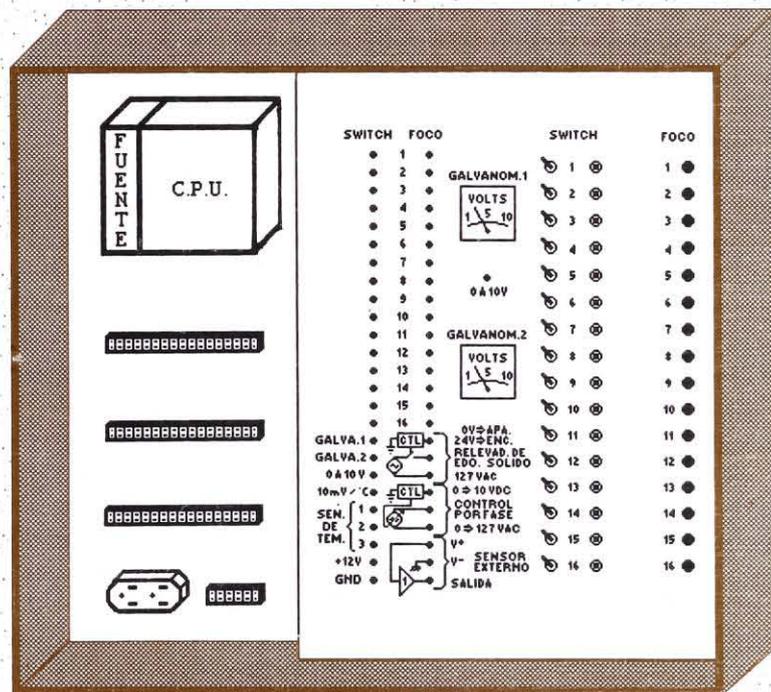


871

# TABLERO SIMULADOR PARA PRÁCTICAS CON CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)

Guadalupe Natalia Valadez Eslava  
Roberto Alfonso Alcántara Ramírez  
Jorge Miguel Jaimes Ponce  
Miguel Magos Rivera



UAM  
QA76.9  
C65  
T4.4



TABLERO SIMULADOR PARA PRÁCTICAS  
CON CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES  
(PLC)



# TABLERO SIMULADOR PARA PRÁCTICAS CON CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)

Guadalupe Natalia Valadez Eslava  
Roberto Alfonso Alcántara Ramírez  
Jorge Miguel Jaimes Ponce  
Miguel Magos Rivera



División de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Departamento de electrónica

2894210

## **UAM-AZCAPOTZALCO**

RECTOR

**Mtro. Víctor Manuel Sosa Godínez**

SECRETARIO

**Mtro. Cristian Eduardo Leriche Guzmán**

COORDINADOR GENERAL DE DESARROLLO ACADÉMICO

**Mtro. Luis Soto Walls**

COORDINADORA DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

**DCG Ma. Teresa Olalde Ramos**

JEFA DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EDITORIALES

**Lic. Silvia Graciela Lona Perales**

ISBN: 970-654-351-1

© **UAM-Azcapotzalco**

Ing. Guadalupe Natalia Valadez Eslava  
Ing. Roberto Alfonso Alcántara Ramírez  
Ing. Jorge Miguel jaimes Ponce  
Ing. Miguel Magos Rivera

Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Azcapotzalco  
Av. San Pablo 180  
Col. Reynosa Tamaulipas  
Delegación Azcapotzalco  
C.P. 02200  
México, D.F.

Sección de producción  
y distribución editoriales  
Tel. 5318-9222/9223  
Fax. 5318-9222

1a. edición, 1999  
2a. reimpresión, 2002

Impreso en México.

## **ÍNDICE**

<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2 MANUAL DE USUARIO</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Introducción</b>	<b>7</b>
2.1.1 Descripción General	7
2.1.2 Conexión del Equipo	9
2.1.3 Especificaciones Técnicas	10
<b>2.2 Conjunto Fuente de Alimentación-PLC</b>	<b>11</b>
2.2.1 Controlador Lógico Programable	11
2.2.2 Fuente de Alimentación	16
<b>2.3 Simuladores para Entradas Digitales</b>	<b>17</b>
2.3.1 Descripción	17
2.3.2 Conexión al PLC	19
<b>2.4 Simuladores para Salidas Digitales</b>	<b>20</b>
2.4.1 Descripción	20
2.4.2 Conexión al PLC	23
<b>2.5 Simuladores para Entradas Analógicas</b>	<b>25</b>
2.5.1 Descripción	25
2.5.2 Conexión al PLC	28
<b>2.6 Simuladores para Salidas Analógicas</b>	<b>28</b>
2.6.1 Descripción	29
2.6.2 Conexión al PLC	31
<b>2.7 Fuente de Alimentación</b>	<b>32</b>
2.7.1 Descripción	32
2.7.2 Conexión al PLC	33
<b>3 MANUAL DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Circuitos Electrónicos</b>	<b>35</b>
3.1.1 Simuladores para Entradas Digitales	35
3.1.2 Simuladores para Salidas Digitales	36
3.1.3 Simuladores para Entradas Analógicas	37
3.1.4 Simuladores para Salidas Analógicas	39
3.1.5 Fuentes de Alimentación	45
<b>3.2 Gabinete</b>	<b>46</b>
3.2.1 Panel	47
3.2.2 Gabinete Exterior	49
<b>4 BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>53</b>



## 1.INTRODUCCIÓN

Desde su aparición al final de la década de 1960, los Controladores Lógicos Programables (PLC's) se han convertido en una pieza fundamental en la automatización y control de procesos, debido entre otras razones, a su capacidad para resistir ambientes industriales, a su gran flexibilidad, a la facilidad de su programación y a su capacidad de ser reprogramado.

Durante las décadas de 1970 y 1980, los nuevos adelantos en la electrónica de estado sólido permitieron agregar a estos controladores nuevas y poderosas características tales como: mayor velocidad y capacidad de procesamiento, manejo de algoritmos de control PID, funciones de temporización, conteo, autodiagnóstico, prueba de errores y posibilidad de comunicación con otros dispositivos, y lo más importante: a costos cada vez menores.

Actualmente, existen controladores con manejo de señales analógicas y capacidad de comunicación en red; el bajo costo y la aparición de micro y nanocontroladores de pocas entradas y salidas pero de precios reducidos han permitido que los controladores lógicos programables se empleen en aplicaciones no industriales: letreros luminosos, semáforos, ascensores, control de iluminación en edificios, juegos mecánicos, etc.

Esta rápida aceptación de los controladores lógicos programables ha requerido de técnicos e ingenieros capacitados en esta tecnología, personal con conocimientos sobre la operación, programación e instalación de estos equipos son cada vez más solicitados por las empresas del país; uno de los obstáculos que se presenta durante la capacitación del personal es la necesidad de contar con procesos a escala que permitan simular aquellos que se encuentran a nivel industrial y que además tengan la suficiente versatilidad para sobre ellos poder ejemplificar la mayor parte de las funciones que un controlador posee.

Es bajo este concepto que se decide realizar el diseño y la construcción de un tablero simulador para prácticas con controladores lógicos programables, el cual permitiese generar y visualizar las señales más comunes que se manejan en un PLC. El equipo fue diseñado de tal forma que su reproducción y mantenimiento fuesen sencillos y de bajo costo, así como protegiendo al controlador de errores de conexión comunes durante el aprendizaje.

Este documento contiene el manual de usuario, así como la descripción del diseño y la construcción del tablero.



## **2 MANUAL DE USUARIO**

### **2.1 Introducción**

#### **2.1.1 Descripción General**

El tablero simulador para prácticas con controladores lógicos programables es un sistema que permite simular, por medio de interruptores, las diversas señales que se generan en un proceso industrial con la finalidad de ser recibidas por las terminales de entrada de un PLC; así mismo, por medio de indicadores luminosos se muestra el estado de aquellos actuadores que se encuentren conectados a las salidas del controlador; con estas facilidades, el usuario puede programar y observar secuencias de control sin necesidad de contar con el proceso físicamente, permitiendo de esta forma, la capacitación sobre el uso, operación y programación de controladores lógicos programables.

El PLC empleado en este tablero es el modelo S5-95U de la marca Siemens con una fuente de alimentación de la misma compañía, los dispositivos empleados para la simulación de las señales de entrada digitales son interruptores y pulsadores (colocados en paralelo entre ellos) que al ser accionados envían una señal compatible con el controlador representando así, aquella que enviaría un sensor colocado dentro de un proceso; se incluyen además indicadores luminosos en las salidas digitales los cuales muestran el estado en que se encontrarían los actuadores aquí conectados. Dado que el modelo de PLC empleado cuenta con canales de entrada y salida para señales analógicas, en el tablero se han instalado dispositivos que permiten la simulación de este tipo de variables; se tienen dos galvanómetros para visualizar el valor de alguna de estas señales, en tanto que para la generación de una señal analógica se cuenta con una pequeña fuente de voltaje variable. Adicionalmente se tienen integrados un relevador de estado sólido y un actuador por fase que, junto con un sensor de temperatura, permiten la implementación de sistemas de control retroalimentados con un manejo de cargas de hasta 1000 Watts. Por último cabe mencionar que la conexión, tanto de las señales de entrada como las de salida al controlador, se realiza mediante tiras de terminales tipo kulka, de tal forma que el conector incluido en el PLC no sufre desgaste debido a la conexión y desconexión continua de sus terminales; esto último permite además, conectar fácilmente otros dispositivos, ya sea un simulador distinto o un proceso real.

Todo el equipo se encuentra dentro de un gabinete construido en madera, y en el cual se encuentran fijos todos los elementos antes mencionados; característica que facilita su transportación.

Los dispositivos brevemente descritos permiten el manejo de prácticamente todas las variables del PLC, en forma fácil y segura, tanto para el usuario como para el equipo mismo. En las siguientes secciones se describen con mayor detalle los alcances del equipo así como la forma de operarlo.

La figura 2.1, muestra una vista general del tablero simulador, los bloques que lo conforman son los siguientes: conjunto fuente de alimentación-PLC, simuladores para entradas digitales, simuladores para salidas digitales, simuladores para entradas analógicas y simuladores para salidas analógicas, así mismo se observan a la izquierda del tablero una

serie de tiras de terminales las cuales facilitan las conexiones entre el controlador y los dispositivos de simulación.

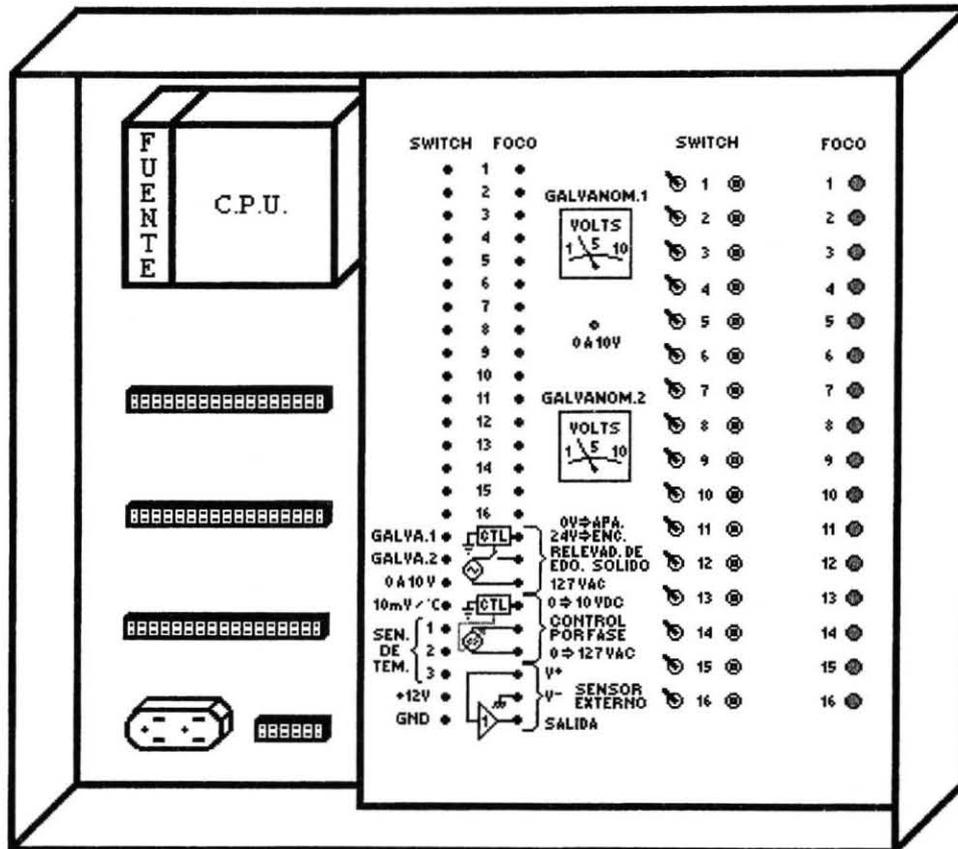
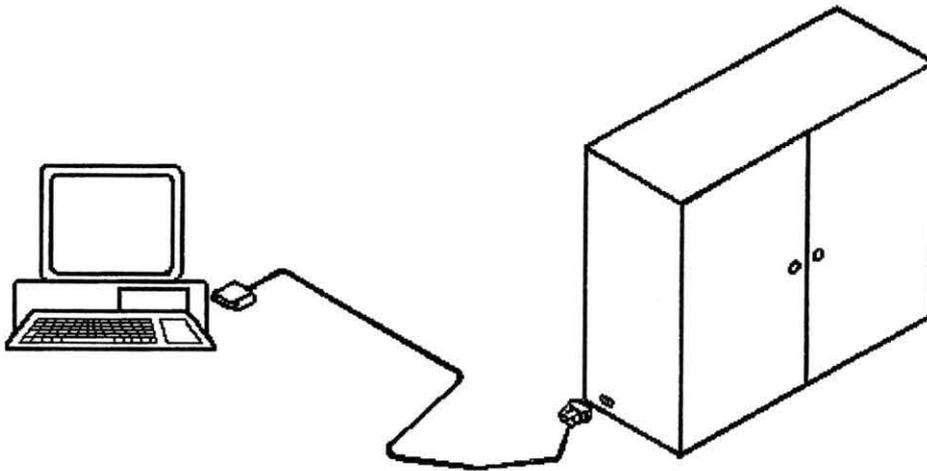


Figura 2.1 Vista general del tablero simulador

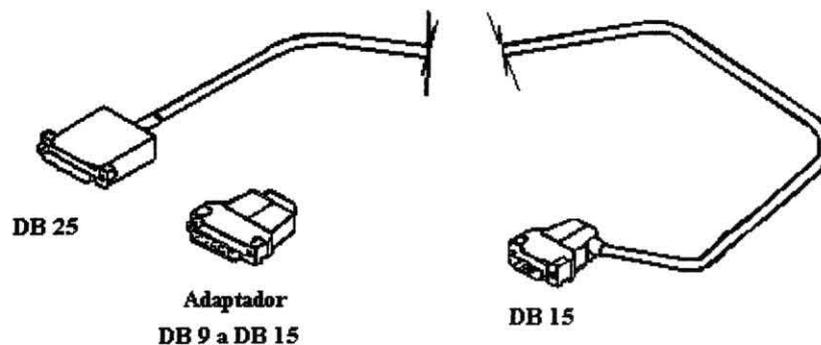
### 2.1.2 Conexión del Equipo

Las únicas conexiones que son necesarias realizar para tener al sistema listo para operar, son la del cable tomacorriente, el cual debe ser conectado a un enchufe que proporcione 127 VAC, y la del cable de conexión a la PC, este último se conecta al puerto serie de la computadora con la cual se programará al PLC, esta conexión se muestra en la figura 2.2.



**Figura 2.2** Conexiones del sistema

La figura 2.3 muestra el cable para la computadora (este es proporcionado por el fabricante del PLC), puede observarse que en uno de sus extremos tiene un conector de 25 terminales (DB-25) y por el otro uno de 15 terminales (DB-15), el primero se conecta al puerto serie de la computadora y el segundo al conector que se encuentra en la pared izquierda del tablero, en caso de que el conector en la computadora sea de 9 terminales como es común en modelos de PC's recientes, será necesario el empleo de un convertidor como el que se muestra en la misma figura.



**Figura 2.3** Conector para la computadora

### 2.1.3 Especificaciones Técnicas

#### Simuladores

Interruptores 1p2t (entradas digitales)	16
Pulsadores (entradas digitales)	16
Focos (salidas digitales)	16
Relevador de estado sólido (salida digital)	1 @ 127 VAC/8Amp
Galvanómetro (E/S analógicas)	2 (0 a 10 VDC)
Actuador por fase (salida analógica)	1 (0 a 127 VAC/8Amp)
Fuente de voltaje variable (entrada analógica)	1 (0 a 10VDC)
Alimentación	127 VAC
Dimensiones	730 x 830 x 316 mm
Peso	4.5 kg

#### Controlador Lógico Programable

Entradas digitales	16 @ 24VDC
Salidas digitales	16 @ 24VDC
Entradas analógicas	8 (0 a 10 volts)
Salidas analógicas	1 (0 a 10 volts ó 0 a 20 mA)
Entradas de alarma	4 (24VDC)
Entradas de contadores	2 (24VDC)
Memoria para programa	8 Kbytes
Memoria para datos	8 Kbytes
Banderas	2048
Temporizadores	128 (0.01 a 9990 seg)
Contadores	128 (0 a 999)
Lenguaje de programación	STEP 5
Alimentación	24 VDC
Dimensiones	145 x 135 x 146 mm
Peso	1.5 kg

#### Fuente PLC

Voltaje de salida	24 VDC
Corriente máxima de salida	1 Amp.
Voltaje de alimentación	127/240 VAC
Dimensiones	45 x 135 x 146 mm
Peso	1kg

## 2.2 Conjunto Fuente de Alimentación-PLC

Este bloque incluye al controlador lógico programable y la fuente de voltaje que proporciona energía al primero, ambos dispositivos, como ya se ha hecho mención, son de la compañía Siemens, la figura 2.4 muestra el conjunto mientras que sus características principales se describen a continuación.

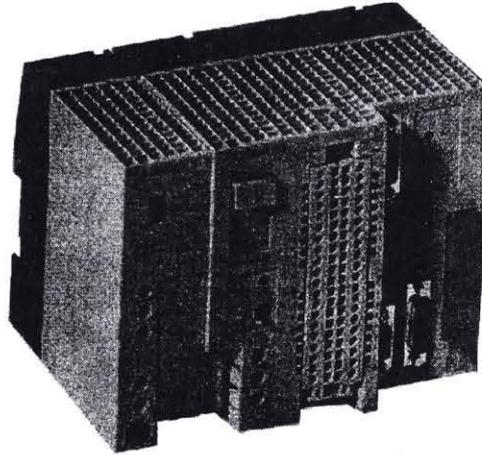


Figura 2.4 Conjunto Fuente de Alimentación-PLC

### 2.2.1 Controlador Lógico Programable

El modelo empleado es el S5-95U, catalogado como un controlador para aplicaciones pequeñas, con módulos de entradas y salidas integrados en el mismo gabinete; la figura 2.5 muestra una vista de la cara frontal del equipo. Las partes que componen al controlador y su función se describen a continuación:

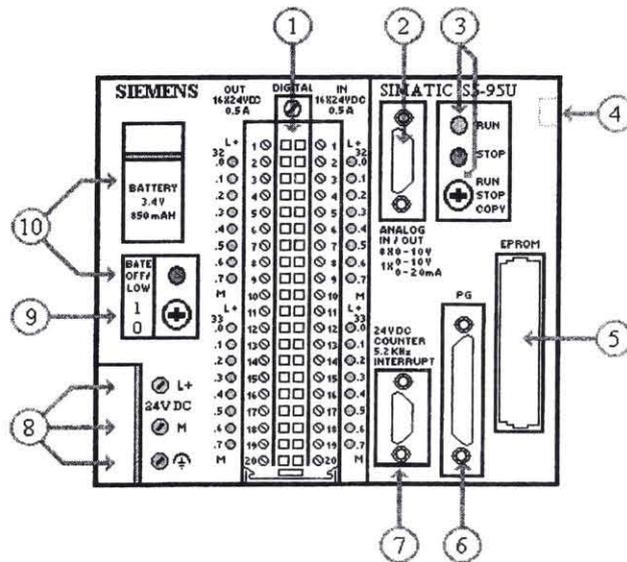
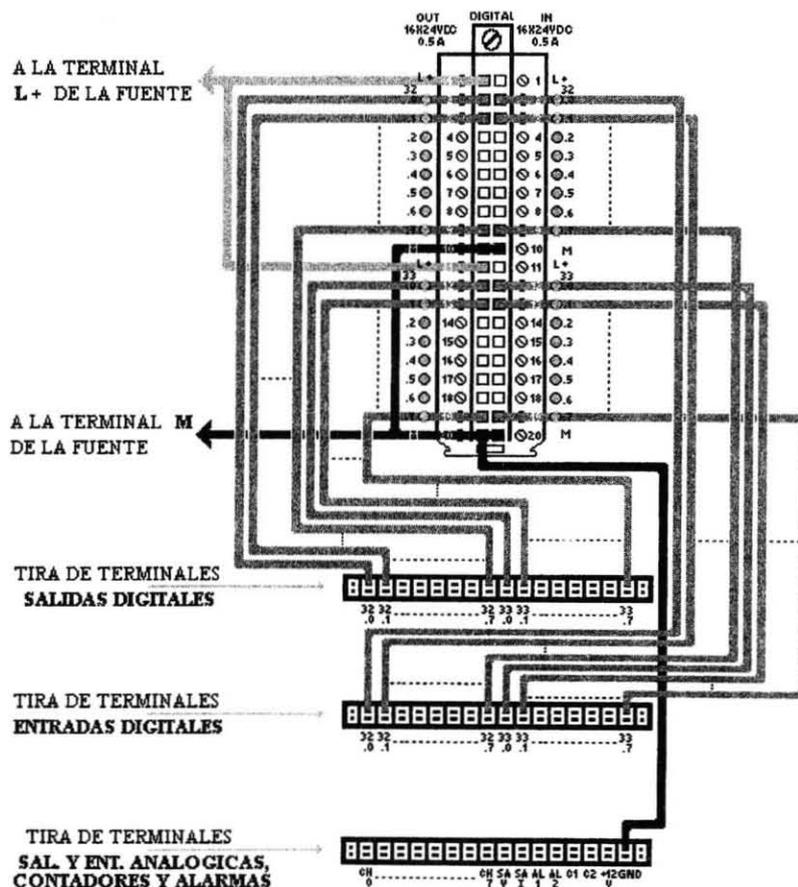


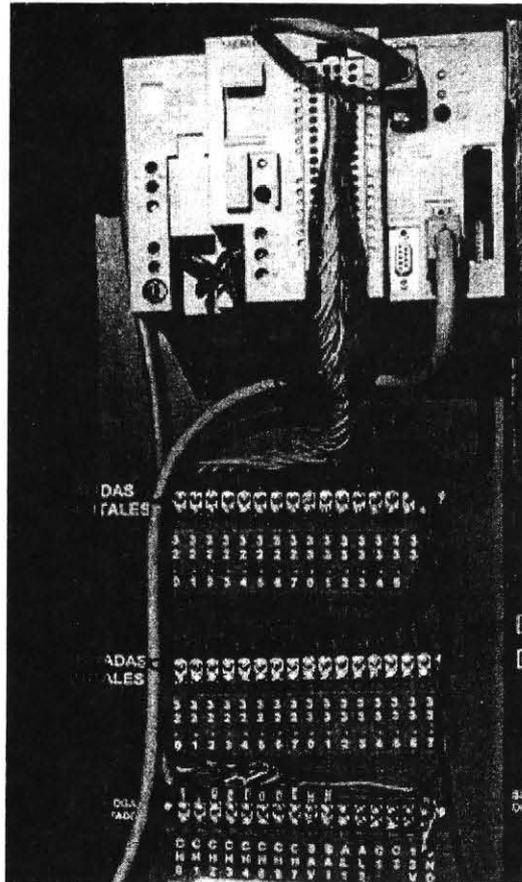
Figura 2.5 Vista frontal del PLC

**Conector para entradas y salidas digitales (1).** Este conector se puede desmontar del gabinete y es por medio de sus terminales tipo tornillo, que los cables con las señales provenientes de los sensores y las que se envían a los actuadores entran o salen del controlador. Las 16 salidas digitales (24 volts DC) se encuentran al lado izquierdo del conector, las direcciones para las 8 primeras van de 32.0 a 32.7, y para las siguientes 8 van de 33.0 a 33.7; las 16 entradas digitales se encuentran al lado derecho del conector y tienen las mismas direcciones que las salidas. El fabricante incluye un pequeño indicador luminoso local para el estado lógico, tanto de las entradas como de las salidas, los cuales se localizan a un costado de las terminales correspondientes. Por último se tienen terminales etiquetadas como **L+** y **M** que permiten energizar a los indicadores, éstas se conectan a las entradas (**8**) de la fuente de alimentación con los mismos nombres.

Para evitar el desgaste de los tornillos del conector debido al uso constante, la conexión de las señales, tanto de entrada como de salida, se realiza por medio de 3 tiras de terminales tipo kulka las cuales se localizan abajo del controlador, la primera corresponde a las salidas digitales, la segunda a las entradas digitales y la última permite la conexión de los canales analógicos, contadores y alarmas, así como de otros dispositivos simuladores, la figura 2.6 muestra la conexión entre el PLC y las tiras de terminales mientras que en la imagen de la figura 2.7 se observa el cableado.



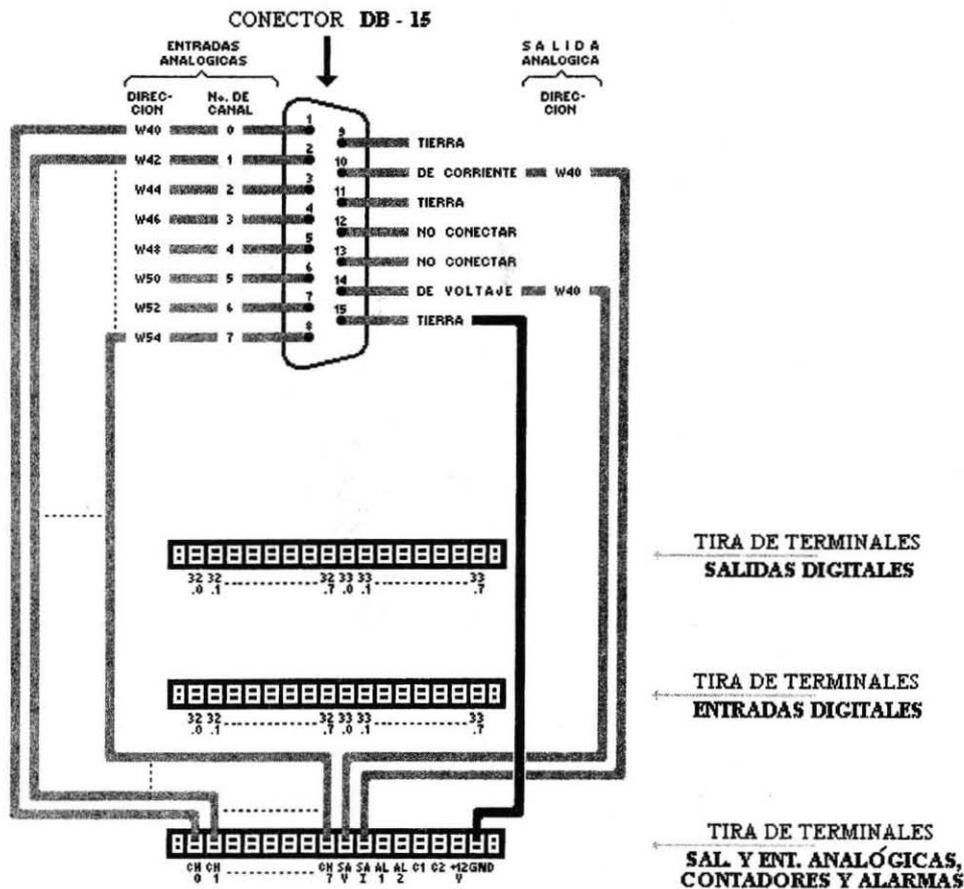
**Figura 2.6** Conexión de las entradas y salidas digitales a las tiras de terminales



**Figura 2.7** Vista del cableado de las entradas y salidas del PLC a las tiras de terminales

**Conector para entradas y salidas analógicas (2).** Por medio de este conector (DB 15) es posible la conexión de las entradas y salidas analógicas que el controlador posee, la única salida analógica puede configurarse en voltaje (0 a 10 volts) o en corriente (0 a 20 mA), teniendo, cada una de éstas, una terminal específica en el conector, la entrada analógica 0 se encuentra direccionada en el canal de entrada 40, la entrada analógica 1 está en el canal de entrada 42 y así sucesivamente hasta la entrada analógica 7 que se encuentra en el canal de entrada 54; la salida analógica se encuentra en el canal de salida 40. La figura 2.8 muestra la disposición de los canales de entrada y salida en el conector y su conexión a la tira de terminales correspondiente.

**Selector e indicadores de Arranque o Paro (3).** Por medio de este interruptor, el usuario puede indicarle al controlador que ejecute la secuencia de instrucciones programadas en su memoria (RUN), o que detenga su operación (STOP). Por razones de seguridad, el PLC pasa automáticamente al estado de paro al detectar algún error, ya sea en el equipo, o si una sección del programa entra en un ciclo de operación infinito. Por medio de dos indicadores luminosos se muestra al usuario el estado actual del equipo: Verde = RUN, Rojo = STOP.



**Figura 2.8** Conector para entradas y salidas analógicas

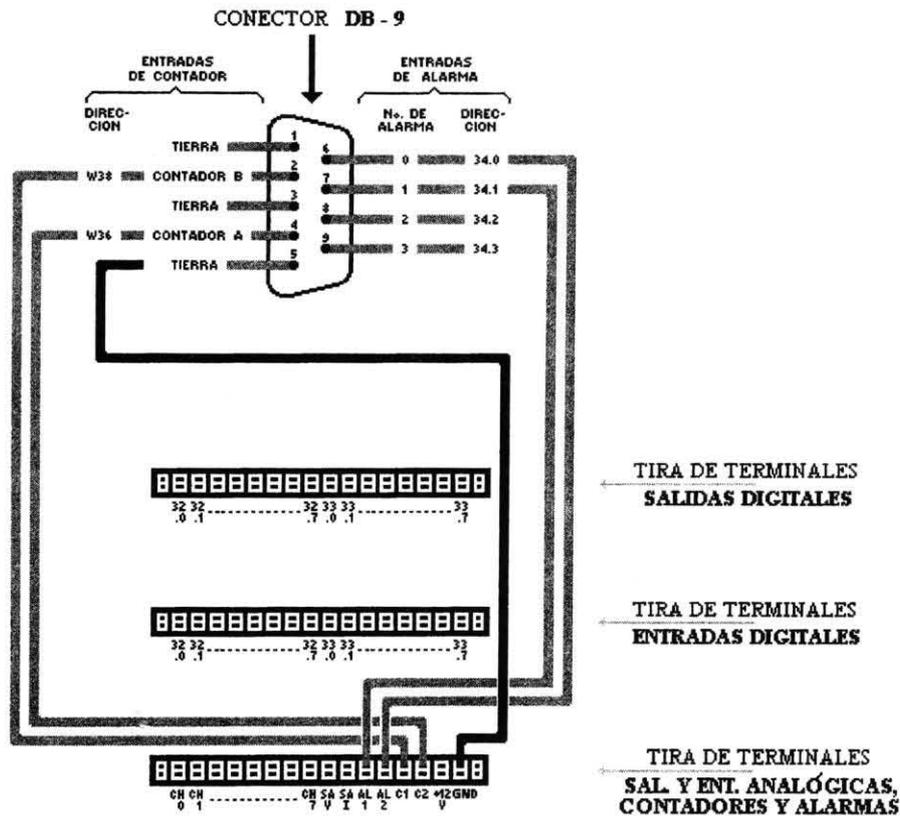
**Conector para conexión de módulos externos (4).** El modelo de PLC empleado, tiene la posibilidad de expandir el número de entradas y/o salidas usando módulos de la familia S5-100U; la conexión de estos módulos al PLC, se realiza por medio del conector marcado en la figura 2.5 con el número 4.

**Compartimento para cartucho de memoria EEPROM (5).** Este compartimento permite la conexión de un cartucho de memoria de tipo no volátil para almacenamiento de programas, es importante mencionar que el controlador cuenta con memoria de tipo volátil con respaldo por batería, por lo que en caso de no estar cargada o no existir, al cortar el suministro de energía al PLC el programa almacenado se pierde.

**Conector para el aparato de programación (6).** Para introducir el programa a ejecutarse por el PLC, el usuario cuenta con dos opciones: mediante un programador portátil tipo calculadora y por medio de una computadora; el dispositivo elegido se conecta al controlador vía el conector marcado en la figura 2.5 con el número 6. En caso de ser un programador portátil, este es proporcionado por el fabricante con el cable correspondiente,

cuando se emplea una computadora es necesario un cable para conectar el PLC al puerto serie de la misma. (ver figura 2.3)

**Conector para entradas de alarmas y contadores (7).** El modelo de PLC empleado, cuenta con terminales adicionales para 4 entradas de alarma y 2 entradas de contador, estas señales se introducen al controlador por medio del conector de 9 polos marcado en la figura 2.5 con el número 7. La disposición de las terminales en el conector, así como su conexión a la tira de terminales correspondiente, se muestra en la figura 2.9.



**Figura 2.9** Distribución de las terminales en el conector de alarmas y contadores.

**Terminales para la fuente de alimentación (8).** En estas terminales se conecta la fuente de energía para el PLC, el modelo S5-95U requiere de 24 VDC con un consumo de corriente de 160 mA. La terminal marcada como L+ corresponde al voltaje de 24 volts, en M se conecta la tierra de la fuente y la restante es la tierra física del equipo.

**Interruptor de encendido (9).** Este interruptor permite energizar al controlador, esto si la fuente se encuentra conectada y funcionando.

**Compartimento para la batería de respaldo y led de falla en batería (10).** La batería que permite respaldar la información almacenada en la memoria volátil del controlador se coloca en este compartimento, se trata de una batería recargable de 3.4 volts y 150 mAh; en caso de que esta no se encuentre o este descargada se tiene un led que indica esta falla.

### 2.2.2 Fuente de Alimentación

La fuente que suministra energía al controlador se observa en la figura 2.10; se trata del modelo PS930 de la compañía Siemens, cuya salida es 24VDC con una corriente máxima de 1 Ampere. La fuente puede conectarse a 115 VAC o 230 VAC, la selección se realiza con un interruptor localizado en la parte superior del gabinete; como puede observarse se tienen dos grupos de terminales, uno cubierto para la entrada (Línea, Neutro y Tierra Física) y otro, sin cubrir, para la salida (24 VDC y Tierra), por último, se cuenta con un fusible para evitar daños en el equipo debido a sobrecargas. La conexión fuente-PLC se muestra en la figura 2.11.

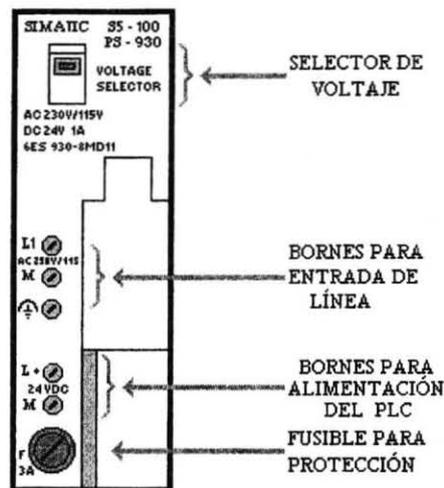


Figura 2.10 Fuente de Alimentación

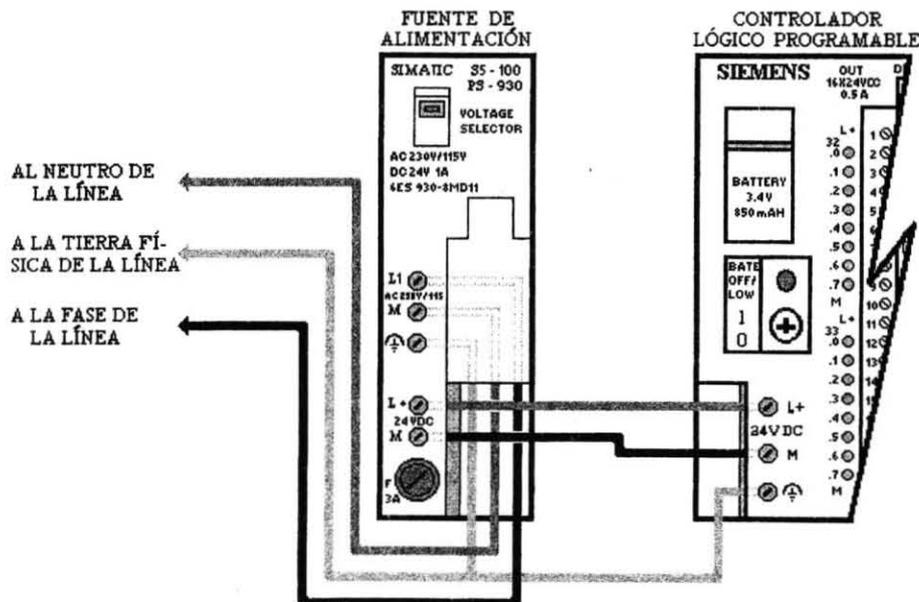
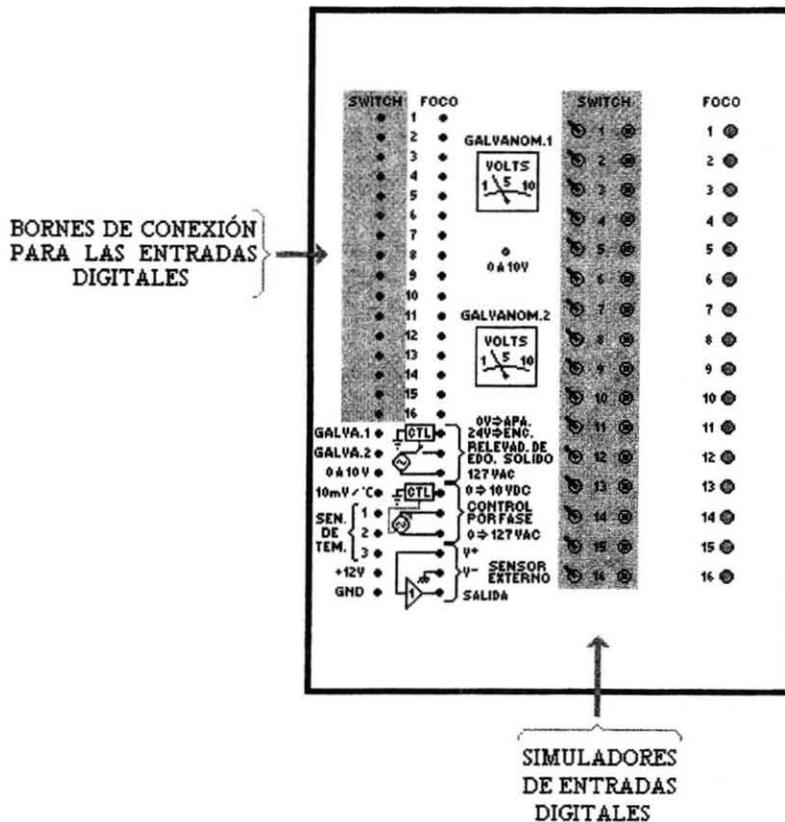


Figura 2.11 Conexión Fuente de Alimentación-Controlador Lógico Programable

## 2.3 Simuladores para Entradas Digitales

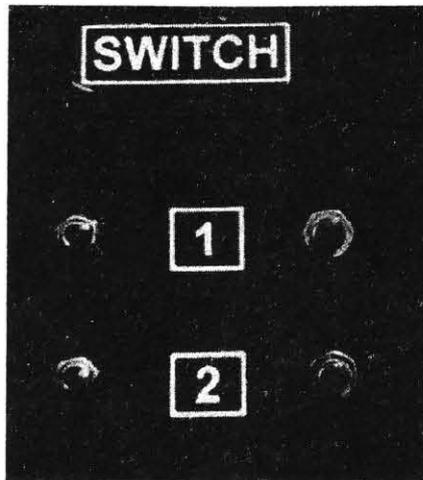
### 2.3.1 Descripción

Como se mencionó en la sección anterior, el controlador tiene integradas 16 entradas de tipo digital, para simularlas el tablero cuenta con igual número de botones e interruptores; la figura 2.12, muestra la ubicación de estos dispositivos dentro del tablero.

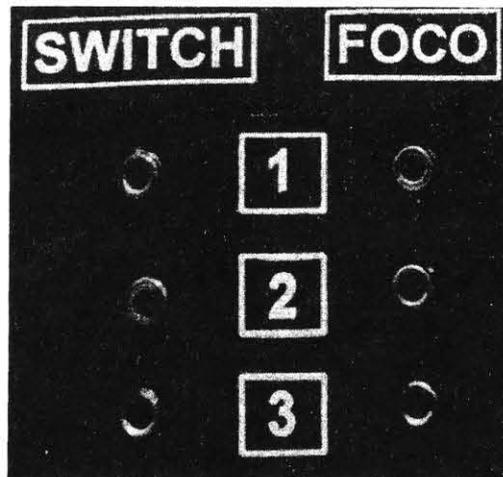


**Figura 2.12** Ubicación de los botones e interruptores dentro del tablero

Puede observarse al centro del tablero una serie de interruptores numerados del 1 al 16, y junto a éstos el mismo número de botones; los interruptores permiten simular el cambio de estado de algún sensor durante un periodo largo, mientras que los botones simulan la acción de un pulsador dentro del proceso; las señales generadas se tienen disponibles en 16 bornes, correspondiendo el número del borne con el del interruptor o botón, es importante indicar que los interruptores y los botones marcados con el mismo número se encuentran conectados en paralelo, por lo que el accionamiento de cualquiera de estos enviará al borne correspondiente un nivel de voltaje alto compatible con las entradas digitales del PLC. Las figuras 2.13 y 2.14 muestran vistas parciales de los botones e interruptores así como de sus respectivos bornes de conexión.



**Figura 2.13** Vista parcial de los simuladores de entradas digitales



**Figura 2.14** Vista parcial de los bornes de conexión de los simuladores de entradas digitales (Switch)

### 2.3.2 Conexión al PLC

En la sección 2.2.1, se describió como las entradas y salidas digitales del PLC son accedidas por medio de tiras de terminales, por lo que si el usuario desea simular una señal con un interruptor debe conectar un cable entre el borne correspondiente y la terminal de la entrada digital elegida. La figura 2.15, muestra las conexiones a realizar para simular con los interruptores 1 y 3 información que llegue a las entradas digitales 32.4 y 32.7 respectivamente.

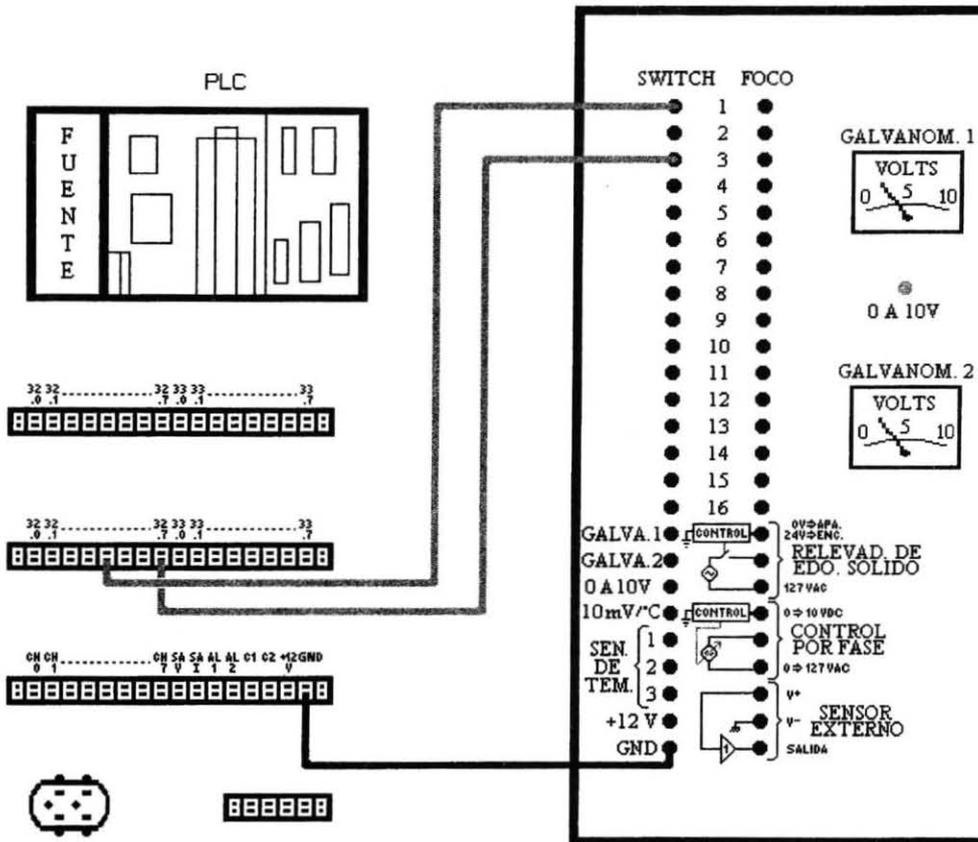


Figura 2.15 Ejemplo de conexión de los interruptores al PLC

Las conexiones entre los bornes y las tiras de terminales se realiza por medio de cables con una zapata en "U" en el extremo que se conecta a las terminales y un conector tipo banana para el borne, en la figura 2.16 se observa uno de éstos. Para facilitar la conexión se tienen cables en cuatro longitudes distintas: 20, 35, 45 y 60 centímetros.

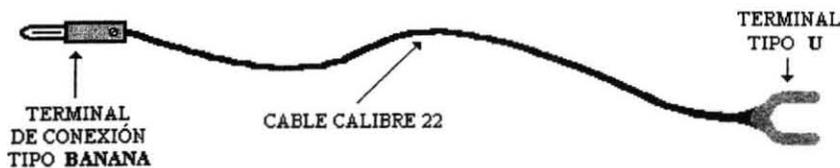


Figura 2.16 Cable de conexión

## 2.4 Simuladores para Salidas Digitales

### 2.4.1 Descripción

Se emplearon 16 focos para simular el estado de las salidas digitales del PLC, uno por cada salida; además se cuenta con un relevador de estado sólido que, activado por cualquier salida digital, permite el manejo de cargas resistivas de hasta 1000 Watts. La figura 2.17, muestra la ubicación de los dispositivos en el tablero.

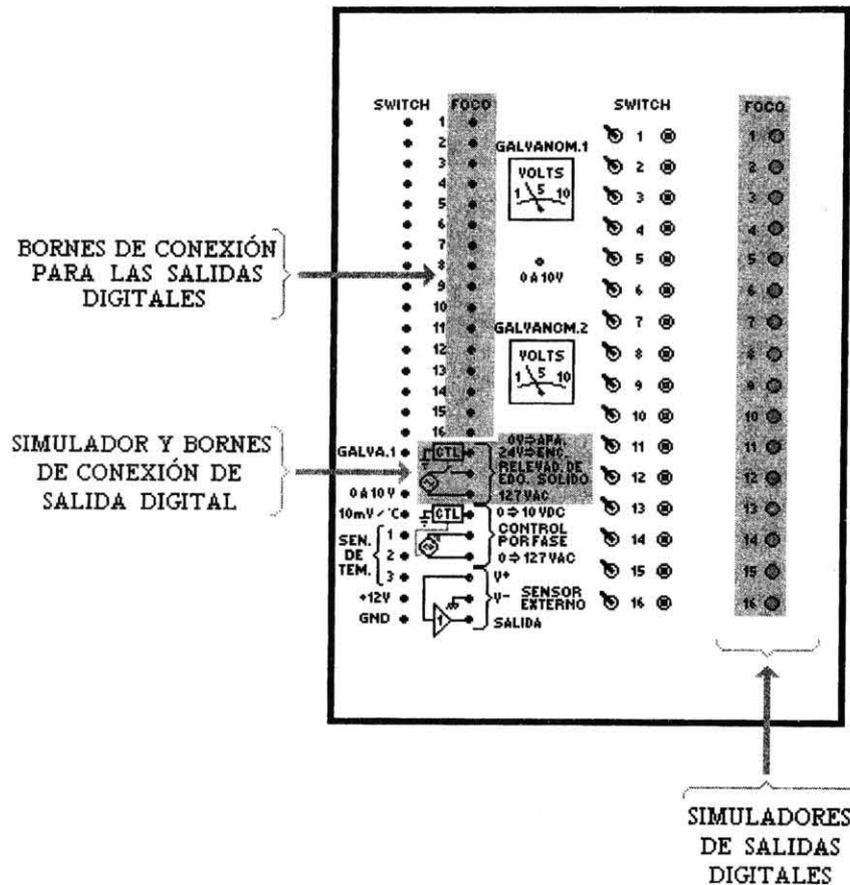
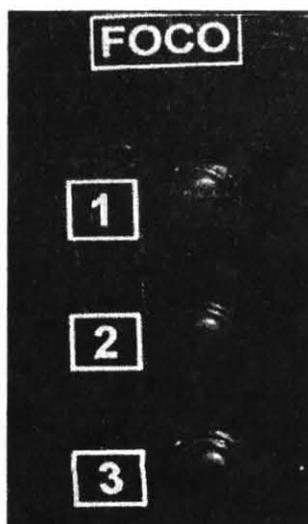
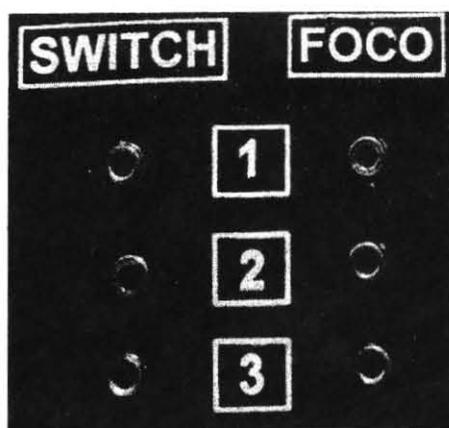


Figura 2.17 Ubicación de los focos y de los bornes del relevador dentro del tablero

Cada uno de los focos se encuentra numerado para relacionarlo fácilmente con su borne de conexión, de esta forma cuando en uno de los bornes se presenta un nivel alto proveniente del PLC, el foco correspondiente se enciende. Las figuras 2.18 y 2.19 muestran los focos y sus bornes de conexión.



**Figura 2.18** Simuladores de salidas digitales.



**Figura 2.19** Vista parcial de los bornes de conexión para los simuladores de salidas digitales (Foco)

El relevador de estado sólido se encuentra oculto en el tablero, teniendo acceso a sus terminales por medio de los bornes agrupados en la etiqueta "Relevador de Estado Sólido" la función de cada uno de ellos se describe a continuación:

**Control.** En este borne se recibe la salida digital del PLC con la cual se desea controlar el funcionamiento del relevador, un nivel lógico de "1" provocará que el relevador se cierre, mientras que un "0" hará que éste se abra.

**Carga.** Es en los dos últimos bornes en los cuales se conecta la carga que se desea controlar; cuando un nivel alto (24 VDC) se presenta en la entrada de control, un voltaje de 127 VAC es conectado en las terminales de salida; la corriente máxima que se maneja en ésta es de 8 Amperes con carga puramente resistiva.



**Figura 2.20** Bornes de conexión para el relevador de estado sólido.

Para facilitar la conexión de algunos procesos al relevador de estado sólido; se incluyen dos contactos eléctricos los cuales pueden ser energizados, por medio de un par de cables, desde los bornes de carga.



**Figura 2.21** Contacto eléctrico incluido en el tablero

### 2.4.2 Conexión al PLC

La primera de las tiras de terminales colocada abajo del controlador es la que maneja las salidas digitales, por ello para observar en el simulador el estado de alguna de éstas es necesario conectar la terminal correspondiente al borne asociado al foco que se desea emplear. La figura 2.22 muestra las conexiones necesarias para poder observar en los focos 3 y 7 del tablero, el valor de las salidas 32.4 y 33.2 del PLC.

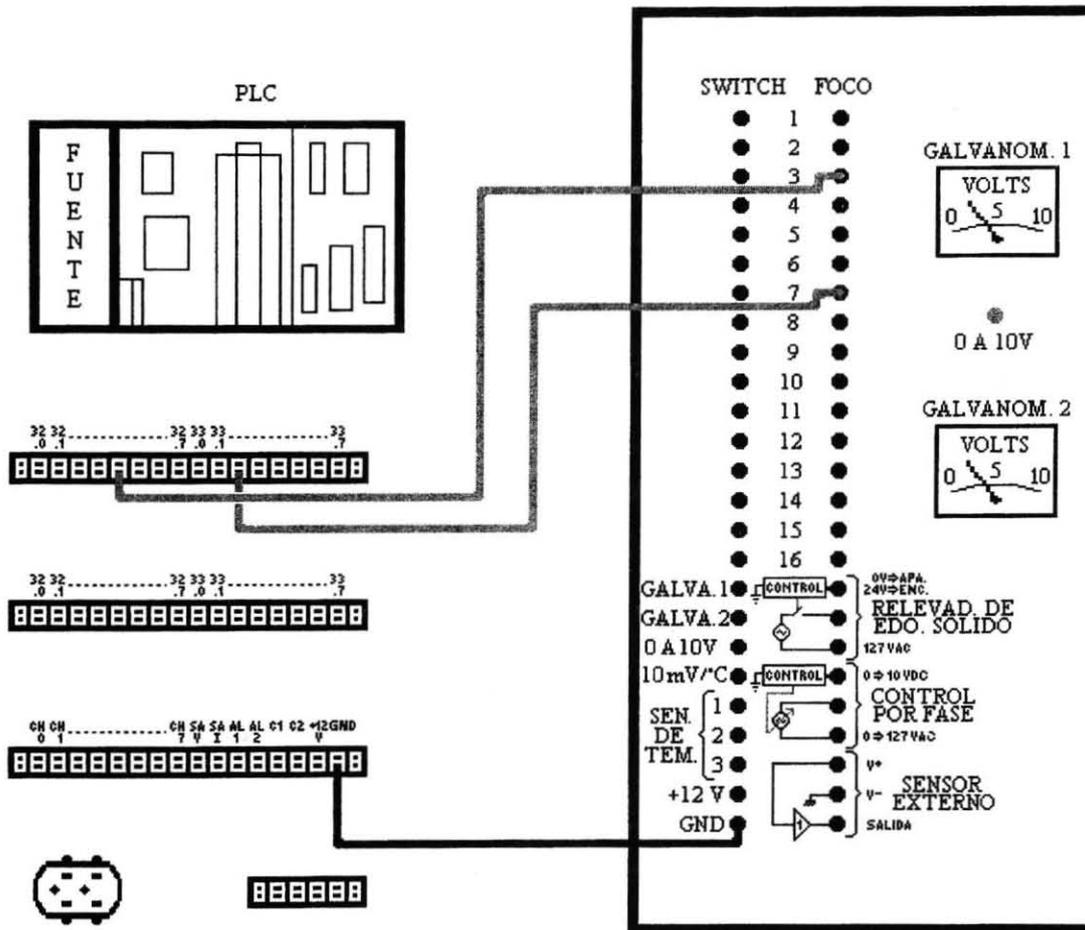


Figura 2.22 Ejemplo de conexión de los focos

En la figura 2.23, se muestra un ejemplo en el cual se emplea el relevador de estado sólido para controlar el encendido de un elemento calefactor. En este caso se utiliza la salida digital 32.5 para controlar el encendido del relevador, puede observarse que las terminales de carga se conectaron a uno de los contactos del tablero en donde a su vez se conectó la resistencia de calefacción; la misma salida digital se envía al foco número 4 con la finalidad de visualizar el estado del relevador.

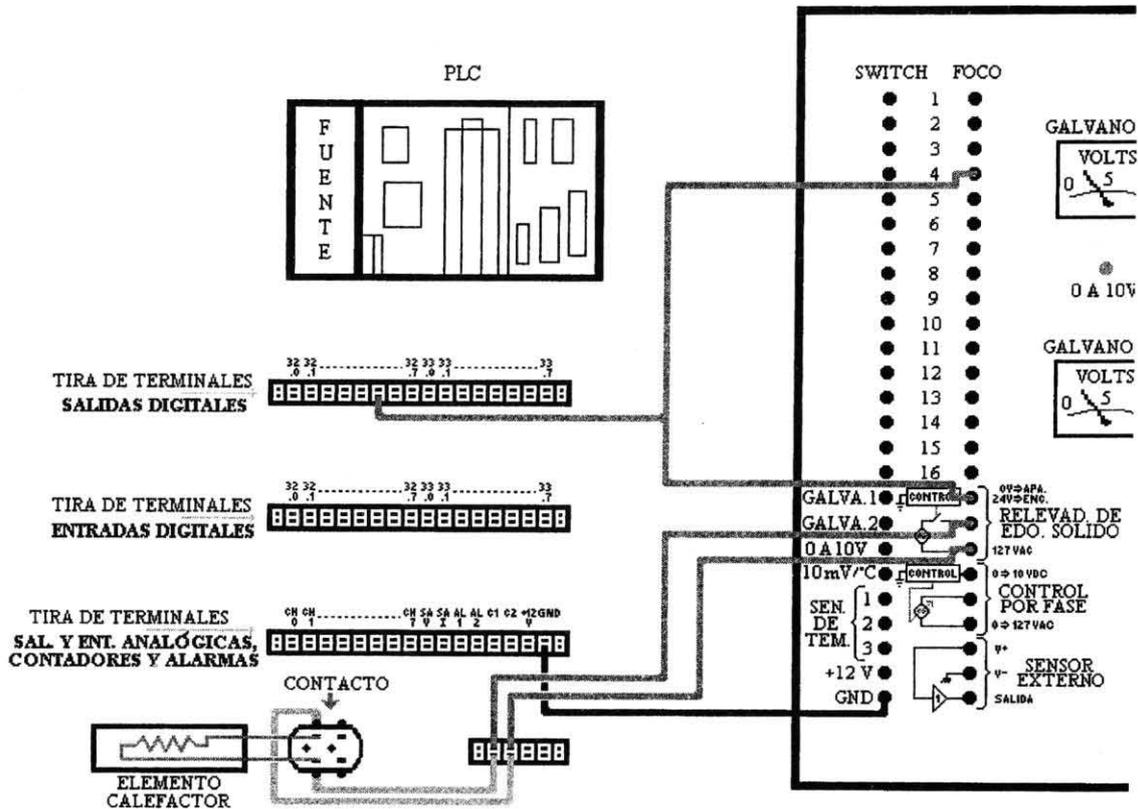


Figura 2.23 Ejemplo de conexión del relevador de estado sólido.

## 2.5 Simuladores para Entradas Analógicas

El tablero simulador cuenta con dos tipos de dispositivos que proporcionan señales analógicas al PLC, el primero es un circuito divisor de voltaje que proporciona de 0 a 10 volts, el segundo es un sensor que entrega una señal de voltaje proporcional a la temperatura a la que se encuentra ( $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ ). Adicionalmente se tienen terminales para conectar una señal de voltaje generada por algún otro tipo de dispositivo.

### 2.5.1 Descripción

El circuito divisor de voltaje está diseñado para proporcionar, con la ayuda de un potenciómetro, un voltaje de 0 a 10 volts, el cual se encuentra disponible en el borne etiquetado: **0 a 10 V**; el segundo dispositivo que proporciona una señal analógica es un sensor de temperatura, este elemento entrega una señal de voltaje proporcional a la temperatura a la cual se encuentra, su rango de operación en esta aplicación es de 0 a  $100^\circ\text{C}$  enviando un voltaje de 0 a  $1000\text{mV}$ , esto es  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ . La figura 2.24 muestra la ubicación del potenciómetro y los bornes en los cuales se encuentran disponibles las señales generadas, así como aquellos en los cuales se conecta el sensor de temperatura y la señal de voltaje generada por algún sensor externo.

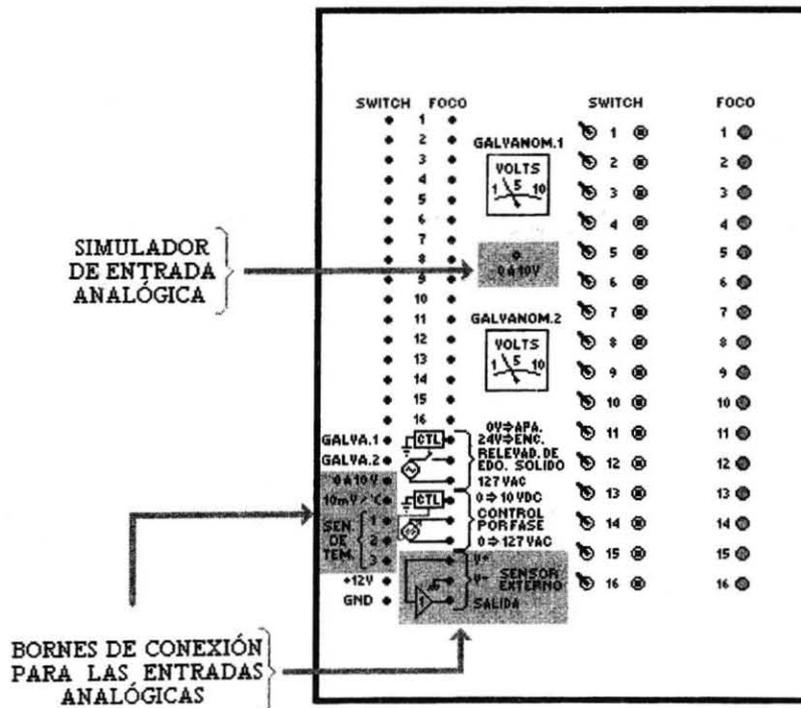


Figura 2.24 Potenciómetro y bornes de conexión de los simuladores de señales analógicas

La figura 2.25 muestra una vista parcial del tablero en la cual se observa el potenciómetro justo abajo del primer galvanómetro.



Figura 2.25 Vista parcial que muestra el simulador de entrada analógica

Como puede observarse en la figura 2.26 cada uno de los bornes del sensor se encuentran etiquetados (1,2 y 3) para facilitar su conexión.

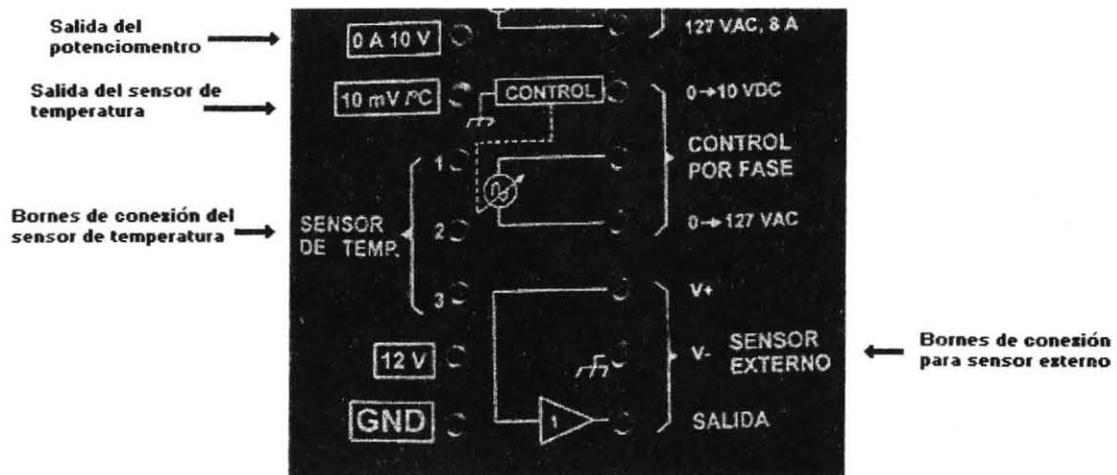
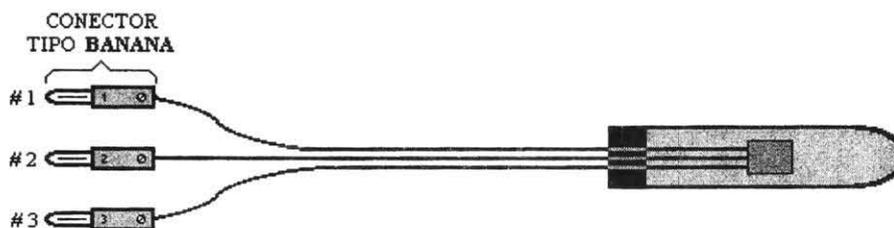


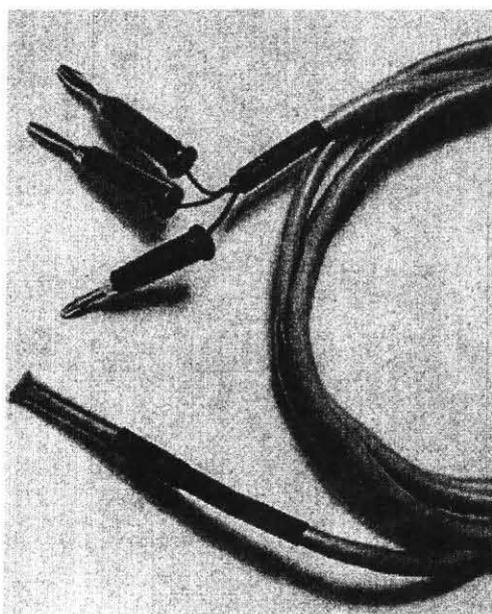
Figura 2.26 Bornes de conexión de los simuladores de entradas analógicas

En la figura 2.27 se muestra, a su vez las etiquetas en las terminales del sensor que corresponden a los bornes en el tablero.



**Figura 2.27** Terminales del sensor de temperatura

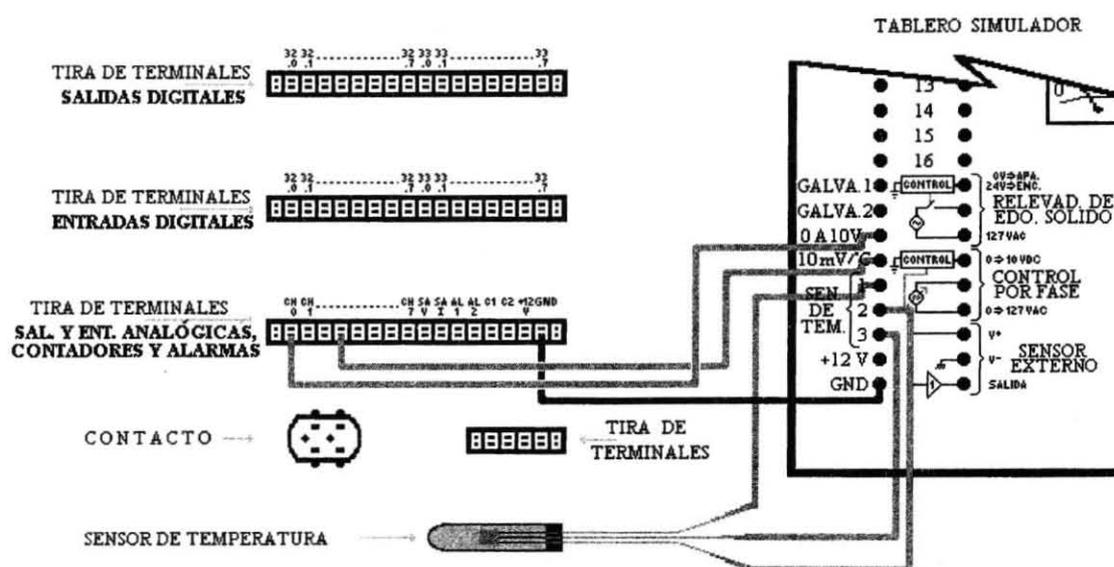
Finalmente, la figura 2.28 muestra una vista del sensor en la que se observa la punta sensora y las terminales de conexión.



**Figura 2.28** Sensor de temperatura

## 2.5.2 Conexión al PLC

Las 8 primeras líneas de la tercera tira de terminales del tablero corresponden a las entradas analógicas del PLC, por lo que para emplear la señal del divisor de voltaje, se debe colocar un cable del borne con etiqueta: **0 a 10 V**, a la terminal correspondiente del canal de entrada. De la misma forma para llevar la señal del sensor de temperatura al controlador se deberá cablear el borne denominado **10mV/°C** a la terminal del canal analógico de entrada seleccionado. La figura 2.29 muestra el cableado necesario para leer, por medio del canal analógico de entrada 0, la señal del divisor de voltaje, además se tiene conectado el sensor de temperatura y su señal se envía al canal de entrada analógica 3 del controlador.



**Figura 2.29** Ejemplo de conexión del sensor de temperatura y de la señal generada por el potenciómetro

## 2.6 Simuladores para Salidas Analógicas

Los dispositivos que el tablero tiene para manejar la salida analógica del controlador son: 2 galvanómetros y 1 actuador por fase; no obstante que se tiene una sola salida, el tener varios galvanómetros permite visualizar el valor, tanto de la salida analógica, como de alguna de las entradas. Por su parte, el actuador por fase es un circuito electrónico que permite regular la energía eléctrica que se le proporciona a una carga resistiva con potencia máxima de 1000 Watts.

### 2.6.1 Descripción

Los galvanómetros tienen un rango de 0 a 10 VDC y sus entradas se encuentran conectadas a bornes al frente del tablero.

El actuador por fase integrado, está diseñado para recibir un voltaje de control en el rango de 0 a 10 VDC, y con base en éste, regular el paso de energía eléctrica a una carga con voltaje de operación de 127 VAC y consumo de corriente máxima de 8 A, teniendo así un funcionamiento similar al de un transformador variable con entrada fija en el primario de 127 VAC y salida variable entre 0 y 127 VAC de acuerdo al valor del voltaje de control; con esta salida, y el sensor de temperatura ya descrito, es posible controlar un proceso de calentamiento en el cual la fuente de calor sea una resistencia y la temperatura no rebase de 100°C. Esto último permite programar diversos algoritmos de control, haciendo uso de funciones integradas de fábrica en el PLC. Los bornes de conexión para la carga pueden, al igual que el relevador de estado sólido descrito en la sección 2.4, conectarse a alguno de los contactos eléctricos para facilitar el manejo de la carga. La figura 2.30, muestra la ubicación de los galvanómetros y de los bornes, tanto de control, como de salida del actuador por fase.

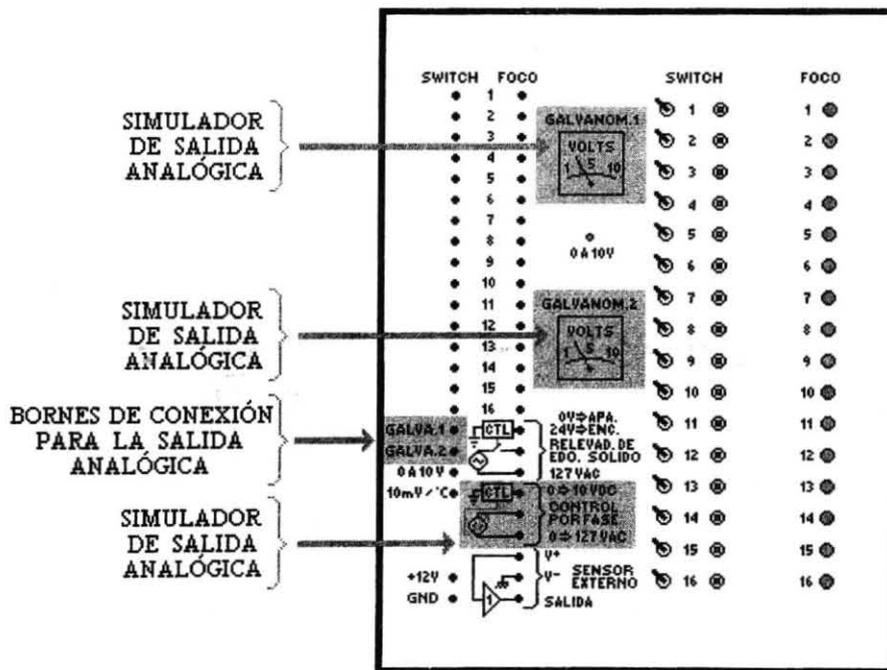


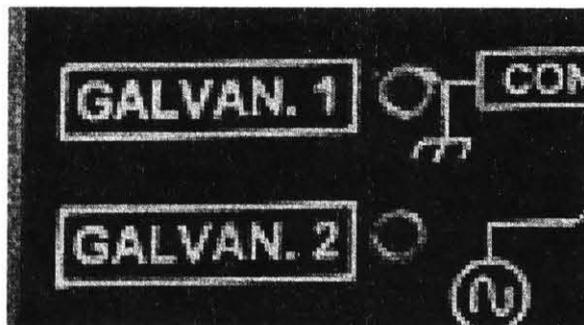
Figura 2.30 Ubicación de los simuladores para salidas analógicas

La figura 2.31 muestra la imagen de uno de los dos galvanómetros con que cuenta el tablero.



**Figura 2.31** Vista de uno de los galvanómetros del tablero

Las terminales que permiten conectar alguna señal para ser desplegada en los galvanómetros se muestran en la imagen de la figura 2.32.



**Figura 2.32** Bornes de conexión de los galvanómetros

## 2.6.2 Conexión al PLC

La señal de salida analógica que el PLC posee se encuentra disponible en la tercera tira de terminales (etiqueta SAV para la salida en voltaje y SAI para la salida en corriente) justo después de las entradas analógicas, por lo que si se desea conectar uno de los galvanómetros o al actuador por fase deberá colocarse un cable de conexión entre esta terminal y el borne correspondiente en el tablero. La figura 2.33 muestra un ejemplo de conexión para la salida analógica de voltaje (SAV) en el cual el actuador por fase regula la cantidad de energía eléctrica de AC que se le proporciona a una carga con base en el voltaje de control enviado desde el PLC; al mismo tiempo esta señal es desplegada en el galvanómetro número 1.

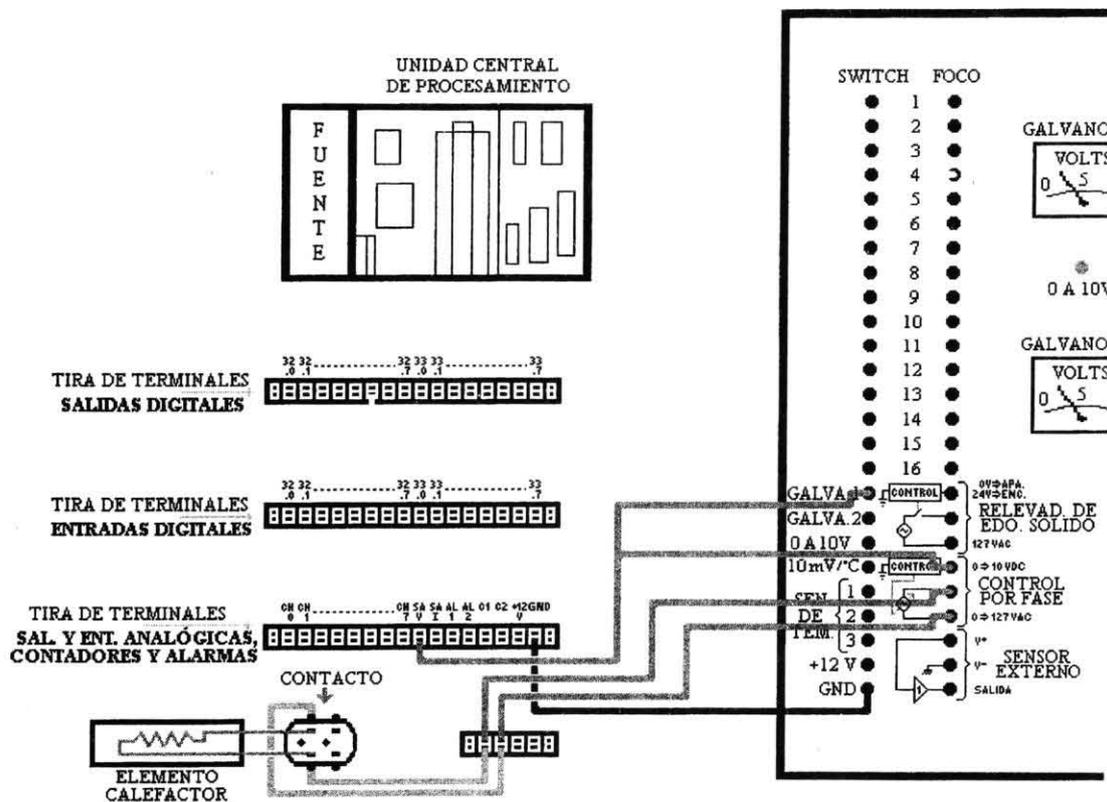


Figura 2.33 Conexión de la salida analógica de voltaje empleando el actuador por fase

## 2.7 Fuente de Alimentación

En las secciones anteriores se describieron los circuitos que permiten simular las distintas señales que el PLC maneja, varios de estos requieren de voltajes de alimentación para efectuar correctamente su trabajo; debido al consumo de corriente de algunos elementos (los focos por ejemplo), no se empleó la fuente del controlador, si no que se optó por construir una propia para este fin.

### 2.7.1 Descripción

La fuente que alimenta a los distintos circuitos del tablero proporciona los siguientes voltajes: 12 VDC a 2 A y 24 VDC a 1 A. Con la finalidad de proporcionar alimentación a algún dispositivo externo, un voltaje de 12 VDC se encuentra disponible, el consumo de corriente en esta salida no debe de rebasar de 100mA para no sobrecargar a la fuente. Las figuras 2.34 y 2.35, muestran la ubicación de los bornes a través de los cuales se tiene acceso a la fuente de alimentación de 12 VDC.

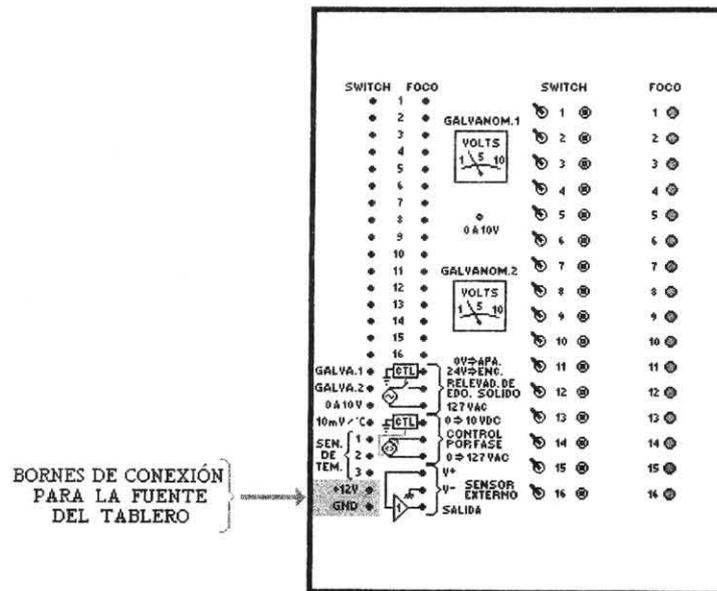


Figura 2.34 Ubicación de los bornes para alimentar dispositivos externos

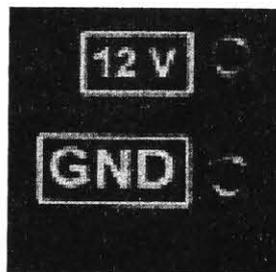
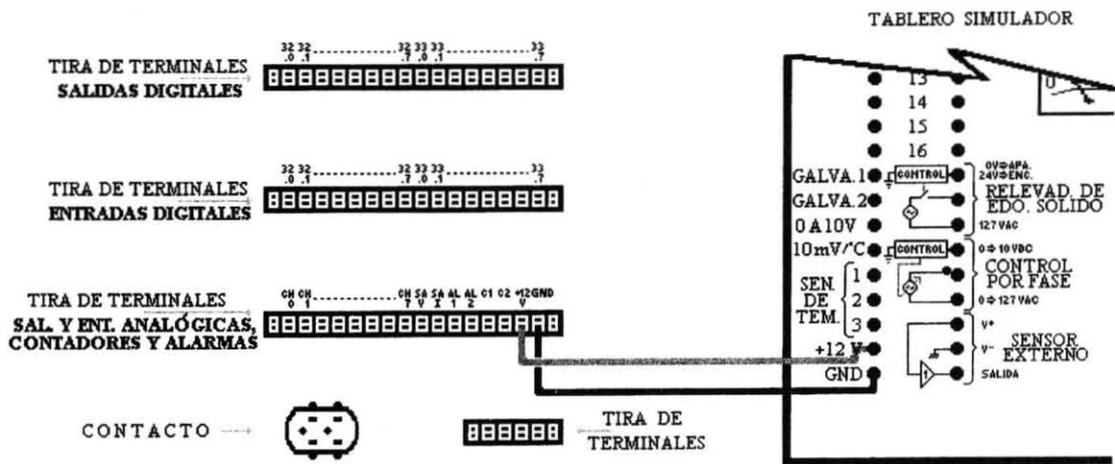


Figura 2.35 Bornes de conexión de la fuente de 12 VDC

### 2.7.2 Conexión al PLC

Estas fuentes no tienen conexión alguna con el PLC, sólo es necesario la conexión de las tierras de ambos bloques para asegurar un funcionamiento correcto, cabe mencionar que adicionalmente a los bornes en el tablero, en la tercera tira de terminales se tiene un par de posiciones disponibles que facilitan la conexión del voltaje de alimentación con algún circuito, para esto debe existir un cable de conexión entre estas terminales y los bornes correspondientes, tal como se observa en la figura 2.36.



**Figura 2.36** Conexión de la salida de alimentación a la tira de terminales

2894210



### 3 MANUAL DE CONSTRUCCIÓN

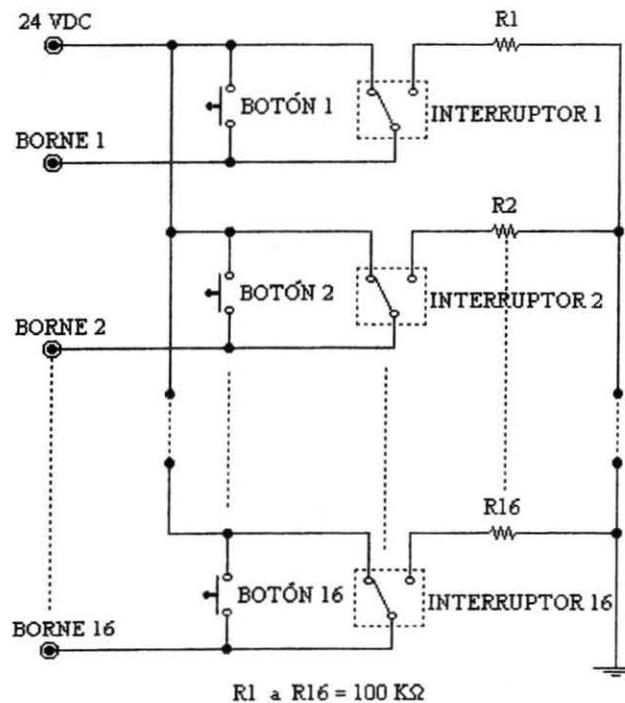
En este capítulo se describe la construcción del equipo, la cual esta dividida en dos secciones: circuitos electrónicos y gabinete.

#### 3.1 Circuitos Electrónicos

Para facilitar su reproducción, así como su mantenimiento, el equipo fue diseñado con componentes comunes en el mercado nacional y basado en bloques de tal manera que ante una falla, cada uno puede ser reemplazado por otro similar rápidamente, lo cual además permite actualizaciones a futuro. Los circuitos electrónicos construidos son: simuladores para entradas digitales, simuladores para salidas digitales, simuladores para entradas analógicas, simuladores para salidas analógicas y fuente de alimentación.

##### 3.1.1 Simuladores para Entradas Digitales

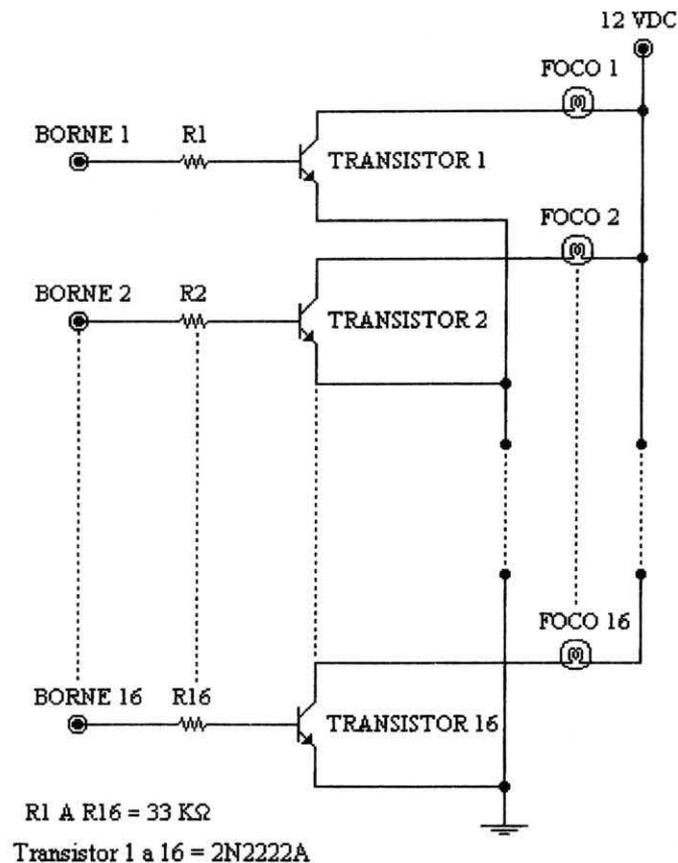
Como se describe en el capítulo anterior, los dispositivos que permiten simular entradas digitales hacia el PLC, son interruptores y botones, los cuales al ser accionados envían una señal de 24 VDC; el diagrama de conexiones se muestra en la figura 3.1, se observa como estando ambos dispositivos en su estado normal (abierto), el borne correspondiente se encuentra conectado por medio de una resistencia a 0 VDC, el accionar cualquiera de los dos elementos provocará que el voltaje de 24 VDC sea enviado. La resistencia evita que al pulsar el botón, estando el interruptor conectado a tierra, la fuente quede en corto circuito.



**Figura 3.1** Diagrama eléctrico de los simuladores de entradas digitales.

### 3.1.2 Simuladores para Salidas Digitales

En este caso se cuenta con dos tipos de simuladores: focos indicadores y un relevador de estado sólido. Los focos empleados para desplegar el estado de las salidas digitales del PLC operan con 12 VDC con un consumo de corriente de 125 mA (1.5 Watts), mientras que la salida digital del PLC es de 24 VDC proporcionando una corriente máxima de 30 mA; de aquí que se haya implementado una etapa de acoplamiento entre ambos dispositivos; la figura 3.2, muestra el diagrama eléctrico del circuito de acoplamiento.

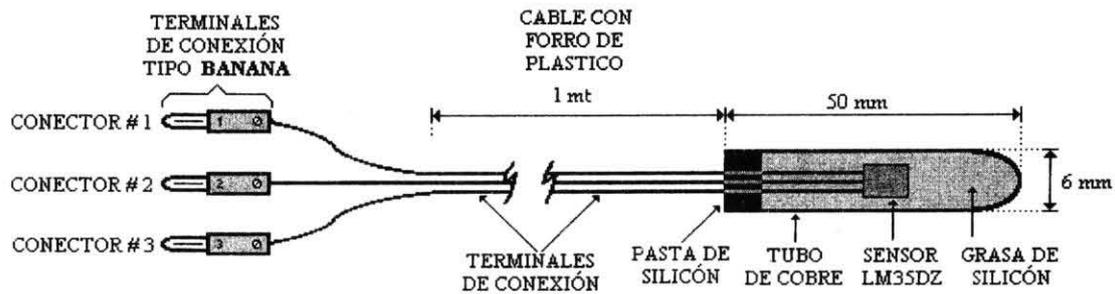


**Figura 3.2** Circuito de acoplamiento de las salidas digitales a los focos.

La base de este circuito es un transistor 2N2222A operando en corte y saturación, el voltaje que envía la salida digital del PLC permite la saturación del transistor, conectando así un voltaje de 12 VDC en las terminales del foco; con un nivel bajo el transistor se encuentra en corte no permitiendo la circulación de corriente hacia el foco por lo cual éste permanece apagado. El transistor empleado maneja corrientes de hasta 800 mA, por lo que la corriente que consume el foco no representa ningún problema; para pasar al estado de saturación el circuito demanda al PLC una corriente menor a 1 mA de tal forma que no existe el riesgo de cargar demasiado la salida del controlador.

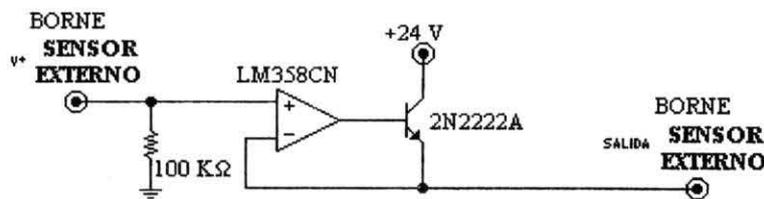


El sensor fue encapsulado en un pequeño tubo de cobre para evitar el contacto directo con los líquidos, así como para protegerlo contra golpes, la figura 3.6 muestra como fue encapsulado. Puede observarse como el sensor se encuentra sumergido en grasa de silicón, material que es aislante eléctrico y conductor térmico a la vez, lo cual permite una adecuada transferencia de calor de la pared del tubo hacia el cuerpo del sensor. Cada una de las terminales tiene en sus extremos un conector tipo banana que se conecta en los bornes indicados en el tablero.



**Figura 3.6** Encapsulado del sensor de temperatura

La figura 3.7. muestra el diagrama del circuito construido para recibir una señal externa en las entradas analógicas del PLC; se trata básicamente de acoplar impedancias y evitar que el controlador cargue excesivamente al dispositivo que genera la señal, el voltaje máximo aceptado en esta entrada es de 10 VDC.

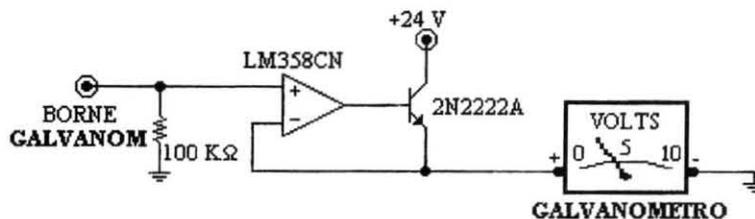


**Figura 3.7** Circuito de acoplamiento para una señal generada por un sensor externo

### 3.1.4 Simuladores para Salidas Analógicas

Son dos los dispositivos empleados que permiten el manejo de señales analógicas de salida: un par de galvanómetros con rango de operación de 0 a 10 VDC y un circuito de control por fase; en esta sección se describen cada uno de ellos.

El diagrama que se muestra en la figura 3.8, corresponde a un seguidor de voltaje con salida tipo transistor, el cual se construyó para acoplar un galvanómetro a una señal analógica, la cual puede provenir de una salida analógica del PLC o de un simulador de entrada analógica; existe un circuito para cada uno de los dos galvanómetros colocados en el tablero.



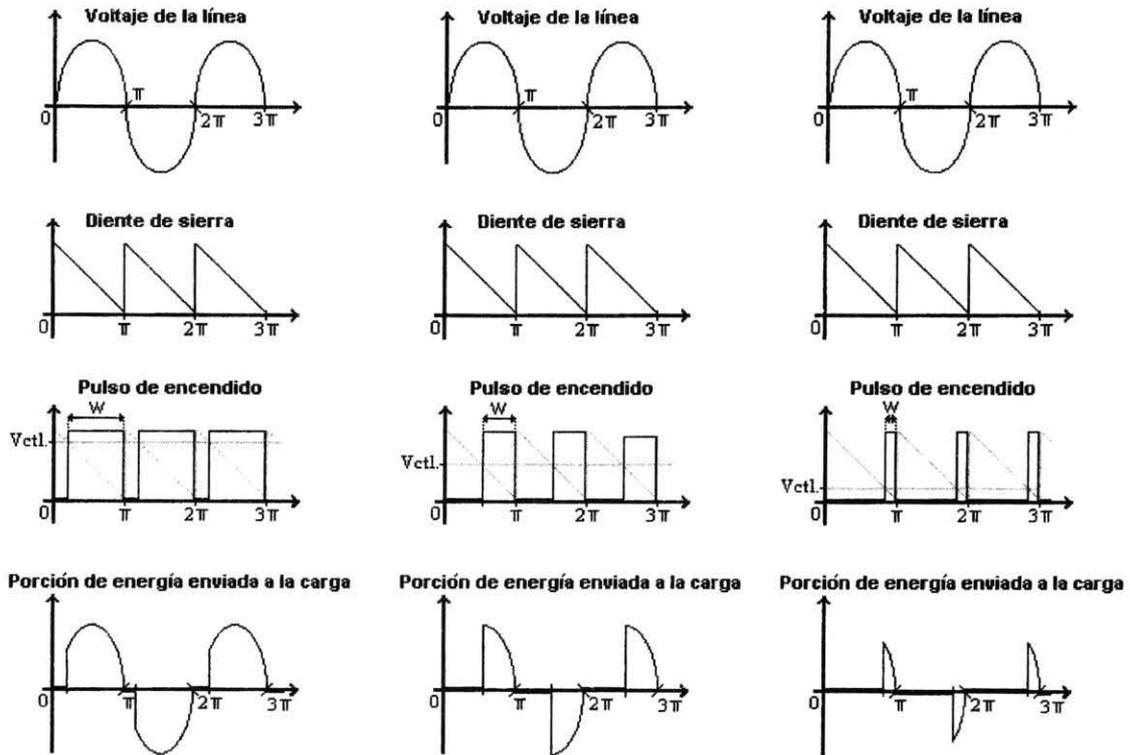
**Figura 3.8** Circuito de acoplamiento para los galvanómetros.

El bloque de control por fase permite la regulación de la cantidad de energía eléctrica que llega a una carga, su funcionamiento se basa en el manejo del ciclo de trabajo de la señal de encendido de un triac, la duración del nivel alto de la señal de encendido depende del valor del voltaje a la entrada del bloque (etiquetada como: **0-10 V** en el tablero), así para una entrada de 0 VDC el ciclo de trabajo será de 0% lo cual se refleja como 0 VAC en los extremos de la carga; para 5.7 VDC el ciclo de trabajo será de 57% teniéndose, aproximadamente, el 57% del voltaje de la línea conectados en la carga, y de esta forma hasta tener un voltaje de entrada de 10 VDC el cual implica un ciclo de trabajo del 100% teniéndose así, el voltaje completo de la línea conectado en la carga.

En las gráficas de la figura 3.9, se observan las formas de onda de un circuito de control por fase; en la primer gráfica de cada columna se muestra la señal senoidal disponible en la línea de suministro de energía eléctrica; una señal tipo diente de sierra con amplitud de 10 volts y cuyo inicio y fin coincide con los del voltaje senoidal de la línea se encuentra en el siguiente renglón, esta señal es comparada con el voltaje de control ( $V_{ctl}$ ) presente en el borne del tablero con etiqueta: "Control" dando como resultado una señal cuadrada de periodo constante pero de ciclo de trabajo variable, al emplear esta señal para controlar el encendido y apagado de un triac es posible enviar energía a la carga únicamente el tiempo en que el pulso de salida se encuentra en nivel alto(W).

En la primera columna se muestran las formas de onda que se generan al aplicar un voltaje de control de valor cercano a 10 volts, el resultado de la comparación es un pulso con ciclo de trabajo cercano a la unidad por lo que la mayor parte de la energía eléctrica se encuentra presente en las terminales de la carga; en la segunda columna un voltaje de control de 5 volts es aplicado y comparado con el diente de sierra generando así un pulso

cuya duración es exactamente la mitad de un medio ciclo de la señal de la línea, con esto la carga recibe la mitad de la energía disponible. Por último se tiene un voltaje de control pequeño que provoca que solamente un lapso reducido de tiempo se proporcione energía a la salida de la etapa.



**Figura 3.9** Principio de funcionamiento del control por fase

A partir de las gráficas mostradas se puede concluir que son tres los circuitos electrónicos a implementar para tener el control por fase:

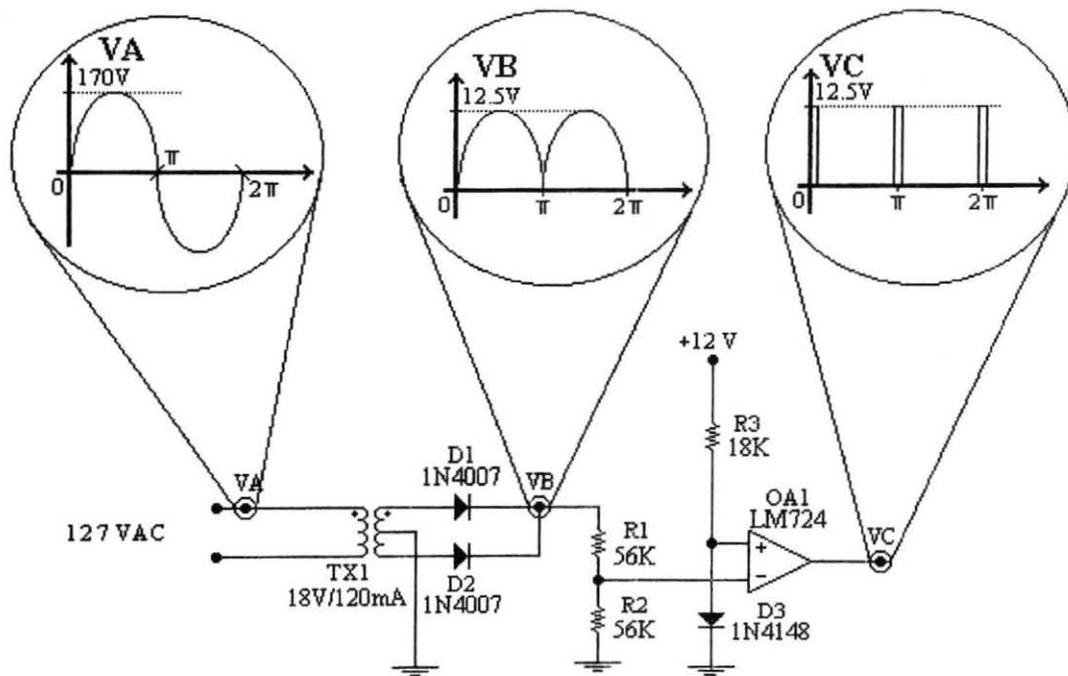
**Detector de cruce por cero**, cuya tarea es la de detectar el inicio y fin de un semiciclo del voltaje de la línea y generar un señal de sincronía para la señal diente de sierra.

**Generador del diente de sierra**, se encarga de generar una señal tipo diente de sierra de amplitud 10 volts y sincronizada con la línea.

**Etapa de potencia**, en esta etapa se obtiene, como resultado de la comparación de la señal diente de sierra y del voltaje de control, el pulso de periodo fijo y ciclo de trabajo variable el cual controla el encendido del triac.

El circuito eléctrico y la descripción del funcionamiento de cada una de estas etapas se presenta a continuación.

El bloque encargado de detectar el momento en que la señal de la línea cruza por cero (inicio y fin de un semiciclo) fue elaborado tomando la salida de un transformador con el fin de disminuir el valor del voltaje de la línea, a continuación se implemento un rectificador de onda completa (D1, D2) cuya salida (VB) atenuada en un factor de 0.5 por un divisor de voltaje (R1, R2) es comparada (AO1) con un voltaje de referencia de 0.65 volts (R3, D3), para de esta forma generar la señal de sincronía (VC) requerida; es así como cada vez que la señal de la línea (VA) cruza por cero, se tiene un nivel alto a la salida de esta etapa.



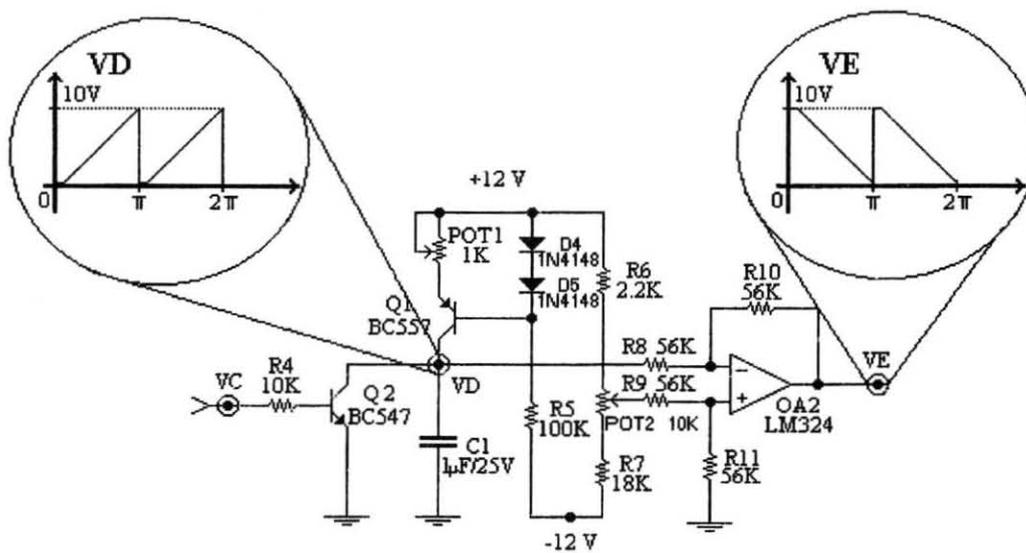
**Figura 3.10** Bloque detector de cruce por cero

El siguiente bloque del circuito de control por fase la señal tipo diente de sierra basándose en que la carga a corriente constante de un capacitor es lineal, bajo estas condiciones el voltaje en los extremos de éste está dado por la siguiente ecuación:

$$V_c = (I * t) / C$$

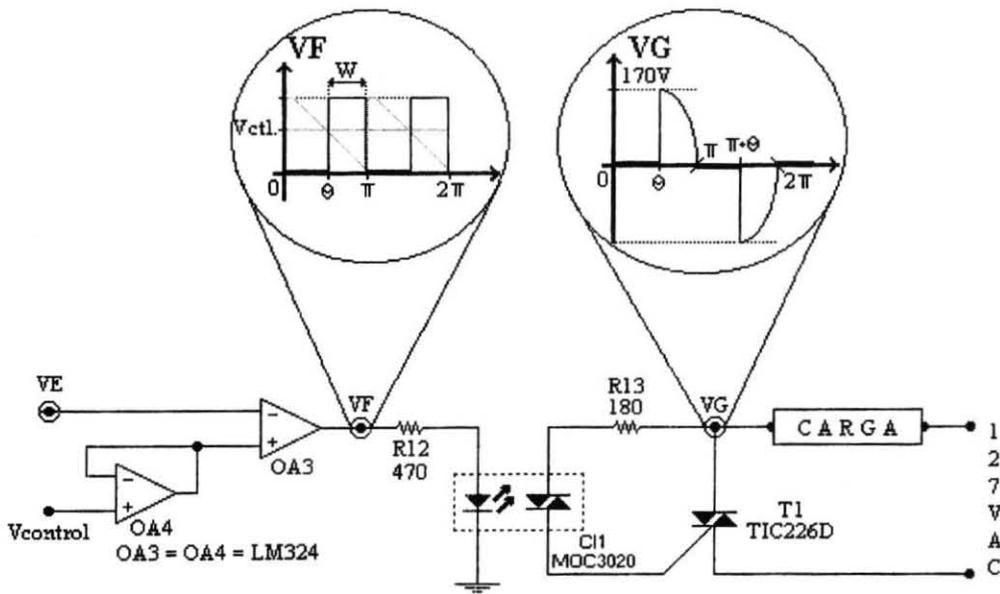
Donde:  $V_c$ : Voltaje en el capacitor,  
 $I$ : Corriente de carga,  
 $t$ : Tiempo y  
 $C$ : Valor del capacitor.

Se buscó, ya que con este voltaje se comparará, que la señal diente de sierra tuviese una amplitud de 10 volts, por lo que  $V_c = 10$  volts, este voltaje se debe tener al momento que un cruce por cero se presenta, por lo que el valor del tiempo es de 8.33 ms ( $1/120$ ); al proponer un capacitor (C1) de  $1\mu\text{F}$  la fuente de corriente (D4, D5, POT1, R5, Q1) debe proporcionar 1.2 mA constantes; la descarga del capacitor se logra a través de un transistor (Q2) el cual se satura al recibir los pulsos de sincronía con la línea (VC) produciendo de esta forma la señal deseada solo que con pendiente positiva, la etapa final de este bloque (R6 a R11, Pot2, AO2) es un circuito restador que invierte la pendiente de la señal y permite su ajuste exacto para obtener la señal correcta (VE); el diagrama de este bloque se muestra en la figura 3.11.



**Figura 3.11** Generación de la señal “diente de sierra”

La última etapa del control se encarga de efectuar la comparación (OA3) de la señal de control (etiquetada como: **0-10 V** en el tablero) con la señal diente de sierra, generando así un pulso (VF) cuyo ciclo de trabajo depende del valor de la señal de control y que permitirá el encendido de un triac (T1), cuya función, como ya se mencionó, es la de permitir el paso de energía eléctrica hacia la carga, el tiempo que dure en nivel alto el pulso de encendido (VF), llegando a la carga un porcentaje (VG) del semiciclo presente en la línea; adicionalmente, se cuenta con aislamiento óptico (C1) entre las etapas de baja potencia y el triac. El diagrama de esta etapa se muestra en la figura 3.12.



**Figura 3.12** Bloque de potencia

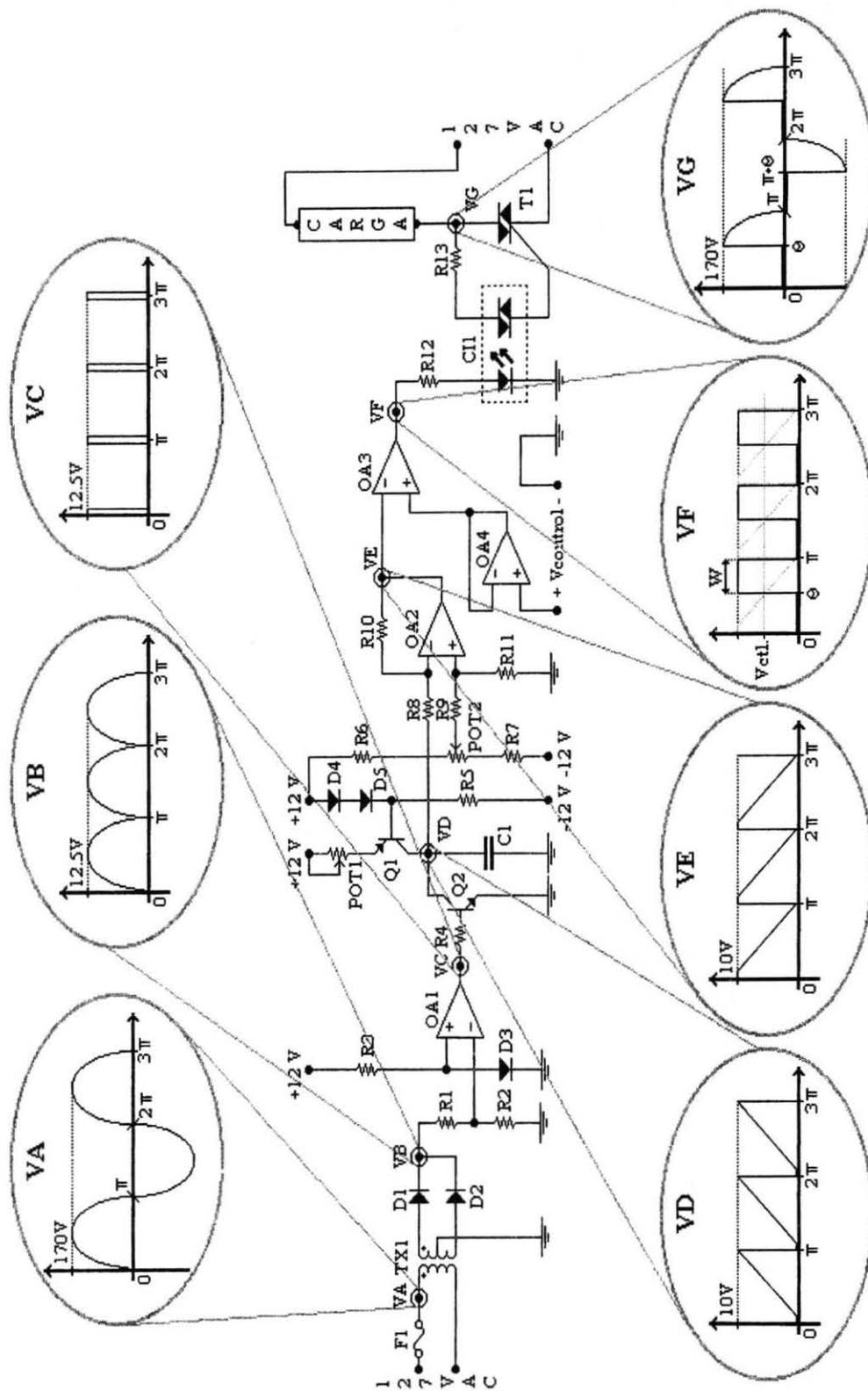
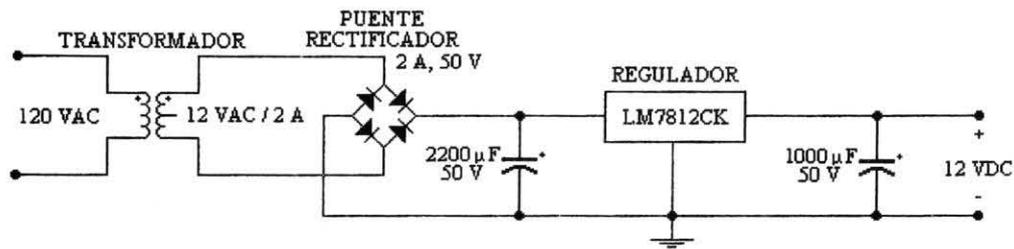


Figura 3.13 Diagrama completo del control por fase.

### 3.1.5 Fuentes de Alimentación

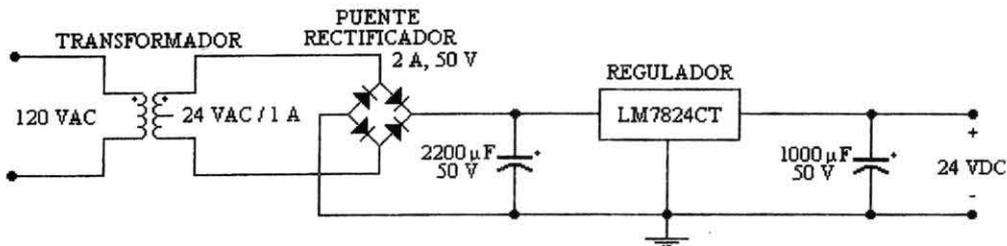
Se construyeron dos fuentes de voltaje que proporcionan energía, la primera a los circuitos electrónicos contenidos en el tablero, y la segunda a los elementos simuladores para las entradas digitales del controlador.

La figura 3.14 muestra el diagrama de la fuente de voltaje que proporciona energía a los dispositivos electrónicos, se trata de una fuente de 12 VDC con una corriente máxima de 2 A.



**Figura 3.14** Fuente de alimentación 12VDC

La figura 3.15 muestra el diagrama de una fuente de alimentación de 24 VDC a 1A., construida para proporcionar el voltaje necesario para simular las señales de entrada al controlador; como puede observarse el diagrama es similar al anterior cambiando únicamente los valores de los elementos que determinan el nivel de voltaje y corriente de salida.



**Figura 3.15** Fuente de alimentación 24VDC

Ambas fuentes se encuentran al interior del tablero simulador y únicamente se tiene acceso, como ya se mencionó, a la de 12VDC, esto por medio de bornes en la parte frontal.

### 3.2 Gabinete

Un gabinete fue construido para soportar a los elementos del tablero; la figura 3.16 muestra las dos partes que conforman el gabinete, por un lado un panel que soporta a todos los elementos de simulación, así como los bornes de conexión y que en su parte posterior alberga los circuitos electrónicos construidos; y por otro lado el gabinete exterior, el cual, además de contener al panel, alberga al conjunto fuente de alimentación-PLC, en esta parte del gabinete, además, se encuentran montadas las tiras de terminales que permiten enviar y recibir todas las señales del controlador lógico programable.

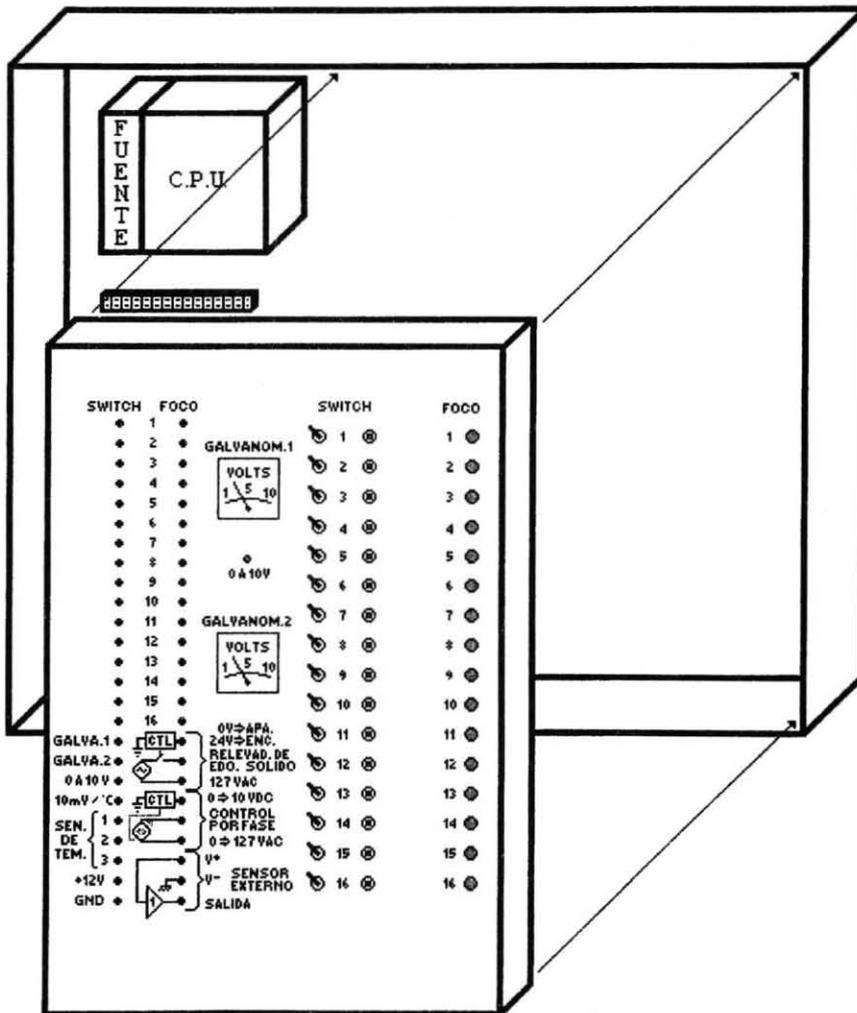


Figura 3.16 Ensamblado del panel en el gabinete exterior

### 3.2.1 Panel

La cara frontal del panel se construyó en triplay de 6mm de espesor y en ella se encuentran todos los elementos de simulación y sus bornes correspondientes, la figura 3.17 muestra esta pieza, así como las perforaciones realizadas para el montaje de los dispositivos y en la figura 3.18 se observa la pieza final con perforaciones, pintada y con las etiquetas para cada uno de los elementos.

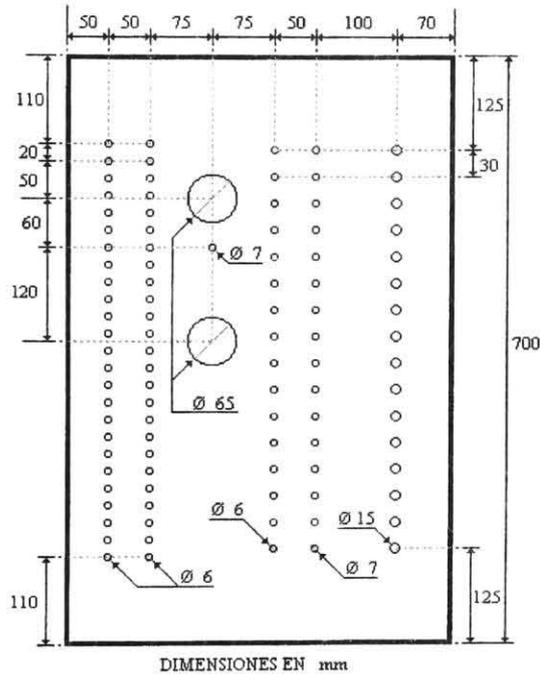


Figura 3.17 Cara frontal del panel

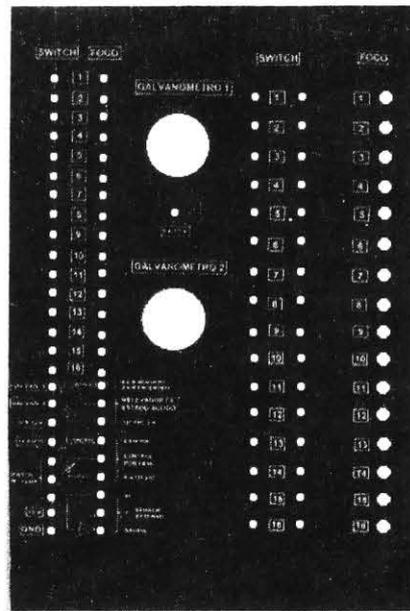
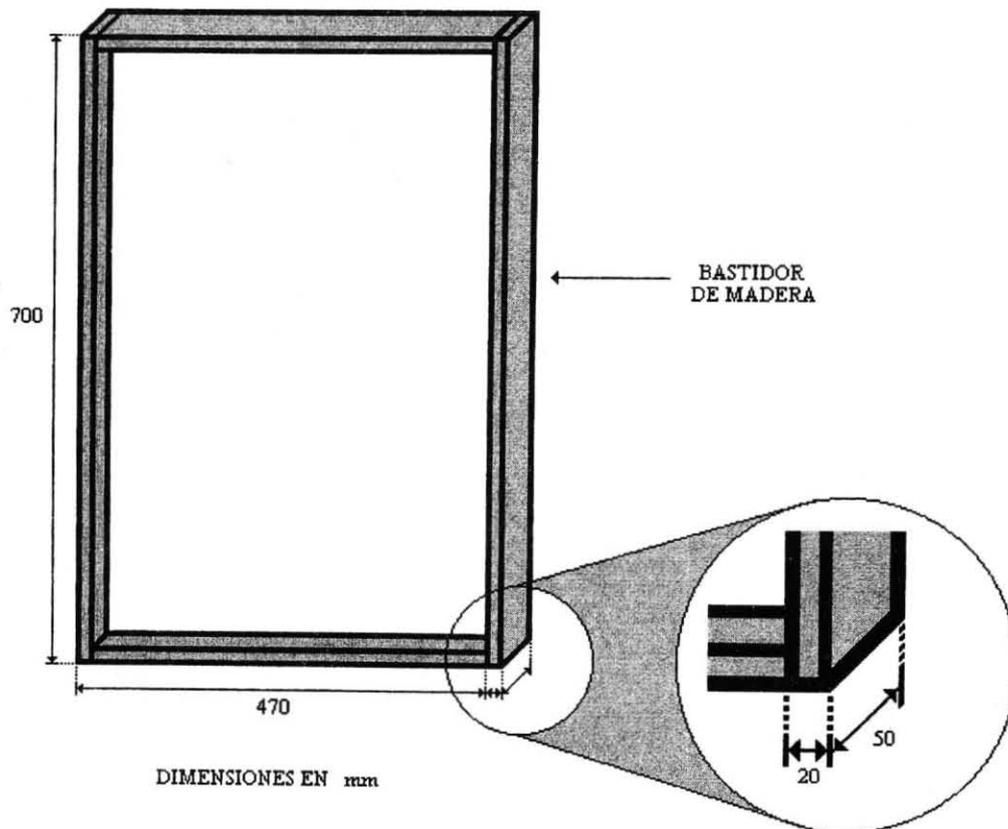


Figura 3.18 Imagen de la cara frontal del panel

La tabla de triplay que soporta a los elementos del panel se encuentra montada en un bastidor construido con madera de 20 x 50 mm y en el cual fueron colocados los distintos circuitos electrónicos diseñados, a su vez este bastidor se monta en el gabinete exterior como se mostró en la figura 3.16; en la figura 3.19 se tiene una vista del bastidor con sus dimensiones.



**Figura 3.19** Bastidor del panel



### 3.2.2 Gabinete Exterior

La figura 3.20 muestra al gabinete exterior, se trata de una caja en madera de 15mm de espesor con dos puertas plegables de dos hojas cada una; dos agarraderas en los costados facilitan su transporte y un portacandados restringe el acceso al interior. Puede observarse una ranura en la parte inferior del gabinete la cual recibe a un pequeño cilindro insertado en la parte baja de las puertas, este aditamento permite guiar a la puerta al plegarse, este sistema se tiene implementado también en la parte superior de cada una de las puertas.

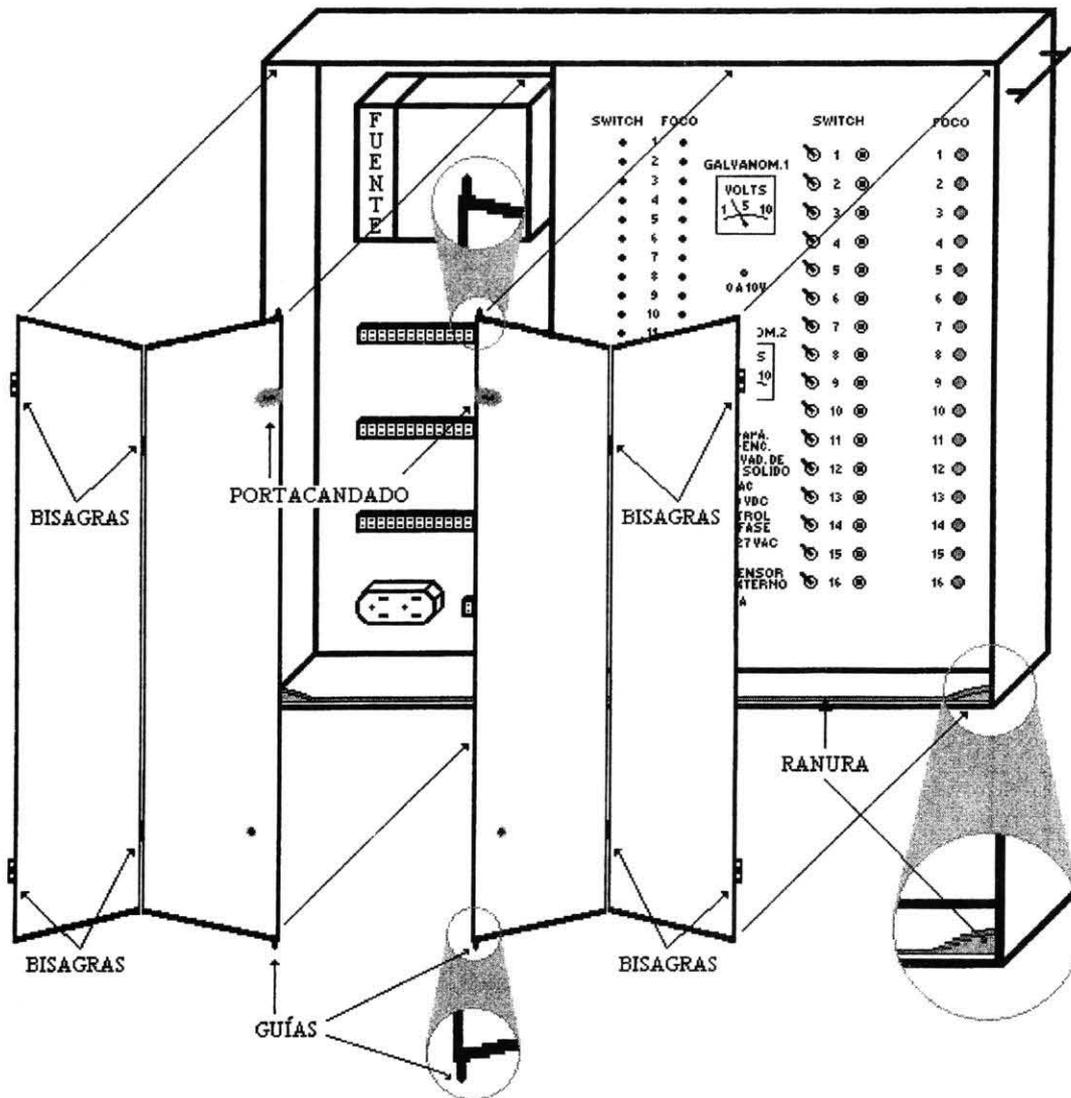
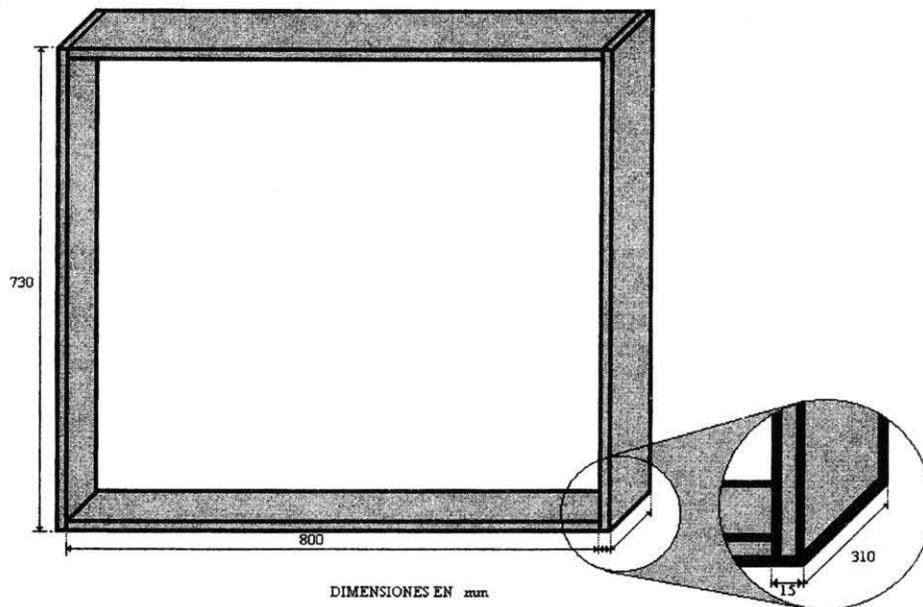


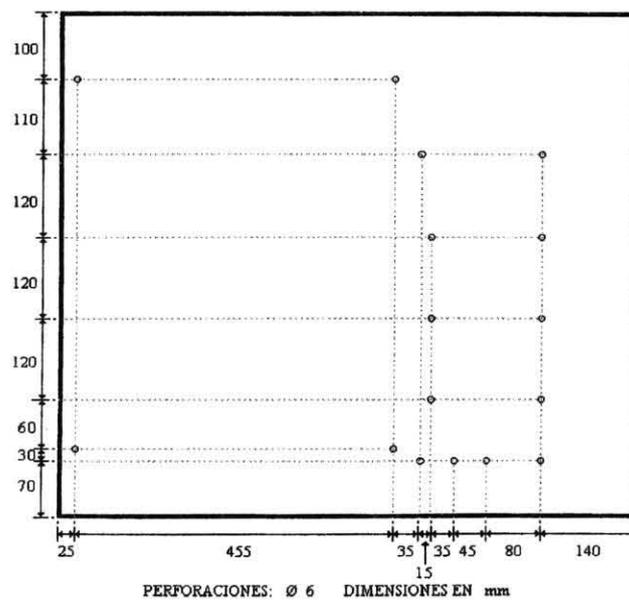
Figura 3.20 Ensamblado de las puertas en el gabinete exterior

La figura 3.21 muestra las dimensiones del marco del gabinete exterior, el cual fue construido con madera de 15 mm de espesor.



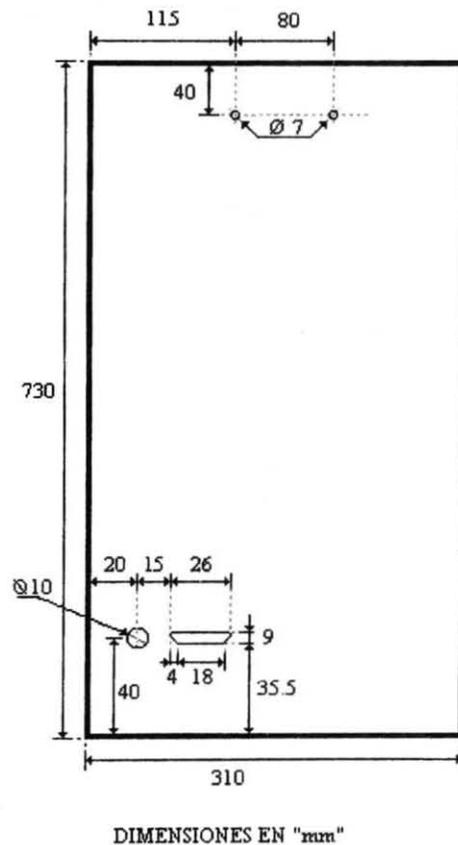
**Figura 3.21** Gabinete exterior.

La figura 3.22 muestra la ubicación de las perforaciones en el fondo del gabinete externo que permiten fijar a este las tiras de terminales, el conjunto PLC-Fuente de alimentación y el panel. Esta pieza fue realizada con triplay de 6 mm.



**Figura 3.22** Perforaciones en el gabinete exterior

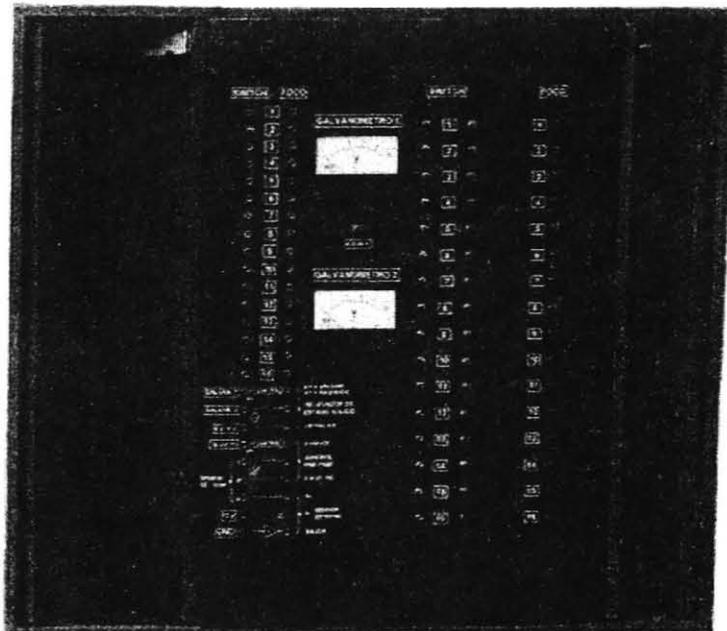
La figura 3.23 muestra una de las paredes laterales del gabinete, en la que se aprecian las perforaciones para la agarradera, así como los orificios para la entrada del cable de alimentación y la ranura que contiene al conector DB-25 encargado de la comunicación entre el PLC y la computadora. La otra pared lateral, que no se muestra, tiene las mismas dimensiones así como las perforaciones para la agarradera, pero no las del conector ni línea de alimentación.



**Figura 3.23** Perforaciones en una pared lateral del gabinete exterior

Finalmente, las 4 tablas que forman las puertas fueron, construidas en madera de 15 mm de espesor y sus dimensiones son: 790 x 197 mm. Estas piezas no tienen ninguna perforación ya que los elementos que están colocados en ellas (bisagras y portacandado) fueron montados con pijas.

La imagen de la figura 3.24 muestra el gabinete y el panel ya con los elementos montados en este último; a ambas partes se les aplicó laca, al gabinete de color gris y azul para el panel. En la figura, el panel no se muestra en su posición definitiva, esto con el fin de poder distinguir adecuadamente los elementos.



**Figura 3.24** Vista del gabinete y panel terminados

## **4 BIBLIOGRAFÍA**

Simatic S5 Autómata programable S5-90U/S5-95U.  
Manual del sistema.  
Siemens AG.  
1991.

Automating with the Simatic S5-95U. Programmable Controllers.  
Hans Berger.  
Siemens AG.  
1991.

Tomas H. Frederiksen.  
National Semiconductor Inc.  
1984.

General Catalog Semiconductors.  
Teccor Electronics Inc.  
1995.

Electrónica de potencia. Circuitos dispositivos y aplicaciones.  
Muhammad H. Rashid.  
Prentice Hall. Hispanoamericana. S.A.  
1995.



TABLERO SIMULADOR PARA PRÁCTICAS  
CON CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES  
(PLC)

Se terminó de imprimir en el mes de junio del año 2002 en los talleres de la Sección de Impresión y Reproducción de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco	La edición estuvo a cargo de la Sección de Producción y Distribución Editoriales Se imprimieron 100 ejemplares más sobrantes para reposición.
--	---





0092101 27770



9.00 - \$ 9.00