



**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL  
AUTOMATIZADO SOBRE PROTOCOLO MODBUS,  
APLICADO A UN PRECALENTADOR DE UNA PLANTA  
DE FABRICACIÓN DE VIDRIO TEMPLADO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**JOSE MANUEL QUISPE LLERENA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**LIMA-PERÚ**

**2017**

## **DEDICATORIA**

A mi familia

Por su infinito amor y gran apoyo que me dieron y darán siempre para lograr la formación profesional a la que aspiro y por confiar en mí en todo momento.

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y brindarme una vida llena de aprendizajes experiencias y sobre todo felicidad

Deseo expresar mi agradecimiento y reconocimiento a todos mis profesores por sus enseñanzas y experiencias por su constante apoyo, ya que sus consejos y experiencias se encuentran plasmadas en el presente trabajo.

## RESUMEN

El desarrollo del presente Trabajo, está precisamente dedicado a la implementación de un módulo de control y supervisión de un sistema de encendido del cual permita realizar un tipo de control de temperatura y presión, utilizando el sistema de control multivariable en cascada, supervisado por un control SCADA Modbus denominado Maestro, el cual permite la supervisión, monitoreo del proceso de temperatura y presión, por Sensor, Controlador Lógico Programable (PLC) denominado Esclavo.

Se tiene en cuenta que el sensado más importante es el de temperatura a trabajar, para ello se utilizará una termocupla tipo J el cual medirá la temperatura requerida. La unidad de medida será en °C.

Se analizó los avances Tecnológicos para la realización del proyecto, así como programación de sistema de control cascada en PLC, lo que ha permitido la implementación del módulo. Así mismo, se ha diseñado toda la instrumentación correspondiente al módulo como son transmisores de temperatura, como termocupla tipo "J", transmisores de presión, variador de velocidad, sistema eléctrico, ventiladores y bombas de combustible.

Se considera que para nuestro medio actual, el Aporte Técnico ha sido significativo por ser un Trabajo donde se ha analizado una diversidad de equipos instrumentales tanto como controladores, sensores y actuadores, así como se han aplicado soluciones técnicas a instalaciones Sub-Standard que pueda dañar al operador de la planta conforme a nuestros requerimientos.

## **ABSTRACT**

The development is specifically dedicated to the implementation of a supervisory control module and an ignition system which allows a kind of control of temperature and pressure, using multivariable control system cascade, supervised by a Modbus SCADA control which allows monitoring, monitoring of temperature and pressure process.

It takes into account the most important sensing the temperature to work, we use a which measured the temperature. We note that the unit of measure that will in ° C.

Technological advances were analyzed for the completion of the project and control system programming PLC cascade, which has allowed the implementation of the module. Likewise, it has designed and implemented all the instrumentation for the module such as temperature transmitters, thermocouple, pressure transmitters, variable speed, electrical system, ventilation and fuel pumps. Then, we make the validation tests.

We considerate that for our current way, the technologic contribution was significant because it is a project where we analyzed and used diversity of instrumental equipments like sensors and actuators, we applied technical solutions to the labeled of the cables and sub-standard installations who could damage to the module operator in conformity with our requirements.

## INTRODUCCIÓN

El sistema de control automático juega un rol importante en la ingeniería, aplicar un tipo de control automático permite optimizar el proceso de control y mejorar la calidad de producción de las diferentes empresas industriales. Por ello es necesario saber elegir, implementar, instalar, operar, programar y sustituir los diferentes equipos y componentes que se utilizan en la industria, realizando una mejora continua.

El presente módulo es un aporte para laboratorios de control y automatización, por lo que se considera como una contribución desde el desarrollo del control multivariable en cascada a nivel práctico y en la implementación de instrumentación, control, diseño y cumplimiento de normas técnicas de montaje, ya que es de mucha importancia hoy en día para los procesos industriales.

Cabe resaltar que para conseguir este propósito se ha realizado una investigación sobre los diversos métodos de montaje de equipos de instrumentación en campo, comunicación mediante protocolo industrial Modbus, manejando un software de tipo SCADA.

## TABLA DE CONTENIDO

CARÁTULA	
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
INTRODUCCIÓN .....	vi
TABLA DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
CAPÍTULO I: REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	1
1.1. Descripción de Realidad Problemática.....	2
1.2. Análisis del Problema.....	2
1.2.1. Objetivos del proyecto.....	3
CAPÍTULO II: DESARROLLO DEL PROYECTO.....	4
2.1. Diagrama del Precalentador.....	5
2.1.1. Diagrama de bloques del proceso en cascada. ....	5
2.1.2. Diagrama de la comunicación del Precalentador.....	7
2.2. Cálculo de la parte mecánica del Precalentador. ....	9
2.3. Diseño de Dispositivos para implementar el precalentador.....	15
2.3.1. Selección de los componentes electrónicos en el tablero.....	15
2.3.2. Selección de los componentes mecánico del Precalentador .....	16
2.3.2.1. <i>Tramos del sistema de inyección de combustible del</i> <i>Precalentador.....</i>	16
2.3.2.2. <i>Tramos de encendido de la flama del Precalentador. ....</i>	20
2.3.2.3. <i>Tramos de alimentación de aire a la cámara de</i> <i>combustión del Precalentador.....</i>	23
2.3.2.4. <i>Tramo de aislamiento de temperatura de la cámara de</i> <i>combustión del Precalentador.....</i>	24
2.3.3. Selección de los sensores del Precalentador: .....	25

2.3.3.1.	<i>Transmisor de temperatura.</i>	25
2.3.3.2.	<i>Transmisor de Presión.</i>	26
2.3.3.3.	<i>Sensor de Flama.</i>	27
2.3.4.	Tarjeta de interfaz de comunicación.	29
2.3.4.1.	<i>Tarjeta de interfaz con la PC.</i>	29
2.3.4.2.	<i>Convertor RS232 a RS485.</i>	30
2.4.	Programación.	33
2.5.	Programación en ladder para el PLC Unitronics Jazz Micro-OPLC	37
2.5.1.	Configuración Del Variador Danfoss FC51.	66
2.5.2.	Diseño del SCADA para el Precalentador.	69
2.5.2.1.	<i>KEPSERVEREX.</i>	70
2.5.2.2.	<i>OPCLINK.</i>	74
2.5.2.3.	<i>INTOUCH.</i>	76
2.6.	Conclusiones	82
2.7.	Recomendaciones	83
2.8.	Costos	84
CAPÍTULO III: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		86
3.1.	Libros	87
3.2.	Electrónica	87
CAPÍTULO IV: GLOSARIO DE TÉRMINOS		90
4.1.	Glosario de Términos	91
CAPÍTULO V: ANEXOS		95
5.1.	Anexo 1. Diapositivas	96

## Índice de Tablas

Tabla 1. Resultados teóricos del calor de formación.....	11
Tabla 2. Resultados de la cantidad de productos de la combustión .....	12
Tabla 3. Dispositivos que están incluidos en el tablero .....	15
Tabla 4. Lista de componentes del Conversor RS232 a RS485 .....	32
Tabla 5. Lista de ordenamiento de entradas .....	33
Tabla 6. Lista de ordenamiento de salida.....	33
Tabla 7. Lista de memorias internas .....	34
Tabla 8. Costos .....	84

## Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de bloques de control de cascada del Precalentador .....	5
Figura 2. Diagrama de bloques de los dos controles del Precalentador .....	7
Figura 3. Diagrama de comunicación mediante el ModBus del Precalentador .....	8
Figura 4. Temperatura Vs Exceso de aire.....	14
Figura 5. Eficiencia de combustión vs temperatura de productos y exceso de Aire.....	14
Figura 6. Depósito de combustible .....	16
Figura 7. Válvula solenoide .....	17
Figura 8. Bomba SUNTEC .....	18
Figura 9. Motor de 1 HP .....	19
Figura 10. Diagrama del sistema de inyección de combustible del Precalentador..	19
Figura 11. Boquilla para la atomización. ....	20
Figura 12. Electrodo de ignición .....	21
Figura 13. Boquilla de inyección + electrodo de ignición.....	22
Figura 14. Tramo de encendido de la flama del precalentador .....	23
Figura 15. Ventilador de alimentación de aire a la cámara de combustión. ....	24
Figura 16. Transmisor de temperatura PRelectronics .....	25
Figura 17. Transmisor de presión Baumer. ....	27
Figura 18. Detector de Flama Photocell (C554A).....	28
Figura 19. División de tensión usando un LDR. ....	29
Figura 20. División de tensión usando un LDR. ....	31
Figura 21. Diagrama de entradas analógicas.....	36
Figura 22. Diagrama de entradas analógicas.....	36
Figura 23. Icono programa U90 Ladder .....	37
Figura 24. Creación de nuevo proyecto JZ10-11R16.....	38
Figura 25. Configuración de entrada/salida.....	39
Figura 26. Icono para programación en ladder .....	39
Figura 27. Configuración puerto RS232.....	40
Figura 28. Configuración puerto RS232.....	40
Figura 29. Configuración del Protocolo MODBUS maestro.....	41
Figura 30. Configuración del variador para el arranque y parada .....	42

Figura 31. Ubicación de la información de memoria de Bits del PLC que se enviara al Variador FC51 .....	42
Figura 32. Uso de la función (05) para el ModBus. ....	43
Figura 33. Uso de la función (06) para el ModBus. ....	44
Figura 34. Uso de la función (15) para el ModBus. ....	45
Figura 35. Memoria de Bit del PLC. ....	45
Figura 36. Uso de la función (16) para el ModBus. ....	46
Figura 37. Memoria de registro del PLC.....	46
Figura 38. Uso de la función (01) para el ModBus. ....	47
Figura 39. Memoria de Bit del PLC .....	47
Figura 40. Inicio del arranque de la planta con los pulsadores. ....	48
Figura 41. Uso del FLAG 1.....	49
Figura 42. Uso del FLAG 3.....	49
Figura 43. Uso del FLAG 4.....	50
Figura 44. Uso del FLAG 5.....	50
Figura 45. Uso del FLAG 6.....	51
Figura 46. Presión Baja.....	51
Figura 47. Encendido de los ventiladores .....	52
Figura 48. Encendido de la bomba y válvula.....	52
Figura 49. Encendido del chispero.....	53
Figura 50. Activación de la comunicación de MODBUS.....	53
Figura 51. Envío de la trama del Modbus en tiempos diferentes. ....	54
Figura 52. Envío de la trama del Modbus en tiempos diferentes. ....	55
Figura 53. Liberalización de la señal de temperatura.....	56
Figura 54. Límites de intensidad de LUZ.....	57
Figura 55. Encendido de led industriales .....	58
Figura 56. Estados de la valvular, bomba, ventiladores, chispero, luz a una memoria .....	59
Figura 57. Envío del presión, temperatura y Set Point a la tarjeta de interfaz.....	60
Figura 58. Límite de temperatura. ....	60
Figura 59. Icono de configuración del PID .....	61
Figura 60. Configuración del PID .....	62
Figura 61. Icono de configuración del display del PLC.....	62
Figura 62. Icono de configuración del display del PLC.....	63

Figura 63. Agregar un Display.....	63
Figura 64. Segundo display agregado.....	64
Figura 65. Crear variable en el Display. ....	64
Figura 66. Las variables son los colores. ....	65
Figura 67. Configuración para los saltos del display 1. ....	65
Figura 68. Configuración para los saltos del display 3 .....	66
Figura 69. Teclado de configuración para el variador. ....	67
Figura 70. Icono del programa kepServerEx. ....	70
Figura 71. Agregando un canal para configurar. ....	70
Figura 72. Ventana al crearse un nuevo canal.....	71
Figura 73. Ventana a seguir para la configuración del dispositivo. ....	72
Figura 74. Ventana al crear un nuevo dispositivo. ....	72
Figura 75. Agregando los TAG.....	73
Figura 76. Ventana al terminar de crear todos los TAG. ....	74
Figura 77. Icono de programa OPLink .....	74
Figura 78. Se abre la ventana de Configuración del topic.....	75
Figura 79. Configuración del Topic .....	75
Figura 80. Configuración del Topic .....	76
Figura 81. Abriendo la herramienta de OPC en el Intouch.....	76
Figura 82. Configuración del OPC Tag. ....	77
Figura 83. Direccionando la carpeta guardada en el OPCLink. ....	78
Figura 84. Verificando el Topic creado.....	79
Figura 85. Confirmando el Topic creado. ....	79
Figura 86. Creando los Tag y relacionado con el INTOUCH.....	80
Figura 87. Diseño SCADA del Precaentador en el Intouch. ....	81

# **CAPÍTULO I: REALIDAD PROBLEMÁTICA**

## 1.1. Descripción de Realidad Problemática

Durante el arranque de la planta de Templado de vidrio es necesario elevar la temperatura del horno utilizando un Precalentador.

Los problemas más concurrentes en la producción de vidrio es que algunas empresas no utilizan Precalentadores automatizados ni mucho menos monitoreados.

Los problemas más recurrentes en el proceso de calentamiento del vidrio son:

- Dichos Precalentadores son encendidos de manera manual.
- El consumo de combustible no es controlado.
- El riesgo que corre el trabajador.
- la pérdida de horas hombre al encender dicho Precalentador.
- La falta de indicadores de temperatura y presión de combustible.

## 1.2. Análisis del Problema

Sabiendo la importancia que tiene el aire caliente para la producción de vidrio templado, en la planta de Tratamiento de Vidrios es que se dé un correcto funcionamiento del precalentador el cual deberá ser óptimo para obtener una mayor eficiencia en su proceso, para ello es importante saber si los elementos que están siendo utilizados para la producción del aire caliente se encuentran dentro de los parámetros correctos.

La comprobación y la correcta eficiencia del proceso de aire caliente en la actualidad se hace manualmente lo cual es; tedioso, largo y complicadoya que es realizado por una sola persona, lo cual genera una demora en el proceso de comprobación y por lo tanto en el proceso de producción.

El problema concerniente a la comprobación del correcto funcionamiento del precalentador, es que esta comprobación la hace el operador del

precalentador de modo visual y en caso de notar algún defecto esta toma las acciones correctivas de modo manual, lo cual hace que los Parámetros de la producción del Aire Caliente no sean óptimos.

### **1.2.1. Objetivos del proyecto**

- Diseñar y monitorear una estrategia de encendido automático para poder controlar una temperatura adecuada para la producción de vidrio templado.
- Controlar la temperatura del precalentador utilizando un PLC.
- Velar por la seguridad del operario.
- Evaluar los diversos tipos de instrumentación para una optimización del Precalentador.
- Controlar y monitorear la temperatura del Precalentador.

## **CAPÍTULO II: DESARROLLO DEL PROYECTO**

## 2.1. Diagrama del Precalentador

### 2.1.1. Diagrama de bloques del proceso en cascada.

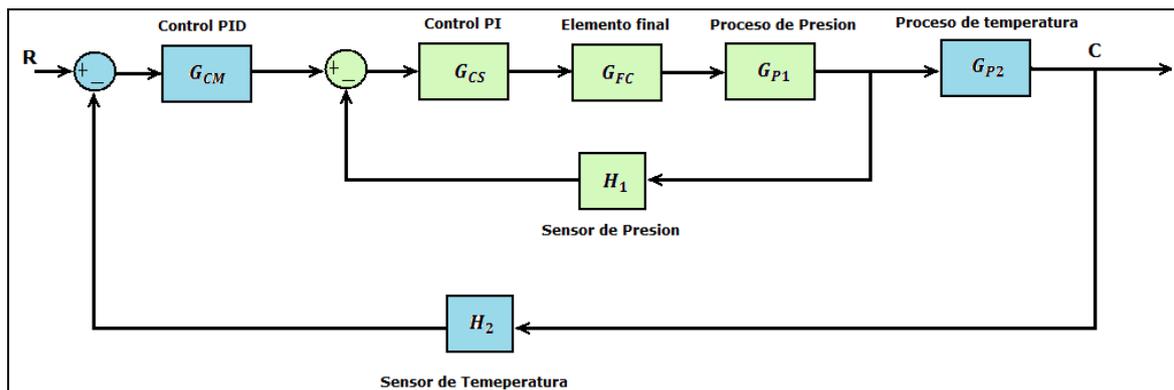
El proceso de un Precalentador es controlar la temperatura del Aire lo cual se necesita la combustión de un Hidrocarburo o combustible fósil (Kerosene) para lo cual se necesita atomizarlo el combustible a partículas muy pequeñas y esto se lograra con un equipo que requiere presión para lograr la atomización.

Para diseñar el control cascada se necesita controlar las dos variables de proceso que vendría a ser la temperatura y la presión, para luego formar dos lazos de control llamado control cascada.

- El lazo de control Maestro vendría a ser la temperatura (Lazo de control primario).
- El lazo de control esclavo vendría a ser la presión (lazo de control secundario).

Figura 1

Diagrama de bloques de control de cascada del Precalentador



Fuente: Elaboración Propia

Dónde:

- $G_{CM}$ : Control PID (Control Maestro)
- $G_{P1}$ : Proceso de Presión (Proceso 1)
- $G_{CS}$ : Control PI (Control Esclavo o Slave)
- $G_{P2}$ : Proceso de Temperatura (Proceso 2)
- $H_1$ : Sensor de Presión (Medición 1)
- $H_2$ : Sensor de Temperatura (Medición 2)
- $G_{FC}$ : Elemento final (variador).
- R: Set Point
- C: Variable Controlada
- $G_2$ : Lazo de Control Secundario

La simplificación del lazo de control esclavo, se obtiene de la siguiente fórmula matemática.

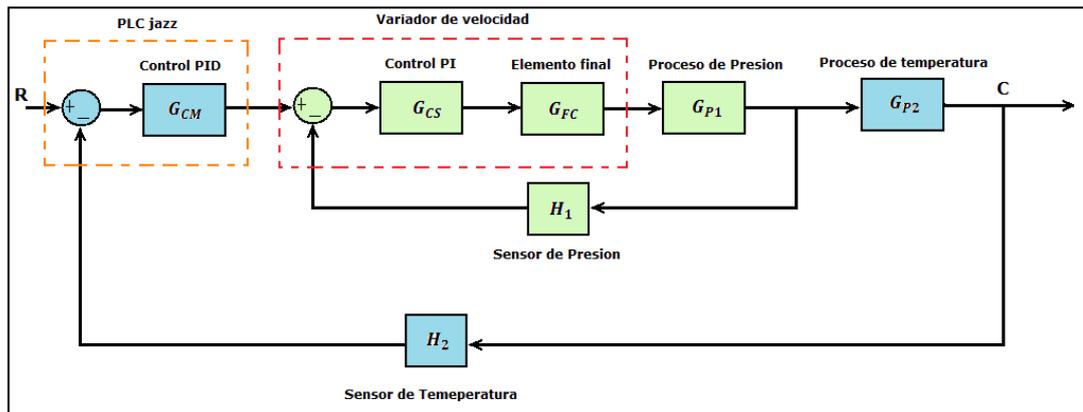
$$G_2 = \frac{G_{CS} G_{FC} G_{P1}}{1 + G_{CS} G_{FC} G_{P1} H_1}$$

La simplificación del lazo del control maestro vendría a ser el lazo de control en cascada, que es la siguiente fórmula matemática.

$$\frac{C}{R} = \frac{G_{CM} G_2 G_{P2}}{1 + G_2 G_{P2} H_2}$$

Necesitamos controlar los dos lazo de control la cual lo controlara el variador y el PLC.

Figura 2  
Diagrama de bloques de los dos controles del Precalentador



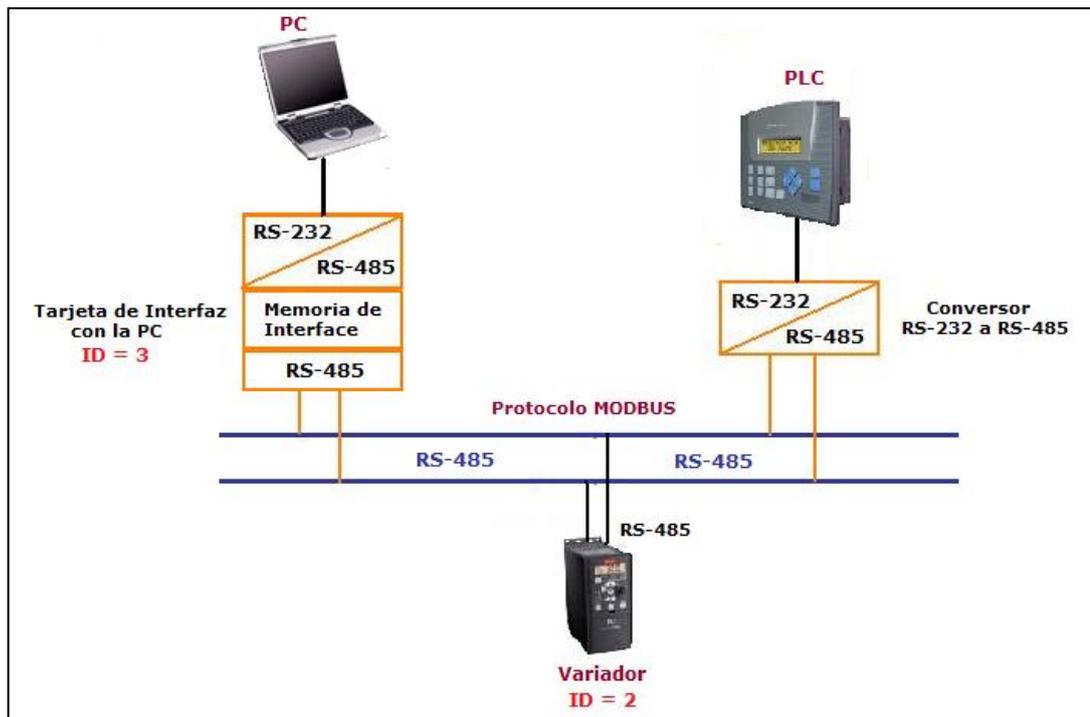
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 2, vemos que nuestro lazo de control esclavo es controlado por el variador de velocidad ya que cuenta con un control interno PI, y nuestro lazo de control maestro es controlado por el PLC que cuenta con un control PID.

### 2.1.2. Diagrama de la comunicación del Precalentador.

Los Dispositivos (PLC, Variador y tarjeta de interfaz con la PC) del Precalentador se comunican mediante el protocolo MODBUS, estos equipos mencionados están en la red mediante un medio físico de comunicación RS-485.

Figura 3  
Diagrama de comunicación mediante el ModBus del Precaalentador



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3, vemos que el medio de comunicación del PLC es RS-232; por lo tanto, usamos un conversor RS-232 a RS485 y para la parte de variador no es necesario porque ya cuenta con una comunicación RS-485, la tarjeta de interfaz con la PC vendría a ser un esclavo en la red con la única diferencia es que se comunica con el PLC y la PC.

## 2.2. Cálculo de la parte mecánica del Precalentador.

**Caudal del ventilador del quemador:**

$$Q_{\text{aire1}} = 0.028 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por Presión estática producido por el tanque de combustión el caudal disminuye a:

$$Q_{\text{aire1}} = 0.016 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Caudal del Ventilador del tanque de combustión:**

$$Q_{\text{aire2}} = 0.1286 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por Presión estática producido por el tanque de combustión el caudal disminuye a:

$$Q_{\text{aire2}} = 0.0212 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Caudal del Combustible.**

$$Q_{\text{combustible}} = 3 \text{ litros/hora}$$

$$Q_{\text{combustible}} = 8.33 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

**Calculo de la masa del ventilador del quemador.**

$$m_{\text{aire1}} = \rho_{\text{aire1}} V_{\text{aire1}}$$

$$m_{\text{aire1}} = 0.9931 \text{ Kg/m}^3 * 0.016 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{aire1}} = 0.0159 \text{ Kg}$$

Donde:

$\rho_{aire1}$ : Densidad del aire.

$m_{aire1}$ : Masa del aire.

$V_{aire1}$ : Volumen de aire.

### Cálculos de la masa del combustible.

$$m_{combustible} = \rho_{combustible} * V_{combustible}$$

$$m_{combustible} = 850 \text{ Kg/m}^3 * 8.33 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$m_{combustible} = 0.00070805 \text{ Kg}$$

Donde:

$\rho_{combustible}$ : Densidad del combustible.

$m_{combustible}$ : Masa del combustible.

$V_{combustible}$ : Volumen de combustible.

### Relación entre la masa del aire y el combustible.

$$\frac{m_{aire1}}{m_{combustible}} = \frac{0.0159}{0.00070805} = 22.44 \frac{\text{Kg de aire}}{\text{Kg de combustible}}$$

### Cálculo de aire teórico.

Si:

$$\text{Masa del combustible } C_{12}H_{26} = 12 * 12 + 26 * 1$$

$$= 170 \frac{\text{Kg de combustible}}{1 \text{ kmol de combustible}}$$

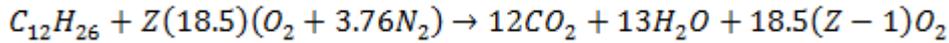
Entonces:

$$R_{mol_{aire}/comb} = \frac{22.44 \text{ kg aire}}{1 \text{ kg combustible}} * \frac{1 \text{ kmol de aire}}{28.97 \text{ Kg de aire}} * \frac{170 \text{ kg de combustible}}{1 \text{ kmol de combustible}}$$

$$= 131.69 \frac{\text{kmol de aire}}{1 \text{ kmol de combustible}}$$

$$Z = \frac{R_{mol_{aire}/comb}}{18.5 * 4.76} = \frac{131.69}{18.5 * 4.76} = 1.5 = 150 \%$$

De esta manera para un proceso de combustión completa de combustible, con exceso de aire y en una base de aire seco la ecuación de reacción química es:



Donde Z = es el aire teórico (150 %).

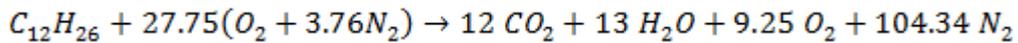


Tabla 1  
Resultados teóricos del calor de formación

Sustancia	$PM_i$	$N_i$	$\Delta h_f^\circ$	$N_i \Delta \bar{h}_f^\circ$	$(\bar{h}_i - \bar{h}_i^\circ)N_i$
$C_{12}H_{26}$	170	1	-259282	-259282	0
$O_2$	32	27.75	0	0	0
$N_2$	28	104.35	0	0	0
$CO_2$	44	12	-393520	-4722240	$mc_p(T_3 - 298 K)$
$H_2O$	18	13	-241820	-3143660	$mc_p(T_3 - 298 K)$
$O_2$	32	9.25	0	0	$mc_p(T_3 - 298 K)$
$N_2$	28	104.34	0	0	$mc_p(T_3 - 298 K)$

Fuente: Elaboración Propia

Calor de específico son:

$$(c_p)_{CO_2} = 0.844 \text{ kJ/kg.K}$$

$$(c_p)_{H_2O} = 1.864 \text{ kJ/kg.K}$$

$$(c_p)_{N_2} = 1.040 \text{ kJ/kg.K}$$

$$(c_p)_{O_2} = 0.917 \text{ kJ/kg.K}$$

Hallar la temperatura adiabática.

$$(-259282 + 4722240 + 31436) = 44 * 12 * (c_p)_{CO_2} * (T_3 - 298K) +$$

$$18 * 13 * (c_p)_{H_2O} (T_3 - 298K) +$$

$$32 * 9.25 * (c_p)_{O_2} * (T_3 - 298K) +$$

$$28 * 104.34 * (c_p)_{N_2} * (T_3 - 298K)$$

$$T_3 = 2113 K^\circ$$

$$T_3 = 1839.57 C^\circ$$

Mezcla del aire del ventilador del tanque de combustión con los productos de la combustión del combustible.

$$m_{aire2} = 0.9931 \frac{Kg}{m^3} * 0.0596 m^3$$

$$m_{aire2} = 0.0592 Kg$$

$$\frac{m_{producto}}{m_f} = 3979.52 \frac{Kg \text{ de producto}}{1 Kmole \text{ de combustible}} * \frac{1 Kmole \text{ de combustible}}{170 Kg \text{ de combustible}}$$

$$= 23.4089 \frac{kg \text{ de producto}}{kg \text{ de combustible}}$$

Para 0.00070805 kg de combustible hay 0.0166 kg de producto:

Tabla 2  
Resultados de la cantidad de productos de la combustión

Productos	Ni	PM	PM+Ni ( $\frac{Kg \text{ de productos}}{1 kmole \text{ de combustible}}$ )	%	Masa del productos (kg)	$(c_p)$ $kJ/kg.K$	$(c_p)$ +masa del producto
CO <sub>2</sub>	12	44	528	13.27	0.0022	0.844	0.0019
H <sub>2</sub> O	13	18	234	5.88	0.0009	1.864	0.0017
O <sub>2</sub>	9.25	32	296	7.44	0.0012	0.917	0.0011
N <sub>2</sub>	104.34	28	2924.52	73.41	0.0123	1.040	0.0128
<b>Total</b>			<b>3979.52</b>	<b>100 %</b>	<b>0.0166</b>		<b>0.0175</b>

Fuente: Elaboración Propia

Entonces la temperatura final de la mezcla del aire es:

$$Q_{cedido} + Q_{ganado} = 0$$

$$m_{producto} C_p \Delta T + m_{aire2} C_{aire2} \Delta T = 0$$

$$\left( m_{CO_2} (c_p)_{CO_2} + m_{H_2O} (c_p)_{H_2O} + m_{O_2} (c_p)_{O_2} + m_{N_2} (c_p)_{N_2} \right) \Delta T + m_{aire2} C_{aire2} \Delta T$$

$$0.0175(T_f - T_i) + 0.0212 * 1.02(T_f - T_i) = 0$$

$$0.0175(T_f - 2113 \text{ } ^\circ K) + 0.021624(T_f - 298 \text{ } ^\circ K) = 0$$

$$T_f = 1112 \text{ } ^\circ K$$

$$T_f = 600 \text{ } ^\circ C$$

### Poder calorífico:

Usando la formula

$$\dot{q}_c = -3143660 - 4722240 - 259382$$

$$= -7606518 \frac{KJ}{1 \text{ Kmol de combustible}}$$

Entonces:

$$\dot{Q} = 7606518 \frac{KJ}{1 \text{ kmol de combus}} * \frac{1 \text{ kmol de combus}}{170 \text{ Kg de combustible}}$$

$$= 44744.22 \frac{KJ}{Kg \text{ de combustible}}$$

### Potencia del motor del quemador:

$$Q_{combustible} = \dot{V} = 0.003 \text{ m}^3/h = 0.00002943 \text{ Pie}^3/s$$

$$\Delta P = (75 \text{ PSI} - 0 \text{ PSI}) = 75 \text{ PSI} = 10800 \text{ lbf/Pie}^2$$

$$\dot{W} = \dot{V} * \Delta P = 0.00002943 * 10800 = 0.317844 \text{ lbf/s}$$

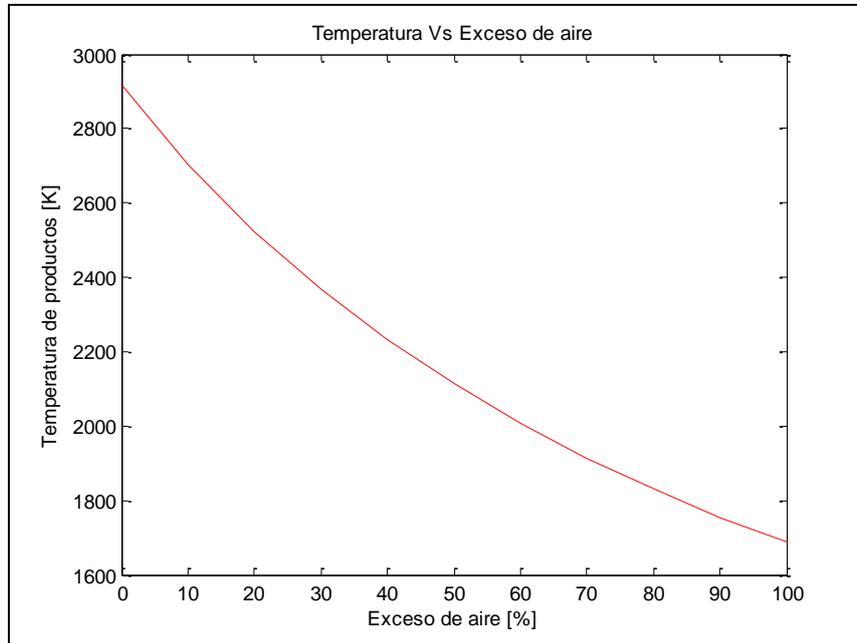
$$\dot{W} = 0.000579 \text{ HP}$$

La eficiencia del motor es de 0.7 entonces la potencia seria.

$$\dot{W} = \frac{0.000579}{0.7} = 0.000826 \text{ HP}$$

## Gráfica de la temperatura máxima de los productos de combustión.

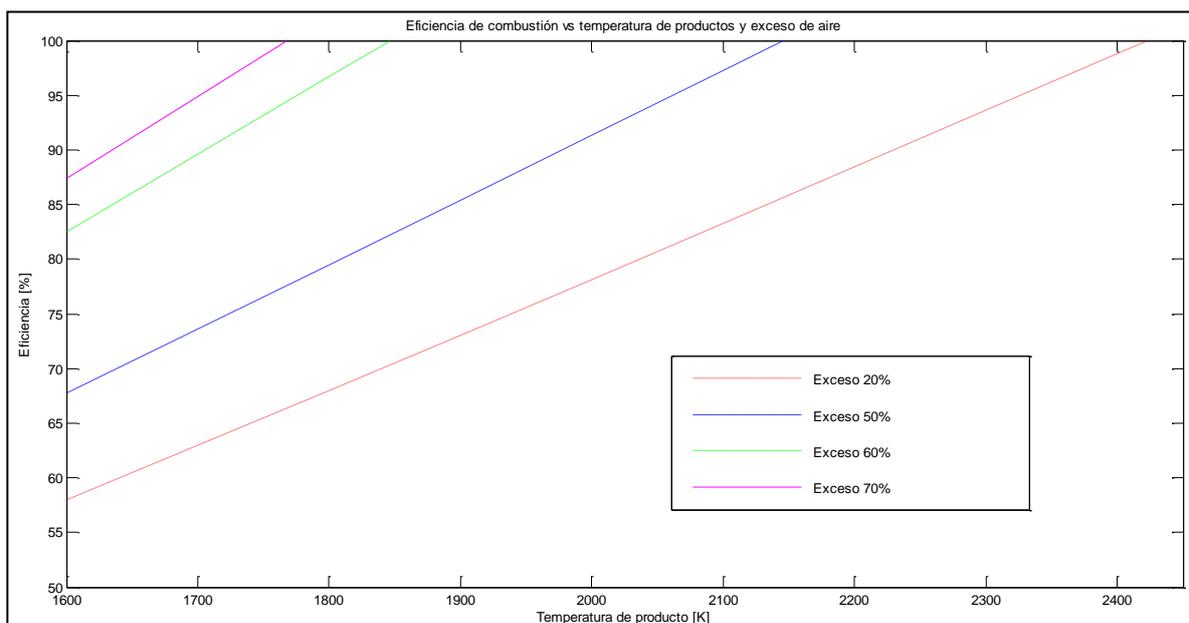
Figura 4  
Temperatura vs Exceso de aire



Fuente: Elaboración Propia

## Gráfica de la eficiencia del quemador:

Figura 5  
Eficiencia de combustión vs temperatura de productos y exceso de Aire



Fuente: Elaboración Propia

## 2.3. Diseño de Dispositivos para implementar el precalentador.

### 2.3.1. Selección de los componentes electrónicos en el tablero.

En el tablero pondremos la parte de control con su respectiva protección.

Tabla 3  
Dispositivos que están incluidos en el tablero

Nombre del Dispositivo	# de Dispositivo
PLC Jazz	01
Variador Danfoss	01
Fuente de 24 Vdc Delta	01
Transformador 220Vac a110 Vac	01
Contactores	04
Llave Termomagnética monofásica	01
Tarjeta de Interfaz	01
Portafusible	01
Led Industriales (Rojo)	01
Led Industriales (Verde)	01
Pulsador NA	01
Pulsador NC	01
Hongo de Emergencia	01
Borneras	18

Fuente: Elaboración Propia

## 2.3.2. Selección de los componentes mecánico del Pre calentador

### 2.3.2.1. Tramos del sistema de inyección de combustible del Pre calentador.

En este tramo se encarga de suministrar el combustible del depósito de combustible que a su vez pasa por un filtro de combustible para evitar que pase algunas partículas que no sean combustibles, y luego es impulsado por la bomba de combustible hacia el tramo de encendido de la flama y generar una presión adecuada para la atomización.

- **Depósito de combustible:** Lugar donde se almacena el combustible.

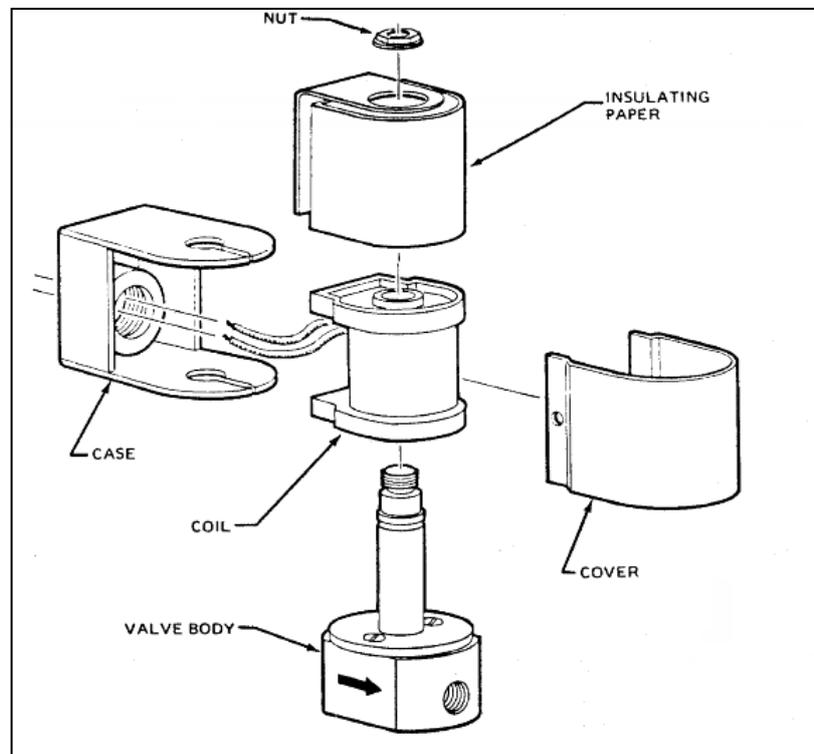
Figura 6  
Depósito de combustible



Fuente: Referencia electrónica

- **Válvula de Bola:** Válvula manual para drenar el combustible del depósito.
- **Filtro:** Filtra el combustible de partículas que podría venir con el combustible.
- **Válvula Solenoide:** Válvula controlada por el PLC para el paso del combustible, y está incluido con la bomba SUNTEC como un solo cuerpo.

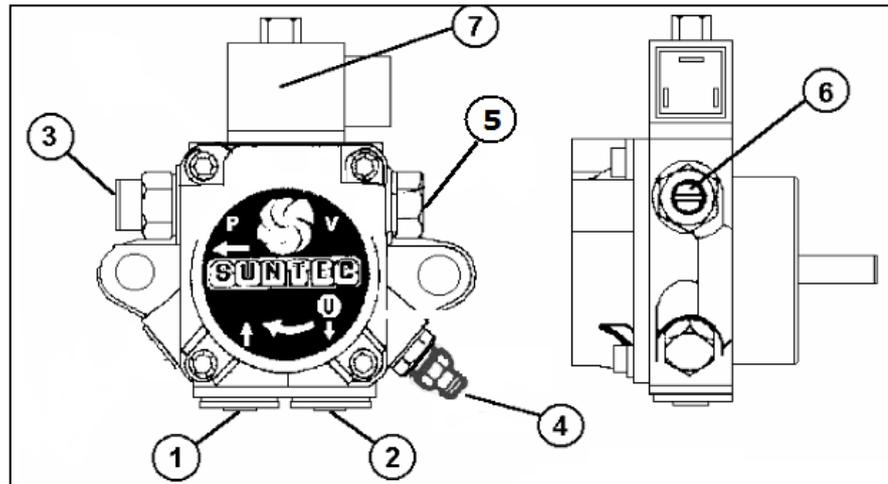
Figura 7  
Válvula solenoide



Fuente: Manual de bomba SUNTEC

- **Bomba:** impulsa el combustible hacia el tramo de encendido de la flama proporcionando una presión de 60 a 75 PSI.

Figura 8  
Bomba SUNTEC



Fuente: Manual de bomba SUNTEC

### Característica de la Bomba SUNTEC:

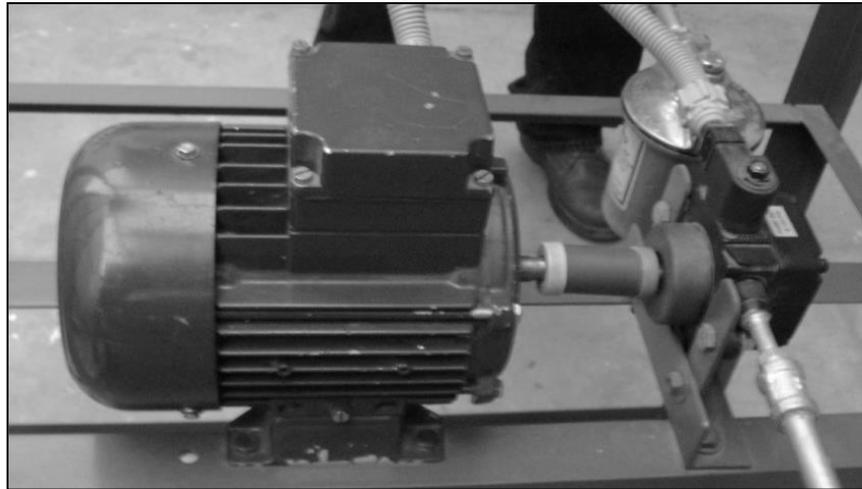
- 1: Inlet ¼ NPT.
- 2: Return 1/4 NPT.
- 3: Nozzle Port 1/8 NPT.
- 4: Easy Flow Air Bleed.
- 5: Intel ¼ NPT.
- 6: Regulador de presión.
- 7: Válvula Solenoide.

- **Bomba SUNTEC + Motor 1 HP:** La potencia transmitida a la bomba SUNTEC se logra mediante un motor de 1HP de alta velocidad.

### Característica del Motor de jaula de ardilla.

- 1: Voltaje de entrada: Voltaje Trifásico 220 Vac.
- 2: Potencia: 1 HP.
- 3: Amperio: 3.5 A
- 4: Velocidad: 3550 rpm.
- 5: Frecuencia: 60 Hz

Figura 9  
Motor de 1 HP

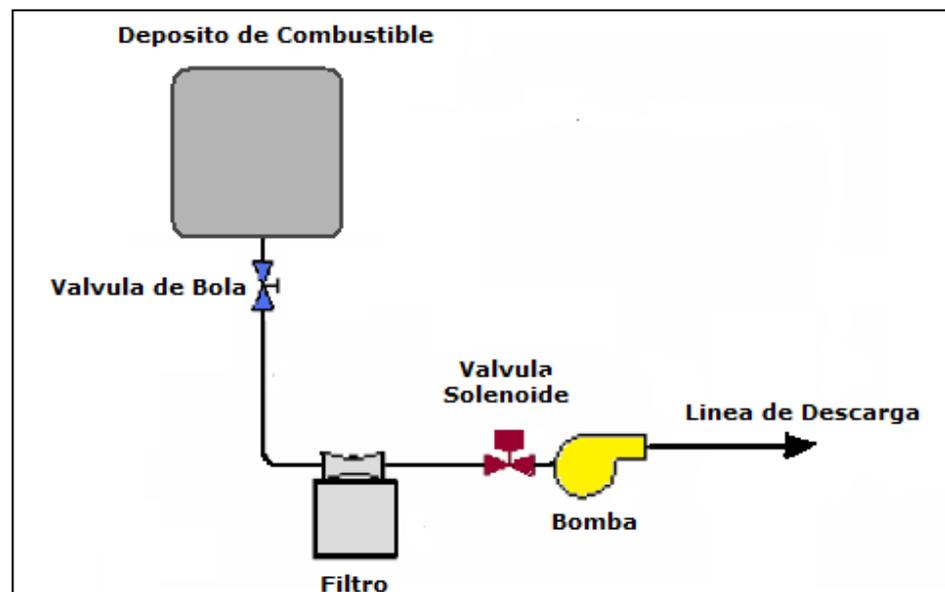


Fuente: Referencia electrónica

En la figura 9 mostramos de otro ángulo visualizando el filtro, la válvula, la bomba y el motor.

En la siguiente figura se presenta un diagrama final.

Figura 10  
Diagrama del sistema de inyección de combustible del  
Precalentador



Fuente: Elaboración Propia

### 2.3.2.2. *Tramos de encendido de la flama del Precaalentador.*

Este tramo está incluido una boquilla tipo remolino marca Danfoss para la atomización con la presión de inyección por parte de la bomba.

- **Boquilla de inyección:** Su función de la boquilla es atomizar el combustible para su encendido, para lo cual, se necesita una presión mayor a 60 PSI.

Figura 11  
Boquilla para la atomización



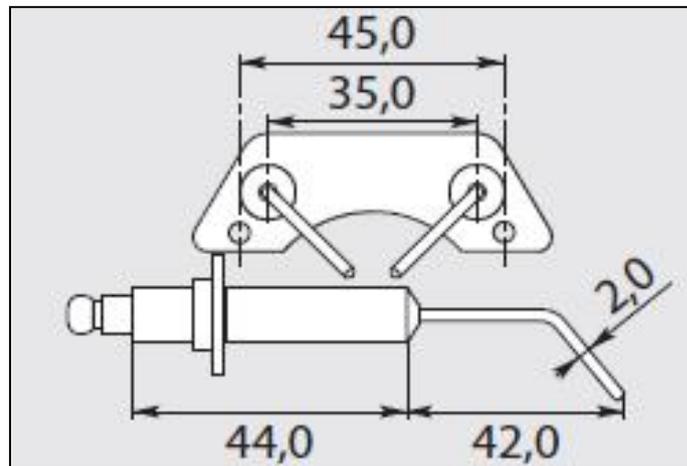
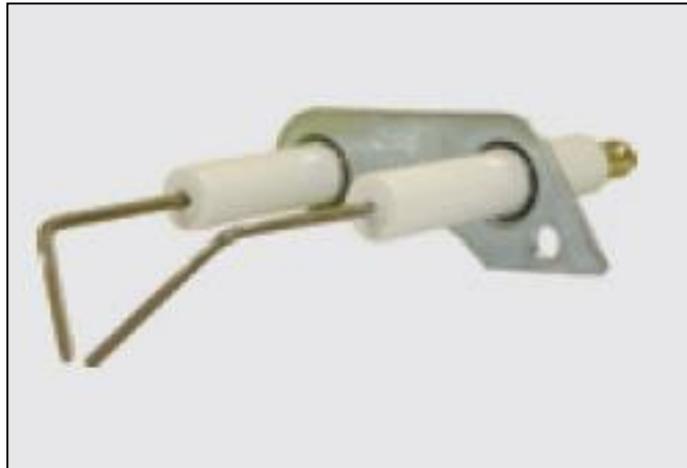
Fuente: Catálogo del quemador

#### **Característica:**

- 1: Marca: Danfoss de cono hueco.
- 2: Caudal: 1 galón por hora.

- **Electrodos de Ignición:** Para el encendido necesitamos un dispositivo; entonces, para nuestro Precaalentador usaremos electrodos de Ignición que funciona generando unas chispas en la punta de este dispositivo gracias al voltaje entregado por el Transformador de ignición.

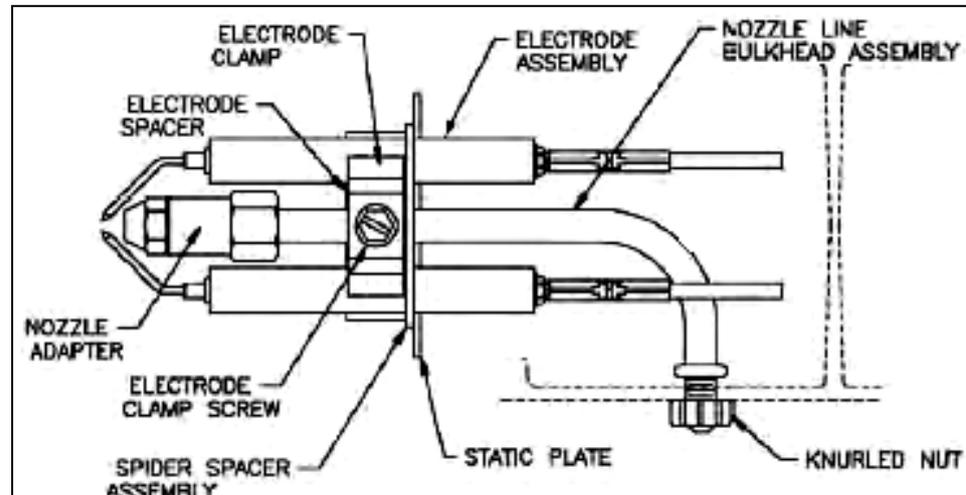
Figura 12  
Electrodos de ignición



Fuente: Catálogo del quemador

En la siguiente figura, vemos como se une la boquilla y el electrodo de ignición.

Figura 13  
Boquilla de inyección + electrodo de ignición



Fuente: Catálogo del quemador

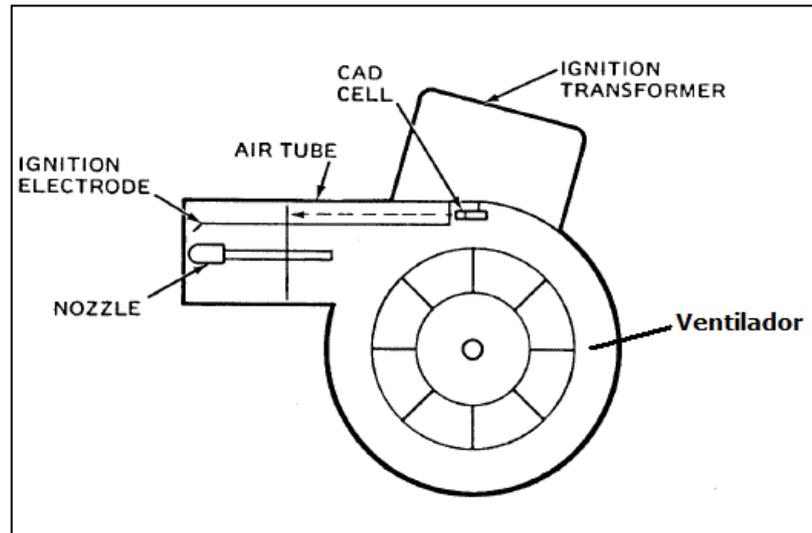
- **Ventilador:** El ventilador es parte de los tramos de encendido de la flama para proporcionar aire y lograr la combustión con el combustible.

**Característica:**

- 1: Voltaje: 110 Vac monofásica.
- 2: Potencia: 1/4 HP.
- 3: Amperio: 3.6 A
- 4: Velocidad: 3550 rpm
- 5: Frecuencia: 60 Hz.

Ubicación de los equipos en el tramo de encendido de flama.

Figura 14  
Tramo de encendido de la flama del precalentador



Fuente: Catálogo del quemador

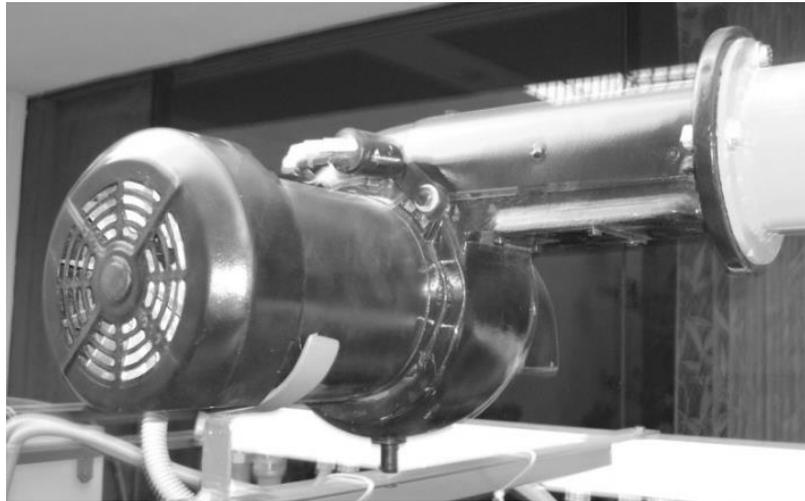
### 2.3.2.3. *Tramos de alimentación de aire a la cámara de combustión del Precalentador*

- **Ventilador:** Para suministrar aire a la cámara de combustión usaremos un ventilador de temperatura con paletas de aluminio.

#### **Característica:**

- 1: Voltaje: 220 Vac Monofásica.
- 2: Frecuencia: 60 Hz.
- 3: CFM:

Figura 15  
Ventilador de alimentación de aire a la cámara de combustión



Fuente: Referencia electrónica

- **Tubería:** Las tuberías que mostramos en la siguiente figura nos permitirá alimentar aire a la cámara de combustión y obtener a la salida aire caliente alrededor de 400°C.

#### 2.3.2.4. Tramo de aislamiento de temperatura de la cámara de combustión del Precalentador.

Para aislar la temperatura de la cámara de combustión usamos yeso y lana fibra de vidrio porque estos dos materiales tienen la Conductividad térmica muy baja:

#### **Conductividad térmica:**

- Fibra de Vidrio:  $0.035 \text{ W/m.K}$
- Yeso:  $1.3 \text{ W/m.K}$

### 2.3.3. Selección de los sensores del Precaentador:

Para un control en lazo cerrado es necesario sensor la señal de la variable del proceso y esto se logra mediante los siguientes transmisores.

#### 2.3.3.1. Transmisor de temperatura.

En el diseño del precalentador la exactitud de la temperatura es aceptable dentro de los  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  del valor de ajuste con una linealidad buena para el PLC y con mayor rango de medida (0 a  $500^{\circ}\text{C}$ ) y una sensibilidad de  $70 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ .

En nuestro sistema del precalentador estamos usando un transmisor de termocupla para el sensor tipo J.

Figura 16  
Transmisor de temperatura PRelectronics



Fuente: Manual del trasmisor

**Características.****Marca:** PRelectronics.**Modelo:** 5334A.**Rango de entrada:** 0 a 600 °C**Salida:** Lineal de 4 a 20 mA.**Exactitud del transmisor:**  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  de la lectura.**Sensibilidad del Sensor tipo J:**  $52 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ **2.3.3.2. Transmisor de Presión.**

Para el sensado de la presión del precalentador debe oscilar entre los 60 y 75 PSI con una linealidad buena para el PLC y una junta para un fluido (Combustible) que oscila entre la temperatura de 20 a 27 °C y con una exactitud de  $\pm 1 \text{ PSI}$  del FS, con una conexión de  $1/4 \text{ NPT}$  y a temperatura ambiente con una presión admisible de 15 bar con un tiempo de respuesta  $\leq 5 \text{ ms}$ .

En el sistema del precalentador se está sensando la presión con dos transmisores de presión Baumer, un transmisor es enviado al PLC para visualizar la presión en su display y el otro transmisor es enviado su señal al variador de velocidad para el control PI de la presión.

Figura 17  
Transmisor de presión Baumer.



Fuente: Referencia electrónica

**Característica.**

**Marca:** Baumer

**Modelo:** CTX353B220

**Rango de Entrada:** 0 a 10 bar / 0 a 145 PSI

**Salida:** Lineal 4 a 20 mA.

**Exactitud:**  $\pm 0.1 FS$

**Temperatura del fluido:**  $-25^{\circ}C$  a  $100^{\circ}C$

**Temperatura Ambiente:**  $-25^{\circ}C$  a  $85^{\circ}C$

**Junta de célula:** NBR para combustible.

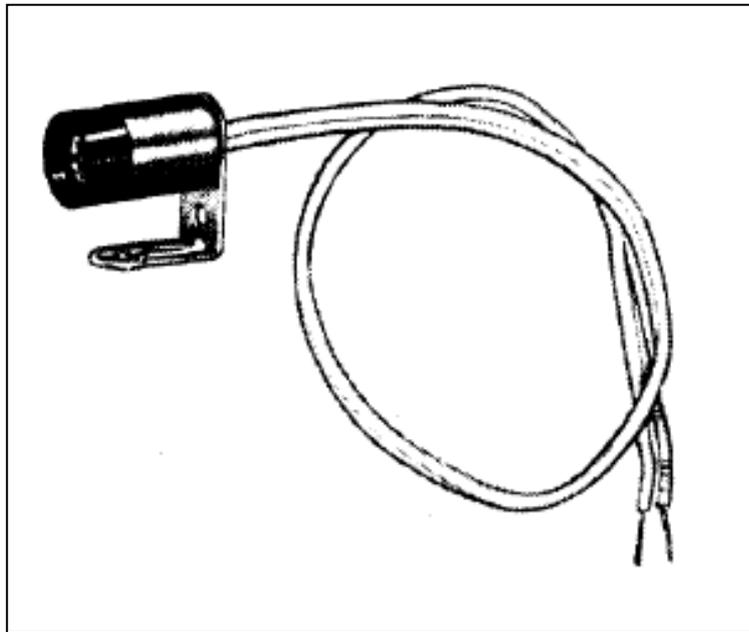
**Conexión Hidráulica:**  $1/4 NPT$

**Tiempo de respuesta:**  $\leq 3 ms$

2.3.3.3. *Sensor de Flama.*

El sensor de flama se logró con un LDR, el LDR es una resistencia que varía con la intensidad de la Luz. En el PLC Jazz tiene 4 entradas de las cuales dos son entradas analógicas de voltaje y por lo tanto el diseño se basó en configurar un voltaje Variable.

Figura 18  
 Detector de Flama Photocell (C554A)



Fuente: Manual del quemador

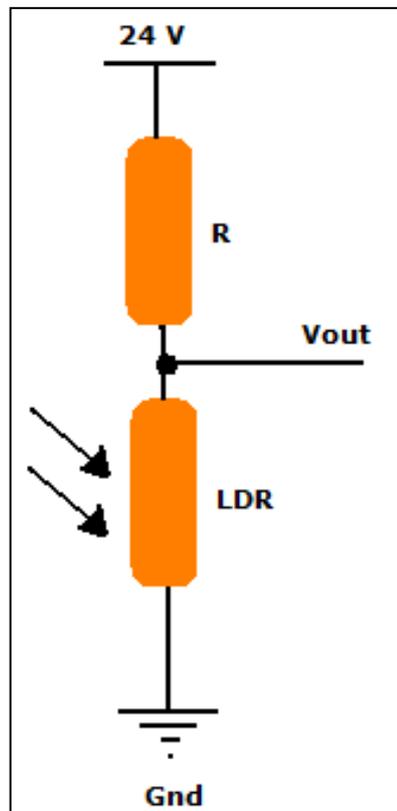
LDR (LUZ): su resistencia es de  $20\text{ K}\Omega$ .

LDR (OSCURO): su resistencia es de  $200\text{ K}\Omega$

En el diseño para generar el voltaje variable con relación a la luz será de (0-5V).

$$R = \frac{LDR(24 - V_o)}{V_o} = \frac{200\text{K}\Omega(24 - 5)}{5} = 760\text{K}\Omega$$

Figura 19  
División de tensión usando un LDR



Fuente: Elaboración propia

La razón es que no es muy importante sensar de 0 a 10 V para el PLC por que en el programa del ladder usaremos esta señal para crear límites si es que esta prendido o apagado la flama como una señal discreta.

### 2.3.4. Tarjeta de interfaz de comunicación.

Para la parte de comunicación diseñamos conversores de RS-232 a RS-485. También necesitamos una tarjeta que ayude a la PC a comportarse como maestro en la red.

#### 2.3.4.1. Tarjeta de interfaz con la PC

El objetivo de diseñar esta tarjeta es para solucionar el problema de red, como sabemos en nuestra red mediante el

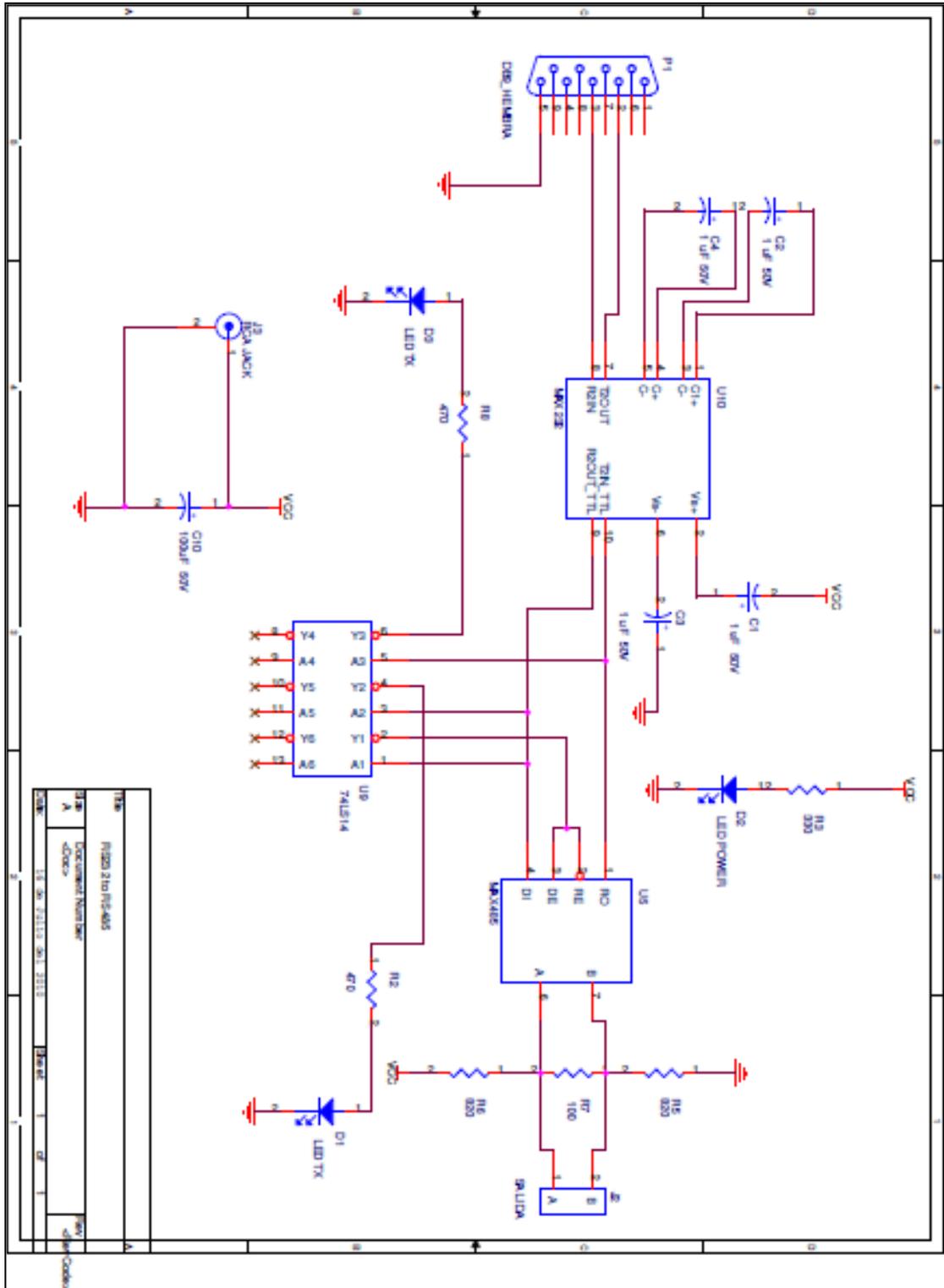
uso del protocolo MODBUS solo hay un maestro que vendría a ser el PLC que comandara a los esclavos; entonces, si queremos usar un SCADA y a la vez que se comporte como maestro en nuestra red eso no será posible; así que; se diseñó la tarjeta que se comportará como un esclavo para ambos (La PC y el PLC). La idea es que el PLC envíe la información de los estados del Proceso y las variables del proceso a la memoria de la tarjeta de interfaz y así la PC podrá acceder a su memorias internas de la tarjeta de interfaz y leerlos para visualizar en un SCADA.

#### *2.3.4.2. Conversor RS232 a RS485*

El objetivo del diseño del conversor RS232 a RS485 es porque nuestro PLC solo tiene salida RS232, pero para diseñar una red que se puedan comunicar con varios equipos esclavos es necesario que maneje RS485.

Diagrama del convertor RS232 a RS485.

Figura 20  
Diagrama del convertor RS232 a RS485



Fuente: Elaboración propia

## Lista de Componente

Tabla 4  
Lista de componentes del Conversor RS232 a RS485

		<b>CANTIDAD</b>
<b>U10</b>	MAX232	1
<b>U5</b>	MAX485	1
<b>U9</b>	74LS14	1
<b>C10</b>	100 uF/35V	1
<b>C1,C2,C3,C4</b>	1 uF/35V	4
<b>D1,D3,D3</b>	Led	3
<b>J2</b>	Bornera de 2	1
<b>R2,R3,R8</b>	470 $\Omega$	3
<b>R7</b>	100 $\Omega$	1
<b>R5,R6</b>	820 $\Omega$	2
<b>J3</b>	Jack	1
<b>P1</b>	DB9-hembra	1

Fuente: Elaboración propia

## 2.4. Programación.

### Lista de Ordenamiento

#### Entradas

Tabla 5  
Lista de ordenamiento de entradas

Designación	Descripción	Operando
Presión	Analógica (4 a 20 mA)	MI 10
Temperatura	Analógica (4 a 20 mA)	MI 11
LDR	Analógica (0 a 10 V)	MI 12
START	Entrada Discreta	I 0
STOP	Entrada Discreta	I 1
EMERGENCIA	Entrada Discreta	I 2

Fuente: Referencia electrónica

#### Salidas

Tabla 6  
Lista de ordenamiento de salida

Designación	Descripción	Operando
Ventilador 220	Salida Discreta	O 0
Ventilador 110	Salida Discreta	O 1
Chispero 110	Salida Discreta	O 2
Válvula 110	Salida Discreta	O 3
Stop out	Salida Discreta	O 4
Start out	Salida Discreta	O 5

Fuente: Referencia electrónica

## Memorias internas

Tabla 7  
Lista de memorias internas

Designación	Descripción	Operando
INICIAR PROCESO	Memoria Bits	MB 1
OSCURO	Memoria Bits	MB 12
LUZ	Memoria Bits	MB 13
Baja Presión	Memoria Bits	MB 14
Ventilador 220	Memoria Bits	MB 40
ventilador 110	Memoria Bits	MB 41
Chispero	Memoria Bits	MB 42
Valvula	Memoria Bits	MB 43
BOMBA	Memoria Bits	MB 44
Encendido o apagado	Memoria Bits	MB 45
FLAMA	Memoria Bits	MB 46
Emergencia	Memoria Bits	MB47
Enable PID - ON: PID runs, OFF: PID disabled	Memoria Bits	MB 50
Action: 0=Reverse(Heating), 1=Direct(Cooling)	Memoria Bits	MB 51
Reset integral accumulated error - ON: Clear, OFF: Continue	Memoria Bits	MB 52
Inactive: Negative Slope	Memoria Bits	MB 53
START_SCADA	Memoria Bits	MB 60
STOP_SCADA	Memoria Bits	MB 61
Preset reference LSB	Memoria Bits	MB 100
Preset reference MSB	Memoria Bits	MB 101
No DC brake	Memoria Bits	MB 102
No coast stop	Memoria Bits	MB 103

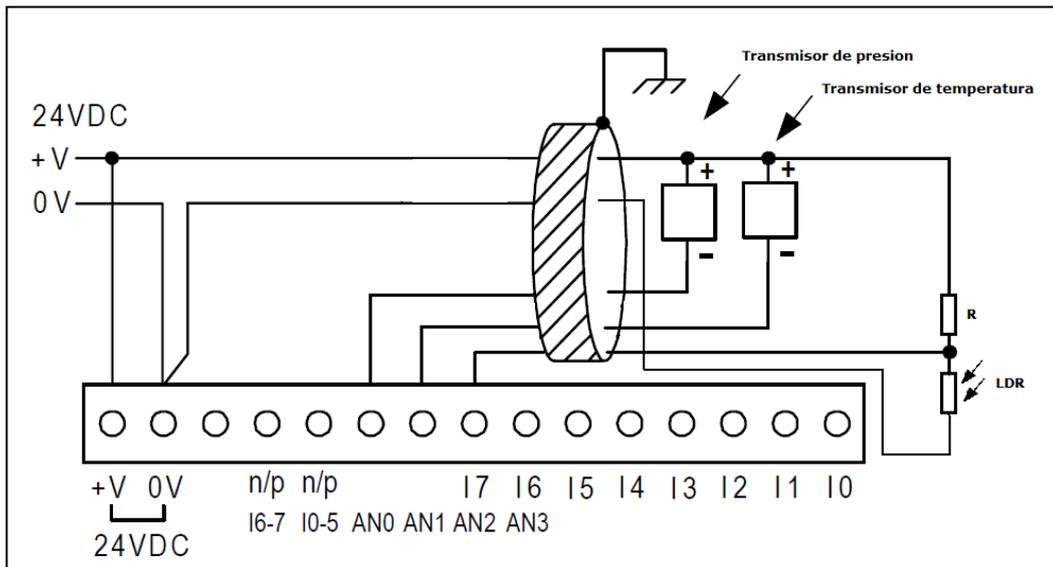
No quick stop	Memoria Bits	MB 104
No freeze freq.	Memoria Bits	MB 105
Ramp stop (0), Start (1)	Memoria Bits	MB 106
No reset	Memoria Bits	MB 107
No jog	Memoria Bits	MB 108
Ramp 1	Memoria Bits	MB 109
Data valid	Memoria Bits	MB 110
Relay 1 off	Memoria Bits	MB 111
Relay 2 off	Memoria Bits	MB 112
Set up LSB	Memoria Bits	MB 113
Set up MSB	Memoria Bits	MB 114
No reversing	Memoria Bits	MB 115
Process Value - the PID input	Memoria Entera	MI 30
Set Point - the target value	Memoria Entera	MI 31
Control Value - the PID output	Memoria Entera	MI 32
Proportional band - defined in units of 0.1%	Memoria Entera	MI 34
Integral time - defined in units of 1 second	Memoria Entera	MI 35
Derivative time - defined in units of 1 second	Memoria Entera	MI36
Process Value high limit - the maximum PV input value	Memoria Entera	MI 38
Process Value low limit - the minimum PV input value	Memoria Entera	MI 39
Control Value high limit - the maximum CV output value	Memoria Entera	MI 40
Control Value low limit - the minimum CV output value	Memoria Entera	MI 41
Señal de temperatura	Memoria Entera	MI 50
Señal de presión	Memoria Entera	MI 51
MODBUS function is busy	Memoria de Bits del Sistema	SB 66
Linear conversion: Y (result) value	Memoria Entera del Sistema	SI 85

Fuente: Referencia electrónica

**Diagrama de conexión al PLC.**

**Entradas analógica.**

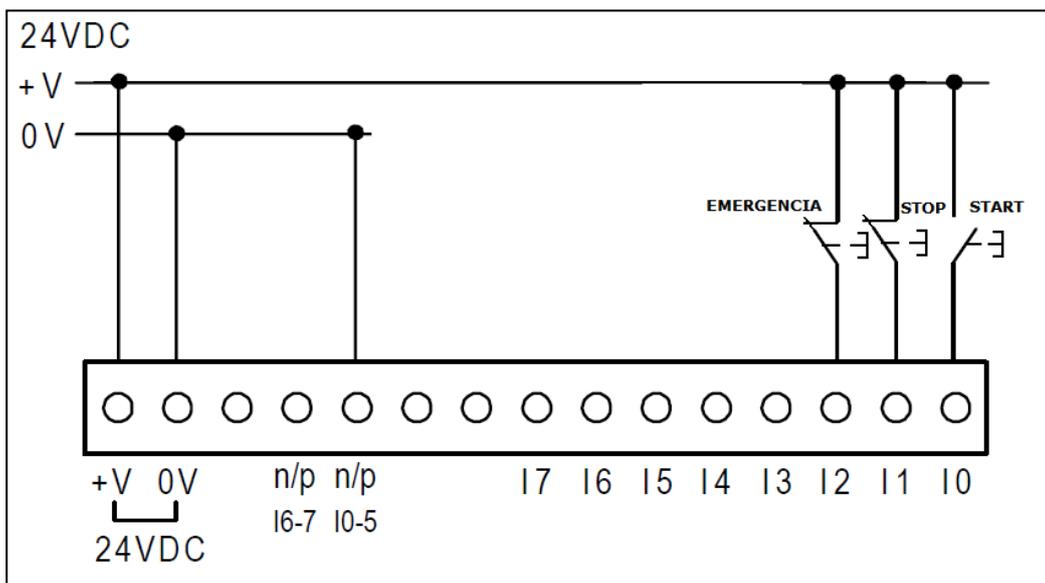
Figura 21  
Diagrama de entradas analógicas



Fuente: Referencia Manual PLC

**Entradas Discretas.**

Figura 22  
Diagrama de entradas discretas



Fuente: Referencia Manual PLC

## 2.5. Programación en ladder para el PLC Unitronics Jazz Micro-OPLC

Para iniciar la programación en ladder y programarlos en el PLC Jazz se sigue los siguientes pasos.

**Paso 1:** Abrir el Programa U90 Ladder.

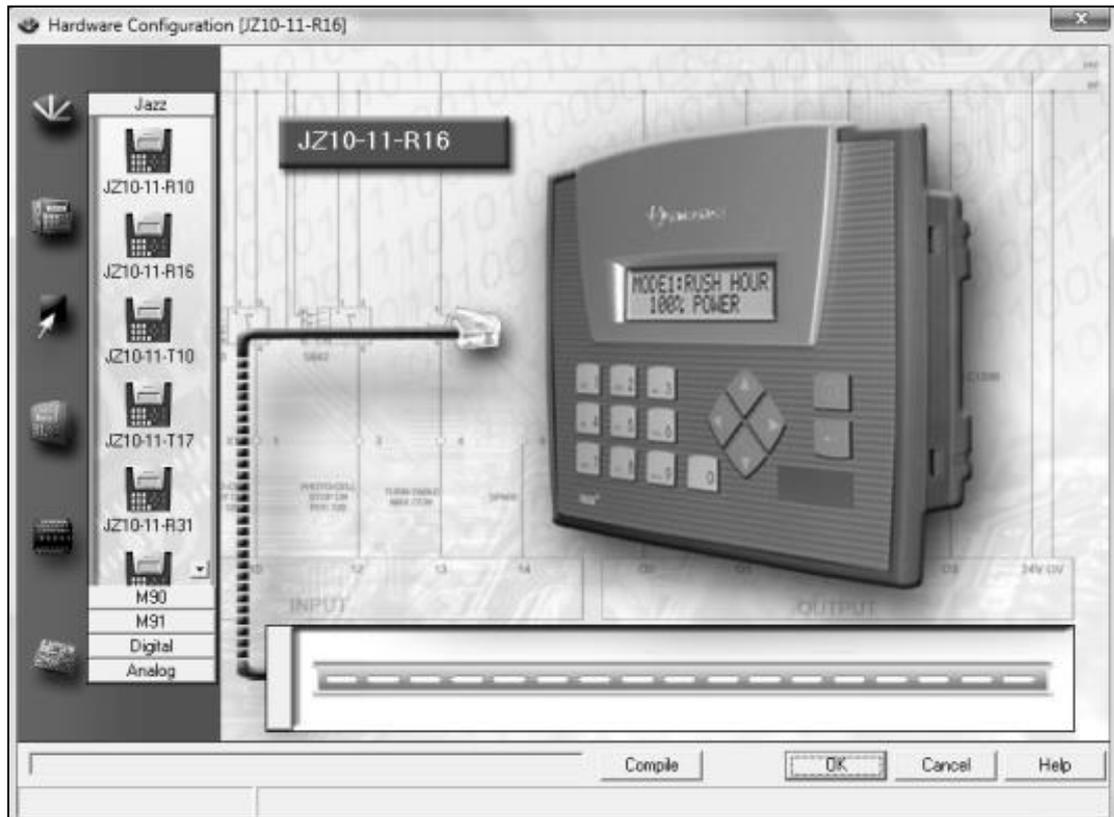
Figura 23  
Icono programa U90 Ladder



Fuente: Programa U90 ladder

**Paso 2:** Creamos un nuevo proyecto y configuramos el hardware en este caso es (JZ10-11R16).

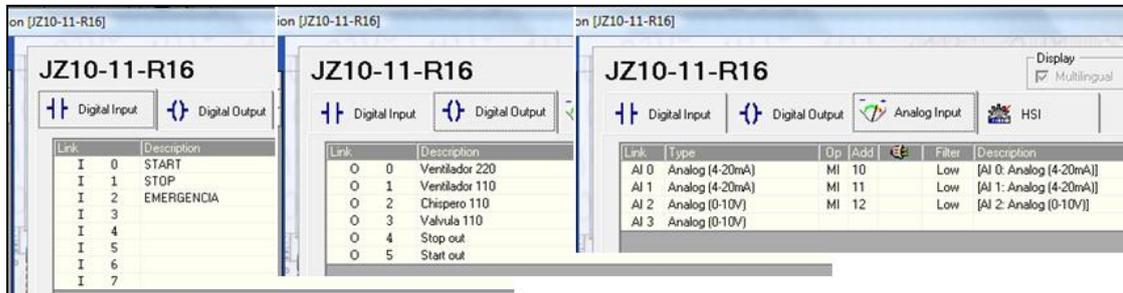
Figura 24  
Creación de nuevo proyecto JZ10-11R16



Fuente: Programa U90 ladder

**Paso 3:** Configuramos nuestras entradas/salidas discretas como las entradas analógicas de 4 a 20 mA y 0 a 10 V.

Figura 25  
Configuración de entrada/salida



Fuente: Programa U90 ladder

**Paso 4:** Para desarrollar la programación en ladder seleccionamos esta imagen que es un icono.

Figura 26  
Icono para programación en ladder

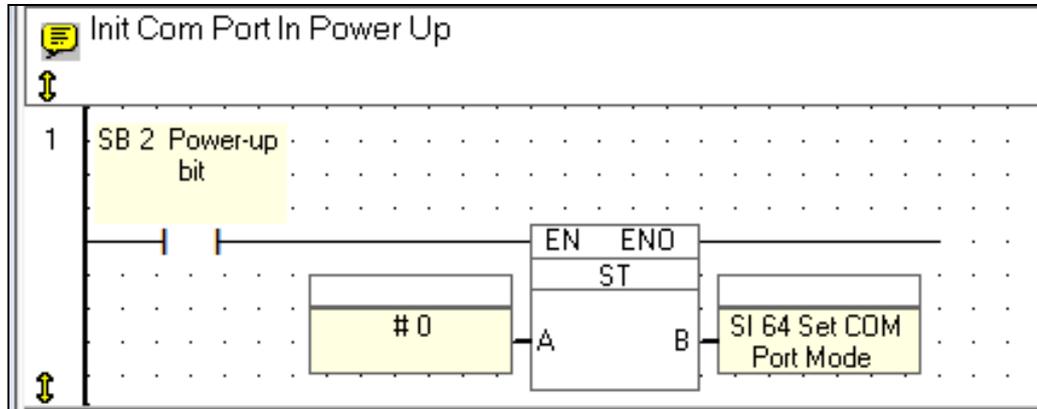


Fuente: Programa U90 ladder

A continuación describiremos el programa en ladder para el control del Precalentador.

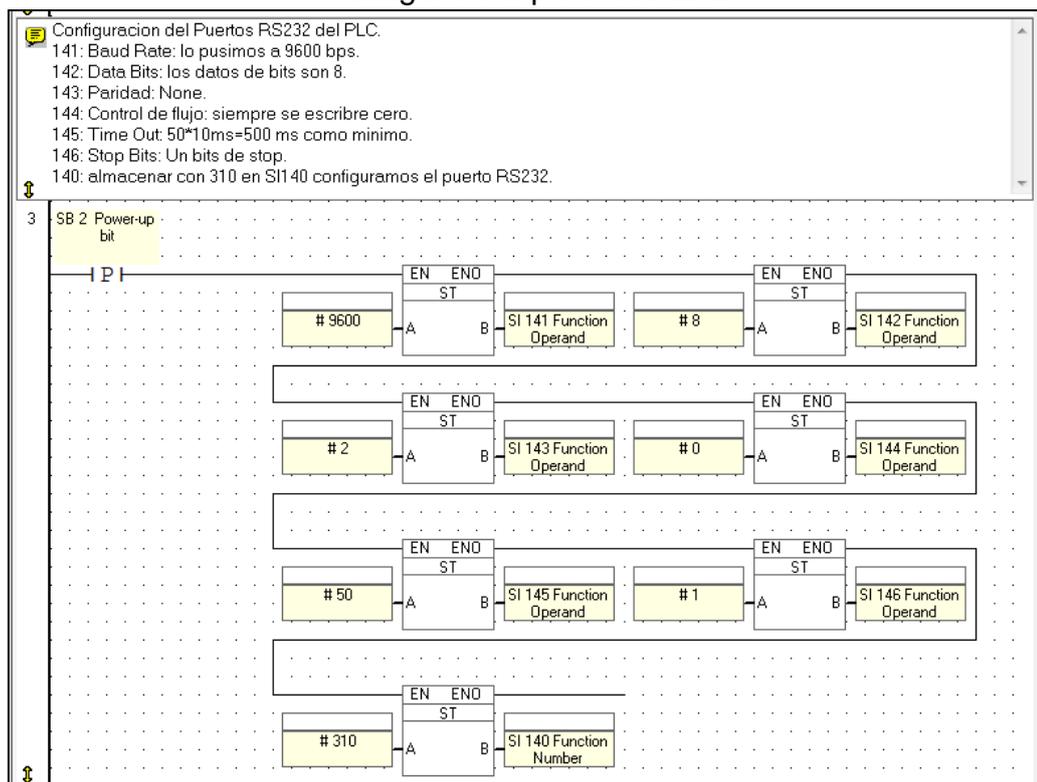
- Configuramos el puerto RS232.

Figura 27  
Configuración puerto RS232



Fuente: Programa U90 ladder

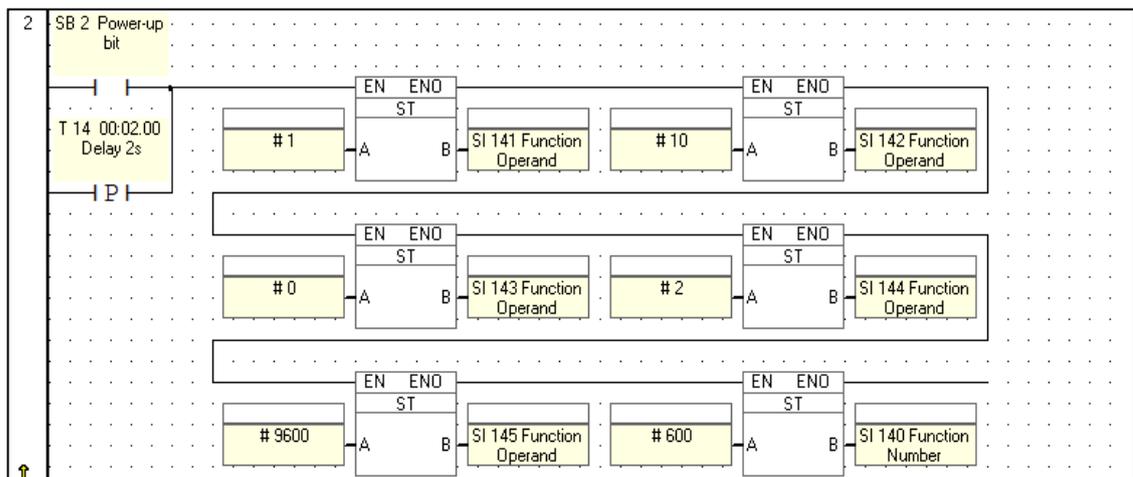
Figura 28  
Configuración puerto RS232



Fuente: Programa U90 ladder

- Configuramos el Protocolo MODBUS maestro.
  - Network ID: 141
  - TimeOut: 142
  - Retries: 143
  - Delay: 144
  - BaudRate: 145
  - Modbus Type: 140

Figura 29  
Configuración del Protocolo MODBUS maestro

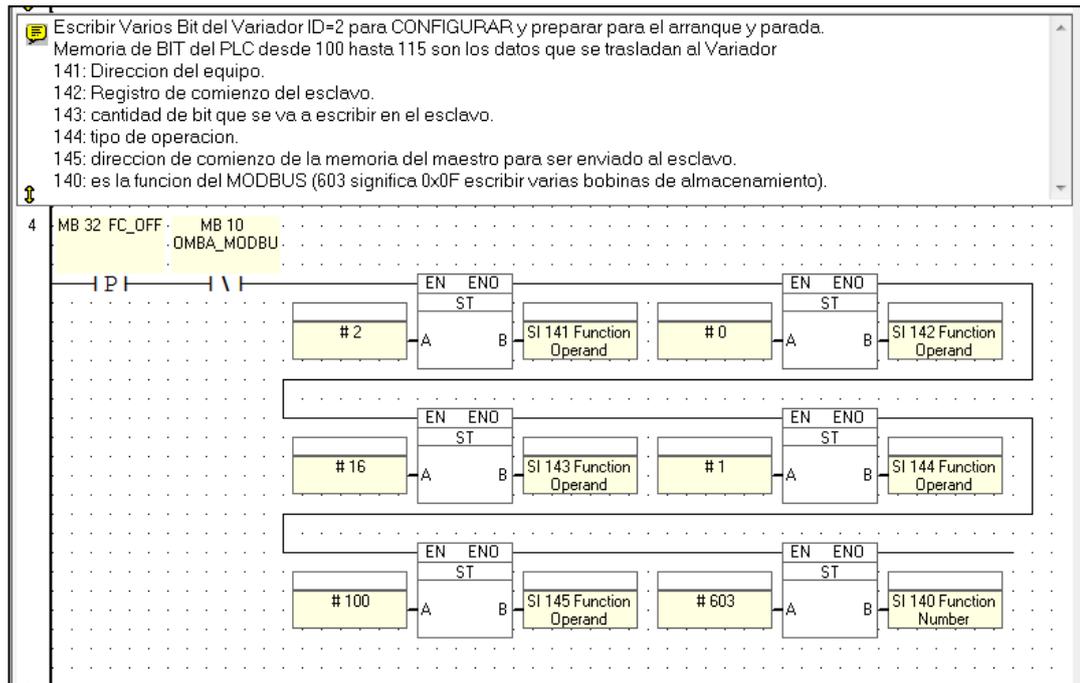


Fuente: Programa U90 ladder

- Enviamos la información mediante el protocolo MODBUS al Variador y a una tarjeta de interfaz con la PC.

Usaremos la función (15) para escribir varios bits en el variador con ID=2.  
Memoria de Bits del PLC → Memoria de Bits del Variador.

Figura 30  
Configuración del variador para el arranque y parada



Fuente: Programa U90 ladder

Ubicación de la información de memoria de Bits del PLC que se enviara al Variador FC51.

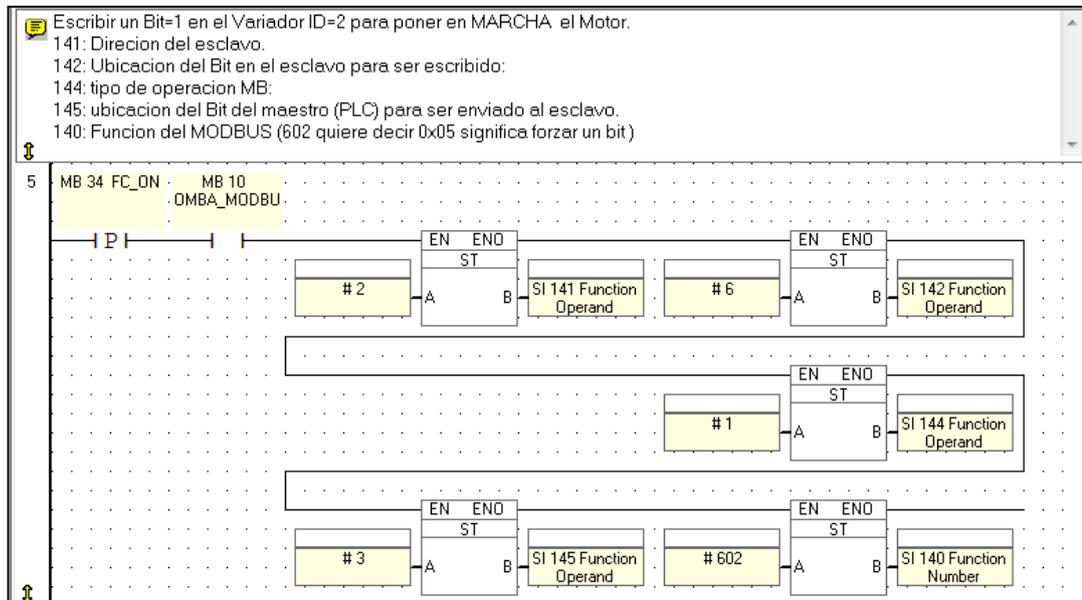
Figura 31  
Ubicación de la información de memoria de Bits del PLC que se enviara al Variador FC51

Variables	MB	98	<input type="checkbox"/>		
1 - (MI 10) Transmisor c	MB	99	<input type="checkbox"/>		
2 - (MB 13) FLAMA	MB	100	<input type="checkbox"/>	0	Preset reference LSB
3 - (MI 32) Variable de c	MB	101	<input type="checkbox"/>	0	Preset reference MSB
4 * (MI 31) SETPOINT	MB	102	<input type="checkbox"/>	1	No DC brake
5 * (MI 35) tiempo de in	MB	103	<input type="checkbox"/>	1	No coast stop
6 * (MI 34) Banda propo	MB	104	<input type="checkbox"/>	1	No quick stop
7 * (MI 36) Tiempo deriv	MB	105	<input type="checkbox"/>	1	No freeze freq.
9 - (MI 11) Transmisor c	MB	106	<input type="checkbox"/>	0	Ramp stop (0), Start (1)
10 * (MI 20) variable de	MB	107	<input type="checkbox"/>	0	No reset
Data Types	MB	108	<input type="checkbox"/>	0	No jog
Inputs	MB	109	<input type="checkbox"/>	0	Ramp 1
Outputs	MB	110	<input type="checkbox"/>	1	Data valid
Memory Bits	MB	111	<input type="checkbox"/>	0	Relay 1 off
Memory Integers	MB	112	<input type="checkbox"/>	0	Relay 2 off
System Bits	MB	113	<input type="checkbox"/>	0	Set up LSB
System Integers	MB	114	<input type="checkbox"/>	0	Set up MSB
Timers	MB	115	<input type="checkbox"/>	0	No reversing
M90 Network	MB	116	<input type="checkbox"/>		
Watches	MB	117	<input type="checkbox"/>		

Fuente: Programa U90 ladder

Se usará la función (05) para cambiar el estado de un bit en el variador y así producir el arranque, la posición de Bit de arranque del variador es el Bits 6.

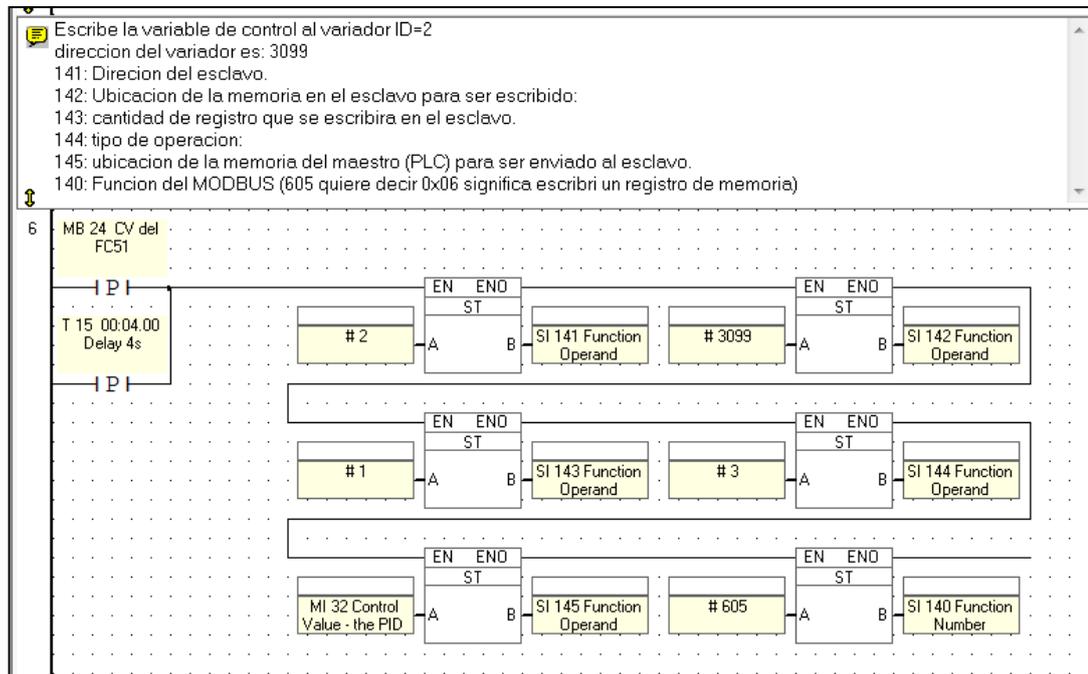
Figura 32  
Uso de la función (05) para el ModBus.



Fuente: Programa U90 ladder

Se usará la función (06) para escribir un registro de almacenamiento del variador cuya dirección de memoria del variador es 3099, el PLC envía la información de la variable de control (CV) del lazo secundario.

Figura 33  
Uso de la función (06) para el ModBus.

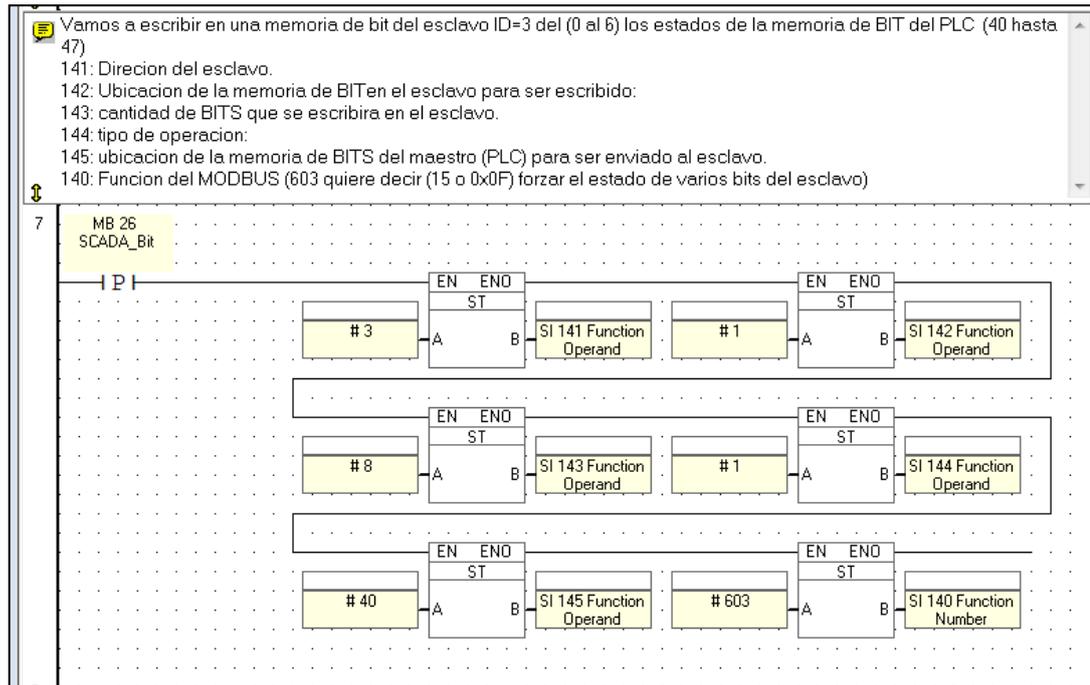


Fuente: Programa U90 ladder

Usaremos la función (15) para cambiar varios estados de Bits de la tarjeta de interfaces con la PC.

Memoria de Bit del PLC → Memoria de Bits de la tarjeta de interface con la PC.

Figura 34  
Uso de la función (15) para el ModBus.



Fuente: Programa U90 ladder

### Memoria de Bit del PLC.

Figura 35  
Memoria de Bit del PLC.

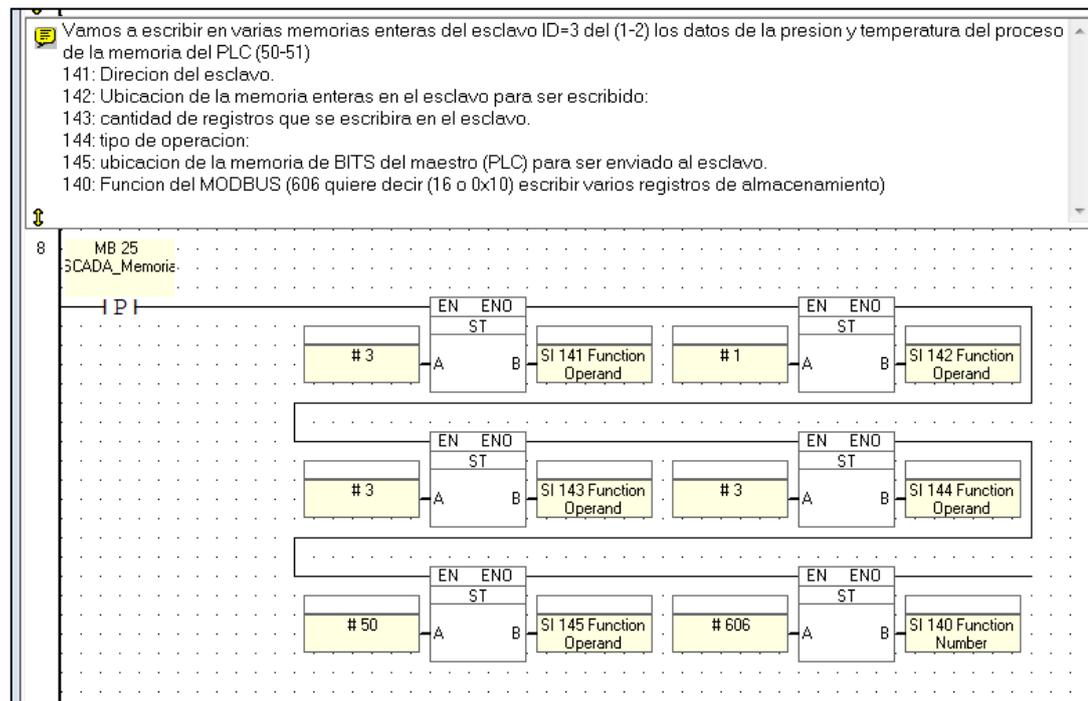
MB	39	<input type="checkbox"/>	
MB	40	<input checked="" type="checkbox"/>	Ventilador 220
MB	41	<input checked="" type="checkbox"/>	ventilador 110
MB	42	<input checked="" type="checkbox"/>	Chispero
MB	43	<input checked="" type="checkbox"/>	Valvula
MB	44	<input checked="" type="checkbox"/>	BOMBA
MB	45	<input checked="" type="checkbox"/>	Encendido o apagado
MB	46	<input checked="" type="checkbox"/>	FLAMA
MB	47	<input checked="" type="checkbox"/>	Emergencia
MB	48	<input type="checkbox"/>	

Fuente: Programa U90 ladder

Se usará la función (16) para escribir varios registros de almacenamiento en la tarjeta de interface con la PC.

Memoria de registro del PLC → Memoria de registro de la tarjeta de interface con la PC.

Figura 36  
Uso de la función (16) para el ModBus.



Fuente: Programa U90 ladder

## Memoria de registro del PLC

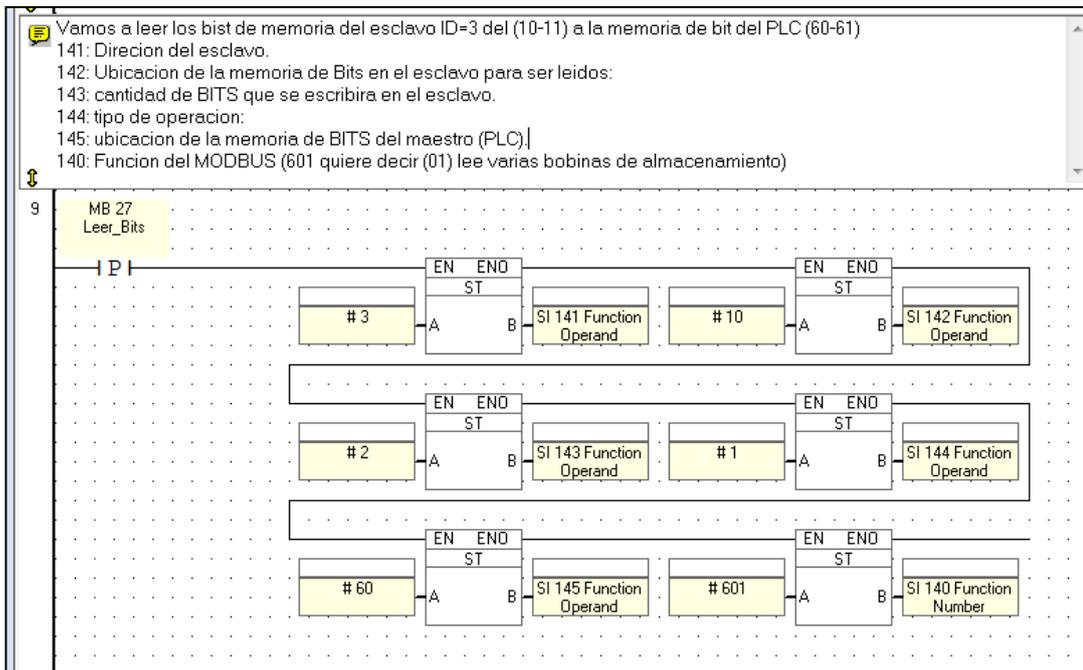
Figura 37  
Memoria de registro del PLC

MI	49	<input type="checkbox"/>	
MI	50	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal de temperatura
MI	51	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal de presion
MI	52	<input checked="" type="checkbox"/>	SETPOINT
MI	53	<input type="checkbox"/>	
MI	54	<input type="checkbox"/>	

Fuente: Programa U90 ladder

Vamos a leer 2 bits de memoria de la tarjeta de interface con la PC.

Figura 38  
Uso de la función (01) para el ModBus.



Fuente: Programa U90 ladder

### Memoria de Bit del PLC.

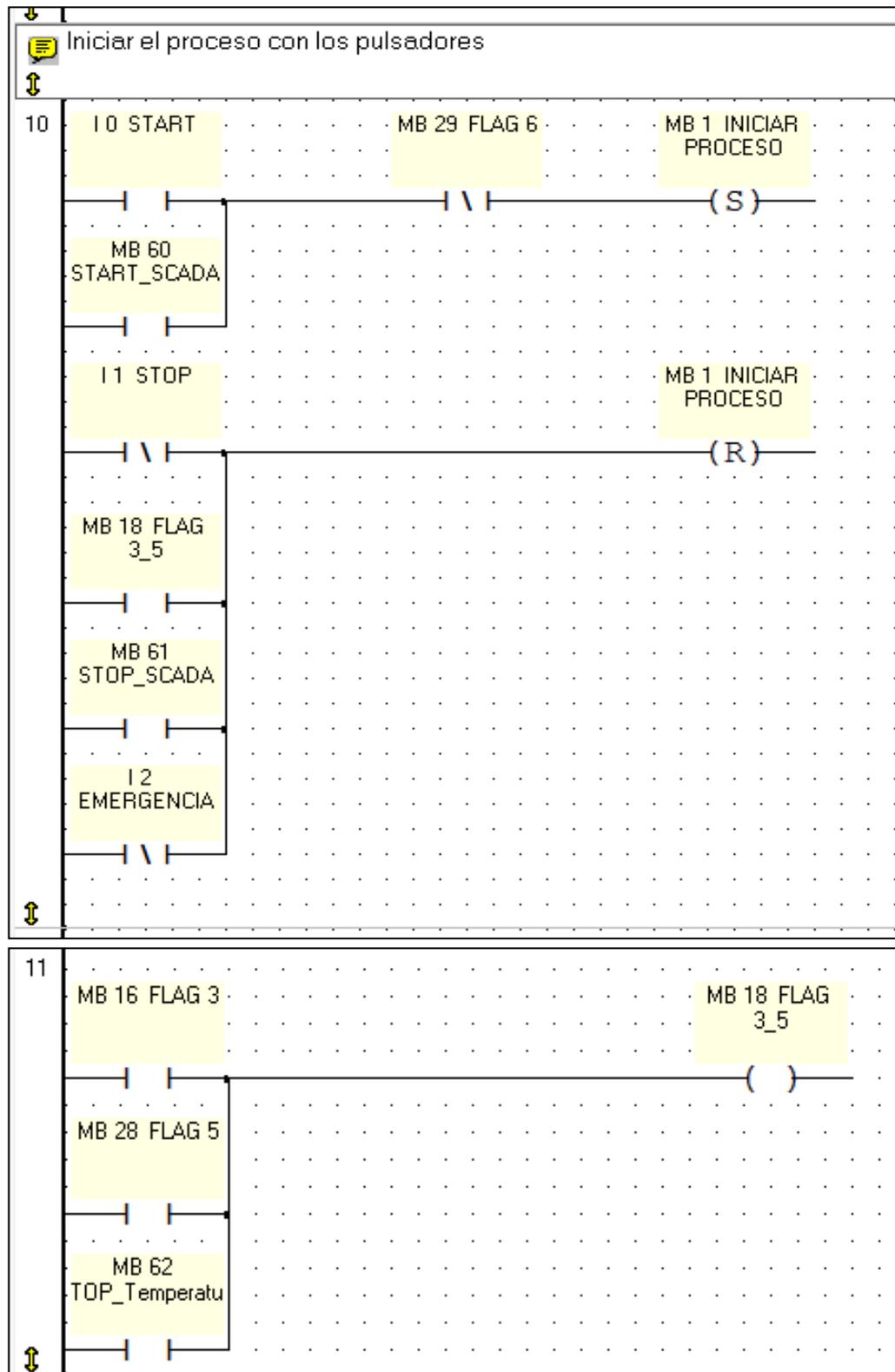
Figura 39  
Memoria de Bit del PLC

MB	60	<input checked="" type="checkbox"/>		START_SCADA
MB	61	<input checked="" type="checkbox"/>		STOP_SCADA

Fuente: Programa U90 ladder

Vamos iniciar el arranque de la planta con los pulsadores o mediante el SCADA, y la parada mediante algún tipo de problemas que pueda suceder.

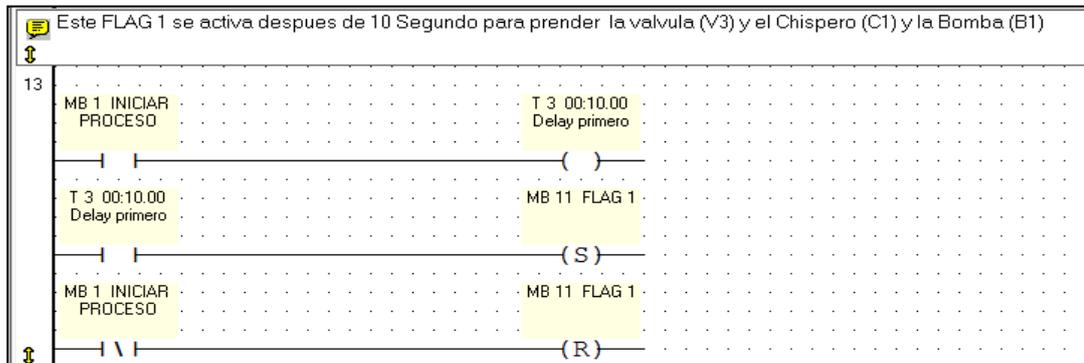
Figura 40  
Inicio del arranque de la planta con los pulsadores.



Fuente: Programa U90 ladder

El FLAG 1 se activara después de 10 segundos para luego prender la válvula, el chispero y la bomba.

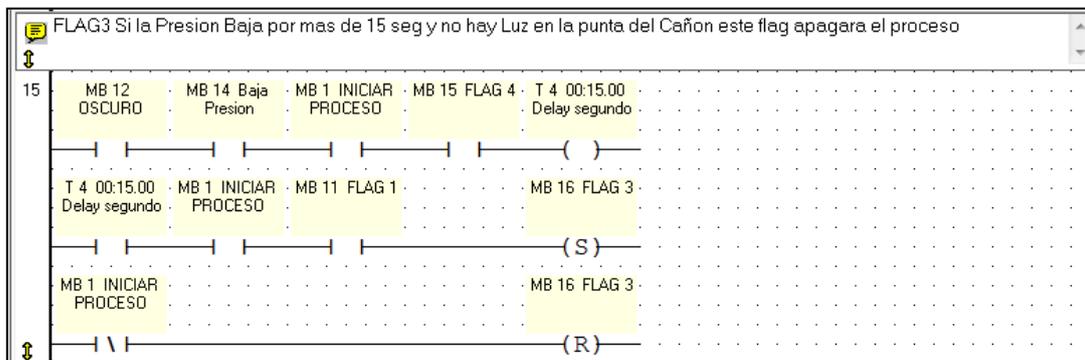
Figura 41  
Uso del FLAG 1.



Fuente: Programa U90 ladder

El FLAG 3 me apagará el Pre calentador sí que la presión baja más de lo normal por razones de problemas o falta de combustible.

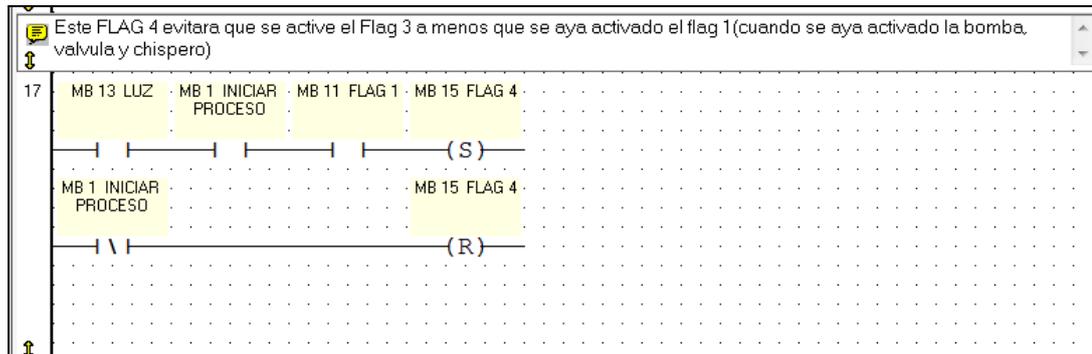
Figura 42  
Uso del FLAG 3



Fuente: Programa U90 ladder

El FLAG 4 me indicara que el Pre calentador prendió sin ningún problema.

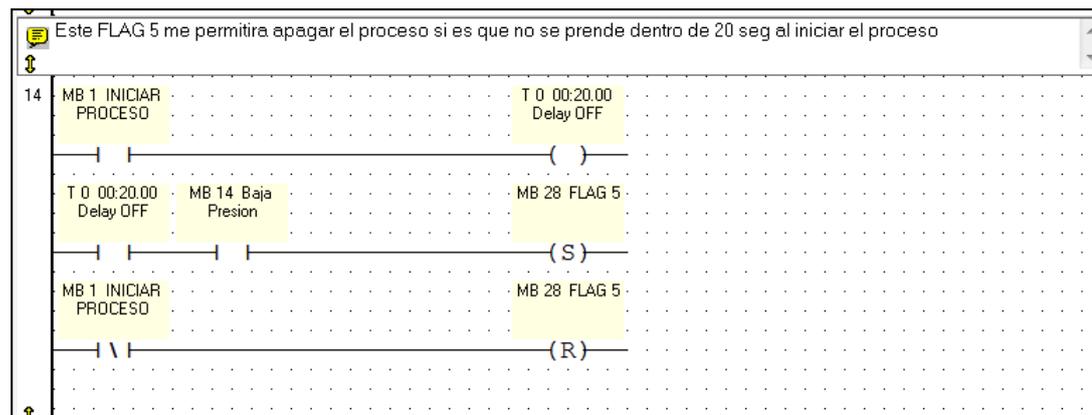
Figura 43  
Uso del FLAG 4



Fuente: Programa U90 ladder

El FLAG 5 me permitirá apagar el proceso si es que no se prende el Precalentador dentro los 20 segundos al iniciar el proceso.

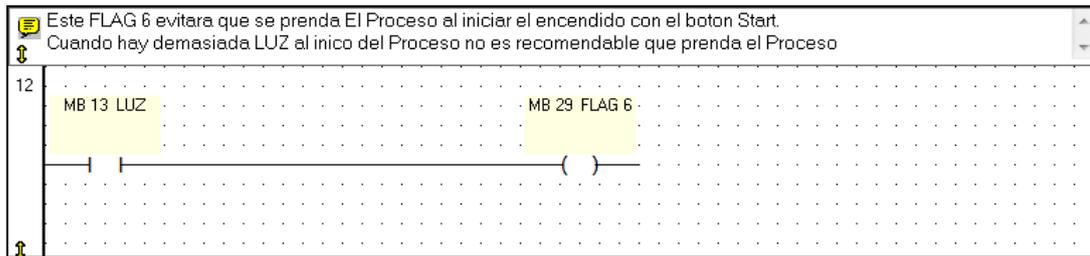
Figura 44  
Uso del FLAG 5



Fuente: Programa U90 ladder

Mediante el FLAG 6 se evitara prender el Precalentador cuando la boquilla del quemador esta al aire libre, por razones de seguridad.

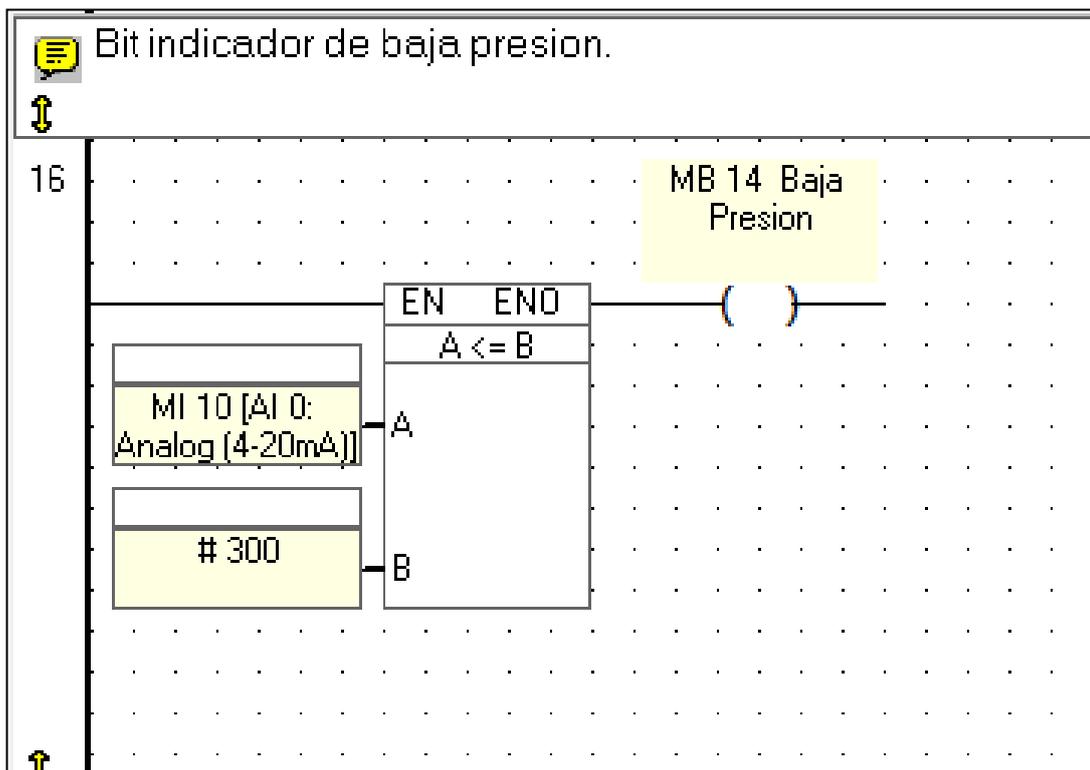
Figura 45  
Uso del FLAG 6



Fuente: Programa U90 ladder

Este tramo del programa ladder nos indicará que la presión es baja mediante un comparador, si la señal de presión es de (204 a 1023) y baja por más 300 indicará un bit de memoria (MB14).

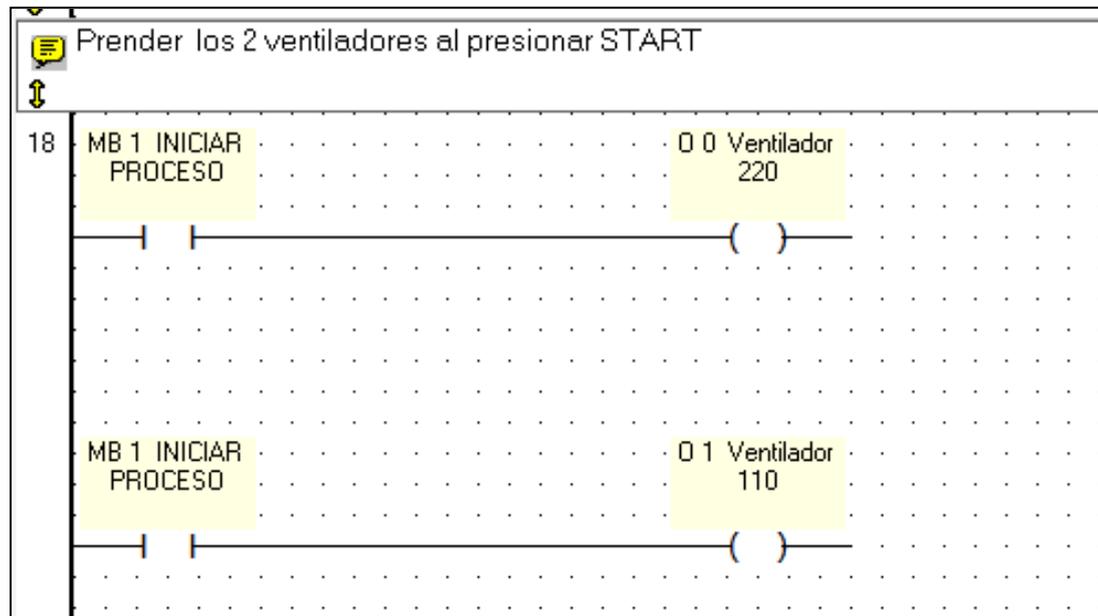
Figura 46  
Presión Baja



Fuente: Programa U90 ladder

Prendemos los 2 ventiladores al presionar el pulsador START

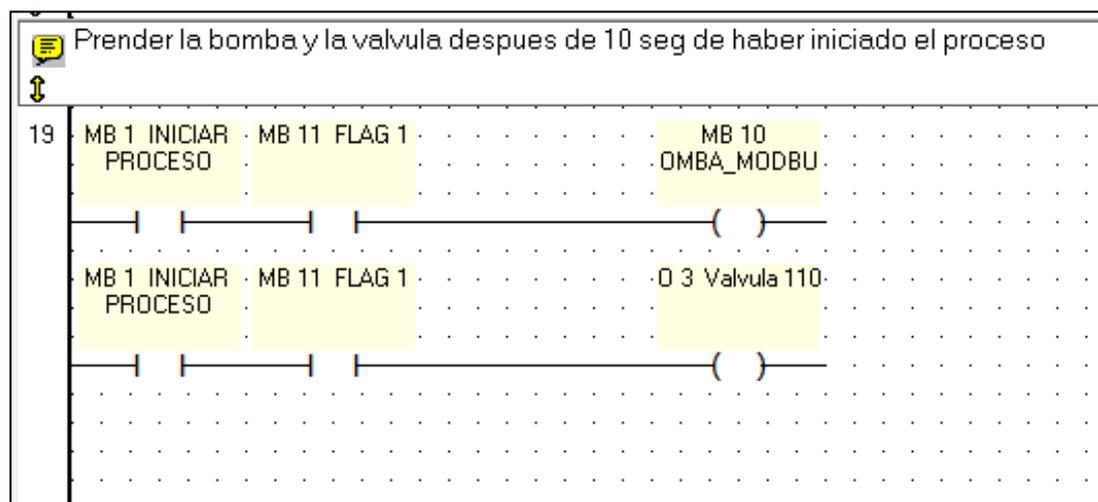
Figura 47  
Encendido de los ventiladores



Fuente: Programa U90 ladder

Prendemos la válvula y la bomba después de 10 segundos haber iniciado el proceso mediante el FLAG 1.

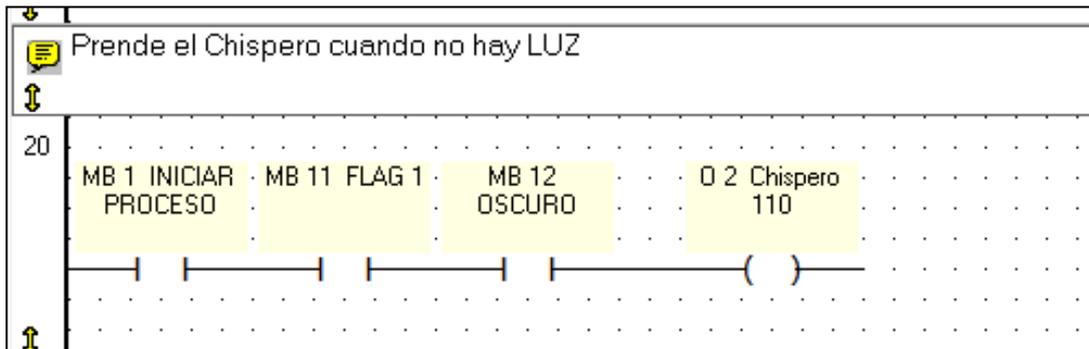
Figura 48  
Encendido de la bomba y válvula



Fuente: Programa U90 ladder

Prender el Chispero cuando no hay luz y después de 10 segundos de haber iniciado el proceso.

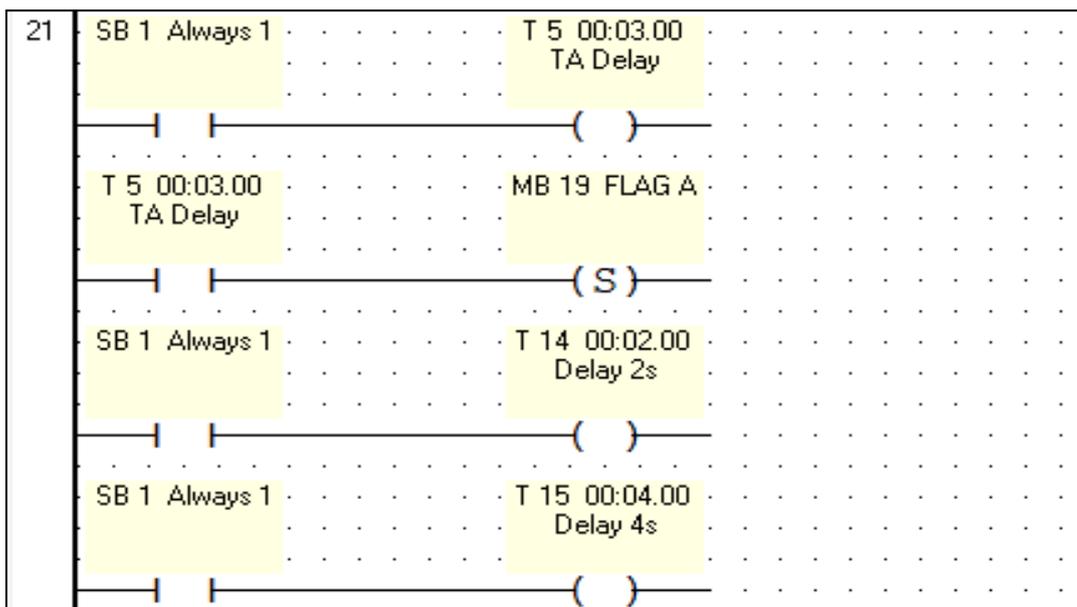
Figura 49  
Encendido del chispero



Fuente: Programa U90 ladder

Activar la comunicación de MODBUS después de 3 segundos de haberse prendido el sistema del Precalentador y 2 segundos para asegurar la configuración del MODBUS y 4 segundos para confirmar de enviar la trama del Modbus.

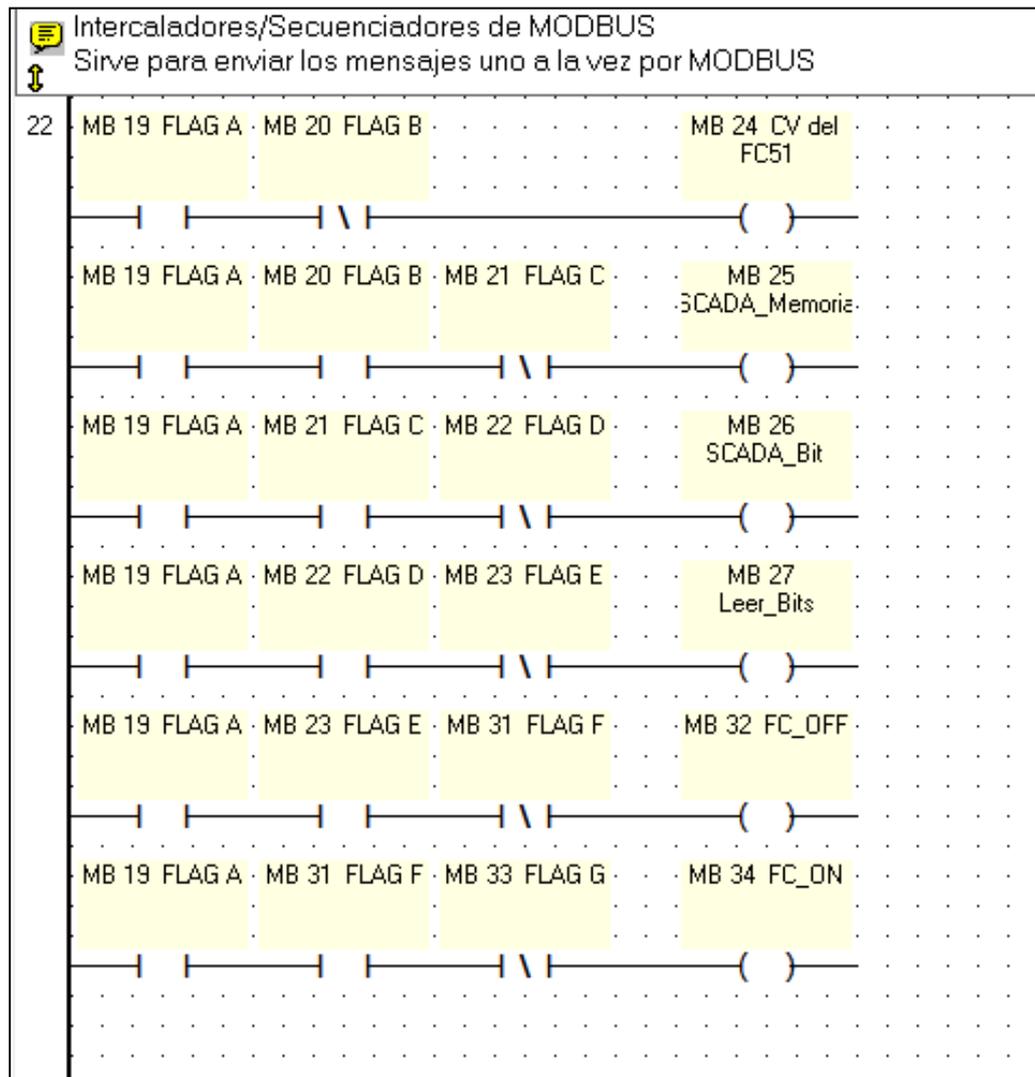
Figura 50  
Activación de la comunicación de MODBUS



Fuente: Programa U90 ladder

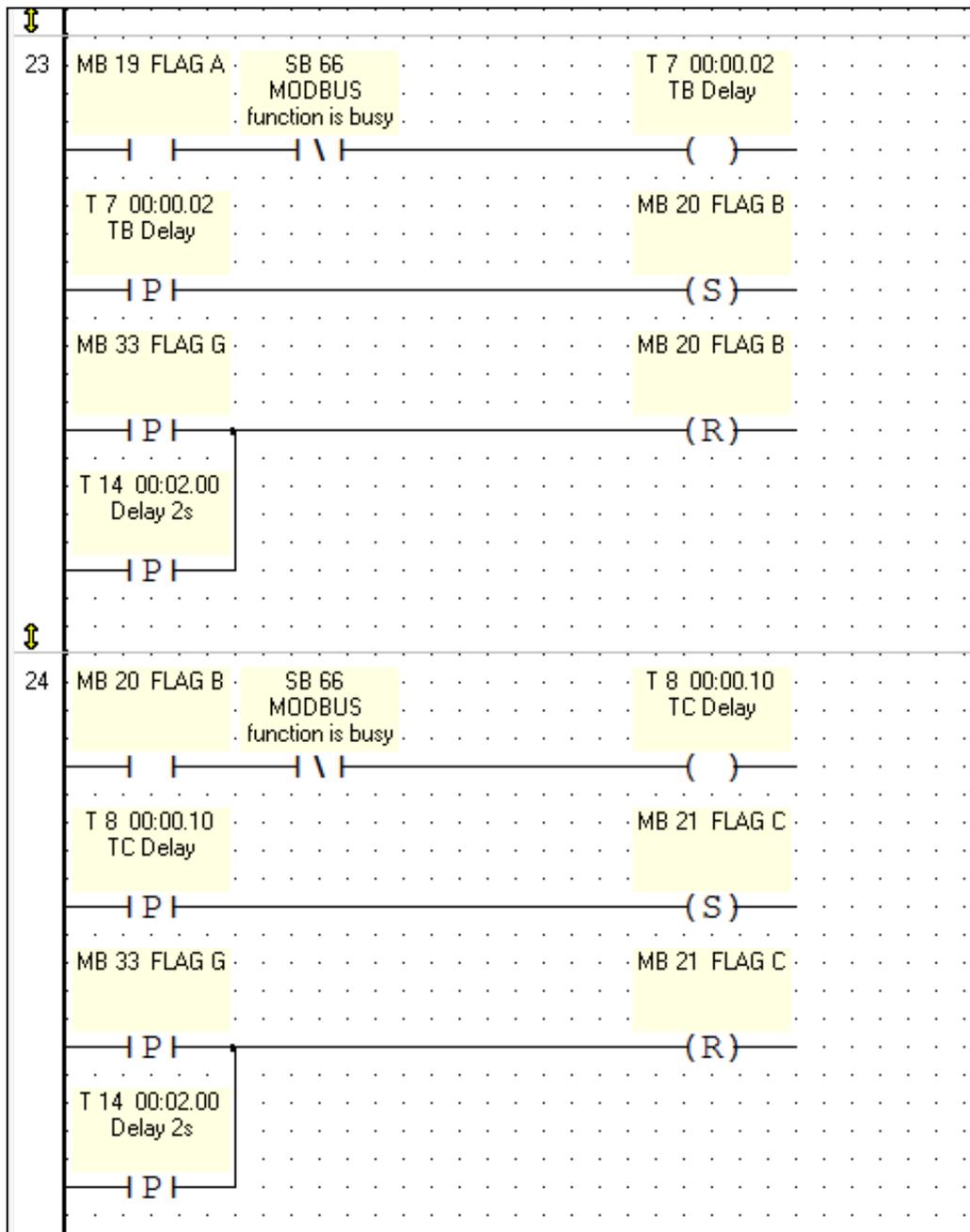
En este tramo del programa ladder enviará las diferentes funciones del MODBUS en tiempos diferentes para que no tenga problemas en la comunicación.

Figura 51  
Envío de la trama del Modbus en tiempos diferentes.



Fuente: Programa U90 ladder

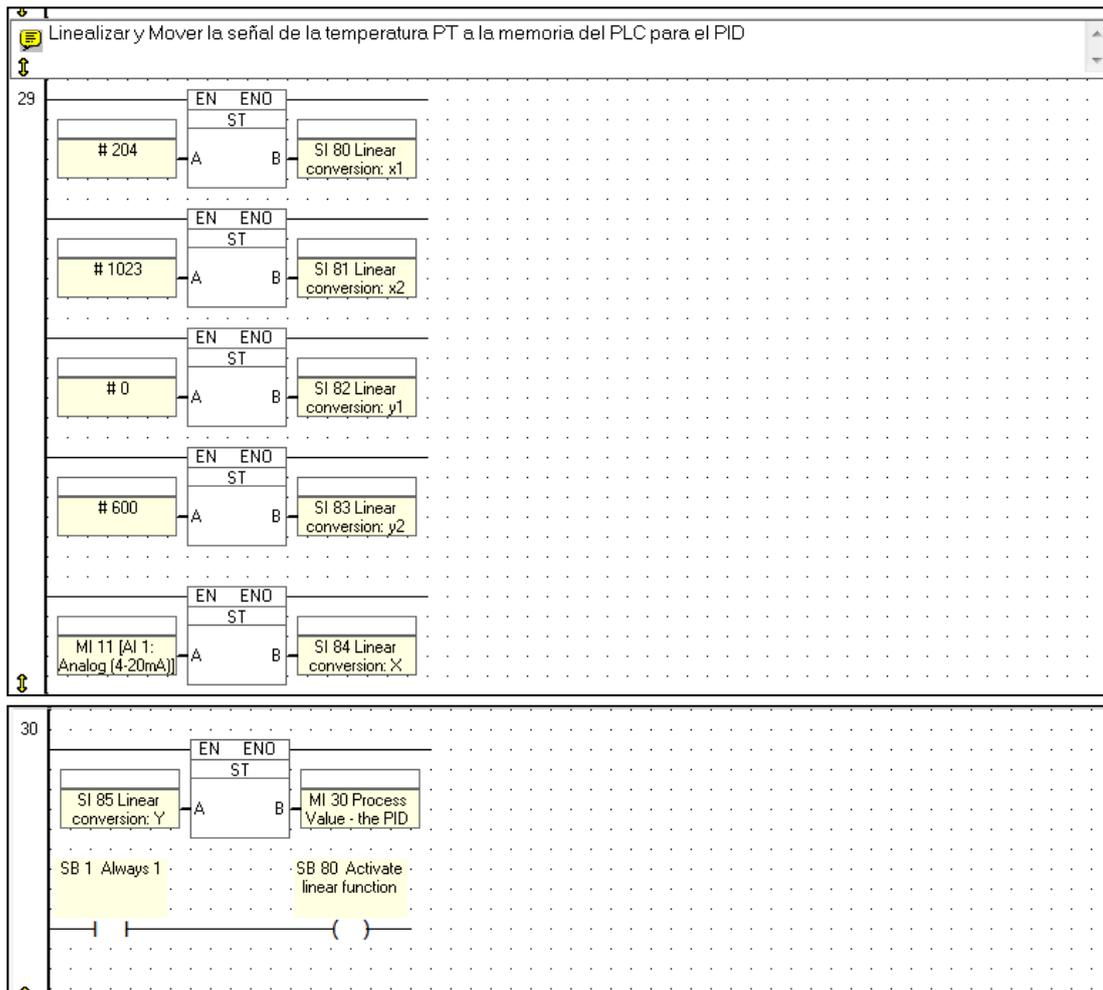
Figura 52  
Envío de la trama del Modbus en tiempos diferentes.



Fuente: Programa U90 ladder

Vamos a linealizar la señal de temperatura que vendría a ser la variable de proceso (PV) para el PID del PLC ya que la señal que el PLC recibe es de (204 a 1023) y nosotros queremos de (0 a 600 °C).

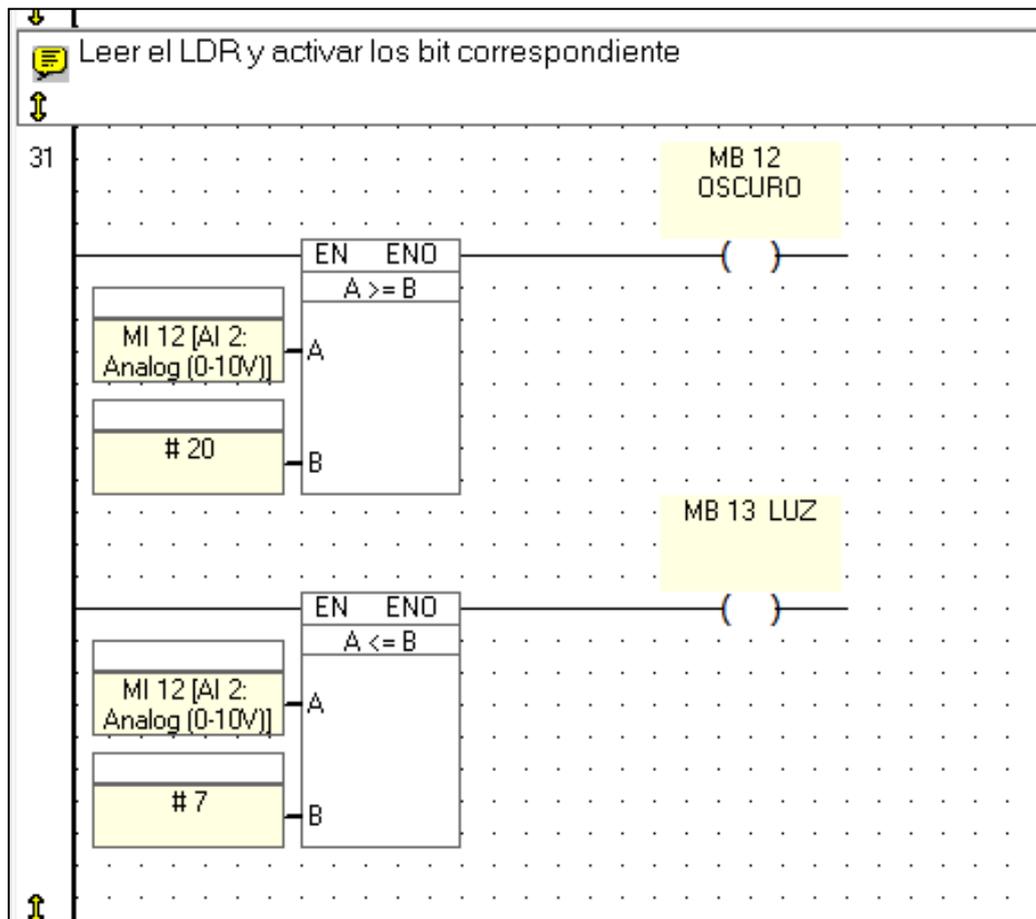
Figura 53  
 Liberalización de la señal de temperatura.



Fuente: Programa U90 ladder

Se leerá la entrada analógica de voltaje del PLC que el rango es de (0 a 1023) para saber si hay luz o no en la punta del cañón.

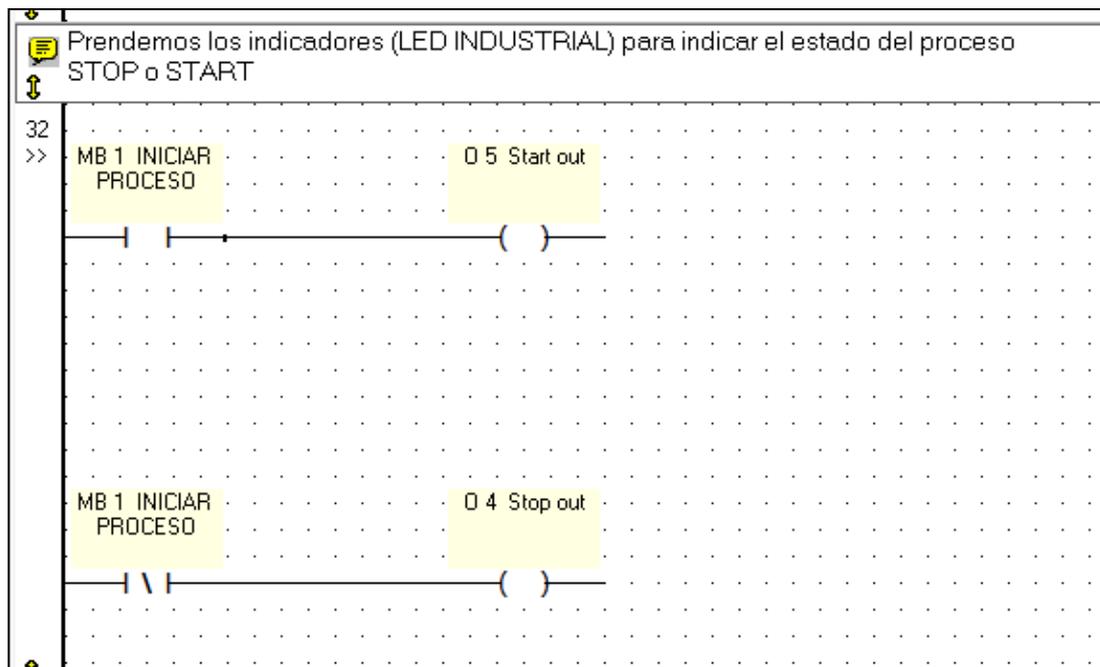
Figura 54  
Límites de intensidad de LUZ.



Fuente: Programa U90 ladder

Se prenderá los LED industriales para indicar el encendido del Precalentador.

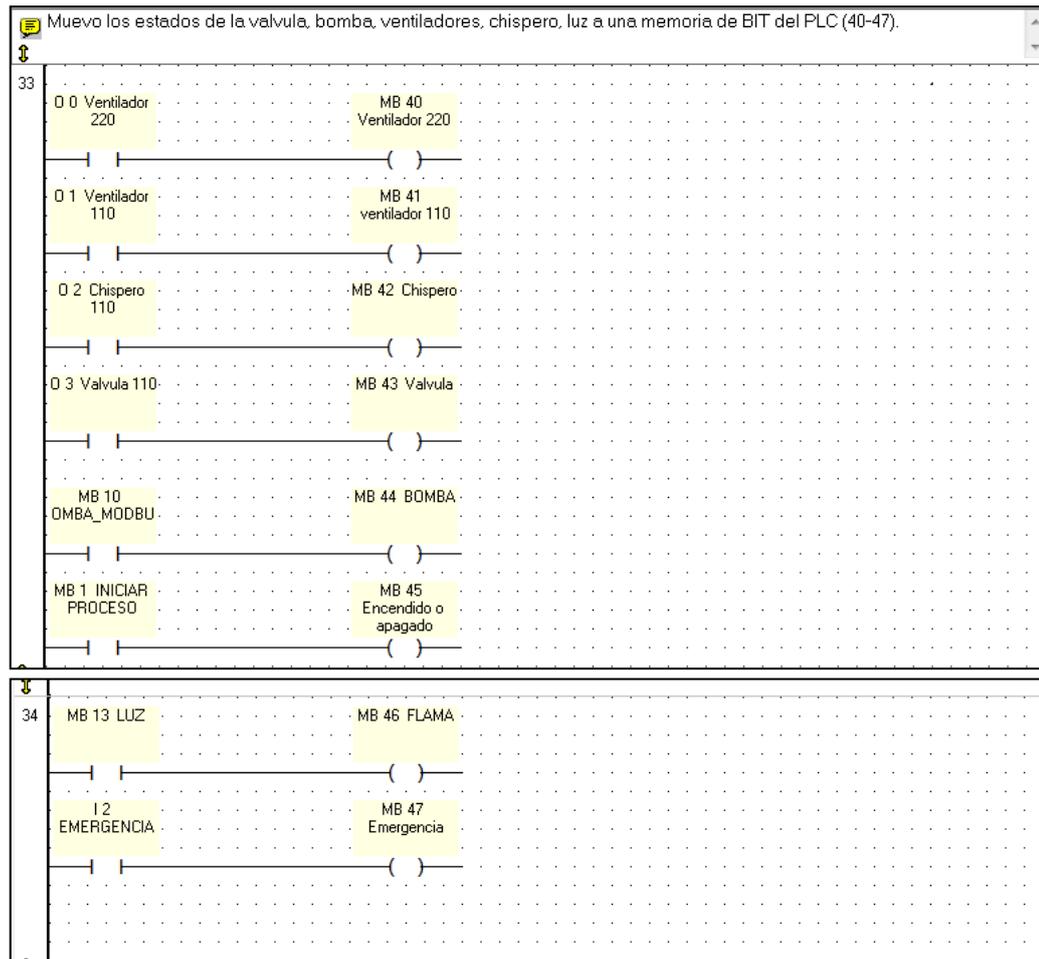
Figura 55  
Encendido de LED industriales



Fuente: Programa U90 ladder

Muevo los estados de la valvular, bomba, ventiladores, chispero, luz a una memoria de BIT del PLC (40-47) para luego enviarlo a la tarjeta de interface con la PC.

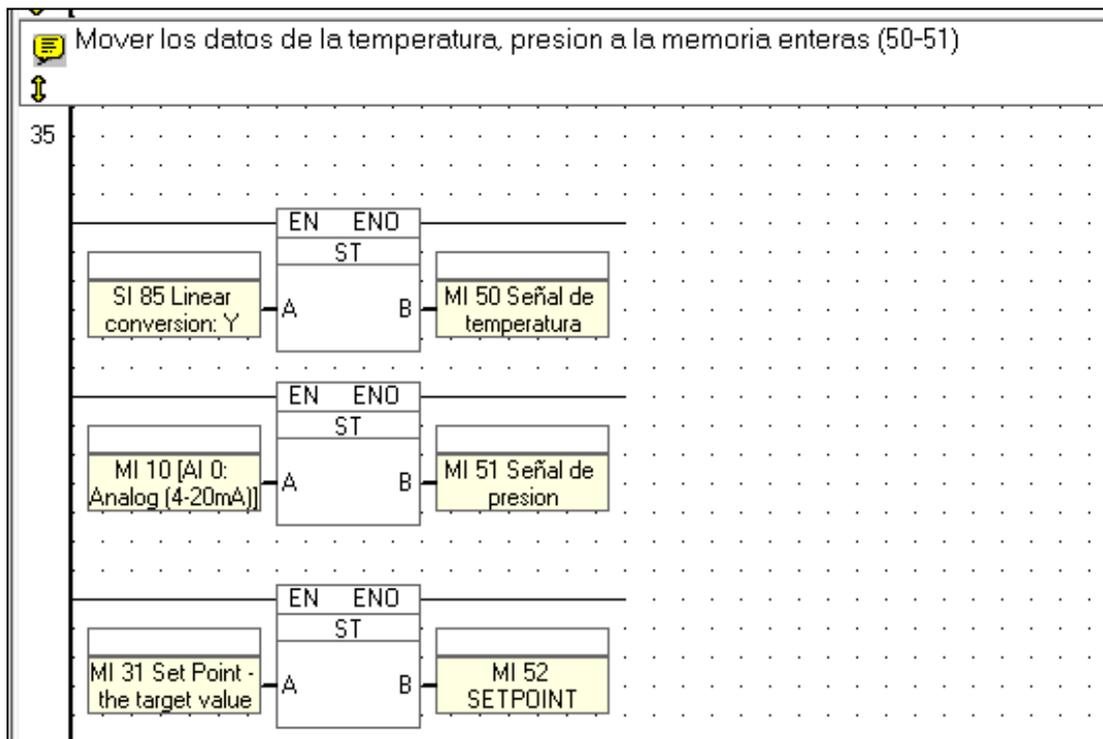
Figura 56  
Estados de la valvular, bomba, ventiladores, chispero, luz a una memoria de BIT del PLC (40-47).



Fuente: Programa U90 ladder

Mover los datos de la temperatura, presión y el Set Point a la memoria enteras (50-51) para luego enviarlos a la tarjeta de interface con la PC.

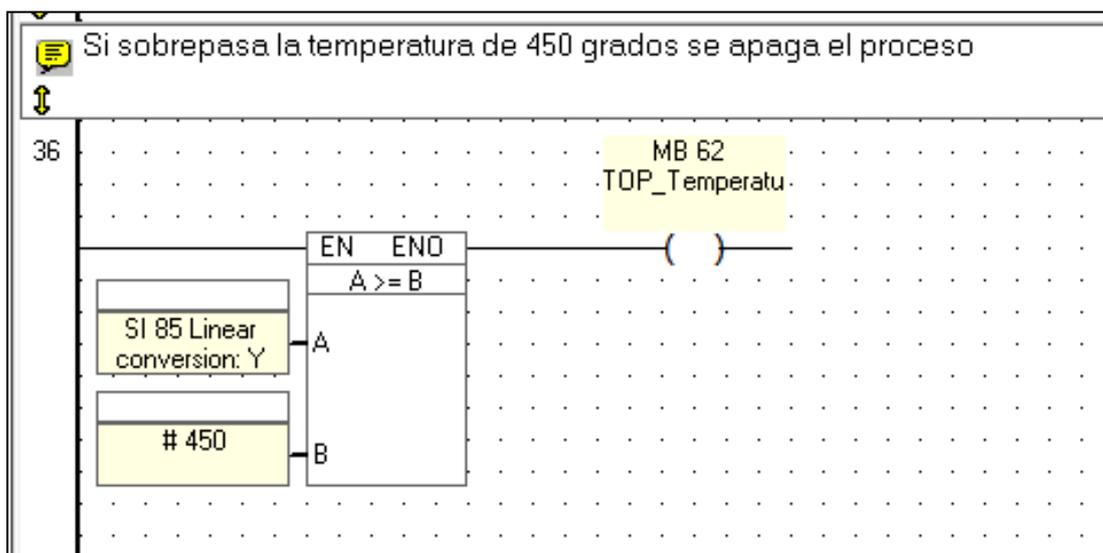
Figura 57  
Envío del presión, temperatura y Set Point a la tarjeta de interfaz.



Fuente: Programa U90 ladder

Si sobrepasa la temperatura de 620 grados se apaga el proceso

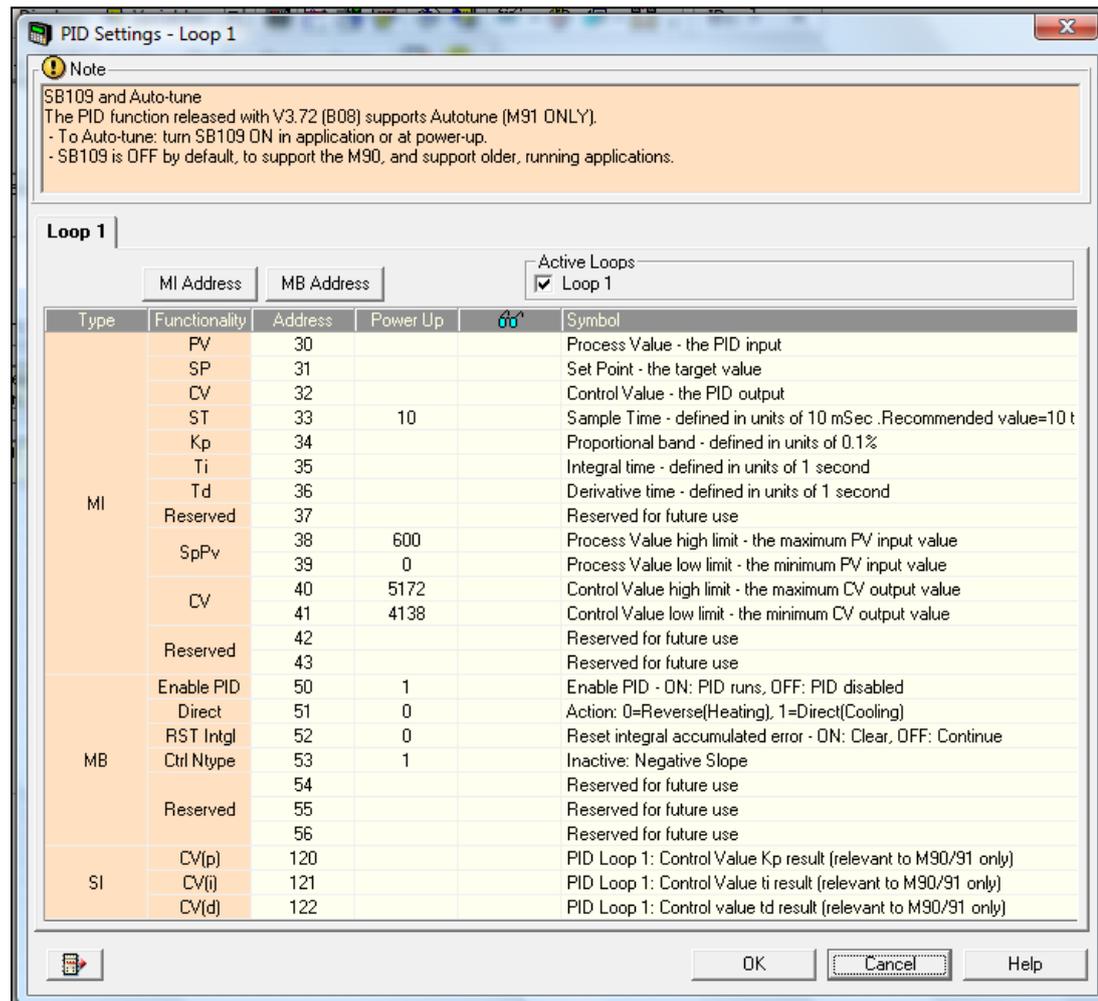
Figura 58  
Límite de temperatura.



Fuente: Programa U90 ladder



Figura 60  
Configuración del PID



Fuente: Programa U90 ladder

**Paso 6:** Para configurar el Display del PLC se selecciona este icono.

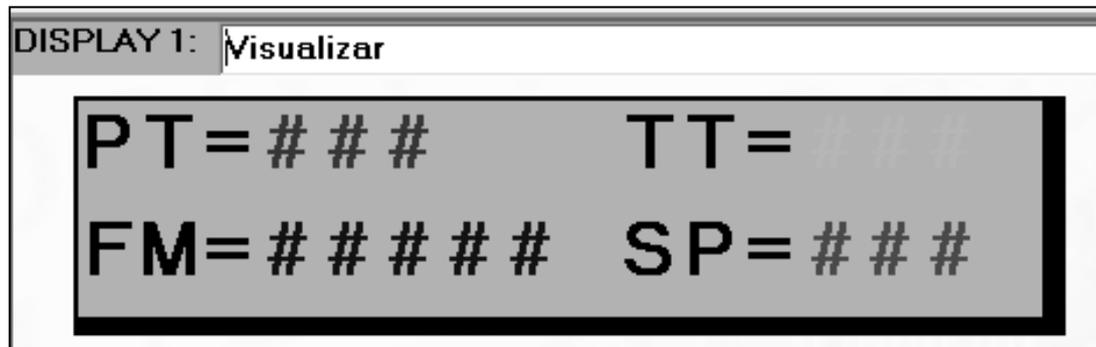
Figura 61  
Icono de configuración del display del PLC



Fuente: Programa U90 ladder

- Se diseña la pantalla solo hacer clic en esta pantalla que se muestra y escribimos lo que necesitamos.

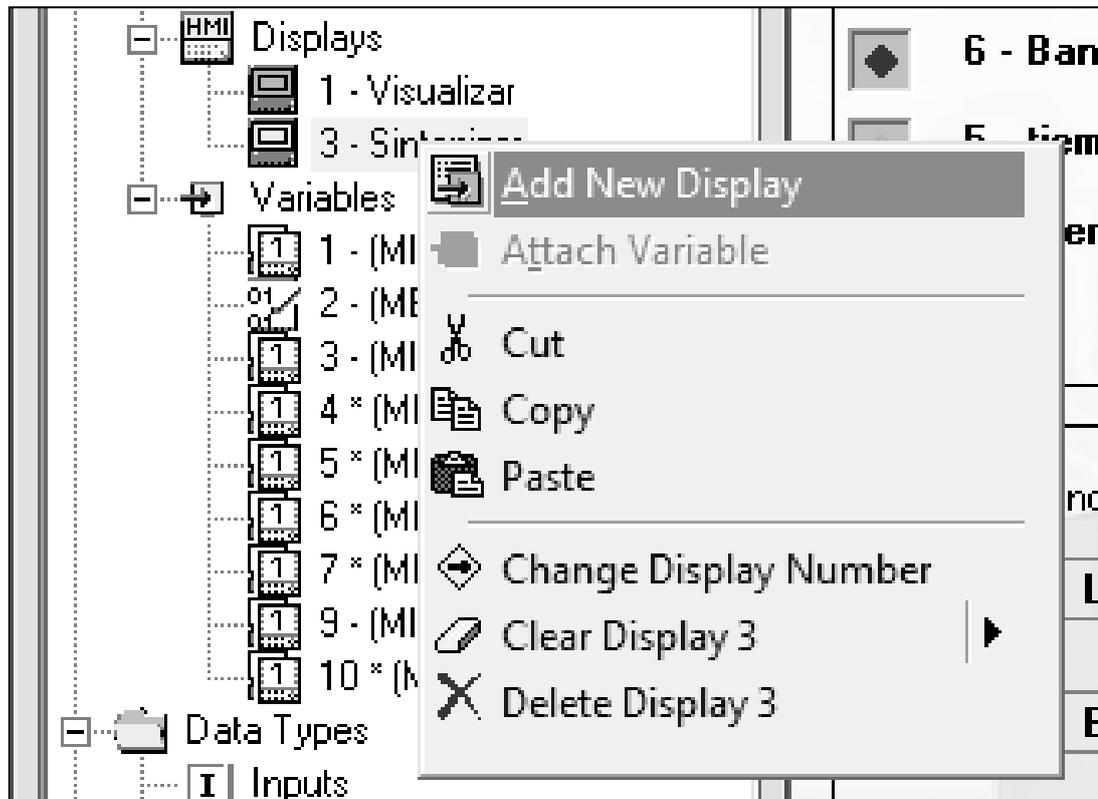
Figura 62  
Diseño del display



Fuente: Programa U90 ladder

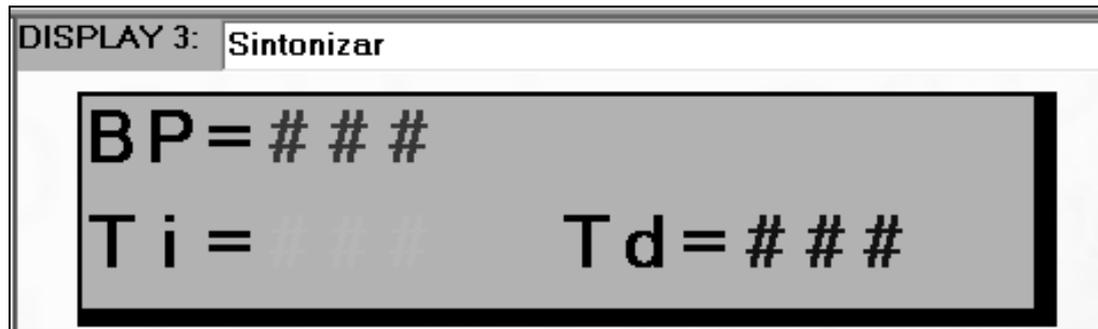
- Para crear otro display hacer clic derecho ver imagen.

Figura 63  
Agregar un Display



Fuente: Programa U90 ladder

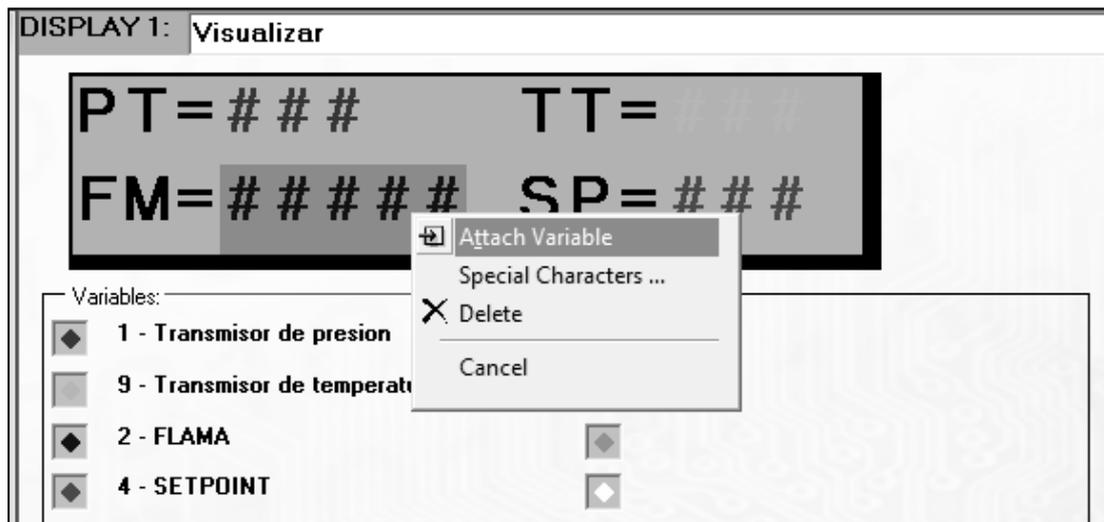
Figura 64  
Segundo display agregado



Fuente: Programa U90 ladder

- Para crear las variable relacionado a los datos que se van a visualizar hacer clic derecho y seleccionamos Attach variable.

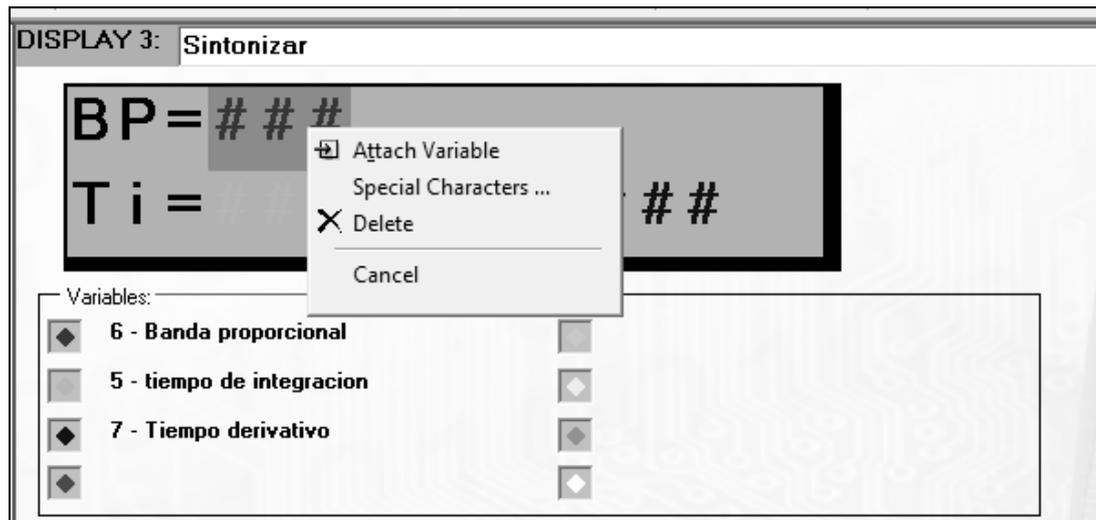
Figura 65  
Crear variable en el Display.



Fuente: Programa U90 ladder

- Como vemos salen de diferentes colores esas son la variables.

Figura 66  
Las variables son los colores.

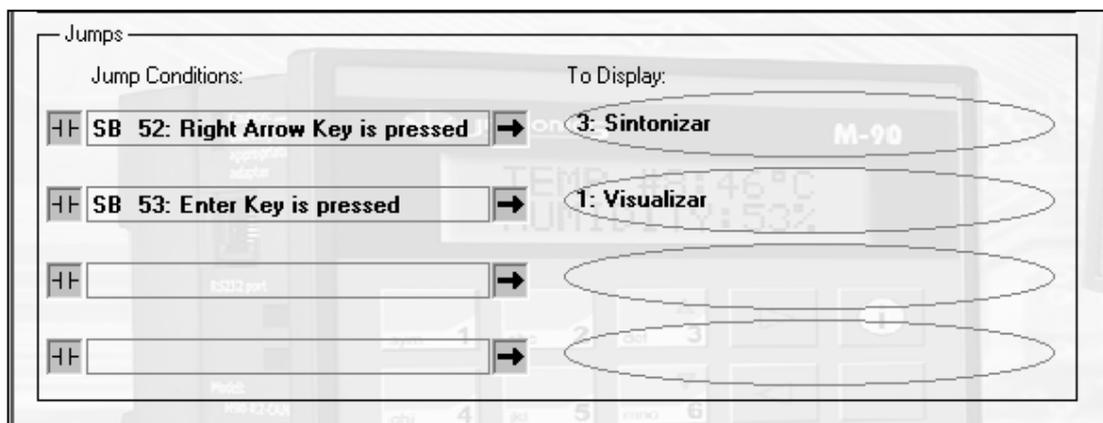


Fuente: Programa U90 ladder

- Para seleccionar los saltos a otro display diferente mediante el teclado del PLC.
  - **Jump Conditions:** Significa que tecla del panel se usara para el salto.
  - **To Display:** Significa a que display saltará.

Display 1.

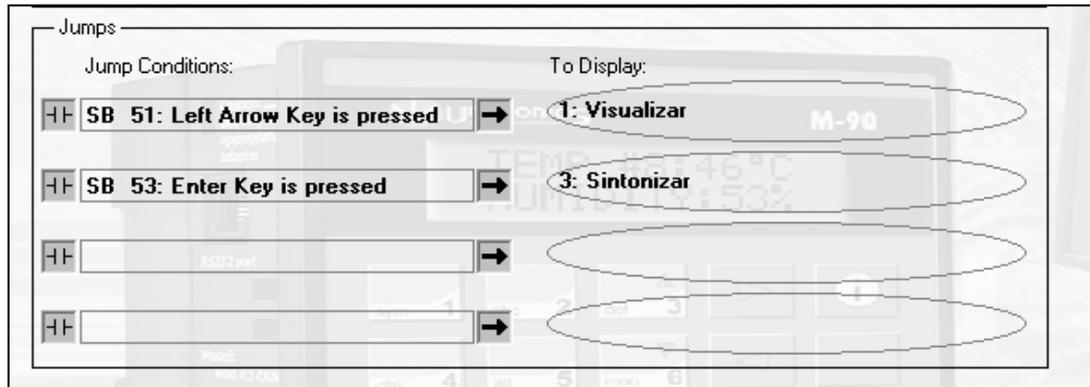
Figura 67  
Configuración para los saltos del display 1.



Fuente: Programa U90 ladder

Display 3.

Figura 68  
Configuración para los saltos del display 3



Fuente: Programa U90 ladder

### 2.5.1. Configuración Del Variador Danfoss FC51.

Para modificar los parámetros mediante el display del variador usamos los botones **Menú** y **OK** para ingresar a los parámetros y retrocedes usamos **Back**.

Para la comunicación de ModBus es necesario poner en **Auto On**.

Figura 69  
Teclado de configuración para el variador.



Fuente: Programa U90 ladder

Para configurar el variador Danfoss (FC51) para el arranque del motor, comunicación Modbus y Control PI es necesario usar estos parámetros y los demás parámetro dejarlo por defecto que viene de fábrica.

**Nota:** los números que se mencionarán son los parámetros del variador y a la vez son las direcciones para el protocolo MODBUS solo agregar un cero.

Ejemplo: el **parámetro 3-10** vendría a ser la referencia interna del variador FC51, si yo quiero manipular esta variable mediante el protocolo MODBUS solo tengo que agregar un cero, por lo tanto; esta sería la dirección **3100**.

- **Para el arranque del motor.**

Estos datos se obtienen de los datos del motor.

1-2\* datos del motor

1-20 Potencia del motor: 1 HP

1-22 Tensión del motor: 220 Vac

1-23 Frecuencia del motor: 60 Hz

1-24 Intensidad del motor: 3.5 A

1-25 Velocidad nominal del Motor: 3550 rpm

3-4\* Rampa 1.

3-40 Rampa 1 Tipo: Lineal.

3-41 Rampa 1 tiempo de aceleración rampa: 3 seg.

3-42 Rampa 1 tiempo de desaceleración rampa: 3 seg.

4-1\* Límite del motor.

4-12 Límite bajo de velocidad: 47 Hz

4-14 Límite alto de velocidad: 90 Hz

- **Para el Control PI.**

1-0\* Ajustes generales.

1-00 Modo de Configuración: Proceso [3]

3-0\* Limite de referencia.

3-00 Rango de referencia: Min – Max [0]

3-02 Referencia mínima: 0 PSI

3-03 Referencia máxima: 145 PSI

3-15, 3-16, 3-17, 3-18: Sin función [0]

4-1\* Limite del motor.

4-10 Dirección de Velocidad del motor: Izquierda a Derecha  
[0],

Es necesario para el control PI.

6-1\* entrada analógica 1

6-12 Terminal 53 intensidad baja mA: 4 mA

6-13 Terminal 53 intensidad alta mA: 20 mA

6-14 Terminal 53 valor bajo referencia/realimentación: 0 PSI

6-15 Terminal 53 valor alto referencia/realimentación: 145  
PSI

7-\*\*Controladores

7-20 Fuente 1 Realimentación de lazo cerrado del proceso:  
entrada

Analógica 53 [1].

7-30 Control normal/Inverso PI proceso: Normal [0]

7-33 Ganancia proporcional PI del proceso: 3

7-34 Tiempo integral del proceso PI del proceso: 1

- **Para la comunicación del Modbus.**

8-\*\* Comunicaciones y opciones.

8-30 Protocolo: Modbus [2]

8-31 Dirección: 2

8-32 Velocidad Baudios port FC: 9600 [2]

8-33 Paridad del puerto FC: Sin paridad, 1 bit parada [2]

## **2.5.2. Diseño del SCADA para el Precalentador**

Para el SCADA se usará el INTOUCH para ello se configurará 3 software y son:

- KepServerEx.
- INTOUCH.
- OPCLink.

### 2.5.2.1. KEPSEVEREX.

**Paso 1:** Abrir el programa seleccionando el icono:

Figura 70  
Icono del programa kepServerEx.

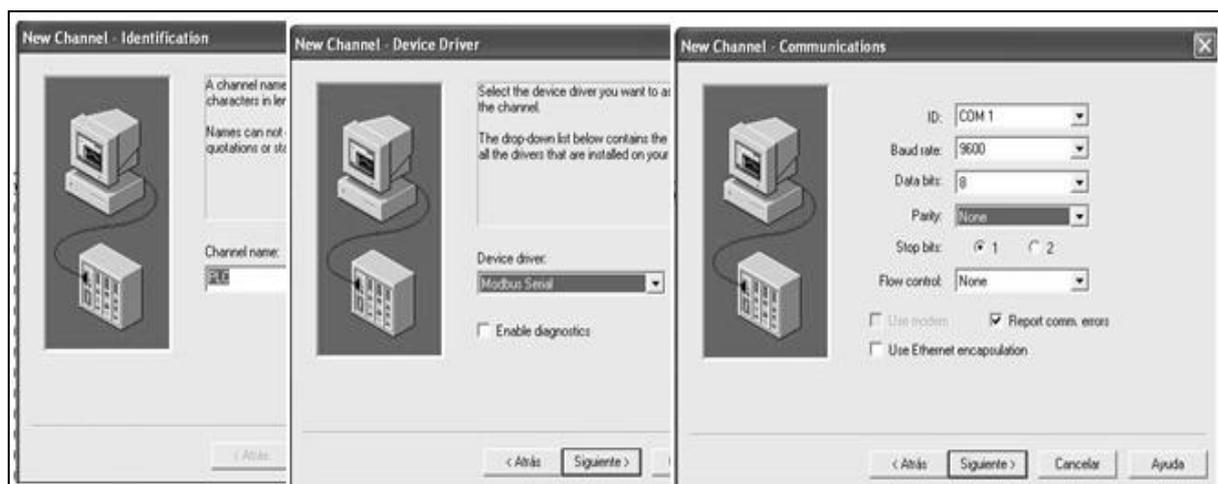


Fuente: Programa KepServerEx

**Paso 2:** haga click en agregar canal para configurar y las más importantes son:

- Nombre del canal: PLC.
- Drive del Dispositivo: ModBus Serial.
- Configuración del Port (COM): Tiene que ser la misma que se configuró para el PLC y Variador FC 51.
- Y lo demás dale Siguiente por defecto y finalizar.

Figura 71  
Agregando un canal para configurar.



Fuente: Programa KepServerEx

Queda como la figura 69

Figura 72  
Ventana al crearse un nuevo canal.

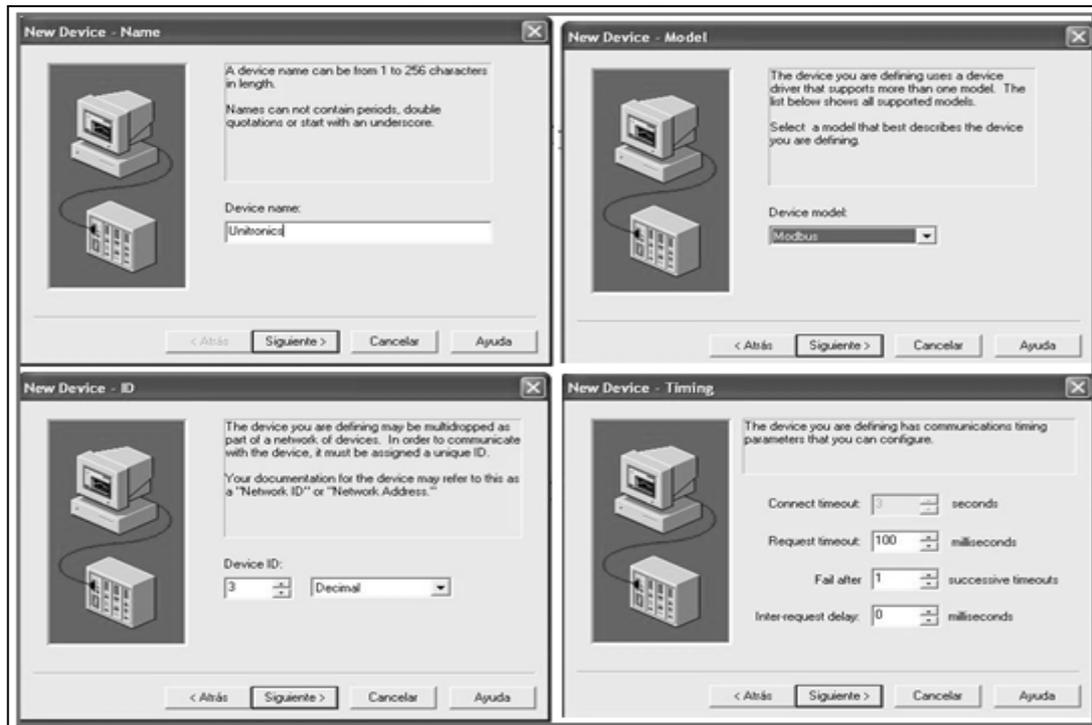


Fuente: Programa KepServerEx

**Paso 3:** Hacemos clic en agregar dispositivo y la más importantes son:

- Nombre del Dispositivo: Unitronics.
- Modelo del Dispositivo: ModBus.
- Identificación del Dispositivo: ID=3.
- Timing: aquí se configura la cantidad de mensaje que enviara cuando sucede un error en la transmisión y el tiempo.
- Y lo demás dale Siguiente por defecto y finalizar.

Figura 73  
Ventana a seguir para la configuración del dispositivo.



Fuente: Programa KepServerEx

Entonces queda como la figura 71.

Figura 74  
Ventana al crear un nuevo dispositivo.

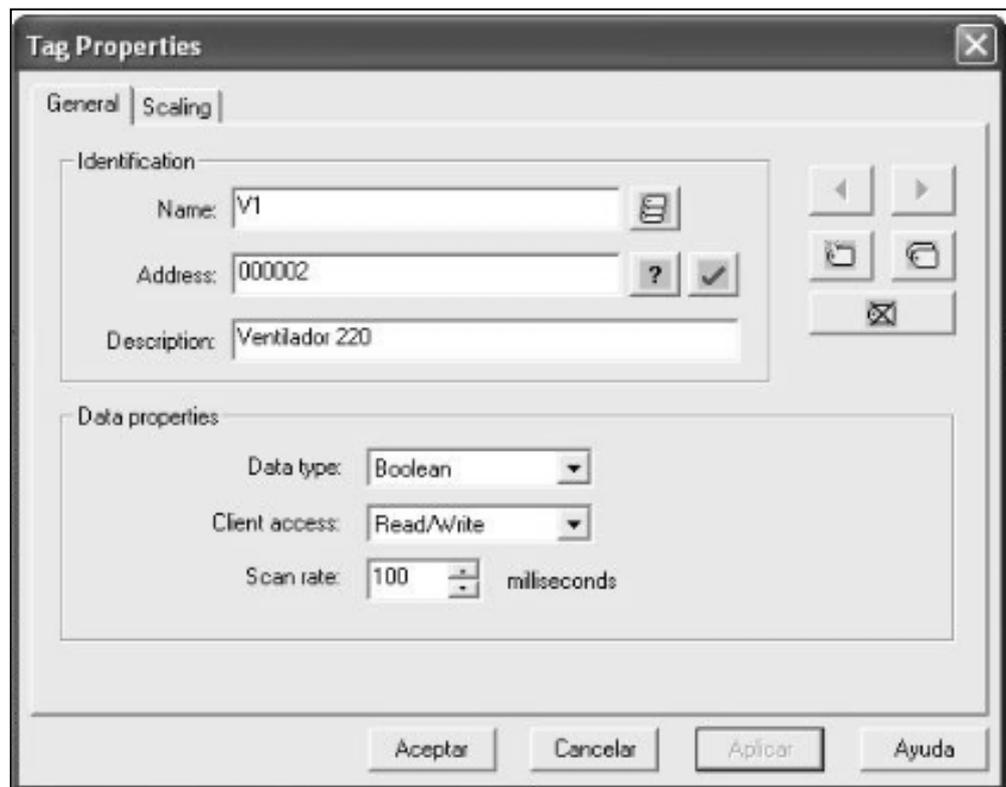


Fuente: Programa KepServerEx

**Paso 4:** Y agregamos los TAG, para ello tenemos que direccionar las direcciones del dispositivo y como estamos usando el protocolo MODBUS que se entiende en KepserverEX:

- 00000X (dato boolean)= equivale a la función de ModBus (leer Bobina [1] y Forzar bobinas [5]).
- 40000X (Dato entero)= equivale a la función de ModBus (leer Registro [3] y escribir registro [6]).

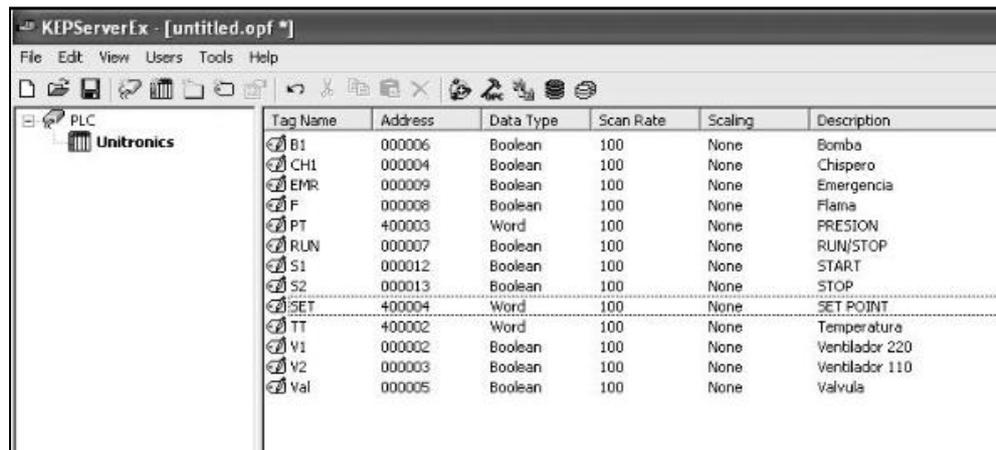
Figura 75  
Agregando los TAG



Fuente: Programa KepServerEx

Y creamos todos los TAG como se muestra en la imagen siguiente.

Figura 76  
Ventana al terminar de crear todos los TAG.



Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
B1	000006	Boolean	100	None	Bomba
CH1	000004	Boolean	100	None	Chispero
EMR	000009	Boolean	100	None	Emergencia
F	000008	Boolean	100	None	Flama
PT	400003	Word	100	None	PRESION
RUN	000007	Boolean	100	None	RUN/STOP
S1	000012	Boolean	100	None	START
S2	000013	Boolean	100	None	STOP
SET	400004	Word	100	None	SET POINT
TT	400002	Word	100	None	Temperatura
V1	000002	Boolean	100	None	Ventilador 220
V2	000003	Boolean	100	None	Ventilador 110
Val	000005	Boolean	100	None	Valvula

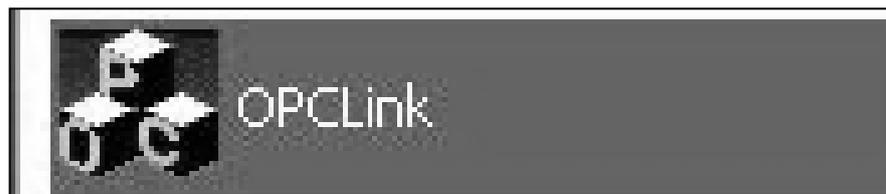
Fuente: Programa KepServerEx

**Paso 5:** Muy importante es guardar el proyecto.

### 2.5.2.2. OPCLINK.

**Paso 1:** Se abre el programa seleccionado el icono.

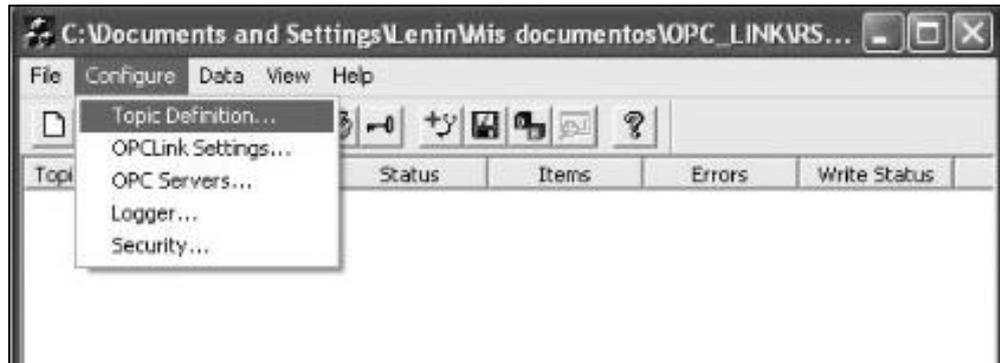
Figura 77  
Icono de programa OPLink



Fuente: Programa OPLink

**Paso 2:** Se selecciona configuración → Topic Definition:

Figura 78  
Se abre la ventana de Configuración del topic

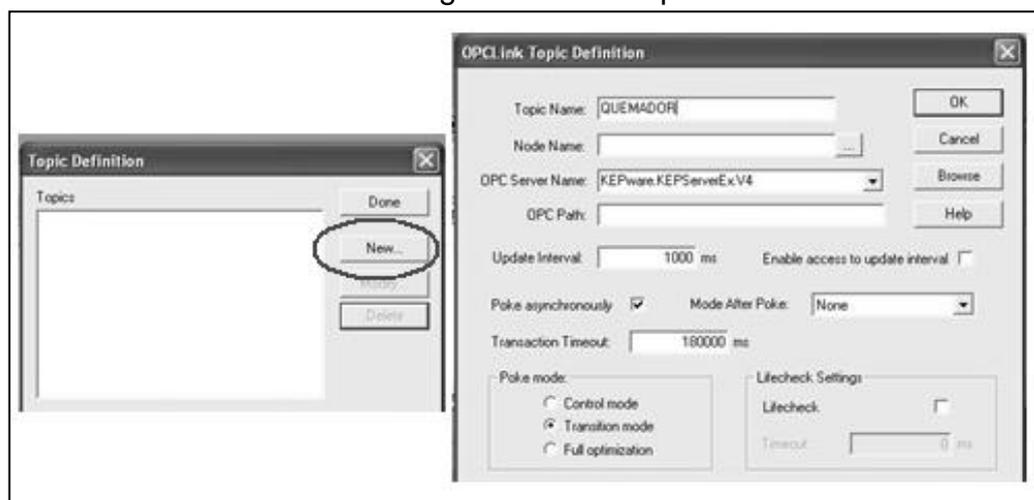


Fuente: Programa OPLink

Y en la nueva ventana presionamos NEW. Y lo configuramos tal como está en la siguiente ventana.

- Nombre del Topic: Quemador.
- OPC Server Name: KEPLwareKerServerEX V4.
- Update Interval: puedes variar velocidad de transmisión.
- OK

Figura 79  
Configuración del Topic



Fuente: Programa OPLink

**Paso 3:** Es importante que guardemos el proyecto.

### 2.5.2.3. INTOUCH.

Para interactuar con el Intouch es necesario seguir los siguientes pasos.

**Paso 1:** Abrir el Intouch seleccionando el Icono.

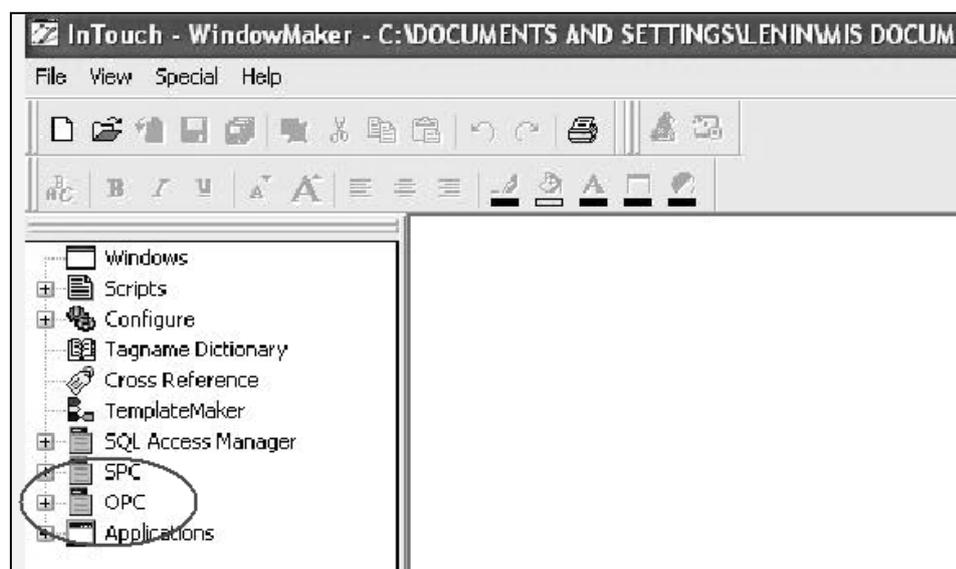
Figura 80  
Configuración del Topic



Fuente: Programa INTOUCH

**Paso 2:** Una vez abierto crear nueva aplicación. El programa se llamara monitoreo y una vez abierto la aplicación seleccionar OPC como muestre la pantalla.

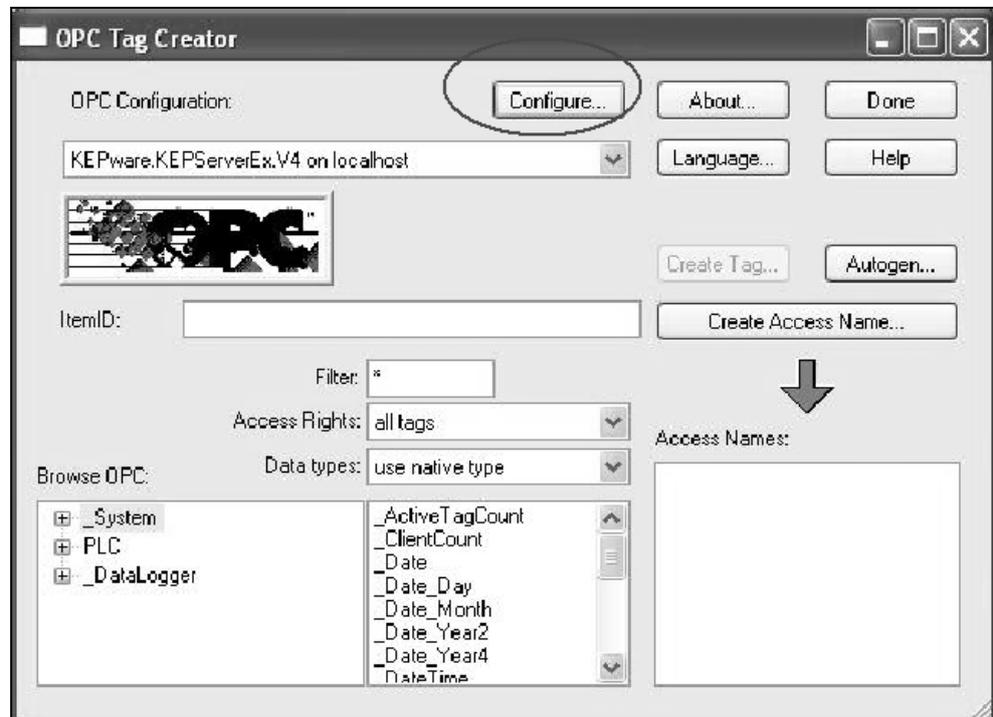
Figura 81  
Abriendo la herramienta de OPC en el Intouch.



Fuente: Programa INTOUCH

**Paso 3:** Dentro del OPC seleccionamos **TAG CREATOR** y nos aparece la siguiente ventana.

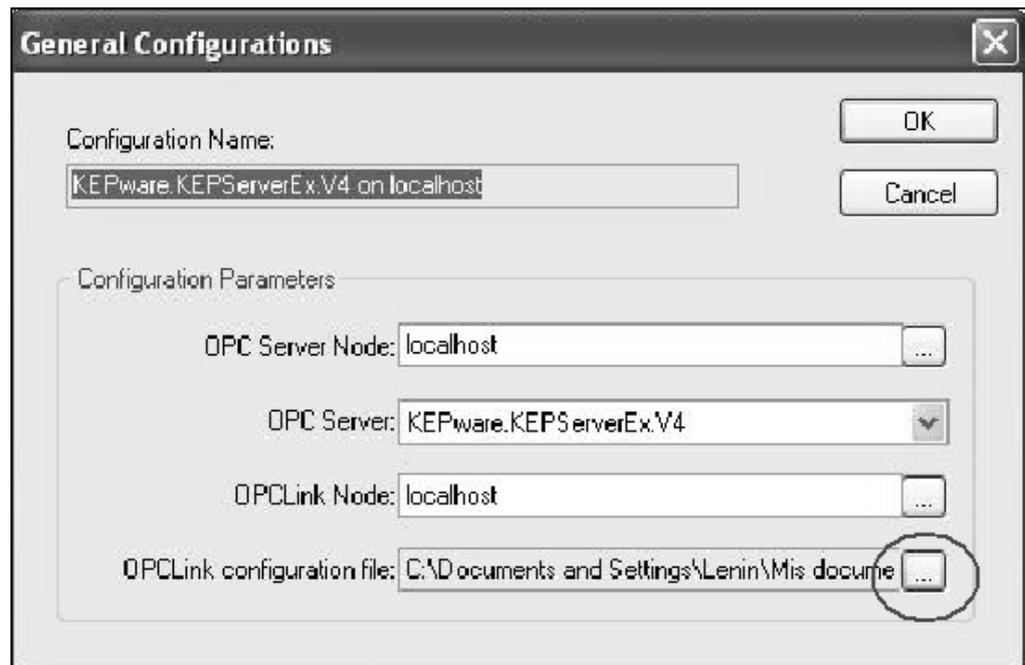
Figura 82  
Configuración del OPC Tag.



Fuente: Programa INTOUCH

**Paso 4:** Seleccionar lo que está dentro del círculo rojo en la figura 2.4.55 y nos aparece la siguiente figura 2.4.56 y se selecciona lo que estas dentro del círculo rojo y buscarnos el archivo guardado del OPCLink. Y lo demás se configura como muestra la imagen 2.4.56.

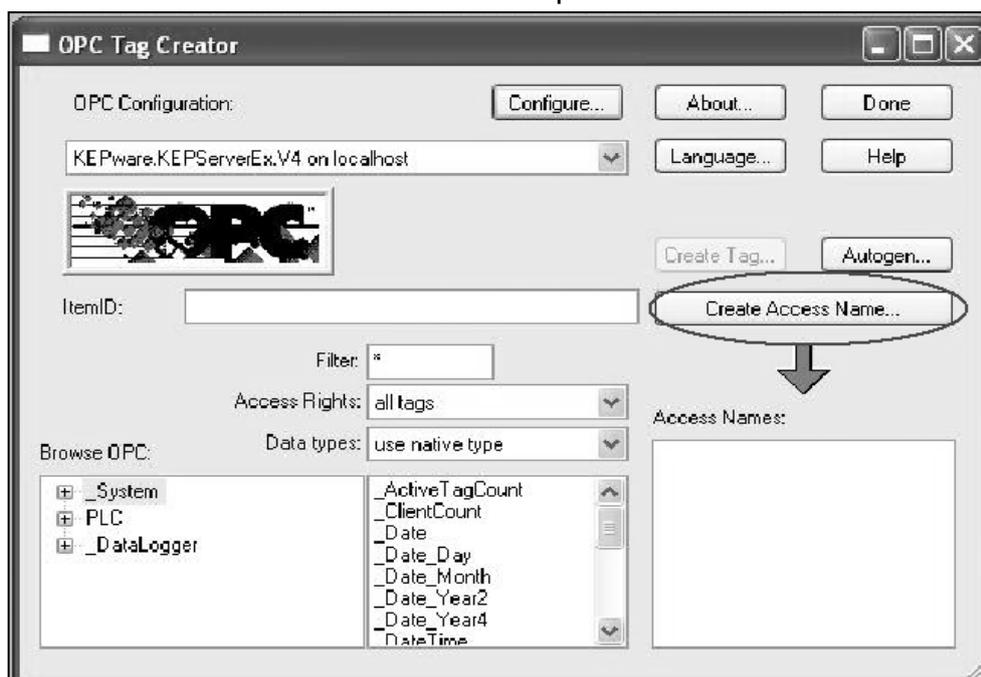
Figura 83  
Direccionando la carpeta guardada en el OPCLink.



Fuente: Programa INTOUCH

**Paso 5:** Seleccionar lo que está en círculo rojo de la figura 2.4.57 y luego verificar si está el OPCLink Topic (Quemador) como muestra la figura 2.4.58.

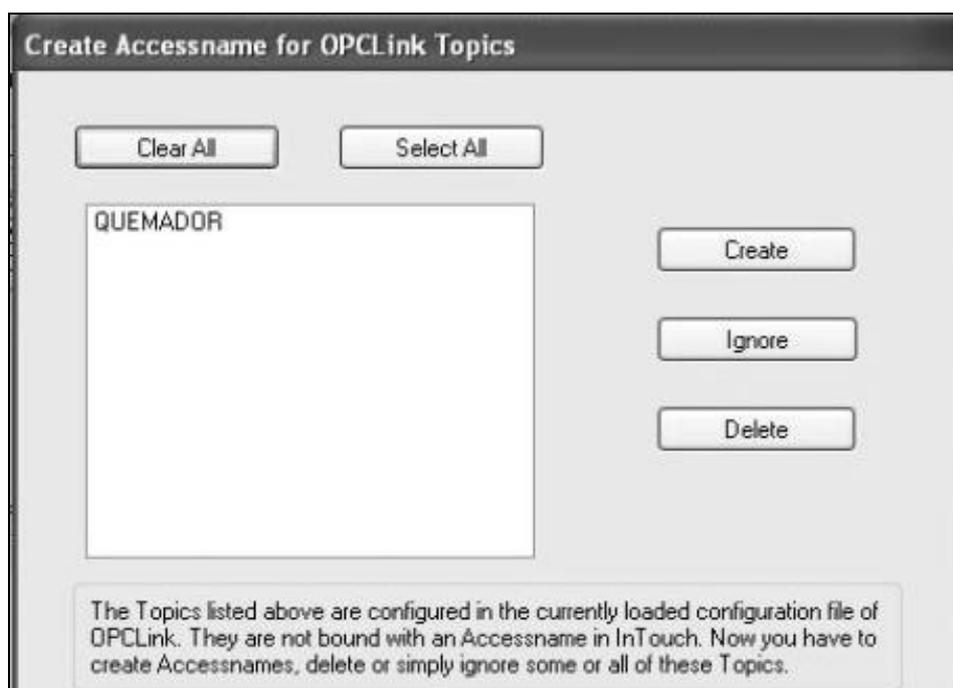
Figura 84  
Verificando el Topic creado.



Fuente: Programa INTOUCH

- Se verifica el Topic creado

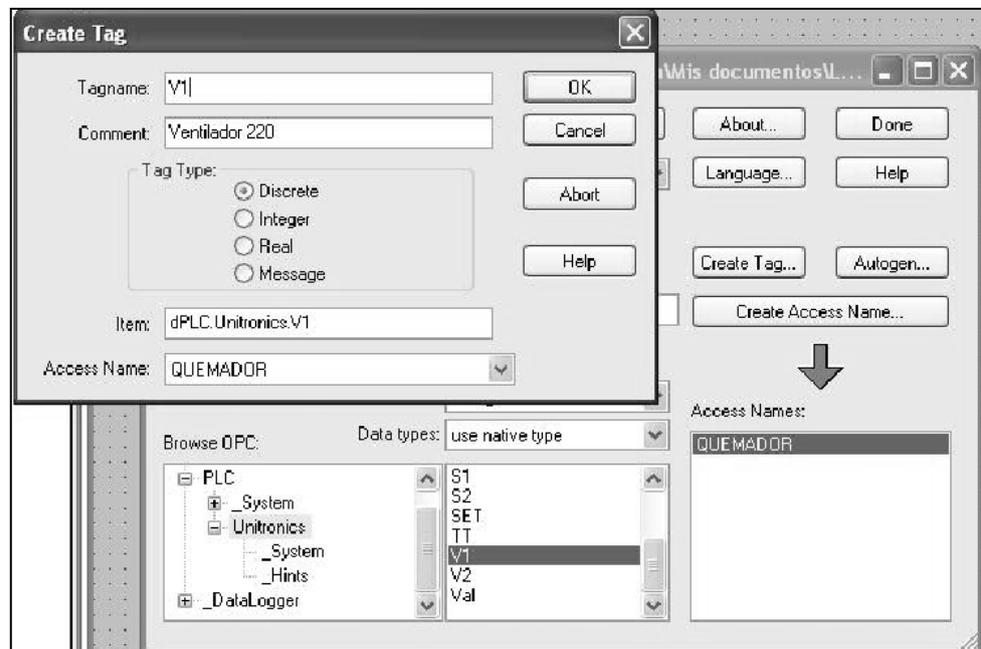
Figura 85  
Confirmando el Topic creado.



Fuente: Programa INTOUCH

**Paso 6:** Luego se procede a crear lo TAG en el Intouch como muestra la figura siguiente.

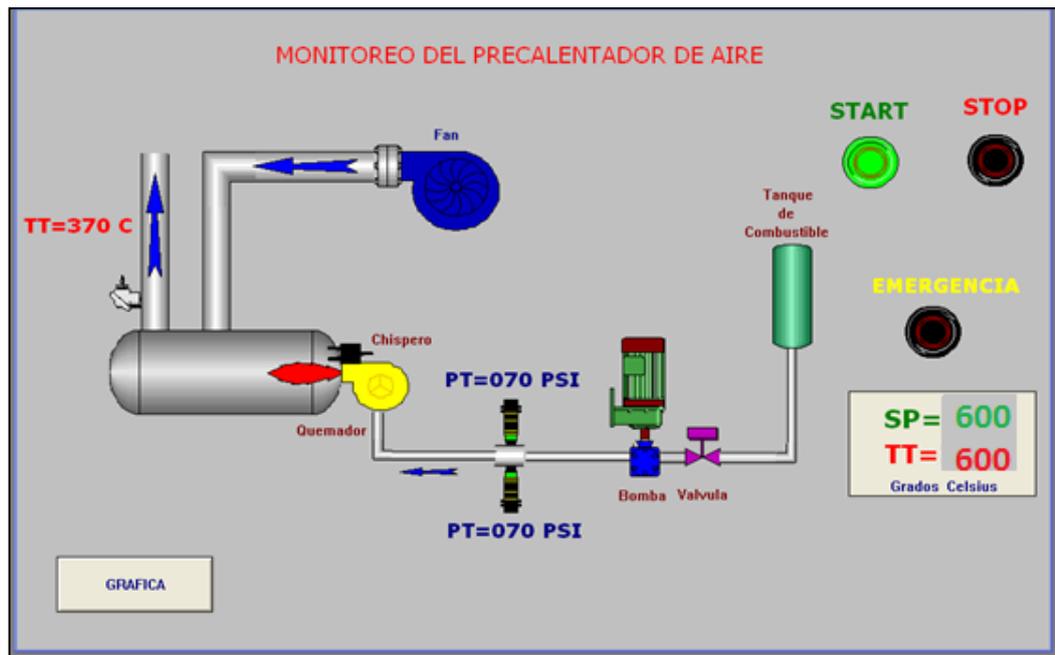
Figura 86  
Creando los Tag y relacionado con el INTOUCH.



Fuente: Programa INTOUCH

**Paso 7:** Luego se diseña el modelo del Precalentador como muestra la gráfica y se jalan los TAG a cada objeto.

Figura 87  
Diseño SCADA del Pre calentador en el Intouch.



Fuente: Programa INTOUCH

## 2.6. Conclusiones

- Se diseña y monitorea una estrategia de encendido automático para poder controlar una temperatura adecuada para la producción de vidrio templado.
- Con la automatización se puede controlar y monitorear la temperatura del Precalentador.
- Con la automatización del Precalentador se tiene un mejor control de operación tanto de seguridad como en proceso.
- Con la evaluación de la instrumentación se logra la automatización y optimización del Precalentador obteniendo un mejor control de operación.
- Con un sistema de sensado de todas las variables del sistema podemos aumentar la seguridad del sistema de automatización del Precalentador.

## 2.7. Recomendaciones

- Como se está utilizando un protocolo de ModBus para la comunicación de los dispositivos es recomendable que el PLC tenga dos puertos de comunicación para la interacción de los esclavos y la PC para una implementación SCADA más óptima y no recurrir a tarjetas de interface con la PC.
- Si se quiere trabajar con temperaturas superiores a los 700 °C se recomienda revestir interiormente el tanque de combustión con materiales refractarios.
- Si se quiere obtener una optimización del control de la temperatura se puede elegir otro tipo de actuador (bomba de diesel) que tenga un amplio rango en la variación de la presión.
- Se recomienda la instalación de Puesta a Tierra para así evitar accidentes por recibir un shock eléctrico.
- Si se quiere medir el consumo de combustible se recomienda usar un transmisor de flujo.
- Si se quiere saber el nivel de combustible que se encuentra en el tanque se recomienda usar una transmisor de nivel

## 2.8. Costos

La siguiente tabla muestra los costos generales de los dispositivos electrónicos

Tabla 8. Costos

ITEM	Dispositivos	Modelo	Cantidad	Precios unit. S/.	Precio Total S/.
	<b>Etapa de control y sensado de señal</b>				
1	PLC	Unitronic Jazz JZ10-11-R16	1	728	728
2	Variador de velocidad	Danfoss FC 51 (132F0003) +LCP12 (132B0101)	1	600	600
3	Transmisor de presión	PRElectronics 5334A	2	229	458
4	Transmisor de Temperatura	PRElectronics 5334A	1	232	232
5	Termocupla + cabezal de termopozo	Baumer CTX353B220 / 02J2009-032	1	131	131
6	Tarjeta de interfaz para la PC		1	110	110
	<b>Etapa de protección y fuente de alimentación</b>				
7	Llave termomagnética	LS BKN C32 / IEC60898	1	18	18
8	portafusible	IEC60269 / RT18-32X	1	13	13
9	Fusible		1	8	8
10	contactores	ALF1-D0910	3	20	60
11	contactores	ALF1-D1210	1	20	20
12	Contactores auxiliar	ALFA1-DN11	1	8	8
13	Fuente de alimentación de 24 VDC	Delta / Nro. D0116888	1	85.97	85.97
14	Tranformador 220Vac/110Vac		1	70	70
	<b>Actuadores</b>				
15	Motor trifásico 220Vac	Crompión-Greaves / Nro. SDC42J	1	250	250
16	Ventilador monofásico 220Vac		1	250	250
17	Bomba de diesel (incorporado una válvula)	SUNTEC / Nro. A2VA-3006	1	290	290
18	Quemador formado por:		1	1314.715	1314.715
	ventilador 110 Vac	Modelo EZ-1HP/Motor carlin - 9822 1/6HP			
	Sensor de Flama	Carlin 14407/21K1887-42			
	Electrodo de ignicion/Transformador de ignicio	Transf. constant /Mol. 41000 Nro. 4683-518			
	Boquilla de inyeccion				
	estabilizador de llama				
19	Filtro de diesel	Sid-Harvey's / Nro. 264	1	103.5	103.5
	<b>Accesorios para el tablero.</b>				
20	Tablero de 60x40x25 cm		1	100	100
21	Pulsador NC (Rojo)	ZB2-BE102 / NC	1	5	5
22	Pulsador NO (Verde)	ZB2 BE101 / NO	1	5	5
23	Led industrial rojo	Stronger-AD22-22DS	1	3.5	3.5
24	Led industrial verde	Stronger-AD22-22DS	1	3.5	3.5
25	Pulsador de emergencia (Ongo) NC	ZB2-BE102 / NC	1	10	10
26	Rieles		1	8	8
27	Canaletas		1	10	10
28	Cable		1	140	140
29	Borneras		21	1.5	31.5
30	Enchufe para tablero		1	30	30

30	Enchufe para tablero	1	30	30	
	Accesorios para el soporte de los equipos				
31	Esqueleto de acero	1	524.7	524.7	
32	Canaletas	1	32	32	
33	Tubo arrugado con aluminio	1	120	120	
34	Tubo arrugado simple	1	70	70	
35	Tuberia de 1/4"	1	45	45	
36	Codos para tubo de 1/4"	4	2	8	
37	valvula de bola	1	14	14	
38	Tanque de combustible	1	15	15	
39	Adaptador para transmisor de presion	1	50	50	
	camara de Combustion.				
40	Tanque 80x70	1	220	220	
41	Lana fibra de vidrio	2	22	44	
42	Yeso	15	0.7	10.5	
43	Lamina metalica 100x90 cm	1	60	60	
44	Tubo de 4"	1	40	40	
45	Tubo de 3"	1	73	73	
46	Malla metalica	2	10	20	
					TOTAL Del PRECALENTADOR S/.
					6442.885

Fuente: Programa INTOUCH

**CAPÍTULO III: REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS**

### 3.1. Libros

- Acedo Sánchez José (2003) “Control Avanzado de Proceso (Teoría y Práctica)”.
- Benjamín C. Kuo (2008) “Sistemas de Control Automático” Séptima edición.
- Carranza Noriega, Raymundo Máximo del Carmen (2001) “Automatización típico de instrumentación y control”, Edición 1.
- Kurt C. Rolle (2006) “Termodinámica”, Sexta Edición.

### 3.2. Electrónica

- Akamai (s.f.). Automation Siemens. Recuperado el 08 de marzo del 2017 de:  
[https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl/Dc0NzU1NQAA\\_23833913\\_HB/A5E00393071-01es\\_TH200TH300.pdf](https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl/Dc0NzU1NQAA_23833913_HB/A5E00393071-01es_TH200TH300.pdf)
- Cie (s.f.). Precalentador. Recuperado el 03 de marzo del 2017 de:  
<http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/node29.html>
- Emagister (s.f.). Control en cascada. Recuperado el 02 de enero del 2017 de: [http://grupos.emagister.com/documento/control\\_en\\_cascada/1543-155906](http://grupos.emagister.com/documento/control_en_cascada/1543-155906)
- Experture (s.f.) Termodinámica, Recuperado el 07 de marzo del 2017 de:  
[www.experture.com/tutor.html](http://www.experture.com/tutor.html)
- Freestudy (s.f.). Programmable Logic Controllers. Recuperado el 22 de enero del 2017 de: <http://www.freestudy.co.uk/plc/outcome1.pdf>
- Ingmanuelarenas (2012) Termodinámica. Recuperado el 05 de marzo del 2017 de: <http://ingmanuelarenas.com/Clase%201-2.pdf>
- Instrutek (s.f.). Conceptos básicos. Recuperado el 07 de enero del 2017 de: <http://www.instrutek.com.mx/conceptosbasicos.php>
- Kawanengineering (s.f.). Our Products & Services. Recuperado el 12 de febrero del 2017 de: <http://www.kawanengineering.com.my/?q=node/38>
- Laboratorios (s.f.) Mediciones de temperatura. Recuperado el 15 de mayo del 2017 de: <http://laboratorios.fi.uba.ar/lscm/termocuplas02.pdf>

- Mavainsa (s.f.). Control procesos. Recuperado el 02 de enero del 2017 de: [http://www.mavainsa.com/documentos/9\\_control\\_procesos.pdf](http://www.mavainsa.com/documentos/9_control_procesos.pdf)
- Minem (s.f.). Termodinámica, Recuperado el 15 de marzo del 2017 del 2017 de:  
<http://siese.minem.gob.pe/downloadFile.php?fol=b2JqZm9sZGVyLw==&fil=T0JKT1RSMDAwMTk3MC5wcHQ=&mim=YXBwbGljYXRpb24vdm5kLm1zLXBvd2VycG9pbmQ=>.
- OCW (s.f.). Termodinámica. Recuperado el 15 de enero del 2017 de <http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/quimica-de-los-materiales/Material%20de%20clase/tema5b.htm/imagenes/termodinamica/termo1.gif>
- Primera ley de la termodinámica (s.f.). Recuperado el 17 de marzo del 2017 de: <http://primeraleydelatermodinmica-091115115411-phpapp02>.
- Profesor Blanco (s.f.). Estructura autmatas programables. Recuperado el 17 de marzo del 2017 de:  
<http://www.profesorblanco.com.ar/apuntesmcc/Estructura%20de%20los%20autmatas%20programables.doc>.
- PUC (s.f.). Tesis de termodinámica. Recuperado el 17 de marzo del 2017 de: <http://web.ing.puc.cl/~power/paperspdf/dixon/tesis/Elgueta.pdf>
- UFSC (s.f.). Turbinas hidráulicas. Recuperado de 25 de abril del 2017 de: <http://www.labplan.ufsc.br/congressos/XIII%20Eriac/C4/C4-15.pdf>
- Unitronics (s.f.). Series. Recuperado el 23 de febrero de:  
<http://www.unitronics.com/Series.aspx?page=230>
- Universidad de Valencia (s.f.) Capítulo 3. Recuperado el 12 de enero del 2017 de: [http://www.uv.es/rosado/sid/Capitulo3\\_rev0.pdf](http://www.uv.es/rosado/sid/Capitulo3_rev0.pdf)
- UPC (s.f.). Sistemas. Recuperado el 12 de enero del 2017 de:  
<http://tec.upc.es/ie/practi/Sistemas.pdf>
- USAL (s.f.). Proyectos, Recuperado el 15 de enero del 2017 de:  
<http://web.usal.es/~sebas/PROYECTOS/OMRON-%20JULIAN%202005.pdf>
- Wikipedia (s.f.). Air preheater. Recuperado el 15 de enero del 2017 de:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_preheater](http://en.wikipedia.org/wiki/Air_preheater)

- Wikipedia (s.f.). Crude Oil Distillation, Recuperado el 28 de febrero del 2017 de: [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Crude\\_Oil\\_Distillation-es.svg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Crude_Oil_Distillation-es.svg).

## **CAPÍTULO IV: GLOSARIO DE TÉRMINOS**

## 4.1. Glosario de Términos

### B

- **BIT:** Un *bit* es un dígito del sistema de numeración binario. La capacidad de almacenamiento de una memoria digital también se mide en *bits*

### C

- **CAMARA DE COMBUSTION:** Es el lugar donde se realiza la combustión del combustible con el comburente, generalmente aire, en el motor de combustión interna.
- **COMBUSTION:** Reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable, que va acompañada de desprendimiento de energía y habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.

### F

- **FLAG:** En programación, la **bandera** o **flag** se refiere a uno o más bits que se utilizan para almacenar un valor binario o código que tiene asignado un significado.

### L

- **LADDER:** El lenguaje **Ladder**, **diagrama de contactos**, o **diagrama en escalera**, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los autómatas programables debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos.

## M

- **MODBUS:** es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo (RTU) o cliente/servidor (TCP/IP)
- **MULTIVARIABLE:** Son **sistemas** con varias entradas y salidas, en los que una entrada afecta a varias salidas y recíprocamente una salida es afectada por varias entradas

## P

- **PID:** Un controlador **PID** es un mecanismo de control por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado. El algoritmo del control **PID** consiste de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo.
- **PLC:** Un **controlador lógico programable**, más conocido por sus siglas en inglés **PLC** (*Programmable Logic Controller*) o por **autómata programable**, es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas.
- **PRESIÓN ESTÁTICA:** Es la que tiene un fluido, independientemente de la velocidad del mismo, y que se puede medir mediante la utilización de tubos piezométricos.

## Q

- **QUEMADOR:** Es un dispositivo para quemar combustible líquido, gaseoso o ambos (excepcionalmente también sólido) y producir calor generalmente mediante una llama.

## R

- **Rs-232:** es una interfaz que designa una norma para el intercambio de datos binarios serie entre un DTE (*Data Terminal Equipment*, "Equipo Terminal de Datos"), como por ejemplo una computadora, y un DCE (*Data Communication Equipment*, "Equipo de Comunicación de Datos"), por ejemplo un módem.
- **Rs-485:** Está definido como un sistema de bus diferencial multipunto, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (10 Mbit/s hasta 12 metros y 100 kbit/s en 1200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que el par trenzado reduce los ruidos que se inducen en la línea de transmisión.

## S

- **SCADA:** acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.
- **SENSOR:** Es un objeto capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

## T

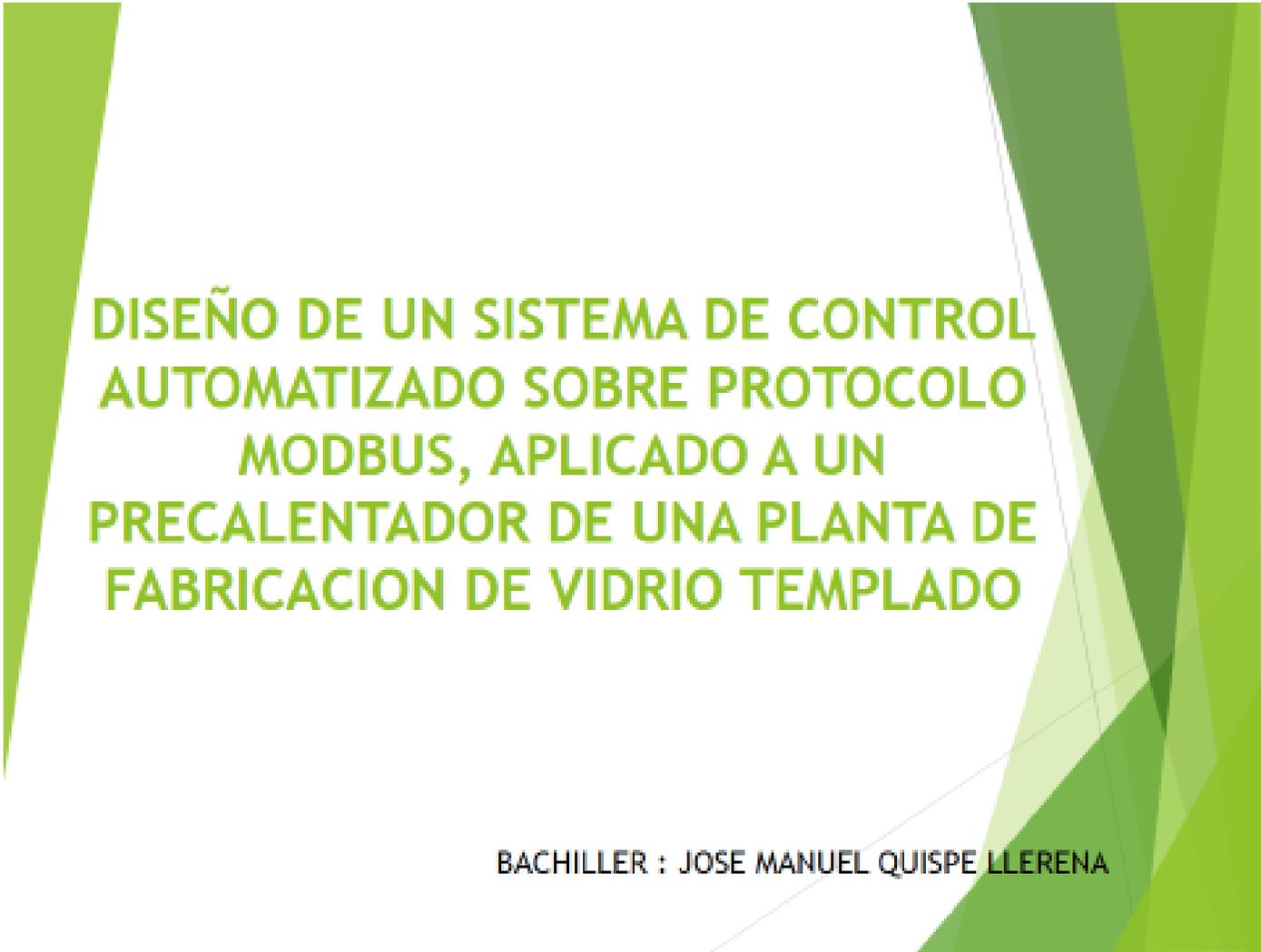
- **TRANSMISOR:** Es un instrumento que capta la variable en proceso y la transmite a distancia a un instrumento indicador o controlador.

**V**

- **VALVULA DE BOLA:** Drena el combustible del Deposito
  
- **VARIADOR:** Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

## **CAPÍTULO V: ANEXOS**

## 5.1. Anexo 1. Diapositivas



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL  
AUTOMATIZADO SOBRE PROTOCOLO  
MODBUS, APLICADO A UN  
PRECALENTADOR DE UNA PLANTA DE  
FABRICACION DE VIDRIO TEMPLADO**

BACHILLER : JOSE MANUEL QUISPE LLERENA

- ▶ El desarrollo del presente Trabajo, está precisamente dedicado a la implementación de un módulo de control y supervisión de un sistema de encendido del cual permita realizar un tipo de control de temperatura y presión, utilizando el sistema de control multivariable en cascada, supervisado por un control SCADA Modbus denominado Maestro, el cual nos permite la supervisión, monitoreo del proceso de temperatura y presión, por Sensor, Controlador Lógico Programable (PLC) denominado Esclavo

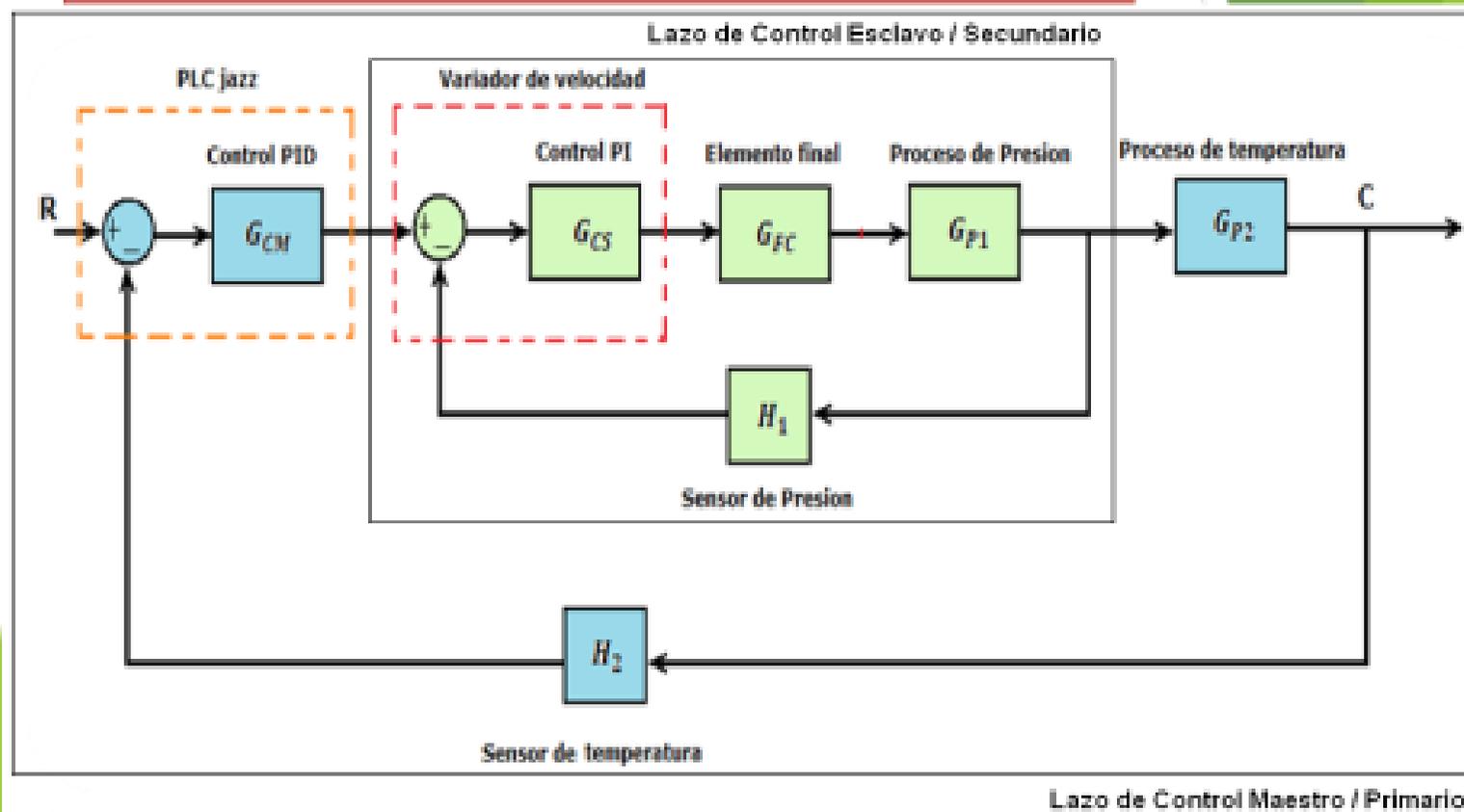
## REALIDAD PROBLEMÁTICA

- ▶ Los problemas más concurrentes en la producción de vidrio es que algunas empresas no utilizan Precalentadores automatizados ni mucho menos monitoreados.
- ▶ Los problemas más recurrentes en el proceso de calentamiento del vidrio son:
  - ▶ Dichos Precalentadores son encendidos de manera manual.
  - ▶ El consumo de combustible no es controlado.
  - ▶ El riesgo que corre el trabajador.
  - ▶ la pérdida de horas hombre al encender dicho Precalentador.
  - ▶ La falta de indicadores de temperatura y presión de combustible.

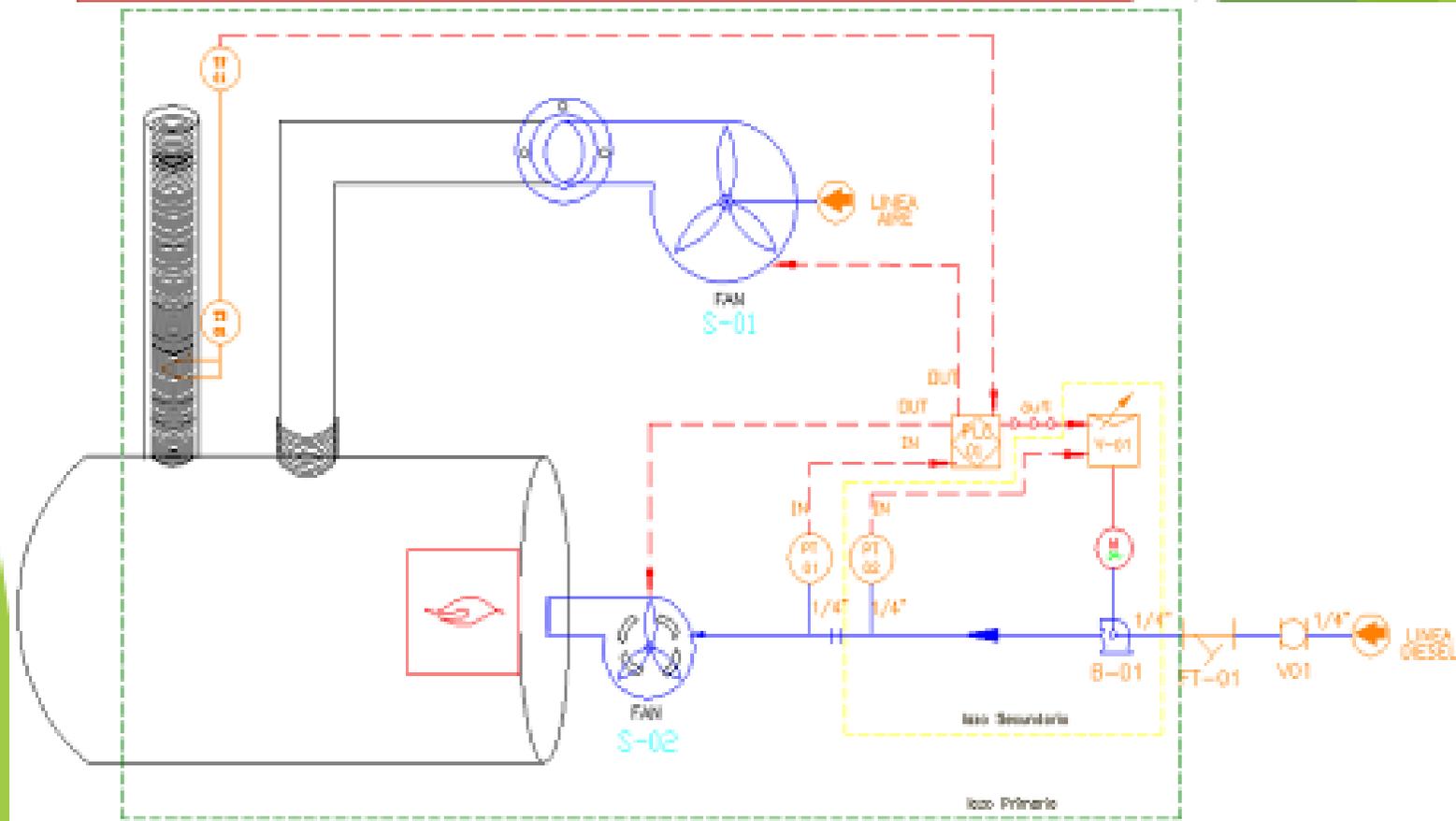
## OBJETIVOS

- ▶ Diseñar y monitorear una estrategia de encendido automático para poder controlar una temperatura adecuada para la producción de vidrio templado.
- ▶ Controlar la temperatura del precalentador utilizando un PLC.
- ▶ Velar por la seguridad del operario.
- ▶ Evaluar los diversos tipos de instrumentación para una optimización del Precalentador.
- ▶ Controlar y monitorear la temperatura del Precalentador.

# Diseño de control en cascada



# Diseño de control en cascada

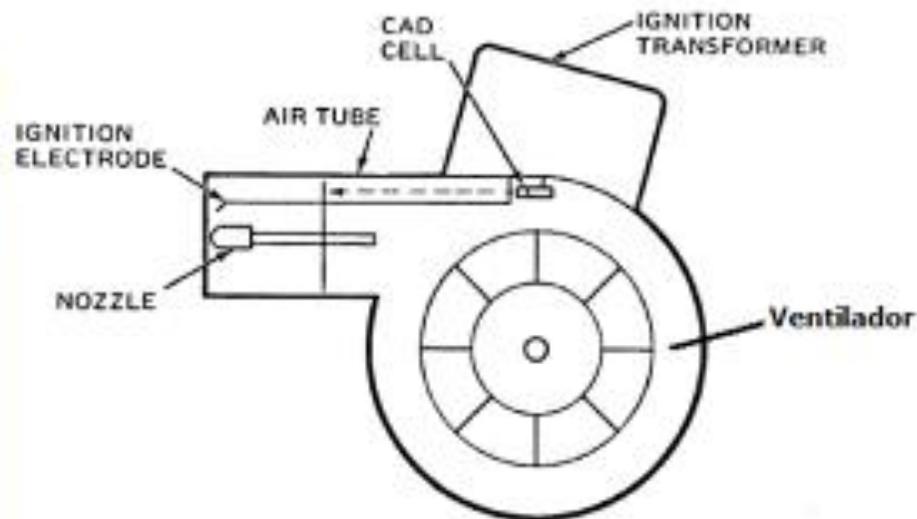


## ¿Como esta Compuesto el Precalentador ?

- ▶ El precalentador esta compuesta por:
  - ▶ Un quemador a Combustible.
  - ▶ Un ventilador.
  - ▶ Una bomba de combustible.
  - ▶ Transmisor de presión.
  - ▶ Transmisor de temperatura.
  - ▶ Sensor De flama
  - ▶ Cámara de Combustión.
  - ▶ Tablero de control.

## Quemador de combustible

- ▶ Su función es producir la mezcla de aire con el combustible ya atomizado para luego producir la combustión y energía.



El Quemador esta Compuesto por:

- Ventilador.
- Detector de Flama.
- Boquilla de Inyección.
- Electrodo de ignición + Transformador de ignición.
- Estabilizador de llama.

Back

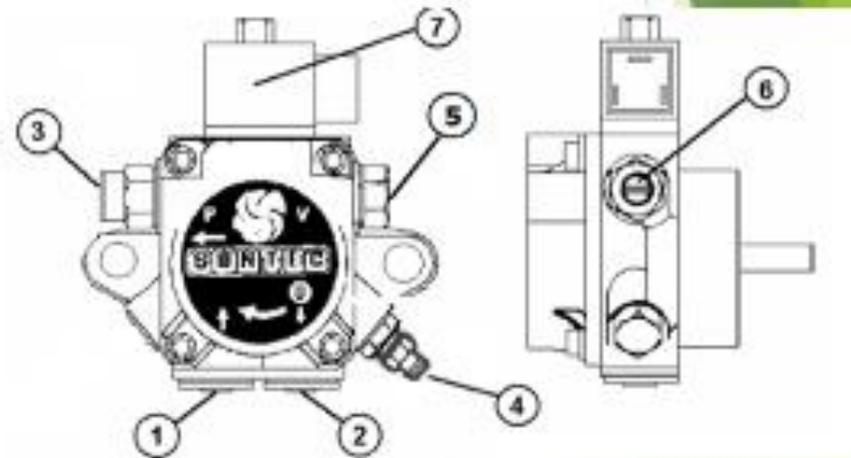
## Ventilador

- ▶ Proporciona un mayor caudal de aire a la cámara de combustión para luego aumentar su temperatura
- ▶ Característica:
  - ▶ Alimentación 220 Vac.
  - ▶ Caudal 353.71 CFM



## bomba de combustible

- ▶ Impulsa el Combustible hacia el tramo de encendido para luego proporcionar una presión comprendida entre 60 y 75 PSI
- ▶ Característica del Motor:
  - ▶ Alimentación de 220 Vac trifásica.
  - ▶ Alta velocidad de 3450 rpm.
- ▶ Característica de la bomba.
  - ▶ Esta Incorporada una válvula



## Transmisor de Presión

- ▶ Nos permite sensar la presión del combustible para asegurar la atomización del Combustible.
- ▶ Característica.
  - ▶ Marca Baumer.
  - ▶ Rango de Presión: 0 a 145 PSI.
  - ▶ Salida: 4 a 20 mA.

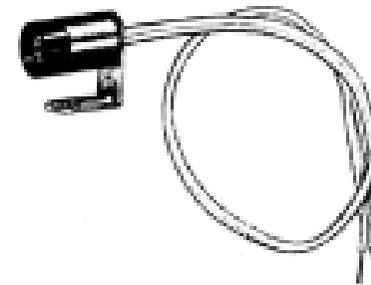
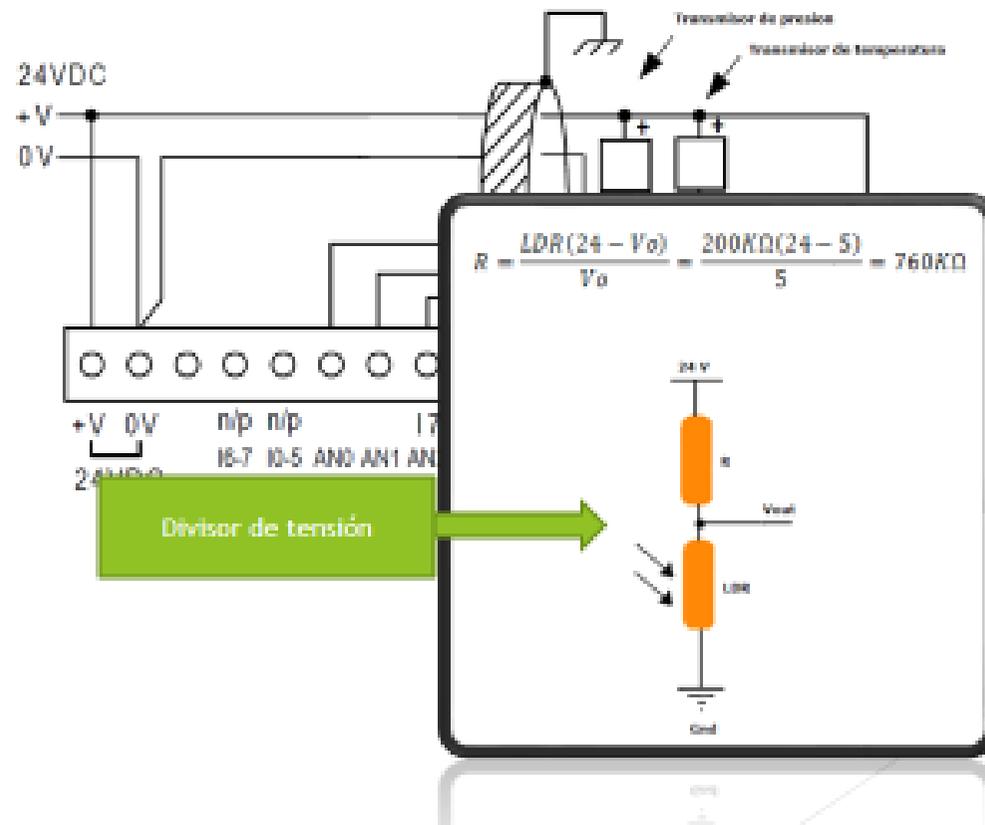
- Se utilizarán 2 sensores
- Uno de ellos es utilizado para el envío de la señal al variador para el control de la Presión.
- El segundo es utilizado para el envío de la señal al PLC para el Displayado de los valores de la presión y seguridad.

## Transmisor de Temperatura

- ▶ Enviar una señal de temperatura del Aire de salida de la cámara de combustión al PLC para el control de la temperatura.
- ▶ Característica.
  - ▶ Marca: Preelectronics.
  - ▶ Rango de Medida: 0 a 600 °C
  - ▶ Salida: 4 a 20 mA.
  - ▶ Sensor: Termocupla tipo J.



# Sensor de Flama



Detector de Flama Photocell (C554A)

Back

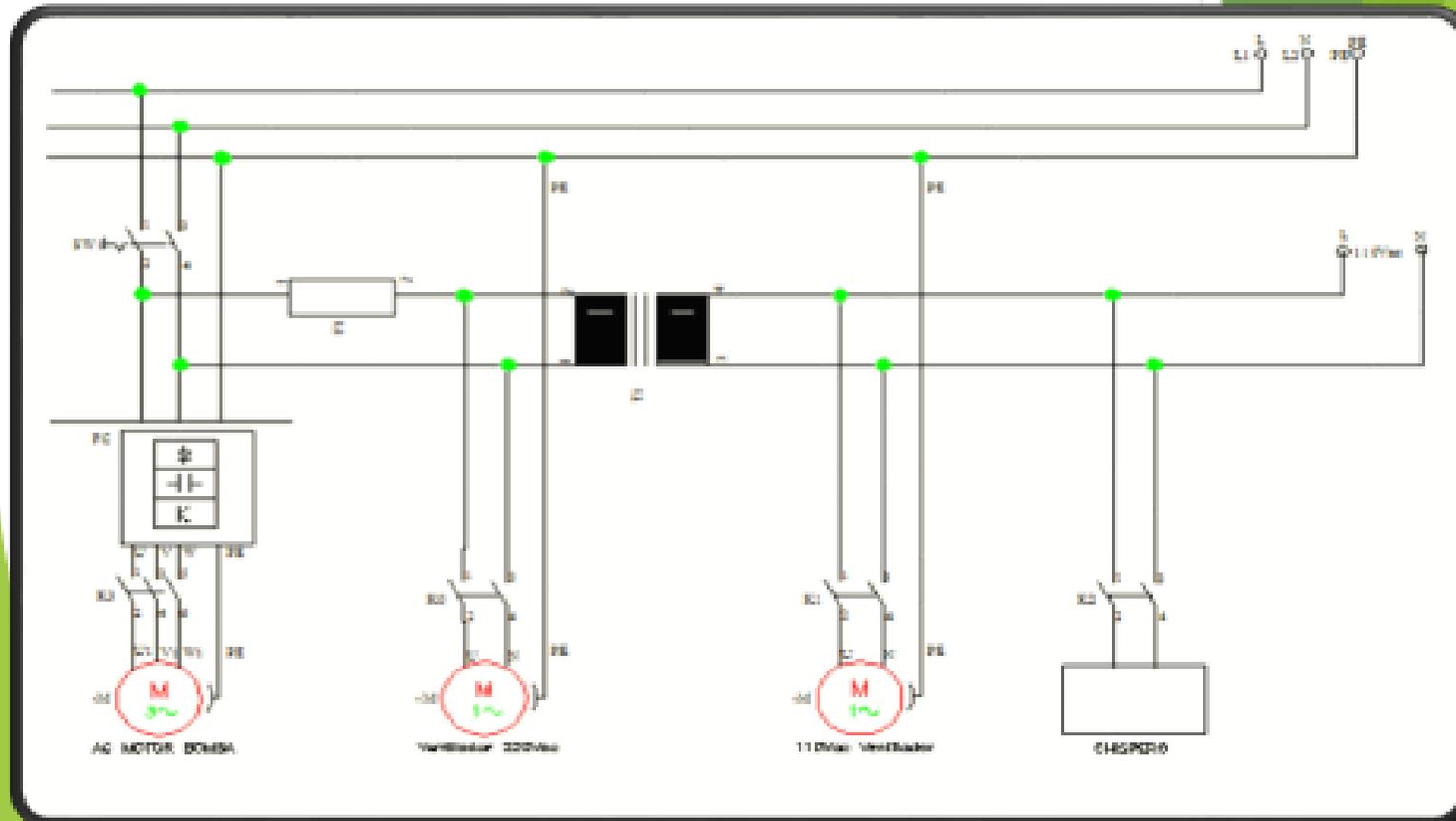
## Cámara de Combustión

- ▶ Su función de la cámara es donde se produce la combustión del combustible atomizado con el aire para luego aumentar la temperatura del aire de salida.
- ▶ Para aislar la temperatura de la cámara de combustión del exterior se usara.
  - ▶ Lana de fibra de vidrio
  - ▶ Yeso

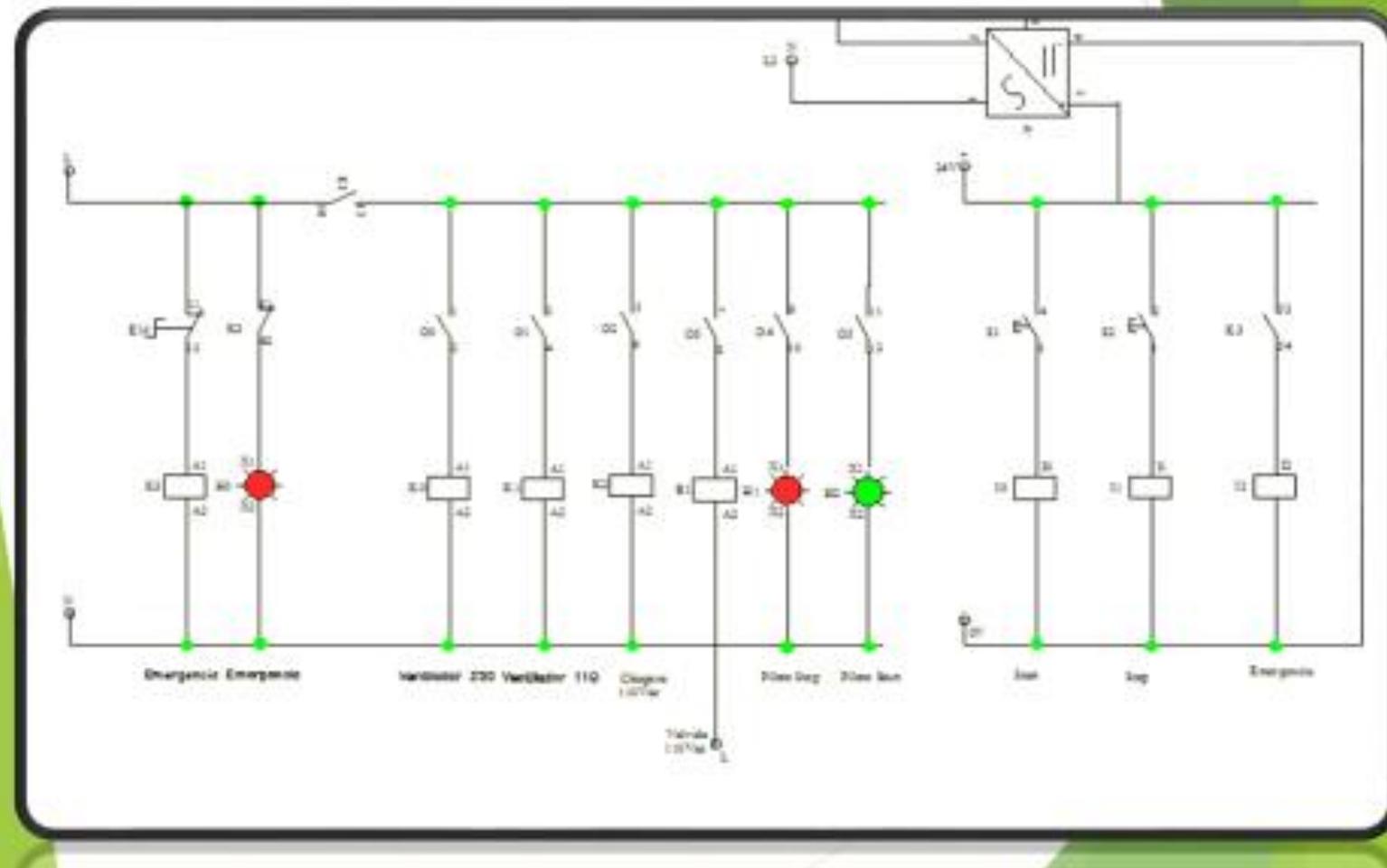


Back

# Diagrama de Fuerza



## Diagrama de Control



## Cálculos Termodinámicos

- ▶ El Aire esta Compuesto de 21 % de Oxígeno y 79 % de Nitrógeno.
- ▶ Ecuación de reacción química



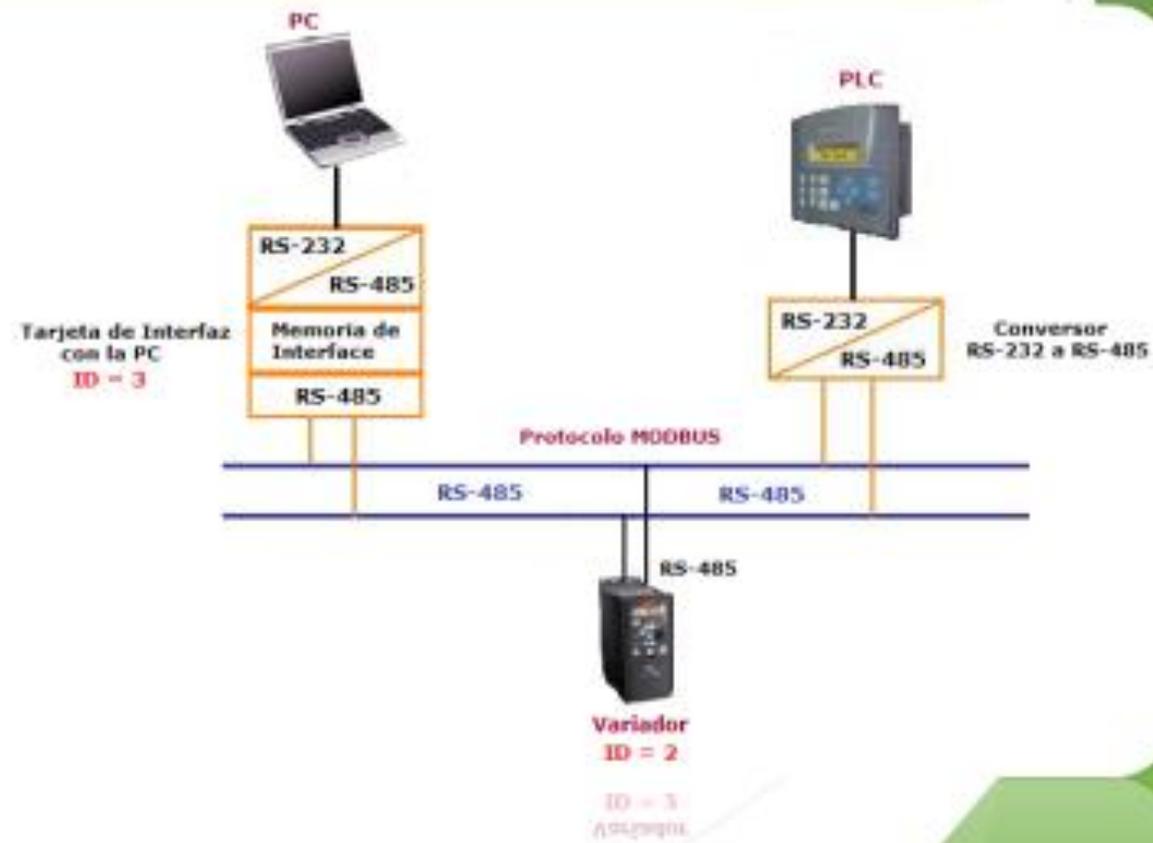
<i>Combustible + Aire</i>	→	<i>Productos gaseosos</i>
<i>Reactivos</i>		<i>productos</i>

## Cálculos Termodinámicos

Ventilador del quemador:	$Q_{\text{aire}} = 0.016 \text{ m}^3/\text{s}$	$m_{\text{aire}} = 0.0159 \text{ Kg}$
Ventilador del Cámara de combustión:	$Q_{\text{aire}} = 0.0212 \text{ m}^3/\text{s}$	$M_{\text{aire}} = 0.0211 \text{ Kg}$
Combustible:	$Q_{\text{combustible}} = 8.33 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$	$m_{\text{combustible}} = 0.00070805 \text{ Kg}$
aire teórico	$Z = 1.5 = 150 \%$	
Temperatura del Producto de la combustión	$T_2 = 2113 \text{ K}^\circ$ $T_3 = 1839.57 \text{ C}^\circ$	
Temperatura de la Mezcla Final (Aire + Producto)	$T_f = 1112^\circ\text{F}$ $T_f = 600 \text{ }^\circ\text{C}$	
Potencia del Motor	$W = 0.000826 \text{ HP}$	

Potencia del quemador	$\eta = 0.000852 \text{ HP}$	
Potencia (Producto)	$\dot{Q} = 4352 \text{ J}$	

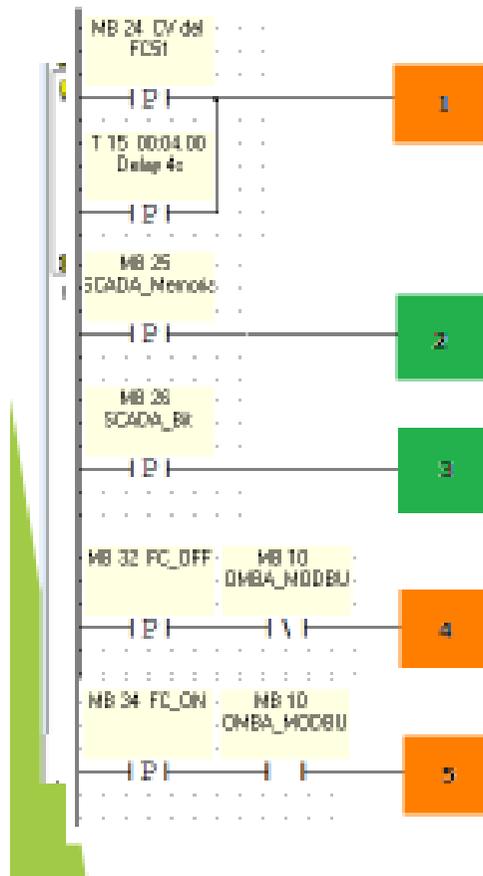
## Diagrama de Comunicación del Precalentador



## Ladder

- ▶ Bloque de comunicación en Modbus.
- ▶ Interactuación con la entradas discretas.
- ▶ Interactuación con las entradas analógicas.
- ▶ Sistema de Seguridad.
- ▶ Control de la variable de proceso.
- ▶ Secuencia de encendido.

# Bloque de comunicación en Modbus.



[[1-3]] los datos de la presión y temperatura del proceso

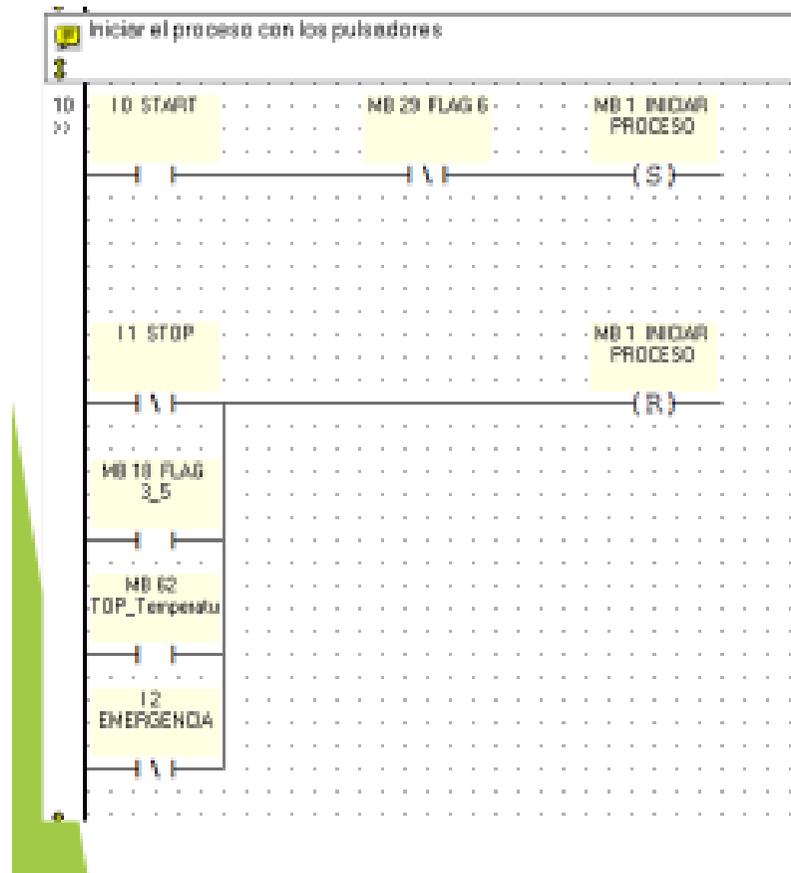
Inicio:

enviados al esclavo (vros registros de almacenamiento)

Comando/Función del MODBUS	(SI)
Leer varias Bobinas (1)	601
Forzar una Bobinas (5)	602
Forzar Varias Bobinas (15)	603
Leer varios registros de almacenamiento (3)	604
Escribir un registros (6)	605
Escribir varios registros (16)	606

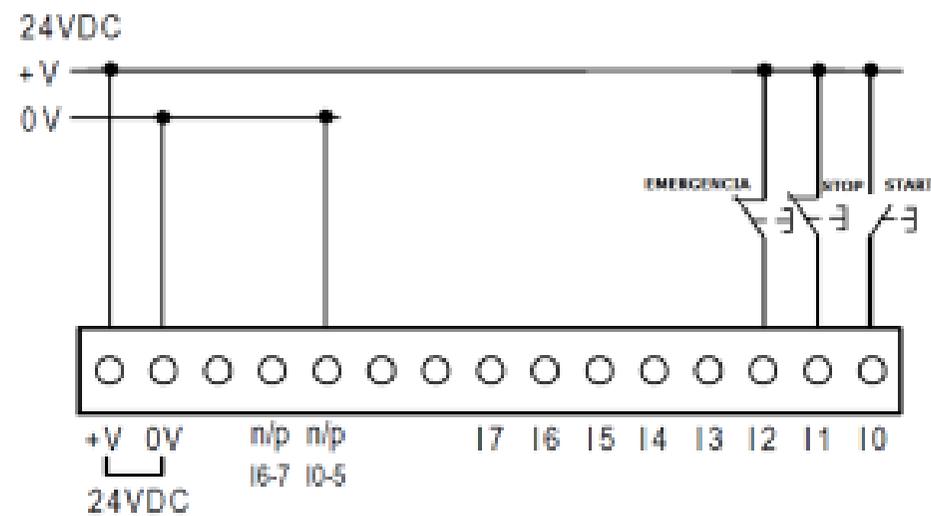
Back

## Interactuación con la entradas discretas.



Todas las salidas Discretas están dependiendo del BIT MB 1 (INICIAR PROCESO) por Ejemplo Ver Siguiente bloque.

## Interactuación con la entradas discretas.

[Back](#)

## Interactuación con las entradas analógicas.

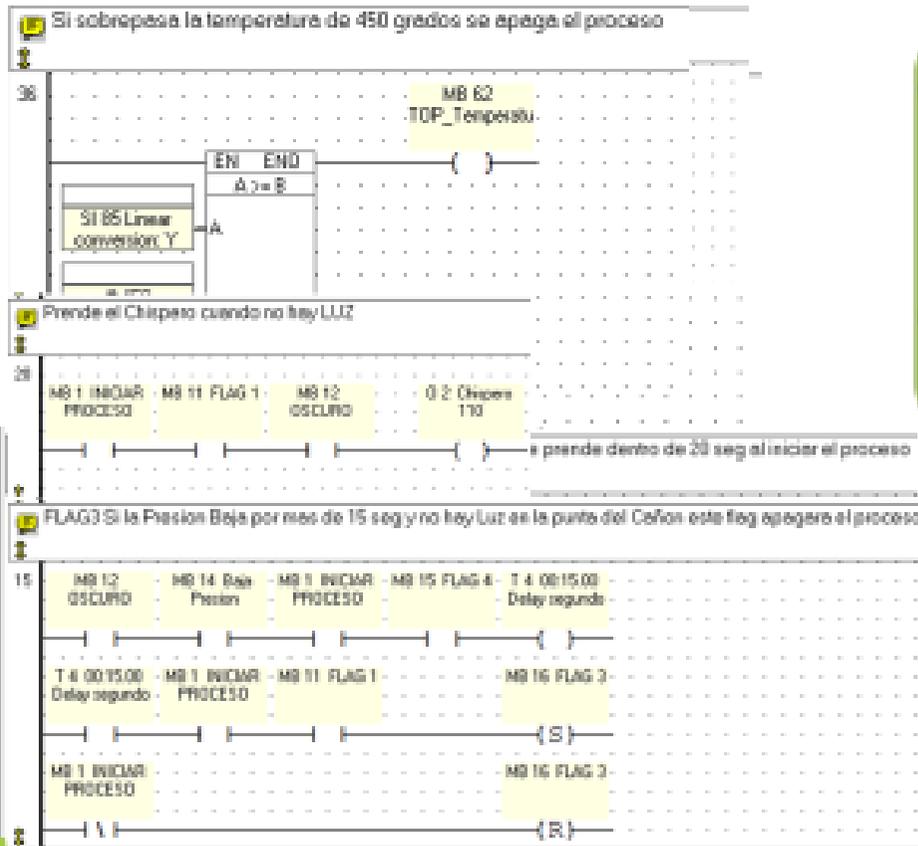


La interacción de las entradas analógicas son:

- Para el control PID.
- Para la Parte de seguridad.

Back

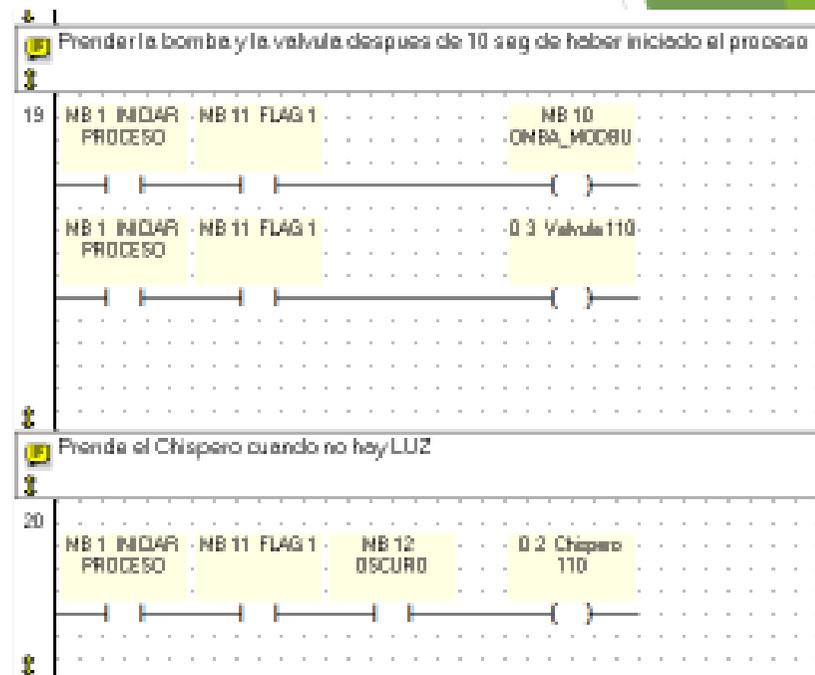
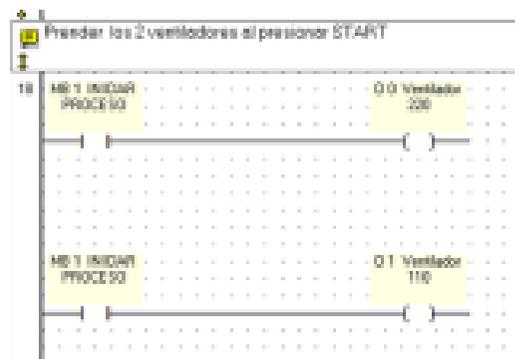
# Sistema de Seguridad.



Apaga el Proceso si sobrepasa los 620 °C para la bomba.

Back

## Secuencia de encendido.



# Configuración del Variador.

## • Para el arranque del motor.

Estos datos se obtienen de los datos del motor.

### 1-2\* datos del motor

- 1-20 Potencia del motor: 1 HP
- 1-22 Tensión del motor: 220 vac
- 1-33 Frecuencia del motor: 60 Hz
- 1-24 Intensidad del motor: 3.5 A
- 1-25 Velocidad nominal del Motor: 3450 rpm

### 3-4\* Rampa 1.

- 3-40 Rampa 1 Tipo: Lineal.
- 3-41 Rampa 1 tiempo de aceleración rampa: 3 seg.
- 3-42 Rampa 1 tiempo de desaceleración rampa: 3 seg.

### 4-1\* Límite del motor.

- 4-12 Límite bajo de velocidad: 47 Hz
- 4-14 límite alto de velocidad: 90 Hz

## • Para la comunicación del Modbus.

### 8-\*\* Comunicaciones y opciones.

- 8-30 Protocolo: Modbus [2]
- 8-31 Dirección: 2
- 8-32 Velocidad Baudios por PC: 9600 [2]
- 8-33 Paridad del puerto PC: Sin paridad, 1 bit parada [2]

## • Para el Control PI.

### 1-0\* Ajustes generales.

- 1-00 Modo de Configuración: Proceso [3]

### 3-0\* Límite de referencia.

- 3-00 Rango de referencia: Mín - Max [0]
- 3-02 Referencia mínima: 0 PSI
- 3-03 Referencia máxima: 145 PSI
- 3-15, 3-16, 3-17, 3-18: Sin función [0]

### 4-1\* Límite del motor.

- 4-10 Dirección de Velocidad del motor: Izquierda a Derecha [0].
- Es necesario para el control PI.**

### 6-1\* entrada analógica 1

- 6-12 Terminal 53 intensidad baja mA: 4 mA
- 6-13 Terminal 53 intensidad alta mA: 20 mA
- 6-14 Terminal 53 valor bajo referencia/realimentación: 0 PSI
- 6-15 Terminal 53 valor alto referencia/realimentación: 145 PSI

### 7-\*\* Controladores

- 7-20 Fuente 1 Realimentación de lazo cerrado del proceso: entrada analógica 53 [1]
- 7-30 Control normal Inverso PI proceso: Normal [0]
- 7-33 Ganancia proporcional PI del proceso: 2.3
- 7-34 Tiempo integral del proceso PI del proceso: 0.9

# SCADA

- ▶ Para el SCADA usaremos el INTOUCH para ellos configuraremos 3 software y son:
  - ▶ KepServerEx.
  - ▶ OPCLink.
  - ▶ INTOUCH.

# KepServerEx

The screenshot displays the KepServerEx software interface. At the top, there is a menu bar with options: File, Edit, View, Tools, Runtime, Help. Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main workspace is divided into several panes:

- Left Pane:** A tree view showing a channel configuration. A green arrow points to the 'Canal' section.
- Top Right Panes:** Three configuration windows for different devices: 'New Channel - ModbusRTU', 'New Channel - Device Driver', and 'New Channel - Communication'. Each window contains settings for device type, communication parameters, and device-specific options.
- Bottom Left Pane:** A log window showing a list of events. The log entries include timestamps, the application name (KepServerEx), and descriptions of actions such as 'Runtime project loaded from...', 'Component...', 'Starting Modbus RTU Serial device driver', 'Created backup of project...', 'Advanced Page Plugin...', 'Data Logger Plugin...', 'Device Connector Plugin...', 'Alarm & Events Plugin...', and 'Runtime project has been reset'.
- Bottom Right Pane:** A 'Device driver' list showing various supported protocols and drivers, including Modbus (RTU, ASCII, TCP/IP), OPC (DA, UA, UA-Client), and others.

A green callout box with a white border is overlaid on the left side of the interface. It contains the text: "Canal: puedes crear mas de un dispositivo que maneje protocolos diferentes".

# KepServerEx

The screenshot displays the KepServerEx software interface. The main window is titled "KepServerEx - Kopia [0:12:00:11:02] C:\KOPAS\KOPAS\KOPAS\KOPAS\KOPAS". The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Tools, Runtime, Help), a toolbar, and a main workspace with several panels:

- Left Panel:** A list of devices with columns for Date, Time, and Name. The list shows five entries for "KepServerE1A" through "KepServerE5C" on 11-05-2010 at 08:17:56.
- Center Panel:** A "New Device - Name" dialog box with a description: "A device name can be from 1 to 256 characters in length. Spaces are not supported. Single quotation marks are not allowed." It includes a "Device Name" field and a "Name" button.
- Right Panel:** A "New Device - Model" dialog box with a "Device" dropdown menu and a "Model" button.
- Bottom Panel:** A "New Device - Timing" dialog box with a "Device ID" field and a "Timing" dropdown menu.

Overlaid on the interface are two green callout boxes:

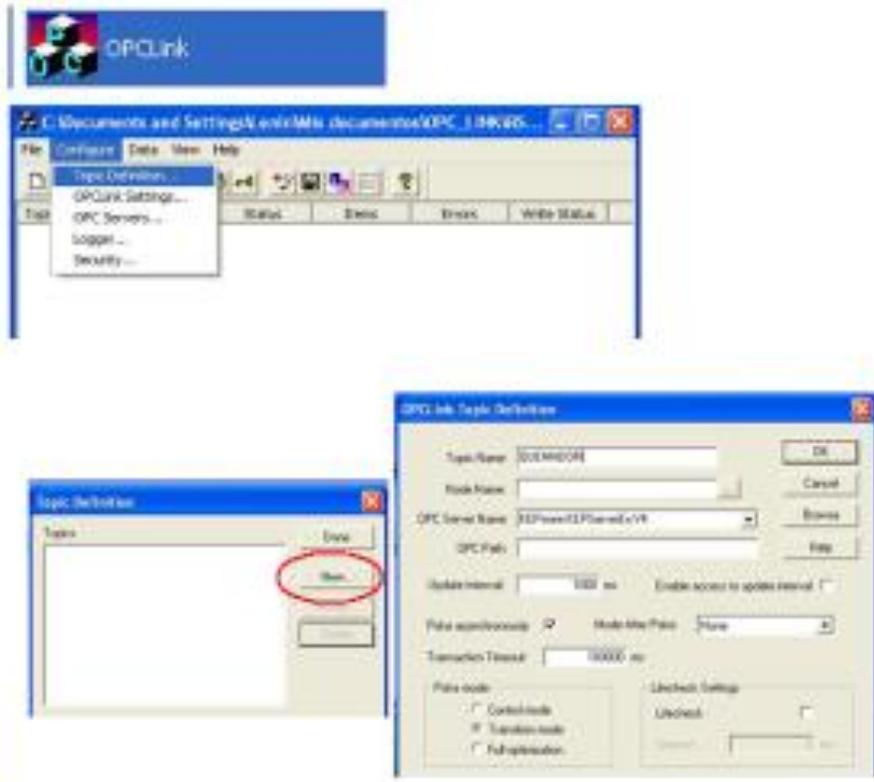
- Left callout: "Escribir /Leer Palabras: 4000X"
- Right callout: "Escribir/Leer Bits: 0000X"

On the right side of the interface, there is a vertical monitoring panel with a green and black checkered border. It contains the following text:

- BITs**
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- WORD**
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4

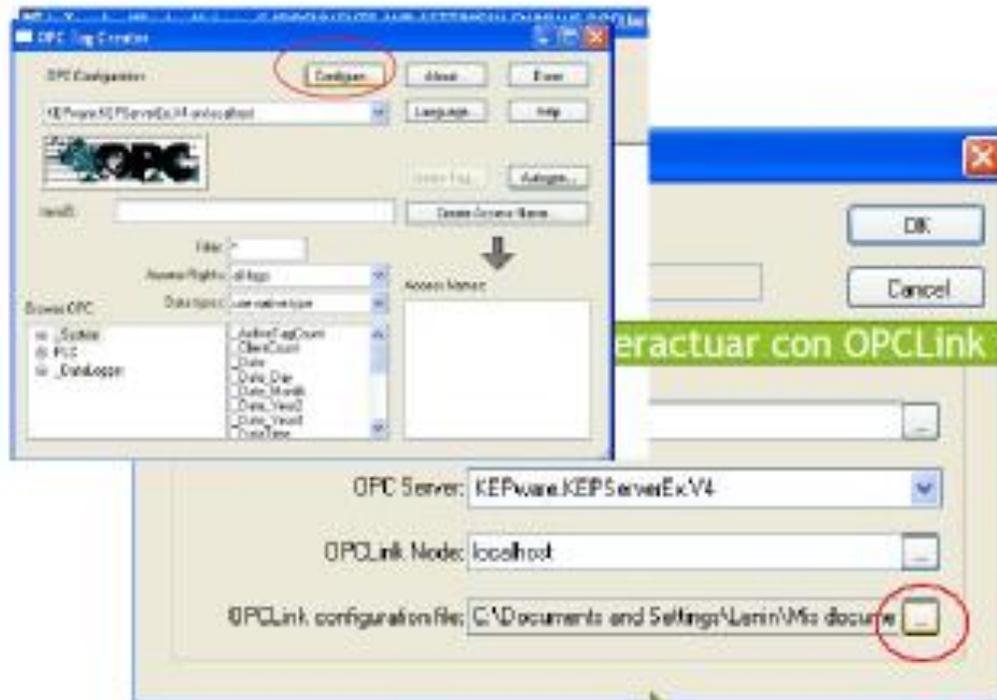
Labels for the BITs section include: Fan 220, Fan 110, Chispero, Vavula, Bomba, Run, Flama, and Emergencia. Labels for the WORD section include: Temperatura, Presion, and Setpoint.

# OPCLink



Importante: Guarda  
OPCLink

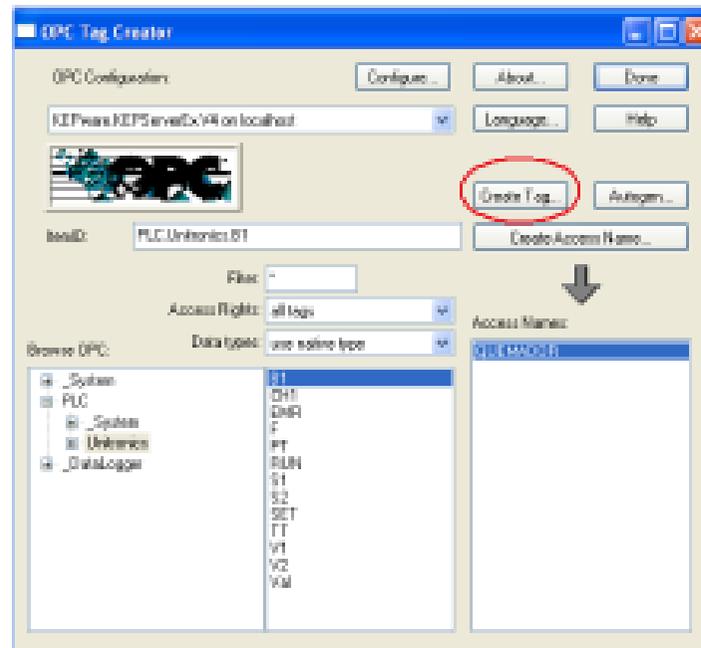
# INTOUCH



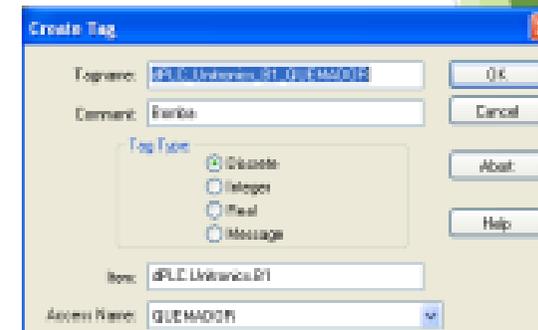
Interactuar con OPCLink y KEPServer

Ubicar el Archivo Guardado por el OPCLink

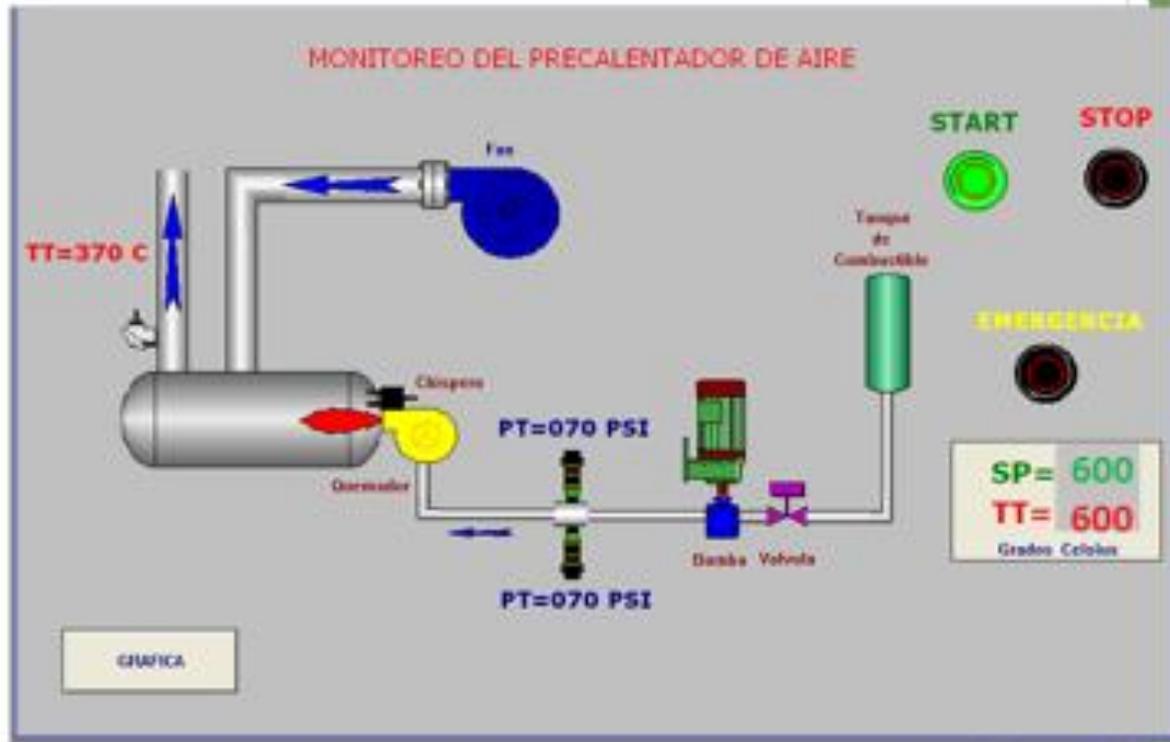
# INTOUCH



Click en create Tag para crear y relacionar los tag en el INTOUCH



# INTOUCH



## Conclusiones

- ▶ Se diseña y monitorea una estrategia de encendido automático para poder controlar una temperatura adecuada para la producción de vidrio templado.
- ▶ Con la automatización se puede controlar y monitorear la temperatura del Precalentador.
- ▶ Con la automatización del Precalentador se tiene un mejor control de operación tanto de seguridad como en proceso.
- ▶ Con la evaluación de la instrumentación se logra la automatización y optimización del Precalentador obteniendo un mejor control de operación.
- ▶ Con un sistema de sensado de todas las variables del sistema podemos aumentar la seguridad del sistema de automatización del Precalentador.

## RECOMENDACIONES

- ▶ Como se está utilizando un protocolo de ModBus para la comunicación de los dispositivos es recomendable que el PLC tenga dos puertos de comunicación para la interacción de los esclavos y la PC para una implementación SCADA más óptima y no recurrir a tarjetas de interface con la PC.
- ▶ Si se quiere trabajar con temperaturas superiores a los 700 °C se recomienda revestir interiormente el tanque de combustión con materiales refractarios.
- ▶ Si se quiere obtener una optimización del control de la temperatura se puede elegir otro tipo de actuador (bomba de diesel) que tenga un amplio rango en la variación de la presión.
- ▶ Se recomienda la instalación de Puesta a Tierra para así evitar accidentes por recibir un shock eléctrico.
- ▶ Si se quiere medir el consumo de combustible se recomienda usar un transmisor de flujo.
- ▶ Si se quiere saber el nivel de combustible que se encuentra en el tanque se recomienda usar una transmisor de nivel