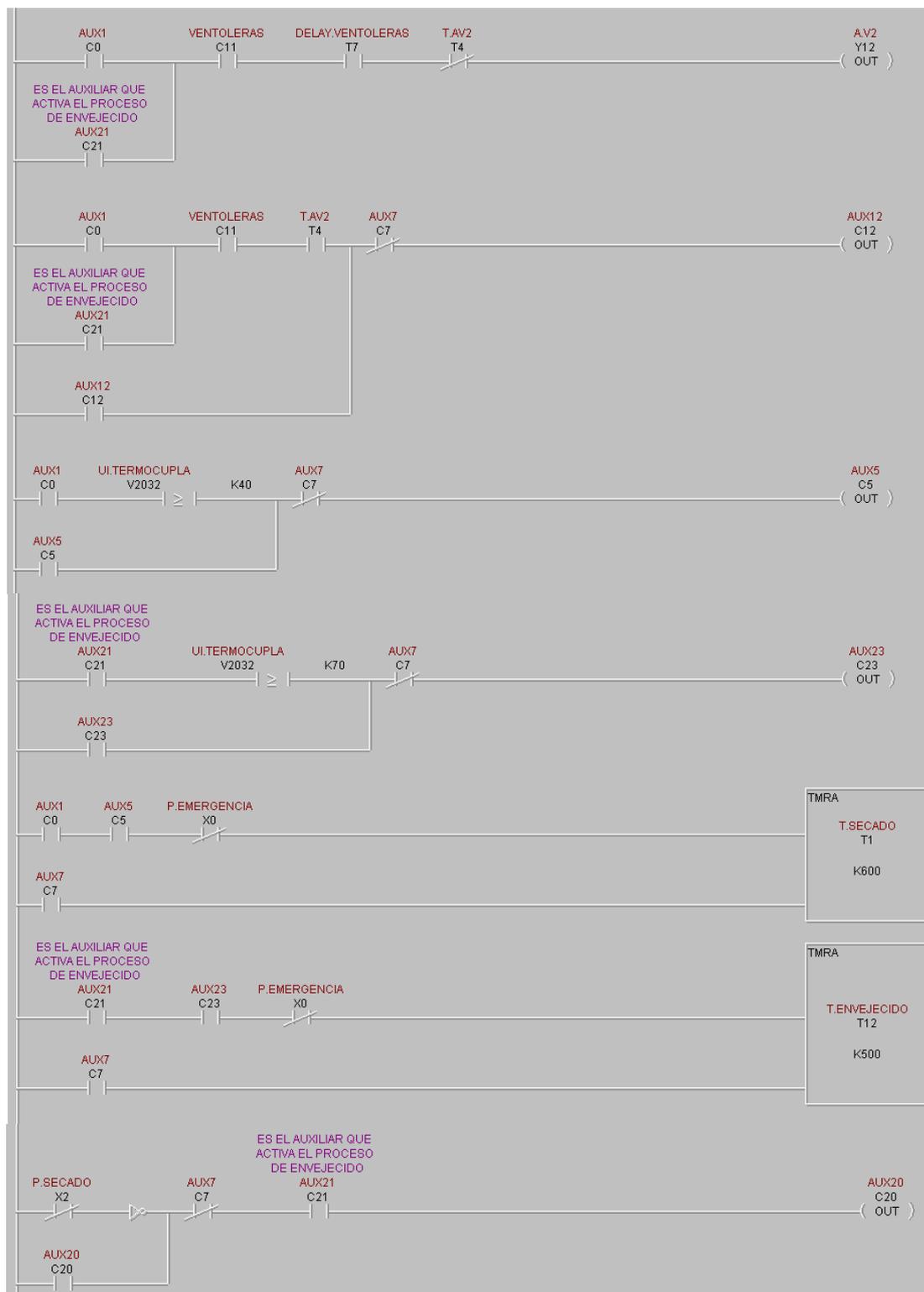


Figura 5.8.2. Ventoleras, condiciones y culminación del proceso

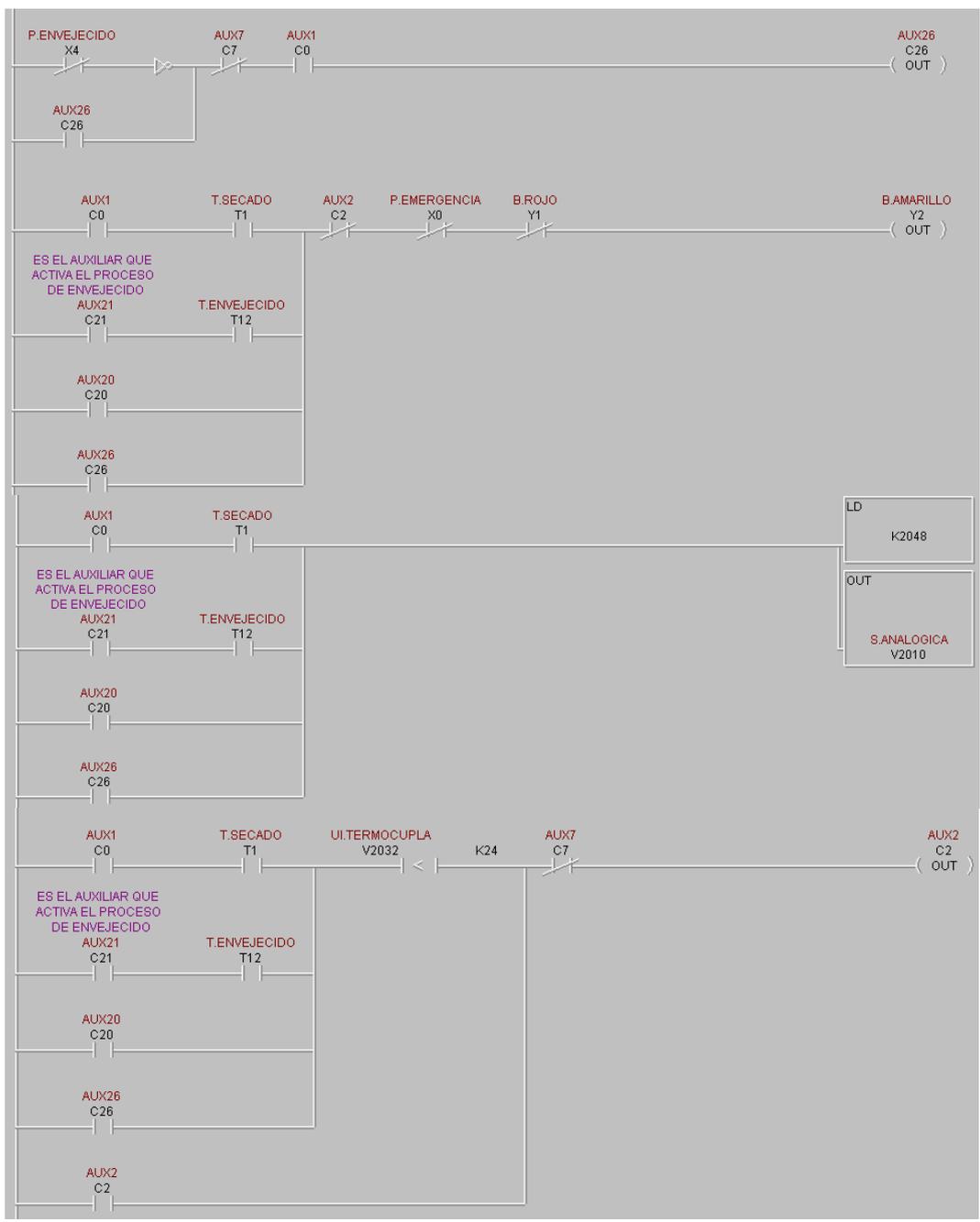


Figura 5.8.2. Ventiladores, condiciones y culminación del proceso

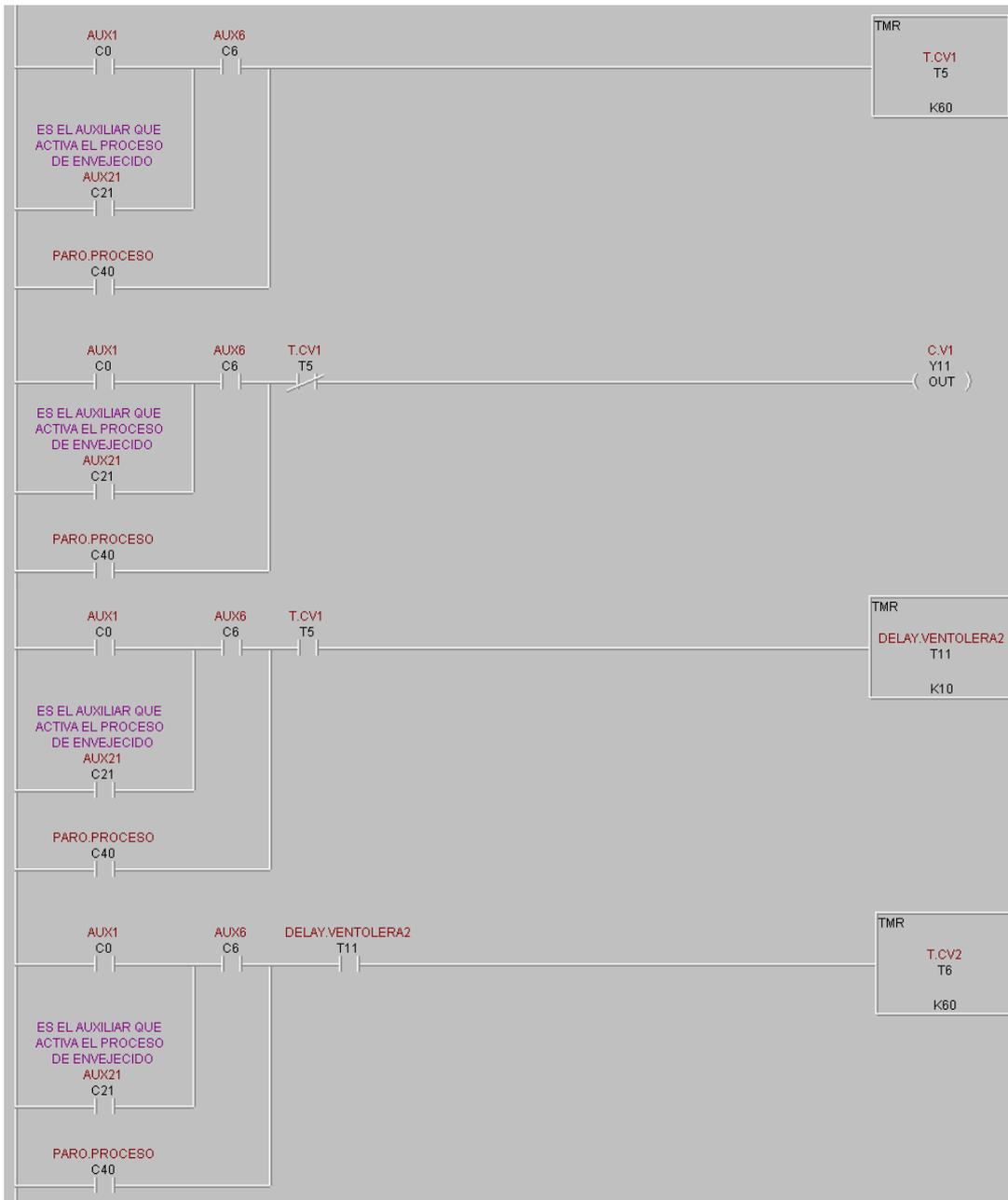
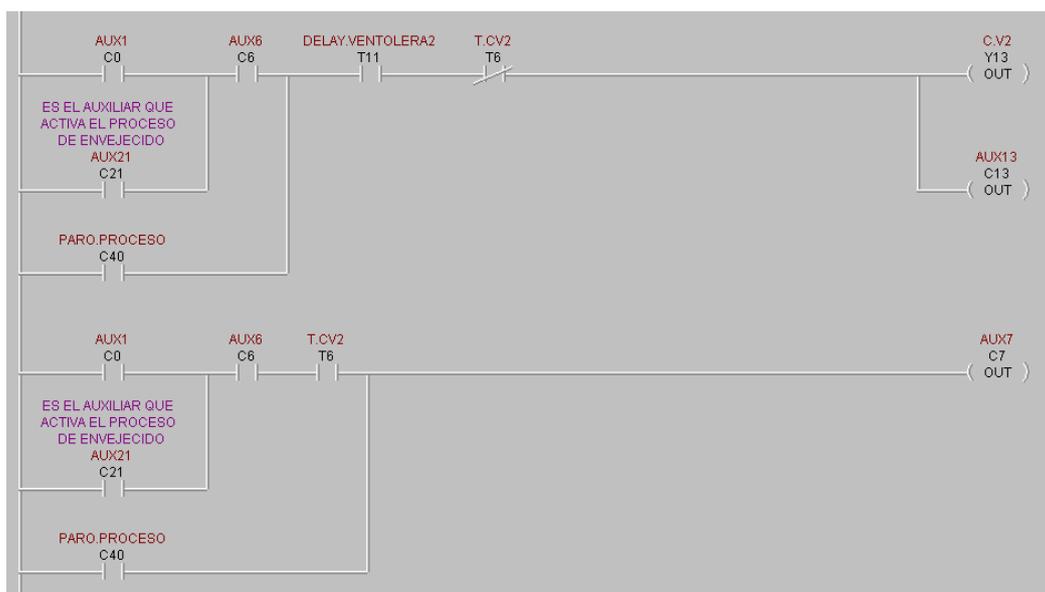


Figura 5.8.3. Ventiladoras, condiciones y culminación del proceso



**Figura 5.8.4. Ventoleras, condiciones y culminación del proceso**

Una vez realizado el programa se guardó en el disco, se configuró la comunicación como se muestra en el Capítulo VI y finalmente se escribió en el PLC.

### 5.1.3. Tabla de Tags

| Entradas |               |
|----------|---------------|
| Elemento | Nombre        |
| X0       | P. EMERGENCIA |
| X1       | I. SECADO     |
| X2       | P. SECADO     |
| X3       | I. ENVEJECIDO |
| X4       | P. ENVEJECIDO |
| Salidas  |               |
| Elemento | Nombre        |
| Y0       | SIRENA        |
| Y1       | B. ROJO       |
| Y2       | B. AMARILLO   |
| Y3       | B. VERDE      |
| Y4       | M. MARCHA     |

|                        |                  |
|------------------------|------------------|
| Y5                     | L. M. MARCHA     |
| Y6                     | L. M. PARO       |
| Y7                     | MOTOR QUEMADOR   |
| Y10                    | A.V1             |
| Y11                    | C.V1             |
| Y12                    | A.V2             |
| Y13                    | C.V2             |
| Y14                    | ELECTRODO        |
| Y15                    | ELECTROVÁLVULA   |
| Y16                    | V2.ABIERTA       |
| Y17                    | V1,ABIERTA       |
| <b>Canal Analógico</b> |                  |
| V700                   | CANALES I/O      |
| V701                   | E.I/O            |
| V702                   | S.I/O            |
| <b>Variables</b>       |                  |
| V1200                  | SETPOINT.SECADO  |
| V1202                  | H+.SEC.          |
| V1203                  | H-.SEC           |
| V1400                  | SETPOINT.ENVJ    |
| V1401                  | H-.ENVJ          |
| V1402                  | H+.ENVJ          |
| V2000                  | E.ANALOGICA      |
| V2001                  | FOTOCELDA        |
| V2010                  | S.ANALOGICA      |
| V2032                  | UI.TERMOCUPLA    |
| V2033                  | UI.FOTOCELDA     |
| <b>Temporizadores</b>  |                  |
| T0                     | SECADO           |
| T1                     | T.SECADO         |
| T3                     | T.AV1            |
| T4                     | T.AV2            |
| T5                     | T.CV1            |
| T6                     | T.CV2            |
| T7                     | DELAY.VENTOLERAS |
| T11                    | DELAY.VENTOLERA2 |
| T12                    | T.ENVEJECIDO     |
| T16                    | DELAY.M.OFF      |
| T20                    | DELAY.ENC        |
| T21                    | DELAY.CONTADOR   |
| T22                    | DELAY.COMBUSTION |
| <b>Contadores</b>      |                  |
| CT1                    | CONTADOR.ENC     |

| <b>Auxiliares</b> |                 |
|-------------------|-----------------|
| C0                | AUX1            |
| C2                | AUX2            |
| C3                | AUX3            |
| C4                | AUX4            |
| C5                | AUX5            |
| C6                | AUX6            |
| C7                | AUX7            |
| C11               | VENTOLERAS      |
| C12               | AUX12           |
| C13               | AUX13           |
| C14               | AUX14           |
| C15               | AUX15           |
| C16               | V1.CERRADA      |
| C17               | V2.CERRADA      |
| C20               | AUX20           |
| C21               | AUX21           |
| C22               | VENTOLERAS.ENVJ |
| C23               | AUX23           |
| C24               | AUX24           |
| C25               | AUX25           |
| C26               | AUX26           |
| C27               | AUX.MOTOR       |
| C30               | AUX30           |
| C31               | AUX31           |
| C32               | QUEMADOR.OFF    |
| C33               | QUEMADOR.ON     |
| C34               | LLAMA.ON        |
| C37               | APAGADO         |
| C40               | PARO.PROCESO    |
| C42               | AUX42           |

**Tabla 5.1. Tabla de tags**

## **5.2. Configuración del Variador [6]**

Para funciones del visualizador y teclas, estructura de los menús ir al anexo 10.

A continuación se detalla la forma de configurar el variador de velocidad para trabajar a través de su entrada analógica de 0 – 10 VDC.

1. En menú drC- se colocan los parámetros que definen el motor.

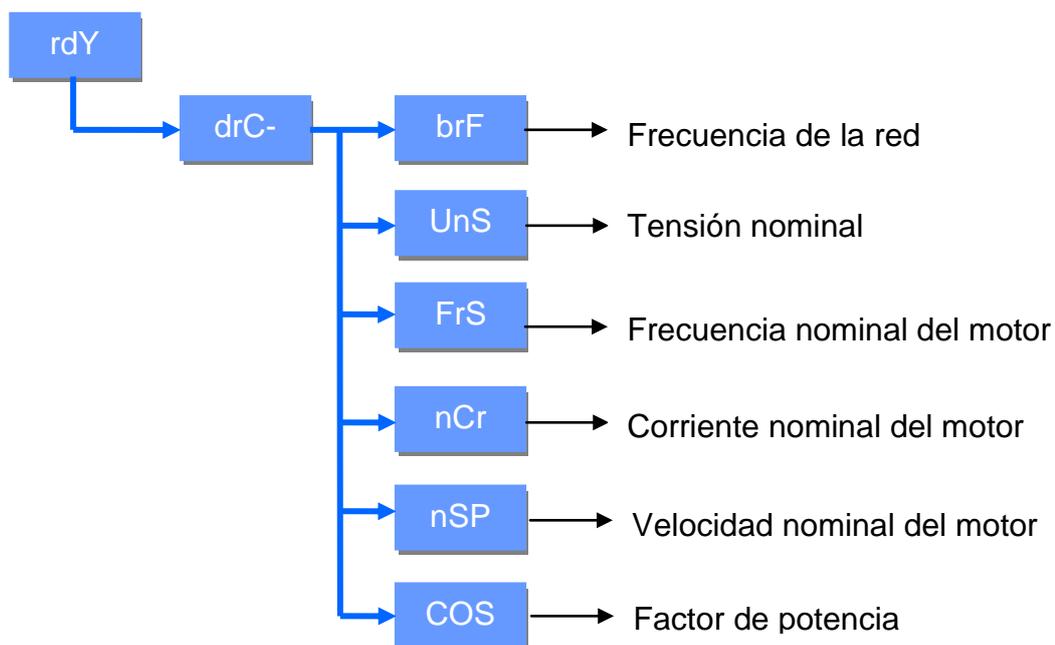


Figura 5.11. Menú drC-

2. En menú SEt- se define el tiempo tanto de la rampa de aceleración como de desaceleración.

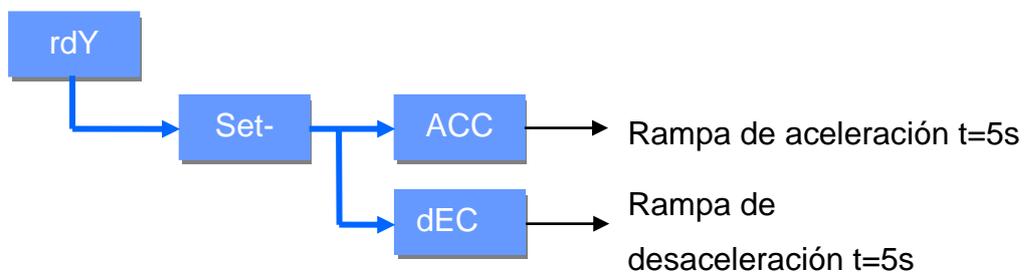


Figura 5.12. Menú Set-

3. En menú entradas/salidas I/O- del variador, se establece el modo de funcionamiento de las entradas y salidas.

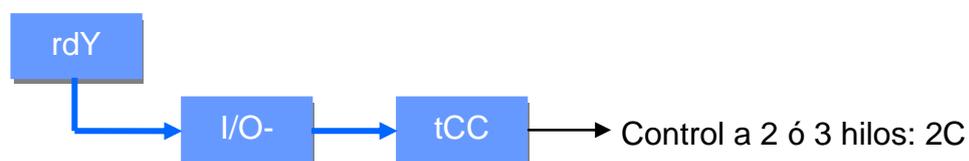


Figura 5.13. Menú I/O

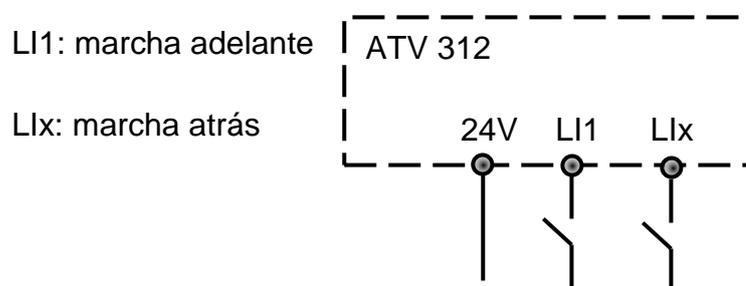


Figura 5.14. Ejemplo de control a 2 hilos

4. En menú CtL- se configura el nivel de acceso a las funciones y el medio a utilizar para la variación de frecuencia.

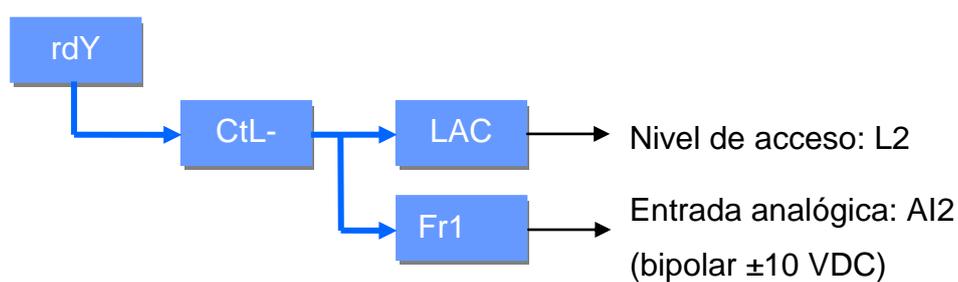
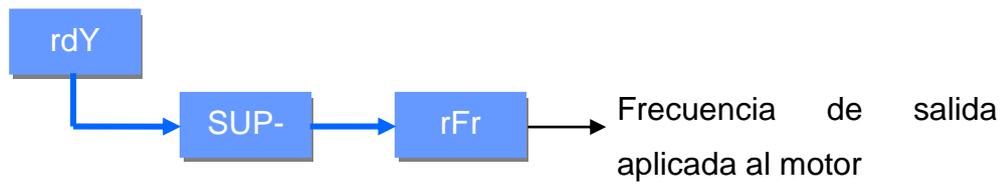


Figura 5.15. Menú CtL-

5. En menú SUP- se puede visualizar los parámetros principales del convertidor de frecuencia.



**Figura 5.16. Menú SUP-**

## **CAPITULO VI**

### **Interfaz HMI**

#### **6.1. Diseño de la arquitectura del sistema**

La mayoría de las aplicaciones hoy en día ya no pueden considerarse aplicaciones aisladas en el proceso global, más aun, es necesario supervisar y monitorear las distintas variables que intervienen en el proceso. Generalmente para la visualización o monitoreo de variables en un PLC se puede optar por una Pantalla de Dialogo Hombre-Máquina o por la comunicación hacia un computador personal con software dedicado de desarrollo local o software de supervisión grafica comercial. Cualquiera de las alternativas para el establecimiento de la comunicación.

Una de las alternativas para esto, es la incorporación de módulos de comunicaciones individuales para comunicación punto a punto, multipunto o para la integración a una red de Computadoras. Los más comunes son:

#### **Módulos de comunicación Asíncrona**

Estos módulos están destinados a la comunicación del PLC con dispositivos periféricos que pueden soportar un enlace de comunicaciones de tipo serial.

Podemos distinguir en esta categoría dos tipos de interfaces:

### Módulos de comunicación asíncrona punto a punto RS-232

Este tipo de modulo de comunicación se puede comunicar con cualquier dispositivo que soporte la norma estándar RS-232. Este tipo de comunicaciones se caracteriza por estar diseñado para distancias pequeñas, generalmente para un máximo de 18 metros.

### Módulos de comunicación Multipunto

Se caracterizan por soportar la conexión de varias estaciones de trabajo en un esquema de Maestro-Esclavo. Se distinguen dos tipos de cableado estándar:

**RS-422:** es un estándar de cableado multipunto que puede soportar hasta 10 dispositivos con una velocidad de transferencia de 1 Mbps, hasta una distancia aproximada 1000 metros en 2 o 4 hilos (half-duplex, full-duplex).

**RS-485:** es un estándar de de cableado multipunto que puede soportar hasta 32 dispositivos con una distancia máxima de 1200 metros.

Los Koyo DL-06 tiene dos puertos seriales incorporados que pueden ser usados para comunicarse con otros PLCs u otros dispositivos.

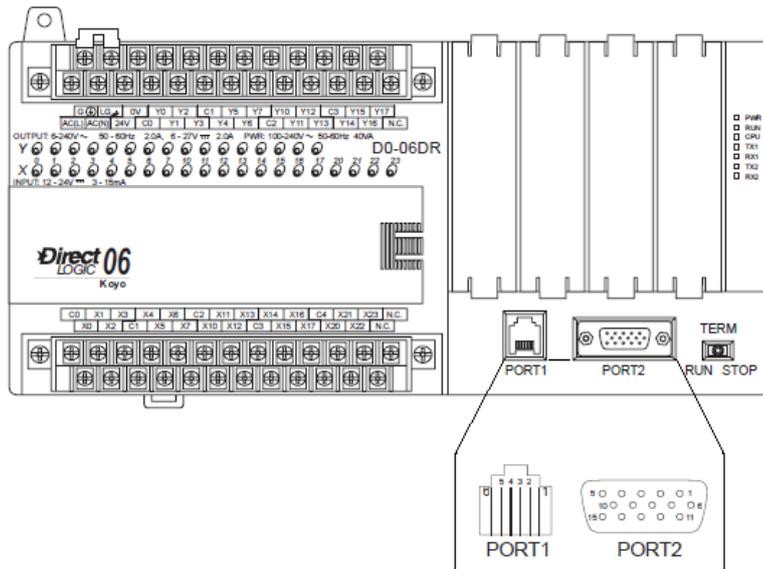


Figura 6.1. Puertos de comunicación de PLC Koyo DL-06<sup>1</sup>

| Puerto 1 (Com 1)                                                                                                                               | Puerto 2 (Com 2)                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Se conecta a HPP(Programador Portaril), DirectSOFT, interfaces de operador, etc. <sup>2</sup>                                                  | Se conecta a HPP(Programador Portaril), DirectSOFT, interfaces de operador, etc.                                                           |
| 6 clavijas, RS232C                                                                                                                             | 15 clavijas, puerto de funciones múltiples, RS232C, RS422, RS485                                                                           |
| Tasa de comunicación (baud): 9600 (fija)                                                                                                       | Tasa de comunicación (baud): 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400.                                                               |
| Paridad: odd (valor original de fabrica)                                                                                                       | Paridad: odd (valor por defecto), even, 0 (nada)                                                                                           |
| Dirección de la estación: 1 (fija)                                                                                                             | Dirección de la estación: 1 (valor por defecto)                                                                                            |
| 8 bits de datos                                                                                                                                | 8 bits de datos                                                                                                                            |
| 1 bit start, 1 bit stop                                                                                                                        | 1 bit start, 1 bit stop                                                                                                                    |
| Asíncrono, half-duplex, DTE                                                                                                                    | Asíncrono, half-duplex, DTE                                                                                                                |
| Protocolo: (Seleccionable automáticamente)<br>K-sequence (solamente esclavo),<br>DirectNET (solamente esclavo),<br>MODBUS (Solamente esclavo). | Protocolo: (Seleccionable automáticamente)<br>K-sequence (solamente esclavo),<br>DirectNET (maestro/esclavo),<br>MODBUS (maestro/esclavo). |

**Tabla 6.1. Descripción del Puerto 1 y 2**

<sup>2</sup>Luis Miranda y Hector Calcaño. Manual del Usuario del PLC DL06. Capítulo 3 Especificaciones y operaciones de la CPU (pp. 3-4). Junio del 2007.

### **Comunicación con K-Sequence [7]**

El protocolo K-Sequence es propio de *Automation Direct*, se puede usar para comunicarse con el programa DirectSOFT, una interface de operador o cualquier otro dispositivo que pueda ser un maestro con K-Sequence. El PLC DL06 puede funcionar como esclavo K-Sequence en el puerto 1 o el puerto 2.

### **Comunicación con DirecNet**

El protocolo DirectNET es propio de *Automation Direct*, lo hace ideal para la comunicación PLC a PLC en una red de múltiples nodos con las instrucciones RX y WX.

La red es controlada por una estación maestra que da órdenes de intercambio de datos a estaciones individuales de esclavo en una red serial. (No se puede transmitir “simultáneamente” un mensaje a todos los esclavos). Las ordenes se pueden usar para enviar los datos a las estaciones esclavas o enviar los datos desde las estaciones esclavas. Las estaciones esclavas solo responden a pedidos de la estación maestra y no pueden iniciar comunicaciones.

### **Comunicación con MODBUS RTU [8]**

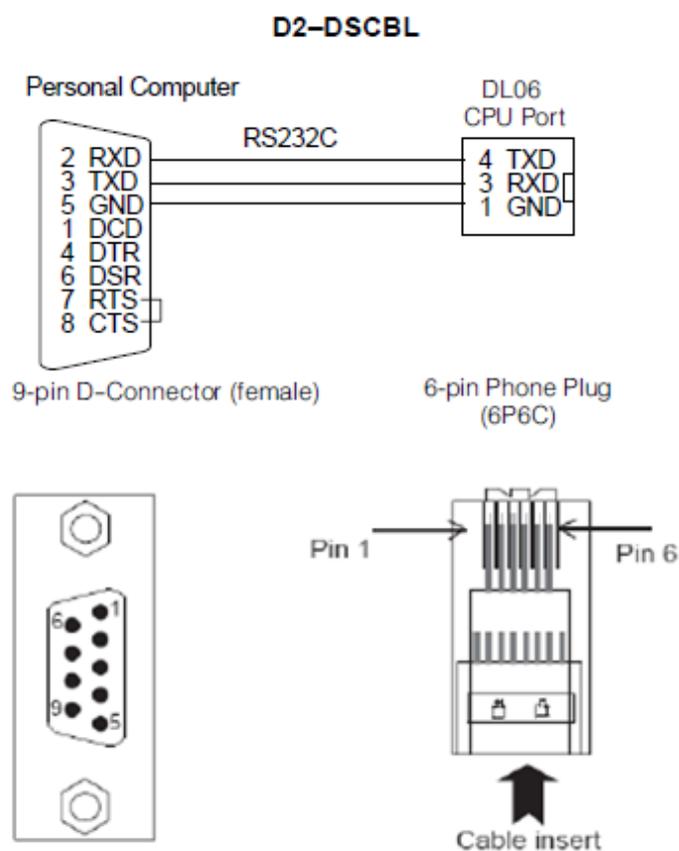
Es un protocolo estándar muy común en la industria, el PLC DL06 puede ser un esclavo de MODBUS RTU en el puerto 1 o el puerto 2, y puede ser un maestro MODBUS RTU en el puerto 2. El estándar RS-485 se puede utilizar únicamente en el puerto 2 para el protocolo MODBUS RTU.

La forma de conectar el maestro o los esclavos es muy similar a la forma hecha con DirecNET.

#### **6.1.1. Configuración de links para la comunicación PLC - Computador**

Hay cables disponibles que le permiten conectarse fácilmente desde un programador o una computadora personal al PLC DL06.

En este caso utilizaremos el cable D2-DSCBL que soporta los protocolos DirectNET, K-Sequence y MODBUS.



**Figura 6.2. Diagrama del cable D2-DSCBL**

El programa DirectSOFT4 es aquel paquete computacional que funciona bajo el sistema operativo Windows. Utilizado para programar y configurar el PLC DL06. Los parámetros de comunicación se ingresan a la CPU de los PLCs a través de este programa.

Los pasos para la configuración de los parámetros de comunicación en el programa mencionado se observa en el anexo 11.

### 6.1.2. Configuración del Servidor KEPDirect

#### Protocolo OPC [9]

El OPC (*OLE for Process Control*) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales, basado en una tecnología Microsoft, que ofrece un interface común para comunicación que permite que componentes software individuales interactúen y compartan datos. La comunicación OPC se realiza a través de una arquitectura Cliente-servidor. El servidor OPC es la fuente de datos (como un dispositivo hardware a nivel de planta) y cualquier aplicación basada en OPC puede acceder a dicho servidor para leer/escribir cualquier variable que ofrezca el servidor.

La tecnología OPC corresponde a una tendencia desde soluciones propietarias a arquitecturas abiertas que suministran soluciones de menor costo, basados en normas establecidas.

KEPDirect es un servidor traductor que permite hacer un puente de comunicación entre el programa cliente OPC y algunos dispositivos que se usa en la adquisición de datos.

A continuación se muestra los parámetros principales para la configuración del canal de comunicación.

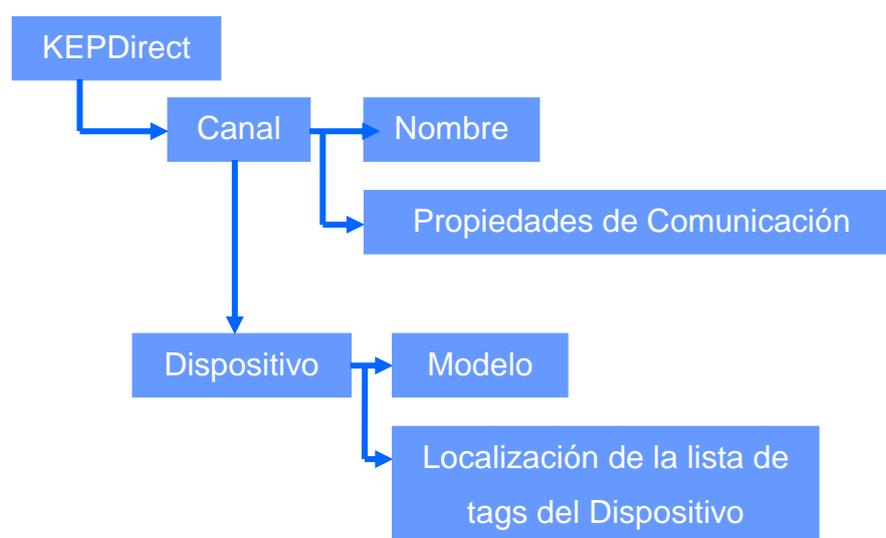


Figura 6.3. Configuración del canal de comunicación

En el Anexo 12 se observara de manera más detallada la configuración.

## 6.2. Comunicación DDE [10]

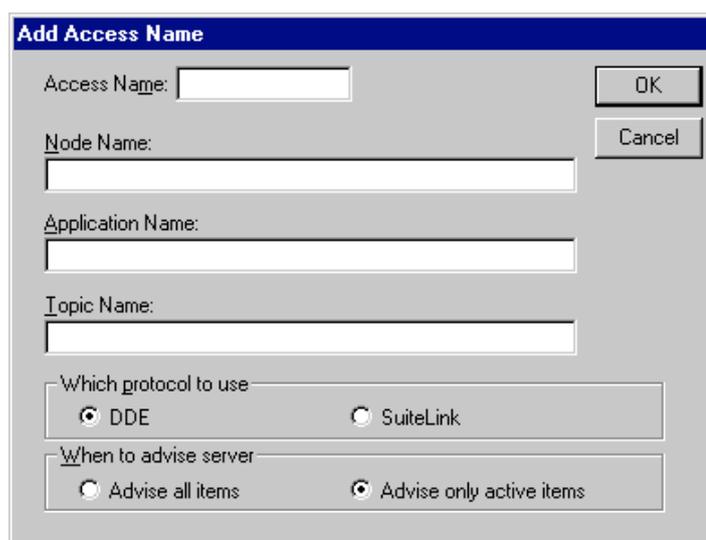
DDE es un protocolo de comunicaciones desarrollado por Microsoft para intercambio de datos entre aplicaciones Windows.

DDE la comunicación se establece automáticamente entre programas que contemplan la estructura DDE (cliente - servidor). Un programa que puede mandar datos al bus DDE es un programa servidor. Un programa cliente puede recibir datos DDE. Ello permite que se logre muy fácilmente crear programas con gestiones especiales de VBASIC, EXCEL, etc., y pasar los datos a INTOUCH sin necesidad de crear un programa de comunicaciones.

Los servidores de autómatas que dispone WONDERWARE, entre los que se incluyen los PLCs con comunicación tanto punto a punto como en red. Podemos direccionar un servidor DDE a un puerto de comunicaciones y otro servidor a otro puerto, con lo que podemos compartir información que venga de distintos PLCs o sistemas de campo.

### **InTouch Acces Name**

Para poder enlazar datos vía DDE de otras aplicaciones Windows a InTouch, se crea un *Access Name*. A cada *Acces Name* se puede asociar una Aplicación y un Tópico.



**Figura 6.4. Ventana de Configuración Access Name**

**Access Name (Nombre de enlace):** en este campo puede ser un nombre aleatorio (se recomienda utilizar el mismo que el t3pico).

**Node Name (Nombre del nodo):** en este campo se ingresa el nombre del nodo en el cual se encuentra el dispositivo.

En caso que los datos sean del mismo PC, dejar en blanco.

**Application Name (Nombre de la aplicaci3n):** en este campo se debe ingresar el nombre de la aplicaci3n de la que queremos leer, como por ejemplo: Excel, Siemens, etc.

**Topic Name (Nombre del t3pico):** este campo contiene el nombre del t3pico que queremos leer, como por ejemplo Libro1.xls, PLC1, etc.

**Which protocol to use:** Indica que protocolo debo utilizar, estos pueden ser:

- DDE.- para enlaces internos.
- Suite Link.- para enlaces de red.

**When to advise server:** Normalmente se deja por defecto.

### 6.3. Navegabilidad

La interfaz grafica HMI, estará conformado por 16 ventanas, distribuidas de la siguiente manera:

- Ventana de Inicio
- Ventana de Registro del operador
- Ventana de Información
- Ventana de configuración de usuario
- Ventana de Ayuda
- Ventana Principal
- Ventana de Proceso de Secado
- Ventana de Proceso de Envejecido
- Ventana de Configuración del proceso
- Ventana de Proceso en Marcha
- Ventana de advertencia de inicio del proceso
- Ventana de advertencia de fin del proceso
- Ventana de peligro de paro del proceso
- Ventana de advertencia del Quemador
- Ventana de Ingeniería
- Ventana del Histórico de actividad del proceso
- Ventana de Alarmas del proceso

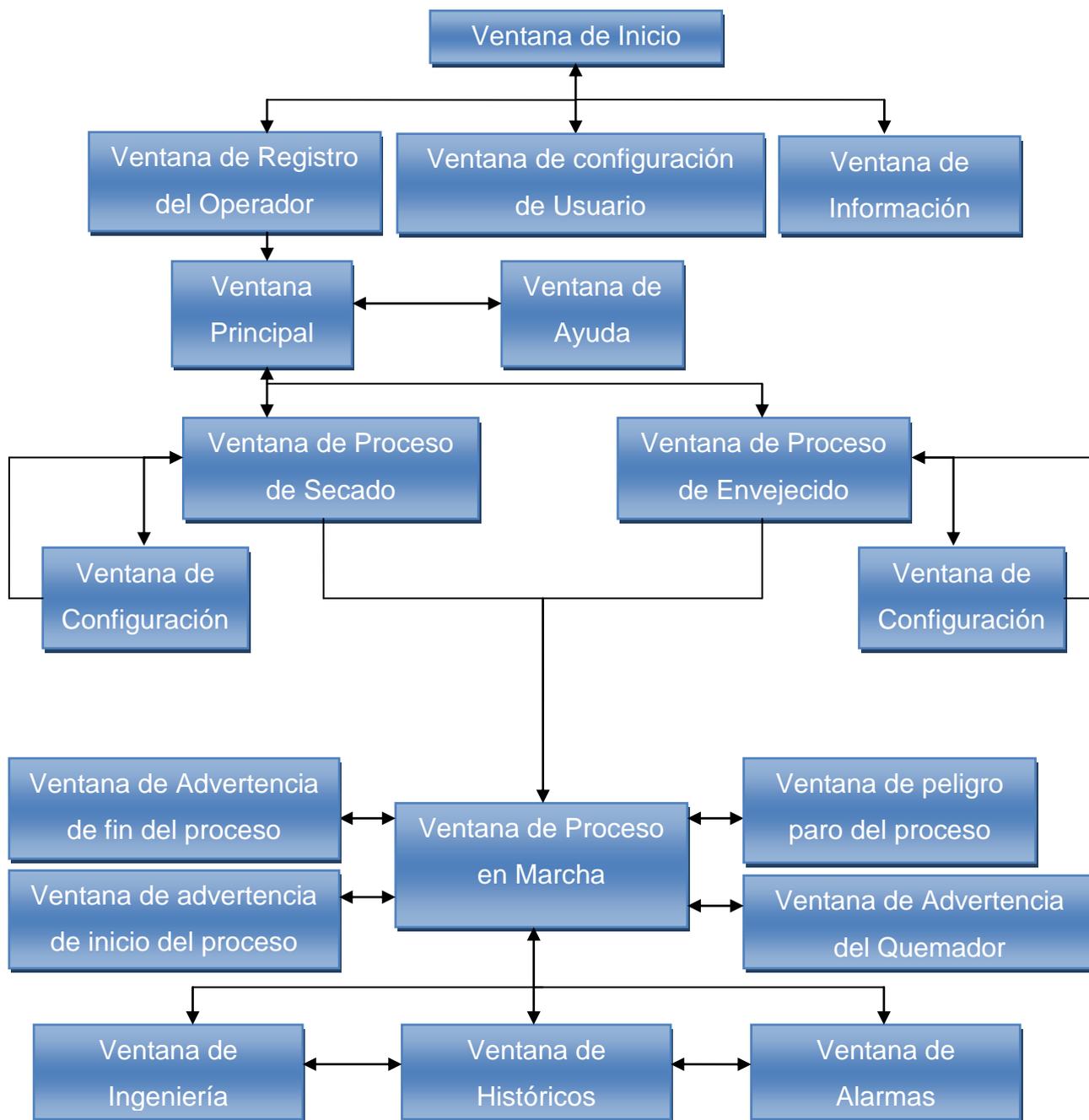


Figura 6.5. Diagrama de navegabilidad

## 6.4. Desarrollo de La interfaz Grafica (HMI)

### 6.4.1. Principios básicos de diseño [11]

La norma UNE-EN ISO 9241 recomendada en la Fase I del proyecto del Horno de Envejecido y Secado de Arroz se aplica en la Fase II del proyecto por los siguientes principios que el diseñador de la aplicación debe tener en cuenta:

- Tener un aspecto coherente
- Dar indicaciones con claridad
- Ser comprensible
- Ser concisa

A continuación se menciona los aspectos más importantes de la norma para el diseño de la aplicación:

#### El color de las pantallas

Las grandes áreas de pantallas vacías deben rellenarse con colores neutros para no forzar la vista con contrastes excesivos.

Es aconsejable que todas las pantallas de una misma categoría tengan el mismo color de fondo, llegando incluso a crear una respuesta automática en el usuario.

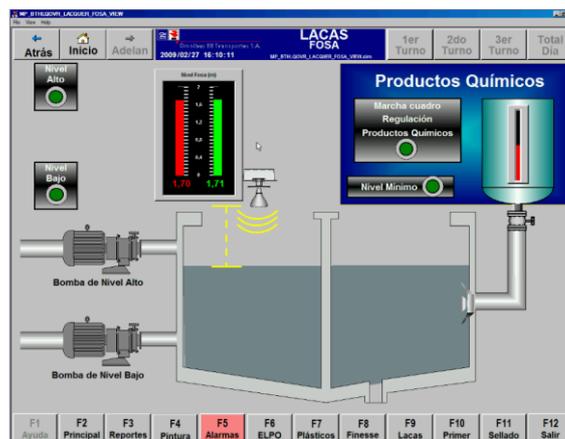


Figura 6.6. Relleno de fondos

## Ubicación de elementos

La información en pantalla debe ser siempre la justa y necesaria, los datos extras aparecen solo si se los requiere.

Los saltos a otras pantallas, desde la pantalla en la cual se esta trabajando, pueden confundir. Utilice siempre una forma clara de volver atrás, tal como un botón “Volver” colocado en todas las pantallas, preferiblemente en el mismo sitio.

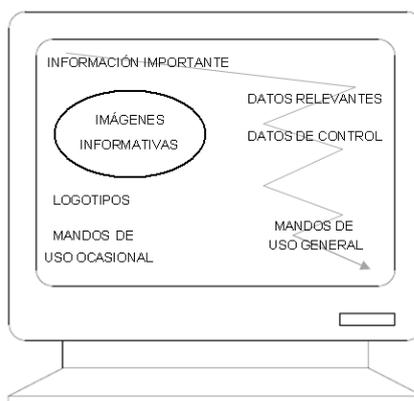


Figura 6.7. Zonas de pantalla recomendadas<sup>3</sup>

## Letras y números

Textos claros y sencillos, sin posibilidad de malas interpretaciones.

El tipo de fuente facilita la lectura. Las fuentes de texto se puede dividir como Serif y Sans Serif.



Figura 6.8. El tipo de letra Serif

El uso de mayúsculas provoca estrés visual, mejor dejarlo para las cabeceras de pantalla.

<sup>3</sup>Aquilino, Rodríguez Penin. *Sistemas SCADA*. Ubicación de elementos (pp. 172), Segunda edición.

### Colores de indicadores y mandos

Se aplica en la tabla 6.2 para los elementos de mando (pulsadores, interruptores, conmutadores, mandos rotativos) los siguientes colores:

| Color    | Significado | Descripción                                                                                  |
|----------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rojo     | Emergencia  | Se utiliza en emergencia, condiciones peligrosas o paro. Prohibido en funciones de ARRANQUE. |
| Amarillo | Anomalía    | Se utiliza en condiciones anormales.                                                         |
| Verde    | Normal      | Se utiliza para inicio de condiciones normales. En arranque o marcha.                        |
| Azul     | Obligatorio | Se utiliza en acciones que requieren una acción obligatoria.                                 |

**Tabla 6.2. Colores para elementos de mando<sup>4</sup>**

Para el caso de los indicadores:

| Color    | Significado         | Explicación                                                    | Acción por el operador                                 |
|----------|---------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Rojo     | Emergencia, peligro | Condiciones peligrosas del proceso. Requiere acción inmediata. | Acción inmediata a realizar en condiciones peligrosas. |
| Amarillo | Anomalía            | Condiciones anormales del proceso                              | Control y/o intervención.                              |
| Verde    | Normal              | Condiciones normales del proceso                               | Acciones opcionales sobre el proceso.                  |

<sup>4</sup> Aquilino, Rodríguez Penin. *Sistemas SCADA*. Colores de Indicadores y mandos (pp. 197-198), Segunda edición.

|        |             |                                  |                                |
|--------|-------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Azul   | Obligatorio | Se requiere acción del operador. | Acción obligada por el proceso |
| Blanco | Neutro      | Condiciones no definidas         | Indicación.                    |

Tabla 6.3. Colores para elementos de información

### 6.4.2. Posición de indicadores y mandos

Los indicadores y los elementos de control permiten establecer una comunicación entre el operador y el sistema: pulsadores, pilotos, etc.

Cuando hay indicadores asociados a los mandos es conveniente que se sitúen lo más próximos posible.

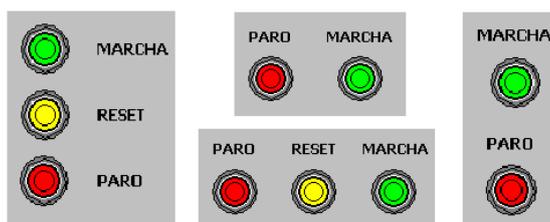


Figura 6.9. Ordenación por secuencia

### Animaciones

Permiten saber el estado del sistema controlado mediante elementos que simulen el comportamiento de pilotos, barras, pulsadores, etc.

Para el caso de indicadores de estado de tipo binario es mejor que aparezcan representados de manera grafica.



Figura 6.10. Indicadores

Cuando se realiza una acción en pantalla (pulsar un botón para abrir), debería mostrarse siempre el resultado de forma clara.

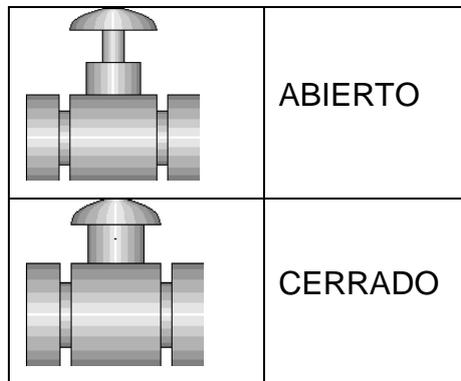


Figura 6.11. Indicación de estado

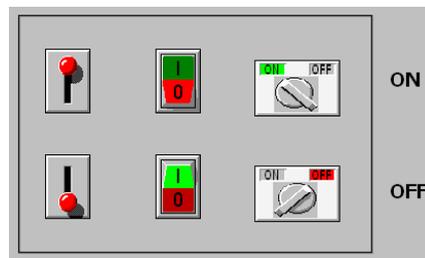


Figura 6.12. Simulación de elementos

No es necesario saturar de indicaciones numéricas la pantalla. Los datos de tipo gráfico, tales como barras móviles, indicadores de aguja, etc., se pueda interpretar de forma cualitativa con un simple vistazo, no se necesita leer los números y pensar si son buenos o no.

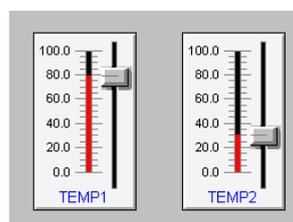


Figura 6.13. Barras Móviles

### 6.4.3. Descripción de las ventanas del proceso y sus funciones

A continuación se muestra la descripción de cada una de las pantallas del HMI que ayudan a la visualización del proceso.

#### 6.4.3.1. Ventana de Inicio



Figura 6.14. Ventana de Inicio

Esta es la primera ventana que aparece al iniciar el programa, además en esta pantalla se muestra el título del proceso, nombre de la empresa, imágenes de la planta y cuatro botones que se detalla su función a continuación:

- Principal: envía a la *ventana registro del Usuario*.
- Configuración Usuario: envía a la *ventana Configuración de Usuario*
- Información: envía a la *ventana de información* la cual muestra un resumen del desarrollo del sistema, con los aspectos esenciales de su funcionamiento.
- Salir del programa: Cierra la aplicación.

### 6.4.3.2. Ventana Configuración de usuario

La finalidad de esta ventana es de agregar, eliminar, cambiar contraseñas de los usuarios, pero esta acción solo lo realiza los administradores registrados en el sistema, los operadores no realizan ninguna modificación.



Figura 6.15. Ventana de Configuración de usuarios

En el Cuadro de Aviso se visualiza si se ha iniciado o no la sesión. Si no se ha iniciado el texto Iniciar sesión parpadeara y cuando se inicia la sesión el cuadro de aviso muestra el texto: Sesión Iniciada.

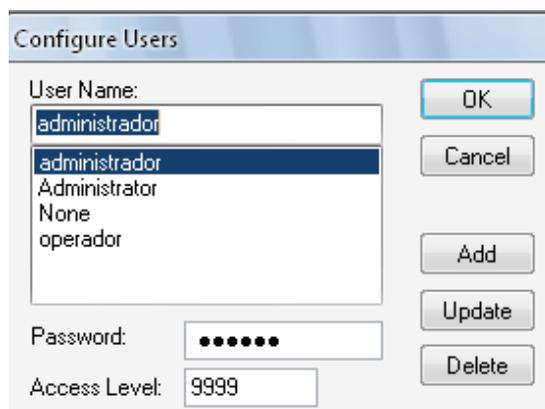
En esta ventana se realiza las siguientes acciones:

- **Iniciar Sesión:** hace visible a la ventana *Log On* donde se ingresa el tipo de usuario (Administrador u Operador) y su respectiva contraseña.



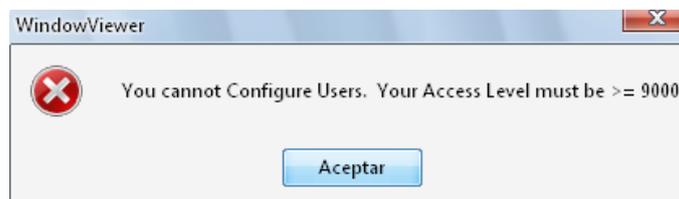
Figura 6.1.6. Ventana de Configuración de Usuarios - Ventana Log On

- **Configuración de usuarios:** hace visible a la ventana *Configure Users* donde se puede agregar, eliminar, modificar contraseñas de todos los usuarios y cambiar el nivel de acceso de cada uno.



**Figura 6.17. Ventana de Configuración de Usuarios – Ventana Configure Users**

El nivel de acceso es aquel que define si es administrador u operador dependiendo del valor numérico que se le da. Solo si es mayor a 9000 el software lo toma como un administrador más y podrá realizar las acciones antes mencionadas. Si es menor a 9000 el software no le permite ingresar a la ventana de *Configure Users*, como se muestra en la figura 6.18.



**Figura 6.18. Ventana de Configuración de Usuario – Ventana de advertencia**

- **Cambiar Contraseñas:** hace visible a la ventana *Change password* donde se realiza el cambio de contraseña del usuario que ha iniciado la sesión independientemente si es administrador u operador.

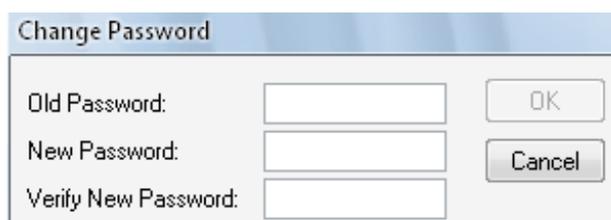


Figura 6.19. Ventana de Configuración de usuario – ventana Change Password

- **Cerrar Sesión:** cierra la ventana actual y vuelve a la ventana de *Inicio*.

#### 6.4.3.3. Ventana de Registro de Usuario

En esta ventana se realiza el control del acceso de los usuarios.

El usuario usa los siguientes elementos para poder registrarse:

- **Nombre:** es donde se ingresa el nombre del usuario que manipula el sistema.
- **Estado:** visualiza si el usuario esta o no registrado.
- **Botón Registrar:** visualiza a la ventana Log On, donde se ingresa el tipo de usuario y la contraseña.
- **Botón Aceptar:** envía a la ventana Principal si solo si en el recuadro de Estado se visualiza el texto Registrado.



Figura 6.20. Ventana de Registro de Usuario

- **Botón Cancelar:** cierra la ventana actual, y vuelve a la ventana *Inicio*.

Dependiendo del tipo de usuario especialmente para el Operador habrá ciertas opciones que se desactivaran y no podrá manipular por precaución.

#### 6.4.3.4. Ventana Principal

En esta ventana se selecciona el proceso que se desea realizar ya sea secado o envejecido.

Esta ventana está conformada por los siguientes elementos:

1. Imagen de la planta
2. Recuadro de Proceso
  - 2.1. Botón Secado: envía a la ventana de *Proceso de Sacado*.
  - 2.2. Botón Envejecido: envía a la ventana de *Proceso de Envejecido*.
3. Recuadro de alertas
  - 3.1. Indicador luminoso Válvula de gas: visualiza si la válvula de gas del quemador está abierta o cerrada.
  - 3.2. Indicador luminoso Electrodo: visualiza si el electrodo del quemador esta activado o desactivado.
  - 3.3. Indicador luminoso Motor ventilador centrífugo: visualiza si el motor del Blower o ventilador centrífugo está en marcha.
  - 3.4. Indicador luminoso parada de emergencia activada: visualiza si la parada de emergencia ha sido activada.
4. Recuadro de navegación
  - 4.1. Logotipo de la empresa
  - 4.2. Botón de retroceso: regresa a la ventana *Inicio*.
  - 4.3. Botón de Información: envía a la ventana de Información.
  - 4.4. Botón Ayuda: envía a la ventana *Ayuda* la cual explica el funcionamiento de la ventana Principal y sus elementos.
  - 4.5. Botón Salir del Programa: Cierra la aplicación.
  - 4.6. Indicador de Fecha y Hora.

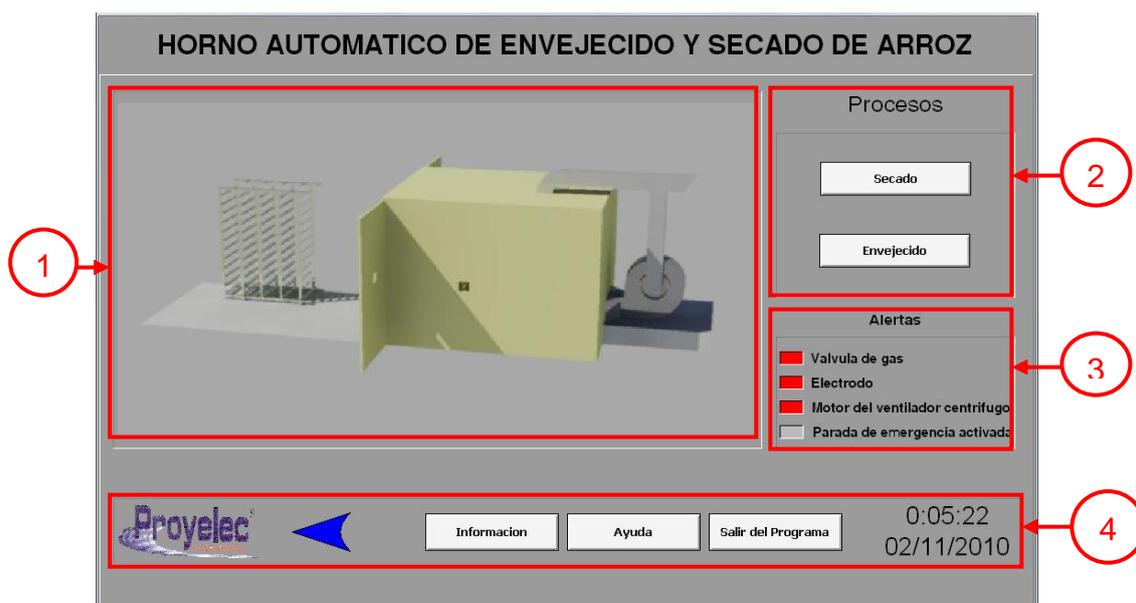


Figura 6.21. Ventana Principal

#### 6.4.3.5. Ventana proceso de Secado

Esta ventana se visualiza las variables del proceso con sus valores iniciales preestablecidos.

Esta ventana está conformada por los siguientes elementos:

1. Tabla Variables del proceso: en esta tabla se visualiza los valores iniciales que empezara el proceso. Estas variables son: temperatura del proceso, tiempo del proceso.
2. Recuadro Comenzar Proceso: el cual posee un botón Aceptar que envía a la ventana Marcha para inicializar el proceso.
3. Recuadro de alertas: la cual fue especificada en la ventana Principal.
4. Recuadro de navegación
  - 4.1. Logotipo de la Empresa
  - 4.2. Botón de retroceso
  - 4.3. Botón Configurar: envía a la ventana configuración la cual permite cambiar los valores iniciales de las variables de proceso. Este botón se activara solamente si el tipo de usuario es Administrador.

#### 4.4. Salir del programa.

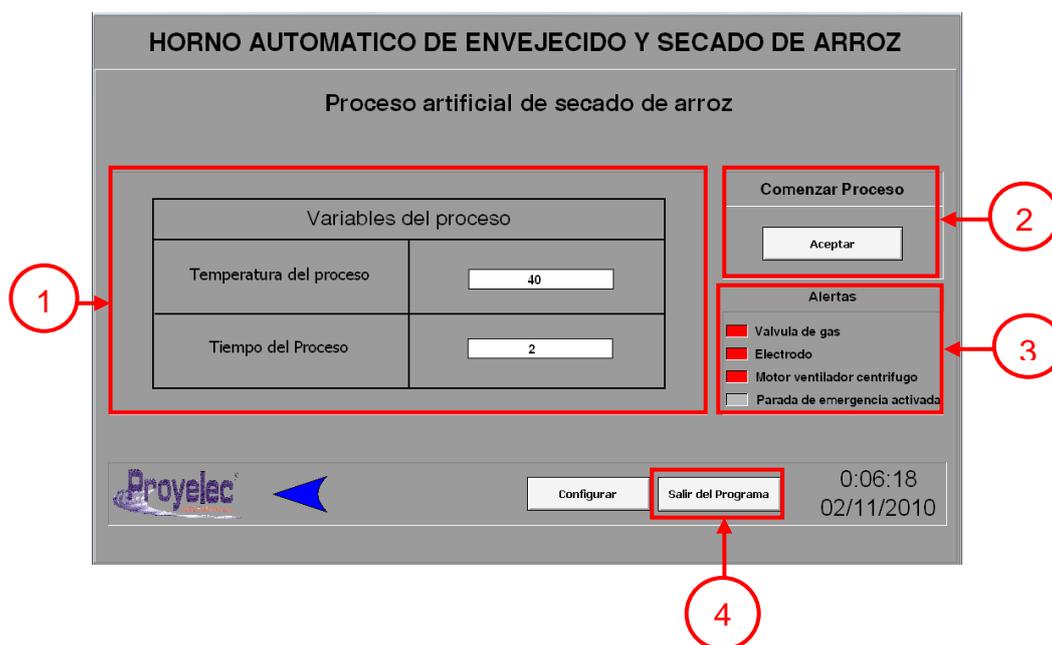


Figura 6.22. Ventana Proceso de Secado

#### 6.4.3.6. Ventana de Configuración

Esta ventana modifica los valores iniciales de las variables del proceso antes de comenzar el proceso.

Tiene la misma estructura que la ventana de Proceso de Secado pero con la diferencia que posee un botón en la parte superior izquierda con el texto Modificar el cual al ser accionado modifica los valores iniciales por los que se haya ingresado.

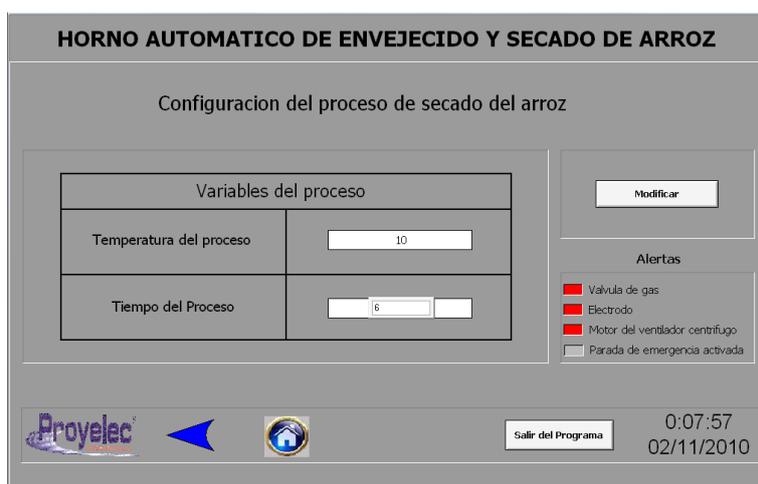


Figura 6.23. Ventana de Configuración

#### 6.4.3.7. Ventana Marcha

En esta ventana se observa el funcionamiento de la planta como también la evolución de las variables del proceso y el estado de los actuadores.

Esta ventana está conformada por los siguientes elementos:

1. Figura de animación de la planta tanto del horno como el quemador
2. Variables del proceso: el primer slider se observa el valor inicial (Consigna) de la temperatura, el segundo slider se observa el valor de la temperatura en el proceso.
3. Indicadores luminosos de los actuadores: en este recuadro se observa todos los actuadores y sus estados que intervienen en el proceso y estos son:
  - Válvula de gas
  - Electrodo
  - Motor del Blower o ventilador centrifugo
  - Ventoleras
4. Recuadro de Acciones: el cual posee los botones de detener y empezar el proceso, también se incluyo el botón de parada de emergencia puesto que puede que la planta durante el proceso

tenga un comportamiento fuera de lo común y exija al operador a accionar dicho botón.

5. Recuadro de alarma de Temperatura: posee dos indicadores luminosos los cuales se encienden si la temperatura ha salido de su rango de trabajo.
6. En el recuadro de navegación se incluyen tres botones:
  - 6.1. Ingeniería: envía a la ventana ingeniería.
  - 6.2. Alarmas: envía a la ventana alarmas
  - 6.3. Históricos: envía a la ventana de históricos.

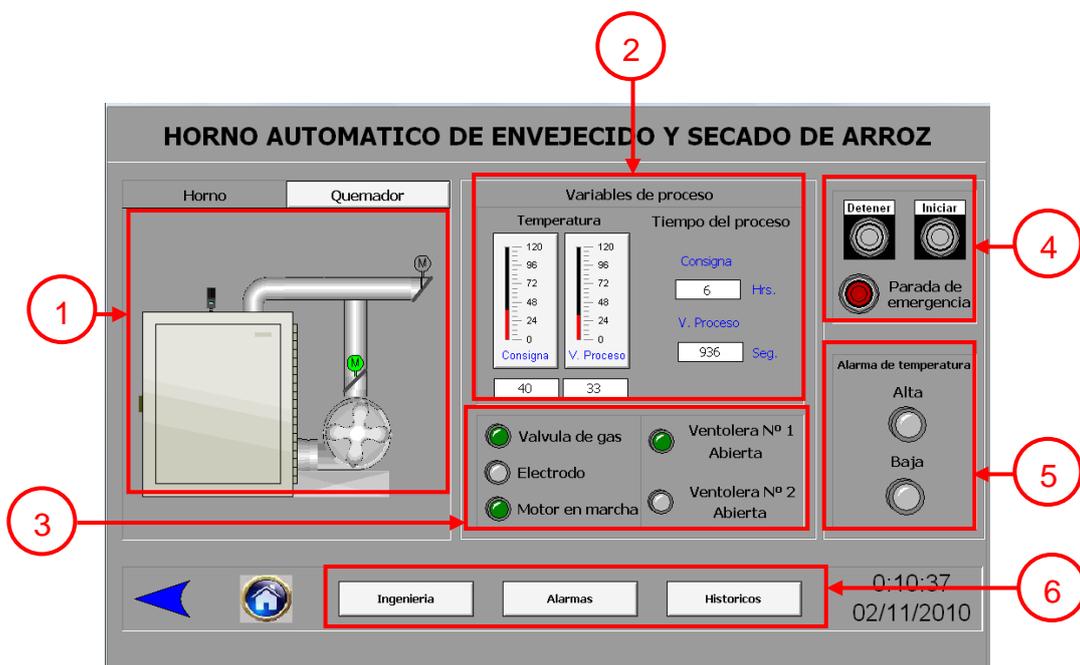


Figura 6.24. Ventana Marcha

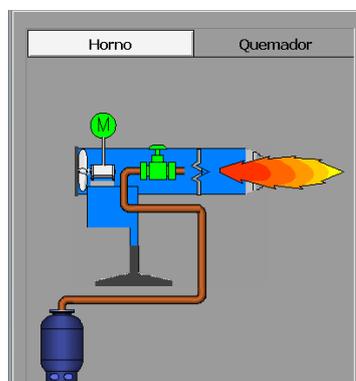


Figura 6.25. Ventana Marcha – Animación del Quemador

### 6.4.3.8. Ventana de Ingeniería

En la ventana de Ingeniería, se encuentran la sección de la variable de control que en este caso es el valor de la Histéresis puesto que el tipo de control que se implemento es el ON-OFF, el cual se utiliza en procesos lentos como: temperatura, nivel, además su comportamiento es más fácil de predecir. Entonces este procedimiento de control dará lugar a que la temperatura del horno evolucione de un margen de temperatura, dependiente del valor de histéresis elegido y de la consigna de temperatura aplicada.

Esta ventana posee los siguientes elementos adicionales:

1. Recuadro de curvas en tiempo real: posee una grafica de las variables de proceso y sus respectivas consignas.
2. Dos Recuadros: el primer recuadro es la variable del proceso donde se visualiza y cambia el valor de la Histéresis. El segundo recuadro es de las consignas de la variable del proceso que se esté ejecutando donde se visualiza y cambia sus valores: Consigna de Temperatura, Consigna de Temperatura sumada la histéresis y restada la histéresis, Tiempo de proceso.
3. Recuadro de acciones: el cual posee el botón de emergencia.

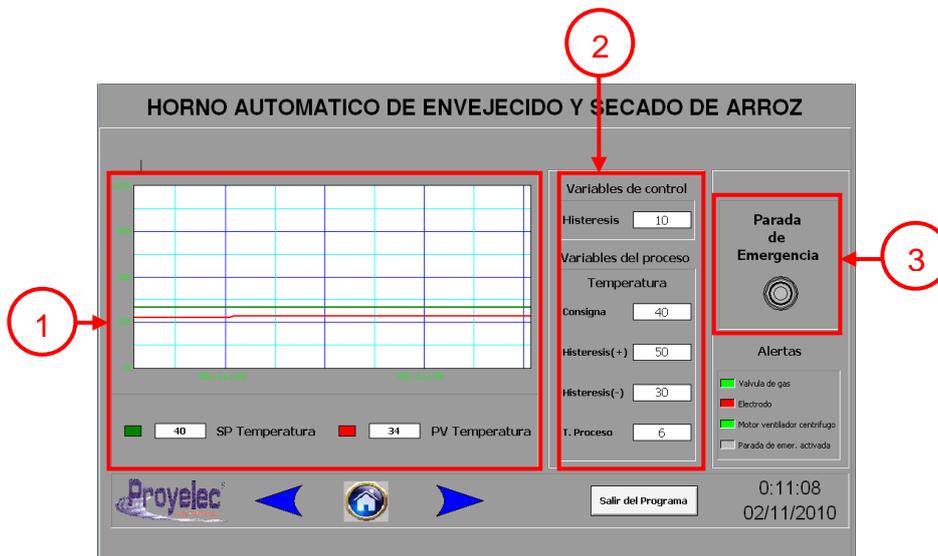


Figura 6.26. Ventana Ingeniería



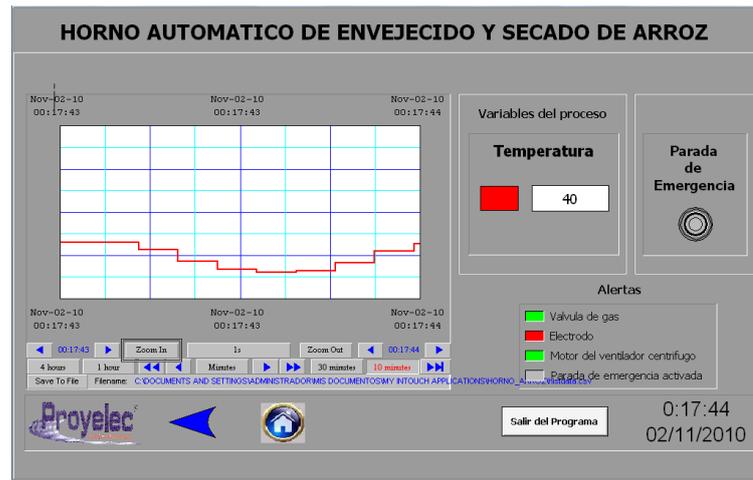


Figura 6.28. Ventana Históricos

#### 6.4.3.11. Ventana de advertencia de Inicio

Esta ventana aparece cuando se inicie el proceso ya sea de secado o envejecido.



Figura 6.29. Ventana de advertencia de inicio

#### 6.4.3.12. Ventana de advertencia de fin del proceso

Esta ventana aparece cuando el tiempo de proceso haya terminado.



Figura 6.30. Ventana de advertencia de fin del proceso

#### 6.4.3.13. Ventana de advertencia de parada de emergencia

Esta ventana aparece cuando se haya accionado el botón de emergencia o si se encuentra activado.



Figura 6.31. Ventana de advertencia de parada de emergencia

#### 6.4.3.14. Ventana de advertencia del Quemador

Esta ventana aparece cuando el quemador no se haya prendido, después de los tres intentos de encenderse.



Figura 6.32. Ventana de Advertencia del Quemador

## CONCLUSIONES

- De acuerdo con el análisis de la planta propuesta en la Fase I, los tiempos del proceso tanto de secado como de envejecido se reducen debido al diseño mecánico del horno, produciendo un cambio más rápido de la variable de temperatura.
- La norma UNE-EN ISO 9241 para el diseño de la interfaz HMI propuesta en la Fase I, es utilizada ya que permite al operador un fácil manejo de la misma, así como una fácil gestión y modificación de los datos.
- Al realizarse varias medidas en varios puntos en el interior del horno, se verificó que existe un equilibrio térmico dentro del mismo puesto que con ello se asegura una calidad uniforme del producto.
- El control realizado sobre las ventoleras colocadas en el canal de recirculación, tienen la función de evitar el punto de rocío, y permitir un mejor enfriamiento.
- El control aplicado a la planta es un control ON/OFF puesto que cubre los requerimientos del sistema, es decir esta dentro de los rangos que exige el proceso.

- El control On/Off se aplicó en el quemador, puesto que este es el que proporciona la energía calórica necesaria para el proceso, manteniendo el flujo de aire constante.
- El enfriamiento del producto se realiza a la mitad de la frecuencia nominal del motor, puesto que con esto se evita un choque térmico en el producto.
- El desarrollo de este proyecto representa una mejora en la automatización de los hornos de arroz a bajo costo, así como también impulsa la producción y venta de arroz en la región sierra

## RECOMENDACIONES

- Debido a que el ruido producido por el motor trifásico afecta a los dispositivos de control, se recomienda realizar la conexión de los mismos con cable apantallado.
- Se recomienda adquirir y colocar un sensor de humedad de grano de arroz para montaje, así se asegurará la calidad final del producto.
- Se recomienda colocar un detector de gas en el cuarto donde se encuentran los tanques almacenados, y así prevenir accidentes.
- Si la frecuencia del motor trifásico se coloca en un valor menor a 30 Hz, se recomienda colocar un ventilador externo para evitar el sobrecalentamiento del mismo, o sustituir el motor por uno que sea para trabajar con driver.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Los Seibos. Procesamiento y Análisis de semillas. 17 Noviembre 2007.  
Pág. 7

[2] Los Seibos. Procesamiento y Análisis de semillas. 17 Noviembre 2007.  
Pág. 8

[3] Juan Aguirre. Diseño e implementación de un horno automático de secado y envejecido de arroz para la procesadora de Proyelec Ingenierías Fase I. Diseño del sistema de control de humedad y temperatura del proceso (pp. 147). 2011.

[4] Los Seibos. Recepción, secado y procesamiento. Sistemas de secado (pp. 127). 17 Noviembre 2007.

[5] Automation Direct. Manual de módulos opcionales. Capítulo 12: F0-2AD2DA-2 2 entradas y 2 salidas analógicas de voltaje. Agosto del 2007.

[6] Automation Direct. Manual de Usuario del PLC DL06. Capítulo 5: Instrucciones. Junio del 2007.

[7] Automation Direct. Introducción a Comunicaciones Seriales. Comunicación con K-sequence y DirecNET (pp. 7). Segunda Edición.

[8] Automation Direct. Introducción a Comunicaciones Seriales. Comunicación con MODBUS RTU (pp. 29-30). Segunda Edición.

[9] Isaac Pastor Acosta. Desarrollo de un sistema SCADA para la producción de harina en la empresa Molino Electro Moderno S.A. Protocolo OPC (pp. 27 -29). 2008.

[10] Automation Direct. KEPDirect. CREATE a New Project for Serial Devices (pp 22-36). Primera edición.

[11] Xavier Cardeña. Intouch\_Básico. Comunicaciones I/O (pp. 63-64). 2003.

[12] Automation Direct. KEPDirect. Creating Tags (pp. 92-96). Primera Edición.