



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE TUXTLA GUTIERREZ**

**INGENIERIA ELECTRONICA**

**Residencia:**

**Automatización con PLC de un Evaporador  
De Triple Efecto**

**Alumno:**

**Favio Iván Domínguez Albores**

**Asesor:**

**Ing. Raúl Moreno Rincón**

**Revisor:**

**Ing. Álvaro Hernández Sol**

## INDICE

<b>Introducción.....</b>	<b>i</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>ii</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>iii</b>
<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>iv</b>
<b>Alcances y limitaciones.....</b>	<b>v</b>
<b>Marco teórico .....</b>	<b>1</b>
<b>Evaporadora de triple efecto .....</b>	<b>2</b>
<b>Evaporadora con alimentación directa .....</b>	<b>2</b>
<b>Cálculo de un caso multi efecto .....</b>	<b>5</b>
<b>Bomba de vacío .....</b>	<b>6</b>
<b>Válvula solenoide .....</b>	<b>7</b>
<b>Controladores lógicos programables .....</b>	<b>8</b>
<b>Sensor PT100 .....</b>	<b>17</b>
<b>Funcionamiento del PT100 .....</b>	<b>19</b>
<b>Conexiones del PT100 .....</b>	<b>22</b>
<b>Desarrollo del proyecto .....</b>	<b>27</b>
<b>Procedimientos realizados con el PLC LOGO .....</b>	<b>28</b>
<b>Diagrama del proceso .....</b>	<b>28</b>
<b>Programa en LOGO .....</b>	<b>32</b>
<b>Explicación del programa .....</b>	<b>33</b>
<b>Conclusión .....</b>	<b>36</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>37</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>38</b>

# I.- Introducción

El presente trabajo presenta el reporte final de residencia profesional que realicé bajo el nombre de “Automatización con PLC de un Evaporador de Triple Efecto”, describe el proceso que involucra el control automático de un evaporador de triple efecto por medio de un controlador lógico programable. Se enmarcan las características del programa, así como los detalles de todo lo necesario para el funcionamiento de dicho proyecto.

El PLC que se utiliza es fabricado por SIEMENS ya que nos permite escoger entre una gran diversidad de modelos.

En éste proyecto se busca actualizar un dispositivo evaporador de triple efecto (el cual nos sirve para controlar el proceso químico que purifica mezclas de diferentes líquidos), ubicado en el área de química del ITTG para que éste se permita el funcionamiento automatizado.

## II. Justificación

El avance en las aplicaciones de los PLC nos ha llevado a utilizarlos en diferentes áreas, donde el límite de su aplicación solo lo da nuestra imaginación. Su gran utilidad se basa en que nos dan una gran flexibilidad de cambiar características de funcionamiento de nuestros equipos sin necesidad de cambios en el hardware, lo que reduce tiempo y costos.

También se le permite al usuario eliminar la supervisión continua del proceso lo cual le permite a éste realizar otras actividades. También se aumenta la seguridad en el proceso y se logra una mejor utilización de la energía eléctrica que se manifiesta en un ahorro de energía. Y algo en lo que se tiene que hacer hincapié es que con la utilización de un PLC obtenemos una mayor flexibilidad en el control de procesos de purificación de mezclas, dando una gran versatilidad de control al proceso que estamos realizando.

Cabe aclarar que existen dispositivos automatizados para la evaporación de líquidos, los cuales tienen un alto costo. Este alto costo se debe a que llevan en ellos gran cantidad de circuitos electrónicos los cuales podemos reducir al utilizar un PLC el cual viene con módulos integrados que solo hay que programar, al mismo tiempo también reducimos en tamaño a estos dispositivos.

Además de todo lo anterior se debe hacer mención de la ventaja de utilizar los módulos del PLC LOGO pues en este caso al utilizar el AM2 para acoplar el sensor PT100 nos ahorramos la necesidad de crear circuitos externos.

### **III.- Objetivos**

El objetivo es controlar en forma automática a través de un controlador lógico programable el proceso químico para la purificación de mezclas de diferentes líquidos (Evaporador de Triple Efecto). Algunos otros objetivos pueden describirse como:

- Crear la interacción entre una PC y el proceso de fabricación.
  
- Efectuar diagnósticos de fallas y alarmas.
  
- Controlar y comandar tareas repetitivas.
  
- Aprovechar el PLC para la reducción del número de circuitos utilizados.
  
- Utilización del módulo AM2 integrado al PLC SIEMENS como control de temperatura.

## **IV.- Planteamiento del problema.**

Este trabajo está basado en la necesidad, de los ingenieros que utilizan un evaporador de triple efecto de independizar la máquina de su supervisión para que éstos puedan aprovechar el tiempo, que la máquina funciona automáticamente, en otras partes del proceso general del cual estén a cargo. Además de que pueden capacitarse a técnicos para el control del PLC el cual hace más fácil el control del evaporador.

Para lograr esto tenemos las siguientes ideas a desarrollar:

- Diseño del programa del PLC y su simulación.
- Estudiar el funcionamiento del módulo AM2.
- Analizar el comportamiento del sensor PT100 para encontrar la manera de reducir al mínimo los errores que puedan haber en las mediciones que se obtengan de él.

## **V.- Alcances y Limitaciones.**

Existen infinidad de ventajas en la utilización de un plc para el control de aparatos, esto nos da una gran versatilidad en el desarrollo de proyectos.

Para este trabajo el único inconveniente que se ha encontrado es que el evaporador de triple efecto está bastante obsoleto y todo sería mucho más fácil con un funcionamiento más efectivo.

Y definitivamente lo que se puede lograr con este trabajo es muy amplio, por ejemplo se pueden ir agregando más mezclas al programa para que solo se tenga que elegir la que se desee (en éste trabajo solo se programaron 2 mezclas). También se puede utilizar el para otras cosas y no solo para el control del evaporador de triple efecto, es decir el evaporador es solo una parte de todo un proceso general y en éste proceso general el plc puede ser reutilizado.

# **MARCO TEORICO**

## **EVAPORADORA TRIPLE EFECTO**

Requisitos:

- Vapor o un gas caliente.
- Bomba de vacío para la circulación.
- Compuertas Solenoides para controlar el paso del gas.

### **Evaporador de múltiple efecto con alimentación directa:**

Consiste en introducir mediante una bomba la solución diluida en el primer efecto y hacerla circular después a través de los demás efectos. La concentración de la disolución aumenta desde el primer efecto hasta el último. Este modelo de flujo del líquido es el más sencillo. Requiere una bomba para introducir la alimentación en el primer efecto, ya que con frecuencia este efecto está a una presión superior a la atmosférica, y una bomba para extraer la disolución concentrada del último efecto. Sin embargo, el paso de un efecto a otro se realiza sin bombas puesto que el flujo es en el sentido de presiones decrecientes, y todo lo que se requiere son válvulas de control en las líneas de Unión.

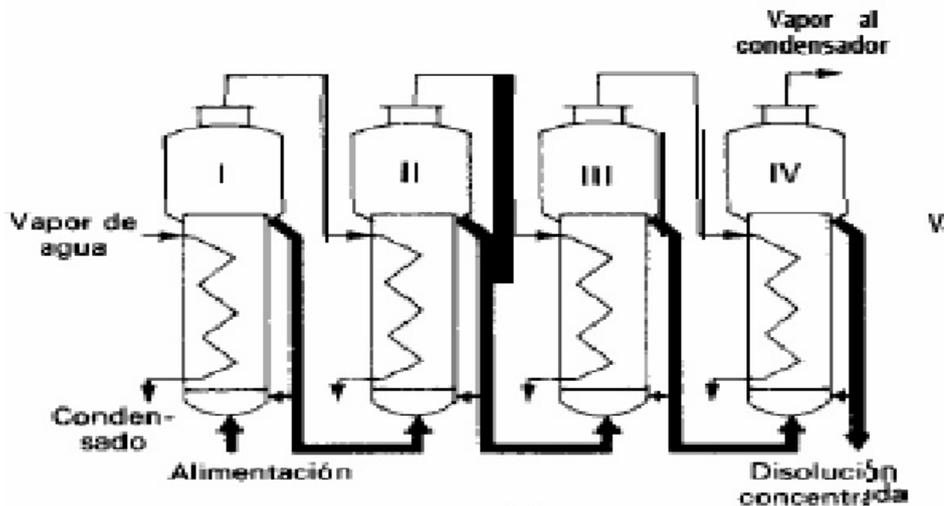


Fig.1 Esquema de un evaporador de triple efecto.

Número óptimo de efectos: El coste de cada efecto, por unidad de superficie, es una función de su área total y disminuye con el área, tendiendo a un valor asintótico para grandes instalaciones. Por tanto, la inversión necesaria para la adquisición de un evaporador de N efectos es aproximadamente N veces la de un evaporador de simple efecto de la misma capacidad. El número óptimo de efectos se obtiene a partir de un balance económico teniendo en cuenta el ahorro de vapor de agua que se obtiene con la operación de múltiple efecto y la inversión adicional que se requiere.

Para reducir el alto consumo de energía la evaporación se realiza con un procedimiento a múltiple efecto, en el cual algunos evaporadores son operados en serie. El vapor del primer evaporador es usado como "vapor" en el segundo evaporador y así sucesivamente. Para esto en cada evaporador la presión y la temperatura necesitan ser menor que en el

anterior. Un flujo esquemático es mostrado en el diagrama de evaporación a múltiple efecto (flujo directo).

El promedio de vapor consumido por un evaporador a múltiple efecto es mostrado en la siguiente tabla (fig.2). A partir de la quinta etapa los ahorros adicionales de energía no son mucho más altos, y los ahorros de energía tienen que ser sopesados contra los altos costos de inversión del equipo.

Consumo de vapor para evaporar 1 kg de agua	En kg de vapor
Evaporación a simple efecto	1,1 kg
Evaporación a doble efecto	0,57 kg
Evaporación a triple efecto	0,4 kg
Evaporación a cuádruple efecto	0,3 kg
Evaporación a quintuple efecto	0,27 kg

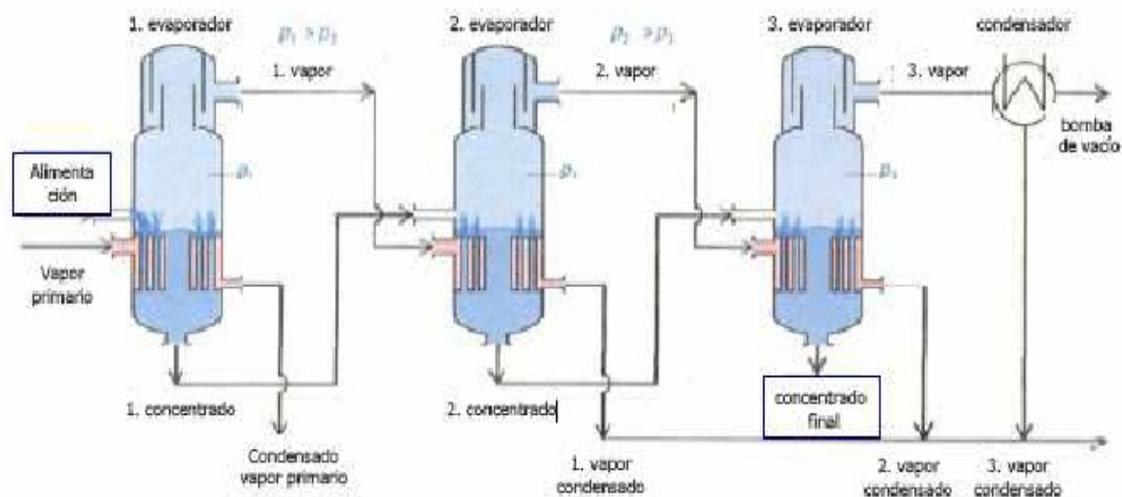


Fig.2 Promedios de vapor consumido

## CALCULO DE UN CASO MULTIPLE EFECTO

En el diseño de un evaporador de múltiple efecto los resultados generalmente deseados son la cantidad de vapor de agua consumido, el área de la superficie de calentamiento que se requiere, las temperaturas aproximadas en los distintos efectos y la cantidad de vapor que abandona el último efecto. Lo mismo que en un evaporador de simple efecto, estos valores se obtienen a partir de balances de materia, balances de entalpía y la ecuación de capacidad Sin embargo, en un evaporador de múltiple efecto se utiliza un método de tanteo en vez de una solución algebraica directa.

Al aumentar la temperatura las moléculas del gas se mueven más rápidamente y por tanto aumenta el número de choques contra las paredes, es decir aumenta la presión ya que el recipiente es de paredes fijas y su volumen no puede cambiar.

Gay-Lussac descubrió que, en cualquier momento de este proceso, el cociente entre la presión y la temperatura siempre tenía el mismo valor:

$$\frac{P}{T} = k$$

(el cociente entre la presión y la temperatura es constante)

Supongamos que tenemos un gas que se encuentra a una presión  $P_1$  y a una temperatura  $T_1$  al comienzo del experimento. Si variamos la temperatura hasta un nuevo valor  $T_2$ , entonces la presión cambiará a  $P_2$ , y se cumplirá:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Que es otra manera de expresar la ley de Gay-Lussac.

Esta ley, al igual que la de Charles, está expresada en función de la temperatura absoluta. Al igual que en la ley de Charles, las temperaturas han de expresarse en Kelvin.

## BOMBA DE VACIO

Una bomba de vacío extrae moléculas de gas de un volumen sellado, para crear un vacío parcial.

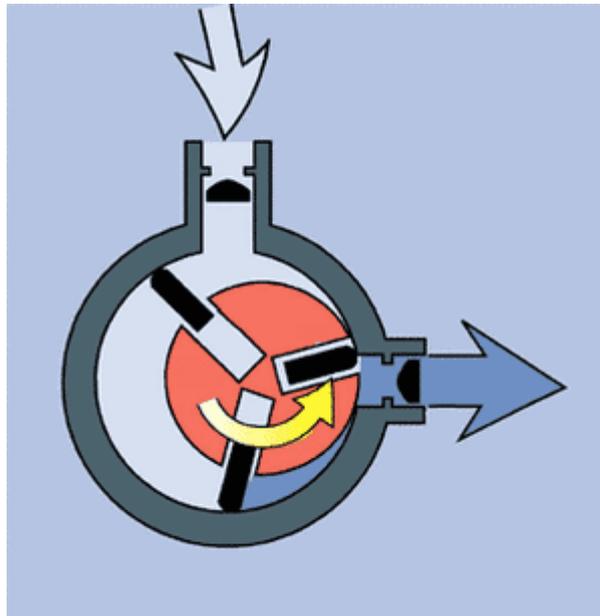


Fig.3 esquema de funcionamiento de la válvula de vacío.

La presión atmosférica es la que ejerce la atmósfera o aire sobre la Tierra a temperatura ambiente y presión atmosférica normal, un metro cúbico de aire contiene aproximadamente  $2 \times 10^{25}$  moléculas en movimiento a una velocidad promedio de 1600 kilómetros por hora. Una manera de medir la presión atmosférica es con un barómetro de mercurio; su valor se expresa en términos de la altura de la columna de mercurio de sección transversal unitaria y 760 mm de alto. Con base en esto, decimos

que una atmósfera estándar es igual a 760 mm Hg. Utilizaremos por conveniencia la unidad torricelli (símbolo, Torr) como medida de presión; 1 Torr = 1 mm Hg, por lo que 1 atm = 760 Torr; por lo tanto 1 Torr = 1/760 de una atmósfera estándar, o sea 1 Torr =  $1,36 \times 10^{-3}$  atm.

El aire está compuesto por varios gases; los más importantes son el nitrógeno y el oxígeno, pero también contiene en menores concentraciones gases como dióxido de carbono, argón, neón, helio, criptón, xenón, hidrógeno, metano, óxido nitroso y vapor de agua.

## VALVULA SOLENOIDE

Este tipo de válvulas es controlada variando la corriente que circula a través de un solenoide (conductor ubicado alrededor de un émbolo, en forma de bobina). Esta corriente, al circular por el solenoide, genera un campo magnético que atrae un émbolo móvil. Por lo general estas válvulas operan de forma completamente abierta o completamente cerrada, aunque existen aplicaciones en las que se controla el flujo en forma lineal.

Al finalizar el efecto del campo magnético, el émbolo vuelve a su posición por efecto de la gravedad, un resorte o por presión del fluido a controlar.

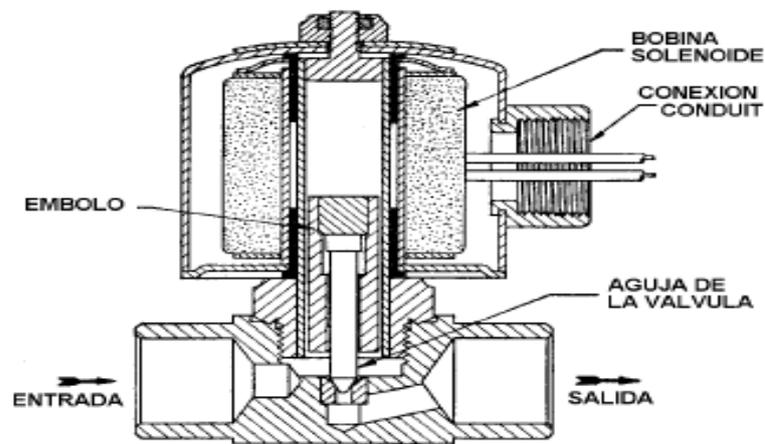


Fig.4 Válvula solenoide

Existe una amplia variedad de tipos de válvulas solenoide, los cuales se pueden dividir de acuerdo a su aplicación, su construcción y su forma. Entre los fabricantes de válvulas no existe un consenso para diferenciar los tipos por orden de importancia. Aunque recientemente, la práctica más generalizada es dividir las primeramente, de acuerdo a su aplicación; es decir, a la capacidad del sistema donde va a ser instalada la válvula. Con base en esto, las válvulas solenoide pueden dividirse de manera general, en dos tipos: 1) De acción directa, y 2) Operadas por piloto.

También por su construcción, las válvulas solenoide pueden ser: 1) Normalmente cerradas, 2) Normalmente abiertas y 3) De acción múltiple.

Por su forma, hay tres tipos de válvulas solenoide de uso común: 1) de dos vías, 2) de tres vías y 3) de cuatro vías o reversibles. Puede haber válvulas solenoide con combinaciones de los tipos mencionados arriba. Por ejemplo, hay válvulas operadas por piloto normalmente abiertas y también normalmente cerradas.

La válvula que se muestra en la figura anterior, es una válvula de acción directa, de dos vías, normalmente cerrada.

## **CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES (PLC)**

El PLC es un dispositivo que reemplaza los circuitos con relés necesarios para el control de un proceso.

El funcionamiento del PLC depende de la información y estado de sus entradas. El usuario ingresa un programa y se obtiene los resultados esperados. El PLC consiste principalmente en un CPU, una o varias áreas de memoria y circuitos apropiados para recibir datos de entrada y salida.

Podemos considerar al PLC como una caja llena de cientos de millones de relés, contadores, temporizadores, etc. Cabe aclarar que los anteriores no existen físicamente sino que se simulan, es decir pueden ser considerados únicamente como software lógicos. En la siguiente figura podemos observar un PLC.



Fig.5 Fotografía de un PLC

Un punto básico de la aceptación y el éxito de los PLC, autómatas programables, ante los equipos que son a base de relés, o incluso frente a los equipos construidos a base de circuitos integrados, ha sido la posibilidad de realizar funciones muy diversas con un mismo equipo (hardware estándar) y cambiando únicamente un programa (software).

De acuerdo a este criterio los sistemas de control se clasifican en dos grupos:

- Sistemas cableados
- Sistemas programables

Los primeros realizan una función de control fija, que depende de los componentes que la forman y de la forma en que se han interconectado. Por tanto. La única forma de alterar la función de control es modificando sus componentes o la forma de interconectarlos.

Los sistemas programables, en cambio, pueden realizar distintas funciones de control sin alterar su configuración física, sino sólo cambiando el programa de control.

## **CLASIFICACIÓN DE LOS AUTOMATAS PROGRAMABLES**

Dentro de la clasificación de sistemas de control, el PLC pertenece a la familia de los Automatas Programables Industriales (API). Desde el punto de vista de su papel en el sistema de control, el autómata programable es la unidad de control, incluyendo total o parcialmente las interfaces con las señales del sistema. Por otro lado, se trata de un sistema con un hardware estándar, con capacidad de conexión directa a las señales de campo y programable por el usuario.

Al conjunto de señales de consigna y de realimentación que entran en el autómata se les denomina genéricamente entradas y al conjunto de señales de control obtenidas salidas, pudiendo ser ambas analógicas o digitales.

El concepto de hardware estándar que se ha indicado para el autómata se complementa con el de modularidad, entendiendo como tal el hecho de que este hardware está fragmentado en partes que se interconectan que permiten configurar un sistema a la medida de las necesidades.

La tabla que sigue nos muestra a grandes rasgos las principales características de los autómatas de la actualidad.

Tabla 1 Características de los PLC actualmente.

características	Sistema cableado	Autómata programable
Flexibilidad de adaptación al proceso	Baja	Alta
Hardware estándar para distintas aplicaciones	No	Sí
Posibilidades de ampliación	Bajas	Altas
Interconexiones y cableado exterior	Mucho	Poco
Tiempo de desarrollo del proyecto	Largo	Corto
Posibilidades de modificación	Difícil	Fácil
Mantenimiento	Difícil	Fácil
Herramientas de prueba	No	Sí
Stocks de mantenimiento	Medios	Bajos
Modificaciones online	No	Sí
Coste para pequeñas series	Alto	Bajo
Estructuración en bloques independientes	Difícil	fácil

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

### **PARTES PRINCIPALES DE UN PLC**

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

**Parte Operativa:** La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como

motores, cilindros, compresores, etc.

**Parte de Mando:** La Parte de Mando suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada).

En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable esta en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

### Objetivos de la automatización

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

## Campos de aplicación

El PLC gracias a sus características que lo hacen especial gracias a su diseño, tiene un campo de aplicación muy extenso. Las constantes mejoras que ocurren en el campo del hardware y el software amplían constantemente este campo y así se pueden satisfacer necesidades que se detectan en el espectro de sus reales posibilidades.

Su uso se da básicamente en instalaciones en donde es necesario un proceso de control, señalización, etc. Por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control, etc.

Sus pequeñas dimensiones, la extrema facilidad para montarlo, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los anteriores, etc. Hace que se aprecie en procesos con necesidades tales como:

- Espacio pequeño
- Procesos de producción que cambian periódicamente
- Instalaciones de procesos complejos y amplios

## **Ventajas e inconvenientes del uso de un PLC**

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones me obligan a referirme a las ventajas que proporciona un autómata de tipo medio.

## **Ventajas**

Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:

-No es necesario dibujar el esquema de contactos

-No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.

-La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.

-Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.

-Mínimo espacio de ocupación.

-Menor coste de mano de obra de la instalación.

-Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.

-Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.

-Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado.

-Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

## **Inconvenientes**

- Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido.
- El costo inicial también puede ser un inconveniente.

## **Funciones básicas de un PLC**

### **Detección:**

Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.

### **Mando:**

Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.

### **Dialogo hombre maquina:**

Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

### **Programación:**

Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómeta. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómeta controlando la maquina.

## **NUEVAS FUNCIONES**

### **Redes de comunicación:**

Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas a tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.

### **Sistemas de supervisión:**

También los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.

### **Control de procesos continuos:**

Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.

### **Entradas- Salidas distribuidas:**

Los módulos de entrada salida no tienen porqué estar en el armario del autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.

Buses de campo:

Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómatas consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

Un pequeño ejemplo de la utilización de un plc lo tenemos en el siguiente párrafo: Un PLC (Controlador Lógico Programable) en sí es una máquina electrónica la cual es capaz de controlar máquinas e incluso procesos a través de entradas y salidas.

Las entradas y las salidas pueden ser tanto analógicas como digitales.

Los elementos importantes en un programa para **PLC** (en este caso utilizaremos como base el siemens) al igual que un alambrado lógico con elementos eléctricos como relevadores son:

- Contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados.
- Bobinas.
- Temporizadores (Timers).
- Contadores.

## **SENSOR PT100**

Los detectores de temperatura resistivos (RTD – Resistance Temperature Detector) son sensores de temperatura basados en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.

Al calentarse un metal habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación, y mayor resistencia.



Fig.7 PT 100 utilizado en el proyecto

- Margen de temperatura bastante amplio.
- Proporciona las medidas de temperatura con mayor exactitud y repetitividad.
- El valor de resistencia del sensor RTD puede ser ajustado con gran exactitud por el fabricante (trimming), de manera que su tolerancia sea mínima. Además, éste será bastante estable con el tiempo.
- Los sensores RTD son los más estables con el tiempo, presentando derivas en la medida del orden de  $0.1 \text{ } ^\circ\text{C/año}$ .
- La relación entre la temperatura y la resistencia es la más lineal.

- Los sensores RTD tienen una sensibilidad mayor que los termopares. La tensión debida a cambios de temperatura puede ser unas diez veces mayor.
- La existencia de curvas de calibración estándar para los distintos tipos de sensores RTD (según el material conductor,  $R_0$  y  $\alpha$ ), facilita la posibilidad de intercambiar sensores entre distintos fabricantes.

### **FUNCIONAMIENTO SENSOR PT100**

El sensor PT-100 es un sensor de temperatura que basa su funcionamiento en la variación de resistencia a cambios de temperatura del medio. El elemento consiste en un arrollamiento muy fino de Platino bobinado entre capas de material aislante y protegido por un revestimiento cerámico.

El material que forma el conductor (platino), posee un coeficiente de temperatura de resistencia “alpha”, el cual determina la variación de la resistencia del conductor por cada grado que cambia su temperatura según la siguiente ecuación:

$$R_t = R_0 * (1 + \text{Alpha} * t)$$

Donde:

- $R_0$ : resistencia en ohmios a 0 grados Celsius (100 ohms)
- $R_t$ : resistencia a la temperatura  $t$  grados Celsius
- Alpha: coeficiente de temperatura de la resistencia. Cuyo valor para el Platino, entre 0 °C y 100 °C es de 0.00385 ohmios/(ohmios °C) en la escala práctica de Temperaturas Internacionales (IPTS-68).
- $t$ : temperatura actual

Cuando  $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$100\text{ ohms} = 100\text{ ohms} (1 + \alpha/^{\circ}\text{C} * 0^{\circ}\text{C})$$

$$100\text{ ohms} = 100\text{ ohms} (1+0)$$

$$100\text{ ohms} = 100\text{ ohms}$$

Cuando  $t = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$R_t\text{ ohms} = 100\text{ ohms}(1+\alpha*1)$$

$$R_t\text{ ohms} = 100\text{ ohms}(1.00385)$$

$$R_t\text{ ohms} = 100.385\text{ ohms.}$$

Variación de 0.385 ohms por grado centigrado.

El platino es el elemento más indicado para la fabricación de sensores de temperatura por resistencia, ya que como se desprende de la tabla anterior posee:

- Alto coeficiente de temperatura.
- Alta resistividad, lo que permite una mayor variación de resistencia por  $^{\circ}\text{C}$ .
- Relación lineal resistencia-temperatura.
- Rigidez y ductilidad lo que facilita el proceso de fabricación de la sonda de resistencia.
- Estabilidad de sus características durante su vida útil.

#### **CARACTERISTICAS TECNICAS:**

Tipo de sensor: Resistencia de Platino 100 ohmios a  $0^{\circ}\text{C}$

Rango operativo:  $0^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ .

Material del cuerpo: Incomel 600

Exactitud:  $0.5^{\circ}\text{C}$

Conexión: 3 cables (RTD, RTD, compensación)

DIMENSIONES:

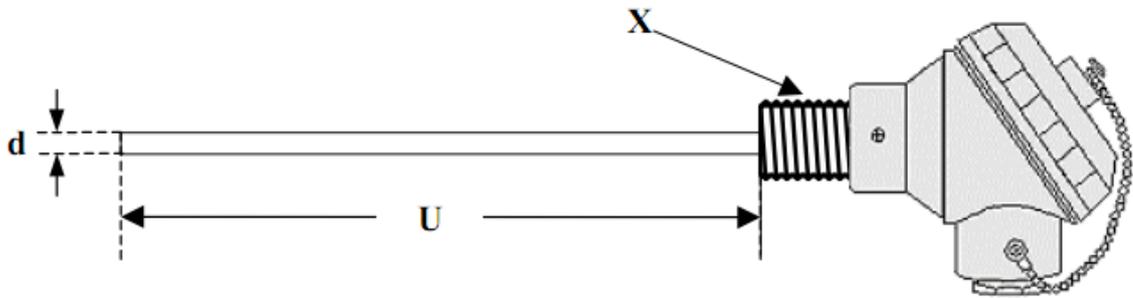


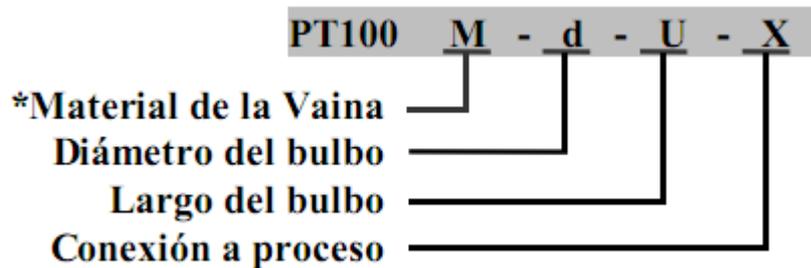
Fig.8 Esquema PT 100

Donde:

d = diámetro del bulbo

U = largo del bulbo

Método de Especificación:



**Ejemplo:** PT100 –SS316-6-100-1/2”NPTM, representa a un sensor PT100 de Acero inoxidable 316, diámetro de bulbo 6 mm, largo del bulbo 100mm y conexión a proceso 1/2” NPT Macho.

## CONEXIÓN

CABLE	SEÑAL
A	RTD
B	RTD
b	COMPENSACION

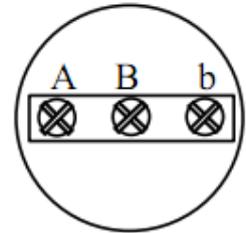


Fig.9 conexión del PT100

La interconexión entre termorresistencias e Instrumentos se realiza con cable común de cobre. En cambio, en el caso de las termocuplas deben emplearse cables especiales de compensación, de costo superior.

La magnitud de la corriente de medición de una termorresistencia es crítica. Si es muy alta, se produce el autocalentamiento, que aparecerá como un error de medición. En la Tabla 12 se indican los valores de las corrientes de medición que pueden circular en distintos tipos de termorresistencias Pt100 con un autocalentamiento máximo de 0.1 °C.

Existen tres tipos de termorresistencias, de acuerdo a su construcción y cableado:

- De dos hilos
- De tres hilos
- De cuatro hilos

Como ya se había mencionado, la evaluación, del valor de la resistencia  $R_t$ , se hace en un puente de Wheastone, entonces es aquí, donde se hace importante la diferencia entre ambos tipos de termorresistencias.

Para las primeras, de dos hilos o bifilar, será necesario estimar la longitud del conductor del puente a la resistencia en el punto de toma del proceso, para poder calcular el valor de la resistencia.

Para las de tres hilos o trifilar, si además, ajustamos el puente de tal forma que  $R1/R2=1$ , y como la longitud por lado de conductor se hace igual, podremos ajustar el valor de la resistencia  $R3$  para equilibrio, y ese será directamente el valor de la resistencia  $x$ .

Dado que en equilibrio la ecuación del puente será:

$$R1 / (R3 + K * a) = R2 / (x + K * b)$$

#### Circuito RTD dos hilos o bifilar

La RTD simple reemplaza uno de los elementos del puente y causa un desbalance y así como también cambios de resistencia. La salida se lee directamente o es usada para manejar otro circuito en el transmisor. Si la RTD esta localizada a una distancia desde el transmisor y puente entonces esta conduce por los dos hilos cuando un material más económico es usado para conectar la RTD al puente.

Una de las limitaciones de la RTD de dos hilos es que los hilos conductores añadidos a la resistencia del circuito pueden causar errores de lectura.

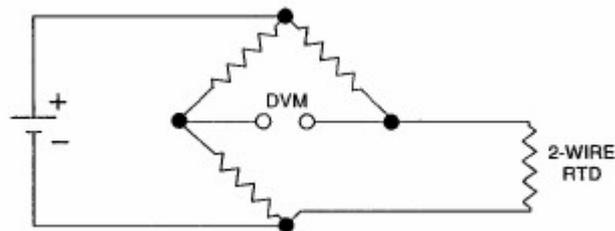
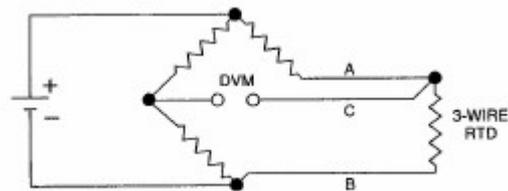


Fig.10 Circuito RTD dos hilos o bifilar

### **Circuito RTD tres hilos o trifilar**

Para ayudar a eliminar el error introducido por los hilos conectores se usa comúnmente una RTD de tres hilos con este propósito los efectos de la resistencia de cada uno de los hilos conductores ( A y B ) son eliminados por el puente debido a que cada uno es la conexión opuesta del puente. El tercer hilo ( C ) es un conductor de equilibrio.

Los tres hilos unidos no eliminan todos los efectos de los hilos conductores, pero debido a que los sensores están localizados justamente cercanos a los transmisores, los efectos de los hilos conductores son pequeños y la aproximación provee una exactitud razonable.



**Fig.11 Circuito RTD tres hilos o trifilar**

### **Circuito RTD cuatro hilos o cuatrifilar.**

La vía más efectiva para eliminar los efectos de los hilos conductores es con cualquiera de las versiones de cuatro hilos. Es una aproximación que no requiere puente como se indica en la figura siguiente, en este método una corriente constante es conectada a dos de los hilos de la RTD, la caída de voltaje en la RTD es medida en los otros dos conductores, la caída de voltaje es independiente de los efectos de los hilos conductores.

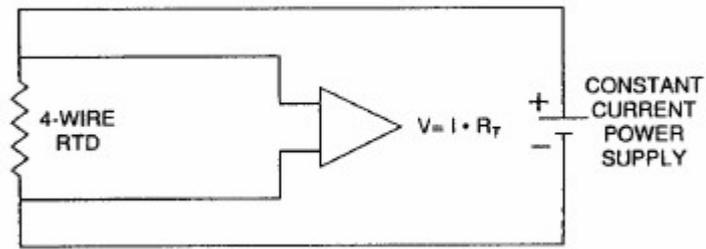


fig.12 Circuito RTD cuatro hilos o cuatrifilar

## DIAGRAMA DE CONEXIÓN

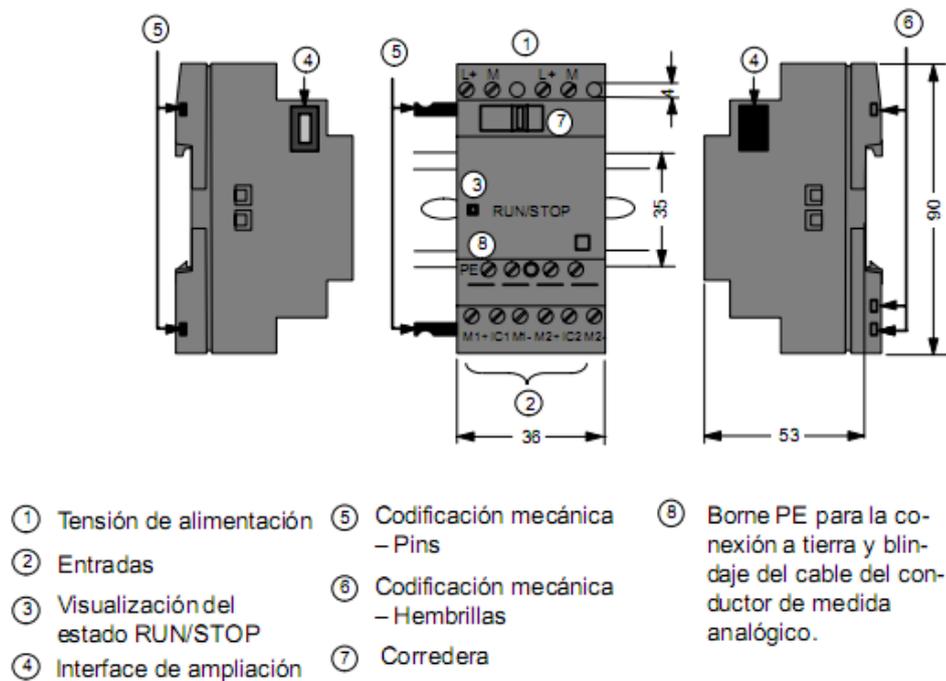


Fig.13 Estructura del módulo de ampliación AM2 PT100

Es posible conectar una termorresistencia Pt100 al módulo utilizando la técnica de conexión de dos o tres conductores. Si se elige la técnica de conexión de dos conductores, deberá ubicar en el módulo una barra de cortocircuito entre los bornes M1+ e IC1 o M2+ e IC2. En este tipo de conexión no se corregirá la resistencia óhmica del error causado por el

conductor de medida. Una resistencia de 1 ohm del conductor equivale a +2,5 °C de error de medida. Con la técnica de conexión de tres conductores se evita que la longitud del conductor (resistencia óhmica) influya en el resultado de medida.

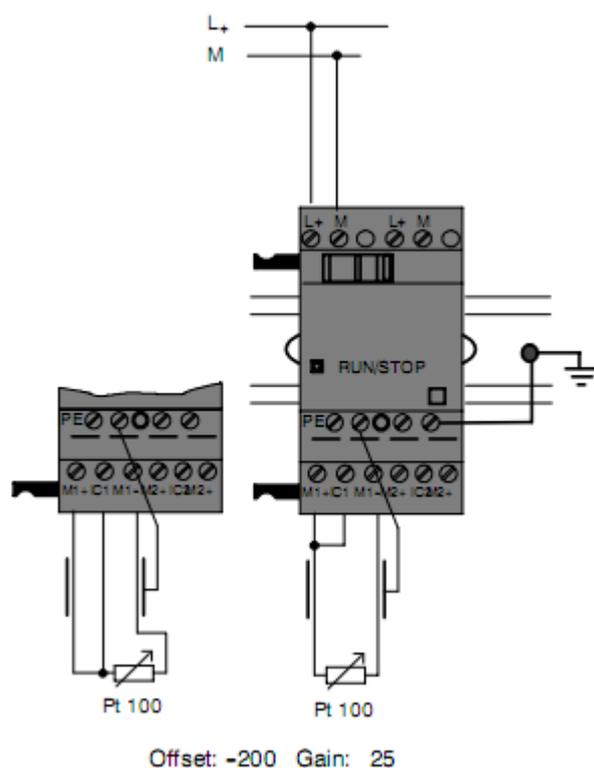


Fig. 14 conexiones AM2

## **DESARROLLO DEL PROYECTO**

# PROCEDIMIENTOS REALIZADOS CON EL PLC SIEMENS LOGO.

Primero que nada debemos entender el proceso que se controla y como funciona este, para ello tenemos el siguiente diagrama que nos indica los dispositivos que llevarà:

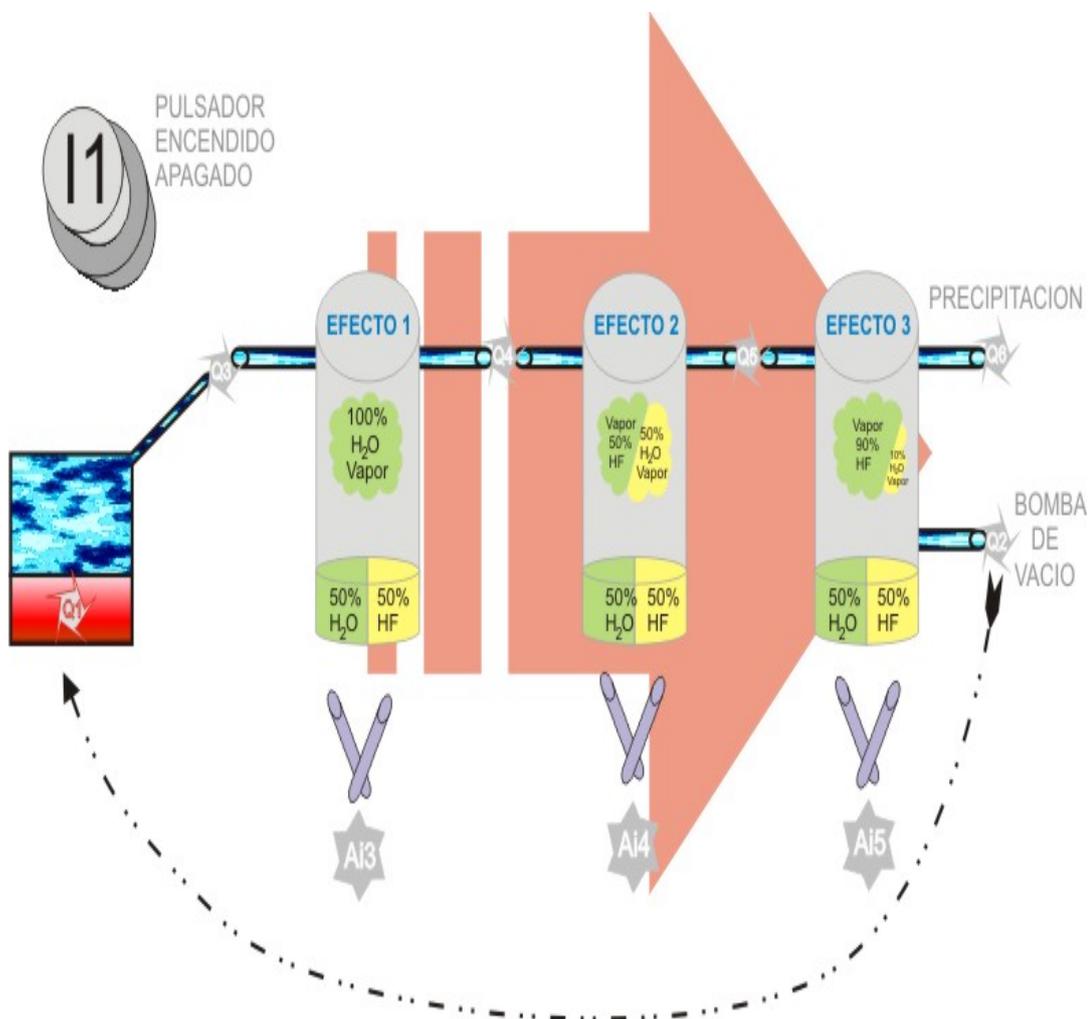


Fig.16 diagrama del proceso de evaporación

El plc SIEMENS LOGO mediante el módulo AM2 PT100 nos permitió medir temperaturas las cuales se manejan en un rango de -50 C a

200 C mediante una termo resistencia PT100, y además mostrar dicha temperatura en el display del LOGO.

En el módulo analógico de ampliación AM2 PT100 del LOGO los sensores se pueden conectar a 2 hilos y a 3 hilos. En el modo de conexión a 2 hilos no se produce ninguna corrección del error provocado por la resistencia óhmica del cable de medida. Así que para evitar ese error se tiene que insertar un puente entre las conexiones M1+ e IC1.



Fig.13 Mòdulo AM2

Ahí se puede observar perfectamente la conexión de 3 hilos que se hizo al módulo AM2.



.Fig.14 Conexión de 3 hilos

Aquí podemos ver el display una vez cargado el programa al plc siemens logo:



Fig. 15 PLC SIEMENS LOGO

El siguiente es un diagrama del proceso que sucede en el evaporador, se pueden observar los elementos que luego se tienen que controlar con el programa en el plc.

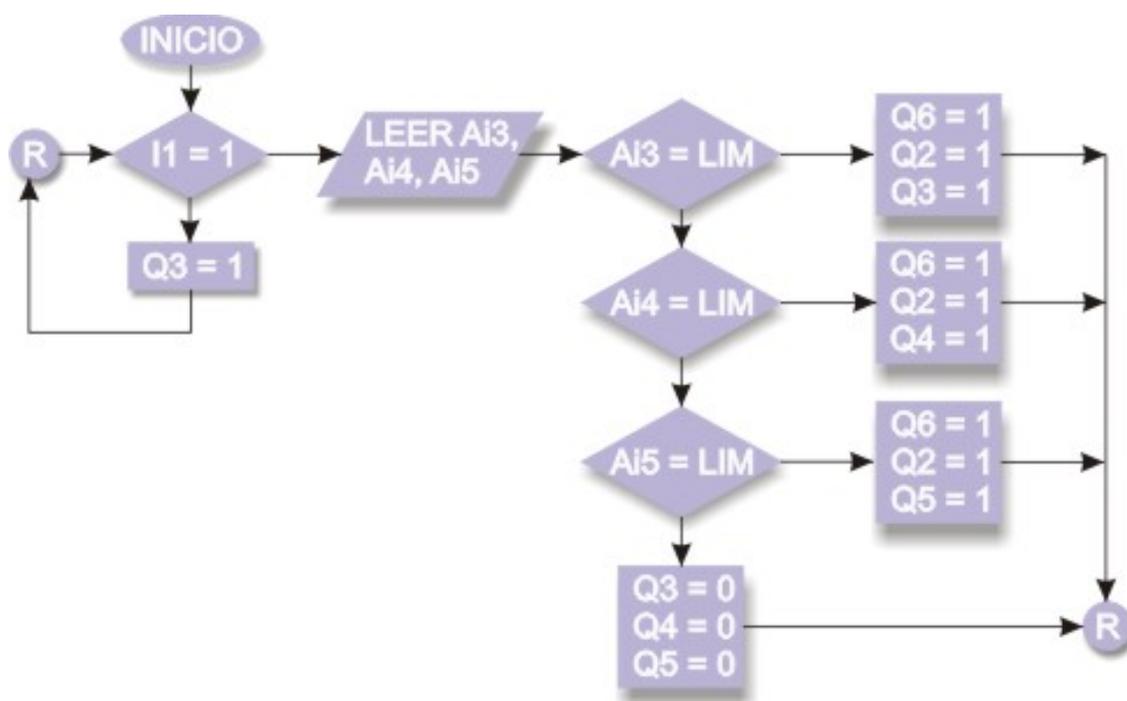


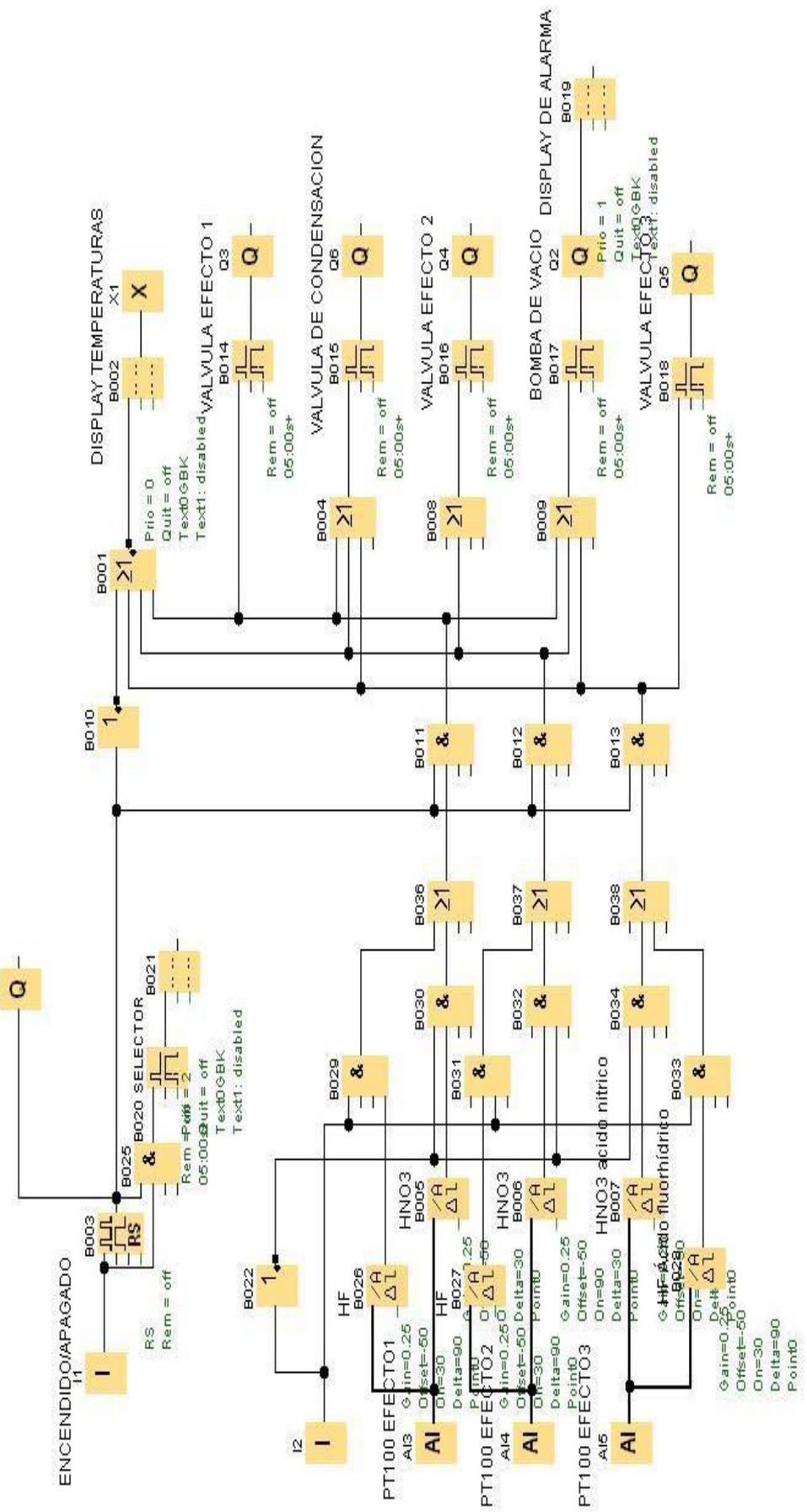
Fig.17 Diagrama de flujo del programa.

De lo anterior tenemos como resultado el siguiente programa del cual tenemos la explicación después del mismo. No debemos olvidar que las conexiones que se realizan al PLC LOGO se hacen de manera directa, ya que como quedó descrito antes esto es una gran ventaja del uso del plc.

En la siguiente pagina podemos observar el programa que surge después del análisis que se hizo del sistema de control del evaporador:

# CONTROL DE EVAPORADORA 3 EFECTOS

## GENERADOR DE CALOR Q1



En la siguiente figura se describe gráficamente como se conecta cada dispositivo hacia el plc LOGO, no olvidemos que las conexiones se hacen de manera directa.

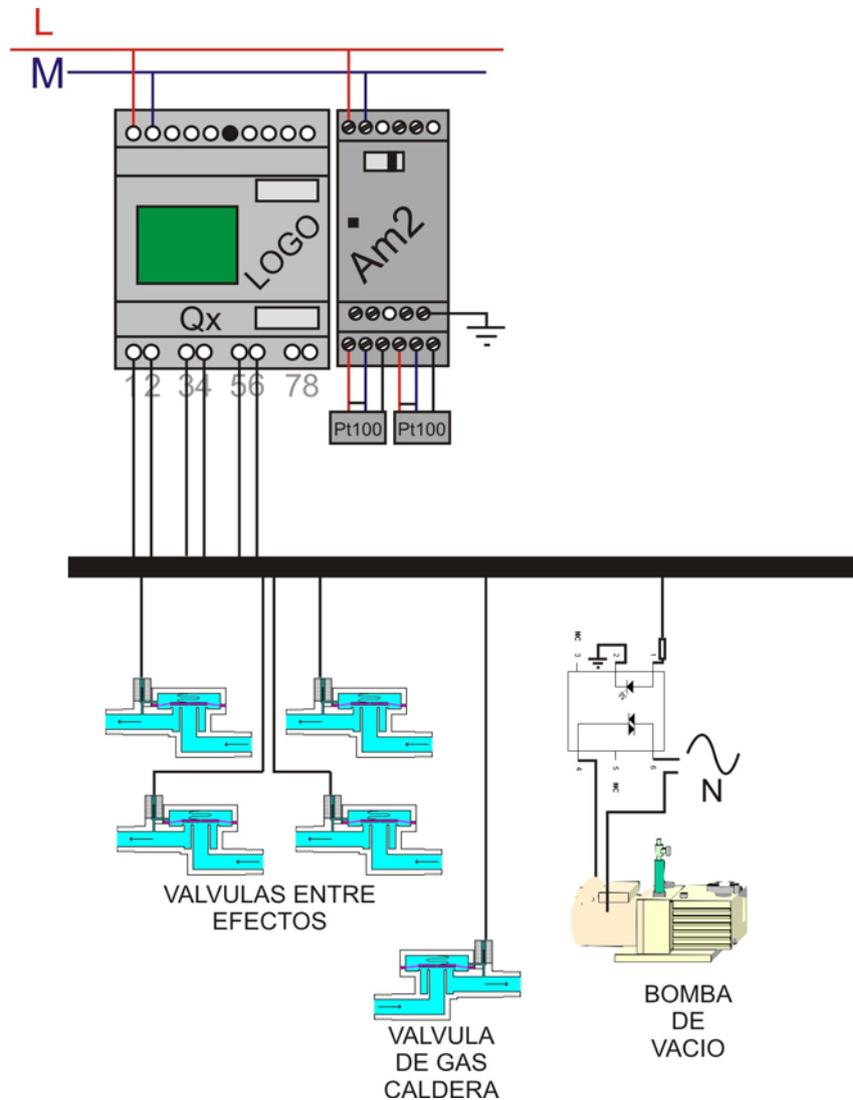


fig.19 Diagrama de conexiones

**Explicación:**

Q3 quien representa a la electroválvulas solenoide “sistema-calefaccion-efecto1” se cerrará en  $i1=0$  (una condición de falso) debido a que Q3 es una válvula normalmente cerrado. El hecho de que el sistema en “paro o STOP” se represente únicamente por el corte del ingreso de

calor y no por el apagado de la fuente misma de calor (caldera de vapor) es debido a que es mejor tener la fuente a una temperatura de trabajo adecuada y no provocar un retraso debido a una temperatura inadecuada o mientras se espera que se vuelva a evaporar lo suficiente el agua en la caldera o cualquiera q sea la fuente de calor o vapor.

Es por ello que cuando  $i1=1$  (una condición verdadera) la válvula se abrirá dando por asentado un estado de “en línea” o “encendido” del sistema.

El hecho de que al final de cada ciclo de trabajo se regrese a “R” es debido a que se representa un ciclo infinito no determinado por, por ejemplo  $i1$ , sino por el estado encendido o apagado del mismo logo, ya que esta esta siempre ejecutando el programa indefinidamente. Por lo tanto se quiso representar como un (estilo C) `while(1)`.

Sí el botón de encendido se encuentra en “off”, Q3 que permite el paso del gas calefactor al sistema será activado, logrando que la electro válvula se cierre y dejando al evaporador en sistema de apagado virtual, ya que al no ingresar vapor el sistema no logra su cometido.

Cuando demos la orden de inicio al PLC, éste automáticamente tendrá lectura en sus entradas y podremos comparar éstos valores.

a) Si el botón de encendido se encuentra en “off”, Q3 que permite el paso del gas calefactor al sistema será activado, logrando que la electro

válvula se cierre y dejando al evaporador en sistema de apagado virtual, ya que al no ingresar vapor el sistema no logra su cometido.

Cuando demos la orden de inicio al PLC, éste automáticamente tendrá lectura en sus entradas y podremos comparar éstos valores.

Sí la temperatura del primer efecto es mayor al límite especificado por el programador, entonces mandamos a cerrar la válvula Q6, la cual lleva al sistema de precipitación (en nuestro caso se procurara un sistema natural, como lo es el de una placa de vidrio superior con cierto grado de inclinación). Así también encendemos la bomba de vacío para succionar todo el gas calefactor posible activando Q2 (paralelamente se abre la válvula) e inmediatamente se cierra Q3 para evitar la succión de vapor desde el sistema de inyección de calor.

En caso contrario, si el primer efecto esta a temperaturas aceptables, se procede a verificar el segundo efecto, realizando la misma operación, activando Q6, Q2 pero en vez de cerrar a Q3 que conecta la fuente de vapor con el primer efecto, se activa Q4 impidiendo así el paso de vapor del primer al segundo efecto, succionando solamente el calor del segundo y tercer efecto y dejando al primer efecto que siga realizando su función, optimizando así al sistema.

Y llegamos así al tercer efecto, en caso que éste este sobre la temperatura de trabajo, se cierra la comunicación con el segundo efecto, y se succiona el calor del tercer efecto.

## **Conclusión.**

Como conclusión este trabajo debe dejar muy claras las ventajas de la utilización de los PLC, es sin duda un área inmensa donde nuestra imaginación se puede aplicar y desarrollar.

Las ventajas del PLC LOGO sobre todo con los módulos que trae y que se le pueden agregar, son de mucha utilidad, los cuales nos ayudan muchísimo como en este caso el modulo AM2 para utilizar el PT100. Con éstos módulos nos ahorramos muchos gastos y tiempo pues se acoplan perfectamente y no se necesitan circuitos externos.

## Bibliografía

1. Simon, A. (1988.) Autómatas programables. Paraninfo.
2. Siemens Documentación técnica Simatic S7-200
3. Badger Walter/(1984) Introducción a la Ingeniería Química,México: Mc Graw Hill.
4. [www.scribd.com](http://www.scribd.com)

## **ANEXOS**

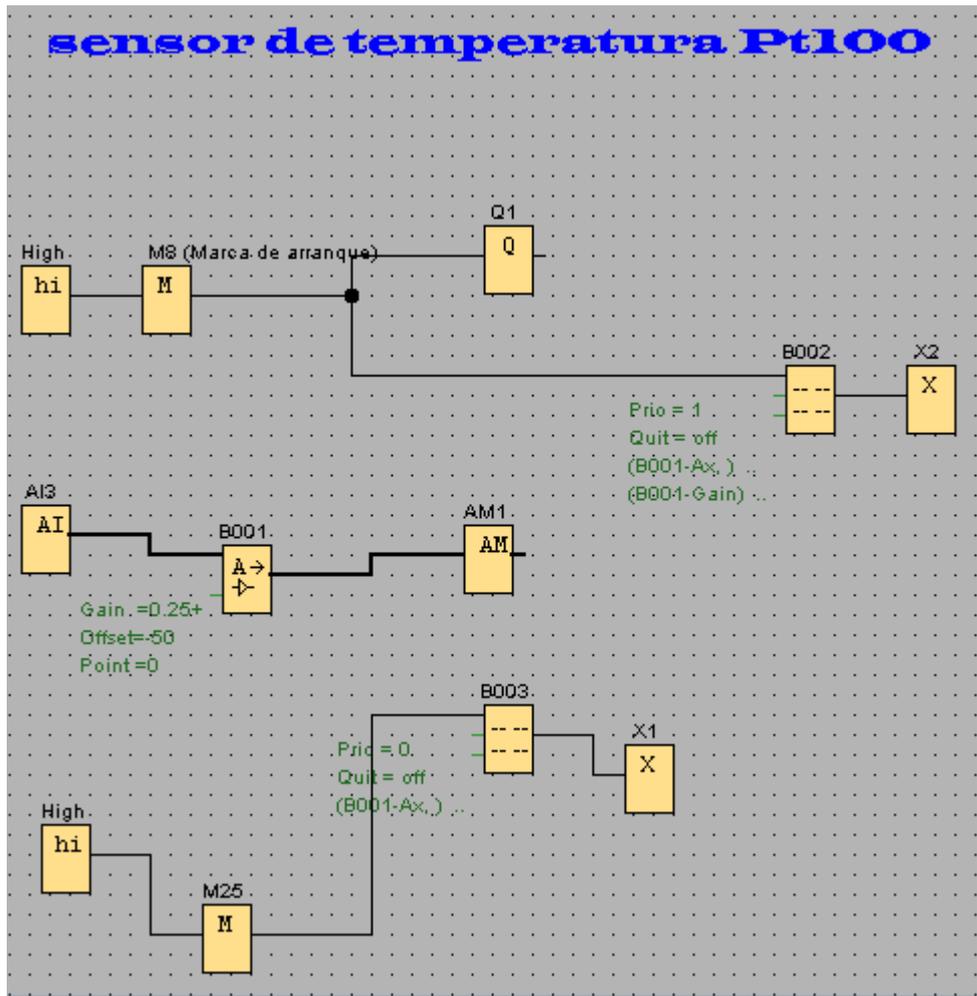


Fig.19 Programa para el pt100

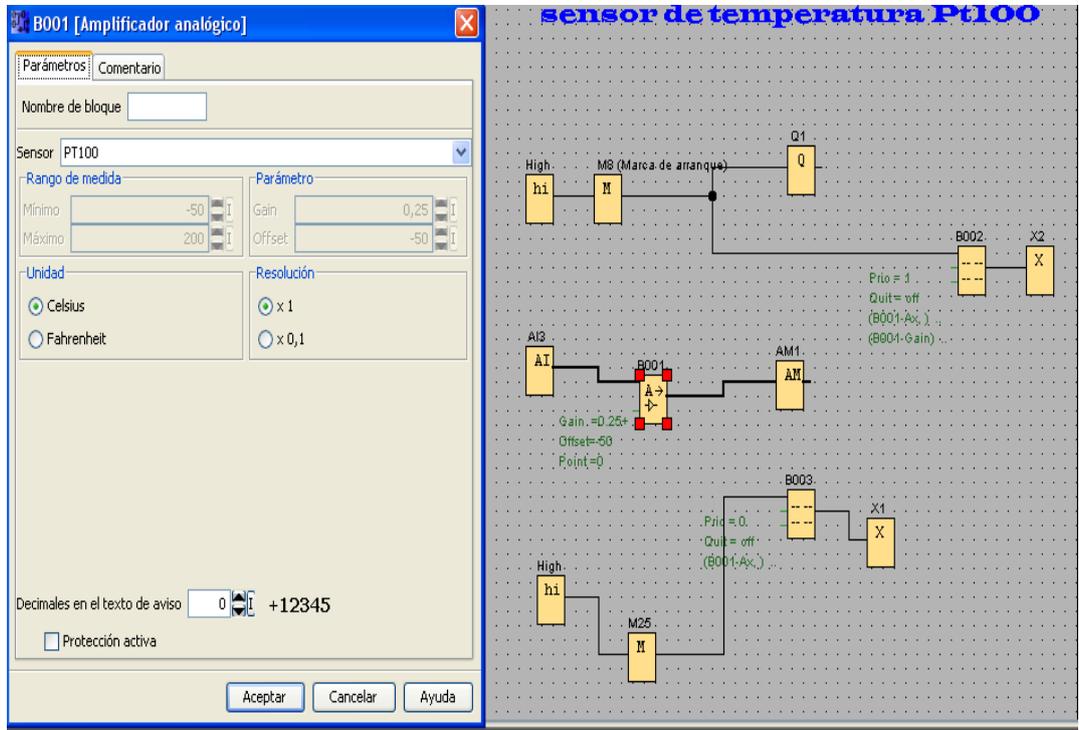


Fig.20 Modificación de parámetros del programa

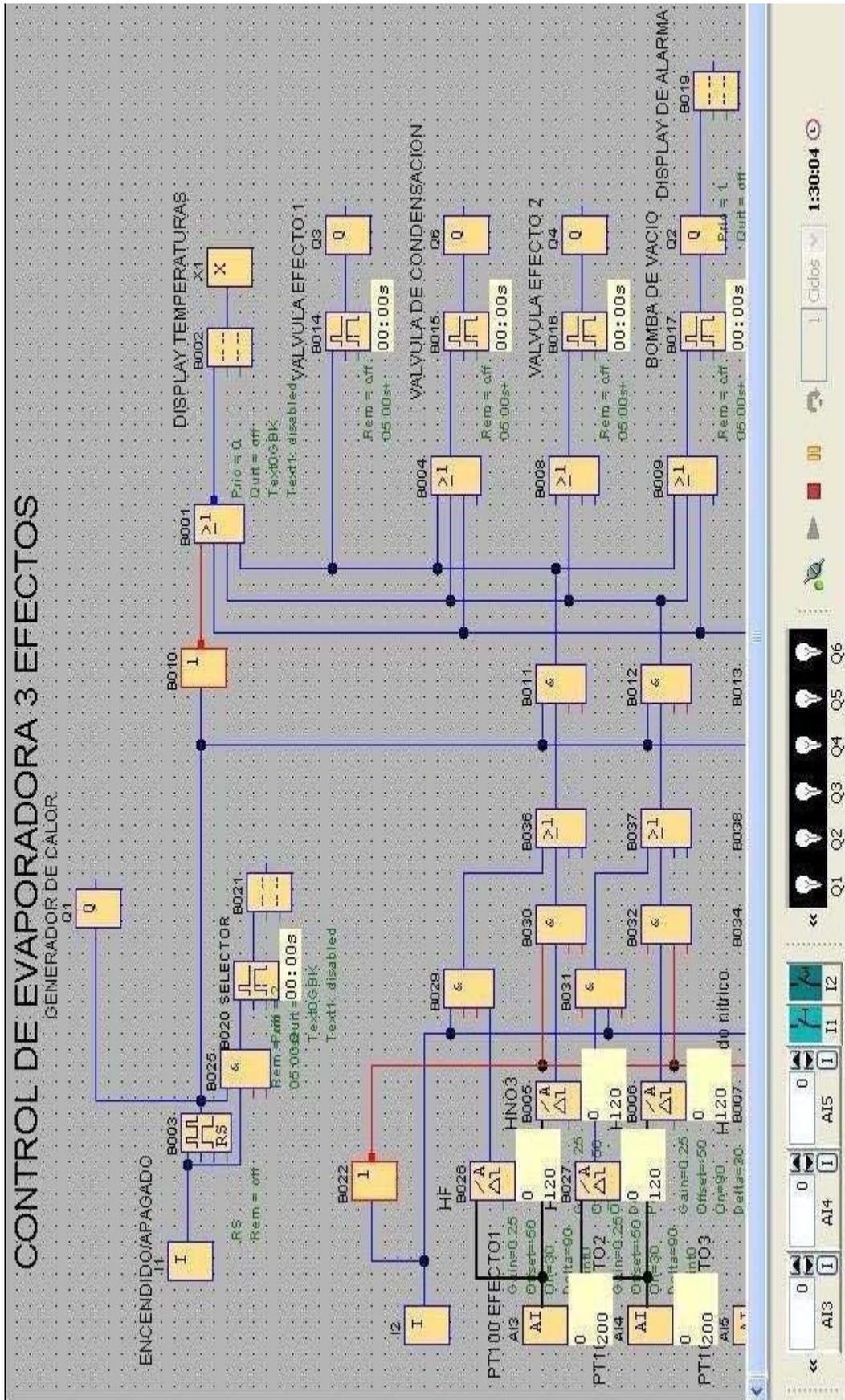


Fig.21 sistema corriendo pero nada encendido

Se presiona una sola vez i1 (switch pulsador), el display de información se enciende dando 5 segundos (configurables por el diseñador y según las especificaciones definidas) para elegir que tipo de muestra vamos a purificar.



Fig.22 Switch 1 presionado

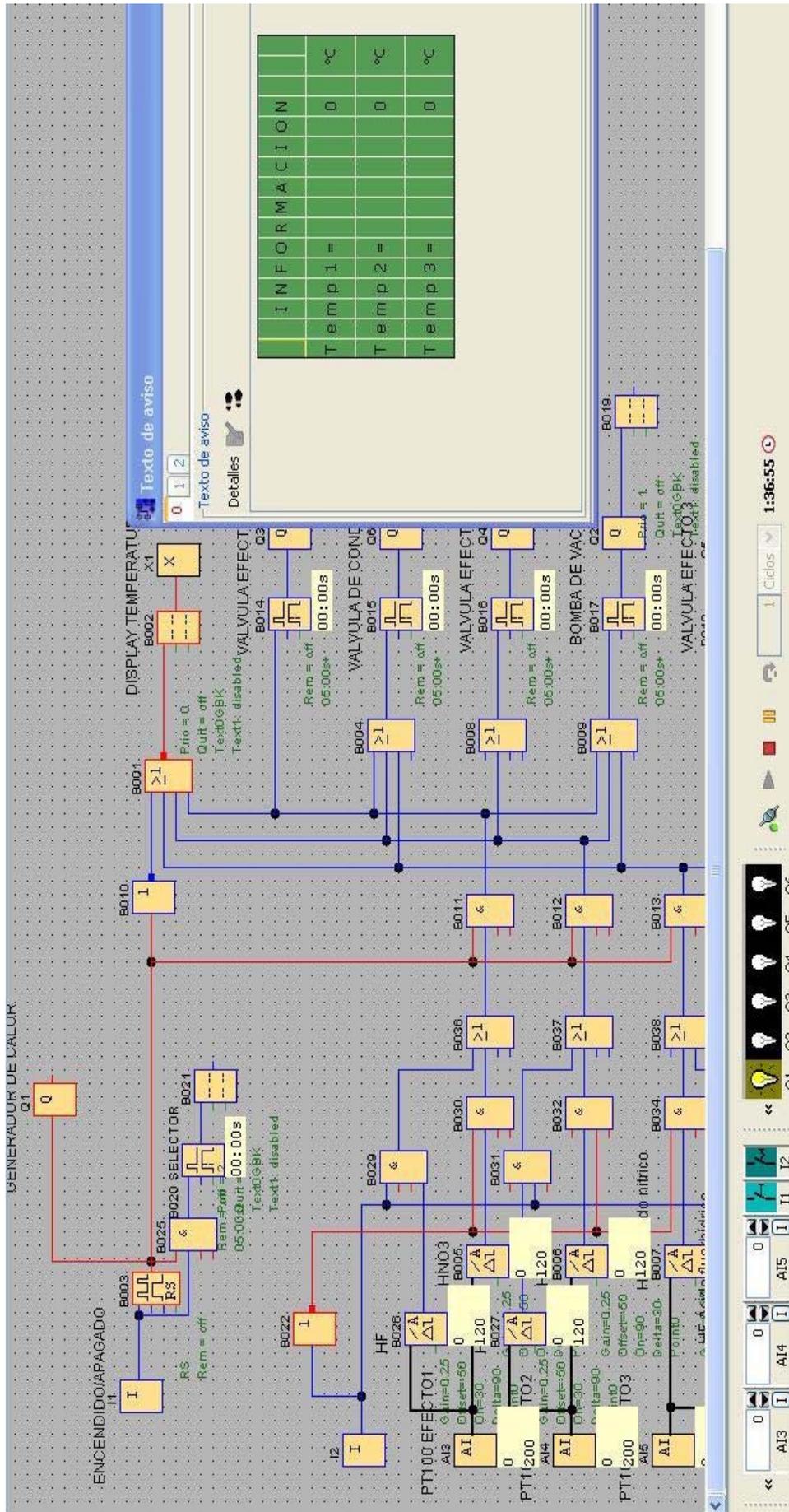


Fig.23 Cuando un efecto sobrepasa el limite configurado

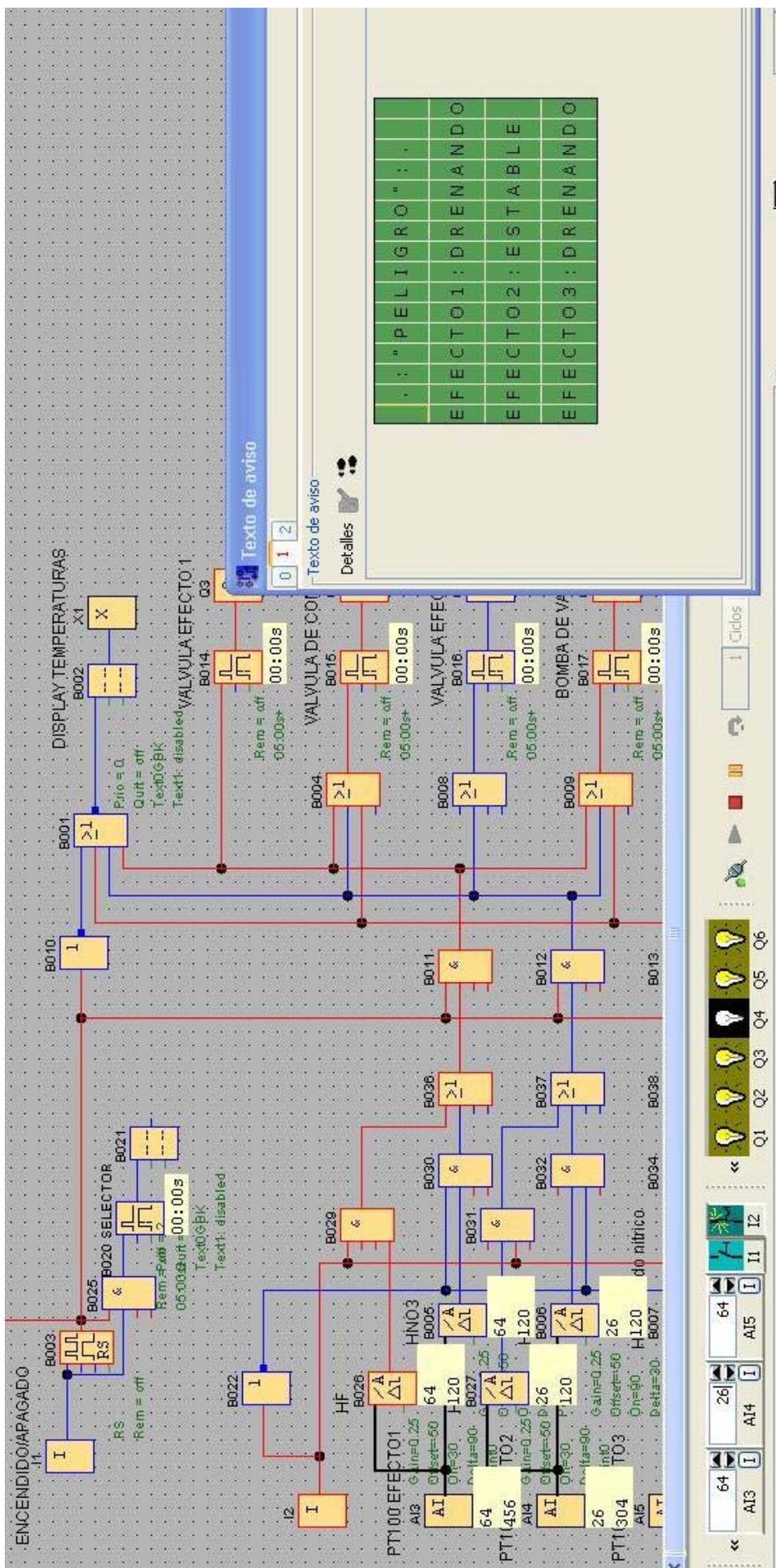


Fig.24 efecto 1 y efecto 3 sobrepasan la especificación, así que se procede a enfriarlos.

