



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”  
ZACATENCO

## “DISEÑO DEL CONTROL E INTERFAZ PARA UN SISTEMA DE CONMUTACIÓN DE FUENTES DE 200VCA”

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

PRESENTAN:

ROBERTO HAMADI CALVO LOPEZ  
RICARDO JOSUE ORTEGA FAJARDO  
BRENDA FERNANDA VAZQUEZ ARAUJO

ASESORES:

ING. PEDRO FRANCISCO HUERTA GONZÁLEZ  
ING. RICARDO NAVARRO SOTO



CIUDAD DE MÉXICO

AGOSTO 2019

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**T E M A   D E   T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN  
DEBERA (N) DESARROLLAR**

**INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN  
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL  
C. ROBERTO HAMADI CALVO LOPEZ  
C. RICARDO JOSUE ORTEGA FAJARDO  
C. BRENDA FERNANDA VAZQUEZ ARAUJO**

**“DISEÑO DEL CONTROL E INTERFAZ PARA UN SISTEMA DE CONMUTACIÓN DE FUENTES DE  
200VCA”**

DISEÑAR EL CONTROL Y UNA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI) PARA LAS VARIABLES DE TEMPERATURA, CORRIENTE Y TENSIÓN ELÉCTRICA, PARA UN SISTEMA DE CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA ENTRE DOS FUENTES DE ALIMENTACIÓN DE 200VCA, REALIZANDO EL ACONDICIONAMIENTO Y ADQUISICIÓN DE SEÑALES PARA INTEGRARLAS EN UN CONTROLADOR.

- ❖ ANTECEDENTES DE LOS SISTEMA DE CONMUTACIÓN
- ❖ DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA
- ❖ IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL Y LA HMI
- ❖ PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA

**CIUDAD DE MÉXICO, A 05 DE AGOSTO DE 2019.**

**A S E S O R E S**

  
**ING. PEDRO FRANCISCO HUERTA  
GONZÁLEZ**

  
**ING. RICARDO NAVARRO SOTO**

  
**M. EN C. MIRIAM GÓMEZ ÁLVAREZ  
JEFA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**



**Instituto Politécnico Nacional**

**Presente**

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **Calvo Lopez Roberto Hamadi, Ortega Fajardo Ricardo Josue y Vazquez Araujo Brenda Fernanda**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada

**"DISEÑO DEL CONTROL E INTERFAZ PARA UN SISTEMA DE CONMUTACIÓN DE FUENTES DE 200VCA"**, en adelante **"La Tesis"** y de la cual se adjunta copia por medio de: un impreso y un cd, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **EL IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, impresos o en cualquier otro medio; **para apoyar futuros trabajos relacionados con el tema de "La Tesis"** por un periodo de **5 años** contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **EL IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **EL IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de **"La Tesis"**

Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de **"La Tesis"**, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene en ninguna otorgada por los suscritos respecto de **"La Tesis"**, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **EL IPN** en caso de que el contenido de **"La Tesis"** o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, a 15 de agosto de 2019

**Atentamente**

  
**Calvo Lopez Roberto Hamadi**

  
**Ortega Fajardo Ricardo Josue**

  
**Vazquez Araujo Brenda Fernanda**

---

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***Roberto Hamadi Calvo López***

Gracias a mi madre, a mi abuela y a mi hermano por ser parte de mi crecimiento personal y profesional.

### ***Ricardo Josue Ortega Fajardo***

Con dedicatoria y agradecimiento especial a mis padres Ignacio Ortega y Norma Fajardo, a mi hermana Noemi Ortega, por su apoyo incondicional en mi formación humana y profesional, al Instituto Politécnico Nacional por desarrollarme en el aspecto técnico, científico y humano, por brindarme la oportunidad de conocer a excelentes catedráticos y amigos que fueron parte fundamental en éste proceso, a familiares y amistades que me mostraron su apoyo. Concluyo una de las etapas más importantes de mi vida, que fue posible gracias a cada uno de ustedes, sólo me queda decirles gracias

### ***Brenda Fernanda Vazquez***

Quiero expresar principalmente mi agradecimiento a Dios por haberme acompañado cada día llena de salud y bendición hasta esta etapa tan importante de mi vida, a mis padres (Laura y Marco), mis hermanos (Diana y Marco) , mi abuelita (Elena) y mi tía (Alejandra) por brindarme siempre su apoyo incondicional en las buenas y malas situaciones y motivarme a siempre salir adelante con dedicación y esfuerzo y por ultimo quisiera agradecer a mi amado Instituto Politécnico Nacional por abrirme las puertas a esta prestigiosa universidad, en donde me he enriquecido de conocimientos y experiencias gracias a mis profesores y amigos.

---

---

# ÍNDICE

OBJETIVO GENERAL.....	I
OBJETIVOS PARTICULARES .....	I
JUSTIFICACIÓN .....	II
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	III
INTRODUCCIÓN.....	IV
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS DE CONMUTACIÓN.....	1
1.1 Fuentes de alimentación lineales industriales .....	1
1.1.1 Componentes.....	5
1.1.2 Funcionamiento .....	7
1.1.3 Normas .....	8
1.2 Calidad de la energía eléctrica .....	10
1.2.1 Fenómenos que afectan la calidad de la energía eléctrica .....	11
1.2.2 Cargas críticas .....	13
1.2.3 Cargas sensibles .....	13
1.3 Conmutadores.....	13
1.3.1 Funcionamiento .....	14
1.4 Sistema de redundancia.....	14
1.4.1 Activa .....	16
1.4.2 Pasiva.....	16
1.5 Tableros y transferencia automática.....	16
1.5.1 Detección y protección de fallas .....	17
1.5.2 Tablero de transferencia automática por interruptor de doble tiro.....	17
1.6 Armario de control del Sistema de Transporte Colectivo Metro .....	17
1.7 Modos de conducción.....	19
1.7.1 Pilotaje Automático (PA) .....	19
1.8 Adquisición de datos .....	20
1.9 Unidad terminal remota .....	22
CAPÍTULO II. DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE CONMUTACIÓN .....	24
2.1 Selección de dispositivos de entradas.....	25
2.1.1 Sensor de temperatura. ....	25
2.1.2 Sensor de corriente eléctrica. ....	27
2.1.3 Sensor de tensión eléctrica.....	28

---

---

2.1.4	Botón de conmutación manual.....	29
2.2	Módulo de simulación de variables.....	30
2.3	Fuentes de alimentación .....	31
2.4	Selección de dispositivos de salidas. ....	31
2.4.1	Alarmas.....	31
2.4.2	Conmutador. ....	35
2.5	Selección de la red de comunicación. ....	36
2.5.1	Comunicación serial.....	36
2.5.2	Interfaz Humano Máquina (HMI).....	37
2.6	Selección del controlador. ....	38
2.7	Diseño del tablero de simulación.....	39
2.7.1	Layout del tablero .....	42
CAPÍTULO III. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL Y LA HMI.....		44
3.1	Controlador On/Off de dos posiciones con Histéresis. ....	45
3.2	Diagramas de flujo (DF) .....	50
3.2.1	Ventana “Selección de estación”. ....	50
3.2.2	Módulo “Fuente principal”. ....	54
3.2.3	Ventana “Fuente secundaria”.....	57
3.2.4	Ventana “Conmutación manual” .....	59
3.3	Código de programación en LabVIEW. ....	61
3.3.1	Ventana “Selección de estación”. ....	61
3.3.2	Ventana “Fuente principal” .....	65
3.3.3	Ventana “Fuente secundaria”.....	76
3.3.4	Ventana “Conmutación manual” .....	79
CAPÍTULO IV. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONMUTACIÓN .....		84
4.1	Simulaciones .....	85
4.1.1	Continuidad.....	85
4.1.2	Energización .....	86
4.1.3	Control On/Off por Histéresis.....	90
4.2	Costos del proyecto.....	97
RECOMENDACIONES PARA PROYECTOS A FUTUROS.....		101
CONCLUSIÓN.....		102
REFERENCIAS .....		103

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1-1</b>	Esquema de tipos de fuentes de alimentación.....	1
<b>Fig. 1-2</b>	Conexión de la FA Matra en el armario de control.....	4
<b>Fig. 1-3</b>	Partes de los componentes de la FA Matra.....	6
<b>Fig. 1-4</b>	Fuente de alimentación Interelec o Matra.....	6
<b>Fig. 1-5</b>	Componentes de la FA Interelec.....	7
<b>Fig. 1-6</b>	Esquema del funcionamiento de una FA Lineal.....	7
<b>Fig. 1.2-1</b>	Gráfica de Número de fallas de las FA en la línea 3 del Metro (Colectivo, 2015).....	10
<b>Fig. 1.3-1</b>	Circuito de conexión de un conmutador.....	13
<b>Fig. 1.4-1</b>	Esquema de un ejemplo de conexión en serie.....	15
<b>Fig. 1.4-2</b>	Esquema de un ejemplo de conexión en paralelo.....	15
<b>Fig. 1.7-1</b>	Componentes del equipo fijo y embarcado del PA.....	20
<b>Fig. 1.8-1</b>	Esquema del proceso de adquisición de datos.....	21
<b>Fig. 1.9-1</b>	Módulos que componen la UTR.....	22
<b>Fig. 1.9-1</b>	Ejemplos de UTR's.....	23
<b>Fig. 2.1-1</b>	Esquema del sensor LM35.....	25
<b>Fig. 2.1-2</b>	Esquema del sensor ACS712.....	27
<b>Fig. 2.1-3</b>	Esquema del sensor de tensión eléctrica FZ0430.....	28
<b>Fig. 2.1-4</b>	Esquema del botón de conmutación manual.....	29
<b>Fig. 2.2-1</b>	Esquema del Módulo de simulación de variables.....	30
<b>Fig. 2.3-1</b>	Fuente de alimentación.....	31
<b>Fig. 2.4-1</b>	Alarma Azul para las FA. primaria y secundaria.....	32
<b>Fig. 2.4-2</b>	Alarma Verde indica que las FA. están trabajando de manera correcta.....	32
<b>Fig. 2.4-3</b>	Alarma Amarilla indica precaución con respecto a las variables.....	33
<b>Fig. 2.4-4</b>	Alarma Roja indica que las variables están fuera del rango de operación....	33
<b>Fig. 2.4-5</b>	Módulo de 8 relevadores con optoacoplador.....	34
<b>Fig. 2.4-6</b>	Esquema de la placa del conmutador.....	36
<b>Fig. 2.4-7</b>	Esquema de la parte inferior de la placa del conmutador.....	36
<b>Fig. 2.5-1</b>	Esquema de la comunicación serial.....	37
<b>Fig. 2.6-1</b>	Esquema del microcontrolador Arduino uno.....	38
<b>Fig. 2.7-1</b>	Diagrama eléctrico y simbología que se tiene actualmente en el Metro.....	39
<b>Fig. 2.7-2</b>	Diagrama eléctrico del sistema de conmutación con las FA.....	40
<b>Fig. 2.7-3</b>	Layout del tablero del sistema de conmutación automática en cm.....	42
<b>Fig. 3.1-1</b>	Ecuación del control On/Off.....	45
<b>Fig. 3.1-2</b>	Gráfica 1 del comportamiento de un controlador On/Off con histéresis.....	46
<b>Fig. 3.1-3</b>	Gráfica 2 del comportamiento de un controlador On/Off con histéresis.....	46
<b>Fig. 3.1-4</b>	Lazo de control On/Off con histéresis.....	47
<b>Fig. 3.1-5</b>	Lazo de temperatura con control On/Off con histéresis.....	48
<b>Fig. 3.1-6</b>	Lazo de control de la variable de corriente con un control On/Off con histéresis.....	48
<b>Fig. 3.1-7</b>	Lazo de control de la variable de tensión utilizando un control On/Off.....	49
<b>Fig. 3.2-1</b>	DF menú principal de selección de estaciones.....	51
<b>Fig. 3.2-2</b>	DF menú secundario de la estación indios verdes.....	51

---

---

<b>Fig. 3.2-3</b> DF menú secundario de la estación la Raza.....	52
<b>Fig. 3.2-4</b> DF menú secundario de la estación Hidalgo.....	52
<b>Fig. 3.2-5</b> DF menú secundario de la estación Zapata.....	53
<b>Fig. 3.2-6</b> DF menú secundario de la estación Universidad.....	53
<b>Fig. 3.2-7</b> DF Establecer los rangos de operación de las variables. ....	55
<b>Fig. 3.2-8</b> Ingreso de set point máx. y min. de las 3 variables.....	55
<b>Fig. 3.2-9</b> Ingreso de set point máx. y min. de las 3 variables.....	56
<b>Fig. 3.2-10</b> DF Establecer los rangos de operación de las variables. ....	56
<b>Fig. 3.2-11</b> DF paro de emergencia o cambio de set point. ....	56
<b>Fig. 3.2-12</b> DF asignación de las variables para la FA secundaria. ....	57
<b>Fig. 3.2-13</b> DB para la obtención del valor de la corriente eléctrica. ....	58
<b>Fig. 3.2-14</b> DF para imprimir los valores de tensión y corriente eléctrica.....	58
<b>Fig. 3.2-15</b> DF conmutación manual. ....	60
<b>Fig. 3.3-1</b> Menú principal de la HMI en panel frontal.....	61
<b>Fig. 3.3-2</b> DB del menú principal en LabVIEW.....	62
<b>Fig. 3.3-3</b> DB de selección de estación.....	62
<b>Fig. 3.3-4</b> DB ciclo While loop para la selección de estación. ....	63
<b>Fig. 3.3-5</b> DB Front panel para cerrar ventanas. ....	64
<b>Fig. 3.3-6</b> Ventana del menú secundario. ....	64
<b>Fig. 3.3-7</b> DB Estación indios verdes. ....	64
<b>Fig. 3.3-8</b> 1ª parte del DB de la parte de fuente principal.....	65
<b>Fig. 3.3-9</b> 2ª parte del DB de la parte de fuente principal.....	66
<b>Fig. 3.3-10</b> DB de la parte de las alarmas. ....	67
<b>Fig. 3.3-11</b> DB de la lectura de los 3 sensores.....	68
<b>Fig. 3.3-12</b> DB y panel frontal para establecer los set points. ....	68
<b>Fig. 3.3-13</b> DB y panel frontal del sensor de temperatura. ....	69
<b>Fig. 3.3-14</b> DB para el sensor y panel frontal de la gráfica de temperatura. ....	69
<b>Fig. 3.3-15</b> Lazo de temperatura con control On/Off con histéresis. ....	70
<b>Fig. 3.3-16</b> Programación del control On/Off con histéresis de temperatura.....	70
<b>Fig. 3.3-17</b> DB para colocar las gráficas de los 3 tipos de variables. ....	71
<b>Fig. 3.3-18</b> Lazo de control de la variable de corriente con un control On/Off con histéresis. ....	72
<b>Fig. 3.3-19</b> Programación del control On/Off con histéresis de corriente. ....	72
<b>Fig. 3.3-20</b> DB de la entrada analógica del potenciómetro para tensión eléctrica.....	73
<b>Fig. 3.3-21</b> DB para el sensor de tensión eléctrica.....	73
<b>Fig. 3.3-22</b> Lazo de control de la variable de tensión utilizando un control On/Off.....	74
<b>Fig. 3.3-23</b> Programación del control On/Off con histéresis de tensión. ....	74
<b>Fig. 3.3-24</b> DB para energizar las FA principal y secundaria. ....	75
<b>Fig. 3.3-25</b> Panel frontal de la HMI de la condición para la conmutación manual. ....	75
<b>Fig. 3.3-26</b> DB sobre la HMI de la FA secundaria. ....	76
<b>Fig. 3.3-27</b> Conexión en LabVIEW con Arduino.....	76
<b>Fig. 3.3-28</b> DB sobre el tablero de control.....	77
<b>Fig. 3.3-29</b> Ventana principal del apartado de FA secundaria.....	77
<b>Fig. 3.3-30</b> Ventana de selección de temperatura para la FA secundaria.....	77
<b>Fig. 3.3-31</b> DB del sensor de temperatura para la HMI.....	78
<b>Fig. 3.3-32</b> Ventana principal de conmutación manual. ....	79
<b>Fig. 3.3-33</b> DB conmutación manual.....	80

---



---

<b>Fig. 3.3-34</b>	Ventana de mensaje de usuario y/o contraseña incorrecta. ....	80
<b>Fig. 3.3-35</b>	DB del ingreso de usuario y contraseña en LabVIEW. ....	81
<b>Fig. 3.3-36</b>	Ventana de acceso a la conmutación manual.....	81
<b>Fig. 3.3-37</b>	DB ya con acceso a la conmutación automática.....	82
<b>Fig. 3.3-38</b>	Ventana de conmutación manual entre la FA principal y secundaria.....	82
<b>Fig. 3.3-39</b>	DB paro de emergencia. ....	83
<b>Fig. 4.1-1</b>	Prueba de continuidad en las lámparas. ....	85
<b>Fig. 4.1-2</b>	Prueba de energización de la FA principal.....	86
<b>Fig. 4.1-3</b>	Prueba de energización del microcontrolador. ....	87
<b>Fig. 4.1-4</b>	Prueba de sensor de tensión eléctrica. ....	87
<b>Fig. 4.1-5</b>	Prueba 1 de entradas y salidas con el microcontrolador y la HMI. ....	88
<b>Fig. 4.1-6</b>	Prueba 2 de entradas y salidas con el microcontrolador y la HMI. ....	89
<b>Fig. 4.1-7</b>	Prueba 3 de entradas y salidas con el microcontrolador y la HMI. ....	89
<b>Fig. 4.1-8</b>	Prueba del sistema de conmutación automática y la HMI.....	90
<b>Fig. 4.1-9</b>	Prueba 2 del sistema de conmutación automática y la HMI.....	90
<b>Fig. 4.1-10</b>	Ingreso de valores de los set points de cada variable en la HMI. ....	91
<b>Fig. 4.1-11</b>	Todas las variables se encuentran dentro del rango establecido.....	91
<b>Fig. 4.1-12</b>	ventana de FA principal de la HMI. ....	92
<b>Fig. 4.1-13</b>	ventana de temperatura de la HMI dentro del rango de operación. ....	92
<b>Fig. 4.1-14</b>	Ventana de la variable de tensión eléctrica de la HMI. ....	93
<b>Fig. 4.1-15</b>	Alarma amarilla encendida indicando precaución con la variable de temperatura. ....	93
<b>Fig. 4.1-16</b>	Variable de Temperatura cerca del límite establecido en la HMI. ....	94
<b>Fig. 4.1-17</b>	Gráfica del comportamiento de la variable de temperatura en la HMI. ....	94
<b>Fig. 4.1-18</b>	Gráfica 2 del comportamiento de la variable de corriente eléctrica de la HMI. ....	95
<b>Fig. 4.1-19</b>	Prueba 6 del sistema de conmutación automática y la HMI.....	95
<b>Fig. 4.1-20</b>	Conmutación manual desde el tablero.....	96
<b>Fig. 4.1-21</b>	Fuente secundaria encendida. ....	96

---

---

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Número de FA en cada estación de la línea 3 del Metro de la CDMX. ....	2
<b>Tabla 1-2</b>	Normas que aplican para las FA. ....	9
<b>Tabla 1.6-1</b>	Función de cada módulo por cajón de los armarios. ....	18
<b>Tabla 2.1-1</b>	Características del sensor LM35. ....	26
<b>Tabla 2.1-2</b>	Características del sensor ACS712. ....	28
<b>Tabla 2.1-3</b>	Características del sensor FZ0430. ....	29
<b>Tabla 2.4-1</b>	Características del foco tipo “LED” para las alarmas. ....	32
<b>Tabla 2.4-2</b>	Características del módulo de 8 relés. ....	34
<b>Tabla 2.4-3</b>	Lista de componentes para el conmutador. ....	35
<b>Tabla 2.7-1</b>	Simbología del circuito con el sistema de conmutación. ....	41
<b>Tabla 2.7-2</b>	Simbología del Layout del tablero de conmutación automática. ....	43
<b>Tabla 3.1-1</b>	Ventajas del control On/Off con Histéresis. ....	47
<b>Tabla 4.2-1</b>	Costos de los materiales del tablero. ....	97
<b>Tabla 4.2-2</b>	Costos de la HMI contemplando la licencia de LabVIEW. ....	98
<b>Tabla 4.2-3</b>	Costos de Ingeniería. ....	98
<b>Tabla 4.2-4</b>	Costo total del proyecto. ....	99

---

---

## ABREVIATURAS/SIGLAS

<b>CA</b>	Corriente Eléctrica Alterna
<b>CD</b>	Corriente Eléctrica Directa.
<b>CLT2</b>	Conducción Libre T2.
<b>CMC</b>	Conducción Manual Controlada.
<b>CML</b>	Conducción Manual Limitada.
<b>CMR</b>	Conducción Manual Restringida.
<b>CPU</b>	Unidad Central de Procesamiento.
<b>CV</b>	Variable Controlada.
<b>DAQ</b>	Dispositivo de Adquisición de Datos.
<b>DB</b>	Diagrama de Bloques.
<b>DF</b>	Diagrama de Flujo.
<b>FA</b>	Fuentes de alimentación.
<b>GND</b>	Tierra.
<b>HMI</b>	Interfaz Humano Máquina.
<b>IEC</b>	Comisión Electrónica Internacional.
<b>PA</b>	Pilotaje Automático.
<b>PLC</b>	Controladores Lógicos Programable.
<b>PV</b>	Variable del Proceso.
<b>RMS</b>	Raíz Media Cuadrática.
<b>SCADA</b>	Supervisión y Control de Adquisición de Datos.
<b>SP</b>	Servicio Provisional.
<b>SP</b>	Set Point.
<b>STC</b>	Sistema de Transporte Colectivo.
<b>TCP/IP</b>	Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet.
<b>UDP</b>	Protocolo de Datagrama De Usuario.
<b>USB</b>	Puerto Serial Universal.
<b>UTR</b>	Unidad Terminal Remota.
<b>V<sub>cd</sub></b>	Tensión de alimentación de corriente directa
<b>V<sub>out</sub></b>	Tensión de salida.

---

---

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar el control y una Interfaz Humano Máquina (HMI) para las variables de temperatura, corriente y tensión eléctrica para un sistema de conmutación automático entre dos fuentes de alimentación de 220 VCA, realizando el acondicionamiento y adquisición de señales para integrarlas en un controlador.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Diseñar y construir el conmutador para las fuentes de alimentación.
- Elaborar el prototipo del sistema de conmutación automática para las fuentes de alimentación primaria y secundaria.
- Seleccionar los sensores de temperatura, tensión y corriente eléctrica con base en las especificaciones de las fuentes de alimentación del prototipo.
- Realizar un módulo para simular las variables de temperatura, corriente y tensión.
- Seleccionar el controlador considerando el número de entradas y salidas que se necesitarán.
- Por medio del software de LabVIEW diseñar e implementar la HMI del prototipo.
- Realizar la adquisición de datos de los sensores de temperatura, tensión y corriente eléctrica.
- Finalmente se harán las pruebas para verificar que se esté realizando una conmutación automática entre la fuente de alimentación principal y secundaria.

---

## JUSTIFICACIÓN

Al estar siempre energizado el armario de Pilotaje Automático (PA) provocará que el Metro ofrezca un servicio de calidad contemplando la seguridad y el confort de los 148.082 (miles) de usuarios que usan diariamente el Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro. (INEGI, 2018)

Con base en el informe del fideicomiso maestro del STC Metro se pudo observar que el 80% de los problemas que ocurren se deben a fallas en el área de PA, surge entonces un área de oportunidad para proponer la implementación de un sistema de conmutación automático a través de la medición y monitoreo remoto utilizando una HMI. (Colectivo, 2015)

Al conocer el estado de la fuente de alimentación en tiempo real con respecto a las variables más críticas (temperatura, corriente y tensión eléctrica) si se llegan a encontrar fuera del rango de operación establecido por el fabricante se realizará una conmutación automática entre la fuente de alimentación principal y secundaria, es decir una acción de control protegiendo la fuente principal, reduciendo el tiempo de diagnóstico y manteniendo alimentado el PA.

Con el sistema propuesto no se requiere comprar fuentes de alimentación y red Ethernet ya que actualmente se encuentran instalados en cada estación, lo que se propone es integrar la red y las fuentes de alimentación con el conmutador y la HMI que se realizarán.

Al implementar este sistema de conmutación automática los problemas con las fuentes de alimentación de las estaciones ya no serán la principal barrera que se tiene hoy en día en el STC Metro, de modo que se asegurará el correcto desempeño del PA, evitando las interrupciones de servicio y pérdidas monetarias.

---

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el STC Metro se tiene el área del PA conformado por un equipo fijo “emisor” encargado de generar señales que controlan el tren para posteriormente enviarlas al equipo instalado en vías y un equipo embarcado “receptor” recibe e interpreta la información proveniente del equipo fijo y al mismo tiempo procesa las señales y las traduce en acciones para el tren.

El PA sirve para el modo de conducción segura protegiendo usuarios y equipos, con la finalidad de evitar que el operador tenga la responsabilidad total de la conducción del material rodante también conocido como tren.

Actualmente los armarios de PA del STC Metro llegan a ser desenergizados a causa de fallas en la fuente de alimentación por falta al seguimiento al plan de mantenimiento, condiciones de operación y antigüedad de los componentes, por esa razón se determinó contar con una segunda fuente de alimentación.

El protocolo que se realiza cuando se llega a dañar la fuente de alimentación principal es que el operador cambie a modo de conducción libre, causando riesgos, retrasos e interferencias por la constante comunicación que debe de existir entre el tren y Puesto Central de Control (PCC).

Sin embargo, el personal de mantenimiento del STC Metro conecta manualmente la segunda fuente para restablecer el PA y diagnostican las causas de la falla de la fuente principal. Surge entonces una área de oportunidad para proponer la implementación de un sistema de conmutación automático.

---

## INTRODUCCIÓN

Se hará la implementación con la línea 3 (verde) porque es una de las líneas más concurridas, esta va desde la estación Universidad a la estación Indios Verdes. Se tiene en mente que el sistema de conmutación automático y la HMI se implemente en todas las líneas del metro de la CDMX con excepción la línea dorada, morada y línea B porque utilizan otro sistema de pilotaje.

El propósito de la propuesta consiste en realizar el diseño de un control y la implementación de una HMI para monitorear de forma remota las variables de corriente eléctrica, tensión eléctrica y temperatura para determinar si se requiere una conmutación automática entre la fuente principal y secundaria.

El informe se divide en 4 capítulos principales:

El capítulo I “Antecedentes del sistema de control y monitoreo de conmutación”, abarca detalles sobre los tipos de fuentes de alimentación del STC Metro y de la calidad de la energía eléctrica con la finalidad de conocer los fenómenos que la afectan y así prevenir que haya cambios en la tensión, corriente eléctrica y temperatura. Además de la detección y protección de fallas en tableros de transferencia automática.

En el capítulo II se realiza el diseño del prototipo del sistema de conmutación automática con base en las variables de temperatura, corriente y tensión eléctrica, iniciando con la selección de entradas/salidas y el controlador pertinente para el sistema, posteriormente a partir de sus características se establecerán los algoritmos de control.

En el capítulo III se establecerá la estrategia de control y se explicarán los diagramas de flujo y código para la implementación de una HMI utilizando el software de LabVIEW, de modo que se monitoreen las fuentes de alimentación principal y secundaria y a su vez las variables de corriente, tensión eléctrica y temperatura.

Y finalmente, en el capítulo IV se harán las simulaciones y con base en los resultados se hará un análisis para demostrar que el sistema de conmutación se esté haciendo de manera automática y que sí se esté monitoreando de manera remota las variables de tensión eléctrica, corriente eléctrica y temperatura, con el propósito de garantizar que el PA siempre se encuentre energizado.

---

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS DE CONMUTACIÓN**

En este apartado se describirán los tipos y características de las fuentes de alimentación que se utilizan en el STC Metro y sobre la calidad de la energía eléctrica para conocer los fenómenos que la afectan, además de la detección y protección de fallas en tableros de transferencia automática.



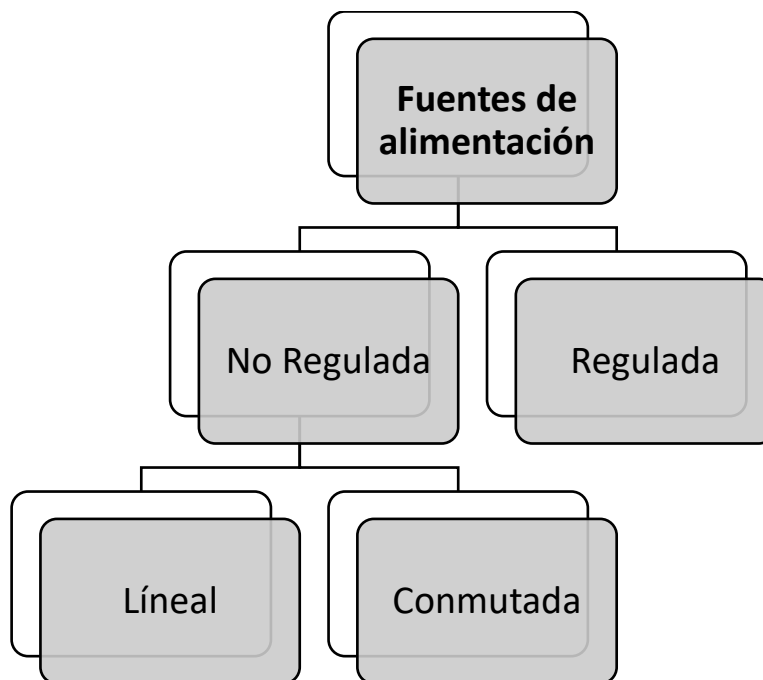


## 1.1 Fuentes de alimentación lineales industriales

Las fuentes de alimentación (FA) proporcionan un valor de tensión eléctrica determinado para el funcionamiento de cualquier dispositivo, ya que son las encargadas de convertir la entrada de tensión eléctrica alterna a una tensión eléctrica continua.

Hoy en día existen diferentes tipos de fuentes de alimentación ya sean reguladas o no reguladas, que también se pueden clasificar por el tipo de funcionamiento. (Ryder, 1999)

A continuación, se puede observar de forma gráfica la clasificación de las fuentes de alimentación:



*Fig. 1-1 Esquema de tipos de fuentes de alimentación*

Se puede observar que las fuentes de alimentación no reguladas se dividen en lineales y conmutadas; las fuentes lineales utilizan un transformador con el propósito de disminuir el nivel de tensión eléctrica en la red eléctrica a un nivel adecuado para los dispositivos, en cambio, las fuentes conmutadas utilizan circuitos basados en transistores y bobinas que trabajan en conmutación para poder controlar la tensión eléctrica. (Ryder, 1999)

Cada una de ellas tienen sus ventajas y desventajas, pero todo depende de la aplicación en donde se requieran utilizar.



Las fuentes de alimentación lineales tienen la ventaja de la simplicidad en su diseño, bajo costo en los componentes, bajo ruido en la salida y un tiempo de regulación mucho más rápido a comparación de las conmutadas.

Como desventajas se puede encontrar que se tiene una eficiencia del 30% al 60%, la cual es mucho menor a la de una fuente conmutada, además, se tiene una sola salida regulable, ya que si se requiere una salida regulada adicional se deberá incrementar el circuito de potencia, una de las desventajas más evidentes es que, al utilizar un transformador se incrementa su peso y su tamaño.

En este caso el STC Metro tiene en la línea 3 el siguiente número de fuentes de alimentación (Colectivo, 2015):

**Tabla 1-1** Número de FA en cada estación de la línea 3 del Metro de la CDMX.

<b>Línea 3</b>			
<b>Estación</b>		<b>Fuente principal</b>	<b>Fuente Secundaria</b>
	Indios verdes	1	1
	Deportivo 18 de marzo	1	1
	Potrero	1	1
	La raza	1	1
	Tlatelolco	1	1
	Hidalgo	1	1
	Juárez	1	1
	Balderas	1	1
	Niños héroes	1	1
	Hospital general	1	1

	Centro Médico	1	1
	Etiopia/Plaza	1	1
	Guerrero	1	1
	Eugenia	1	1
	División del norte	1	1
	Zapata	1	1
	Coyoacán	1	1
	Viveros/Derechos Humanos	1	1
	Miguel A. Quevedo	1	1
	Copilco	1	1
	Universidad	1	1

Como se puede observar en la Tabla 1-1, se encuentra en cada estación 2 fuentes de alimentación, una principal y una secundaria, las cuales tienen el objetivo de alimentar los armarios de PA.

La alimentación de entrada es de 220 VCA Corriente Alterna (CA) con una frecuencia de 60 Hz trifásicos provenientes de baja tensión eléctrica (tablero "U") en las líneas 4, 5, 6, 7, y 9, así como las ampliaciones de las líneas 1, 2 y 3.

Existen 3 tipos de fuentes de alimentación que se encuentran en cada una de las estaciones del STC Metro:

- Fuente Caracas

Este tipo de fuentes opera con una alimentación de 127 VCA, entrega un voltaje de salida de 24 V Corriente Directa (CD), este tipo de fuente está constituida por 1 módulo central de control (interfase 127/2x 55) y 2 módulos independientes con salida de 24 VCD.

- Fuente Rami.

La fuente tipo Rami opera con una alimentación de 220 VCA bifásica que entrega una alimentación de 24 VCD, de modo que contiene 1 módulo central de control y 2 módulos independientes con salida de 24 VCD.

- Fuente Interelec o Matra

Por último, está el tipo de fuente Interelec o también llamada Matra, opera con un voltaje de 220 VCA trifásica y entrega un voltaje de 24 VCD, con una corriente eléctrica de 30 a 50 A. Este tipo de fuente es la que se tiene en cada estación de la línea 3 del STC Metro.

A continuación, en la figura 1-2 se podrá observar cómo está conectada la fuente Matra en el tablero: (Metro, 2015)

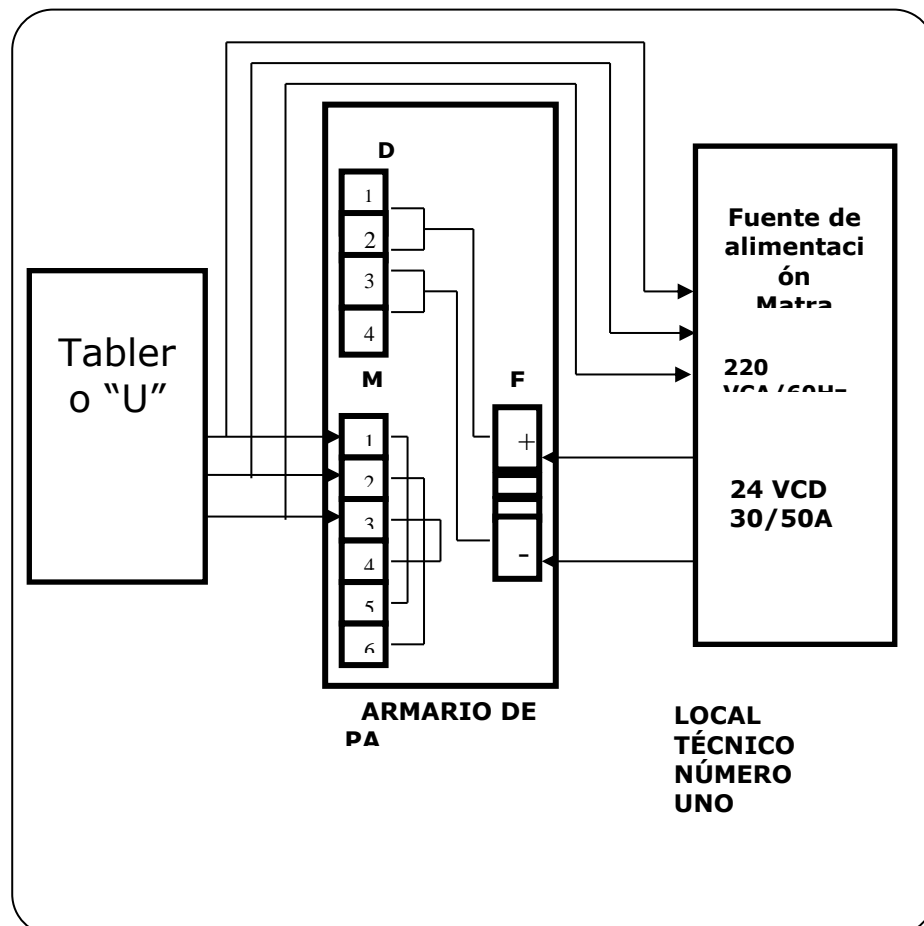


Fig. 1-2 Conexión de la FA Matra en el armario de control.

### 1.1.1 Componentes

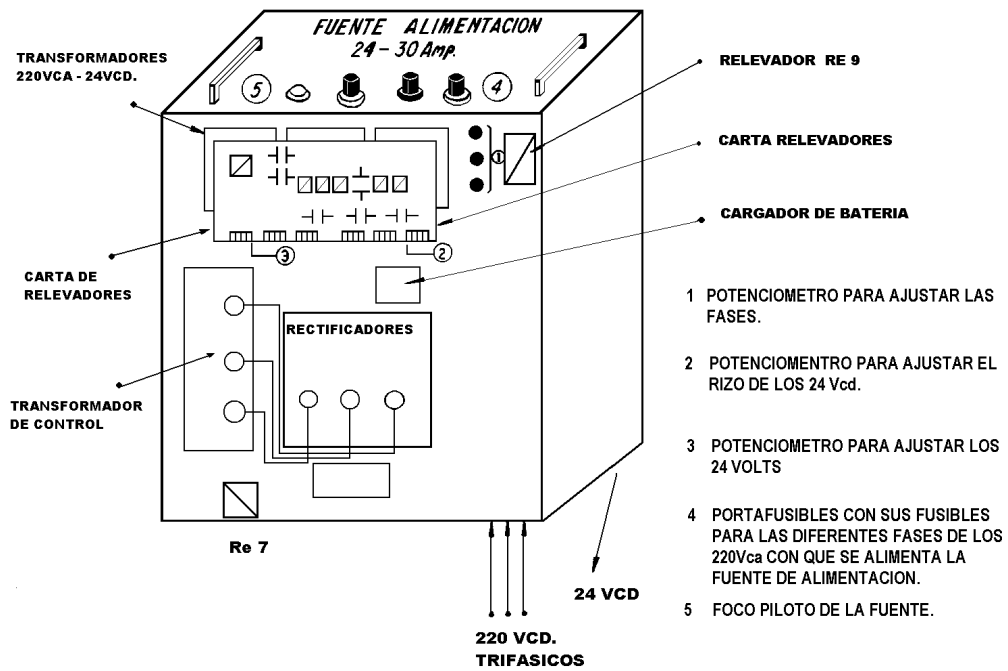
Antes de conocer el funcionamiento de una fuente de alimentación lineal es importante saber de qué están conformadas. Los principales componentes de una fuente lineal son los siguientes:

- Transformador: Éste se encarga de convertir la tensión eléctrica de entrada a una tensión eléctrica mayor o menor en su salida.
- Diodos semiconductores: Permite el paso de corriente eléctrica en un solo sentido, para la fuente de alimentación se usa un puente de diodos, con la finalidad de convertir CA en CD.
- Capacitores: Para una fuente de alimentación lineal los capacitores se utilizan como filtros, con el objetivo de disminuir la variación de tensión eléctrica, gracias a este filtro se genera el fenómeno “efecto rizo”.
- Regulador: Es el encargado de recibir la señal que se obtiene del filtro, con la finalidad de obtener una tensión eléctrica continua sin importar las variaciones de tensión eléctrica.

La fuente Matra, aparte de los componentes principales está constituida por los siguientes dispositivos (Metro, 2015):

- Carta de relevadores.
- Rectificadores.
- Transformador de Control.
- Potenciómetro de Control de salida (voltaje y rizo).
- Batería.

Para tener una idea más clara de cómo está constituida la fuente de alimentación que ocupa el STC Metro, se puede observar el siguiente esquema:



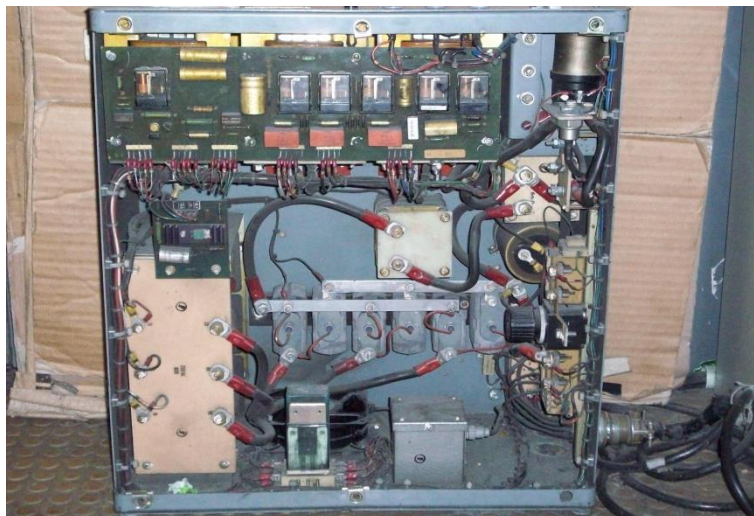
*Fig. 1-3 Partes de los componentes de la FA Matra.*

Físicamente la fuente de alimentación Interelec tiene el siguiente aspecto:



*Fig. 1-4 Fuente de alimentación Interelec o Matra.*

Por dentro, se ven los componentes ya mencionados de la siguiente manera:

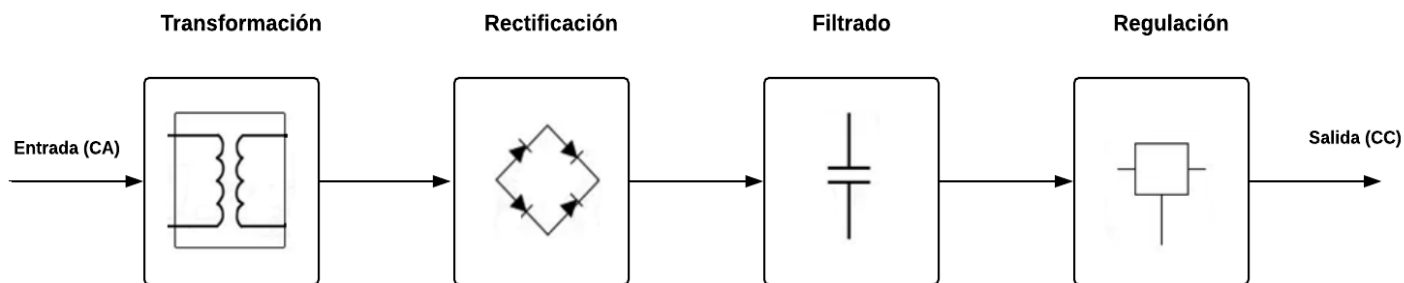


*Fig. 1-5 Componentes de la FA Interelec.*

### 1.1.2 Funcionamiento

Ahora que se conocen los componentes de una fuente de alimentación se puede comprender de una manera más sencilla su funcionamiento.

El funcionamiento consta de 4 etapas, las cuales son las siguientes (Castejon, 2002):



*Fig. 1-6 Esquema del funcionamiento de una FA Lineal.*

- Etapa de Transformación:

Se convierte la entrada de tensión eléctrica alterna a otro nivel en la salida de tensión eléctrica alterna, esta acción se realiza por medio de un campo magnético, todo esto se puede lograr gracias al bobinado primario y secundario del transformador.

- Etapa de Rectificación:

En esta etapa se rectifica la señal que proviene del bobinado secundario del transformador, con la finalidad de convertir la señal de CA a CD, para poder transformar la señal se utiliza un puente de diodos semiconductores.

- Etapa de Filtrado:

Esta es una de las etapas más importantes, ya que la señal rectificada que se obtuvo en la etapa anterior no es precisamente continua, por lo que se debe de utilizar capacitores en paralelo; para poder eliminar la ondulación los capacitores se cargan al valor máximo de la tensión eléctrica recibida por el rectificador y se van descargando lentamente hasta que la señal pulsante va desapareciendo. Esta etapa tiene como objetivo obtener una tensión eléctrica lo más continua posible.

- Etapa de Regulación:

Finalmente, en esta etapa se mantiene constante las características del sistema, además se mantiene independiente el estado de la salida con la entrada, todo esto se logra utilizando circuitos integrados, que por lo regular es un transistor de potencia.

### 1.1.3 Normas

Para el uso de fuentes de alimentación lineales es muy importante conocer las normas, ya que son las que definen y regulan los métodos y sistemas estandarizados.

Las normas ayudan a garantizar la calidad, tener seguridad en la instalación y evitar malentendidos en la comunicación. Uno de los comités más importantes en cuanto a normas es la “Comisión Electrónica Internacional” (IEC), el cual está constituido por miembros de diferentes países que tienen intereses electrónicos nacionales.

A continuación, se puede observar en la siguiente tabla las normas que aplican para las fuentes de alimentación. (Viloria, 2008)



**Tabla 1-2 Normas que aplican para las FA.**

<b>Norma de producto</b>	<b>IEC/EN 61204</b>	<b>Unidades de alimentación de baja tensión eléctrica.</b>
Directiva de baja tensión eléctrica	73/23/EEC	Se cumple los requisitos en cuanto a equipo eléctrico para uso dentro de unos límites de tensión eléctrica específicos.
Seguridad Eléctrica	EN 50178	Equipo electrónico para el uso en instalaciones de potencia
Directiva EMC	89/336/CEE	Se cumple los requisitos en cuanto a compatibilidad electromagnética.
EMC(Inmunidad)	IEC/EN 61000-6-1	Normas genéricas, inmunidad al ruido.
	IEC/EN 61000-6-2	Normas genéricas, inmunidad para entornos industriales.
	IEC/EN 61000-4-2	Pruebas de inmunidad a la descarga electrostática.
	IEC/EN 61000-4-3	Pruebas de inmunidad a los campos electromagnéticos de alta frecuencia.
	IEC/EN 61000-4-4	Pruebas de inmunidad a las oscilaciones eléctricas rápidas
	IEC/EN 61000-4-5	Pruebas de inmunidad a las tensiones de impulso.
	IEC/EN 61000-4-6	Inmunidad a las interferencias vinculadas a la conducción, inducidas por campos de alta frecuencia.

## 1.2 Calidad de la energía eléctrica

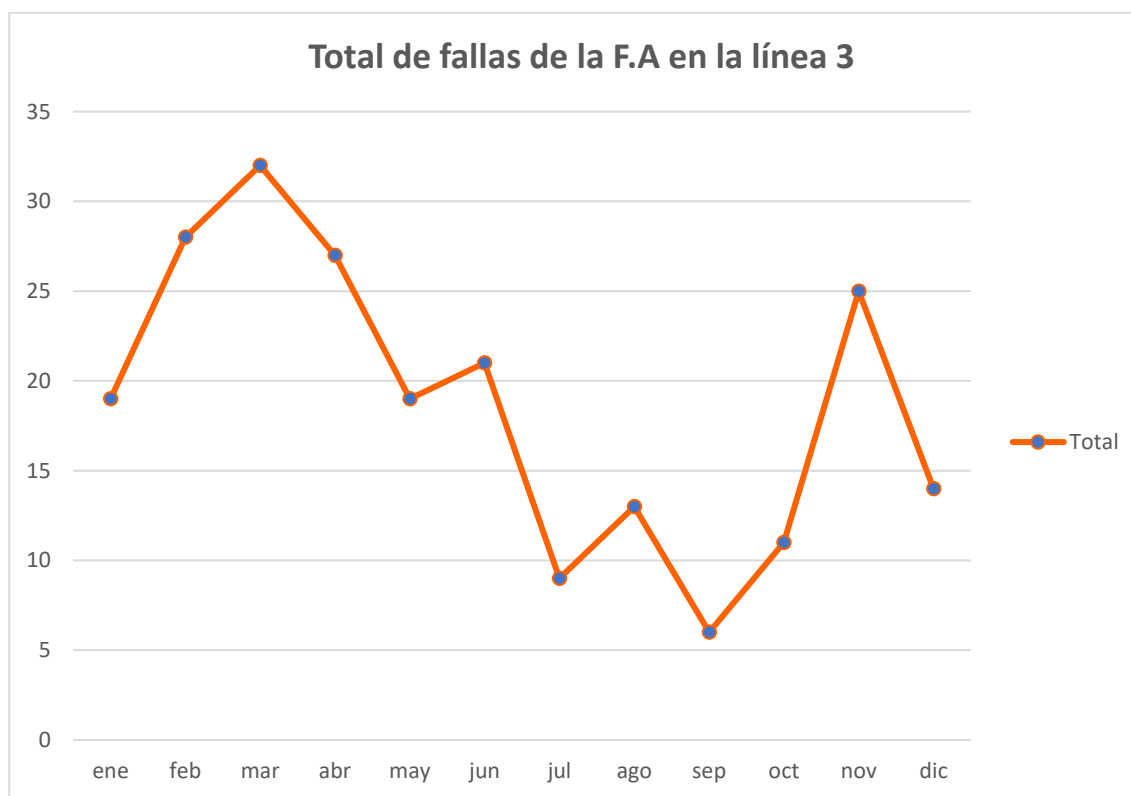
Se refiere a calidad de energía eléctrica aquella que carece de interrupciones, deformaciones y sobretensiones originadas por armónicas en la red y variaciones de tensión eléctrica. La calidad de la energía es utilizada para describir las variaciones de corriente, tensión eléctrica y la frecuencia en un sistema eléctrico. (Jose, 2004)

Al no tener buena calidad en la energía eléctrica se pueden encontrar perturbaciones eléctricas, las cuales llegan a afectar las condiciones eléctricas del suministro ocasionando que haya un daño o mal funcionamiento de los equipos o proceso.

Tener una buena calidad en la energía eléctrica es de suma importancia, ya que no se tienen variaciones bruscas de tensión eléctrica y de corriente, al tenerlas hace que se dañen los equipos y que dejen de funcionar de manera correcta.

En el STC Metro no se tiene una buena calidad de energía, esta es una de las causas por las que se tienen problemas con las fuentes de alimentación de cada estación.

A continuación, se puede observar con la siguiente gráfica el historial acerca de los problemas que se han tenido con las FA en todo el año 2017 de la línea 3 del STC Metro. (Colectivo, 2015)



**Fig. 1.2-1** Gráfica de Número de fallas de las FA en la línea 3 del Metro (Colectivo, 2015).

Lo anterior, afecta la calidad del servicio que se brinda a los usuarios que utilizan la línea 3, en los rubros de tiempos de traslado, confort y seguridad, debido a que no se encuentra habilitado el modo de PA y se cambia a modo de conducción libre.

### **1.2.1 Fenómenos que afectan la calidad de la energía eléctrica**

El tener una mala calidad de la energía eléctrica provoca que se dañe el equipo y al mismo tiempo se reduce su confiabilidad, también se disminuye la productividad y se pone en peligro la seguridad del personal, por estas razones es muy importante atacar esos fenómenos que se presentan en la energía eléctrica. (Jose, 2004)

Los fenómenos más comunes que afectan la calidad de la energía son los picos de tensión eléctrica, interrupciones, tensiones transitorias, disturbios, sonidos de alta frecuencia, fallas en la onda eléctrica, caídas e incrementos en la tensión eléctrica, pérdida total de la energía, etc. Los fenómenos ya mencionados son las causantes de que las fuentes de alimentación dejen de funcionar y se dañen.

A continuación, se describirán los fenómenos que más afectan a la calidad de la energía, por consiguiente, llegan a dañar a las fuentes de alimentación: (Zaragoza, 2001)

- Interrupciones

Hoy en día las interrupciones son un gran problema para obtener una energía eléctrica de calidad, ya que son una pérdida completa de tensión eléctrica, éstas son causadas por la operación inducida de los interruptores automáticos de los circuitos y de los fusibles.

Las interrupciones se pueden clasificar como temporales y prolongadas. Las temporales, como su nombre lo dice, son pérdidas momentáneas totales de tensión eléctrica, son originadas por la operación de los dispositivos automáticos de protección por sobrecorriente. En cambio, las interrupciones prolongadas son fallas eléctricas permanentes, es decir los componentes llegan a ser dañados y deben de ser reemplazados por unos nuevos.

- Tensiones transitorias

Se definen como variaciones en la amplitud de la onda de tensión eléctrica, así mismo, en el valor Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal, estos son originados por operaciones de conmutación y algunas descargas atmosféricas. A Los transitorios se les

conoce como caídas y subidas, estas se dividen en 2 categorías baja tensión y sobretensión eléctrica:

Las tensiones transitorias de baja tensión son los decrementos en la tensión RMS cuando se tienen valores menores del 10% del valor nominal, de lo contrario los transitorios de sobretensión eléctrica son aquellos incrementos en la tensión eléctrica RMS cuando hay valores de al menos 10% arriba del valor nominal.

- Disturbios

Los disturbios se conocen como transitorios de cortas duración, son caracterizados por una breve discontinuidad repentina en forma de onda y pueden tener una duración muy corta y alta magnitud. Los disturbios tienen 2 tipos de orígenes, los externos son producidos por descargas atmosféricas en las líneas eléctricas y los internos son ocasionados por la operación de dispositivos de desconexión, conmutación electrónica, etc.

- Armónicas

Las armónicas se definen como señales senoidales que se suman a la señal de frecuencia causando una deformación en la onda original, las cargas lineales no provocan armónicas, de lo contrario las cargas no lineales si lo hacen. Los efectos armónicos originan calentamiento en motores y transformadores, calentamiento en bancos de capacitores, daños en los equipos, etc.

Para evitar los fenómenos más comunes que afectan la calidad de la energía se pueden utilizar los siguientes dispositivos:

- Transformadores de aislamiento.
- Filtros para las armónicas.
- Compensadores estáticos.
- Fuentes interrumpibles.

## 1.2.2 Cargas críticas

Las cargas críticas se dividen en interrumpibles y no interrumpibles, las interrumpibles son aquellas en donde no se tiene problema si se llega a tener una desconexión parcial de la red del suministro eléctrico, en cambio las cargas críticas no interrumpibles no requieren de un suministro continuo. Para la carga crítica al dejar de funcionar de una manera incorrecta pone en peligro la seguridad de la vida humana y provoca daños económicos en los dispositivos. (Jose, 2004)

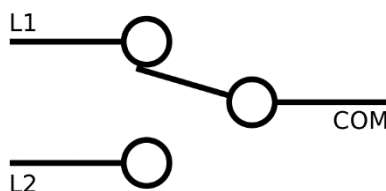
## 1.2.3 Cargas sensibles

Las cargas sensibles necesitan energía de alta calidad, ya que los equipos electrónicos están más propensos a los disturbios, por consiguiente, los equipos requieren de energía libre de variaciones de frecuencia o de tensión eléctrica. (Jose, 2004)

## 1.3 Conmutadores

Los conmutadores modifican el camino que deben de seguir los electrones, el funcionamiento de los conmutadores se asemeja al de un interruptor, con la diferencia de que el conmutador desconecta un circuito para conectar a otro circuito.

Su principal objetivo es desviar la circulación de la corriente eléctrica a otro circuito, todo esto se puede lograr con una conexión automática o un circuito alterno, como se puede observar de la siguiente manera: (Castejon, 2002)



**Fig. 1.3-1** Circuito de conexión de un conmutador.

### 1.3.1 Funcionamiento

El conmutador direcciona la circulación de la corriente eléctrica, es decir permite el cambio del recorrido de la corriente, esto es posible ya que está conformado por un interruptor directo e inversor, los cuales con una sola actuación se puede aislar el circuito primario y enseguida se conecta al otro circuito secundario, haciendo que se conmuten los circuitos.

El conmutador puede tener 2 o más vías de circulación para los electrones, para ello existen 2 tipos de conmutadores, unipolar y multipolar que son de la siguiente manera: (A.Castejon, 2002)

- Conmutador unipolar

Tiene una estructura de una salida y una llegada, es decir con 2 terminales, es importante saber que si la terminal de llegada tiene 2 posiciones se está hablando de un conmutador de 2 posiciones, pero si la terminal de llegada contiene 3 o más conexiones, entonces se le denomina un conmutador de multi posiciones.

- Conmutador multipolar

Este conmutador tiene una estructura de varias alternativas de conexión en la terminal de salida, a este conmutador se le conoce como de selección múltiple.

Por esta razón contemplando el funcionamiento del conmutador, se quiere realizar un sistema de conmutación automático, ya que, si se llega a realizar un cambio brusco en las variables de corriente, temperatura y tensión eléctrica en la fuente principal, se haga la conmutación de manera rápida a la fuente secundaria

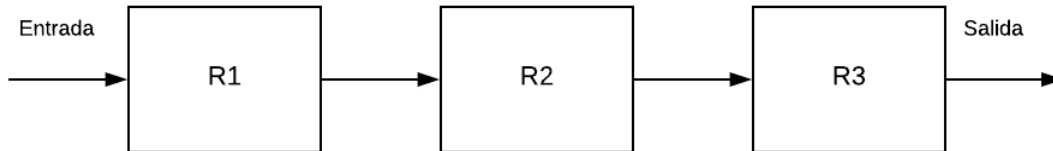
## 1.4 Sistema de redundancia

Los sistemas de redundancia son estructuras que solucionan los problemas de protección y confiabilidad, tienen el objetivo de realizar el mismo proceso en un lazo del circuito, para que, si por algún motivo se llega a tener una falla, en seguida otro tiene que ocupar el lugar y la misma función.

Existen conexiones en serie y en paralelo, las cuales se pueden definir de la siguiente manera: (Brenner-M, 1997)

- Conexión en serie

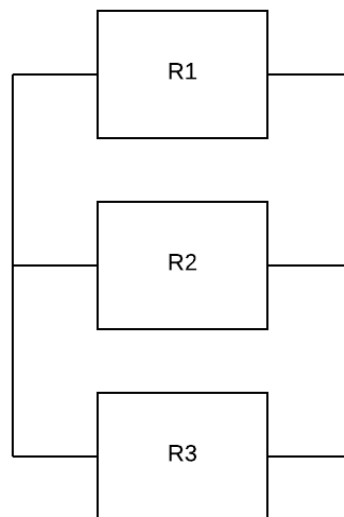
Esta conexión es muy utilizada para el paro de cualquier máquina, ya que condiciona el fallo, es decir cada bloque puede estar formado por uno o más equipos, en donde se tiene una entrada y una salida de tal manera que el fallo de cualquier elemento produce el fallo general de todo el conjunto.



*Fig. 1.4-1 Esquema de un ejemplo de conexión en serie.*

- Conexión en paralelo

Aquí la conexión permite que se pueda elegir entre diferentes entradas y cada una origina una salida. Al conectar dispositivos en paralelo la fiabilidad aumenta y se puede usar para cualquier número de componentes conectados en paralelo.



*Fig. 1.4-2 Esquema de un ejemplo de conexión en paralelo.*

### **1.4.1 Activa**

La redundancia activa quiere decir que todos los elementos se encuentran activos y el fallo de uno de ellos hará que los demás equipos compensen la carga de trabajo por ausencia del equipo o dispositivo descompuesto. (Brenner-M, 1997)

### **1.4.2 Pasiva**

Otro tipo de redundancia es la pasiva, también llamada secuencial, a diferencia del sistema activo, el sistema va a funcionar siempre y cuando el sistema principal funcione de manera correcta, en caso de que el sistema principal llegue a fallar, en seguida el sistema redundante pasivo entra en acción y es capaz de sustituir el funcionamiento del principal, es decir el elemento redundante va a permanecer inactivo hasta que se presente un fallo.

Este tipo de redundancia es en la que estará basando el sistema de conmutación de la fuente principal con la fuente secundaria, ya que en este caso la fuente secundaria quedará de manera pasiva hasta que llegue a fallar la fuente de alimentación entra en acción la fuente secundaria. Para ello el sistema de conmutación automática se encargará de hacer la conmutación cuando se detecte por medio de los sensores si las variables de tensión eléctrica, corriente eléctrica y temperatura cambien bruscamente. (Brenner-M, 1997)

## **1.5 Tableros y transferencia automática**

Los tableros de transferencia son interruptores eléctricos que cambian una carga entre dos fuentes, esto lo realizan en cuanto detectan alguna anomalía entre una de las fuentes, es decir estos tableros de transferencia se instalan con la finalidad de que, si se detecta una falla en el suministro se pueda encender inmediatamente la planta eléctrica. Tienen el objetivo de activar los contactores en la entrada de emergencia y proporcionar energía desde la planta eléctrica.

Las principales funciones de un tablero de transferencia son normalizar la red externa, realizar la transferencia de cargas, hacer la reconexión a la red externa, etc. Los tableros de transferencia brindan comodidad al momento de presenciar una falla en la red externa de energía, ya que pone en marcha el equipo ante el fallo. Al utilizar un tablero de transferencia automática garantiza la seguridad de las personas y el funcionamiento de los equipos. (Zaragoza, 2001)



### 1.5.1 Detección y protección de fallas

El funcionamiento de la transferencia automática está basado por un controlador lógico programable, es decir los eventos que activan o desactivan el tablero de transferencia se verifican en las entradas de señal del controlador lógico.

La detección de fallas se realiza en cuanto se detecta una alteración en la tensión eléctrica de la acometida, entonces el tablero de transferencia automática hará lo siguiente: (Jose, 2004)

- Se abrirán los interruptores de la acometida.
- Los generadores se activarán y se sincronizarán con los otros generadores.
- Se checará la tensión eléctrica del generador en paralelo.
- Se cerrará el interruptor de la barra común de generadores.

### 1.5.2 Tablero de transferencia automática por interruptor de doble tiro.

La función de un tablero de transferencia automática de doble tiro es sensar la tensión eléctrica suministrada y en caso de falla desconectar el suministro principal, por lo que se tiene problemas de tensión eléctrica, corriente eléctrica o temperatura, entre otros, esto hará que el tablero ordene al arrancador automático de la planta de emergencia que empiece a funcionar y en cuanto el sistema se restablezca pasa de nuevo la carga al suministro normal.

Una de las ventajas más importantes de que sean con interruptor de doble tiro es que cuentan con la operación de una bobina que trabaja con apertura y cierre en corto tiempo, asimismo no hay riesgo de sobrecalentamiento en los componentes por su corta operación. (Jose, 2004)

## 1.6 Armario de control del Sistema de Transporte Colectivo Metro

En el Sistema de Transporte Colectivo Metro existen 3 tipos de armarios, tienen como objetivo que el modo de Pilotaje Automático funcione de manera correcta: (Metro, 2015)

- Armario de Bloque
- Armario de Maniobra o Servicio Provisional (SP)
- Armario de Vía de Pruebas.

En la área de local técnico se encuentran dos armarios, uno alimenta la salida de la estación "A", otro al andén de la estación B y el último a la salida de la estación "C".

Entre estos tipos de armarios, el armario de bloque se encuentra instalado en todas las estaciones de la línea y está dividido en nueve cajones, de los cuales sólo se utilizan 8 para la elaboración de los programas.

La composición y función de cada módulo por cajón es la siguiente:

**Tabla 1.6-1** Función de cada módulo por cajón de los armarios.

<b>CAJÓN</b>	<b>ARMARIO DE BLOQUE</b>	<b>ARMARIO DE MANIOBRA</b>
<b>I</b>	1E/12S	1E/12
<b>II</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Convertidor.</li> <li>• Mando de inicialización.</li> <li>• Interfase 24/127.</li> <li>• Interfase 127/24.</li> <li>• Expansor en CA</li> <li>• Expansor en CD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Convertidor.</li> <li>• Mando de inicialización.</li> <li>• Interfase 24/127.</li> <li>• Interfase 127/24.</li> <li>• Expansor en CA</li> <li>• Expansor en CD</li> </ul>
<b>III</b>	No Se Utiliza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2Y</li> <li>• Validación</li> </ul>
<b>IV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2ET</li> <li>• Validación</li> <li>• Inversor Complementario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2ET</li> <li>• Validación</li> <li>• Inversor Complementario.</li> </ul>
<b>V</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2ET</li> <li>• Expansor en CA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2ET</li> <li>• Expansor en CA</li> </ul>
<b>VI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferencia BF Emisión</li> <li>• Transferencia BF Recepción</li> <li>• Cableado armario</li> <li>• Cableado anexo armario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferencia BF Emisión</li> <li>• Transferencia BF Recepción</li> <li>• Cableado armario</li> <li>• Cableado anexo armario.</li> </ul>
<b>VII</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modulo Alta Frecuencia HF</li> <li>• Mando de marchas</li> <li>• Sumadores de BF's</li> <li>• Anexo 1C</li> <li>• Anexo 2C</li> <li>• Osciladores de BF's (1, 2 y 3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modulo Alta Frecuencia HF</li> <li>• Mando de marchas</li> <li>• Sumadores de BF's</li> <li>• Anexo 1C</li> <li>• Anexo 2C</li> <li>• Osciladores de BF's (1, 2 y 3)</li> </ul>
<b>VIII</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moduladores.</li> <li>• Relevadores estáticos de HF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moduladores.</li> <li>• Relevadores estáticos de HF</li> </ul>
<b>IX</b>	Amplificadores.	Amplificadores.

## 1.7 Modos de conducción

En el STC Metro existen diferentes tipos de modos de conducción para operar los trenes, son los siguientes: (Metro, 2015)

- Pilotaje Automático (PA).
- Conducción Manual Controlada (CMC).
- Conducción Manual Limitada (CML).
- Conducción Manual Restringida (CMR).
- Conducción Libre T2 (CLT2).

Estas modalidades se representan desde un modo en que el tren se conduce de forma automática respondiendo o hasta un modo en que el conductor es ahora el responsable del control del tren, regulando la velocidad a su criterio, sin sobrepasar un límite de 35 km/h.

En este caso el armario de control, es el alimentado por las fuentes de alimentación “Matra”, tiene el objetivo de alimentar el pilotaje automático, por esa razón sino está energizado el Armario de control por causa de fallas de las fuentes de alimentación hace que el servicio del Metro sea ineficiente, ya que al no estar energizado el armario de control la forma de modo de conducción PA no se puede efectuar, provocando que los operadores de los trenes conduzcan de una manera manual.

### 1.7.1 Pilotaje Automático (PA)

El área de PA a través de sus instalaciones se encarga de brindar a los trenes las señales necesarias para que puedan operar bajo el modo de conducción PA, la circulación debe ser preferentemente bajo esta modalidad para lograr mayor seguridad y fluidez en el menor tiempo posible. (Metro, 2015)

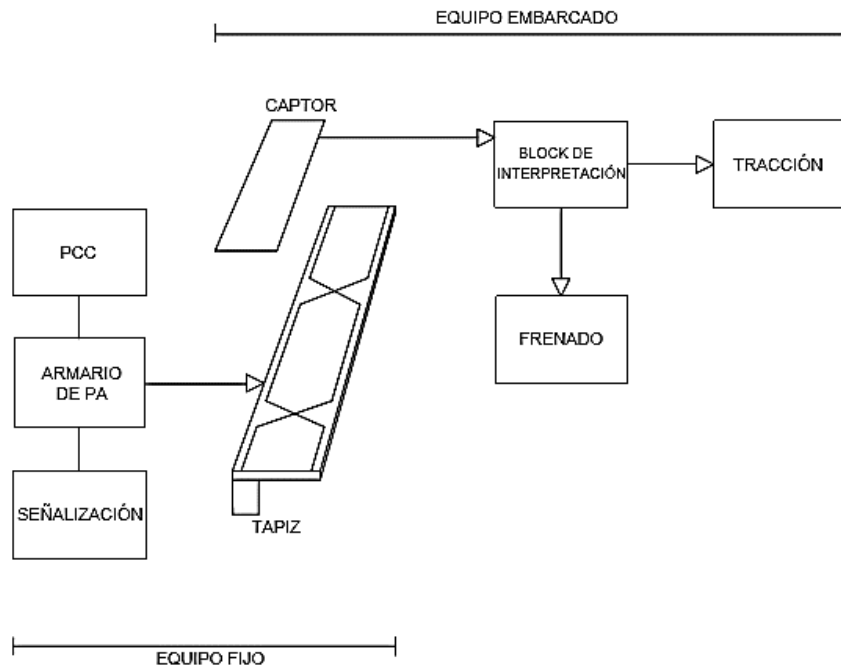
El sistema de PA está compuesto por los siguientes equipos:

- Equipo Fijo

El equipo fijo mediante armarios de bloque y maniobra, se encarga de generar las señales que controlan el tren para posteriormente, enviarlas al equipo instalado en vías, está compuesto por cajas de conexión, cajas encargadas de acondicionar la señal, cables conductores y un tapiz donde se empalman los cruzamientos.

- Equipo Embarcado

En cambio, la función del equipo embarcado, también llamado captor en el tren es recibir e interpretar la información proveniente del equipo fijo, y al mismo tiempo procesar las señales y traducir en acciones del tren como tracción, frenado, apertura de puertas, frenado de urgencia, entre otras.



**Fig. 1.7-1** Componentes del equipo fijo y embarcado del PA.

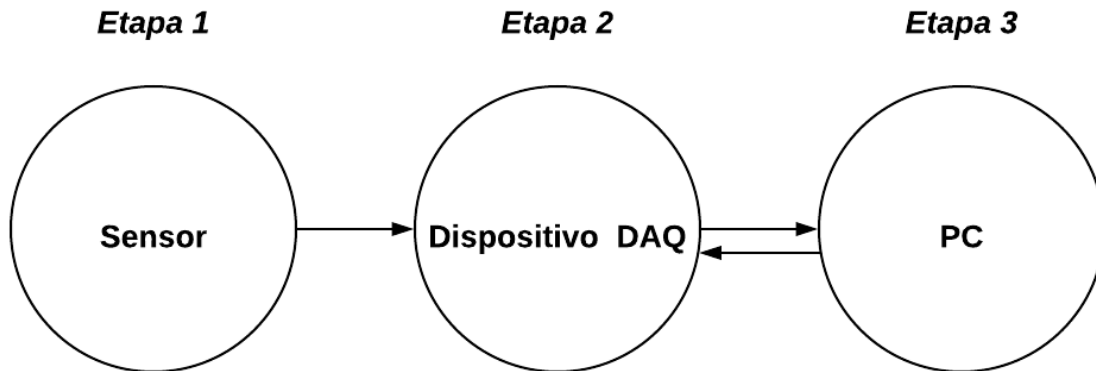
## 1.8 Adquisición de datos

La adquisición de datos es una parte fundamental para este proyecto, este se entiende como el proceso de medir con un controlador un fenómeno eléctrico o físico.

La adquisición de datos comienza el sensor, ya que el sensor estará en contacto con la variable del proceso que se quiere medir, la señal que manda el sensor se debe de realizar un acondicionamiento de señales en donde se necesitará un convertidor analógico-digital para que el controlador o microcontrolador pueda detectar la señal.

La señal que envía el controlador es una señal digital, la cual se manda a la PC, esta señal se puede ver gráficamente por medio del software del controlador o microcontrolador.

A continuación, se podrán observar en el siguiente esquema los pasos para la realización la adquisición de datos: (Castro, 2006)



*Fig. 1.8-1 Esquema del proceso de adquisición de datos.*

- **Etapa 1**

En esta etapa, como ya se ha comentado anteriormente, se requiere de un sensor, también llamado transductor, este nos va a sensar el fenómeno físico, en este caso las variables que se requiere medir son temperatura, corriente y tensión eléctrica, esta lectura se va a convertir en señal eléctrica y la mandará al controlador.

Hay ocasiones en que algunos sensores requieren de componentes adicionales, o circuitos, para generar de manera correcta la señal y pueda ser leída al controlador con precisión y sin ningún problema.

- **Etapa 2**

El controlador o microcontrolador es un ejemplo de un dispositivo de adquisición de datos (DAQ), que se utiliza para la interfaz entre la PC y las señales eléctricas que son enviadas por transductor, su función es digitalizar las señales analógicas para que la PC pueda interpretarlas.

Los principales elementos que necesita un DAQ son: el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico a la digital y el cable para comunicarla con la PC.

- Etapa 3

En la etapa 3 se controla la operación del DAQ por medio del software programable, el software debe de ser compatible con el DAQ, por medio de la programación se podrá visualizar y almacenar datos deseados.

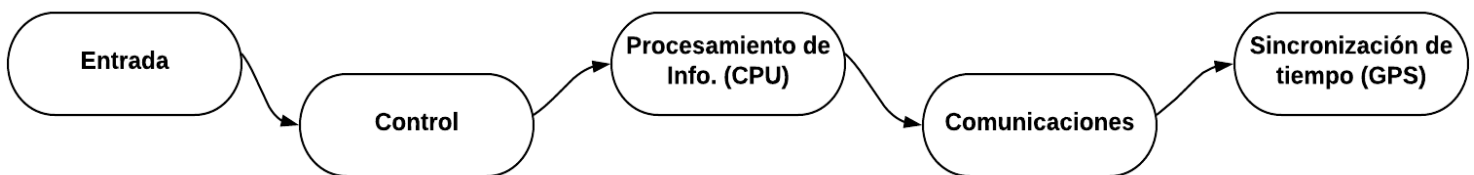
Se puede resumir que para realizar la adquisición de datos se necesita de sensores, hardware adecuado para adquisición de datos y una PC con un determinado software.

Lo importante de los sistemas de adquisición de datos basados en PC es que aprovechan la potencia del procesamiento, productividad y visualización.

## 1.9 Unidad terminal remota

La Unidad Terminal Remota (UTR), son dispositivos de DAQ y control en campo, tienen como objetivo hacer la interfaz con los instrumentos, control local y remoto, al mismo tiempo tiene la capacidad de monitorear cierto número de entradas/salidas del proceso, en donde se analizan los datos de manera en tiempo real y ejecuta algoritmos de control. El UTR está basado en microprocesadores, en donde se obtiene señales de los procesos y envían información a un sistema remoto. (Viloria, 2008)

La unidad terminal remota consta de los siguientes módulos:



**Fig. 1.9-1** Módulos que componen la UTR.

La información que se encuentra en el cuarto de control principal es intercambiada por medio de un protocolo de comunicación. La Unidad Central de Procesamiento (CPU) es la encargada de controlar todas las funciones de la UTR, ya que dirige las transferencias de datos a los registros y localidades de memoria.

Sus funciones de procesamiento de datos son secuencias determinadas por el software y los datos se almacenan en la memoria RAM y ROM. La UTR está conformada por módulos de entradas y salidas, en los módulos de entrada se adquiere la información de la instrumentación de campo y todo el sistema local, en cambio en los módulos de las

salidas proporcionan al proceso las señales de control, pueden ser digitales o analógicas, estas señales provienen del sistema SCADA. Uno de los ejemplos más comunes de un UTR son los Controladores Lógicos Programables (PLC's).



Fig. 1.9-1 Ejemplos de UTR's.

---

# **CAPÍTULO II**

## **DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA**

En este apartado se realizará el diseño del prototipo del sistema de conmutación automática con base en las variables de temperatura, corriente y tensión eléctrica, iniciando con la selección de entradas/salidas y el controlador pertinente para el sistema. El capítulo está dedicado a la parte física del proyecto y cómo se integran los dispositivos en el tablero.





Por políticas del Metro solo personal autorizado puede ingresar a los cuartos de control para realizar pruebas con las FA y el tablero de control, por esta razón se hará la implementación de un prototipo del sistema de conmutación automática, contendrá las FA principal y secundaria, conmutador y alarmas.

## 2.1 Selección de dispositivos de entradas.

Para el prototipo del sistema de conmutación automática se ocuparán los siguientes dispositivos para las entradas:

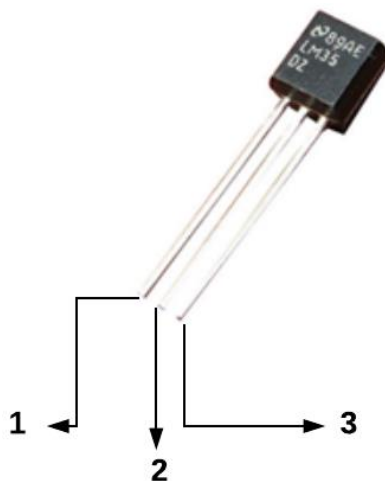
- Sensor de temperatura.
- Sensor de tensión eléctrica.
- Sensor de corriente.
- Interruptor para el sistema de conmutación manual.

A partir del punto 2.1.1 se explicará con detalle la selección de los dispositivos de entrada mencionados.

### 2.1.1 Sensor de temperatura.

Uno de los problemas más frecuentes que se tienen en las fuentes de alimentación del SCT Metro es que no se cuenta con una buena calidad de energía, por lo tanto, se llega a tener un incremento en la temperatura de los componentes, es decir, se tiene un sobrecalentamiento causando que los componentes internos de las FA se dañen por estos cambios bruscos de temperatura.

Por esta razón es importante tener monitoreada la variable de temperatura en la parte interna de la FA, para ello se propone utilizar el sensor LM35 para la medición de temperatura, tiene la siguiente estructura:



*Fig. 2.1-1 Esquema del sensor LM35.*

Al observar el LM35 de frente, es decir con las letras del encapsulado hacia arriba se identifican los siguientes pines:

1. Pin 1 es  $V_{CD}$  en donde se conecta a una alimentación de 5 VCD.
2. Pin 2 es el  $V_{OUT}$ , es la medición que realiza el sensor y se obtiene en volts.
3. Pin 3 es el GND.

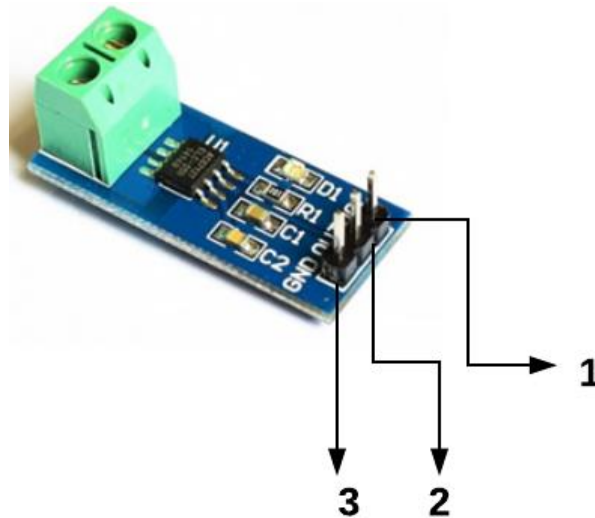
Se escogió el sensor de temperatura **LM35**, ya que consta las siguientes características:

**Tabla 2.1-1** Características del sensor LM35.

LM35
<ul style="list-style-type: none"><li>• Rango de medición de <math>-55^{\circ}\text{C}</math> hasta <math>150^{\circ}\text{C}</math>.</li><li>• Salida líneal.</li><li>• Salida analógica.</li><li>• <math>1^{\circ}\text{C}</math> equivale a 10mV.</li><li>• Esta calibrado para medir <math>^{\circ}\text{C}</math>.</li><li>• No requiere de circuitos adicionales para calibrarlo.</li><li>• Baja impedancia de salida.</li><li>• Rango de alimentación entre 4-30 VCD</li><li>• Rango de precisión de <math>\pm 0,4^{\circ}\text{C}</math>.</li><li>• Bajo costo.</li></ul>

### 2.1.2 Sensor de corriente eléctrica.

El sensor de corriente eléctrica que se va a utilizar para el prototipo es el **ACS712**, ya que internamente trabaja con un sensor de efecto *Hall*, el cual detecta el campo magnético que se produce por inducción de corriente, que circula por la línea en la que se está haciendo la medición. La estructura del sensor ACS712 es la siguiente:



*Fig. 2.1-2 Esquema del sensor ACS712.*

Como se puede observar en la Fig. 2.1-2 los pines del sensor de corriente ACS712 son los siguientes:

1. Pin 1 es  $V_{CC}$  en donde se conecta a una alimentación de 5 VCD.
2. Pin 2 es el  $V_{OUT}$ , es la medición que realiza el sensor.
3. Pin 3 es el GND.

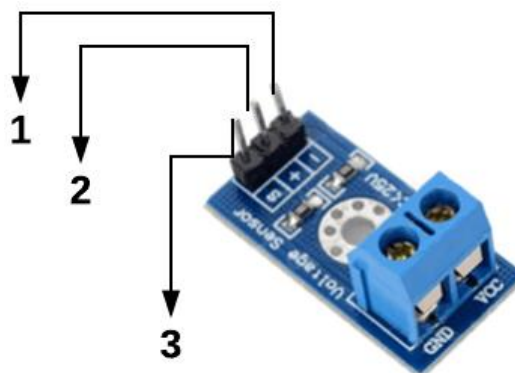
Para ello se eligió el sensor de corriente eléctrica ACS712, ya que consta de las siguientes características:

**Tabla 2.1-2** Características del sensor ACS712.

ACS712
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es económico.</li> <li>• Trabaja con un sesor efecto Hall.</li> <li>• Salida de tensión eléctrica 2.5 VCD proporcional a la de corriente eléctrica 0A.</li> <li>• Fácil uso.</li> <li>• Bajo offset.</li> <li>• Alimentación de 5 VCD.</li> <li>• Rango de medición hasta 30 A.</li> </ul>

### 2.1.3 Sensor de tensión eléctrica.

Otra de las variables que se va a estar monitoreando es la de tensión eléctrica, por lo que se utilizará para el prototipo el sensor de tensión eléctrica **FZ0430**, este es un simple divisor de tensión eléctrica con resistencias de 30 y 7.5 kilo-ohm, lo que supone que la tensión eléctrica percibida con el módulo es dividida por un factor de 5 ( $7.5 / (30+7.5)$ ). La estructura del FZ0430 es la siguiente:



**Fig. 2.1-3** Esquema del sensor de tensión eléctrica FZ0430.

Como se puede observar en la Fig. 2.1-3 los pines del sensor de tensión eléctrica FZ0430 son los siguientes:

1. Pin 1 es el GND.
2. Pin 2 es  $V_{CD}$  en donde se conecta a una alimentación de 5 VCD.
3. Pin 3 es  $V_{OUT}$ .

Para ello se escogió el sensor de tensión eléctrica FZ0430, consta de las siguientes características:

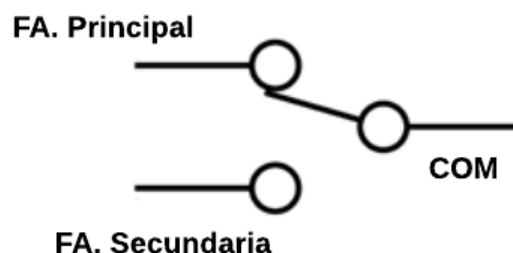
**Tabla 2.1-3** Características del sensor FZ0430.

FZ0430
<ul style="list-style-type: none"> <li>Rango de medición hasta 25 VCD.</li> <li>Alimentación con 5 VCD.</li> <li>Conexión sencilla.</li> <li>Sensor económico.</li> </ul>

### 2.1.4 Botón de conmutación manual.

El botón de conmutación manual estará físicamente en el tablero del prototipo y de manera remota en la HMI, este tiene la función de realizar la conmutación entre la fuente de alimentación principal y la secundaria de forma manual, ya que si se requiere hacer un mantenimiento preventivo se puede hacer uso de este botón.

Este botón será un pulsador On/Off con retención que hará que el conmutador desconecte la fuente de alimentación principal para conectar la fuente secundaria como se muestra en la siguiente figura 2.1-4:



**Fig. 2.1-4** Esquema del botón de conmutación manual.

Como se puede observar en la Fig. 2.1-4 el conmutador desviará la circulación de corriente eléctrica a la fuente de alimentación secundaria.

## 2.2 Módulo de simulación de variables

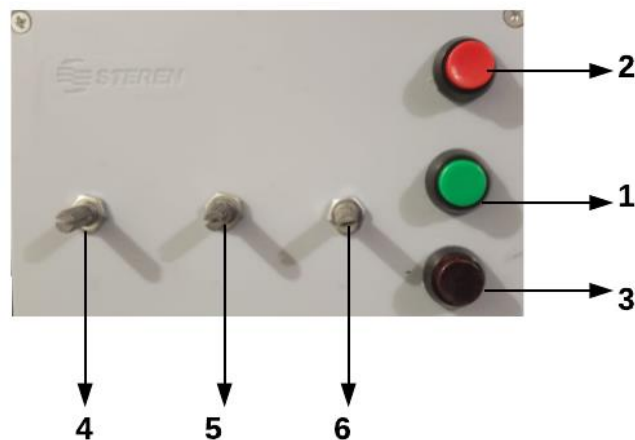
El módulo de simulación de variables estará conectado a la fuente principal para poder representar las variables de tensión eléctrica, corriente eléctrica y temperatura. Para ello se tendrá 3 potenciómetros de 10 kilo-Ohm y cada uno representa una variable, de manera en que al cambiar el valor del potenciómetro se interpretará como si se estuvieran modificando las variables ya mencionadas.

Con el módulo de simulación se permitirá realizar pruebas de conmutación automática de manera rápida y sencilla, ya que se podrá cambiar los valores de las variables de temperatura, corriente y tensión eléctrica.

El módulo está constituido por los siguientes elementos:

1. Botón de arranque de las fuentes de alimentación.
2. Botón de paro de emergencia de todo el tablero.
3. Botón de conmutación manual.
4. Simulación de temperatura.
5. Simulación de tensión eléctrica.
6. Simulación de corriente.

Se puede apreciar de mejor manera en la Fig. 2.2-1, en donde se pueden observar los componentes del módulo de simulación de variables:

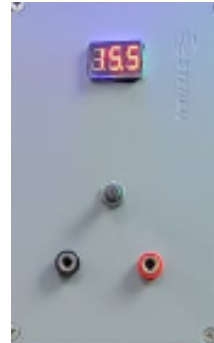


*Fig. 2.2-1 Esquema del Módulo de simulación de variables.*

## 2.3 Fuentes de alimentación

Las FA que se ocuparan para el tablero tienen las siguientes características:

- 15 VCD  $\pm$
- 1 A
- 60 Hz.
- Indicador de tension eléctrica.



*Fig. 2.3-1 Fuente de alimentación.*

## 2.4 Selección de dispositivos de salidas.

Para el prototipo del sistema de conmutación automática se ocuparán los siguientes dispositivos para las salidas:

- Alarmas.
- Conmutador.

A partir del punto 2.3.1 se explicará con detalle la selección de los dispositivos de salida ya mencionados con anterioridad.

### 2.4.1 Alarmas

Uno de los dispositivos de salida que se utilizarán en el prototipo serán los focos tipo "LED" de la marca Philips, representarán las alarmas y darán el aviso del estatus de las fuentes de alimentación principal. Las características de las alarmas que se utilizarán son las siguientes:

**Tabla 2.4-1** Características del foco tipo "LED" para las alarmas.

FOCO TIPO "LED"
<ul style="list-style-type: none"><li>• 8 Watts.</li><li>• Base E27.</li><li>• Bulbo A19.</li><li>• Alimentación de 127 VCA.</li><li>• Colores verde, amarillo, rojo y azul.</li></ul>

Con base en la lógica que se implementará al sistema de conmutación automático los colores de las alarmas representan lo siguiente:

- Alarma Azul:

La alarma de color azul representa el tipo de fuente de alimentación que se encuentra encendida, ya sea la principal o la secundaria.



**Fig. 2.4-1** Alarma Azul para las FA. primaria y secundaria.

- Alarma Verde:

La alarma de color verde indica que las variables de temperatura, corriente y tensión eléctrica se encuentran en el rango establecido, es decir que las FA están operando de manera correcta.



**Fig. 2.4-2** Alarma Verde indica que las FA. están trabajando de manera correcta.



- Alarma Amarilla:

En cuanto este encendida la alarma de color amarilla estará indicando que se tome precaución o que se genere una acción, ya que alguna de las variables de temperatura, corriente o tensión eléctrica se encuentran cerca en riesgo de estar fuera del rango establecido.



**Fig. 2.4-3** Alarma Amarilla indica precaución con respecto a las variables.

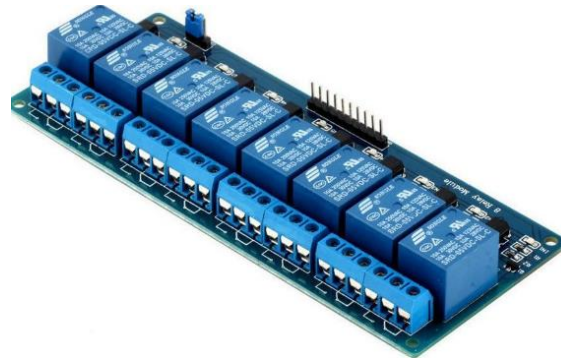
- Alarma Roja:

La alarma de color rojo estará indicando que alguna de las variables de temperatura, corriente o tensión eléctrica se encuentra fuera del rango de operación establecido, cuando esto suceda se hará la conmutación de manera automática entre la FA principal y la FA secundaria.



**Fig. 2.4-4** Alarma Roja indica que las variables están fuera del rango de operación.

Para el acoplamiento de los focos tipo “LED” se utilizará un módulo de 8 relevadores con optoacoplador, los contactos de sus relevadores están diseñados para conmutar cargas hasta de 10 A y 250 VCA (30 VCD), este módulo permitirá que las alarmas se enciendan de acuerdo con lógica que se establecerá.



**Fig. 2.4-5** Módulo de 8 relevadores con optoacoplador.

Se eligió el módulo de 8 relevadores con optoacoplador porque consta de las siguientes características:

**Tabla 2.4-2** Características del módulo de 8 relés.

## MÓDULO 8 RÉLES

- 8 Canales independientes protegidos con autocopladores.
- 8 Relevadores de 1 polo 2 tiros.
- Tensión eléctrica de bobina 5 VCD
- LED indicador para cada canal.
- Activación mediante corriente eléctrica de 15 a 20mA.
- Terminales de conexión clemas.

## 2.4.2 Conmutador.

El conmutador es uno de los dispositivos de salida que se utilizarán para el prototipo del sistema, este tiene la función de desviar la circulación de corriente eléctrica que se encuentra en la FA principal a la FA secundaria.

El conmutador hará la conmutación de manera automática, ya que al detectar que en alguna de las variables ya sea tensión eléctrica, corriente eléctrica o temperatura estén fuera del rango de operación se realice la acción.

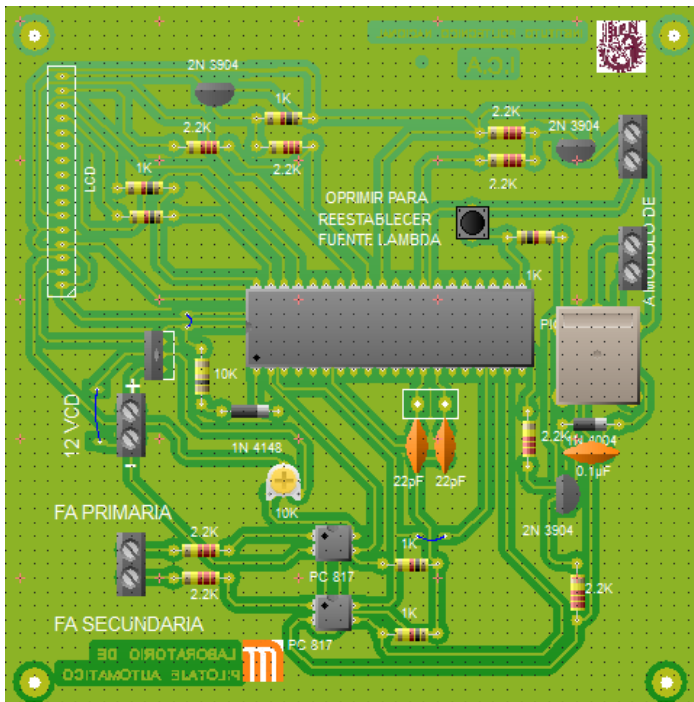
El Tiempo de estabilización se refiere al tiempo que requiere una señal en alcanzar un estado estable después de haber enviado un comando de actuación al relé. El estado estable es determinado por la precisión requerida por la medida. Las medidas de alta precisión requieren tiempos de estabilización más largos que las medidas de menos precisión.

El tiempo de estabilización es una consideración importante para los relés de estado sólido con alta resistencia de trayectoria y altas constantes de tiempo R-C y para sistema de protección se especifica un tiempo de 30-40 milisegundos a 220 VCA x 20 A.

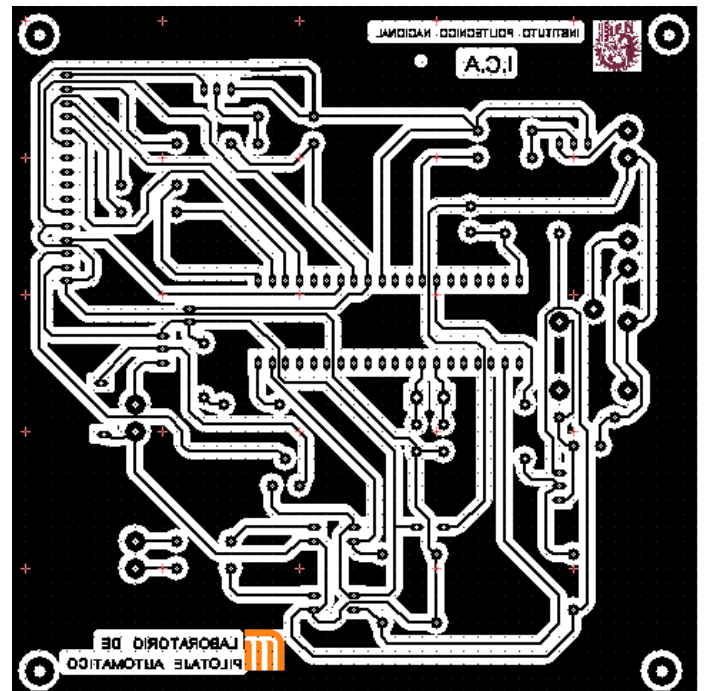
Se diseñó y se construyó el conmutador con los siguientes componentes (fig.2.3-6 y 2.3-7):

**Tabla 2.4-3** Lista de componentes para el conmutador.

CONMUTADOR
<ul style="list-style-type: none"><li>• 8 Resistencias de 2.2K ohm.</li><li>• 6 Resistencias de 1K ohm.</li><li>• 2 Capacitores de 22pF.</li><li>• 1 Capacitor de 0.1mF.</li><li>• 1 LCD.</li><li>• 1 Push button.</li><li>• 2 2N3904.</li><li>• 3 Clemas.</li><li>• 1 PIC 16F887.</li></ul>



*Fig. 2.4-6 Esquema de la placa del conmutador.*



*Fig. 2.4-7 Esquema de la parte inferior de la placa del conmutador.*

## 2.5 Selección de la red de comunicación.

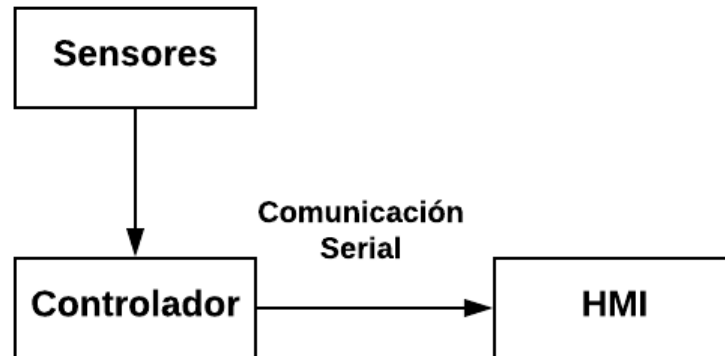
La red de comunicación que se utilizará para el prototipo del sistema de conmutación automática se explicará con detalle a partir del punto 2.4.1.

### 2.5.1 Comunicación serial.

La comunicación serial se utilizará para comunicarse con los sensores, microcontrolador y la HMI, ya que permite la comunicación entre dispositivos digitales.

La comunicación serial manda una secuencia de bits por medio de dos conectores, que son RX (recepción) y TX (transmisión). Para ello se estará ocupando el Universal Serial Port (USB).

A continuación, se podrá observar el esquema de la comunicación serial fig. 2.4-1:



*Fig. 2.5-1 Esquema de la comunicación serial.*

## 2.5.2 Interfaz Humano Máquina (HMI).

Para poder monitorear las variables de tensión eléctrica, corriente eléctrica y temperatura, se requiere de una HMI, ya que como su nombre lo dice es el interfaz entre el proceso y el operario.

El objetivo de esta HMI es mostrar en el PCC del STC Metro el estatus de las variables ya mencionadas y que fuente de alimentación se está ocupando en cada estación de la línea 3 del STC Metro. Se hará un menú principal en donde se podrá escoger que estación se quiera monitorear y después aparecerá un menú secundario en donde se podrá checar el estatus de las fuentes de alimentación primaria y secundaria, y se podrá monitorear las variables a detalle. Se pondrán termómetros, voltímetros y amperímetros de manera virtual y para cada variable se pondrá una gráfica del estatus con respecto al set point.

Así mismo, habrá un apartado de conmutación manual en donde solo el personal autorizado podrá realizar una conmutación de manera manual entre la fuente primaria y secundaria, esto se realizará con fines de mantenimiento preventivo.

Con respecto a la implementación de la HMI se podrá ver con más detalle en el capítulo III.

## 2.6 Selección del controlador.

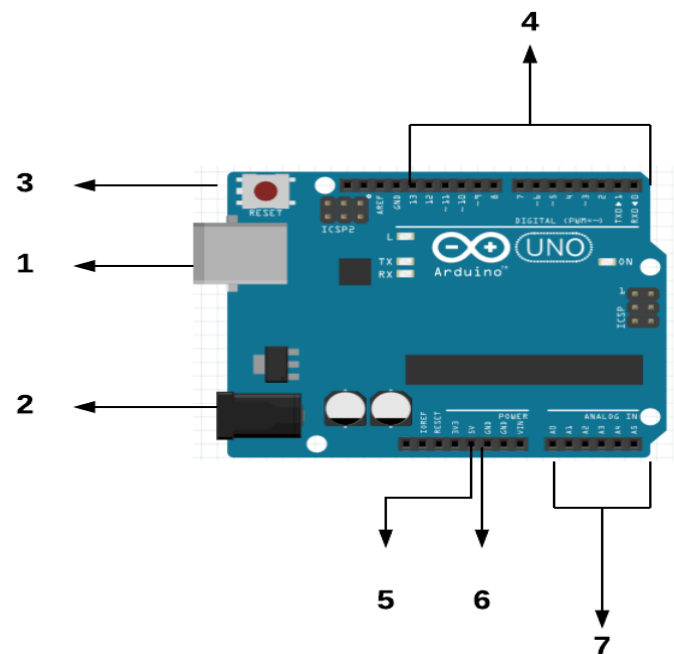
Para este proyecto se ha seleccionado el microcontrolador Arduino Uno porque contiene 6 pines analógicos y 13 digitales, y se puede utilizar como DAQ.

El microcontrolador se conectará a la PC y por medio del software “Arduino Uno” se pueden realizar las operaciones, posteriormente se instalará la paquetería de Arduino en el software de LabVIEW y se hará el código del programa para enlazarlo con el microcontrolador por medio de comunicación serial.

La función que se le dará al microcontrolador en el proyecto sera de adquisición de datos, como se ha mencionado en el *capítulo I*. Para ello se conectarán los sensores en los pines analógicos para que el microcontrolador pueda mandar la señal digital a la PC.

A continuación, se observará las partes que componen el microcontrolador de tipo Arduino Uno:

1. Entrada USB para enlazar con una PC y alimentar el microcontrolador.
2. Entrada de alimentación externa 9-12 VCD.
3. Botón de Reset.
4. 14 entradas/salidas digitales, entre ellas 6 son salidas Modulación ancho de banda (PWM).
5. La tensión eléctrica de 5 VCD.
6. Tierra.
7. 6 entradas analógicas.



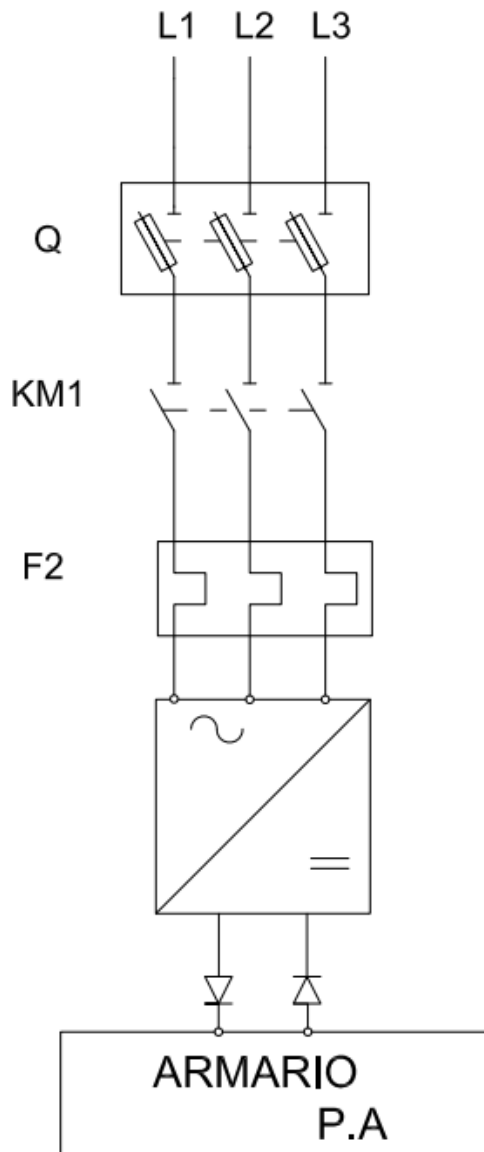
**Fig. 2.6-1** Esquema del microcontrolador Arduino uno.

Por todas estas características del microcontrolador Arduino Uno es ideal para el prototipo, considerando que es el más económico dentro de la gama de microcontroladores Arduino.

## 2.7 Diseño del tablero de simulación.

Para el diseño del tablero se realizó primero la parte eléctrica para asegurar que los dispositivos se enciendan de acuerdo con la lógica establecida.

A continuación, en la Fig. 2.6-1 se muestra el diagrama eléctrico de la conexión de las FA que se tiene actualmente en el STC Metro en cada estación de la línea verde:



SIMBOLOGÍA	
L1	1a. Fase
L2	2a. Fase
L3	3a. Fase
Q	Seleccionador tripolar con fusibles incorporados.
KM1	Seleccionador tripolar
F2	Relé térmico
	Convertidor de corriente alterna a corriente directa
	Diodos de protección
	Armario de Piloptaje Automático

Fig. 2.7-1 Diagrama eléctrico y simbología que se tiene actualmente en el Metro.

Con respecto al diagrama eléctrico de la implementación del tablero del sistema de conmutación automática entre la fuente secundaria y principal, quedaría de la siguiente manera (fig.2.6-2):

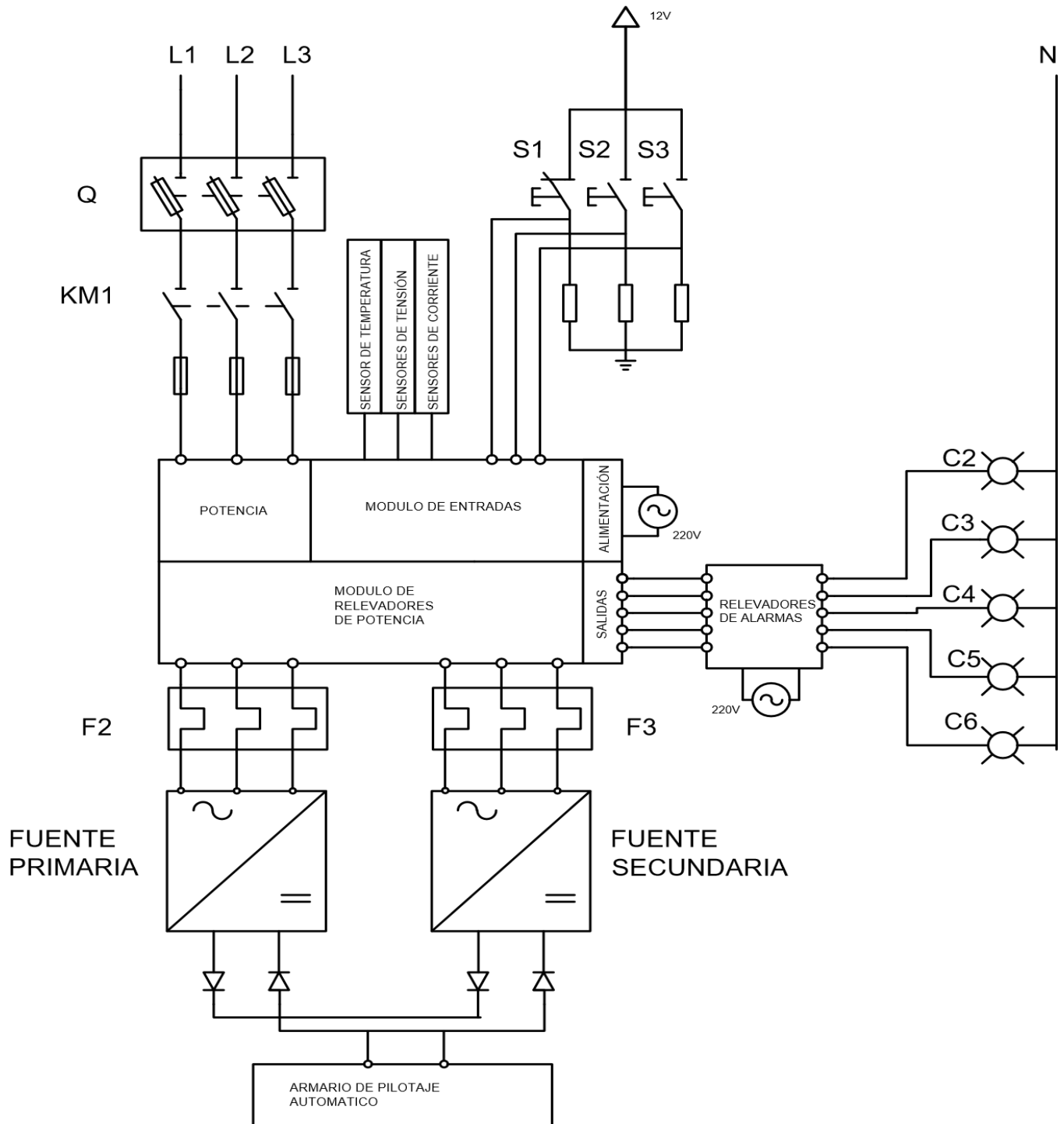




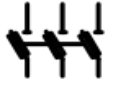
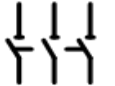
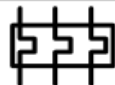

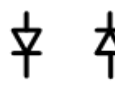

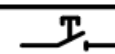
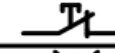
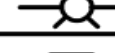

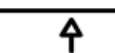
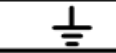



Fig. 2.7-2 Diagrama eléctrico del sistema de conmutación con las FA.

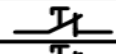
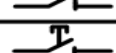
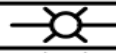

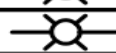
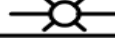




La simbología del circuito de la fig. 2.6-2 se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 2.7-1** Simbología del circuito con el sistema de conmutación.

SIMBOLOGÍA	
L1  1a. Fase L2  2a. Fase L3  3a. Fase N  Neutro.	
	Seleccionador tripolar con fusibles incorporados.
	Seleccionador tripolar
	Relé térmico
	Convertidor de corriente alterna a corriente directa
	Diodos de protección
	Armario de Piloptaje Automático
	Contacto normalmente abierto.
	Contacto normalmente cerrado.
	alarma/luz indicadora.
	resistencia ohmica.
	Fuente de corriente alterna
	Positivo de fuente corriente directa
	Tierra física.

REGISTRO DE MATERIALES		
MATERIALES	MARCA	REGISTRO SIC DGE
Conductor	Condux	01956
Tapas, Contactos, Apagadores	Quinciño	01824
Chalupas, Cajas	Omega	04567
Interruptor con fusible	Square D	01228
Centro de Carga	Square D	03578
Soquette	IUSA	09189

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	IDE.
	Contacto de paro de emergencia.	S1
	Contacto de encendido.	S2
	Contacto de conmutación manual	S3
	Alarma de emergencia.	C2
	Alarma de preventiva	C3
	Alarma de operación correcta	C4
	Alarma de selección fuente principal.	C5
	Alarma de selección fuente secundaria.	C6

### 2.7.1 Layout del tablero

Para la parte de la distribución de los dispositivos en el tablero se realizó de la siguiente manera tomando en cuenta los componentes principales para la conmutación automática. El layout del tablero del prototipo que se implementará es el siguiente:

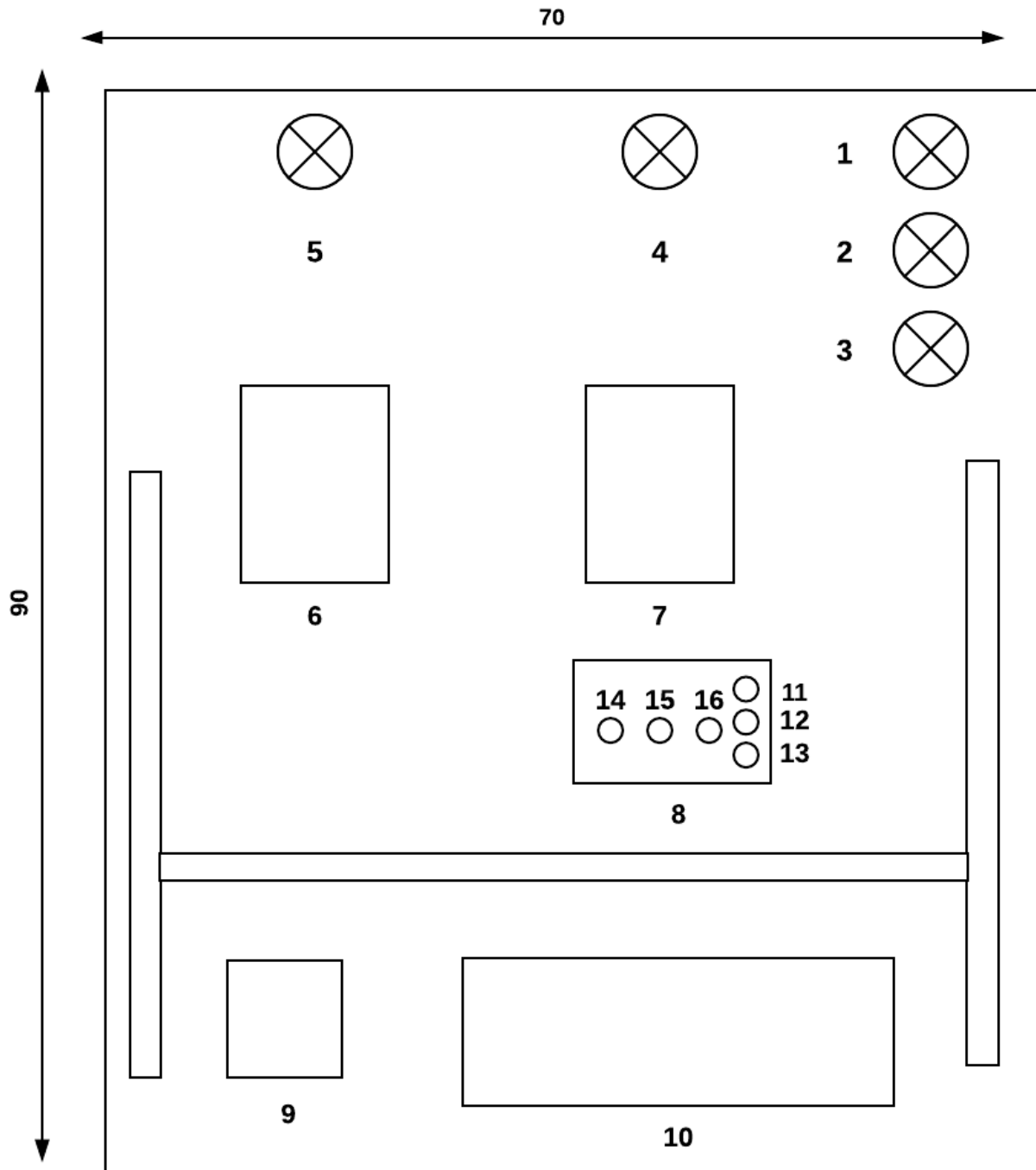


Fig. 2.7-3 Layout del tablero del sistema de conmutación automática en cm.

Con respecto al Layout de la fig. 2.6-3 los componentes del prototipo del tablero son los siguientes:

**Tabla 2.7-2** Simbología del Layout del tablero de conmutación automática.

<b>Número</b>	<b>Nombre</b>
1	Lámpara roja
2	Lámpara amarilla
3	Lámpara verde
4	Lámpara azul para FA Primaria
5	Lámpara azul para FA Secundaria
6	FA Secundaria
7	FA Primaria
8	Módulo de simulación de variables
9	Microcontrolador
10	Conmutador
11	Botón de arranque
12	Botón de paro de emergencia
13	Botón de conmutación manual
14	Simulación de variable de temperatura
15	Simulación de variable de tensión eléctrica
16	Simulación de variable de Corriente

---

# **CAPÍTULO III**

## **IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL Y LA HMI**

En este apartado se establecerá la estrategia de control y se explicarán los diagramas de flujo y código para la implementación de una HMI, utilizando el software de LabVIEW.

---

La estrategia de control que se implementará será control realimentado ya que se mide en la salida del circuito y luego se actúa sobre el dispositivo de salida, esta estrategia se hará por seguridad ya que, si se llega a tener una variación con las variables de temperatura, tensión o corriente eléctrica en la FA principal se procederá a realizar una conmutación de manera automática.

Para ello se utilizará un controlador todo-nada de 2 posiciones con histéresis ya que el sistema de conmutación automática no requiere un control preciso, en el punto 3.1 se hablará con mejor detalle.

### 3.1 Controlador On/Off de dos posiciones con Histéresis.

Se realizará un algoritmo de control no lineal, ya que la variable controlada (CV) solo tiene un régimen permanente, es decir, un número discreto de valores. Para ello se implementará un controlador On/Off de dos posiciones con Histéresis. Al agregar una histéresis se vuelve mucho más eficaz en comparación con el controlador On-Off básico. Se puede apreciar con la siguiente ecuación:

$$CV = \begin{cases} CV \text{ max} & e > 0 \\ CV \text{ min} & e < 0 \end{cases}$$
$$e = SP - PV$$

**Fig. 3.1-1** Ecuación del control On/Off.

Donde:

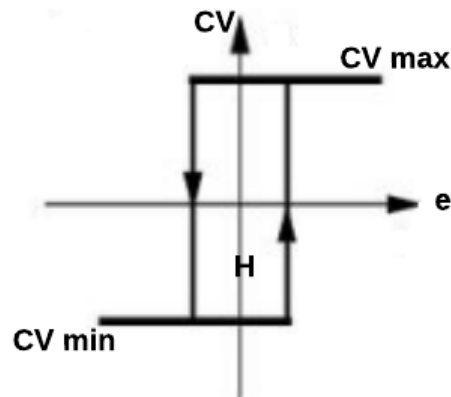
*e* = error  
*SP* = SetPoint  
*PV* = Variable del proceso  
*CV* = Variable de control

Se puede observar de la expresión de la fig.3.1-1 que el control On/Off compara los valores del set point (SP) y de la variable del proceso (PV) y le asigna el valor a CV máx. o min según su valor.

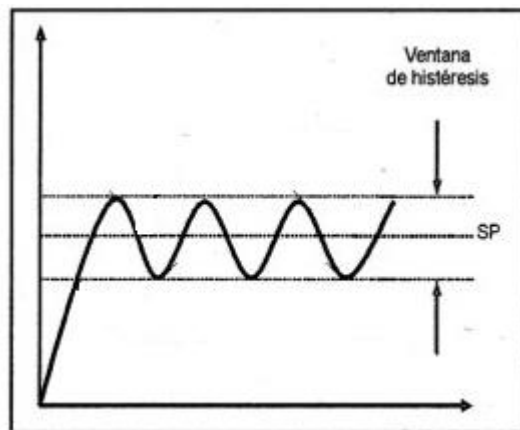
Una de las razones por las que se eligió el controlador On/Off con histéresis es porque si el error llega ser  $e=0$  en la parte positiva la variable controlada no va a cambiar hasta que el error supere el valor positivo que se le estableció, eso mismo pasará con la parte negativa.

El usuario podrá establecer los set points mínimos y máximos para las variables de temperatura, tensión eléctrica y corriente, estos dependen del tipo de fuente de alimentación y el lugar en donde se encuentren.

De manera gráfica en las figuras 3.1-2 y 3.1-3 se puede observar el comportamiento de un control On/Off de dos posiciones con histéresis:

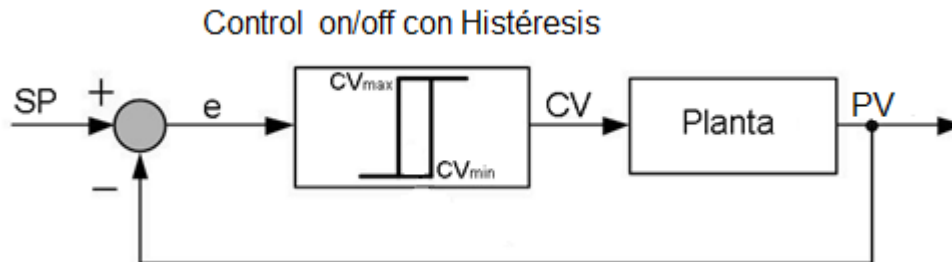


**Fig. 3.1-2** Gráfica 1 del comportamiento de un controlador On/Off con histéresis.



**Fig. 3.1-3** Gráfica 2 del comportamiento de un controlador On/Off con histéresis.

A continuación, en la fig. 3.1-4 se puede observar el lazo de control On/Off general por histéresis para el sistema de conmutación automática:



*Fig. 3.1-4 Lazo de control On/Off con histéresis.*

El objetivo de implementar un control On/Off con histéresis al sistema de conmutación automática es que el error no tiene que ser exactamente “0”, por lo tanto, se puede ingresar diferentes valores en la histéresis desde la HMI que se implementará en el *capítulo III*.

Para las variables de temperatura, corriente y tensión eléctrica se le asignarán diferentes valores de histéresis. Así mismo a continuación se puede observar en la tabla 3.1-1 las ventajas más importantes al utilizar el control On/Off con histéresis:

**Tabla 3.1-1** *Ventajas del control On/Off con Histéresis.*

## Control On/Off con Histéresis

- Funcionamiento óptimo en procesos con tiempo de retardo mínimo y velocidad de reacción lenta.
- Variación cíclica continua de la variable controlada.
- El modo de control depende del signo del error.
- Bajo precio de instalación.
- Fácil mantenimiento e instalación.

Finalmente, con base a la fig. 3.1-5 se realiza el lazo de control de temperatura utilizando el control On/Off como se puede observar:

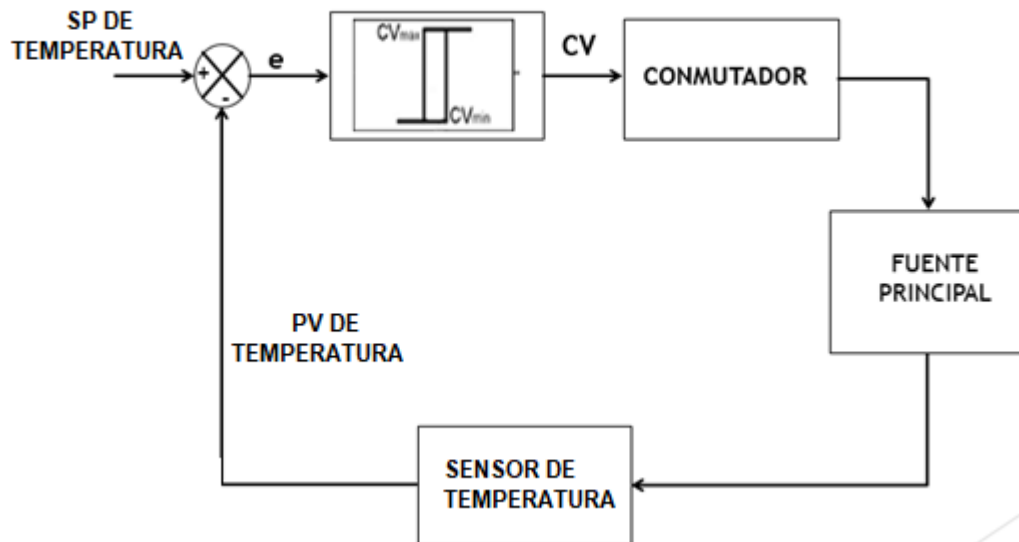


Fig. 3.1-5 Lazo de temperatura con control On/Off con histéresis.

Para la parte de la variable de corriente se puede observar de la siguiente manera:

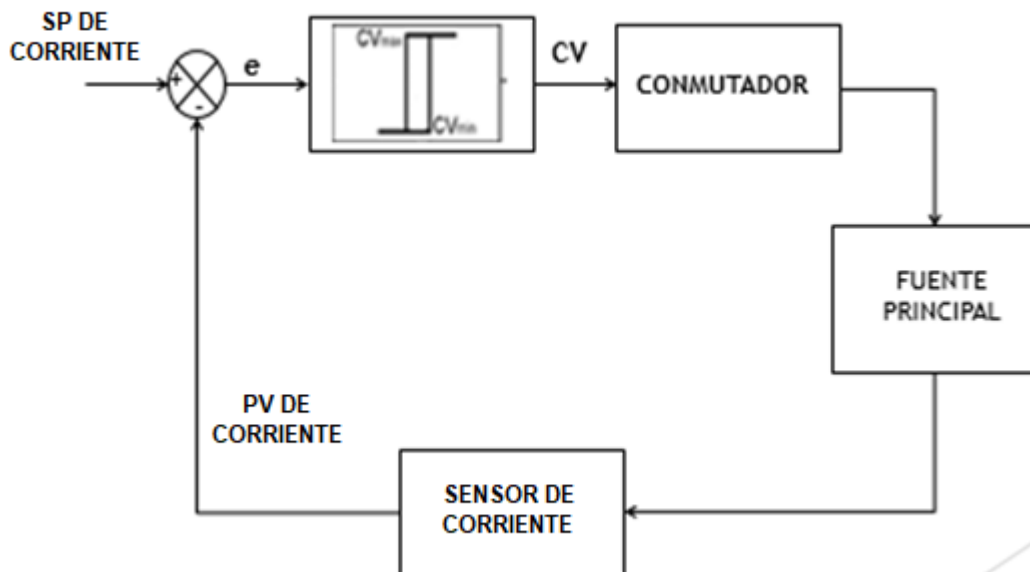
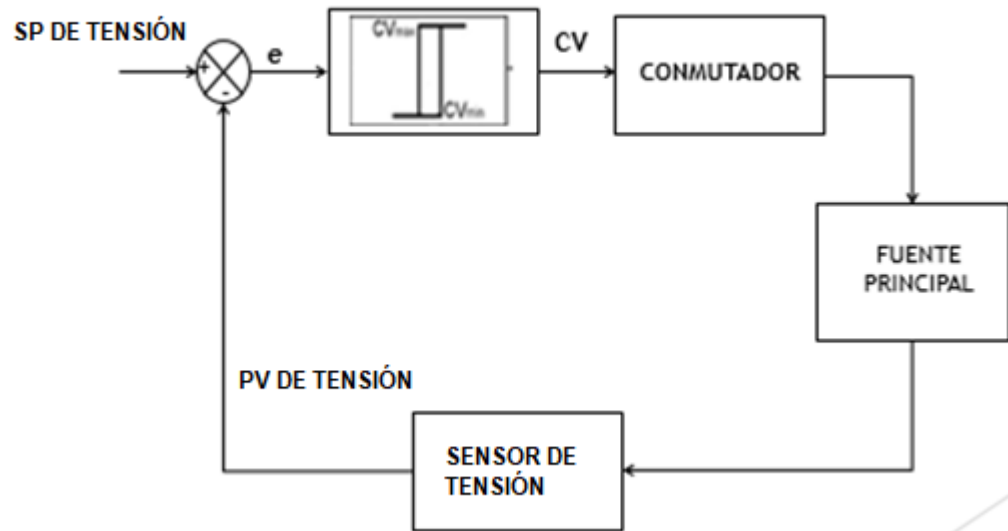


Fig. 3.1-6 Lazo de control de la variable de corriente con un control On/Off con histéresis.





**Fig. 3.1-7** Lazo de control de la variable de tensión utilizando un control On/Off.

## 3.2 Diagramas de flujo (DF)

Para la implementación de la HMI realizarán los diagramas de flujo (DF) para estructurar la lógica y la secuencia de las ventanas que se utilizarán.

El propósito de la implementación de la HMI es monitorear de forma remota las fuentes principales y secundarias y a su vez las variables de tensión eléctrica, corriente eléctrica y temperatura de todas las estaciones de la línea 3 del STC Metro.

La HMI está compuesta por 4 ventanas principales:

1. “Selección de estación”.
2. “Fuente principal”.
3. “Fuente secundaria”.
4. “Conmutación manual”.

### 3.2.1 Ventana “Selección de estación”.

La primera ventana se llama “selección de estación”, como su nombre en esa ventana se va a seleccionar cualquier estación de la línea 3 del STC Metro que se quiera monitorear.

En el STC Metro, actualmente se tiene 21 estaciones las que se han mencionado con anterioridad en el *capítulo I*, como son demasiadas y para no hacer tan repetitiva la explicación de la HMI se eligieron las 5 estaciones más concurrentes por los usuarios, que son las siguientes:

- Indios verdes
- La raza
- Hidalgo
- Zapata
- Universidad

En el menú principal (fig.3.2-1) se tiene la opción de hacer un paro de emergencia, si se llega a seleccionar esa opción provocará que todas las fuentes de alimentación de cada estación de la línea 3 se des energicen, en caso contrario se procede con la selección de la estación a monitorear.

En cuanto se haya seleccionado la estación a monitorear la HMI desplegará una ventana con un menú secundario, en donde se podrá escoger monitorear la fuente principal, fuente secundaria o realizar una conmutación manual (fig. 3.2-2 a 3.2-7).

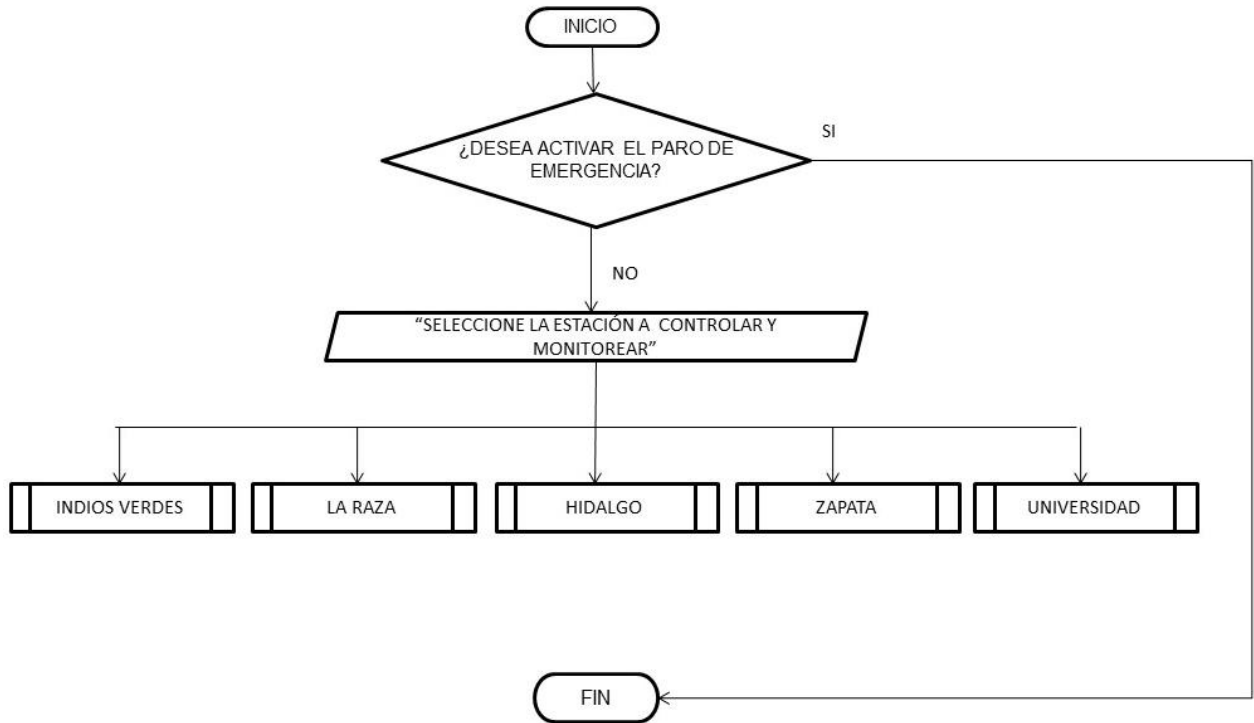


Fig. 3.2-1 DF menú principal de selección de estaciones.

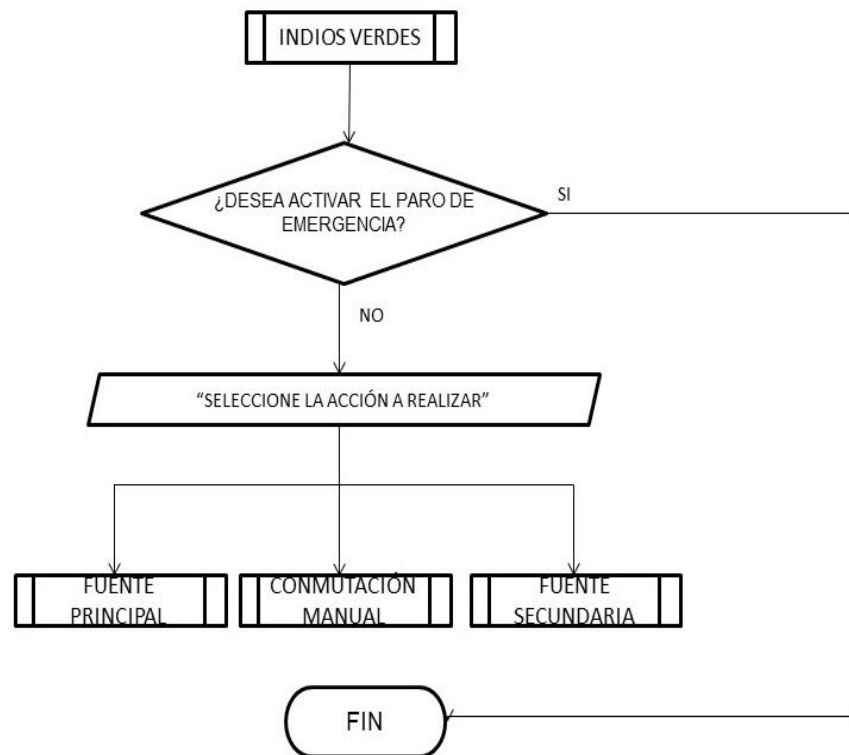


Fig. 3.2-2 DF menú secundario de la estación indios verdes.

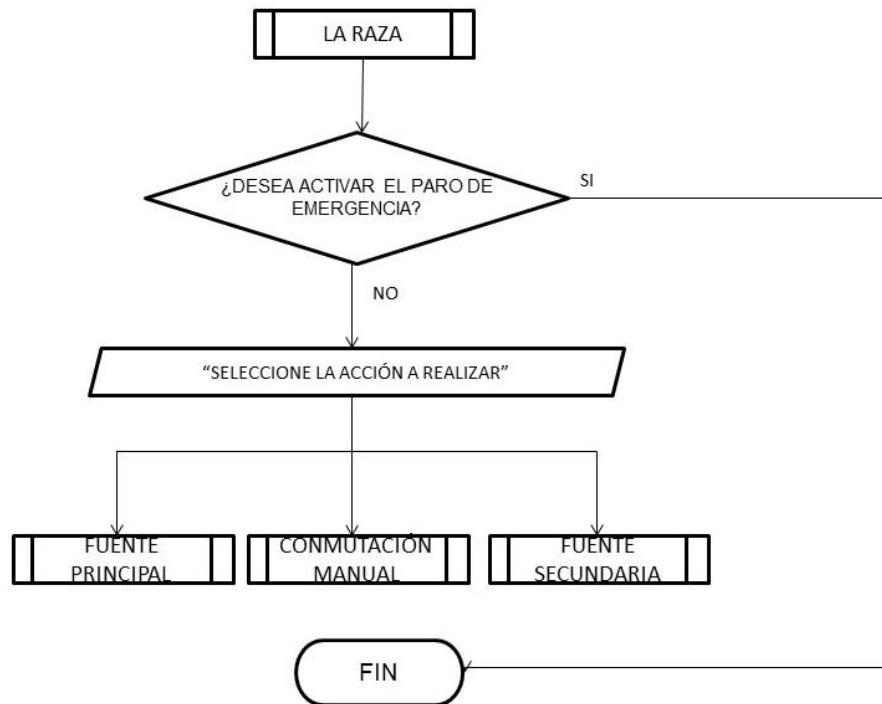


Fig. 3.2-3 DF menú secundario de la estación la Raza.

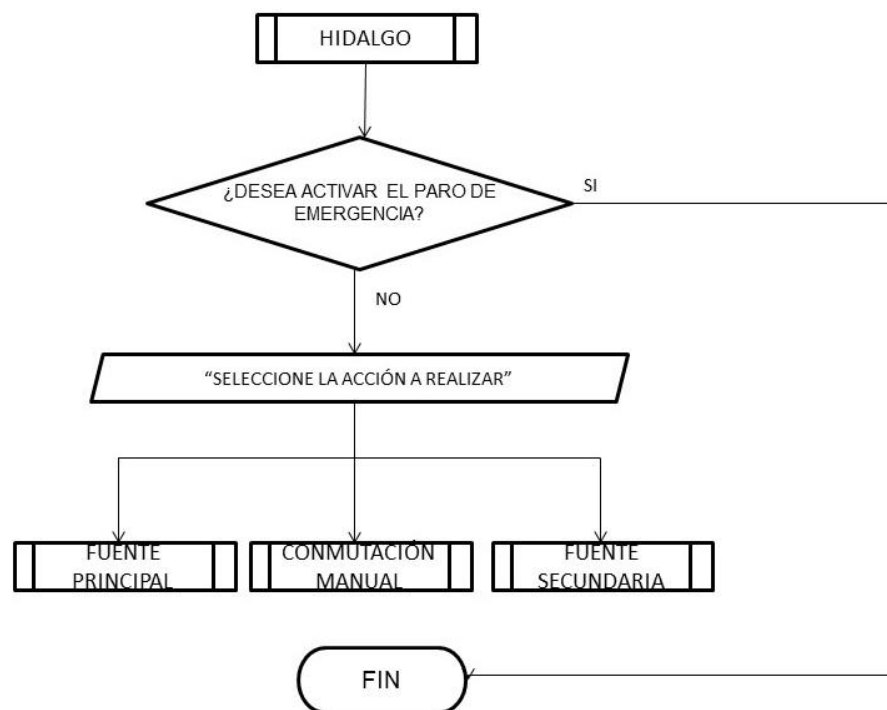


Fig. 3.2-4 DF menú secundario de la estación Hidalgo.

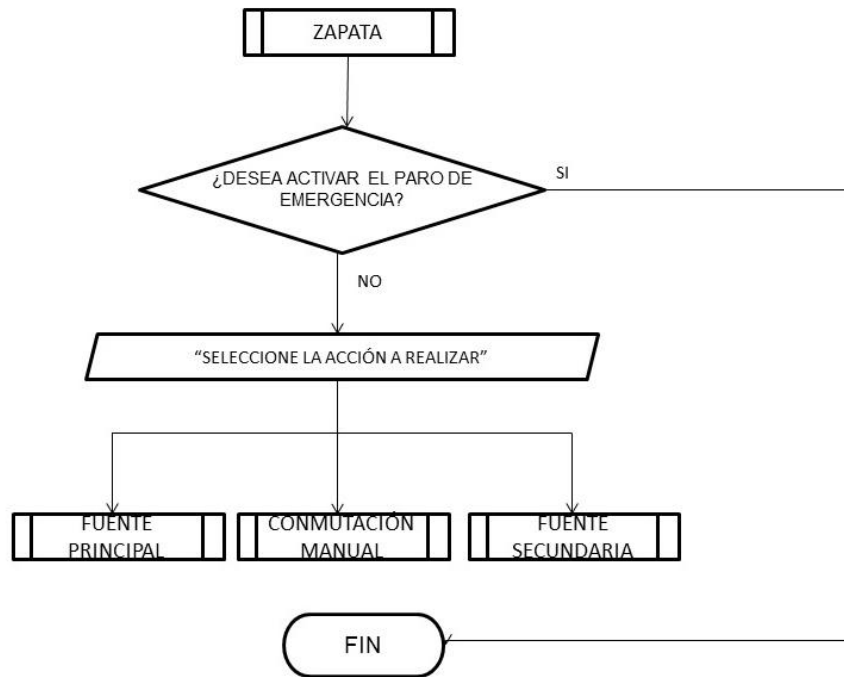


Fig. 3.2-5 DF menú secundario de la estación Zapata.

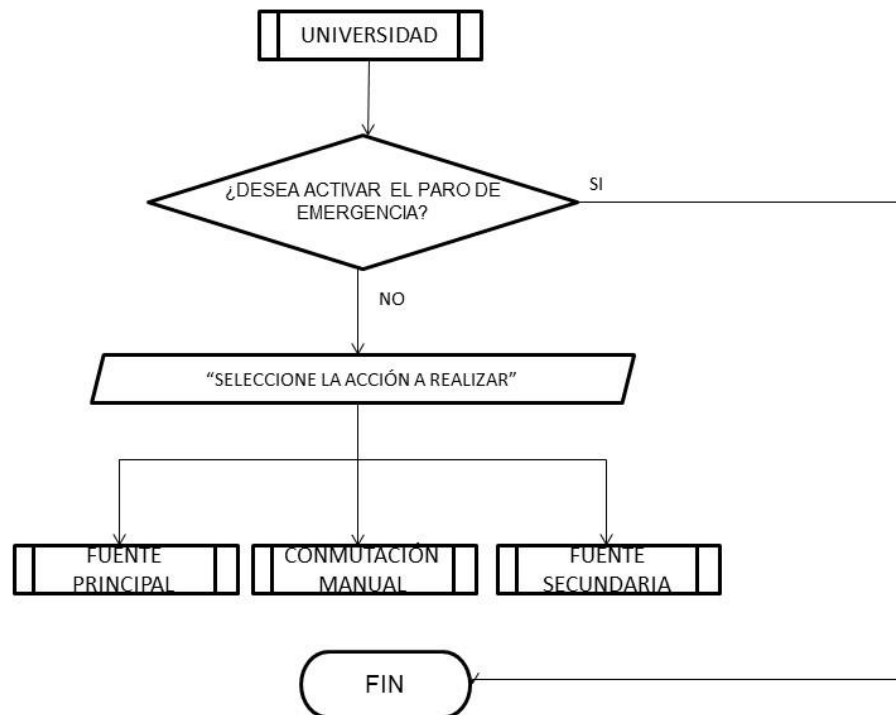


Fig. 3.2-6 DF menú secundario de la estación Universidad.

### 3.2.2 Módulo “Fuente principal”.

Una de las funciones del menú secundario es monitorear la fuente de alimentación principal, la HMI ayuda a conocer el estatus de las variables de temperatura, corriente y tensión eléctrica, con la finalidad de no tener el tablero del pilotaje automático desenergizado.

En el DF de fuente principal se puede observar que primero pregunta si se desea tener un paro de emergencia, si es así automáticamente se desenergiza la fuente de alimentación principal (fig. 3.2-11), en caso contrario se procede a ingresar los valores del set point mínimos y máximos de las variables de temperatura, corriente y tensión eléctrica, posteriormente se procede a energizar la fuente principal (fig. 3.2-7).

En la fig. 3.2-8 se puede observar que primero se realiza una asignación de variables para los set points máximos y mínimos de acuerdo con las especificaciones de fábrica de los dispositivos, enseguida se realiza una operación lógica y dependiendo de los resultados de cada variable se encenderán las alarmas. Posteriormente se le asignará un pin de tipo analógico diferente a cada variable.

Se imprime la lectura de los sensores de cada variable (fig. 3.2-9) y se hace una comparación sobre el límite inferior, la lectura real del sensor y el límite superior. Si la lectura del sensor es menor al límite superior, pero mayor al límite inferior entonces no se hará una conmutación, por lo tanto, las variables se encuentran en el rango de operación establecido y se encenderá la alarma verde que indica que la FA principal está operando de manera correcta, por lo cual la FA secundaria esta inactiva.

En el caso de que la lectura del sensor se acerque a los valores del límite superior e inferior se encenderá la alarma de color amarillo (Fig. 3.2-10) para indicar prevención, pero aún está conectada la fuente de alimentación principal.

Si el valor de la lectura del sensor ya rebasa el límite inferior o superior de cualquier variable entonces se encenderá la alarma roja y se procederá a realizar una conmutación automática (Fig. 3.2-10) entre la fuente principal y la fuente secundaria, de modo que la fuente principal se va a desenergizar por seguridad.

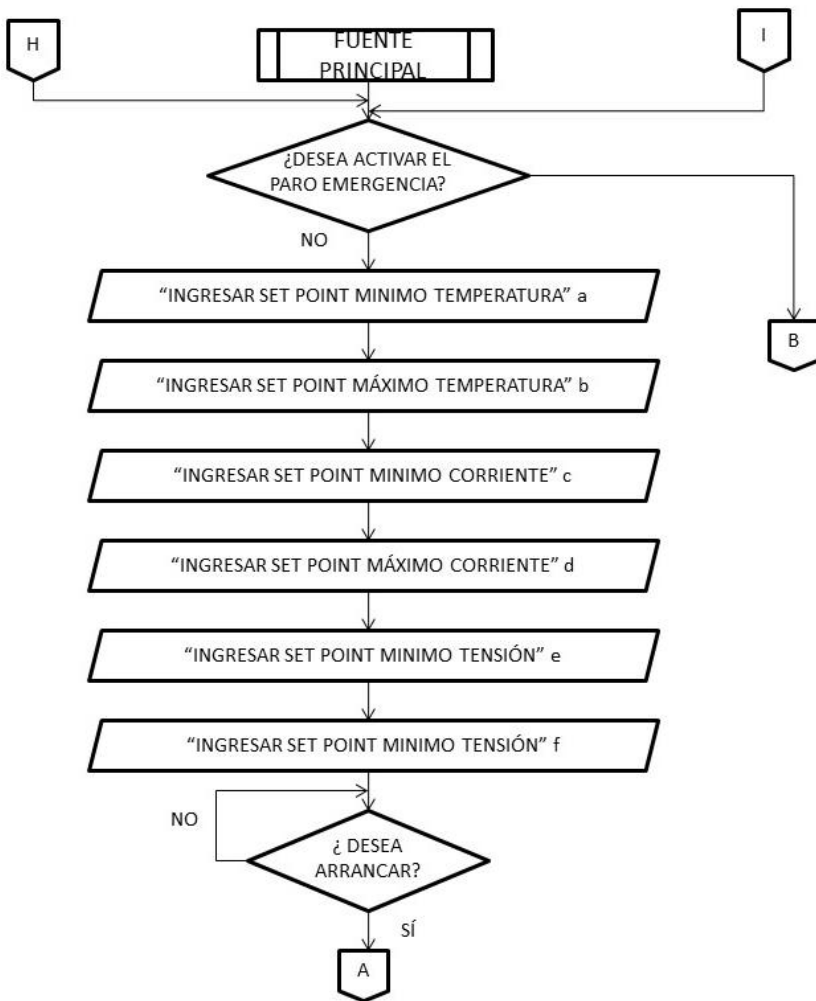


Fig. 3.2-8 Ingreso de set point máx. y min. de las 3 variables.

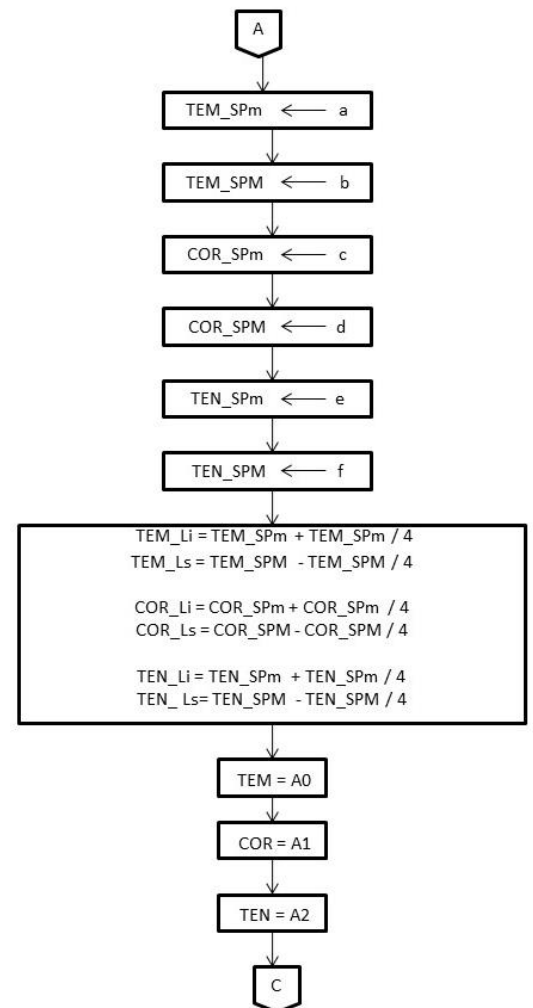


Fig. 3.2-7 DF Establecer los rangos de operación de las variables.

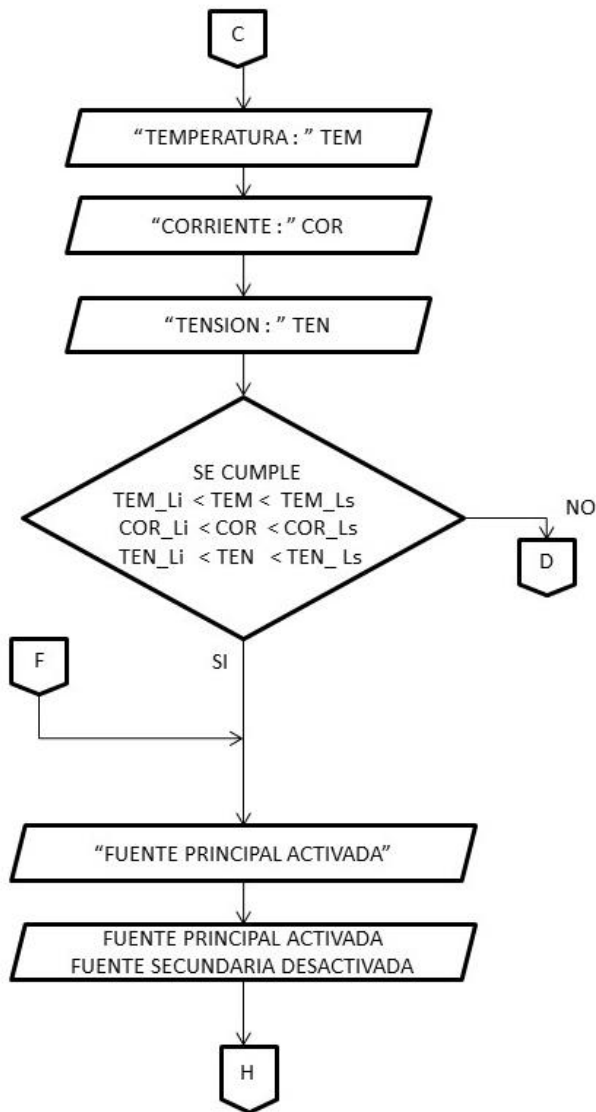


Fig. 3.2-9 Ingreso de set point máx. y min. de las 3 variables.

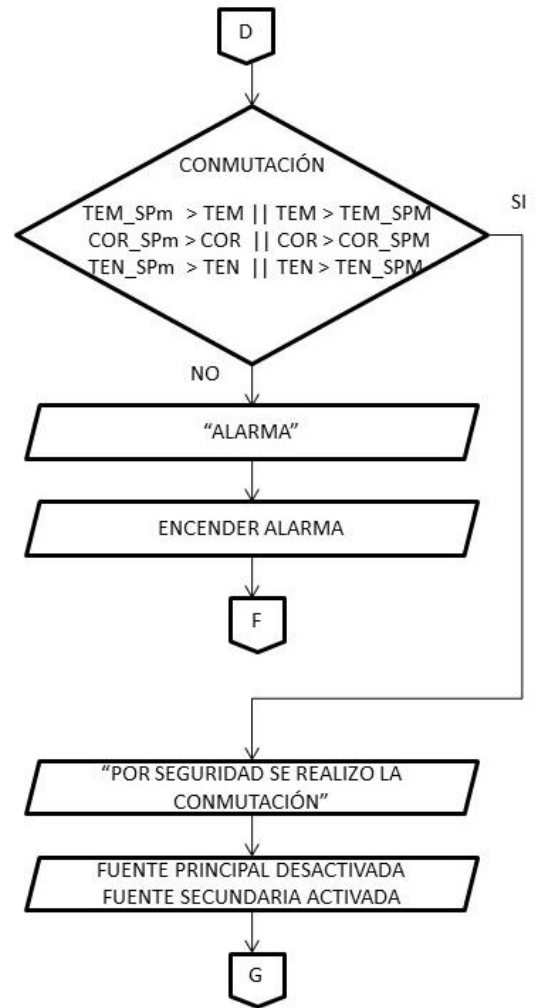


Fig. 3.2-10 DF Establecer los rangos de operación de las variables.

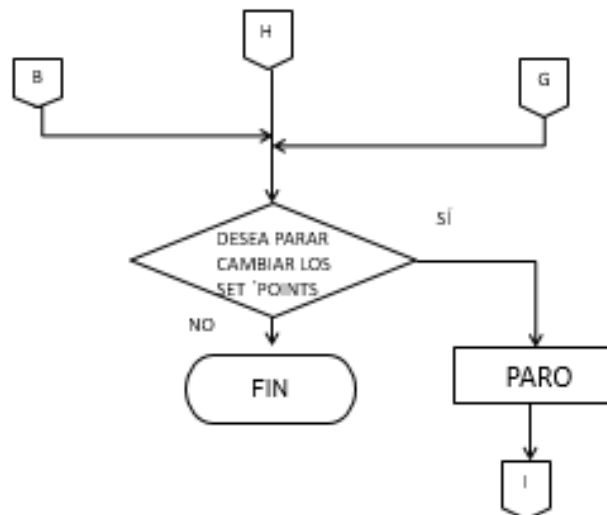


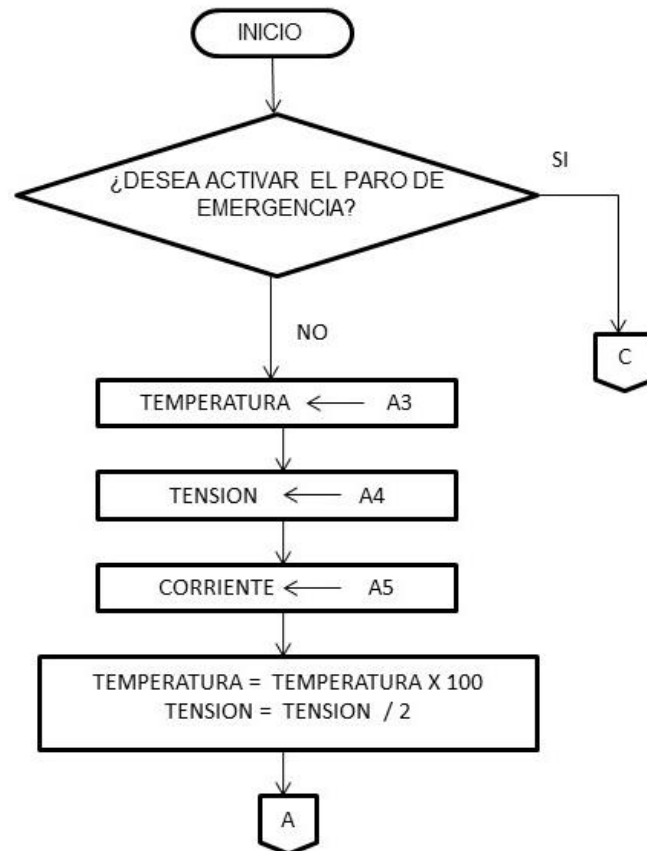
Fig. 3.2-11 DF paro de emergencia o cambio de set point.



### 3.2.3 Ventana “Fuente secundaria”

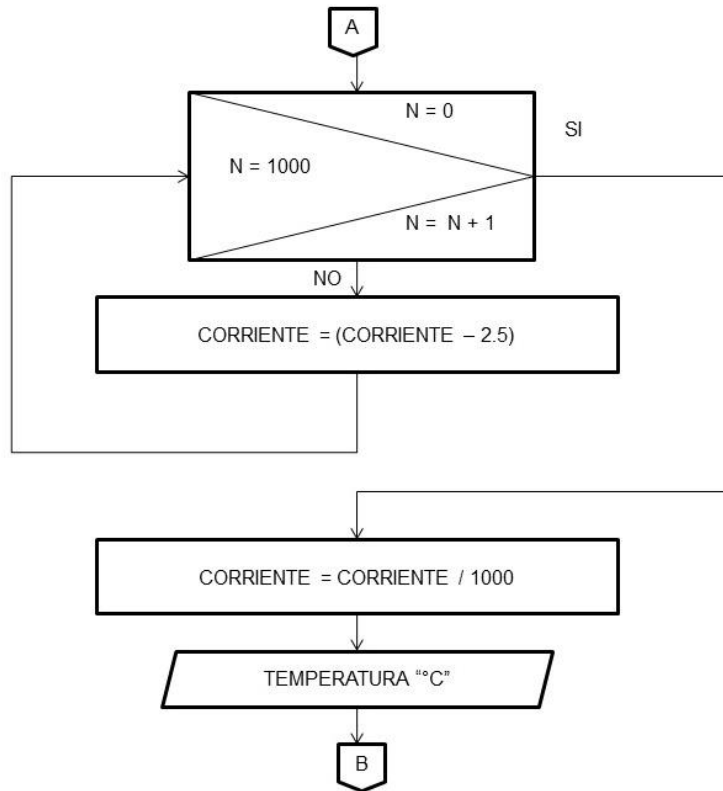
Para monitorear la fuente secundaria es otra función que contiene el menú secundario de la HMI, la intención de acceder a esta ventana es porque anteriormente ya se ha realizado la conmutación automática entre la fuente de alimentación principal y secundaria, debido a alguna variable que ha rebasado los valores establecidos ya sean inferiores o superiores con base en los set points.

Al ingresar a esta ventana se puede observar que el DF de la fig. 3.2-12 primero pregunta que, si se quiere realizar el paro de emergencia, si es así se desenergizan las FA, en caso contrario se procede a asignarle el pin analógico a cada variable, en este caso se ocupó desde el pin analógico A3-A5 y se realiza las ecuaciones necesarias para que los valores de tensión y temperatura se impriman de forma real en la HMI.



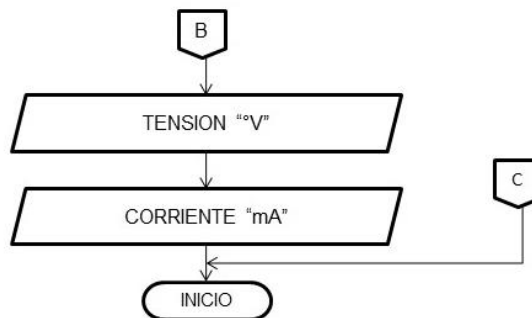
**Fig. 3.2-12** DF asignación de las variables para la FA secundaria.

Para la parte de corriente se debe de realizar un ciclo “for”, con la finalidad de que las lecturas del sensor sean un promedio y se obtenga un valor más preciso (fig. 3.2-13)



**Fig. 3.2-13** DB para la obtención del valor de la corriente eléctrica.

Finalmente, se le agrega la unidad de medida a las lecturas de los sensores para que aparezcan en la HMI (fig.3.2-14).



**Fig. 3.2-14** DF para imprimir los valores de tensión y corriente eléctrica

### 3.2.4 Ventana “Conmutación manual”

La última función que arroja el menú secundario es la de conmutación manual, como su nombre lo indica se puede realizar una conmutación de manera manual entre la fuente principal o secundaria.

Una de las razones por las que se implementó esta función es porque si se desea realizar un mantenimiento preventivo en la parte local, esta opción se puede ejecutar de manera local con un interruptor o de manera remota con un botón virtual.

Como se puede observar en la fig. 3.2-15 lo primero que pregunta es si queremos realizar el paro de emergencia, si lo queremos realizar desenergizará la FA principal, en caso contrario pide que se ingrese un usuario y una contraseña, es importante mencionar que solo el personal autorizado puede realizar una conmutación de manera manual.

Si el usuario y/o contraseña son incorrectos, arrojará un mensaje con una leyenda que dice “Usuario o contraseña equivocado” y pedirá que se vuelvan a ingresar los datos, en caso de que sean correctos se habilita el botón de conmutación e inmediatamente se realiza la acción y la fuente secundaria ya estará activada.

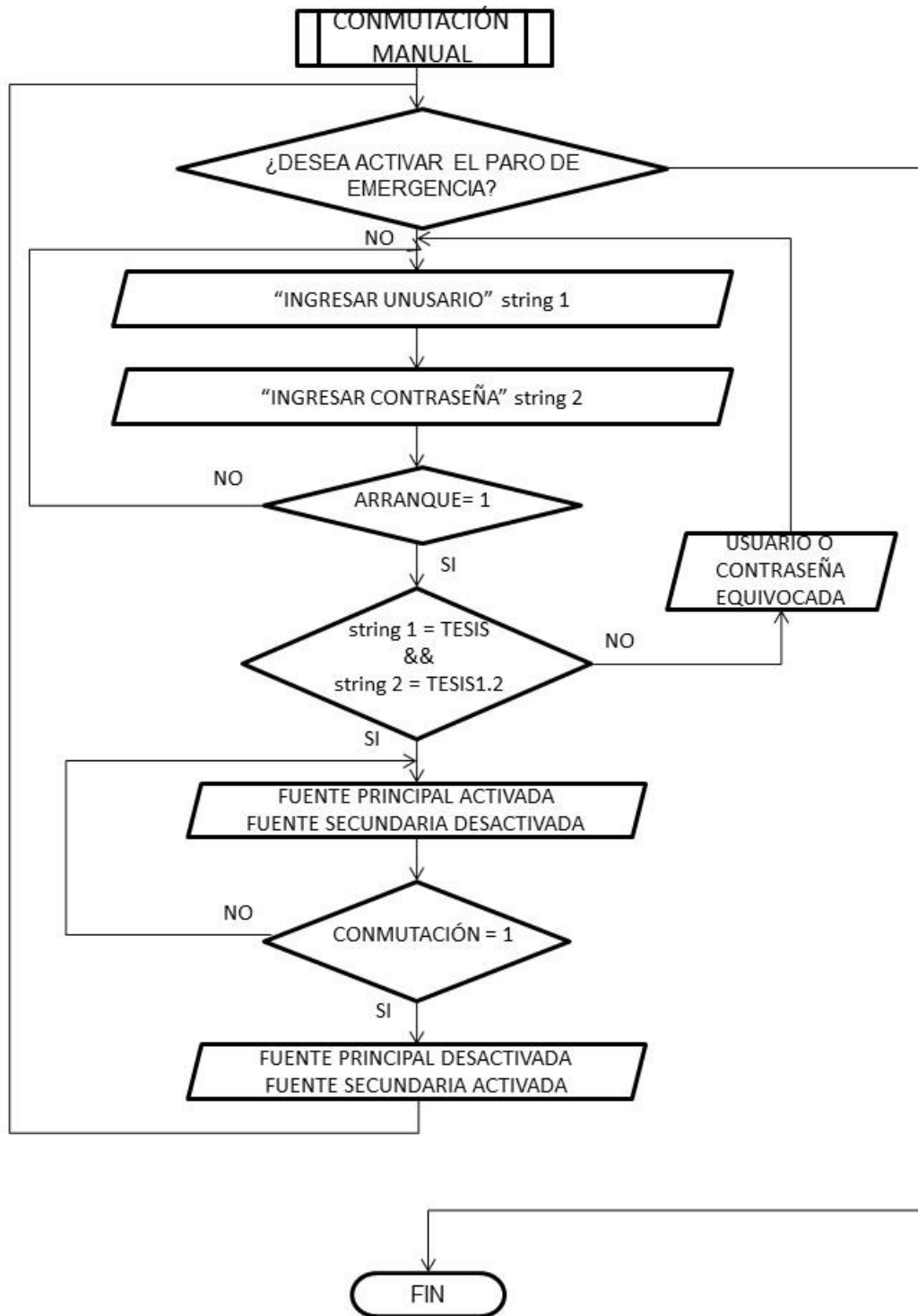


Fig. 3.2-15 DF conmutación manual.

### 3.3 Código de programación en LabVIEW.

LabVIEW ofrece un enfoque de programación gráfica que le ayuda al usuario a visualizar cada aspecto de su aplicación, incluyendo configuración de hardware, datos de medidas y depuración. Esta visualización hace que sea más fácil representar una lógica compleja en el diagrama, desarrollar algoritmos de análisis de datos y diseñar interfaces de usuario personalizadas.

LabVIEW genera programas que funcionan como instrumento virtual o *Virtual Instrument* (VI), es decir el usuario ve en la pantalla de su ordenador un panel frontal cuya función es idéntica a la de un instrumento físico, facilitando la visualización y el control del instrumento. (Lázaro, 2005)

#### 3.3.1 Ventana “Selección de estación”.

Para la realización del programa se trabaja con dos ventanas: Una en la que se implementa el panel frontal (fig. 3.3-1) y otra en la cual se genera el nivel de programación llamado diagrama de bloques (DB) (figura 3.3-2).



Fig. 3.3-1 Menú principal de la HMI en panel frontal.

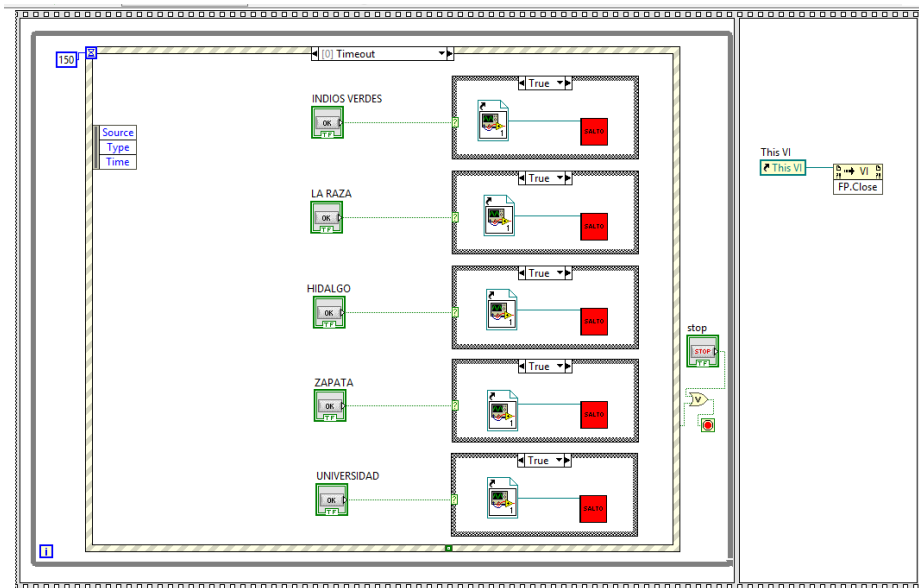


Fig. 3.3-2 DB del menú principal en LabVIEW.

El Panel Frontal se diseñó a base de controles e indicadores, estos son las terminales de entrada y salida, respectivamente del VI. Para esto se dispone dentro del software LabVIEW de una librería de controles e indicadores de todo tipo y la posibilidad de crear más, diseñados por el propio usuario. En cuanto al nivel de programación del VI consiste en la conexión de bloques funcionales, es decir, son iconos con entradas y salidas que se conectan entre sí mediante cables ficticios por donde fluyen los datos, constituyendo el nivel de programación del VI (fig. 3.3-3).

Flat  
Sequence

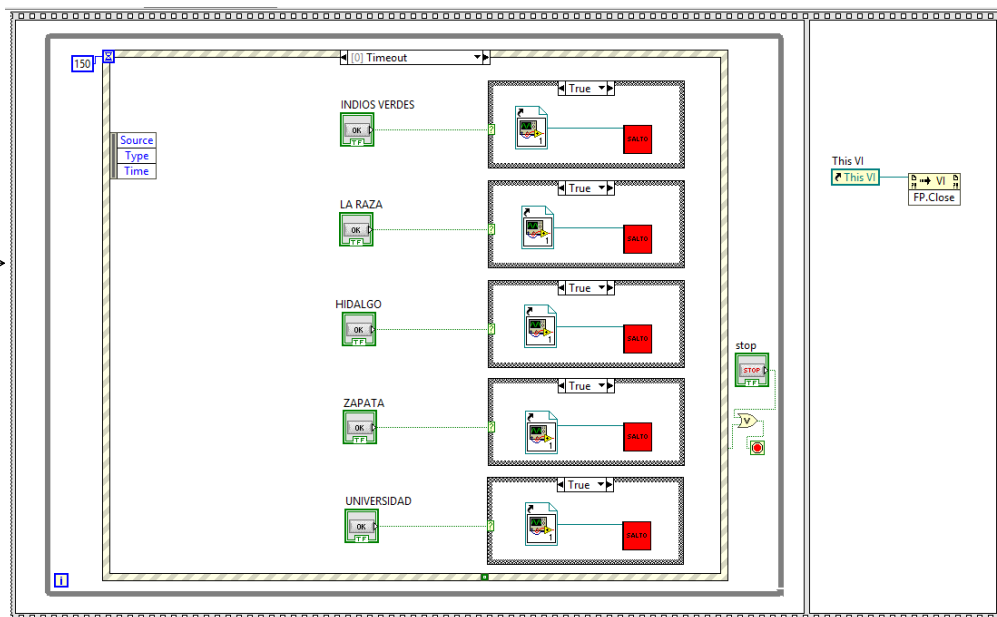


Fig. 3.3-3 DB de selección de estación.

Como se ha mencionado con anterioridad, la HMI consiste en 4 ventanas principales, para la realización de la primera ventana “selección de estación” que opera como menú principal, se hace uso de las estructuras de secuencia, en específico de la estructura *Flat Sequence* (fig. 3.3-3), dicha estructura ejecutara cada *Frame* o macro en orden de aparición.

En el *Frame 0*, se encuentran 5 subprogramas o *Sub-Vi* de las estaciones a monitorear, el usuario puede ingresar a cualquiera de ellas, haciendo verdadera la condición del *case structure* mediante los pulsadores, así mismo se encuentra un *Sub-Vi* “SALTO” para finalizar y cerrar adecuadamente cada *Sub-Vi* de las estaciones. Para ello se implementa un *Event Structure* el cual nos permite añadir tantas ventanas como eventos que se requieran controlar y configurar, dicha estructura evalúa el botón de paro “stop” que permite detener la ejecución del *Frame 0*, para continuar con la ejecución del *Frame 1*. Requerimos que el envío de datos entre los bloques sean constantes por lo que es necesario generar la conexión dentro de un ciclo *While Loop*. (fig. 3.3-4)

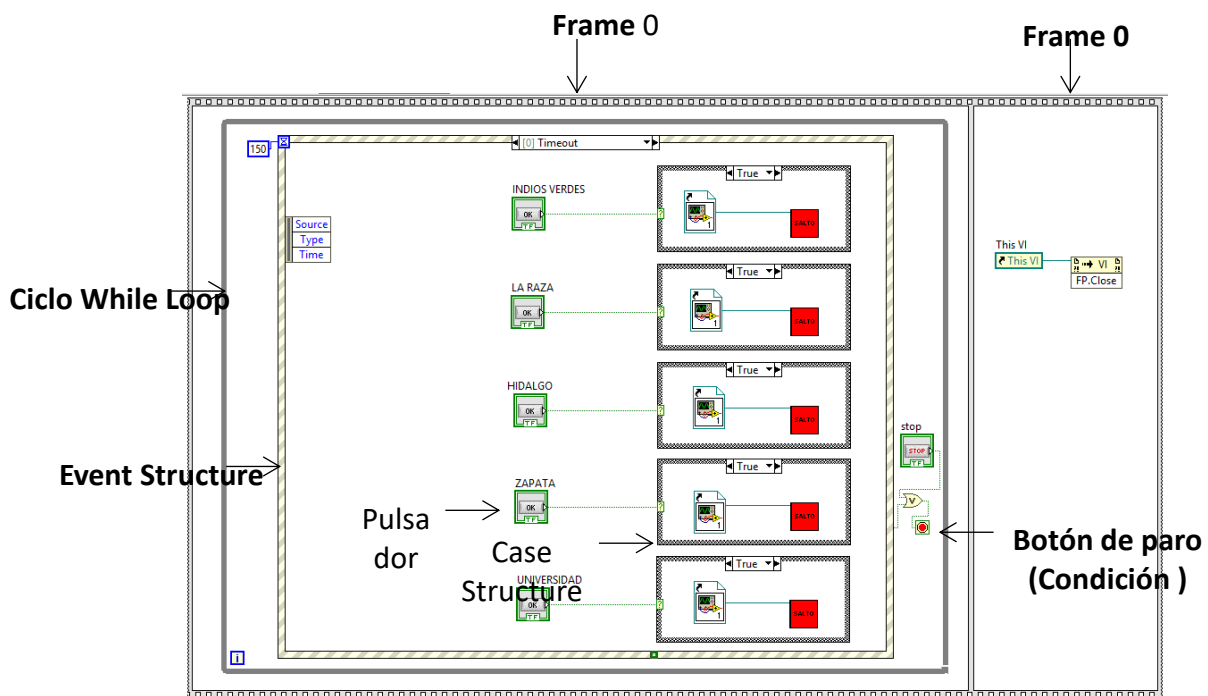


Fig. 3.3-4 DB ciclo While loop para la selección de estación.

En el *Fram 1* se encuentra una estructura *Front Panel: Close* (fig. 3.3-5) que cerrara las ventanas del Front Panel en cuanto se ejecute.

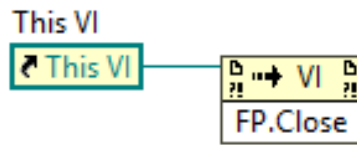


Fig. 3.3-5 DB Front panel para cerrar ventanas.

La configuración de “Estación” se basa en el algoritmo antes explicado, como única diferencia se reducen los *case structure* a 3, con los *Sub-Vi*; Fuente Principal, Fuente Secundaria y Conmutación Manual respectivamente, la cual se puede observar en las fig. 3.3-6 y 3.3-7.



Fig. 3.3-6 Ventana del menú secundario.

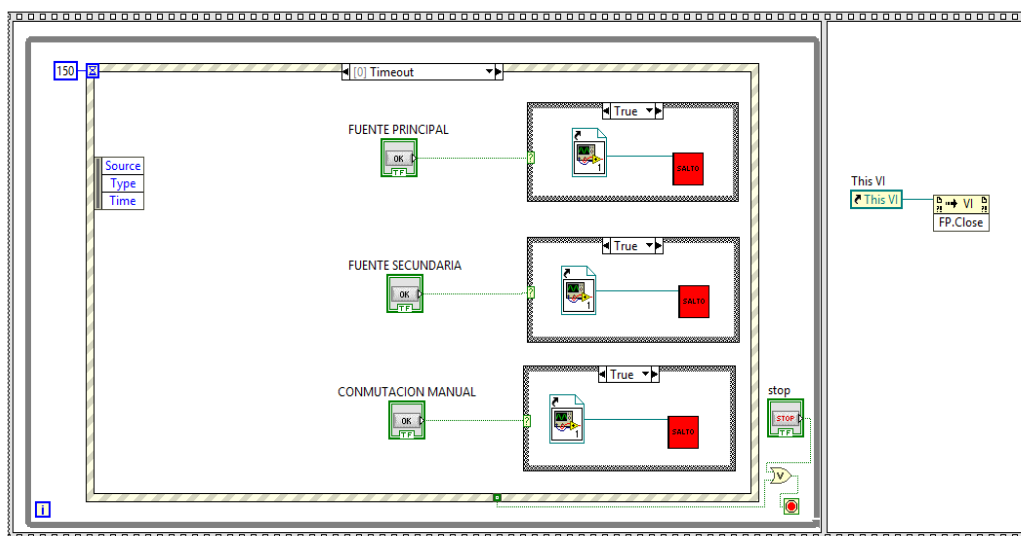


Fig. 3.3-7 DB Estación indios verdes.



### 3.3.2 Ventana “Fuente principal”.

Se implementaron dos pulsadores “ARRANQUE” y “PARO”, el primero es un pulsador normalmente abierto, por lo tanto se hace un enclavamiento mediante el arreglo del bloque *FeedBack Node* y compuertas lógicas, dicho enclavamiento se verá reflejado en el indicador “IND ARRANQUE”, que activa el estado *True* de *case structure* energizando la fuente principal, de igual forma el estado *False* del *case structure* se verá reflejado en el indicador “IND PARO” (fig.3.3-8).

Las señales provenientes de los potenciómetros se asignan a los puertos analógicos del cero al dos del controlador, siendo el primer potenciómetro del puerto analógico cero, éste simula la variable temperatura, dado que el potenciómetro entrega una salida de 0 a 5v y se multiplica la señal por 20 para tener una escala de 0 a 100 grados centígrados. El bloque *Numeric Control* permite ingresar y guardar datos numéricos, mediante estos el usuario puede ingresar el valor del set point máximo y mínimo por los bloques definidos “SP MINIMO TEM” y “SP MAXIMO TEM” respectivamente. Con respecto al set point mínimo se le suma un cuarto de su valor, caso opuesto al set point máximo el cual se le resta una cuarta parte de su valor, con ayuda de los bloques numéricos se evalúan mediante comparaciones y compuertas lógicas la lectura del potenciómetro con respecto al set point mínimo y máximo, visualizando el estado mediante los indicadores (fig. 3.3-9).

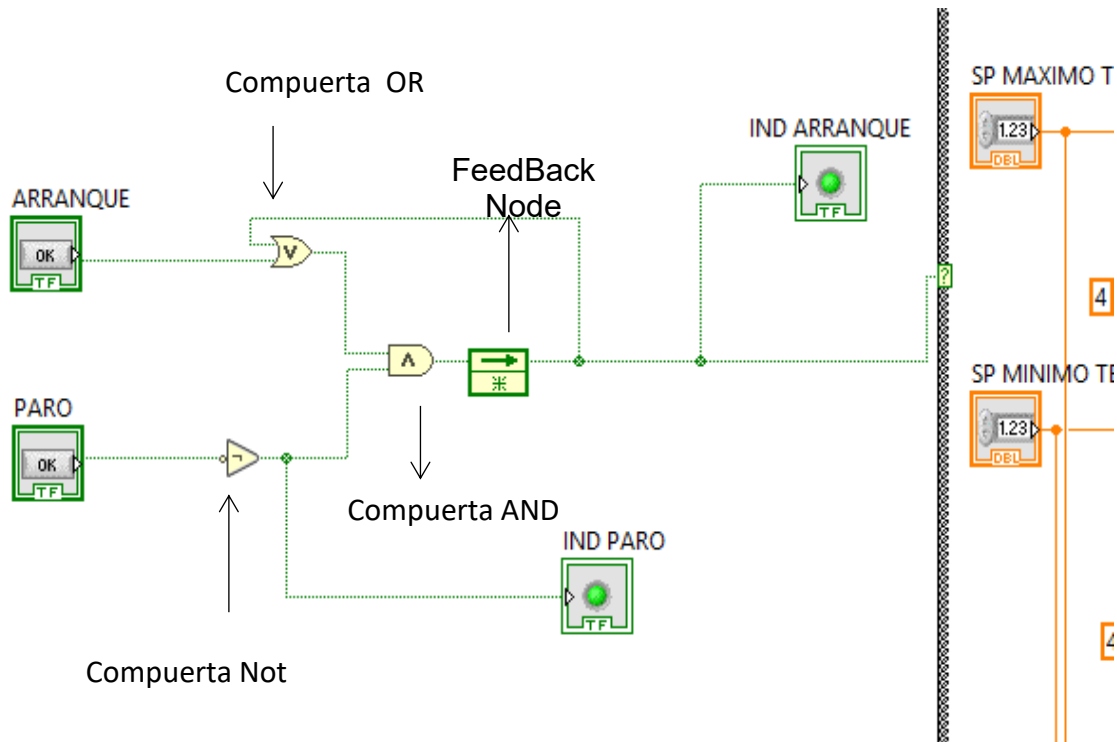


Fig. 3.3-8 1ª parte del DB de la parte de fuente principal.

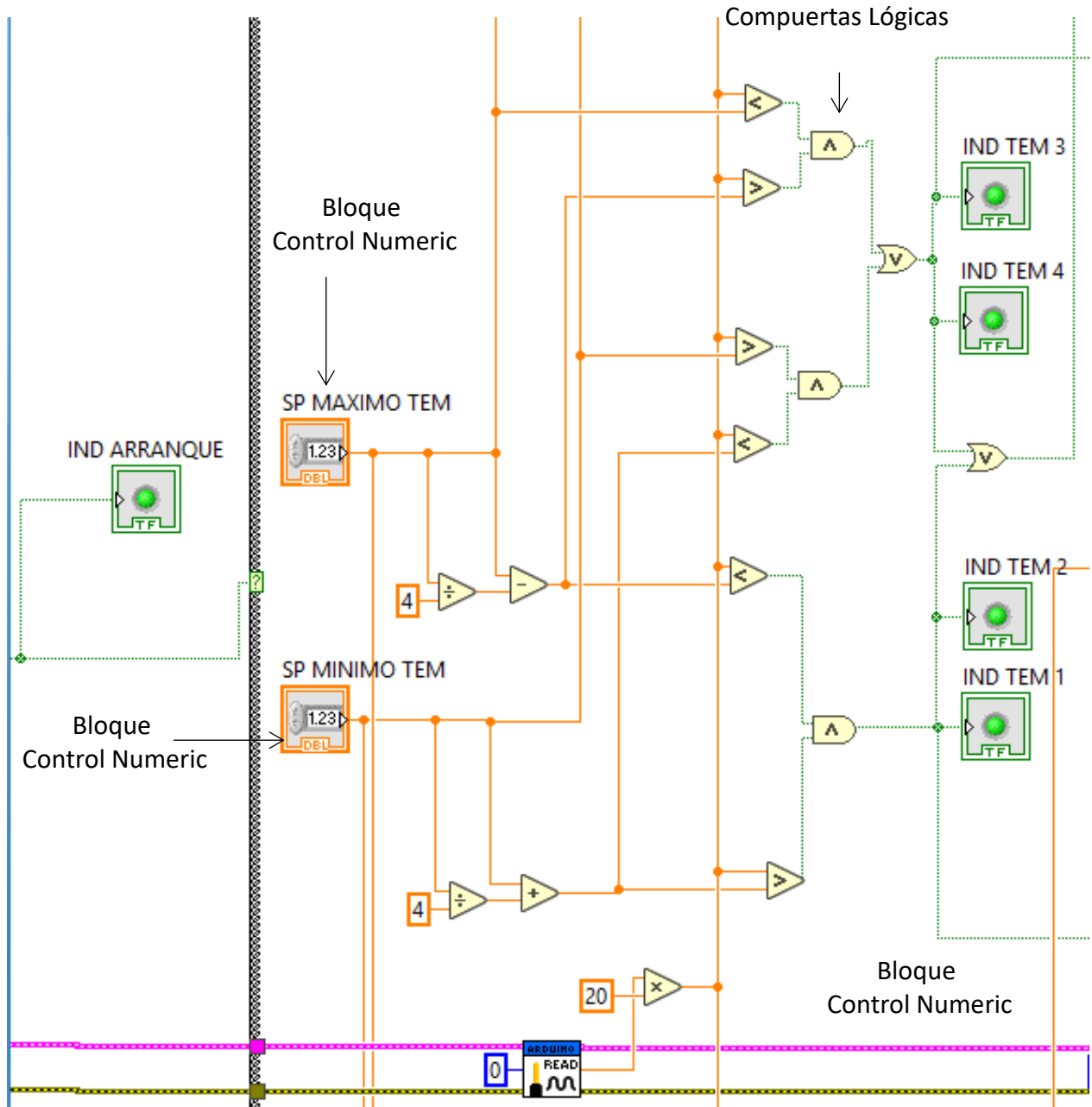
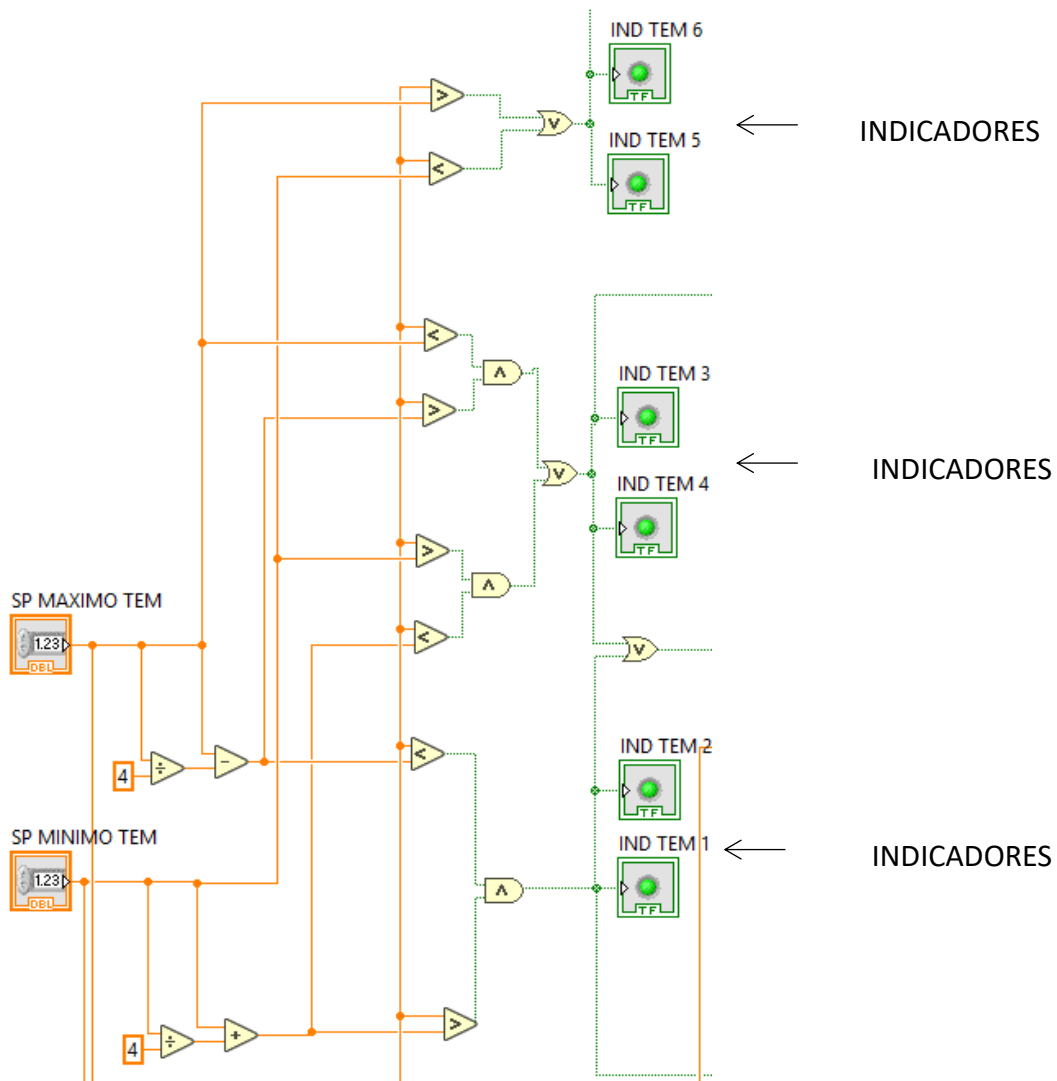


Fig. 3.3-9 2ª parte del DB de la parte de fuente principal.

Se utilizaron 2 tipos de indicadores, boolean y numéricos, los primeros visualizan o pueden activar estados lógicos (0 o 1).



Los Indicadores numéricos permiten mostrar los datos (fig. 3.3-10 y fig. 3.3-11), estos también pueden ser mostrados en gráficas o figuras personalizadas.

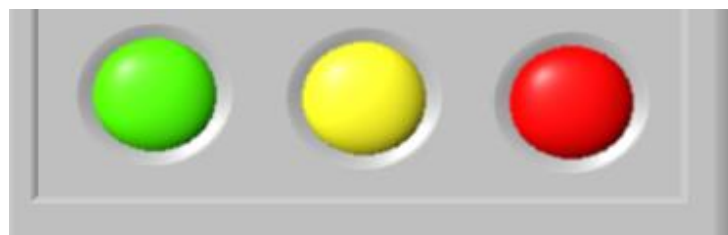


Fig. 3.3-10 DB de la parte de las alarmas.

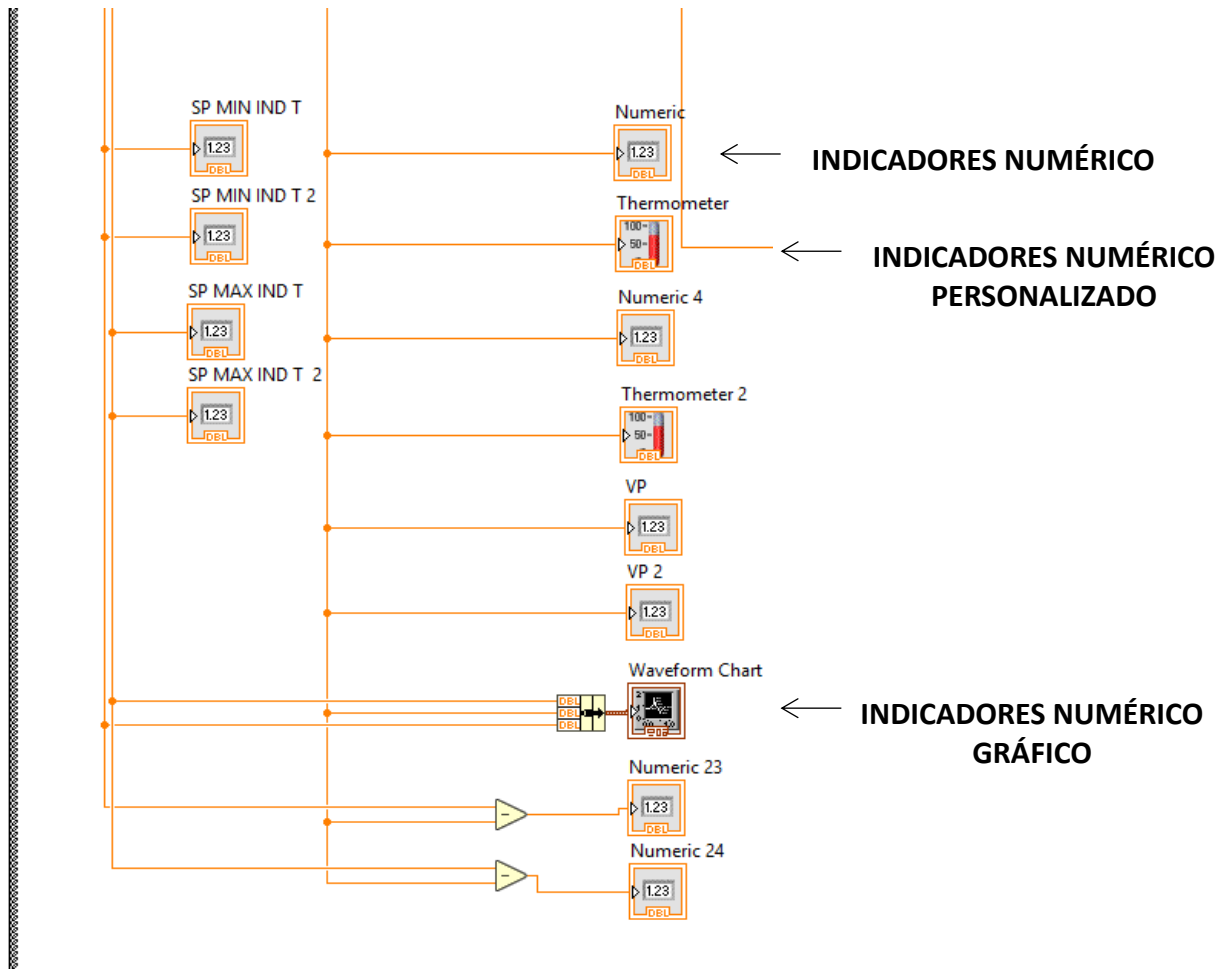


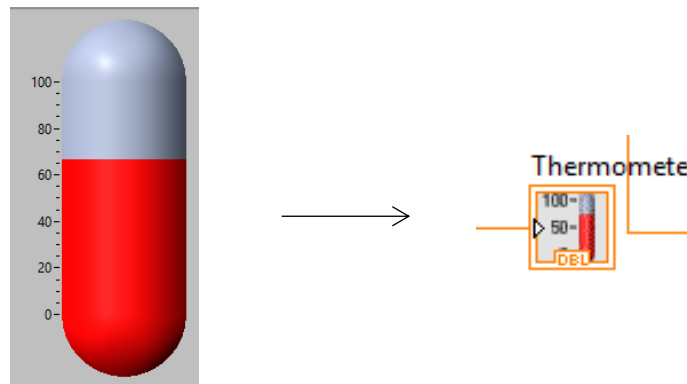
Fig. 3.3-11 DB de la lectura de los 3 sensores.

Para colocar el set point se puede colocar como se muestra en la fig.3.3-12:



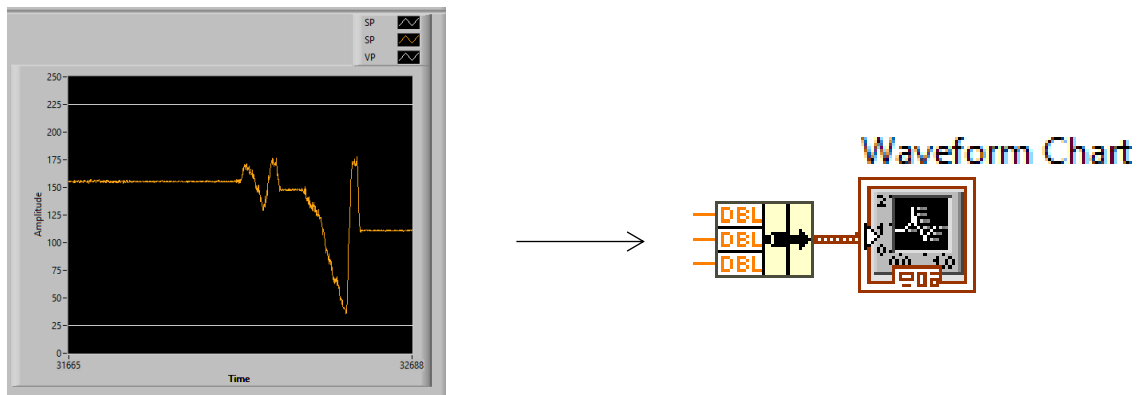
Fig. 3.3-12 DB y panel frontal para establecer los set points.

Para colocar el termómetro de temperatura, se debe de realizar como en la fig. 3.3-13.



**Fig. 3.3-13** DB y panel frontal del sensor de temperatura.

Se colocará una gráfica en la HMI para cada variable para observar cómo es que van variando con respecto al set point (fig. 3.3-14).



**Fig. 3.3-14** DB para el sensor y panel frontal de la gráfica de temperatura.

Retomando la fig. 3.1-15 del lazo de control de temperatura se coloca el sensor LM35 para poder medir la temperatura como se muestra en la fig. 3.3-15.

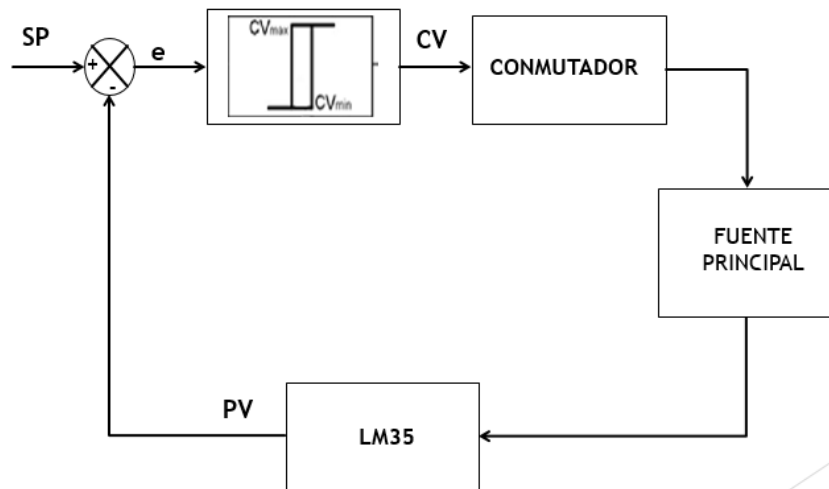


Fig. 3.3-15 Lazo de temperatura con control On/Off con histéresis.

Se representa el código de programación de acuerdo con el diagrama de bloques (fig. 3.3-16):

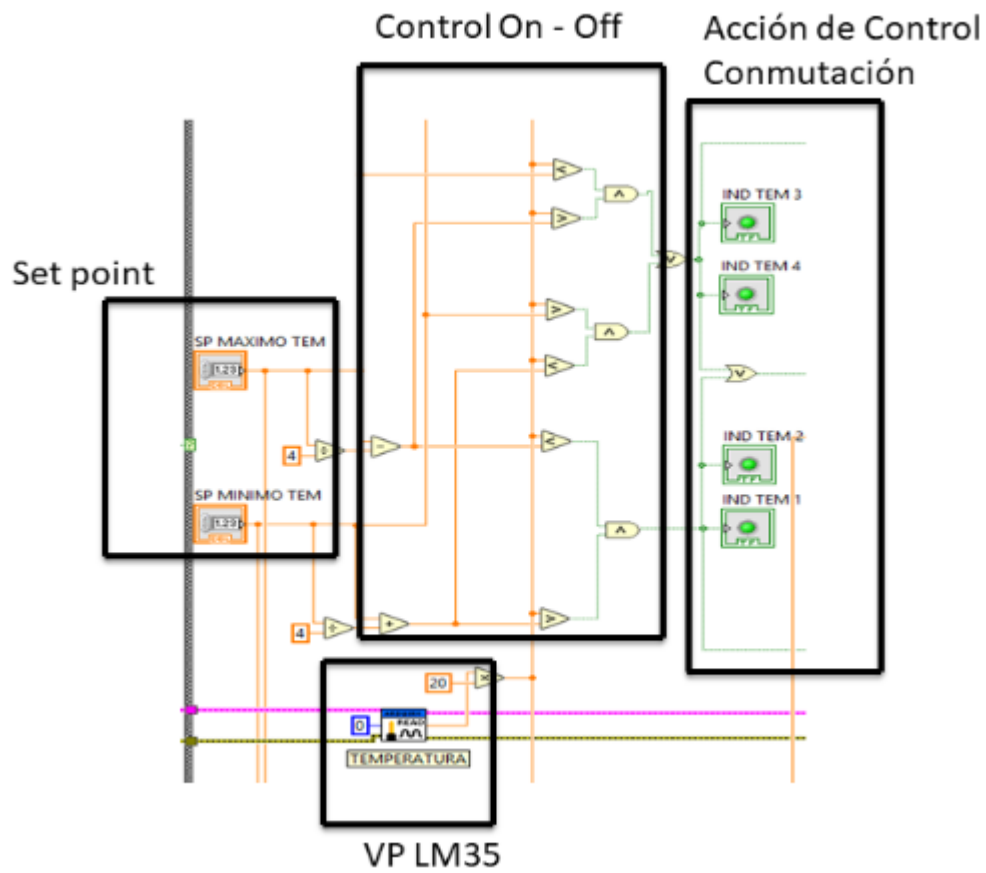


Fig. 3.3-16 Programación del control On/Off con histéresis de temperatura.

El segundo potenciómetro asignado al puerto analógico 1, simula la señal de corriente eléctrica a medir, dado que la planta (fuente a sensor) otorga 1 A de salida y recordando que la señal de salida de un potenciómetro es de 0 a 5 VCD, se multiplicará la señal por 0.2 con la finalidad de que nos entregue como salida final una señal de 0 a 1 expresándola en A.

Se mantiene la misma lógica de programación explicada con anterioridad, la única modificación realizada es el remplazo de los indicadores numéricos personalizados, como se puede observar en la fig.3.3-17.

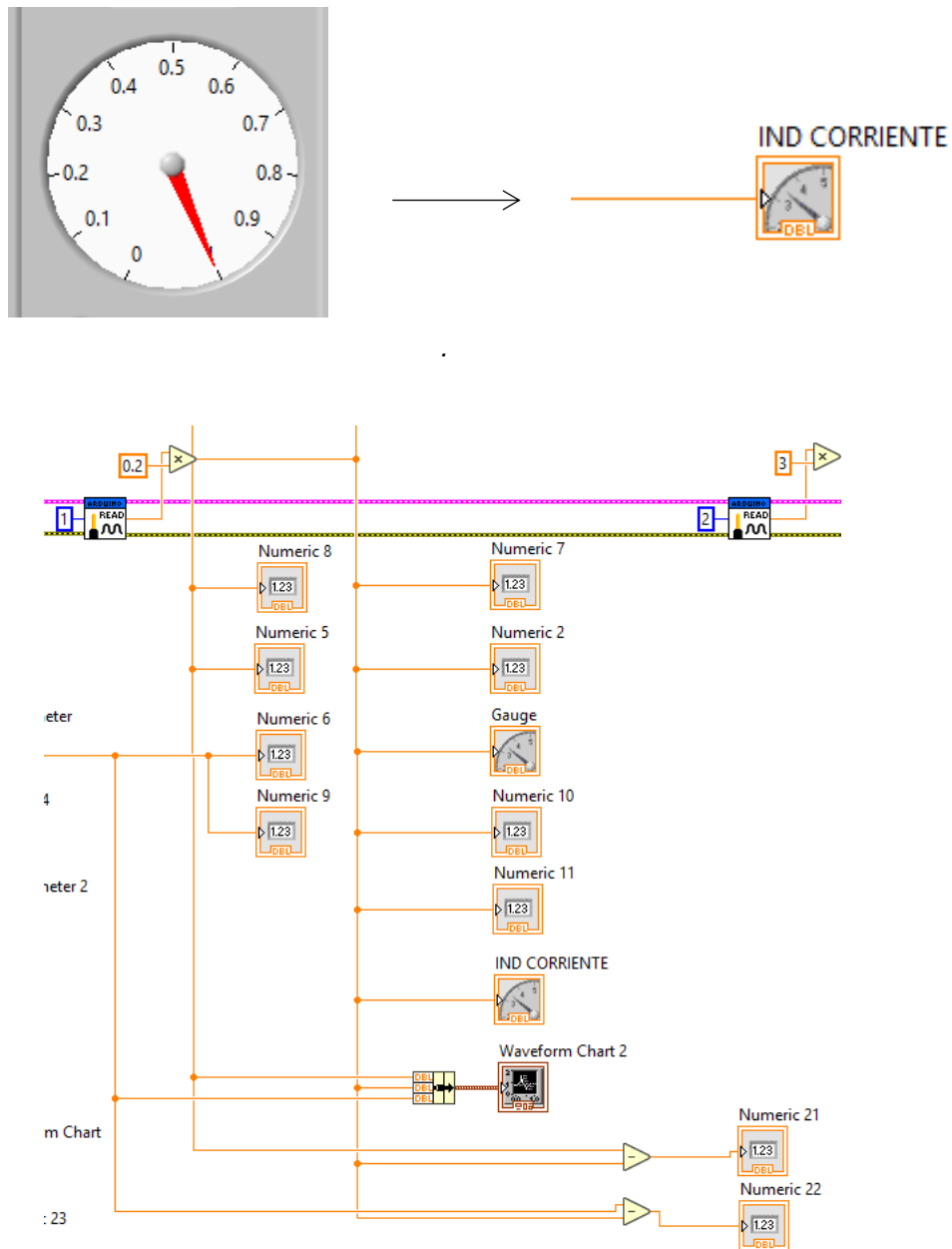


Fig. 3.3-17 DB para colocar las gráficas de los 3 tipos de variables.

De igual forma al retomar la fig. 3.1-16 se coloca el sensor ACS712 para poder medir la corriente como se muestra en la fig. 3.3-18:

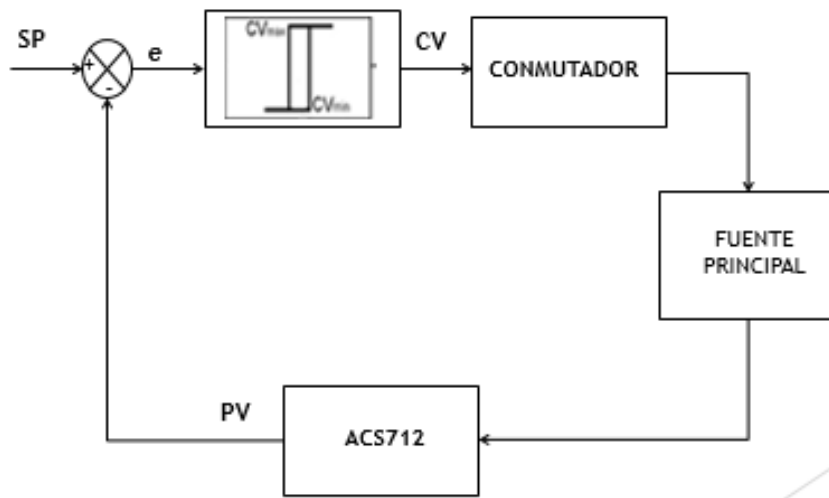


Fig. 3.3-18 Lazo de control de la variable de corriente con un control On/Off con histéresis.

Representando el código de programación de acuerdo con el diagrama de bloques se puede observar lo siguiente (fig. 3.3-19):

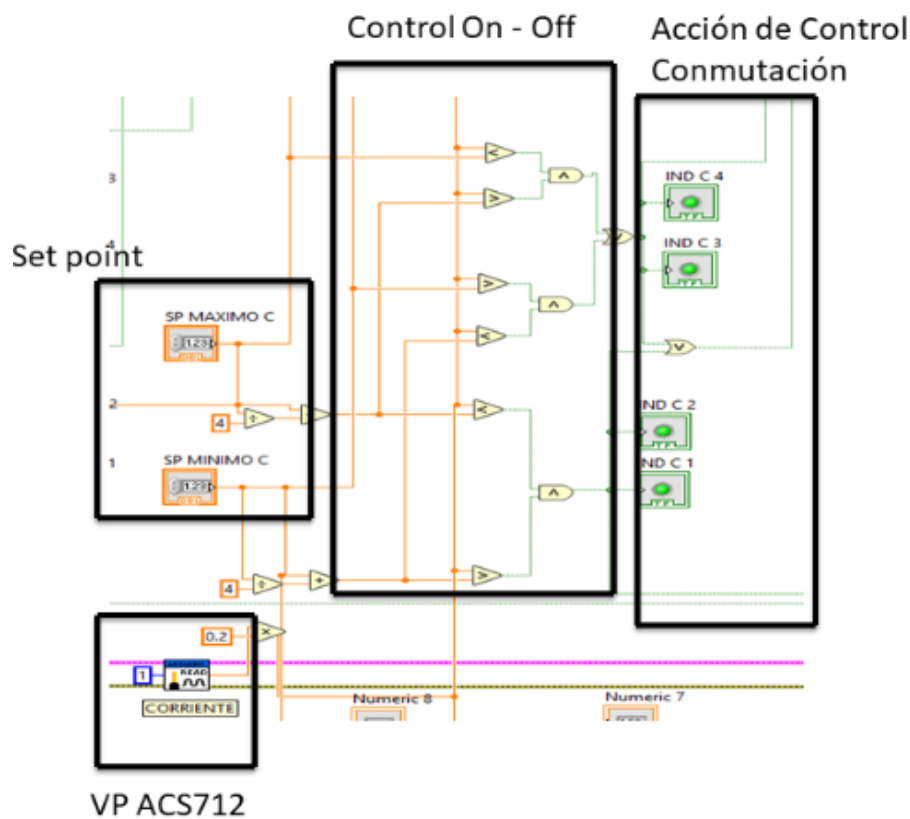
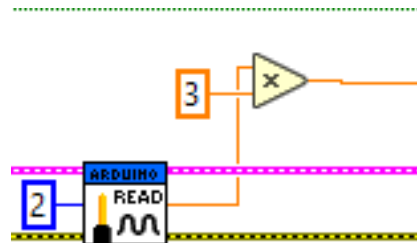


Fig. 3.3-19 Programación del control On/Off con histéresis de corriente.

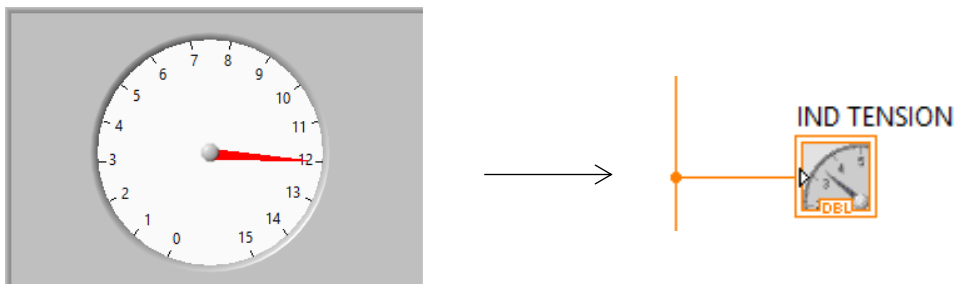


El tercer potenciómetro simula la señal de Tensión eléctrica que se asigna a la entrada analógica 2 del controlador, la fuente entrega una tensión eléctrica de 0 a 15 volts, por lo tanto, la señal se escala multiplicándola por 3 (fig.3.3-20).



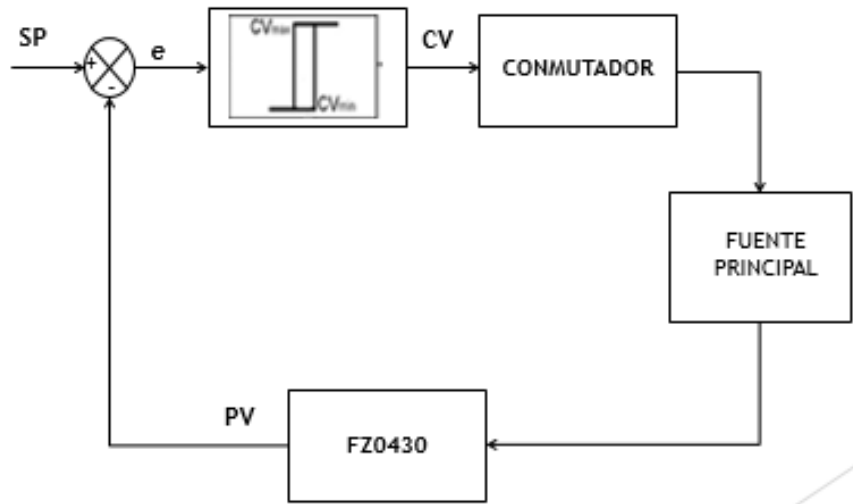
**Fig. 3.3-20** DB de la entrada analógica del potenciómetro para tensión eléctrica.

De igual manera se mantiene la misma lógica de programación explicada con anterioridad, la única modificación realizada es el remplazo de los indicadores numéricos personalizados (fig. 3.3-21).



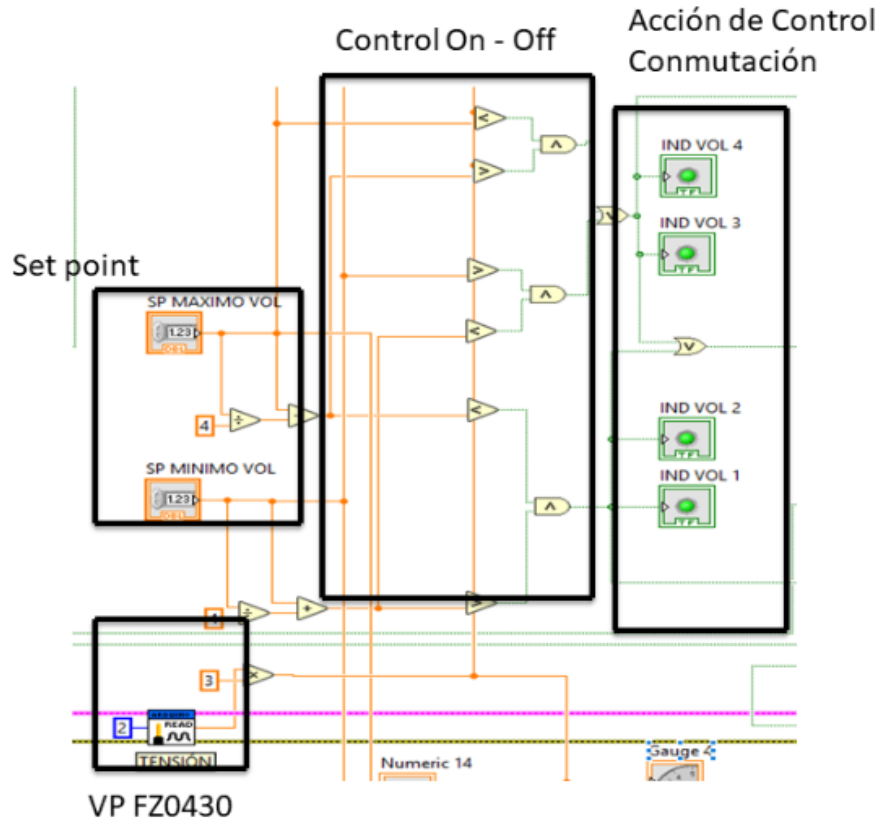
**Fig. 3.3-21** DB para el sensor de tensión eléctrica

Por último, al retomar la fig. 3.3-17 se coloca el sensor FZ0430 para poder medir la tensión como se muestra en la fig. 3.3-22:



**Fig. 3.3-22** Lazo de control de la variable de tensión utilizando un control On/Off.

Y representando el código de programación de acuerdo con el diagrama de bloques se puede observar lo siguiente (fig. 3.3-23):



**Fig. 3.3-23** Programación del control On/Off con histéresis de tensión.

Cuando en las comparaciones se detecta condiciones que alteran la seguridad del proceso, se manda una señal de salida que se asigna al puerto de salida digital 10, dicha señal se encarga de activar la fuente secundaria y des energiza la fuente principal que tiene el puerto digital 9 (fig. 3.3-24).

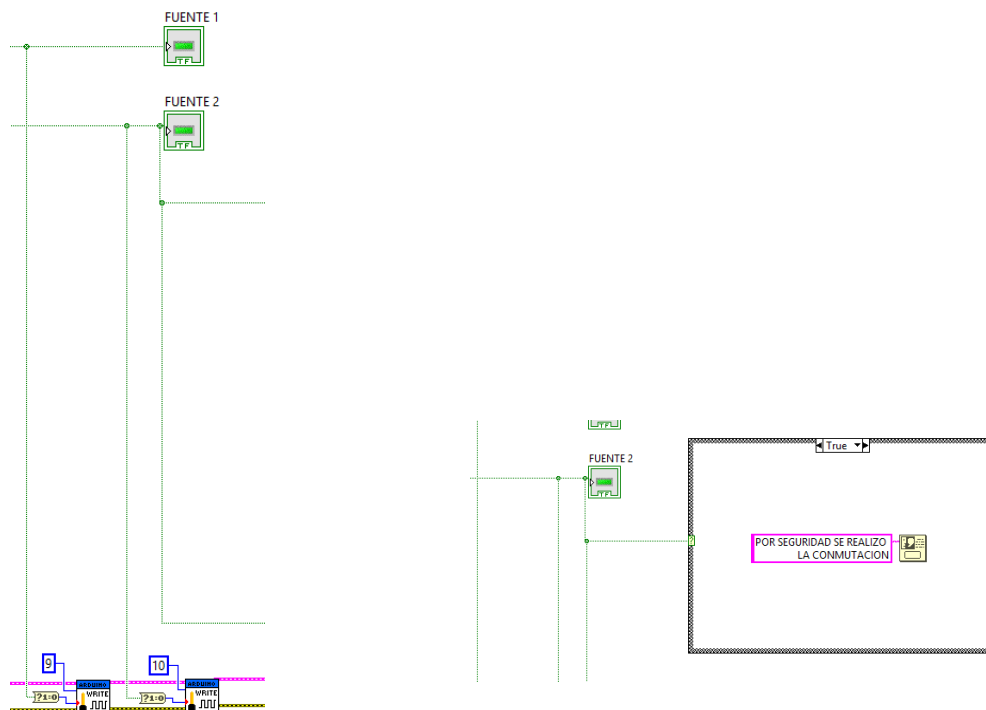


Fig. 3.3-24 DB para energizar las FA principal y secundaria.

Al realizar la conmutación aparecerá un mensaje emergente, que se activará mediante un *case structure*, con la condición de verdadero se activará la misma señal de conmutación (fig. 3.3-25).

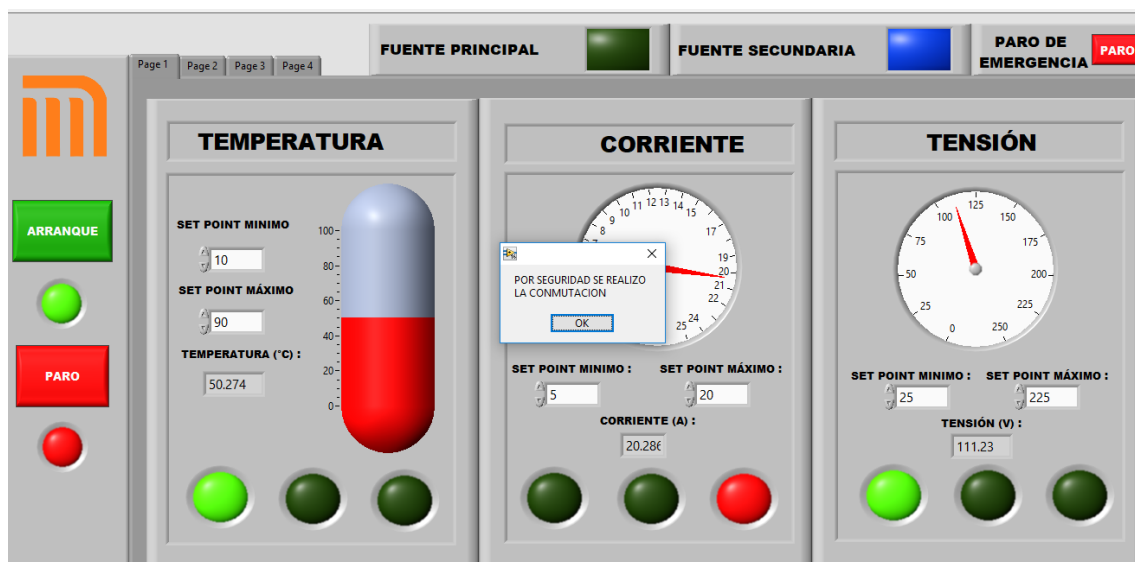


Fig. 3.3-25 Panel frontal de la HMI de la condición para la conmutación manual.

### 3.3.3 Ventana “Fuente secundaria”.

Para la adquisición de datos se establece una conexión entre el controlador y el software mediante los bloques de INT ARDUINO, por medio éste se declara el tipo de controlador, especificando que es únicamente con respecto a la serie de tarjetas Arduino, y el puerto del ordenador al que se está conectado. El bloque CLOSE ARDUINO cierra el circuito de la transmisión de datos por medio de los cables ficticios, como se puede observar en la fig. 3.3-26.

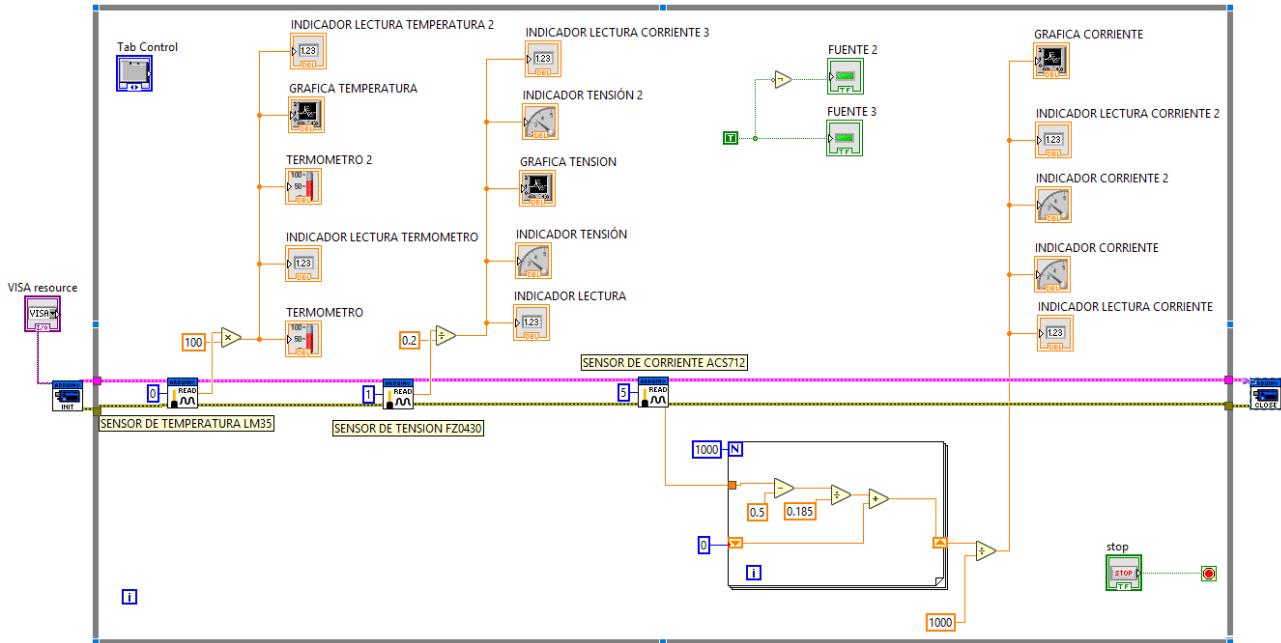


Fig. 3.3-26 DB sobre la HMI de la FA secundaria.

Para monitorear la fuente secundaria se implementará un Tablero de Control, que generará las cuatro pestañas sin la necesidad de abrir más de un *Front Panel* (fig. 3.3-27 y 3.3-28).



Fig. 3.3-27 Conexión en LabVIEW con Arduino.

Tab Control



Fig. 3.3-28 DB sobre el tablero de control.

Para la parte del panel frontal solo se pondrá las variables de temperatura, corriente y tensión, cada variable tiene su instrumento de medición como se puede observar en la fig. 3.3-29.



Fig. 3.3-29 Ventana principal del apartado de FA secundaria.

Si se quiere tener más detalle de cada variable, se cambia de ventana en dónde se podrá observar de lado izquierdo el instrumento de medición y de lado derecho la gráfica, con la finalidad de poder checar los cambios que se están efectuando en la variable (fig. 3.3-30).

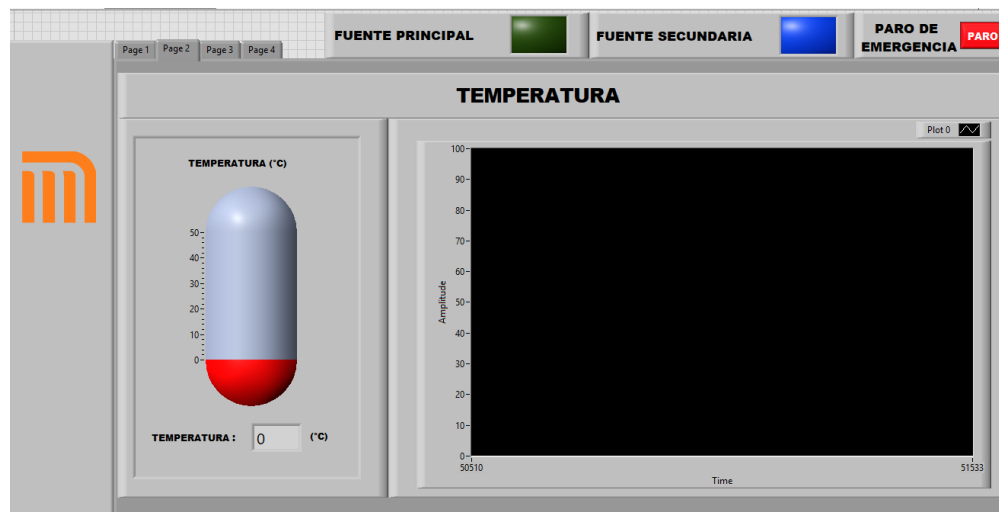


Fig. 3.3-30 Ventana de selección de temperatura para la FA secundaria.

La variable temperatura se asigna al puerto analógico cero es la señal de salida del sensor LM35, dicha salida entrega 10 mv por cada grado centígrado, por ello se escala multiplicándola por 100, la señal escalada ingresa a los indicadores que se encuentran en el Panel Frontal (fig.3.3-31).

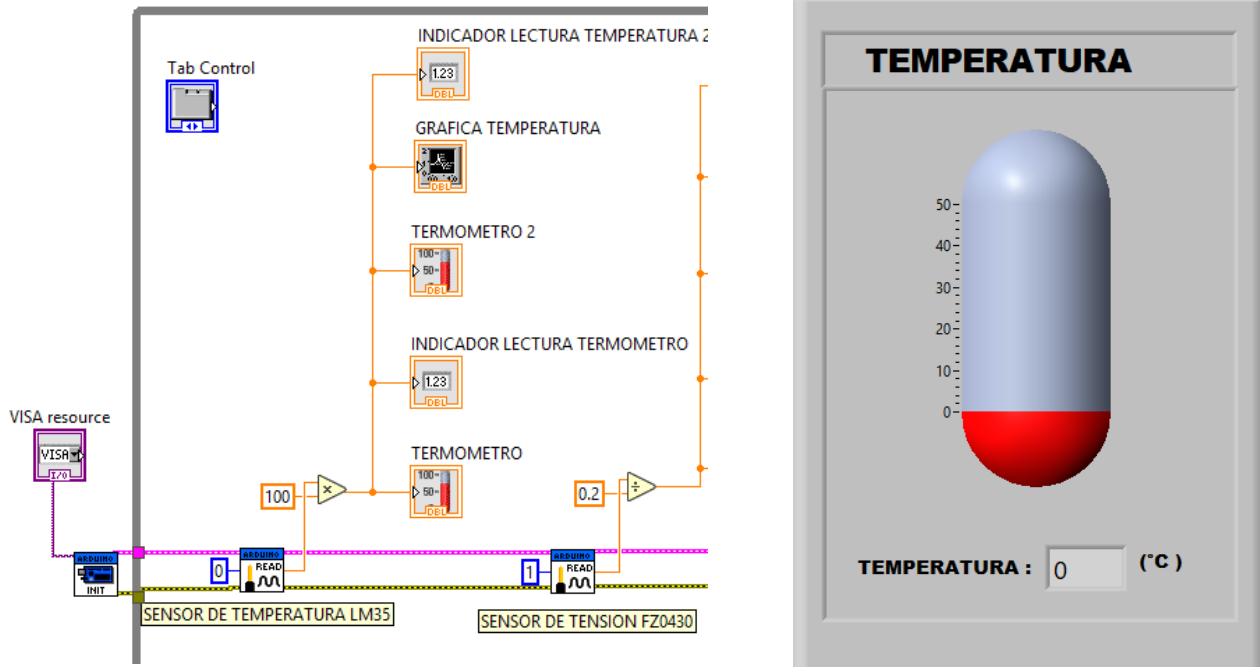


Fig. 3.3-31 DB del sensor de temperatura para la HMI.

### 3.3.4 Ventana “Conmutación manual”

Para la realización del programa y ventanas de la parte de Conmutación Manual se tiene la siguiente ventana en la HMI (fig. 3.3-32):



*Fig. 3.3-32 Ventana principal de conmutación manual.*

Se puede observar que cuenta con 2 campos para ingresar, usuario y contraseña, se tiene un botón de arranque junto con su lámpara indicadora, también se puede observar que se tiene de manera virtual las lámparas que indican cual fuente de alimentación se encuentra energizada, en medio de las lámparas se puede encontrar el botón de conmutación y por último en la parte inferior se encuentra en el botón de Paro.

En la fig.3.3-33 se puede observar el diagrama general de bloques de la ventana de conmutación manual:

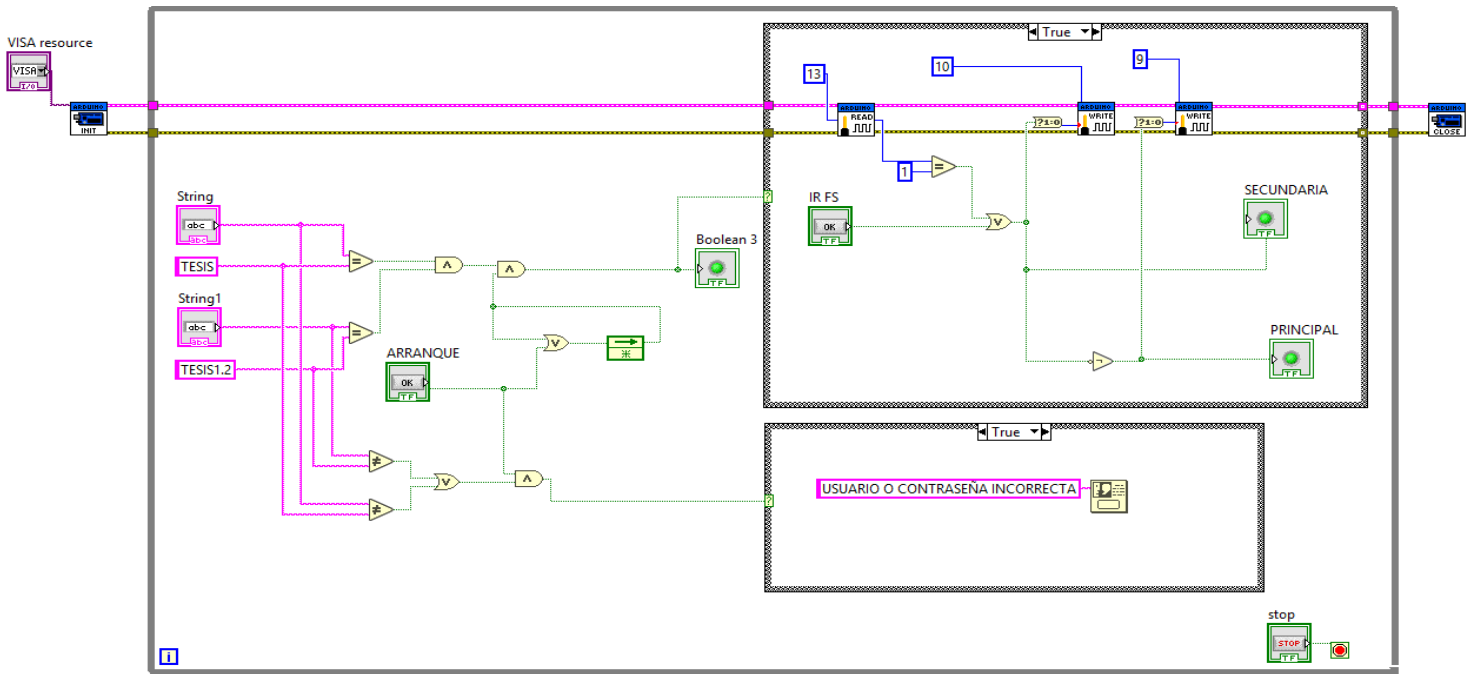


Fig. 3.3-33 DB conmutación manual.

Para la parte del usuario se introducen dos cadenas de caracteres, es decir datos tipo *String* para usuario y contraseña, variables *String* y *String1* respectivamente, las cuales entran a un comparador, donde se evalúan al ser activado el botón arranque, en el caso de que sean diferentes al usuario definido “TESIS” y contraseña “TESIS1.2”, se ejecutará el Case *Structure 2*, el cual arrojará un mensaje de error como se muestra en la Fig. 3.3-34 y fig. 3.3-35 denegando el acceso al usuario, ya que, como se ha mencionado con anterioridad solo el personal autorizado ya sea mantenimiento o supervisores pueden tener acceso a la ventana de conmutación manual.

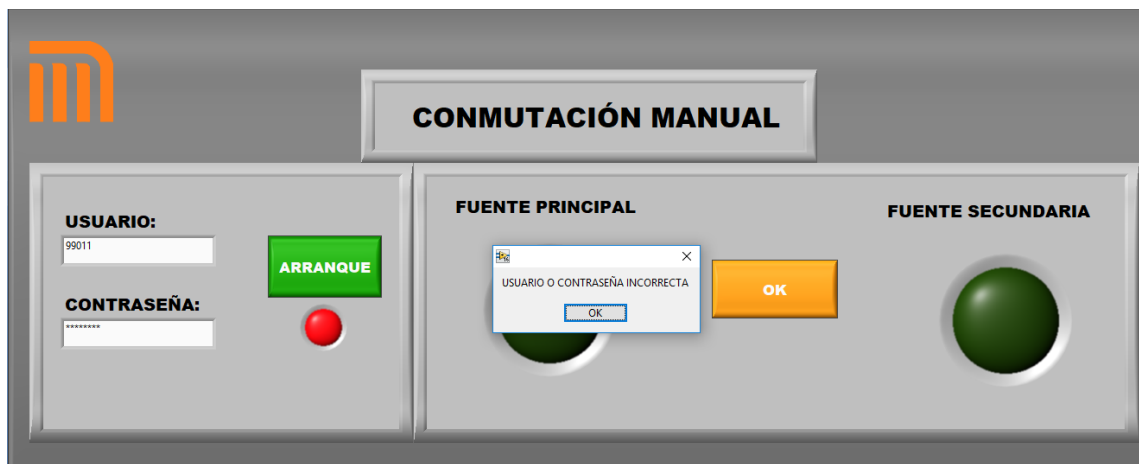


Fig. 3.3-34 Ventana de mensaje de usuario y/o contraseña incorrecta.



A continuación, se puede observar el DB del ingreso del usuario y contraseña:

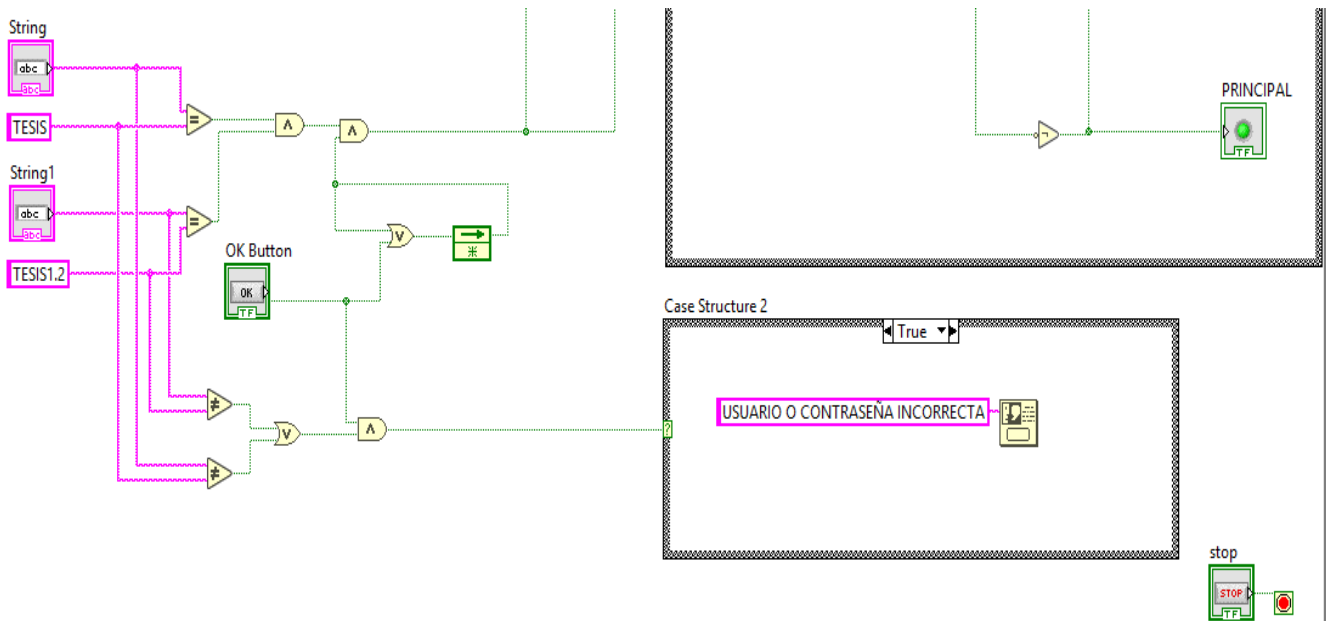


Fig. 3.3-35 DB del ingreso de usuario y contraseña en LabVIEW.

En caso de que las variables *String* y *String1* sean iguales al usuario y contraseña declarados, se procederá a ejecutar el *Case Structure 1*, como se muestra en la fig.3.3-36 y fig.3.3-37, en donde el usuario tendrá acceso para realizar la conmutación entre fuentes de forma segura.



Fig. 3.3-36 Ventana de acceso a la conmutación manual.

En el DB de la fig.3.3-37 se puede observar que ya se le dio acceso al usuario para poder realizar la conmutación manual cuando se han ingresado de manera correcta los datos.

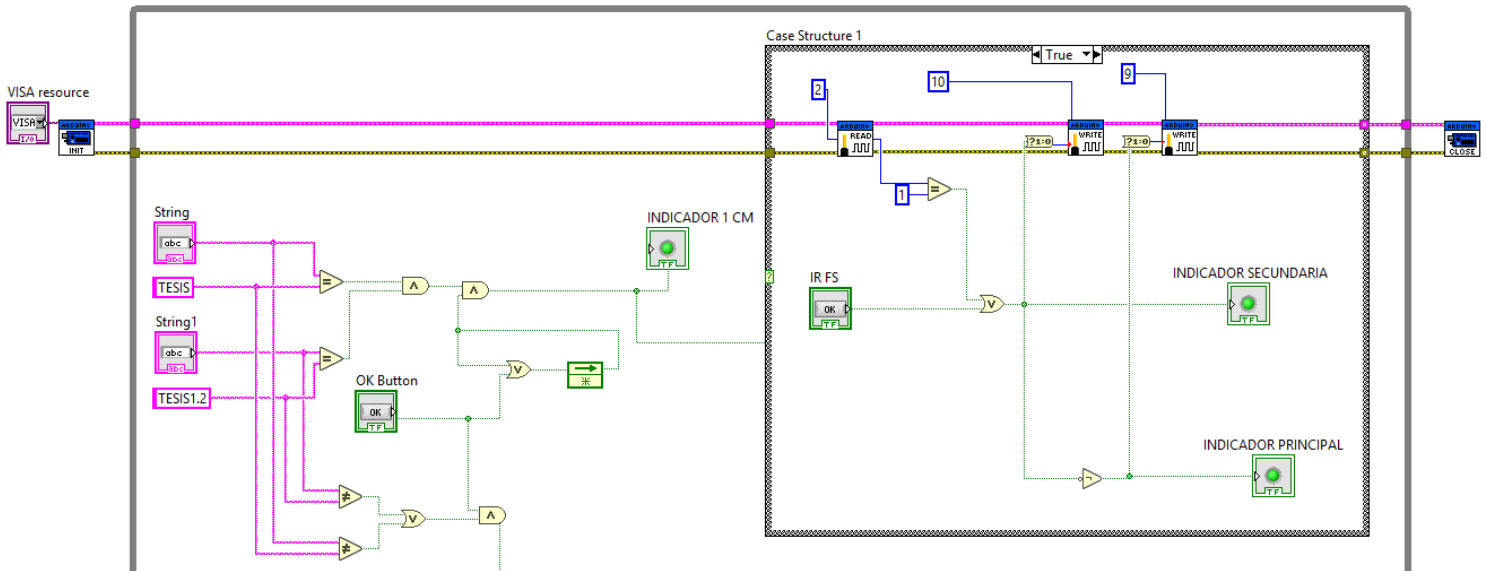


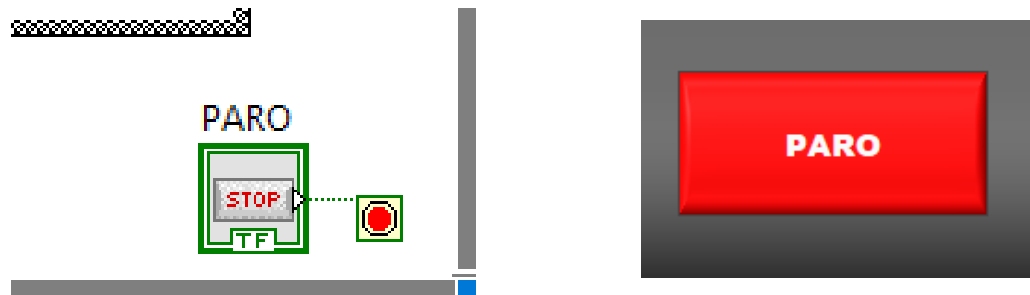
Fig. 3.3-37 DB ya con acceso a la conmutación automática.

La conmutación se ejecutará al ser presionado el botón “CONMUTACIÓN”, este es un pulsador retentivo que se encuentra de forma remota y de forma local, mediante estos se puede conectar o desconectar ambas fuente (fig.3.3-38).



Fig. 3.3-38 Ventana de conmutación manual entre la FA principal y secundaria.

Finalmente, si se elige el botón de paro, al ser presionado detiene la ejecución del Ciclo While principal, por consiguiente, la ejecución del programa se detiene (fig.3.3-39).



*Fig. 3.3-39 DB paro de emergencia.*

---

# **CAPÍTULO IV**

## **PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA**

En el capítulo 4 se harán las simulaciones, con base en los resultados se realizará un análisis para demostrar que el sistema de conmutación se ejecuta de manera automática y que efectivamente se esté monitoreando de manera remota las variables de tensión eléctrica, corriente eléctrica y temperatura, con la finalidad de garantizar que el PA siempre se encuentre energizado.

---

## 4.1 Simulaciones

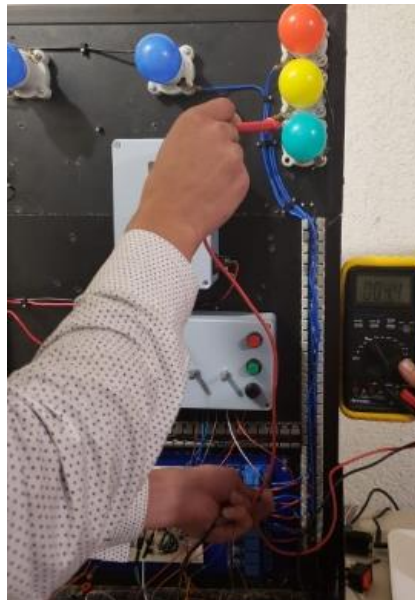
Para verificar el correcto funcionamiento del sistema de conmutación automática, se realizarán las siguientes simulaciones en el prototipo:

- Continuidad
- Energización
- Control On/Off por Histéresis

### 4.1.1 Continuidad

Las pruebas de continuidad se realizan con el objetivo de garantizar la seguridad con el personal que estará utilizando el tablero y asegurar que las conexiones se hayan realizado de manera correcta.

Se realizaron pruebas de continuidad en la parte de las alarmas y en el módulo de 8 relés con optoacoplador, ya que se verificó que cada bobina estuviera conectada a una alarma y así verificar que encendieran correctamente.



*Fig. 4.1-1 Prueba de continuidad en las lámparas.*

Se puede observar en la fig.4.1-1 que se coloca una punta de un Multímetro en la salida de la bobina y la otra punta en la fase.

## 4.1.2 Energización

Estas pruebas se realizan con la finalidad de comprobar que los componentes del tablero funcionan correctamente al estar energizados.

Se realizaron las pruebas de energización en la parte de las fuentes de alimentación y se comprobó que la lectura del voltmetro de la FA sea la misma que la medición del Multímetro (Fig.4.1-2).



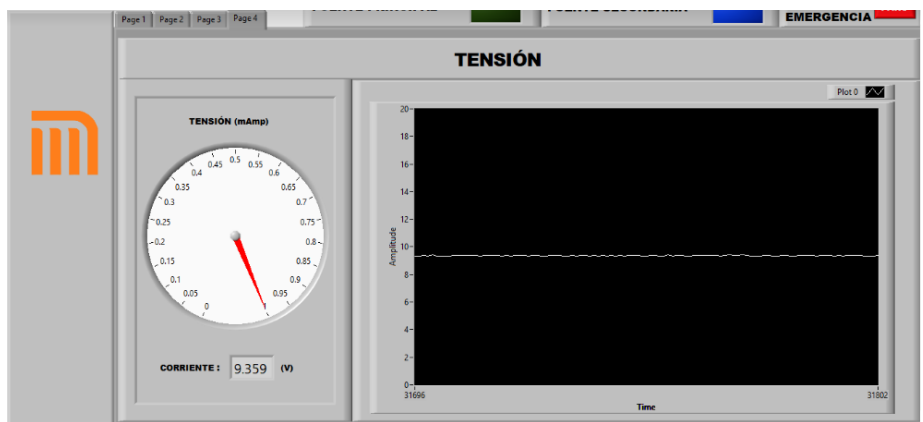
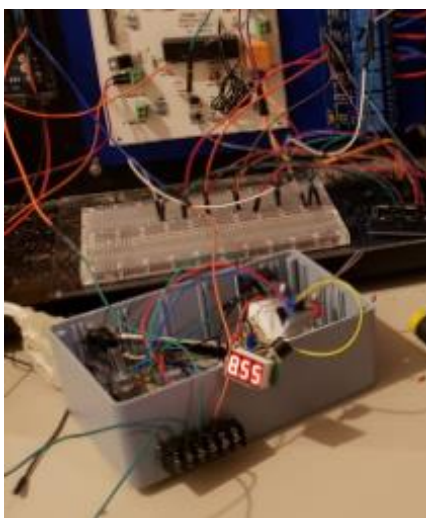
*Fig. 4.1-2 Prueba de energización de la FA principal.*

Posteriormente, se realizó una prueba al microcontrolador, se energizó por medio del procesador, para observar que el microcontrolador esta energizado se debe de encender la lámpara de color verde.



**Fig. 4.1-3** Prueba de energización del microcontrolador.

También se verifico el funcionamiento de los sensores de temperatura, corriente y tensión eléctrica en la ventana de la FA secundaria con la finalidad de que los sensores envíen la señal correcta.



**Fig. 4.1-4** Prueba de sensor de tensión eléctrica.

Posteriormente se realizaron las pruebas en las entradas/salidas del microcontrolador sin contemplar la parte de potencia utilizando el software de LabVIEW.

Para la parte de las entradas del microcontrolador se verifica que el módulo de simulación de variables esté trabajando correctamente y que, al variar alguna, ya sea de temperatura, corriente o tensión eléctrica se vea reflejado el cambio en la HMI, esto ayudará también a verificar el correcto funcionamiento de las salidas del microcontrolador.

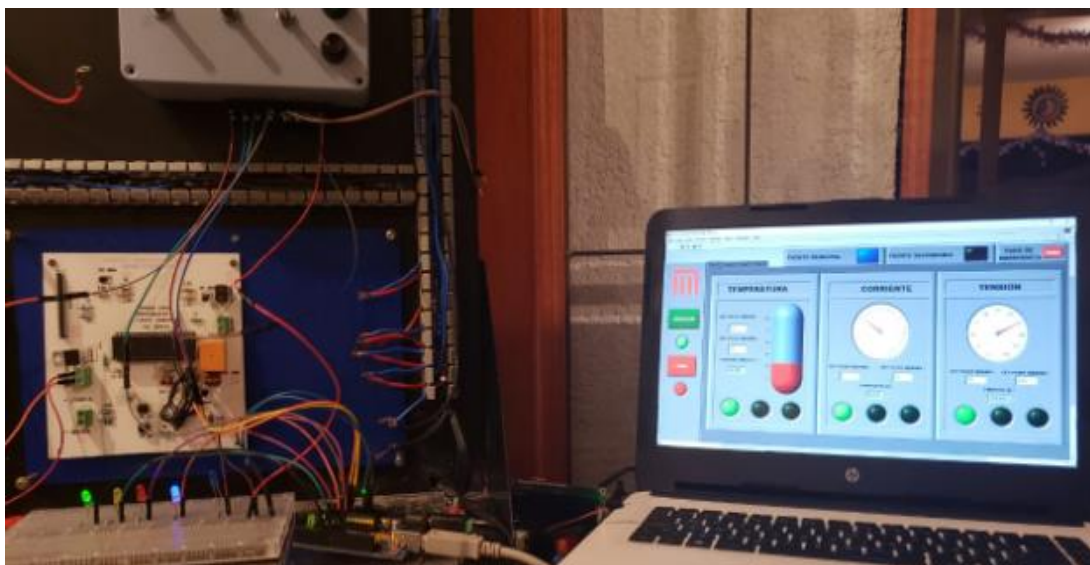
Se colocó en cada una de las salidas un diodo LED, el cual debe de iluminarse cuando las alarmas se enciendan en la HMI.

En la fig. 4.1-4 se observa en la HMI las variables se encuentran dentro del rango de operación según las especificaciones que se le ingresaron, por esa razón este encendido el LED verde y el LED azul, que representa que esta energizada la FA principal.

En la fig. 4.1-5 se observa en la HMI la variable de tensión eléctrica se encuentra cerca del set point mínimo, por esa razón este encendido el LED amarillo y el LED azul, que indica que esta energizada la FA principal.

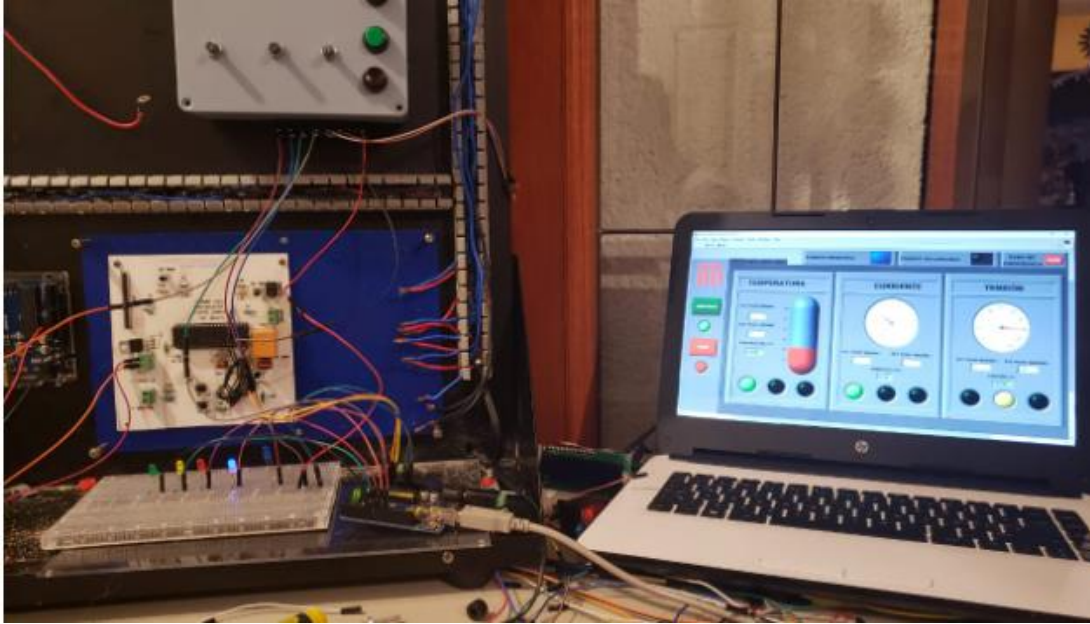
En la fig. 4.1-6 se observa en la HMI la variable de temperatura ya ha rebasado el rango de operación, por lo tanto, esta encendido el LED rojo y el LED azul de la FA secundaria porque se ha realizado la conmutación automática.

Con estas pruebas se puede verificar que las entradas/salidas del controlador funcionan correctamente, al igual que el código de la HMI (fig.4.1-7).

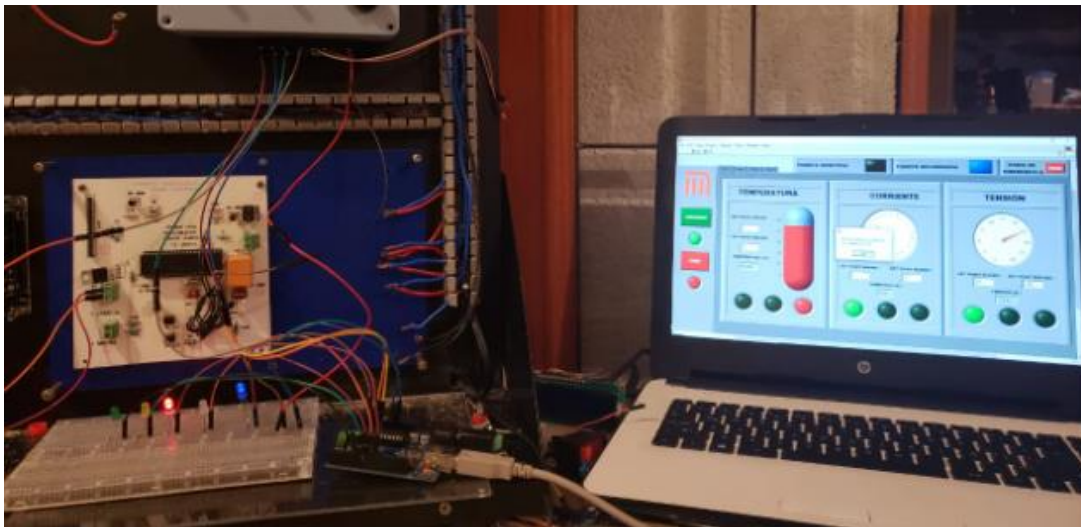


**Fig. 4.1-5** Prueba 1 de entradas y salidas con el microcontrolador y la HMI.





**Fig. 4.1-6** Prueba 2 de entradas y salidas con el microcontrolador y la HMI.



**Fig. 4.1-7** Prueba 3 de entradas y salidas con el microcontrolador y la HMI.

### 4.1.3 Control On/Off por Histéresis

Se realizaron las pruebas para verificar si el sistema de conmutación se realiza entre la FA principal y secundaria cuando se tiene una variación del rango de operación de alguna de las variables de temperatura, tensión eléctrica o corriente.

Al iniciar la prueba se puede observar que arroja el menú principal, para poder seleccionar la estación del STC Metro que se quiere monitorear (fig. 4.1-8).



Fig. 4.1-8 Prueba del sistema de conmutación automática y la HMI.

En este momento el tablero esta des energizado porque es la primera vez que se implementará el sistema de conmutación automática. Se seleccionará la estación de Indios Verdes y se despliega la ventana del menú secundario (fig.4.1-9).

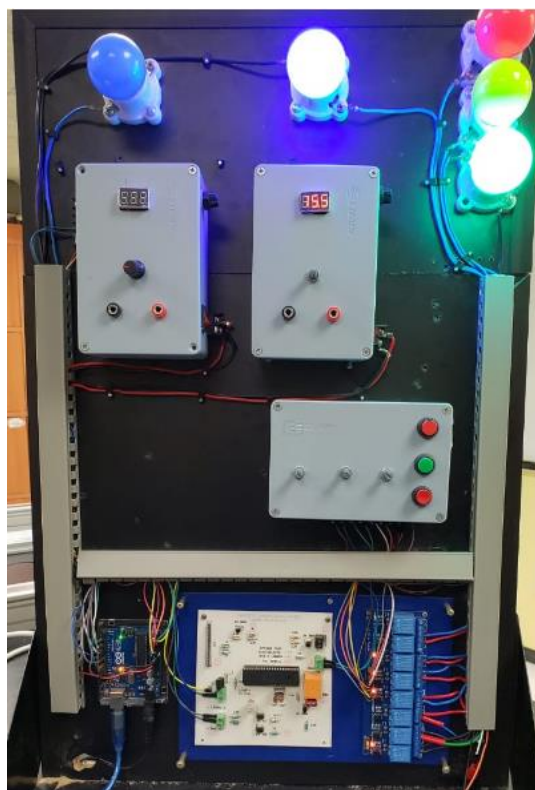


Fig. 4.1-9 Prueba 2 del sistema de conmutación automática y la HMI.

En seguida se monitorea la fuente principal que es la prioridad para el PA, se procede a ingresar los set points máximos y mínimos de cada variable y se le da clic en el botón de arranque para que se energice la fuente de alimentación principal (fig.4.1-10).



*Fig. 4.1-10 Ingreso de valores de los set points de cada variable en la HMI.*



*Fig. 4.1-11 Todas las variables se encuentran dentro del rango establecido.*

En la fig. 4.1-11 se observa que está encendida la luz indicadora de la FA. principal y la alarma de color verde, al mismo tiempo en la fig. 4.1-12 en la HMI se observa que las variables se encuentran dentro del rango de operación.



Fig. 4.1-12 ventana de FA principal de la HMI.

En la fig. 4.1-13 se observa la gráfica de la temperatura que aún no tiene variación, ya que se ha mantenido dentro del rango de operación.

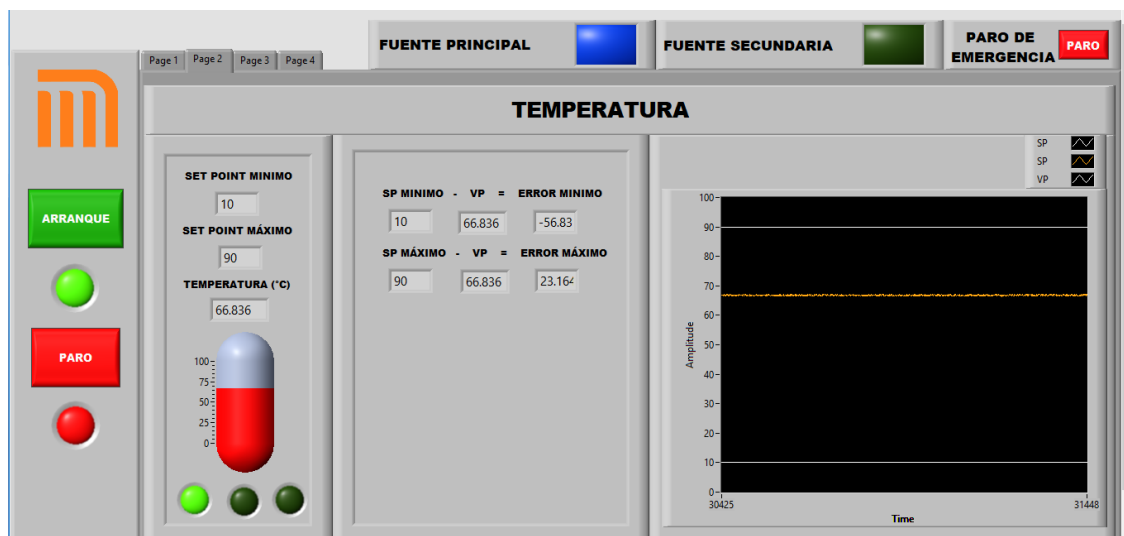
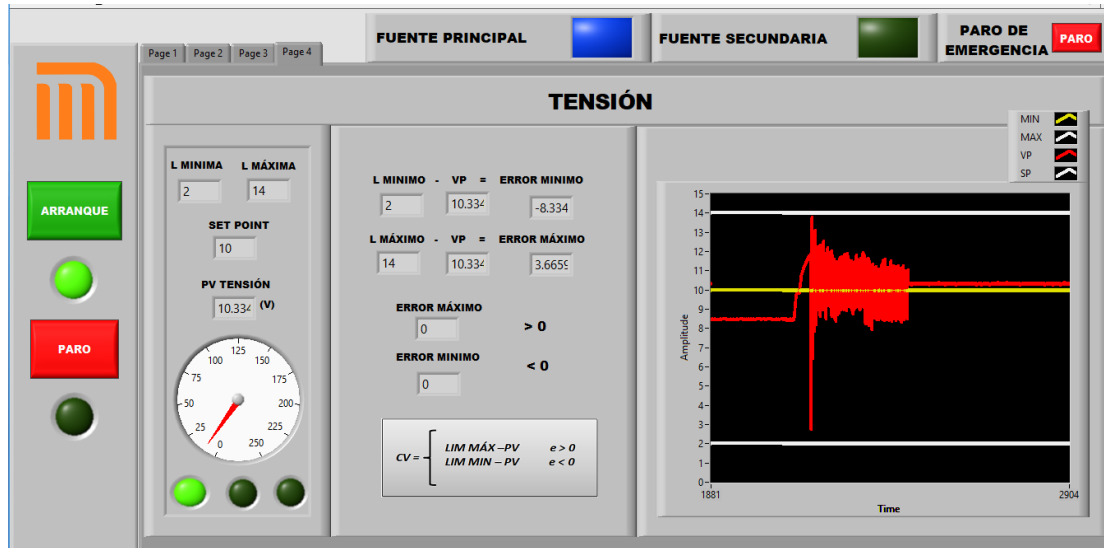


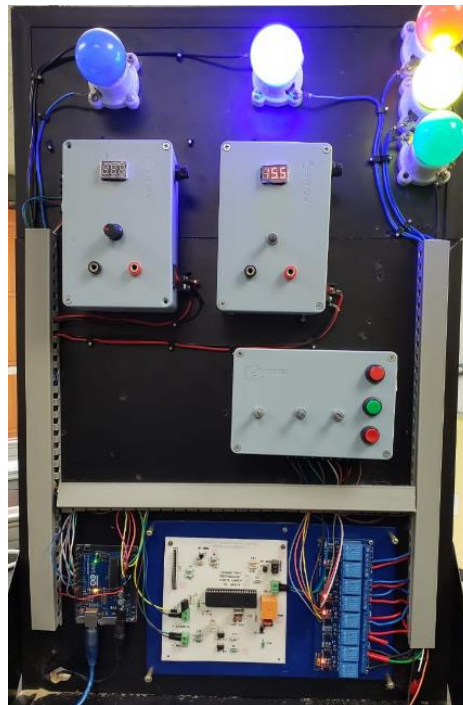
Fig. 4.1-13 ventana de temperatura de la HMI dentro del rango de operación.

En la fig. 4.1-14 siguiente se puede apreciar que la variable de tensión eléctrica ha tenido algunas oscilaciones, pero aún sigue dentro del rango de operación establecido.



**Fig. 4.1-14** Ventana de la variable de tensión eléctrica de la HMI.

En la fig.4.1-15 la variable de temperatura se encuentra cerca de los límites establecidos, se puede observar el correcto funcionamiento de las alarmas y efectivamente la alarma amarilla se encuentra encendida, indicando que se tenga precaución, de igual manera se puede observar en la HMI Fig. 4.1-16.



**Fig. 4.1-15** Alarma amarilla encendida indicando precaución con la variable de temperatura.



Fig. 4.1-16 Variable de Temperatura cerca del límite establecido en la HMI.

En la ventana de cada variable se encuentra una gráfica para apreciar cuales han sido las oscilaciones de las variables, en este caso en la fig. 4.1-17 y en la 4.1-18 se puede observar cómo ha variado la temperatura que es medida en la parte interna de la FA. Principal.

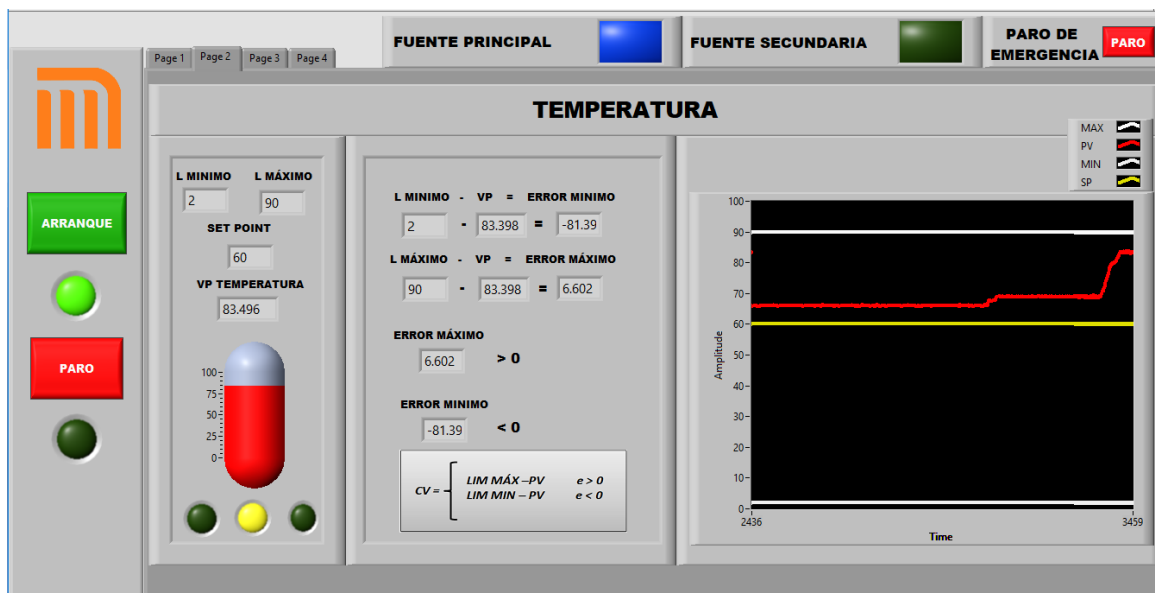


Fig. 4.1-17 Gráfica del comportamiento de la variable de temperatura en la HMI.

Finalmente se realiza la prueba de conmutación automática, en donde variable de temperatura rebasa su set point y automáticamente se puede observar en la HMI (fig. 4.1-18) que arroja un mensaje diciendo “por su seguridad se ha realizado una conmutación automática”.

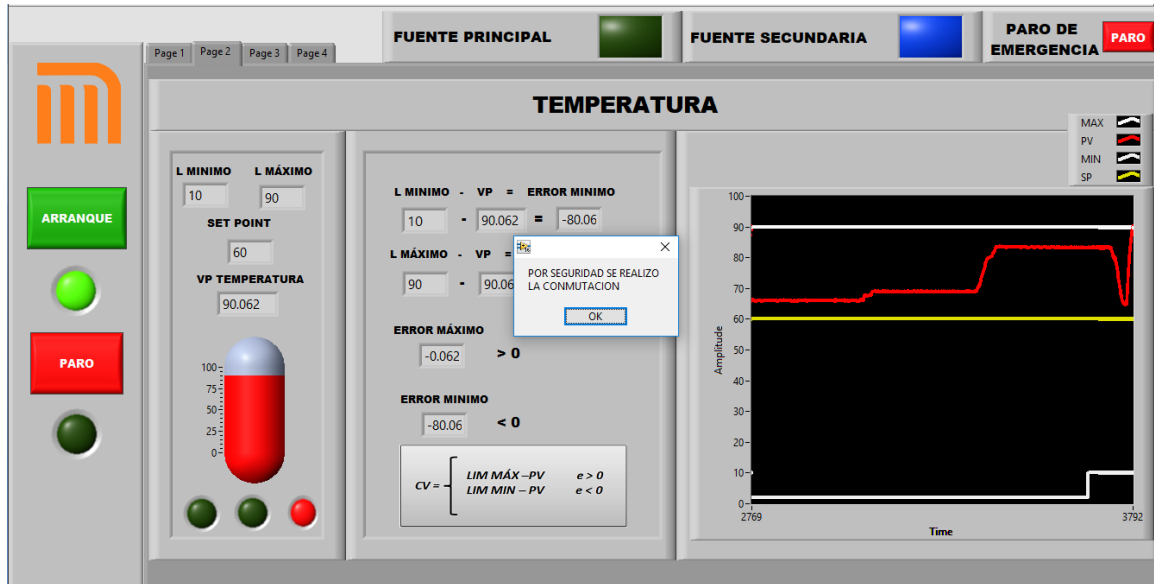


Fig. 4.1-18 Gráfica 2 del comportamiento de la variable de corriente eléctrica de la HMI.

En el tablero (fig. 4.1-19) se aprecia que está encendida la luz indicadora de la FA secundaria y la alarma roja.

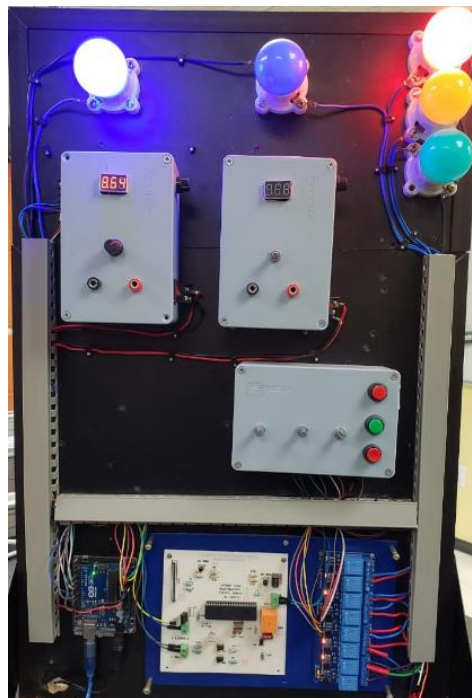
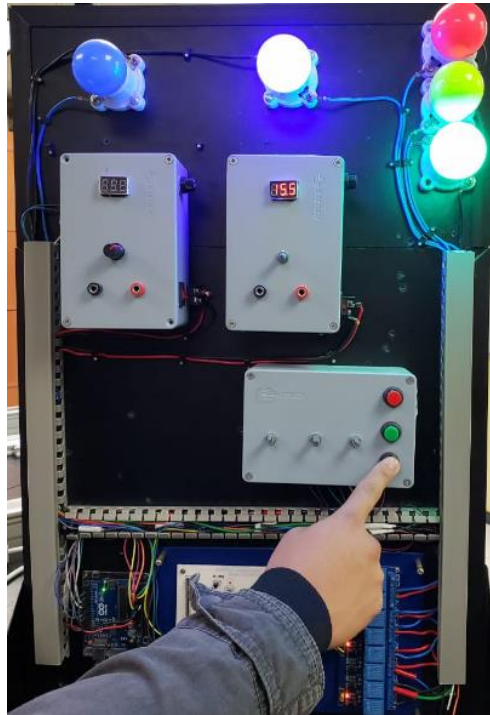


Fig. 4.1-19 Prueba 6 del sistema de conmutación automática y la HMI.

Para la parte de conmutación manual se puede observar en la fig. 4.1-20 y 4.1-21 que al presionar el botón de “conmutación manual” automáticamente se realiza.



**Fig. 4.1-20** Conmutación manual desde el tablero.



**Fig. 4.1-21** Fuente secundaria encendida.



## 4.2 Costos del proyecto.

Al implementar el proyecto antes explicado se garantiza que el pilotaje automático no se des energice por alguna falla de las fuentes de alimentación, asegurando el perfecto funcionamiento de este mismo, evitando alguna situación de riesgo o accidente como los que han sucedido en la ciudad de México, como lo es el caso de la estación Viaducto en 1975 el cual de acuerdo a registros del Universal dejó un total 31 muertos y más de 100 heridos, así mismo el caso de la estación Oceanía en 2015 el cual dejó un trabajador del sistema colectivo metro muerto y 12 pasajeros heridos, recalcando que ambos accidentes ferroviarios se derivaron de la falta o falla del sistema de pilotaje automático, así mismo se garantiza que el tiempo muerto generado por el sistema colectivo metro se reduzca, dando como resultado más tiempo productivo obteniendo mayor demanda por parte de los usuarios por lo cual la entrada monetaria tendrá un comportamiento creciente.

De acuerdo a lo anterior se desglosa los costos del tablero para el sistema de conmutación automático.

**Tabla 4.2-1** Costos de los materiales del tablero.

No.	Elemento	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (MXN)	Subtotal (MXN)
1	Fuente de alimentación 15V 1 A	pza.	2	\$ 500.00	\$ 1,000.00
2	Conmutador	pza.	1	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00
3	Microcontrolador "Arduino Uno"	pza.	1	\$ 950.00	\$ 950.00
4	Foco LED "PHILIPS"	pza.	5	\$ 65.00	\$ 325.00
5	Módulo de simulación de variables	pza.	1	\$ 810.00	\$ 810.00
6	Módulo de 8 relevadores con optoacoplador.	pza.	1	\$ 250.00	\$ 250.00
7	Socket para foco	pza.	5	\$ 45.00	\$ 225.00
8	Clema 2 terminales para CI	pza.	2	\$ 6.00	\$ 12.00
9	Culcas negras borneras 4T	pza.	4	\$ 25.00	\$ 100.00
10	Culcas negras borneras 3T	pza.	4	\$ 20.00	\$ 80.00
11	Cable DWG 16	m.	3	\$ 20.00	\$ 60.00
12	Cable DWG 20	m.	8	\$ 15.00	\$ 120.00
13	Cable DWG 18	m.	1	\$ 17.00	\$ 17.00
14	Jumpers Macho-Macho	pza.	50	\$ 1.20	\$ 60.00
15	Jumpers Hembra-Macho	pza.	20	\$ 1.20	\$ 24.00
16	Tabla 540 mm x 950 mm	pza.	1	\$ 250.00	\$ 250.00
17	Base metálica para tablero	pza.	1	\$ 400.00	\$ 400.00
18	Base de Acrílico para microcontrolador "Arduino Uno"	pza.	1	\$ 120.00	\$ 120.00
19	Base de Acrílico para conmutador	pza.	1	\$ 300.00	\$ 300.00

20	Clavija	pza.	1	\$ 20.00	\$ 20.00
21	Fuente de alimentación 12v 800 Ma	pza.	1	\$ 150.00	\$ 150.00
22	Fuente de alimentación 12v 1A	pza.	1	\$ 180.00	\$ 180.00
23	Canaleta de plástico 5"	m.	2	\$ 80.00	\$ 160.00
24	Cinchos 100mm x 2.5mm	pza.	20	\$ 4.00	\$ 80.00
25	Tornillo 1/4"	pza.	20	\$ 4.00	\$ 80.00
26	Rondana 1/4"	pza.	20	\$ 2.00	\$ 40.00
27	Tornillo largo 1/8"	pza.	10	\$ 5.00	\$ 50.00
28	Tuerca	pza.	20	\$ 1.00	\$ 20.00
29	Pegamento Universal	pza.	1	\$ 40.00	\$ 40.00
				<b>Total</b>	<b>\$ 7,423.00</b>

A continuación, se muestran los costos para la HMI sin contar la PC o pantalla.

**Tabla 4.2-2** Costos de la HMI contemplando la licencia de LabVIEW.

Programa de la HMI	\$ 80,000.00
Licencia de LabVIEW Profesional	\$ 106,380.00
<b>Total</b>	<b>\$ 186,380.00</b>

Considerando el costo de ingeniería de 12 salarios mínimos al día para cada ingeniero y 6 para el técnico en instalaciones eléctricas y tableros, salario de \$88.36 según el establecidos por la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos mediante resolución publicada en el Diario Oficial de la Federación del 21 de diciembre de 2017. Vigentes a partir del 1 de enero de 2018. (Mínimos, 2018)

**Tabla 4.2-3** Costos de Ingeniería.

Empleado	No. Empleados	Sueldo quincenal por empleado	Quincenas Laboradas	Subtotal
Ing. Control y Automatización	3	\$ 15,904.80	2	\$ 95,428.80
Técnico en Instalaciones eléctricas	1	\$ 5,685.70	4	\$ 22,742.80
Técnico en tableros eléctricos	1	\$ 7,952.40	4	\$ 31,809.60
<b>Total</b>				<b>\$ 149,981.20</b>

El costo total del proyecto con respecto a lo anterior es el siguiente:

**Tabla 4.2-4** Costo total del proyecto.

Costo de ingeniería y mano de obra	\$ 149,981.20
Costo del material del tablero de control	\$ 7,423.00
Costo de la HMI	\$ 186,380.00
subtotal	\$ 323,784.20
20% margen de error	\$ 64,756.84
<b>Costo total de proyecto</b>	<b>\$ 408,541.04</b>

Si se hace un análisis del costo total de la inversión requerida para el proyecto y se compara con los posibles gastos que se pueden presentar, derivados de fallas o falta del sistema de pilotaje automático, como lo puede ser Indemnización por accidente de trabajo, que de acuerdo con la Secretaria de Trabajo y Prevención Social puede superar la cantidad de \$ 2.500.000,00 MXN por trabajador. Con respecto al tiempo muerto generado si multiplicamos el número de usuarios 148,082 (miles) que viven día a día las deficiencias actuales del pilotaje automático y se multiplica por el costo del boleto \$5.00 MNX da un total de \$740,410.00 MXN, cantidad que podría aumentar si el tiempo muerto reduce generando mayor número de viajes, mayor número de usuarios y por ende mayores utilidades.

Con base en un reportaje realizado por la comunidad de ingeniería de México (Colectivo, 2015) actualmente con 390 trenes, de los cuales 282 trenes se utilizan en “horas pico” (6:00-8:00, 13:00-15:00 y 18:00-20:00) mientras de los 108 trenes restantes, algunos se encuentran en mantenimiento sistemático, mantenimiento mayor, rehabilitación, proyectos especiales o como reserva.

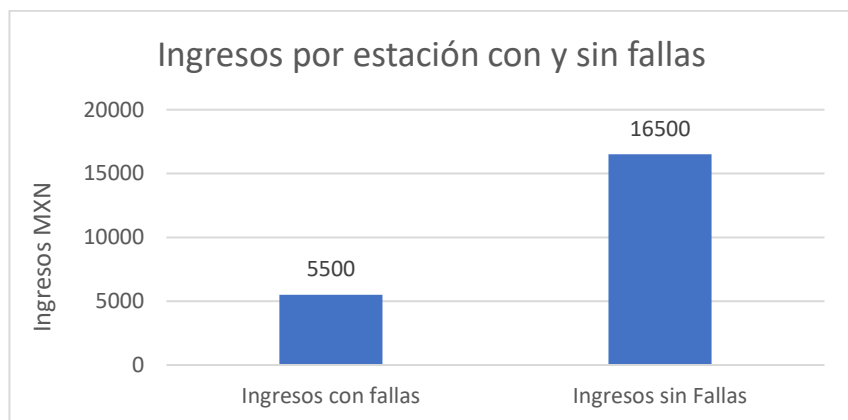
En promedio se destinan 32 unidades por línea, de acuerdo con cifras del Metro, los 390 trenes y los 15 mil trabajadores del sistema dieron servicio a 5.6 millones de usuarios en el año 2018, lo que representa a casi el 60% de la población del DF. Según cifras oficiales, en los trenes de 6 vagones caben 240 personas sentadas, y 780 paradas, haciendo un total de 1020 personas, mientras en los de 9 vagones caben 360 personas sentadas más 1,170 paradas que suman 1,530 pasajeros a bordo.

Con respecto a las condiciones y especificaciones de la línea 3, se considera un tiempo de 1 hora 20 minutos en realizar un recorrido completo sin interrupciones por alguna falla, considerando que línea 3 utiliza trenes de 6 vagones, lo cual corresponde a un total entre 1020 a 1100 personas por tren.

El tiempo muerto acumulado tiende a ser entre 40 minutos a 2 horas por recorrido de línea en “horas pico”. (INEGI, 2018)

Para el caso cuando se tiene un total de 1,100 pasajeros si se multiplica el costo de boleto por usuario (\$ 5.00 MXN) se tiene un total de \$5,500.00 detenidos hasta por 2 horas.

Por lo cual en un tiempo muerto de 2 horas se podrían realizar dos viajes completos más, generando un crecimiento notorio en el ingreso económico, en la fig. 4.2-1 y en la tabla 4.2-5 se compara el rendimiento que se presentaría al tener implementado el sistema de conmutación automática por estación muestra que se obtendría más del 60% de lo que actualmente se genera.

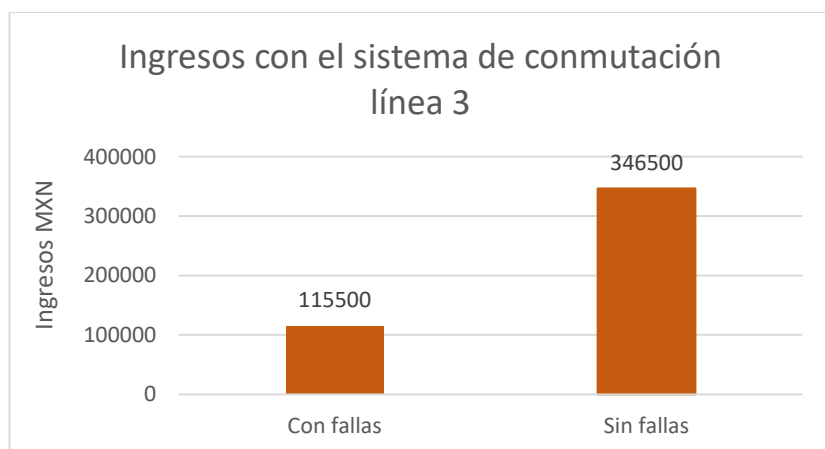


**Tabla 4.2-5** Ingresos económicos por estación.

No.Estación	Ingresos	Estatus
1	\$ 5,500.00	Con fallas
1	\$ 16,500.00	Sin fallas

**Fig. 4.2-1** Ingresos económicos por estación con o sin fallas.

Implementando el sistema de conmutación automática en la línea 3 se obtendrían los siguientes ingresos económicos y se reduciría el tiempo muerto, como se muestra en la fig. y tabla



**Tabla 4.2-6** Ingresos económicos en la línea 3.

No.Estación	Ingresos	Estatus
21	\$ 115,500.00	Con fallas
21	\$ 346,500.00	Sin fallas

**Fig. 4.2-2** Ingresos económicos por toda la línea 3.

La implementación del sistema de conmutación automática además de garantizar la seguridad, eficiencia y calidad del servicio para el STC Metro, es una opción viable para invertir que garantiza mayor remuneración económica a un corto plazo.

## **RECOMENDACIONES PARA PROYECTOS A FUTUROS**

Como seguimiento al proyecto presentado se pretende:

- Llevar a cabo la implementación del proyecto en las instalaciones del sistema colectivo metro.
- Implementar un protocolo de comunicación.
- Elaborar un plan de mantenimiento.

El proyecto expuesto, demuestra a manera de escala una solución eficaz y segura a la actual problemática que presentan las fuentes del pilotaje automático del sistema colectivo metro, destacando que el programa (código de programación), que opera como cerebro principal en dicha propuesta, y dado a que se generó en un software compatible con diversas plataformas y controladores, presenta la facilidad de ser adaptado con la finalidad de cubrir las especificaciones requeridas y necesidades del sistema colectivo metro, llevando a cabo una implementación de forma segura.

Así mismo se plantea complementar el proyecto implementando un protocolo de comunicación y desarrollar un plan de mantenimiento. De acuerdo a las especificación de las instalaciones del sistema colectivo metro se propone la implementación del protocolo de comunicación Ethernet como medio para el envío de datos e información. De igual forma se establecerá un registro de las variables censadas (temperatura, tensión y corriente eléctrica) en las cuales funcionaran como guía para generar un programa de mantenimiento preventivo. Con la finalidad de hacer más eficiente y eficaz el rendimiento del sistema colectivo metro.

---

## CONCLUSIÓN

El STC Metro requiere implementar procedimientos enfocados a la seguridad, calidad y mantenimiento que permitan garantizar un servicio eficiente y competitivo, en el cual el sistema de transferencia automática de carga resulta determinante para la operación y productividad del sistema.

Con base a las necesidades y problemática del STC Metro se logró diseñar el control e Interfaz Humano Máquina de las variables de temperatura, corriente y tensión eléctrica para un sistema de conmutación automático entre las dos fuentes de alimentación de 220 VCA.

Se realizó un prototipo de simulación con fuentes de 15 VCD, en el cual se llevó a cabo el acondicionamiento y adquisición de señales por medio de los sensores LM35 para temperatura, el FZ0430 para tensión eléctrica y el ACS712 para corriente, donde posteriormente las señales se integraron al microcontrolador.

Usando el software LabVIEW se diseñó e implementó la HMI del prototipo basada en la estrategia de control On /Off con histéresis, con base en las consideraciones anteriores se determinaron los set point correspondientes de cada variable para delimitar la banda de histéresis de cada variable de proceso. De acuerdo con los planteamientos ya mencionados se determinó un set point mínimo y máximo de 20°C y 25°C para la variable temperatura, con respecto a tensión eléctrica se determinó un set point mínimo de 10 VCD y un máximo de 15 VCD, finalizando con la variable corriente eléctrica se establecieron los valores de 800 mA y 1000 mA correspondientes a los valores mínimo y máximo respectivamente. En consecuencia, a lo antes explicado cabe mencionar que la acción de control (conmutación automática) se realiza cuando las variables del proceso se encuentran fuera de la banda de histéresis, recalcando que la implementación se llevó a cabo bajo la correcta normalización y señalización de forma remota y local.

Al realizar las pruebas, se hizo variar las variables de proceso las cuales se lograron observar de manera gráfica por medio de la HMI, comprobando el funcionamiento de alarmas, sensores y acciones del prototipo.

Este sistema de conmutación automática tiene la facilidad de ser adaptado a las instalaciones del STC Metro, extrapolando los resultados obtenidos a las condiciones del metro con set point mínimo y máximo de 15°C y 28°C para la variable temperatura, con respecto a tensión eléctrica mínimo 11 VCD y un máximo de 13 VCD, finalizando con la variable corriente eléctrica se establecieron los valores de 18A y 21A solucionando la actual problemática de las fuentes de alimentación de 220 VCA del P.A. dando una eficaz y segura solución que ayuda a prevenir gastos y acciones de mantenimiento correctivo ante una falla en el sistema de alimentación, reduciendo los tiempos en el que el sistema de Pilotaje Automático se encuentre sin alimentación evitando retrasos y pérdidas dentro del STC Metro.

---

## REFERENCIAS

- A, S. C. (1991). *CONTROL AUTOMATICO DE PROCESOS*. Mexico: Limusa.
- A.Castejon. (2002). *Tecnologia Electronica Básica*. España: Mc Graw Hill.
- Badia, A. I. (1992). *Autómatas Programables*. Marcombo.
- Bishop, C. y. (2005). *Sistemas de control moderno*. Madrid: Pearson.
- Brenner-M, E. (1997). *Análisis de circuitos en Ingeniería*. Madrid: Mc. Graw Hill.
- Castejon, A. (2002). *Electronica General* . Barcelona: Santillana.
- Castro, P. O. (2006). *Instrumentación y control basico de procesos*. España: Pearson.
- Colectivo, S. d. (1 de Agosto de 2015). *Fideicomiso Maestro del Metro*. Obtenido de 11 compromisos asumidos por el STC: [www.metro.df.gob.mx](http://www.metro.df.gob.mx)
- Gussow, M. (2006). *Fundamentos de Electricidad*. España: Mc Graw Hill.
- Hambley, A. R. ( 2002 ). *Electrical Engineering. Principles and Applications*. New Jersey: Prentice Hall.
- Ibañez, U. (2003). *Diseño básico de automatismos electricos*. España: Paraninfo.
- INEGI. (30 de septiembre de 2018). *Transporte de Pasajeros*. Obtenido de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/transporteurb/>
- J. R. Lajara, J. P. (2007). *LabVIEW Entorno gráfico de programación*. Barcelona: Marcombo.
- Jose, R. V. (2004). *Protección y seguridad en las instalaciones electricas*. Barcelona: Thompson paraninfo.
- Lázaro, A. M. (2005). *LabVIEW 7.1. Programación Gráfica para el control de Instrumentación*. Madrid: Ed. Thomson.
- Metro, S. d. (1 de Agosto de 2015). *Manual Pilotaje Automático*. Obtenido de [www.Metro.df.gob](http://www.Metro.df.gob)
- Mínimos, C. N. (1 de Enero de 2018). *Salarios Mínimos 2018*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/285013/TablaSalariosMinimos-01ene2018.pdf>
- Ryder. (1999). *Electronica Fundamentos y aplicaciones*. España: Aguilar.

---

Viloria, J. R. (2008). *Automatismos Industriales*. España: Paraninfo.

Zaragoza, E. (2001). *Tecnología Electricidad (Instalaciones y líneas)*. Madrid: Edebe.