# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA UN PROTOTIPO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DEL LABORATORIO DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERAS EN ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**MOROCHO BARRAGÁN MARIUXI FERNANDA**

**(mariuxi_fernanda@yahoo.es)**

**SAMPEDRO CHIQUITO GABRIELA FERNANDA**

**(gabriela_sampedro@yahoo.com)**

**DIRECTOR: Ing. Msc. Luis Tapia**

**(luis.tapia@epn.edu.ec)**

**Quito, Enero 2012**

# DECLARACIÓN

Nosotros, Morocho Barragán Mariuxi Fernanda, Sampedro Chiquito Gabriela Fernanda, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____ _____

Morocho Barragán Mariuxi Fernanda Sampedro Chiquito Gabriela Fernanda

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Morocho Barragán Mariuxi Fernanda y Sampedro Chiquito Gabriela Fernanda, bajo mi supervisión.

_____

**(Ing. Msc. Luis Tapia)**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

# AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es fruto de muchas conspiraciones del universo a lo largo de mi vida, desde mi ingreso a la Escuela Politécnica Nacional hasta el día de hoy que escribo mis sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que han conspirado junto al universo y junto a mí para lograr éste, uno de mis sueños.

Gracias a Dios, al universo y a mis padres Jorge (+) y Amelia que han sido los grandes maestros de mi vida, por todas aquellas veces que sin palabras me enseñaron tanto.

A mis hermanas, Yesenia y Luciana mis ejemplos de superación y mis consejeras personales.

A mi hermano Jorgito por tus enseñanzas de valentía, por todas las veces que me haces sonreír y mirar la vida desde otra perspectiva.

A Joelito, Camilita y Lucianito por inundar con sus juegos y travesuras mi vida.

A mis dos grandes amigos que me regaló la poli, Rafael y Geovanny.

A las cuatro letras de tu nombre, que le han regalado a mi corazón muchas alegrías y también muchas lágrimas, porque tal vez es ése, el significado de Amor…

A Eros, Filius y Ágape porque los tres han habitado en mí…

**Gabriela**

# DEDICATORIA

A mi hermano Jorge Sampedro vivo retrato y recuerdo de mi padrecito del mismo nombre que está junto a Dios, porque sé que él me cuida desde el cielo y tú aquí desde tus ojos, a la valentía de los dos para luchar contra las adversidades y a mi madrecita la mujer más inteligente y dedicada de este mundo. Porque a fin de cuentas son quienes han pagado el precio más alto para el cumplimiento de éste, mi sueño.

**Gabriela**

# AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Rosa y Galo, y a mi hermano, Olger, que con su esfuerzo diario me han sabido guiar por el camino correcto para enseñarme a luchar por mis metas, a mis tíos Carmen y Carlos, ya que con su apoyo incondicional me han ayudado a hacer realidad este sueño tan anhelado, a Renato que ha estado junto a mi colaborándome en todo momento, y a todos mis amigos, en especial a Rodrigo, que más que un amigo ha sido como un hermano.

Al Ing. Luis Tapia y por medio de él a la Escuela Politécnica Nacional, que fue la que me brindo toda la sabiduría necesaria para el desarrollo óptimo de este proyecto.

**Mariuxi**

# DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico primordialmente a mis padres, Rosa y Galo, los cuales siempre han estado junto a mí para brindarme su apoyo incondicional, a mi hermano Olger a mis tíos, Carlos y Carmen, a alguien muy especial en mi vida, Renato, y todas aquellas personas que creyeron en mí.

**Mariuxi**

# CONTENIDO

**RESUMEN ..... XIV**

**PRESENTACIÓN ..... XV**

**CAPÍTULO 1 ..... 1**

**MARCO TEÓRICO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ..... 1**

**1.1. INTRODUCCIÓN ---------- 1**

**1.2. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ---------- 1**

**1.3. PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ---------- 2**

1.3.1. TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN ..... 2
1.3.2. EQUIPOS DE CORTE Y SECCIONAMIENTO ..... 3
1.3.2.1. Seccionadores ..... 3
1.3.2.2. Interruptores Automáticos (Disyuntores) ..... 4
1.3.3. TRANSFORMADORES PARA INSTRUMENTACIÓN ..... 5
1.3.3.1. Transformadores de Corriente (T/C) ..... 5
1.3.3.2. Transformadores de potencial (T/P) ..... 6
1.3.4. DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS INTELIGENTES (IEDs) ..... 6
1.3.4.1. Definición ..... 6
1.3.4.2. Funciones de los IEDs ..... 7
1.3.4.2.1. Protección ---------- 7
1.3.4.2.2. Control ---------- 7
1.3.4.2.3. Monitoreo ---------- 8
1.3.4.2.4. Medición ---------- 8

1.3.4.2.5.Comunicación---------- 9

**1.4. CONFIGURACIONES TIPO EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS---------- 9**

1.4.1. BARRA SIMPLE ..... 9

**1.5. LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SIMULADOR DEL LABORATORIO DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE LA FIEE 11**

1.5.1. DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA ..... 12
1.5.2. COMPONENTES DEL MODULO SIMULADOR ..... 13
1.5.2.1. Relés de Protección ..... 13
1.5.2.1.1.SPAD 346C ---------- 13
1.5.2.1.2.SPAC 315C ---------- 18
1.5.2.1.3.SPAJ 144C ---------- 21
1.5.2.1.4.SPAS 348C---------- 25
1.5.2.1.5.SPAF340C ---------- 29
1.5.2.1.6.REF543 ---------- 33
1.5.3. Potenciómetros ..... 36
1.5.4. Interruptores (Switchs) ..... 37
1.5.5. Pulsantes ..... 39
1.5.6. Alarmas ..... 39

**1.6. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN---------- 41**

**1.7. PLANOS ELÉCTRICOS---------- 41**

**CAPÍTULO 2..... 42**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA..... 42**

**2.1. INTRODUCCIÓN ---------- 42**

**2.2. DISEÑO DE LA UNIDAD REMOTA ---------- 43**

2.2.1. RECOPILACIÓN DE DATOS PARA MONITOREO ..... 43

2.2.1.1. Acondicionamiento de potenciómetros ..... 44

2.2.1.1.1. Potenciómetros SPAD 346C, SPAC 315C, SPAJ 144C y SPAS 348C ---------- 44

2.2.1.1.2. Potenciómetros del REF 543 ---------- 49

2.2.1.1.3. Potenciómetro U DEL SPAF 340C ---------- 51

2.2.1.1.4. Filtro pasa-bajo ---------- 52

2.2.1.1.5. Compensación del Voltaje offset de error ---------- 54

2.2.1.2. Acondicionamiento de disyuntores, alarmas, pulsantes y entradas externas ..... 55

2.2.1.2.1. Pulsantes del REF 543 ---------- 55

2.2.1.2.2. Pulsantes del SPAC 315C, SPAJ 144C y SPAS 348C ------- 57

2.2.1.2.3. Alarmas ---------- 58

2.2.1.2.4. Disyuntores ---------- 58

2.2.1.2.5. Seccionadores, Fallas a tierra y entradas externas del SPAD 346C, SPAS 348C y REF 543 ---------- 59

2.2.1.2.6. Entradas externas “FALLA DEL CIRCUITO DE MEDICIÓN” del SPAC 315C y SPAJ 144C ---------- 64

2.2.2. CONTROL DE LOS DISYUNTORES ..... 68

2.2.2.1. Diseño del circuito de Control ..... 68

2.2.3. ANÁLISIS DE PERIFÉRICOS ..... 71

2.2.4. DISEÑO DE LA UNIDAD REMOTA ..... 72

2.2.4.1. Microcontrolador ATMEGA164p [4] ..... 73

2.2.4.2. Buffer 74LS244 [5] ..... 76

2.2.4.3. Demultiplexor 74LS138 [6] ..... 78

2.2.4.5. Comunicación serial entre Microcontrolador y PC..... 81
2.2.5. CONSUMO DE CORRIENTE DEL SISTEMA IMPLEMENTADO 82

**CAPÍTULO 3..... 85**

**DESARROLLO DEL SOFTWARE..... 85**

**3.1. DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL DEL ATMEGA164P---------- 85**

3.1.1. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN BASCOM AVR ..... 85
3.1.1.1. Conversores análogo/digital..... 86
3.1.1.2. Comunicación serial con la PC y con el microcontrolador..... 87
3.1.1.2.1. Interrupción por el pórtico serial…….. 89
3.1.2. ARQUITECTURA DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL DE LOS MICROCONTROLADORES ..... 90

**3.2. DESARROLLO DEL HMI EN EL ENTORNO VISUAL BASIC 6.0 95**

3.2.1. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN VISUAL BASIC 6.0 [8] .... 96
3.2.1.1. Descripción de los componentes empleados..... 98
3.2.1.1.1. Formularios, controles y propiedades---------- 98
3.2.1.1.2. Eventos ---------- 102
3.2.2. ARQUITECTURA DEL HMI (INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA) ..... 103
3.2.2.1. Pantalla “PRESENTACIÓN” ..... 103
3.2.2.2. Pantalla “PANEL_DE_ MONITOREO” ..... 106
3.2.2.3. Pantalla “PANEL_DE_ CONTROL” ..... 109
3.2.2.4. Pantalla “SELECCIÓN DE HISTORIALES” ..... 111

3.2.2.5. Pantallas de Historiales de líneas de distribución ..... 112

**CAPÍTULO 4 ..... 118**

**PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS ..... 118**

**4.1. ECUACIONES DE LOS POTENCIÓMETROS SIMULADORES DE VARIACIÓN DE CORRIENTE Y SOBRECORRIENTE DE LÍNEA, NEUTRO Y VOLTAJE DE DISTRIBUCIÓN ---------- 118**

4.1.1. OBTENCIÓN DE LAS ECUACIONES DE CORRIENTE PARA LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN ..... 119

4.1.1.1. Relé de protección de sobrecorriente SPAD 346C ..... 119

4.1.1.2. Relé de protección de sobre-frecuencia SPAF 340C ..... 123

4.1.1.3. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAC 315……..126

4.1.1.4. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAJ 144C…. ..... 129

4.1.1.5. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAS 348C……. ..... 132

4.1.1.6. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra REF 543 .. 136

4.1.2. OBTENCIÓN DE ECUACIONES DE SOBRECORRIENTE PARA LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN ..... 142

4.1.2.1. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAC 315C…. ..... 145

4.1.2.2. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAJ 144C…. ..... 146

4.1.2.3. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAS 348C…. ..... 147

4.1.2.4. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra REF 543 .. 148

**4.2. PRUEBAS DE MONITOREO ---------- 148**

4.2.1. ENTRADAS DIGITALES ..... 148

4.2.2. ENTRADAS ANÁLOGAS ..... 150

4.2.2.1. Cálculo de errores ..... 151

**4.3. PRUEBAS DE VISUALIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS REGISTROS DE DATOS DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN---- 153**

**4.4. PRUEBAS DE CONTROL---------- 158**

**CAPÍTULO 5 ..... 161**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 161**

**5.1. CONCLUSIONES ---------- 161**

**5.2. RECOMENDACIONES ---------- 163**

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 166**

**ANEXOS ..... 167**

**ANEXO A ..... 167**

**ANEXO B ..... 168**

**ANEXO C ..... 173**

**ANEXO D ..... 177**

**ANEXO E ..... 180**

**ANEXO F ..... 182**

**ANEXO G ..... 184**

**ANEXO H ..... 187**

**ANEXO I ..... 190**

**ANEXO J ..... 194**

**ANEXO K ..... 205**

# RESUMEN

En el desarrollo de este proyecto se diseña e implementa un sistema que permite monitorear el estado de los seccionadores y disyuntores que conforman el módulo simulador de subestación eléctrica S/E, además, el valor de las variables propias que intervienen en la S/E como: voltaje, corriente, potencia activa y corriente de neutro de cada una de las posiciones. Este sistema, además, detecta las fallas que se den a lo largo del funcionamiento del módulo simulador, cuenta también con registros para cada una de las bahías donde se recopilan los valores de los datos mencionados anteriormente con el propósito de manipular estos valores para un posterior análisis.

Adicional a esto, el sistema implementado permite el control remoto para la apertura y cierre de los disyuntores presentes en cada bahía, siendo de esta forma un sistema didáctico, que habilita la operación de las posiciones del módulo simulador.

Además, se diseñó e implementó un módulo denominado Unidad Remota, el cual se encarga de la recopilación de los datos mencionados anteriormente, y del envío de las señales necesarias para permitir el control remoto de los disyuntores de las líneas.

Una vez implementado el sistema, se puede estudiar con mayor detalle cada una de las variables ya que al contar con una base de datos dedicada a cada una de los componentes, se obtienen gráficas del comportamiento de estos parámetros del sistema, lo cual brinda mayor utilidad para la aplicación requerida en el laboratorio.

Es indispensable señalar que los valores de los parámetros del sistema que se visualizan en la HMI, corresponden idénticamente a los mostrados por cada uno de los relés digitales que conforman el módulo simulador.

# PRESENTACIÓN

El presente proyecto consiste en el desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo y control para un prototipo de subestación eléctrica existente en el Laboratorio de Protecciones Eléctricas. Este trabajo abarca cinco capítulos para su desarrollo e implementación.

En el primer capítulo se presenta una breve introducción acerca de las subestaciones eléctricas, sus componentes y las configuraciones tipo más empleadas. Además se detallan todos los componentes del prototipo y sus conexiones eléctricas entre sí, que se encuentran en los planos del levantamiento eléctrico.

En el segundo capítulo se presenta el hardware del sistema, que incluye los circuitos de acondicionamiento de las señales analógicas y digitales provenientes del prototipo, el dimensionamiento de elementos para las placas de adquisición de datos que interactúan con los microcontroladores, además del circuito de control diseñado para el cierre y apertura de los disyuntores.

En el tercer capítulo se presenta el desarrollo de los programas para los microcontroladores y para el HMI del sistema, desde los diagramas de flujo para la programación de cada una de las pantallas en Microsoft Visual Basic 6.0, los principales comandos empleados para la comunicación serial, y finalmente la interfaz implementada para el monitoreo y control del prototipo.

En el cuarto capítulo se presentan las pruebas y resultados obtenidos en la implementación del sistema, la obtención de errores y el comportamiento del sistema de monitoreo y control.

El quinto capítulo contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas de las pruebas y resultados.

Finalmente se incluye en los anexos información importante para el desarrollo del presente proyecto.

# CAPÍTULO 1

# MARCO TEÓRICO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

## 1.1. INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Protecciones Eléctricas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (FIEE) cuenta con un módulo simulador de subestación eléctrica el cual muestra la operación de una subestación eléctrica real, con los elementos de protección, de corte y seccionamiento fundamentales para el funcionamiento de la misma, además es una herramienta útil para el desarrollo de las prácticas de laboratorio, para la familiarización de los estudiantes con la operaciónde una subestación eléctrica, y con las funciones de protección eléctrica existentes en un sistema de distribución de energía eléctrica.

El objeto del presente proyecto de titulación consiste en implementar un sistema de monitoreo y control para el módulo simulador de subestación eléctrica existente, que comprende el diseño, adaptación y puesta en marcha del sistema utilizando herramientas adecuadas para, a un costo razonable, lograr los objetivos de seguridad, confiabilidad y disponibilidad presentes en los sistemas eléctricos de potencia que cuentan con Sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition, en español Supervisión, Control y Adquisición de Datos).

## 1.2. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Una subestación eléctrica se puede definir como un conjunto de máquinas, aparatos y circuitos que tienen la función de modificar los parámetros de potencia eléctrica (corriente y voltaje) y de permitir el suministro de la misma al sistema y líneas de transmisión existentes.[1]

Además en las subestaciones eléctricas se desempeñanlas funciones de: control, medición, protección y monitoreo del sistema eléctrico de potencia.

[1] Tomado del libro: Elementos de Centrales Eléctricas II, Enríquez Harper Gilberto. Pág. 553.

## 1.3. PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

### 1.3.1. TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN

Los transformadores de distribución se emplean para pasar de alta tensión a baja tensión en redes de distribución, principalmente en áreas metropolitanas y para aplicaciones industriales.[2] Los transformadores en versiones estándar son trifásicos y pueden ser instalados tanto al aire libre como en el interior. Los transformadores de distribución están herméticamente sellados (la cuba está completamente llena de aceite) o equipados con un tanque de expansión que permiten la refrigeración suficiente del transformador y compensan los cambios del volumen del aceite durante la operación. Una ventaja de los transformadores herméticamente sellados es que el aceite no está nunca en contacto con la atmósfera evitando así la necesidad de hacer análisis periódicos de aceite.

Son de aplicación general en subestaciones distribuidoras, centrales de generación y en grandes consumidores de energía eléctrica.

Figura 1.1 Transformador de potencia de una subestación eléctrica

[2] Tomado de: www.abb.com/product/db0003db004283/5dcd61b0ae29b68dc1257475002ea976.aspx

Existen diversos tipos de transformadores, según su capacidad, el uso o aplicación. El nivel de voltaje empleado se determina por la capacidad de transformación y la capacidad de las barras del Sistema Eléctrico.

Los niveles de alto voltaje para las subestaciones eléctricas de acuerdo con el actual Sistema Nacional Interconectado son: 46 KV, 69KV, 138 KV y 230 KV, mientras que para la distribución se tienen niveles de: 6.3 KV, 13,8KV y 22.8KV.

### 1.3.2. EQUIPOS DE CORTE Y SECCIONAMIENTO

#### 1.3.2.1. Seccionadores

Son dispositivos mecánicos capaces de cerrar, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales de operación, incluyendo condiciones de sobrecarga en servicio, así como también y por períodos especificados, condiciones anormales de operación, como corrientes de cortocircuito.[3]

Figura 1.2 Seccionador tipo cuchilla

Las características principales de los seccionadores son:

- Abren y cierran el paso de la corriente eléctrica en vacío (sin carga).

[3] Según la Norma IEC 60947-3 Aparamenta de Baja Tensión. Interruptores y Seccionadores.

- Tienen la capacidad de soportar la corriente nominal de forma permanente y corrientes de cortocircuito durante un tiempo determinado.
- Permiten aislar la subestación de la red

**Seccionador de puesta a tierra:** un seccionador que permite poner a tierra equipos, líneas o barras para eliminar la descarga de voltaje inducido.

### 1.3.2.2. Interruptores Automáticos (Disyuntores)

El interruptor automático es un dispositivo de conmutación mecánico capaz de proteger el cableado de un circuito eléctrico, de cerrar, transportar y cortar corrientes en condiciones de circuito normales, así como de cerrar y transportar corrientes por un tiempo especificado, además de cortar corrientes bajo condiciones de circuito anormales especificadas, como las de un cortocircuito.[4]

En la Figura 1.3 se muestra un disyuntor automático de potencia.

Figura 1.3 Disyuntor de potencia marca “Allen Bradley”

[4] Según la Norma IEC 60947-3 Aparamenta de Baja Tensión. Interruptores y Seccionadores.

Los interruptores automáticos tienen, sobre todo, la capacidad de interrumpircorrientes de cortocircuito. En alto y medio voltaje la operación de un interruptor obedece a la señal de un relé encargado de vigilar la correcta operación del sistema eléctrico donde está conectado. La apertura de los contactos del interruptor es comandada por un circuito de control, que una vez recibida la señal del relé, energiza el mecanismo encargado de abrir los contactos.

La principal característica de los disyuntores es la de operar bajo carga por lo que tienen la capacidad de soportar corrientes normales y de cortocircuito.

### 1.3.3. TRANSFORMADORES PARA INSTRUMENTACIÓN

#### 1.3.3.1. Transformadores de Corriente (T/C)

Son transformadores parala función medición, destinados a entregar una corriente secundaria proporcional a la que circula por su enrollado primario. Es decir, el devanado primario de este transformador de media está en serie con el circuito al cual se realiza la medición de corriente. En cualquier caso, su impedancia es despreciable comparada con la del circuito de potencia, aún si se considera el efecto de la impedancia del circuito secundario transferido.

El circuito equivalente del transformador de corriente en un circuito de potencia se presenta en la Figura 1.4.

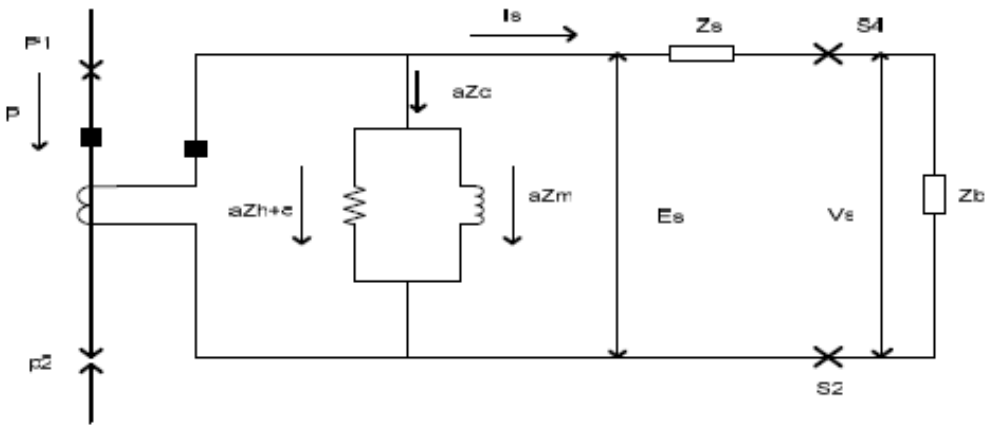



Figura 1.4. Circuito equivalente del TC

#### 1.3.3.2. Transformadores de potencial (T/P)

Son transformadores para la función medición utilizados para reducir los voltajes primarios del Sistema Eléctrico de Potencia (normalmente del orden de los kV) a voltajes secundarios de rangos normalizados (115V - 120V), en forma directamente proporcional. El transformador de potencial se define, en términos de la máxima carga (o burden) que es capaz de entregar sin exceder los límites de error de razón y de ángulo especificados; esto significa que la carga que es capaz de servir, sin exceder los valores permitidos de aumento de temperatura, puede llegar a ser hasta diez veces superior a su burden nominal.

Figura 1.5 Transformador de potencial

### 1.3.4. DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS INTELIGENTES (IEDs)[5]

#### 1.3.4.1. Definición

Un IED es un dispositivo electrónico versátil que presenta las siguientes funciones principales: protección, control, monitoreo, medición y comunicación directa a un sistema SCADA. Cabe resaltar que un IED es un dispositivo capaz de realizar las

[5] Tomado del libro: Practical Distribution & Substation Automation for Electrical Power Systems. IDC Technologies. Págs. 55, 56, 57.

funciones específicas sin requerir otros dispositivos para comunicación, como por ejemplo las RTUs (Remote Terminal Unite).

#### 1.3.4.2. Funciones de los IEDs

##### *1.3.4.2.1. Protección*

Los IED involucran las funciones de protección básicas de sobrecorriente y falla a tierra propias de los relés de protección de alimentadores y en general de los componentes de la S/E, éstas funciones de protección pueden ser programadas independientemente de acuerdo a los requerimientos de la aplicación.
Entre las principales funciones de protección de un IED se tienen:

- Protección contra sobrecorriente trifásica no direccional con ajuste bajo, alto y muy alto con características de tiempo ajustable (largo, normal, inverso, muy inverso o tiempo definido).
- Protección contra falla a tierra no direcccional (con ajuste bajo, alto o instantáneo).
- Protección contra sobrecorriente trifásica direccional con ajuste bajo, alto y muy alto con características de tiempo ajustable (largo, normal, inverso, muy inverso o tiempo definido).
- Protección contra falla a tierra direccional (con ajuste bajo, alto o instantáneo).
- Protección diferencial
- Protección contra discontinuidad de fase
- Protección contra sobrevoltajes trifásicos.
- Protección contra sobrevoltajes residuales.
- Protección contra bajo voltaje
- Protección contra sobrecorrientes de arranque de motores o de energización de transformadores eléctricos.

##### *1.3.4.2.2. Control*

Un IED permite la programación de las funciones de control local o remoto.

- Control local y remoto de dispositivos de corte y seccionamiento (disyuntores y seccionadores).

- Secuencia de control.
- Interbloqueo de dispositivos a nivel de bahía para registrar:
- Información del estado actual
- Información de alarmas
- HMI en el panel del dispositivo.

#### *1.3.4.2.3. Monitoreo*

El monitoreo incluye las siguientes funciones:

- Monitoreo del estado de disyuntores y seccionadores, incluyendo un contador de las operaciones de cierre y apertura de los mismos, el calendario de mantenimiento, etc.
- Supervisión de circuitos de disparo (TRIP)
- Auto supervisión
- Monitoreo de la densidad de gas (para dispositivos con cámaras de gas)
- Almacenamiento de ocurrencia de eventos (Estampa de Tiempo)
- Otras funciones de monitoreo como: temperatura de bobinados y nivel de aceite en transformadores eléctricos, etc.

#### *1.3.4.2.4. Medición*

Medida de los siguientes parámetros:

- Corriente de las tres fases
- Corriente del neutro
- Voltaje de las tres fases
- Voltaje residual
- Frecuencia
- Potencia Activa [P]
- Potencia Reactiva [Q]
- Factor de potencia [f.p]
- Armónicos
- Transitorios
- Canales análogos para medición

*1.3.4.2.5. Comunicación*

La capacidad de comunicación de un IED es uno de los aspectos más importantes en la automatización de sistemas eléctricos de potencia. Por definición los IED son capaces de comunicarse directamente a los sistemas SCADA empleando comunicación de alto nivel, y además presentan un puerto de comunicación serial o una interfaz para comunicación directa con una computadora.

## 1.4. CONFIGURACIONES TIPO ENSUBESTACIONESELÉCTRICAS

De acuerdo a la confiabilidad en la operación de las subestaciones eléctricas y al costo inicial de la inversión para el montaje se presentan las configuraciones comúnmente empleadas, iniciando desde el esquema con una confiabilidad relativamente baja y menor costo inicial con respecto a los esquemas subsiguientes:

- Barra simple
- Barra simple partida
- Doble barra con acoplamiento
- Barra principal y de transferencia
- Doble barra con doble interruptor
- Disyuntor y medio
- Varias barras
- Anillo

A continuación se describe la operación de la configuración tipo barra simple que es la configuración del módulo simulador.

### 1.4.1. BARRA SIMPLE

La configuración de barra simple consiste de una barra principal que siempre está energizada y a la cualse conectan todos los circuitos del sistema. Es la configuración mássimple pero de menor confiabilidad, puesto que una falla en la

barra o en los disyuntores resulta en una pérdida total de la energía en la subestación.

Las características principales de este tipo de configuración se presentan a continuación:

- Un disyuntor por bahía (posición)
- Dos seccionadores por bahía (posición)
- Al presentarse una falla en la barra principal se pierde la energía en todos los alimentadores conectados a la barra.
- Al realizar el mantenimiento en los disyuntores el sistema queda desenergizado completamente.

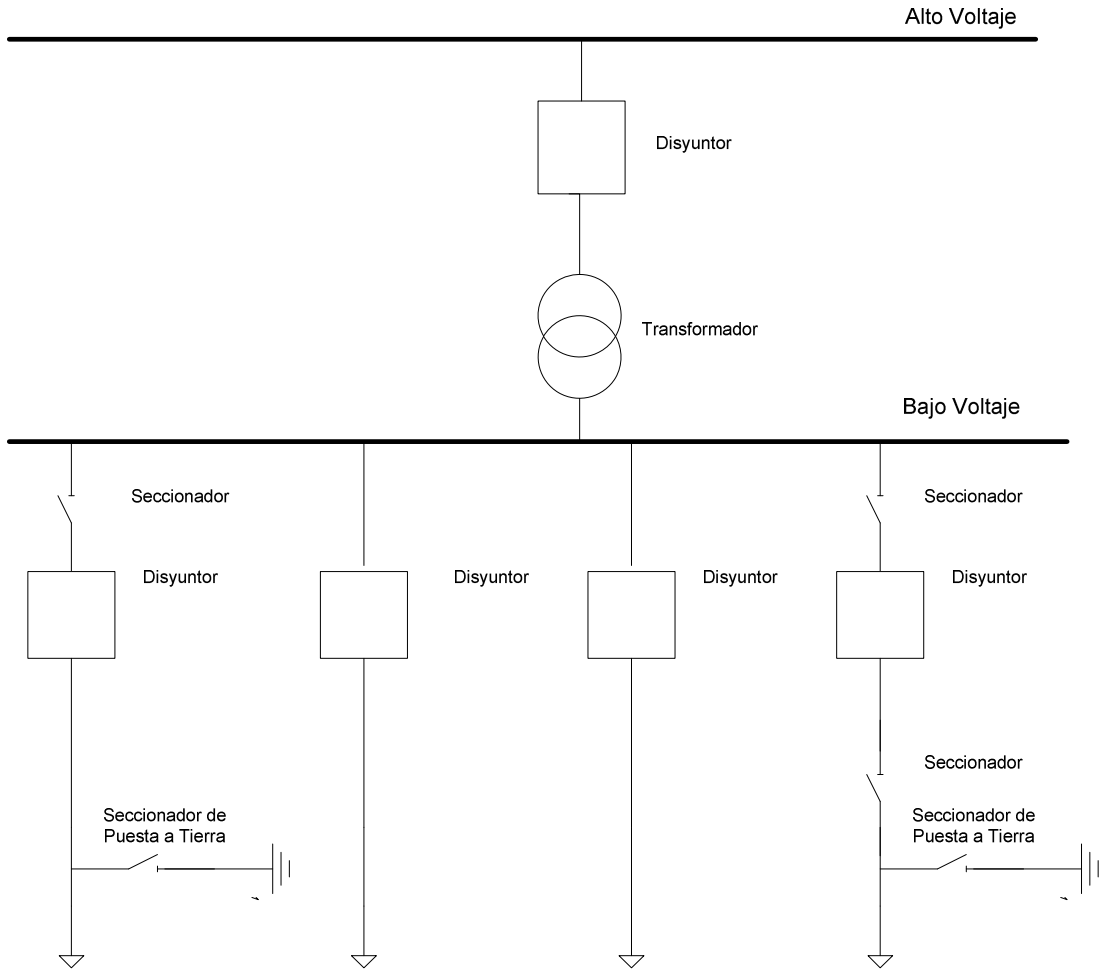



Figura 1.6 Esquema de Barra simple

El esquema de barra simple es el que se tiene en el módulo simulador, el modelamiento del módulo simulador al esquema de barra simple se presenta en el siguiente subcapítulo, en la Figura 1.8.

## 1.5. LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SIMULADOR DEL LABORATORIO DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE LA FIEE

El levantamiento eléctrico del módulo simulador comprende dos secciones amplias, en la primera sección se presentan las principales características de todos los componentes existentes en el módulo simulador, además de la operación de los mismos dentro de la lógica de funcionamiento de la subestación eléctrica. La segunda sección describe el diagrama de conexiones general del módulo simulador, las entradas empleadas en cada uno de los relés, así como el hardware adicional para el correcto funcionamiento de la subestación eléctrica.

Figura 1.7 Módulo simulador en el Laboratorio de Protecciones Eléctricas

### 1.5.1. DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA

El simulador de subestación eléctrica existente en Laboratorio de Protecciones Eléctricas se encuentra constituido por elementos de protección, corte, seccionamiento, simulación y alarmas.Esta S/E presenta el esquema de Barra Simple descrito anteriormente, se recalca además que la S/E es tipo distribución.

El simulador dispone de dos barras principales (de alto voltaje y de bajo voltaje)que se enlazan mediante el transformador de distribución, el cual se encarga de reducir los niveles de voltaje provenientes de la transmisión para distribuirlos a las cargas del sistema.

A continuación se presentan las características de los componentes del panel frontal del simulador:

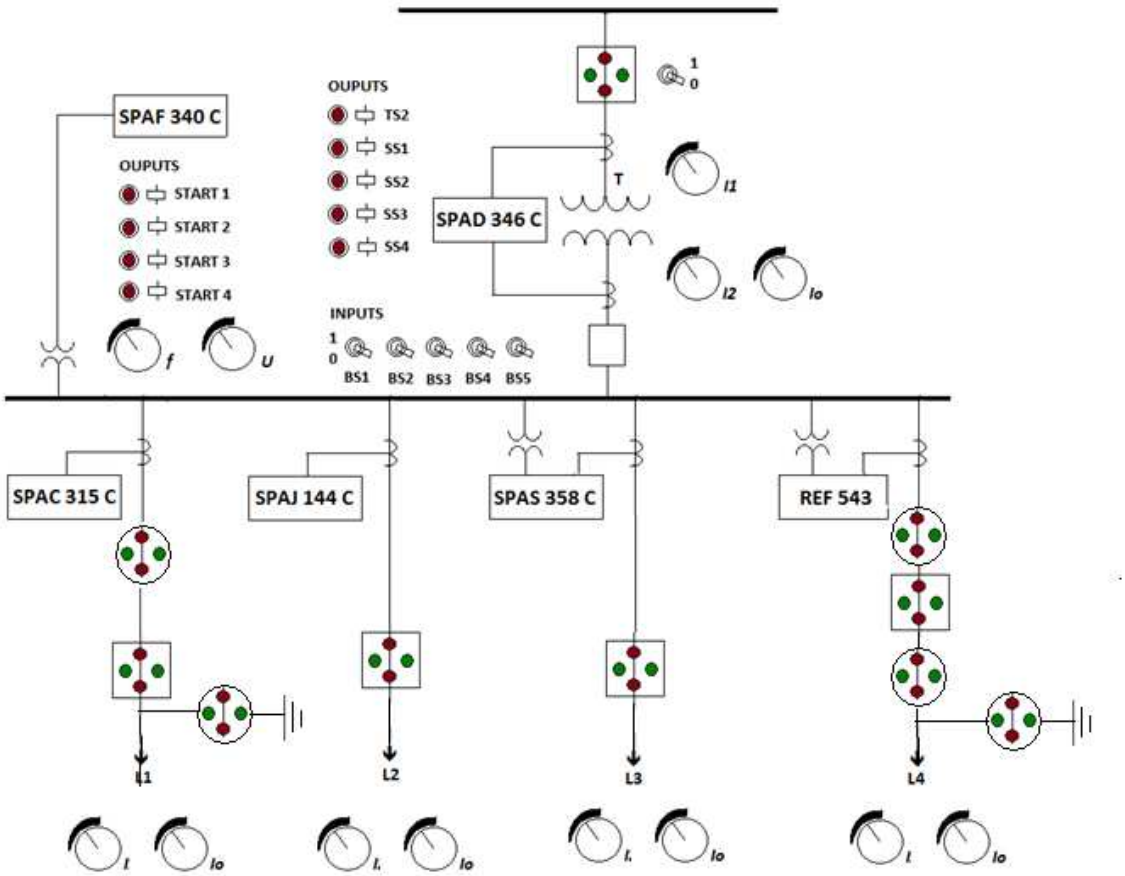



Figura 1.8 Panel frontal del módulo simulador (Esquema de Barra Simple)

La S/E presenta cuatro alimentadores cada uno de los cuales posee un relé de protección para los diferentes tipos de falla simulados en la subestación.

Los elementos de protección son los relés digitales de la familia SPACOM y del tipo REFfabricados por ABB.

Los elementos de corte y seccionamiento son interruptores que reflejan el comportamiento de disyuntores y seccionadores.

Los elementos de simulación son los potenciómetros y pulsantes que reflejan el comportamiento de la carga en determinadas condiciones.

Las alarmas son leds indicadores de los eventos ocurridos en la operación de cada una de las protecciones.

### 1.5.2. COMPONENTES DEL MODULO SIMULADOR

#### 1.5.2.1. Relés de Protección[6]

*1.5.2.1.1. SPAD 346C*

El relé trifásico SPAD 346C es un relé digital de protección contra cortocircuitos entre devanados, fallos a tierra y fallos interespirales en los transformadores de potencia de doble devanado, en unidades generador-transformador así como también protección contra cortocircuitos en los devanados del generador.

[6] Todos los relés de protección descritos son fabricados por ABB, se presentan únicamente las características principales tomadas de cada Hoja de Datos de los relés proporcionadas por el fabricante en: www.abb.com.

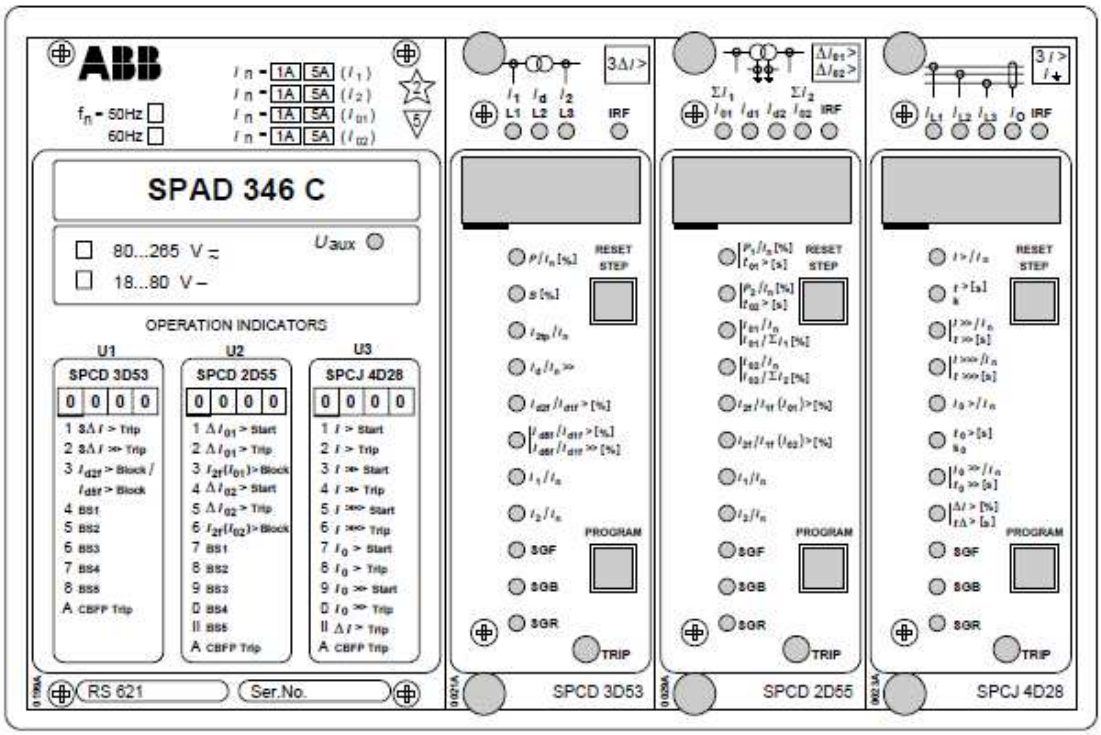



Figura 1.9Vista frontal SPAD 346

**COMPONENTES**

El relé diferencial integrado SPAD 346C incluye tres módulos de relé independientes:

- **SPCD 3D53**

Es un relé trifásicodiferencialestabilizado para la protección contra cortocircuitos y fallos interespirales en el transformador de potencia.La operación de este módulo consiste en comparar las corrientes de fase de ambos lados del transformador, si la corriente diferencial entre las corrientes de fase supera el valor preestablecido, el relé proporciona una señal de maniobra.

Las distintas amplitudes o diferencias de fase pueden ser la causa de la corriente diferencial. En el transformador la corriente diferencial es ocasionada por errores en el transformador de corriente (TC), corriente sin carga del transformador, corrientes de avalancha, sobreexcitacion por sobretensión y situaciones de baja frecuencia en el transformador.

La operación del relé diferencial estabilizado se basa en las componentes fundamentales de frecuencia, es así que el relé actúa en base del segundo y quinto armónico de la corriente diferencial.

El relé SPCD 3D53 cuenta además con un registrador de perturbaciones capaz de registrar seis corrientes de fase, las señales de desconexión interna y de bloqueo del módulo y las señales de entrada de control.

- **SPCD 2D55**

Es el relé encargado de la detección de fallos a tierra en los devanados del transformador.Este relé trabaja cuando al medir la corriente diferencial entre las corrientes de fase la sensibilidad del SPCD 3D53 no es suficiente, especialmente cuando el punto neutro del transformador está puesto a tierra con una resistencia.

Para la detección de fallo a tierra se empleanlos siguientes principios:

- Alta impedancia
- Corriente diferencial estabilizada numérica
- Sobrecorriente del neutro.

- **SPCJ 4D28**

Es el relé encargado de la detección de fallos a tierra y sobrecorrientes por cortocircuitos de una fase, dos fases y tres fases. La detección de sobrecorriente se inicia cuando una de las fases supera el valor de ajuste establecido por un tiempo superior al tiempo de maniobra configurado para el módulo, así la fase que arrancó proporcionará una señal de desconexión al interruptor del circuito.

Este módulo además permite el monitoreo del estado de la red al medir las corrientes de fase en la entrada del lado de alto voltaje.

## ESQUEMA DE CONEXIONES

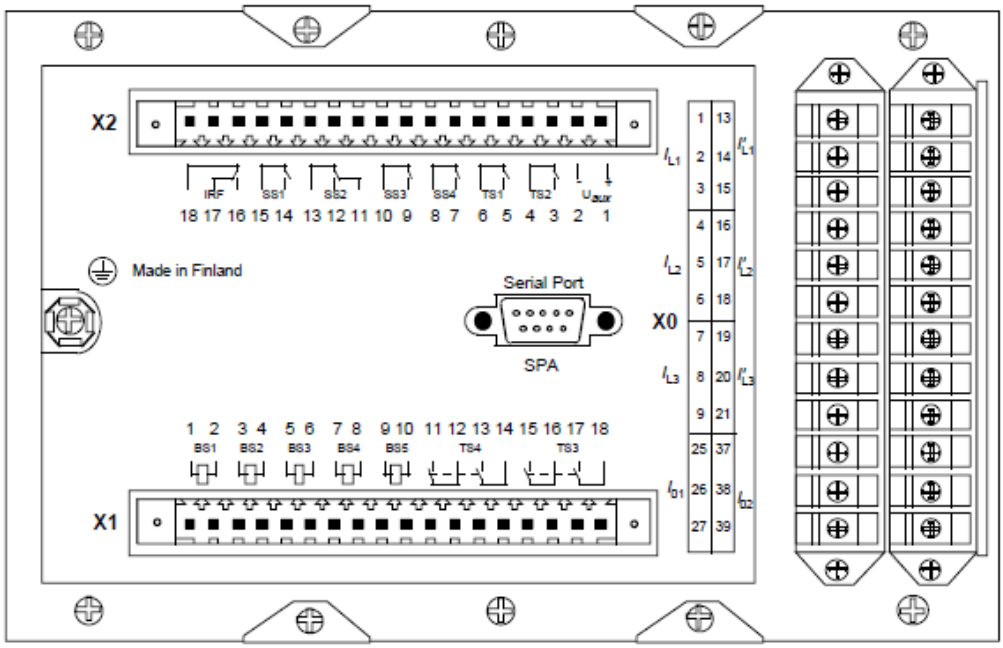



Figura 1.10Esquema de conexiones SPAD 346 C

- Uaux Tensión auxiliar
- TS1...TS4 Relé de salida (trabajo pesado)
- SS1...SS4 Relé de salida
- IRF Relé de salida de auto-supervisión
- BS1...BS5 Entradas de control externas
- U1 Módulo relé diferencial estabilizado trifásico SPCD 3D53
- U2 Módulo relé fallo de tierra SPCD 2D55
- U3 Módulo relé combinado de sobrecorriente y fallo de tierra SPCJ 4D28
- U4 Módulo de relé E/S SPTR 9B31
- U5 Módulo de alimentación de corriente SPGU 240A1 o SPGU 48B2
- U6 Módulo de entrada de activación de corriente SPTE 8B18
- TS1...TS4 Señales de salida (para relés de salida de alto rendimiento)
- SS1...SS4 Señales de salida
- SERIAL PORT Puerto serie de comunicación
- SPA-ZC_ Módulo de conexión del bus
- Rx/Tx Receptor (Rx) y transmisor (Tx) para la conexión de fibra óptica

| GRUPO DE TERMINALES | INTERVALO DE CONTACTO | FUNCIÓN |
|---|---|---|
| X0 | 1-2 | Corriente de fase lado AT o lado punto neutro estator IL1 (5 A) |
| | 1-3 | Corriente de fase lado AT o lado punto neutro estator IL1 (1 A) |
| | 4-5 | Corriente de fase lado AT o lado punto neutro estator IL2 (5 A) |
| | 4-6 | Corriente de fase lado AT o lado punto neutro estator IL2 (1 A) |
| | 7-8 | Corriente de fase lado AT o lado punto neutro estator IL3 (5 A) |
| | 7-9 | Corriente de fase lado AT o lado punto neutro estator IL3 (1 A) |
| | 13-14 | Corriente de fase lado BT o lado red del estator IL1' (5 A) |
| | 13-15 | Corriente de fase lado BT o lado red del estator IL1' (1 A) |
| | 16-17 | Corriente de fase lado BT o lado red del estator IL2' (5 A) |
| | 16-18 | Corriente de fase lado BT o lado red del estator IL2' (1 A) |
| | 19-20 | Corriente de fase lado BT o lado red del estator IL3' (5 A) |
| | 19-21 | Corriente de fase lado BT o lado red del estator IL3' (1 A) |
| | 25-26 | Corriente de neutro del lado de AT I01 (5 A) |
| | 25-27 | Corriente de neutro del lado de AT I01 (1 A) |
| | 37-38 | Corriente de neutro del lado de BT I02 (5 A) |
| | 37-39 | Corriente de neutro del lado de BT I02 (1 A |
| X1 | 1-2 | Entrada de control exterior BS1 |
| | 3-4 | Entrada de control exterior BS2 |
| | 5-6 | Entrada de control exterior BS3 |
| | 7-8 | Entrada de control exterior BS4 |
| | 9-10 | Entrada de control exterior BS5 |
| | 11-12-13-14 | Relé de salida TS4 |

Tabla 1.1 Terminales del SPAD 346C

El relé de protección está conectado al bus de fibra óptica a través del módulo de conexión debus, tipo SPA-ZC 17 o SPA ZC 21, acoplado al conector D en el panel trasero del relé. Las fibras ópticas están conectadas a contactos contadores Rx y Tx del módulo por medio de conectores de resorte. Los interruptores selectores están colocados en la posición "SPA".

*1.5.2.1.2. SPAC 315C*

El SPAC 315C es un relé trifásico orientado a la protección contra cortocircuitos que se emplea como unidad de interfaz para control local/remoto de unidades de interconexión, además está provisto con las propiedades de comunicación necesarias para el control de un cubículo alimentador.

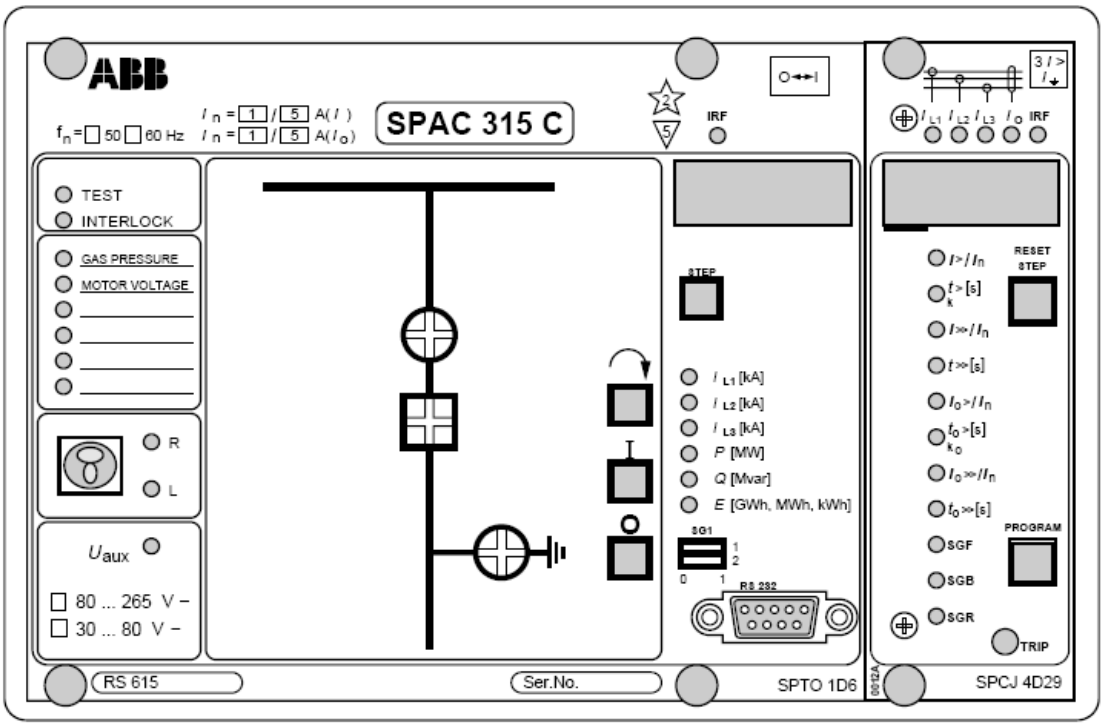



Figura 1.11 Vista frontal SPAC 315

**COMPONENTES**

El relé SPAC 315C consta de dos relés internos los cuales trabajan independientemente:

- **SPTO 1D6**

El SPTO 1D6 lee y muestra local y remotamente los datos de los elementos del sistema, además indica el estado de los elementos por medio de leds indicadores y puede transferir los datos vía fibra óptica al bus SPA.

El módulo lee y muestra local y remotamente las corrientes de las 3 fases, la potencia activa y la potencia reactiva.

- **SPCJ 4D29**

El SPCJ 4D29 es un módulo de protección de sobrecorriente y fallas a tierra, presenta características de tiempo definido o tiempo inverso para las etapas de ajuste bajo, tiempo instantáneo o tiempo definido para la etapa de ajuste alto.

La unidad de sobrecorriente de fase incluye dos escalones para el disparo de la unidad, un escalón de sobrecorriente de ajuste inferior I> y un escalón de sobrecorriente de ajuste superior I>>.

El escalón de sobrecorriente de fase de ajuste inferior o ajuste superior arranca si la corriente en una o varias fases excede el valor de la corriente de arranque ajustada en el escalón respectivo.

La unidad de falla a tierra del módulo posee dos escalones de falla a tierra de ajuste inferior Io> y un escalón de ajuste superior Io>>.

Cuando arranca el escalón, éste genera una señal de arranque SS1 ó TS1 y simultáneamente el panel frontal indica el arranque. Si la situación de sobrecorriente o falla a tierra se mantiene suficientemente excediendo el tiempo de operación ajustado, entonces el escalón opera y genera una señal de disparo TS2. El indicador de operación rojo permanece encendido aunque el escalón se resetee. El indicador se resetea presionado el pulsante RESET.

## ESQUEMA DE CONEXIONES

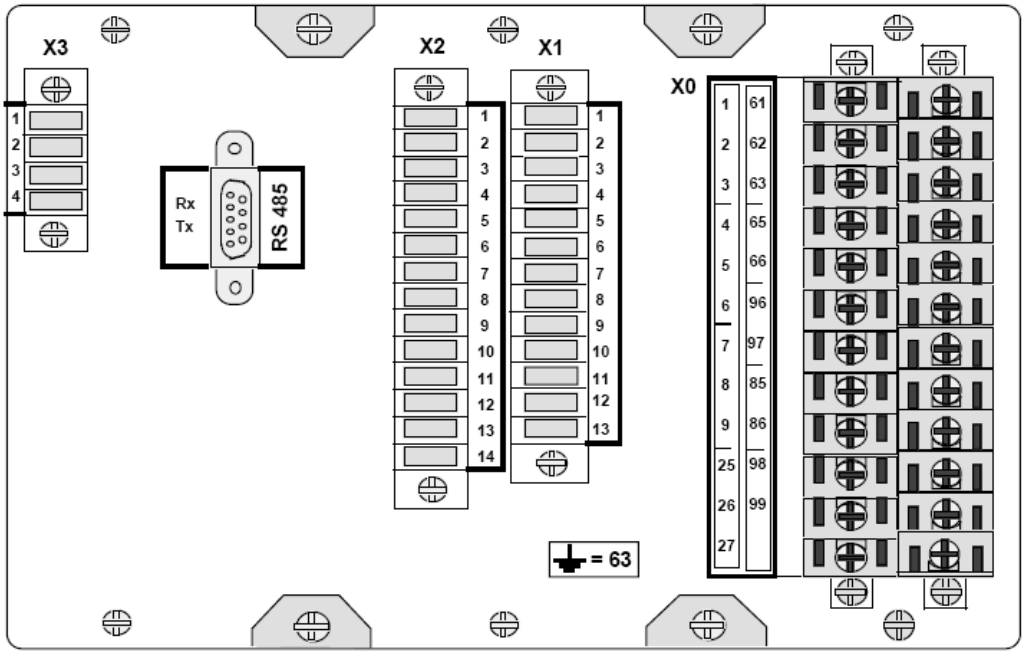



Figura 1.12 Vista Posterior SPAC 315

A continuación se detalla las conexiones:

| GRUPO DE TERMINALES | INTERVALO DE CONTACTO | FUNCIÓN |
|---|---|---|
| X0 | 1-2 | Corriente de fase IL1 (5 A) |
| | 1-3 | Corriente de fase IL1 (1 A) |
| | 4-5 | Corriente de fase IL2 (5 A) |
| | 4-6 | Corriente de fase IL2 (1 A) |
| | 7-8 | Corriente de fase IL3 (5 A) |
| | 7-9 | Corriente de fase IL3 (1 A) |
| | 25-26 | Corriente de neutro I01 (5 A) |
| | 25-27 | Corriente de neutro I01 (1 A) |
| | 61-62 | Alimentación auxiliar.. |
| | 63 | Equipo terminal de tierra |
| | 65 | Salida OPEN. |
| | 66 | Salida OPEN. |
| | 96 | Salida OPEN. |
| | 97 | Salida OPEN. |

| | | |
|---|---|---|
| | 85 | Salida CLOSE. |
| | 86 | Salida CLOSE. |
| | 98 | Salida CLOSE. |
| | 99 | Salida CLOSE. |
| **X1** | 1-2-3 | Salida de señalización de auto-supervisión. |
| | 4-5 | Señal de salida 4. |
| | 6-7 | Señal de salida 3. |
| | 8-9 | Señal de salida 2. |
| | 10-11 | Señal de salida 1. |
| | 12-13 | Canal de entrada 9. |
| **X2** | 1-5 | Canal de entrada 4. |
| | 2-5 | Canal de entrada 5. |
| | 3-5 | Canal de entrada 6. |
| | 4-5 | Canal de entrada 7 o entrada de contador de pulsos de energía. |
| | 6-7 | Canal de entrada 8 o entrada de bloqueo para el módulo de protección. |
| | 8-14 | Canal de entrada 1 en modo abierto. |
| | 9-14 | Canal de entrada 1 en modo cerrado. |
| | 10-14 | Canal de entrada 2 en modo abierto. |
| | 11-14 | Canal de entrada 2 en modo cerrado. |
| | 12-14 | Canal de entrada 3 en modo abierto. |
| | 13-14 | Canal de entrada 3 en modo cerrado. |
| **X3** | 1-2 | Entrada en mA para la medida de potencia activa. |
| | 3-4 | Entrada en mA para la medida de potencia reactiva. |

Tabla 1.2 Terminales del SPAC 315

*1.5.2.1.3. SPAJ 144 C*

El SPAJ 144C es un relé secundario para la protección de sobrecorriente y falla a tierra, principalmente protege de sobrecorriente a un sistema trifásico. La unidad trifásica de sobreintensidad y la unidad de falla a tierra miden permanentemente las corrientes de fase y la corriente de neutro del sistema. A la detección de una falla, el relé dispara el disyuntor, y proporciona una señal de alarma.

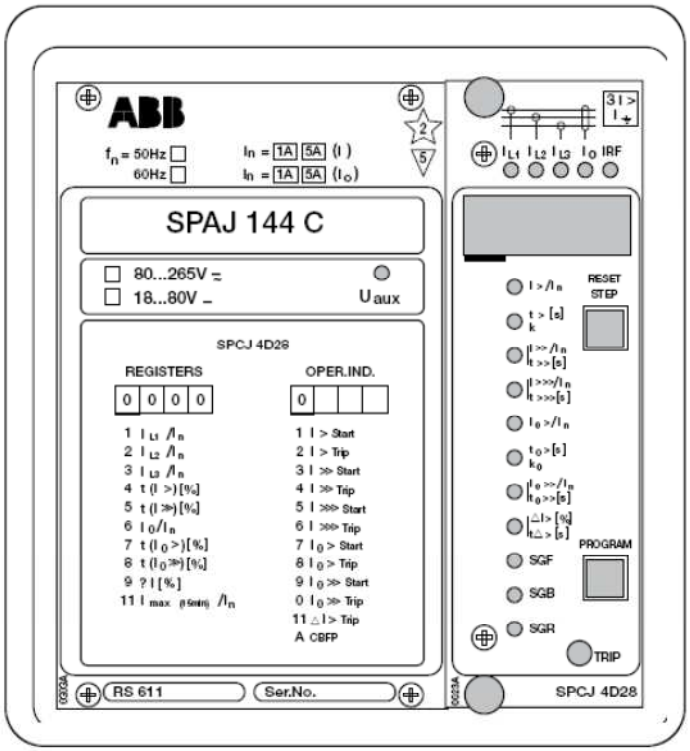



Figura 1.13 Vista Frontal del SPAJ 144

Cuando la corriente de fase excede el valor de la corriente de arranque ajustado de cualquiera de las tres etapas de ajuste (I>, I>>,I>>>), la unidad de sobreintensidad arranca y proporciona, después del tiempo de arranque preajustado, una señal de alarma. Una vez transcurrido el tiempo ajustado para la operación de tiempo definido, o la operación de tiempo inverso, la unidad de sobreintensidad opera.

El mismo principio de operación se utiliza en las etapas de ajuste para la corriente de falla a tierra (Io>, Io>>). De la misma forma, la etapa de discontinuidad de fasese activa y proporciona una señal después del tiempo preajustado (≈ 150 ms).

**COMPONENTES**

El relé SPAJ 144 consta únicamente de un relé interno el mismo que se detalla a continuación:

- **SPCJ 4D28**

El SPCJ 4D28 es un relé digital de protección contra sobrecorriente y falla a tierra, para una, dos y tres fases. La unidad de sobrecorriente incluye tres fases de sobrecorriente: una fase de ajuste bajo I>, una fase de ajuste alto I>> y una fase de ajuste súper alto I>>>, en lo referente a la protección de falla atierra posee una fase de sobrecorriente de neutro de ajuste bajo Io> y una fase de sobrecorriente de neutro de ajuste alto Io>>. Además, está provisto de una unidad de protección contra discontinuidad de fase que monitoriza las corrientes de fase mínimas y máximas.

El relé SPCJ 4D28 está provisto de una unidad de protección contra fallo del disyuntor del circuito que proporciona una señal TS1 de desconexión en 0,1s después de que la señal TS2, TS3 o TS4 de desconexión haya sido entregada, siempre que el fallo continúe persistiendo después de transcurrido un tiempo.

**ESQUEMA DE CONEXIONES**

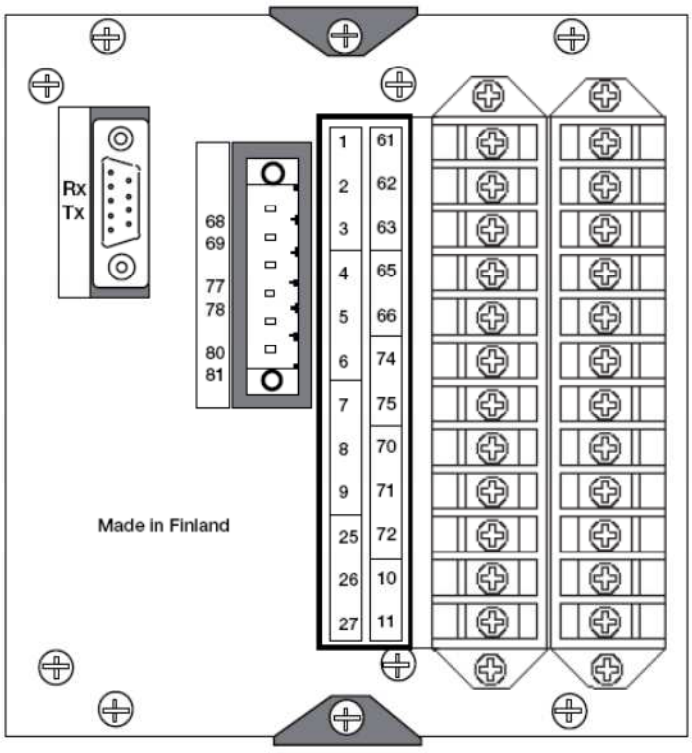



Figura 1.14 Vista posterior del relé SPAJ 144C

| GRUPO DE TERMINALES | INTERVALO DE CONTACTO | FUNCIÓN |
|---|---|---|
| X0 | 1-2 | Corriente de fase IL1 (5 A) |
| | 1-3 | Corriente de fase IL1 (1 A) |
| | 4-5 | Corriente de fase IL2 (5 A) |
| | 4-6 | Corriente de fase IL2 (1 A) |
| | 7-8 | Corriente de fase IL3 (5 A) |
| | 7-9 | Corriente de fase IL3 (1 A) |
| | 25-26 | Corriente de neutro I01 (5 A) |
| | 25-27 | Corriente de neutro I01 (1 A) |
| | 10-11 | Entrada de control. |
| | 61-62 | Alimentación tensión auxiliar. |
| | 70-72 | Contacto de salida del indicador IRF, cerrado en condiciones normales |
| | 71-72 | Contacto de salida del indicador IRF, cerrado en condiciones de falla. |
| | 65-66 | Salida robusta TS2. |
| | 74-75 | Salida robusta TS1. |
| X1 | 68-69 | Salida 3. |
| | 77-78 | Salida 1. |
| | 80-81 | Salida 2. |

Tabla 1.4. Terminales del SPAJ 144

Las conexiones para el relé combinado de sobrecorriente y faltas a tierra SPAJ 144C se detallan a continuación:

- Uaux Tensión auxiliar
- IRF Auto-vigilancia
- SGR Grupos de conmutadores para la configuración de relés de salida
- SGB Grupos de conmutadores para la configuración de señales de bloqueo o control
- TS1, TS2 Relés de salida de disparo
- SS1, SS2, SS3 Relés de salida de señal
- SERIAL PORT Puerta de comunicación serialRx/Tx Terminal receptor de bus (Rx) y terminal transmisor de bus (Tx) del módulo de conexión al bus.

*1.5.2.1.4. SPAS 348C*

El relé de protección SPAS 348 C se utiliza para la protección contra sobrecorriente de fase direccional, contra cortocircuito y corriente de falla a tierra direccional. Típicamente, el relé se utiliza para la protección de sobrecorriente y falla a tierra de alimentadores y barras en subestaciones de distribución.

Se emplea también para la protección de cortocircuito y de falla a tierra de alimentadores paralelos entre subestaciones y para la protección de redes de distribución tipo anillo.

El relé está provisto de entradas para tres corrientes de fase, tres voltajes de fase-fase, una corriente residual o de neutro y voltaje residual. Además tiene cinco entradas de control para señales de control externo como bloqueos, señales de control automático de recierre, etc. Cuenta también con nueve relés de salida.

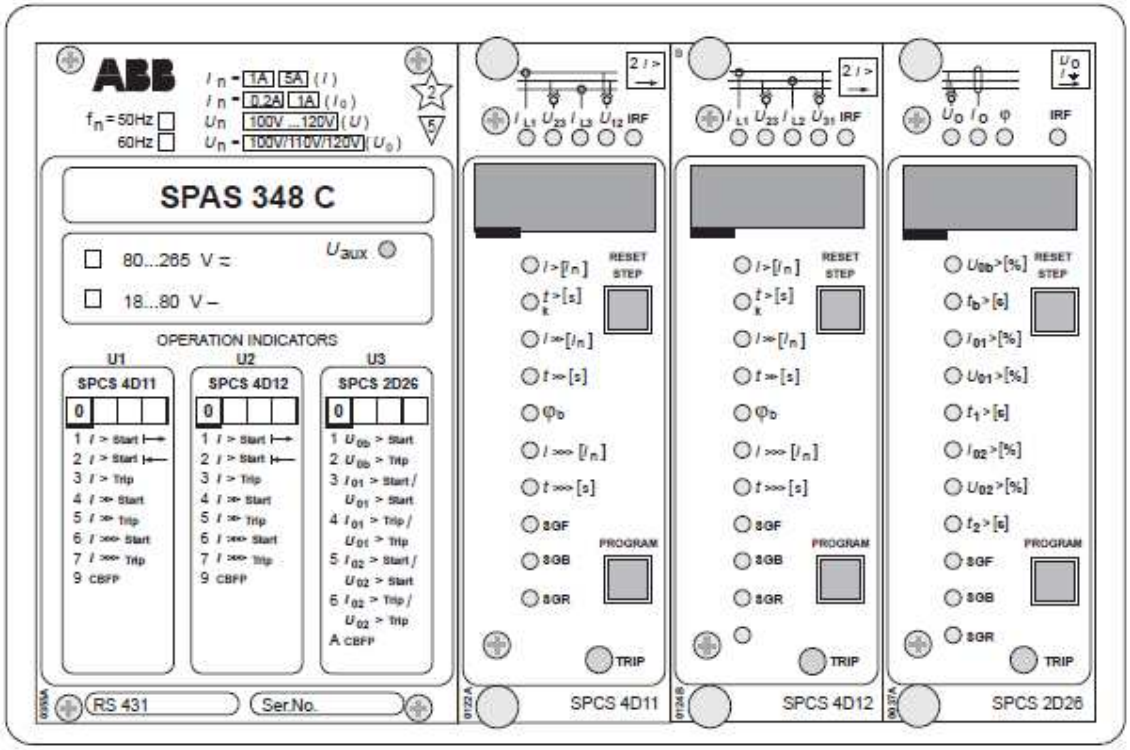



Figura 1.15 Vista frontal SPAS 348

**COMPONENTES**

El relé de protección SPAS 348 consta de tres relés independientes los cuales se describen a continuación:

- **SPCS 4D11 y 4D12**

Lamódulos de sobrecorriente direccionalSPC4D11ySPC4D12pueden ser utilizados para protección de una solafaseoen dos fases. Cuando se utilizan en conjunto losdosmódulosde sobrecorrientedireccional se logra una protección para un sistema trifásico.

Cadamóduloconsta de tresetapasde sobrecorriente:dosetapasde sobrecorriente direcciónalI>, I>>yuna etapa de sobrecorrienteno direccionalI>>>. Laetapade sobrecorrientecomienzacuando la corrienteenuna delas fasesexcedeel valor deajustede laetapay,si se cumple la operación direccional. Laetapade sobrecorriente debe iniciarse cuandoel tiempo de operaciónseleccionado ha transcurrido, de esta manera sedispara elinterruptor automático entregando laseñal de disparoconfigurada.

La operación direccional en los relés SPC4D11ySPC4D12está basada enla medicióndel ángulode desfase entrela corriente de faseyel voltaje fase-faseopuesto,por ejemplo la medición del ángulo entre la corriente de la línea 1(IL1)yel voltaje fase-fase de las líneas 2 y 3 (U23).

Las etapas de sobrecorriente presentan una etapa de ajuste bajo I>, una etapa de ajuste alto I>> y una etapa de ajuste superior I>>>. La etapa de ajuste bajo puede presentar característica de tiempo definido o característica de tiempo inverso, mientras que las etapas de ajuste alto tienen una característica de tiempo definido.

- **SPCS 2D26**

El módulo SPCS 2D26 brinda protección direccional o no direccional de falla a tierra, este módulo incluye dos unidades de protección: una unidad de protección de falla a tierra y una unidad de fallo del interruptor automático.

La unidad de falla a tierra mide continuamente la corriente del neutro y el voltaje residual en el cual se puede seleccionar la función direccionalo no direccional. Laetapade falla a tierrase inicia, sila corriente o el voltaje del neutrosuperanlos valoresfijados yel ánguloentre ambos fasores se encuentra dentro de un rango determinado. Cuandoestascondiciones se mantienenduranteel tiempo de operación, la etapaproporcionaunaseñal dedisparo.

Esta unidad cuenta con dos etapas de protección: una etapa de ajuste bajo Io> y una etapa de ajuste alto Io>>, con característica de tiempo definido.

La unidad de protección contra fallo del interruptor automático se activa por la señal de disparo de la unidad de sobrecorriente y falla a tierra y proporciona una señal de disparo alinterruptor automático de respaldoen caso de que el interruptor principal falle.

**ESQUEMA DE CONEXIONES**

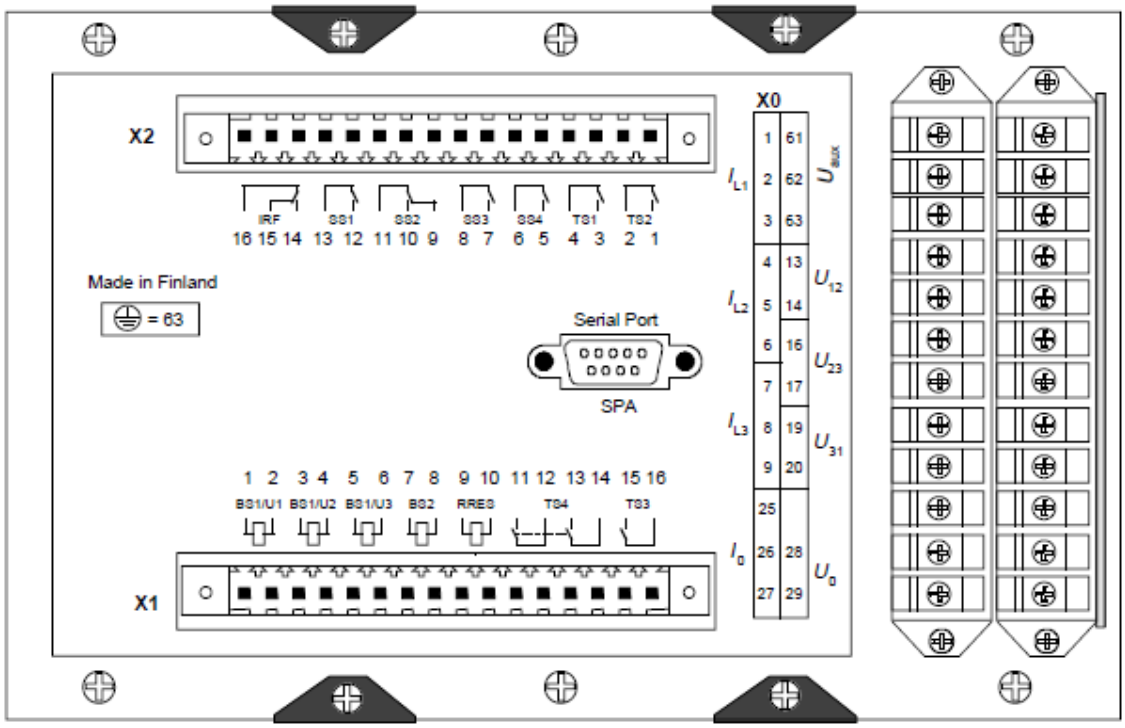



Figura 1.16Esquema de conexiones SPAS 348

- Uaux Voltaje Auxiliar
- TS1...TS4 Relès de salida (trabajo pesado)

- SS1...SS4 Relés de salida (alarmas, bloqueos, etc.)
- IRF Relé de autosupervisión
- BS1, BS2, RRES Señales de control
- U1 Unidad de relé de sobrecorriente direccional SPCS 4D11
- U2 Unidad de relé de sobrecorriente direccional SPCS 4D12
- U3 Unidad de relé de falla a tierra direccional SPCS 2D26
- U4 Modulo de Entradas/ Salidas
- U5 Fuente de alimentación
- U6 Entrada de energización
- SERIAL PORT Puerto de comunicación serial
- SPA-ZC Módulo de conexión al bus SPA
- Rx/Tx Conexiones de cable de fibra óptica

| GRUPO DE TERMINALES | INTERVALO DE CONTACTO | FUNCIÓN |
|---|---|---|
| X0 | 1-2 | Corriente de fase IL1 (5 A). Protección sobrecorriente direccional |
| | 1-3 | Corriente de fase IL1 (1 A). Protección sobrecorriente direccional |
| | 4-5 | Corriente de fase IL2 (5 A). Protección sobrecorriente direccional |
| | 4-6 | Corriente de fase IL2 (1 A). Protección sobrecorriente direccional |
| | 7-8 | Corriente de fase IL3 (5 A). Protección sobrecorriente direccional |
| | 7-9 | Corriente de fase IL3 (1 A). Protección sobrecorriente direccional |
| | 13-14 | Voltaje fase-fase U12(100V). Protección sobrecorriente direccional |
| | 16-17 | Voltaje fase-fase U23(100V). Protección sobrecorriente direccional |
| | 19-20 | Voltaje fase-fase U12(100V). Protección sobrecorriente direccional |
| | 25-26 | Corriente de neutro I01 (5 A). Protección direccional de falla a tierra |
| | 25-27 | Corriente de neutro I01 (1 A). Protección direccional de falla a tierra |
| | 28-29 | Voltaje de neutro U0 (100V). Protección de falla a tierra |
| | 61-62 | Fuente Auxiliar de voltaje |
| | 63 | Tierra |
| X1 | 1-2 | Entrada de control exterior BS1/U1 |
| | 3-4 | Entrada de control exterior BS2/U2 |
| | 5-6 | Entrada de control exterior BS3/U3 |
| | 7-8 | Entrada de control exterior BS2 |
| | 9-10 | Entrada de control exterior RRES |

| GRUPO DE TERMINALES | INTERVALO DE CONTACTO | FUNCIÓN |
|---|---|---|
| | 11-12-13-14 | Relé de salida TS4 |
| | 15-16 | Relé de salida TS3 |
| X2 | 1-2 | Relé de salida TS2 |
| | 3-4 | Relé de salida TS1 |
| | 5-6 | Relé de salida SS4 |
| | 7-8 | Relé de salida SS3 |
| | 9-10-11 | Relé de salida SS2 |
| | 12-13 | Relé de salida SS1 |
| | 14-15-16 | Relé de salida IRF |

Tabla 1.5 Terminales del SPAS 348

El relé SPAS 348 se conecta al bus SPA por medio del módulo de conexión SPA-ZC 17 o SPA-ZC 21, a través de fibra óptica.

*1.5.2.1.5. SPAF 340 C3*

El relé de frecuencia SPAF 340 es un relé secundario, el cual es conectado al transformador de voltaje de la red a ser protegida, se emplea para el rechazo de carga en situaciones en que la potencia consumida supera la potencia disponible en la red. En tal situación de desequilibrio, la frecuencia de la red tiende a caer.

El relé de frecuencia permite controlar cuatro interruptores automáticos, permitiendo desconectar de la red cuatro líneas de distribución, una por una. Si persiste la deficiencia de potencia generada, el relé desconecta el disyuntor principal de la subestación.

El funcionamiento del relé se basa en valores de frecuencia previamente fijados (f<), en el gradiente de disminución de la frecuencia (df/dt negativo) o en ambos criterios (f< y df/dt).

Además, este relé puede ser utilizado para la protección de generadores, motores sincrónicos grandes y en otros equipos eléctricos.

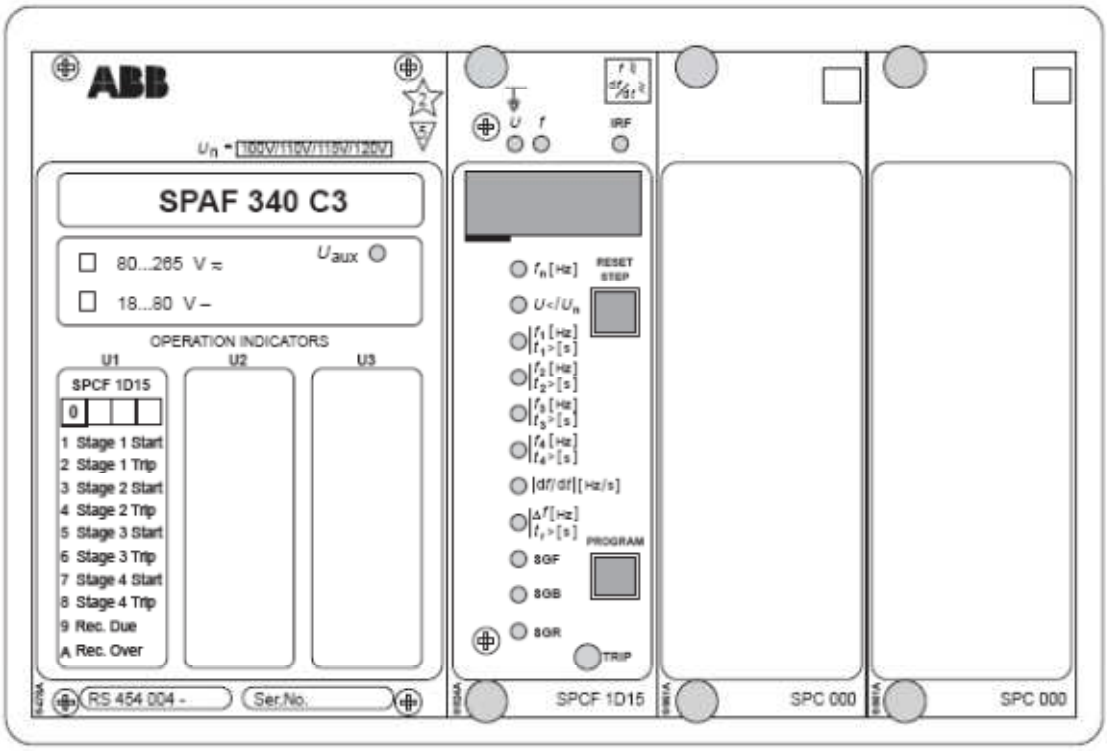



Figura 1.17 Vista Frontal del SPAF 340

**COMPONENTES**

El relé de frecuencia SPAF 340 está compuesto por tres módulos los cuales se detallarán a continuación:

- **SPCF 1D15**

Este relé incluye 4 etapas de protección, cada una de estas con su propia función de frecuencia, su propia razón de cambio de frecuencia (df/dt) y 2 tiempos de operación ajustable.Cuando se ajusta el límite de la frecuencia por debajo de la frecuencia nominal la etapa de protección se denomina baja-frecuencia, cuando el límite es ajustado sobre el valor de la frecuencia nominal es denominada etapa de sobre-frecuencia.

La operación de la función df/dt en una etapa de protección se basa en el mismo principio del de frecuencia, si la etapa de protección opera como una etapa de baja-frecuencia  el signo de la función df/dt es negativo. Entonces la función se inicia una vez que el valor absoluto supera el valor fijado.

Una vez que una condición preestablecida se ha cumplido la etapa se inicia y, al mismo tiempo, se activa un circuito de sincronización. Cuando se han cumplido los tiempos, el relé produce una señal de disparo, la cual puede ir relacionada con un relé de salida (SS o TS).

**ESQUEMA DE CONEXIONES**

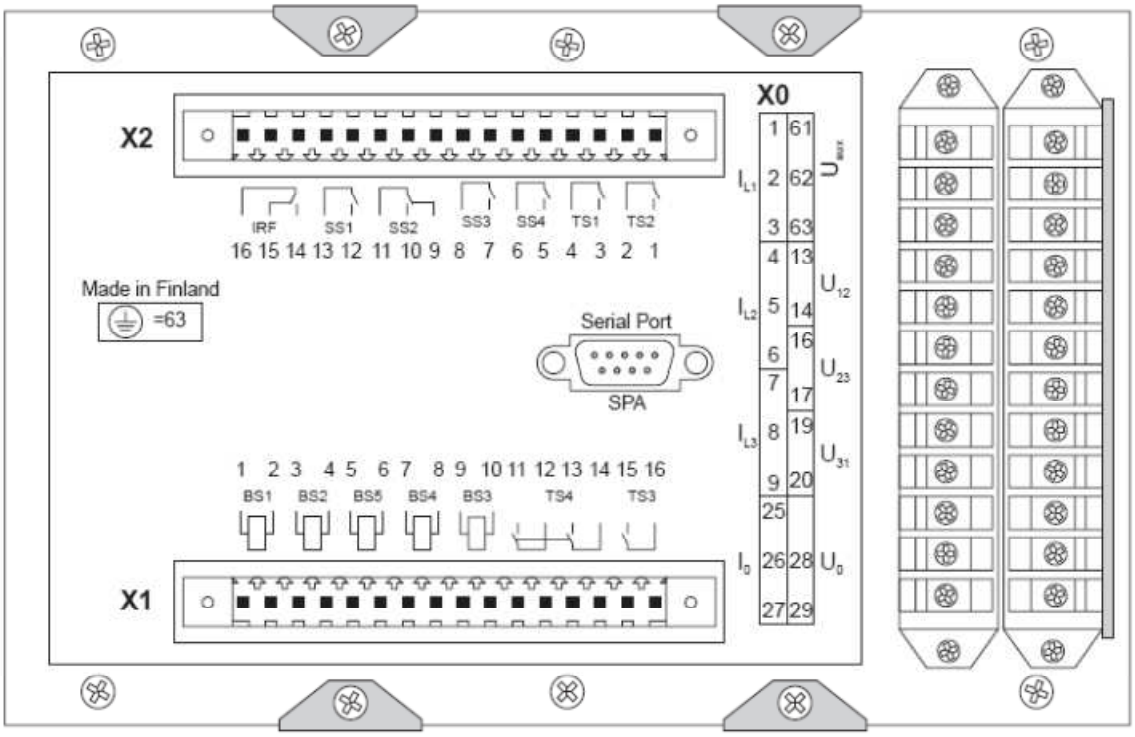



Figura 1.18Vista posterior del SPAF 340 C3

- Uaux …Tensión auxiliar
- TS1...TS4 Relés de salida (Tarea pesada)
- SS1...SS4 Relés de salida
- IRF… Relé de salida de auto-supervisión
- BS1...BS5 Entradas de control externas
- U1… Módulo relé de frecuencia combinada y razón de cambio de frecuencia.
- SERIAL PORT… Puerto de comunicación serial

Además se presentan los siguientes terminales:

| GRUPO DE TERMINALES | INTERVALO DE CONTACTO | FUNCIÓN |
|---|---|---|
| X0 | 1-2 | Corriente de fase $I_{L1}$ (5 A) |
| | 1-3 | Corriente de fase $I_{L1}$ (1 A) |
| | 4-5 | Corriente de fase $I_{L2}$ (5 A) |
| | 4-6 | Corriente de fase $I_{L2}$ (1 A) |
| | 7-8 | Corriente de fase $I_{L3}$ (5 A) |
| | 7-9 | Corriente de fase $I_{L3}$ (1 A) |
| | 13-14 | Voltaje fase-fase $U_{12}$ 100V |
| | 16-17 | Voltaje fase-fase $U_{23}$ 100V |
| | 18-19 | Voltaje fase-fase $U_{31}$ 100V |
| | 25-26 | Corriente de neutro $I_0$ 1A |
| | 25-27 | Corriente de neutro I0 0,2 A |
| | 28-29 | Voltaje residual $U_0$ 100V |
| | 61-62 | Fuente de voltaje auxiliar. |
| | 63 | Tierra de protección. |
| X1 | 1-2 | Señal de bloqueo BS1. |
| | 3-4 | Señal de bloqueo BS2. |
| | 5-6 | Señal de bloqueo BS5. |
| | 7-8 | Señal de bloqueo BS4. |
| | 9-10 | Señal de bloqueo BS3. |
| | 11-12-13-14 | Relé de salida TS4 (tareas pesadas). |
| | 15-16 | Relé de salida TS3 (tareas pesadas). |
| X2 | 1-2 | Relé de salida TS1 (tareas pesadas). |
| | 3-4 | Relé de salida TS2 (tareas pesadas). |
| | 5-6 | Relé de salida SS4. |
| | 7-8 | Relé de salida SS3. |
| | 9-10-11 | Relé de salida SS2. |
| | 12-13 | Relé de salida SS1. |
| | 14-15-16 | Relé de salida IRF. |

Tabla 1.6 Terminales del SPAF 340

*1.5.2.1.6. REF 543*

El REF 543 es un terminal de línea para protección, control, medida y supervisión de redes de media tensión, bancos de condensadores y centros de control de motores. El REF 543 posee una pantalla de visualización de los principales parámetros de la línea que se protege.

Figura 1.19Terminal de línea REF 543

A continuación se detallan las principales características del terminal de línea REF 543:

- Medida y visualización de los valores de voltaje y corriente, que se adquieren mediante transformadores de medida convencionales o sensores.

- Medida de los valores de corriente de fase, voltaje fase-fase y voltaje fase-neutro, corriente y voltaje residual, factor de potencia, potencia y energía activa y reactiva, etc.

- Funciones de protección, control, medida, comunicación, monitorización de calidad de energía.

- Las funciones de protección incluyen: protección no direccional y direccional de sobrecorriente y de fallas a tierra, voltaje residual, protección de sobrevoltaje y subvoltaje, protección de sobrecarga térmica.

- Las funciones de control incluyen control local y remoto de elementos de conmutación, indicación del estado de los contactores y bloqueos.

- Capacidad de conexión de una RTD por el canal analógico para la medida de temperatura, medida de intensidad/tensión y salidas en mA.

- Comunicación local con un PC y comunicación remota a un bus de comunicación del sistema.

Las principales funciones del terminal de línea REF543 se describen a continuación:

**Funciones de protección**

La protección es una de las funciones más importantes del relé terminal de línea REF 543. Los bloques de función de protección son independientes entre ellos y tienen sus propios grupos de ajuste, registro de datos, etc.

Los transformadores de intensidad convencionales pueden ser utilizados para funciones de protección basadas en medida de la corriente.

Del mismo modo, divisores de voltaje o transformadores de voltaje son utilizados para las funciones de protección basadas en medida de voltaje.

**Funciones de medida**

Las funciones de medida incluyen corrientes trifásicas, corriente de neutro, voltajes trifásicos, voltaje residual, frecuencia, potencia activa y reactiva y factor de potencia. Adicionalmente se dispone de otras funciones de medida.

**Funciones de calidad de energía**

Las funciones de calidad permiten la medida de la distorsión armónica total (THD) de voltaje y corriente y la distorsión de consumo total (TDD) de corriente. Se miden los armónicos individuales hasta el número 13.

Las funciones de calidad producen datos estadísticos de la distorsión armónica para la evaluación a largo plazo. Se incluye también los valores promedioy valores máximos de THD, además de los armónicosindividuales.

**Funciones de control**

Las funciones de control se usan para indicar el estado de los dispositivos de conmutación, p. ej. Interruptores y seccionadores, y ejecutar las órdenes de apertura y cierre para dispositivos de conmutación controlables del sistema.

Además las funciones de control proporcionan objetos de conmutación On/Off para necesidades de control lógico para monitorización de datos, etc.

**Funciones de monitoreo**

Las funciones demonitoreo de estado disponibles son:la supervisión de la corriente de arranque o energización, voltaje de entrada, contador de tiempo de operación de los seccionadores y disyuntores, desgaste eléctrico del disyuntor, mantenimiento programado, supervisión del circuito de disparo y tiempo de operación del disyuntor.

**Funciones de comunicación**

El terminal de línea REF 543 proporciona dos protocolos de comunicación serie: SPA y LON, los mismos que son propios de ABB.

**Funciones estándar**

Las funciones estándar se usan para lógicas tales como enclavamiento, alarmas ysecuencias de control. El uso de las funciones lógicas no está limitado y las funciones sepueden interconectar entre ellas, al igual que con protección, medida, calidad de potencia,control, monitorización de condición y funciones generales.

**Canales analógicos**

El terminal de línea mide las señales analógicas necesarias para protección,medida, y visualización mediante sensores o transformadores.

Los canales analógicos del REF 543 son configurados con el CAP 505 Relay ProductEngineering Tools.

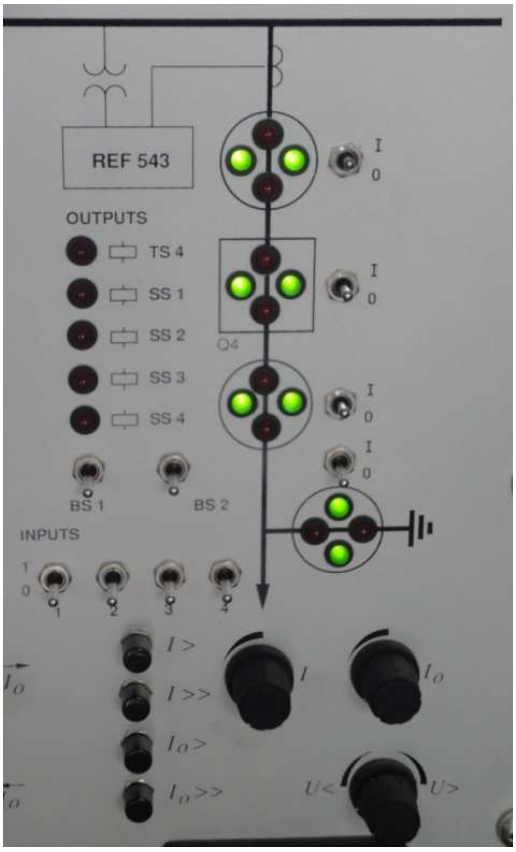



Figura 1.20 Terminal de línea REF543 en el módulo simulador

### 1.5.3. Potenciómetros

Los potenciómetros ubicados en cada alimentador eléctrico permiten la simulación del comportamiento de la carga, además permiten verificar el ajuste de los valores de corriente de los relés de protección, puesto que al superar el valor configuradode corriente inmediatamente el disyuntor desconecta a la línea de la barra de bajo voltaje de la subestación eléctrica.

En el SPAD 346 los potenciómetros permiten variar los valores de corriente en los dos devanados del transformador de distribución, de manera que se puede apreciar la protección que brinda el relé digital a las sobrecorrientes que pudieran ocurrir en los devanados del transformador.

Para el SPAC 315, SPAJ 144 y SPAS 348 se tiene un potenciómetro que permite simular la demanda de las cargas respectivas de cada línea (I), y un potenciómetro que permite simular el incremento de la corriente en el neutro (Io) conocido como falla a tierra.

Para el SPAF 340 se tiene dos potenciómetros, el potenciómetro para variación de la frecuencia del sistema, y el potenciómetro para simular las variaciones de voltaje que pueden darse en la barra de bajo voltaje.

En el REF 543 de la misma manera se tiene un potenciómetro para la corriente de la carga (I), un potenciómetro para la corriente del neutro (Io) y además un potenciómetro para simular la variación de voltaje (U) que podría darse en la línea.

Las principales características de los potenciómetros empleados en el simulador se describen a continuación:

- Variación lineal de la resistencia
- Valores de: 4.7 KΩ y 5.6 KΩ

### 1.5.4. Interruptores (Switchs)

Un interruptor eléctrico es un dispositivo que interrumpe el paso de la corriente eléctrica en un circuito, los interruptores existentes en el simulador representan a los seccionadores y disyuntores propios de cada alimentador de la subestación eléctrica, y también representan las entradas externas hacia los relés de protección, tales como entradas de sensores, o contactos de relés auxiliares.

Los interruptores existentes en el módulo simulador se han dividido en dos grupos: el primer grupo se constituye por los interuptores cuya funcionalidad es la operación de seccionadores y disyuntores de cada una de los alimentadores de la S/E. En el segundo grupo se encuentran los interruptores que simulan las señales

de entradas externas (BS), estas pueden ser señales de sensores, de bloqueos, etc.

Los interruptores seccionadores son del tipo SPDT (*Single Pole Doble Throw*),los cuales presentan el mismo comportamiento del seccionador de potencia que únicamente permite la operación manual y que no realiza la conexión o desconexión bajo carga.

Los interruptores que simulan las entradas externas son también de este tipo, es decir de polo simple y dos vías, puesto que estos interruptores envían el estado lógico 1 o 0 al respectivo relé digital y activan las alarmas del sistema.

En la Figura 1.21 se muestra la simbología eléctrica para este tipo de interruptor.

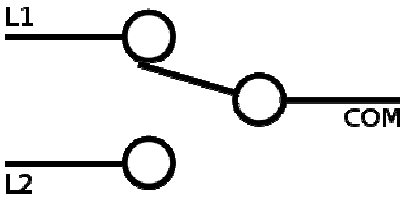



Figura 1.21 Interruptor SPDT

Los interruptores disyuntores presentan el mismo comportamiento del disyuntor de potencia, es decir son de operación automática. Estos desconectan la carga cuando los valores de corriente o voltaje sobrepasan a los valores ajustados previamente, también estos disyuntores realizan la desconexión de la carga cuando las condiciones de sobrecorriente son simuladas desde los pulsantes.

Los interruptores disyuntores son del tipo DPDT (*Doble Pole Doble Throw*), los cuales permiten el cierre y apertura del circuito del alimentador de manera automática, y una vez implementado el presente proyecto el control de los mismos de manera remota (HMI). La Figura 1.22 muestra la simbología empleada para este tipo de interruptor.

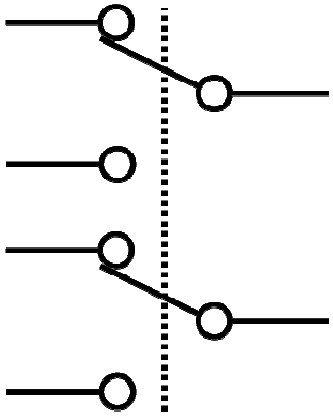


Figura 1.22 Interruptor DPDT

### 1.5.5. Pulsantes

Los pulsantes son interruptores momentáneos, este tipo de interruptores requieren que el operador mantenga la presión sobre el pulsante para que los contactos estén unidos. Los pulsantes del módulo simulador se encuentran en las líneas de los relés: SPAC 315, SPAJ 144, SPAS 348 Y REF 543, y permiten simular instantáneamente los valores de sobrecorriente de ajuste de cada etapa de protección, es decir se puede simular el valor de sobrecorriente previamente ajustadoy verificar el tiempo de operación del relé para cada etapa.El número de pulsantes para cada uno de los relés está de acuerdo con las etapas de protección con las que cuente el relé.

La Figura 1.23 muestra la simbología empleada para este tipo de interruptor.

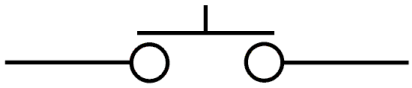


Figura 1.23 Pulsante (*Interruptor momentáneo*)

### 1.5.6. Alarmas

Todos los relés de protección que componen el módulo simulador cuentan con sus respectivas alarmas de los eventos ocurridos, las alarmas se visualizan con leds que se encienden cuando se energizan las salidas tipo relé de cada uno de

los relés digitales. En la Figura 1.24 se puede apreciar el módulo simulador en funcionamiento.

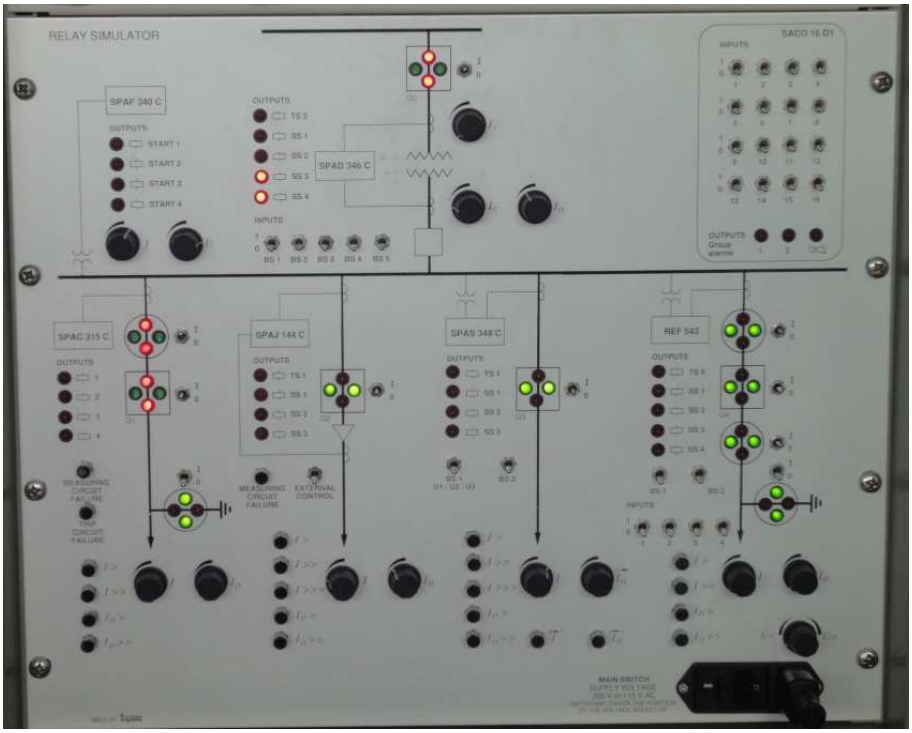



Figura 1.24 Módulo simulador en funcionamiento

Para los relés: SPAD 346, SPAJ 144, SPAS 348 y REF 543 las alarmas que se energizan tienen el indicador TS o SS, las alarmas del tipo TS son salidas de relé para tareas pesadas (mayor demanda de corriente), por ejemplo algún actuador, mientras que las alarmas del tipo SS son salidas de relé para tareas de menor consumo de corriente, por ejemplo para el accionamiento de una sirena o una pequeña baliza.

En el relé SPAC 315 estas alarmas son únicamente del tipo relé sin ningún indicador para el tipo de trabajo, pero que en la información del fabricante se puede conocer que son análogas a las alarmas del tipo SS de los relés descritos en el párrafo anterior.

En el relé SPAF 340 las alarmas tienen el indicador START que se representan la energización de cada una de las etapas de protección que posee este relé de frecuencia.

## 1.6. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación del Sistema de Control y Monitoreo se propone diseñar y construir el sistema a partir de las adquisición de datos de todas las señales correspondientes a los componentes descritos anteriormente, tales como: switchs, pulsantes, potenciómetros, alarmas, así como las señales de salida de los relés digitales de protección, para esto se emplean circuitos electrónicos que permiten realizar el acondicionamiento de las señales a niveles de voltaje lógicos TTL para las entradas digitales (pulsantes, alarmas, switchs), o a variaciones de 0 a 5VDC para señales analógicas (potenciómetros).

Las señales acondicionadas a niveles de voltaje normalizados TTL ingresan a un microcontrolador Atmega para ser procesadas dentro de la lógica de operación y funcionamiento del módulo simulador, a su vez el microcontrolador envía los datos resultantes del algoritmo de programación con protocolo de comunicación RS232 al puerto serial de la computadora de la central de monitoreo y control para que estos puedan sean visualizados en la interfaz gráfica desarrollada en Visual Basic 6.0.

## 1.7. PLANOS ELÉCTRICOS

El levantamiento eléctrico del módulo simulador se aprecia en los planos anexos. (ANEXO A)

# CAPÍTULO 2

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA

En el presente capítulo se presenta el diseño del hardware de la unidad remota necesaria para comunicarse con el sistema SCADA, es decir, acondicionamiento de todas las señales provenientes del módulo, comunicación, estudio de microcontroladores, diseños de fuentes de alimentación, así como también, el hardware empleado para el control de los disyuntores.

## 2.1. INTRODUCCIÓN

Un sistema SCADA es una aplicación especialmente diseñada para controlar a través de un ordenador y con dispositivos de campo, las operaciones de control, supervisión y registro de datos de cualquier proceso industrial.

El sistema SCADA usualmente presenta la información al personal operativo de manera gráfica, en forma de un diagrama de representación. Esto significa que el operador puede ver un esquema que representa la planta que está siendo controlada.

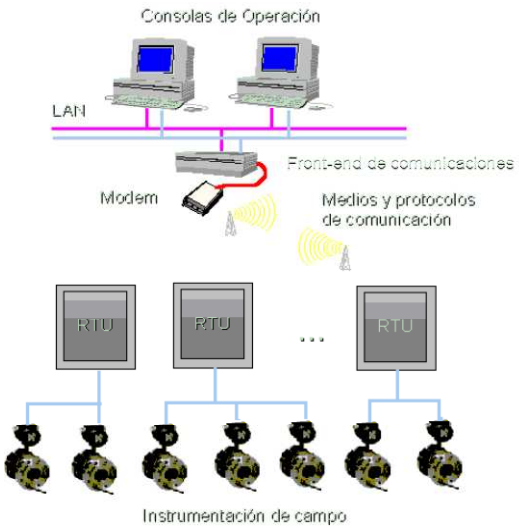



Figura 2.1 Arquitectura de un sistema *SCADA [3]*

Los tres componentes de un sistema SCADA son:

- Unidad de Terminal Remota.
- Estación Maestra.
- Infraestructura de comunicación.

La *Unidad de Terminal Remota* también denominadas UTR, RTU o Estaciones Externas, se conecta al equipo físicamente y puede leer el estado de datos digitales o medidas de datos analógicos y envía comandos digitales de salida o puntos de ajuste analógicos.

La*Estación Maestra* se refiere a los servidores y al software responsable para comunicarse con el equipo del campo (RTUs, PLCs, etc) en estos se encuentra el software HMI. En un sistema SCADA pequeño, la estación maestra puede estar en un solo computador, A gran escala, en los sistemas SCADA la estación maestra puede incluir muchos servidores, aplicaciones de software distribuido, y sitios de recuperación de desastres.

La *Infraestructura de Comunicación* se refiere a que los sistemas SCADA pueden comunicarse vía serial, red, servicios de tecnologías tipo WAN y hasta enlaces telefónicos o satelitales. Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere un medio de comunicación. Existen diversos medios que pueden ser cableados o no cableados.

## 2.2. DISEÑO DE LA UNIDAD REMOTA

### 2.2.1. RECOPILACIÓN DE DATOS PARA MONITOREO

Los datos del prototipo de subestación eléctrica que necesitan ser visualizados en la PC son: estado de los seccionadores y disyuntores, corriente, voltaje y potencia de cada uno de los ramales, condición de los pulsantes simuladores de sobrecorriente, estado de las alarmas y pulsantes simuladores de entradas externas.

A continuación se detalla la recopilación de cada uno de los datos adquiridos en el sistema:

#### 2.2.1.1. Acondicionamiento de potenciómetros

Cada uno de los relés de protección de sobrecorriente y falla a tierra que conforman el módulo de simulación tienen sus respectivos potenciómetros simuladores de corriente, tanto de línea como de neutro, mientras que, el relé de protección de sobre-frecuencia presenta dos potenciómetros los cuales simulan el voltaje de entrada para cada una de las líneas de distribución así como la frecuencia de operación del sistema. El acondicionamiento de cada uno de ellos se lo realizó considerando el voltaje en sus entradas, los cuales se detallan a continuación:

##### *2.2.1.1.1. Potenciómetros SPAD 346C, SPAC 315C, SPAJ 144C y SPAS 348C*

En los potenciómetros de estos relés, con los cuales se simula la variación de corriente en las líneas se tiene la forma de onda mostrada en la Figura 2.2. para su máxima variación.

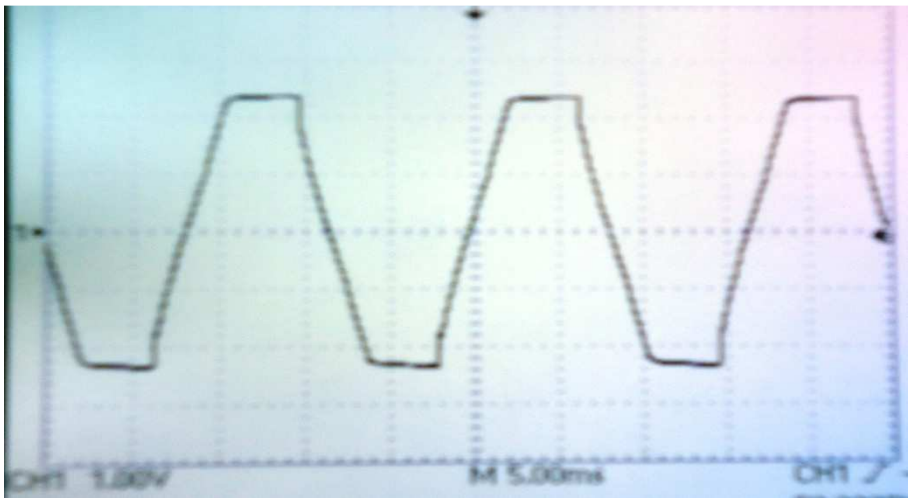


Figura 2.2Voltaje de entrada en los potenciómetros.

El circuito de acondicionamiento a implementarse es el siguiente:

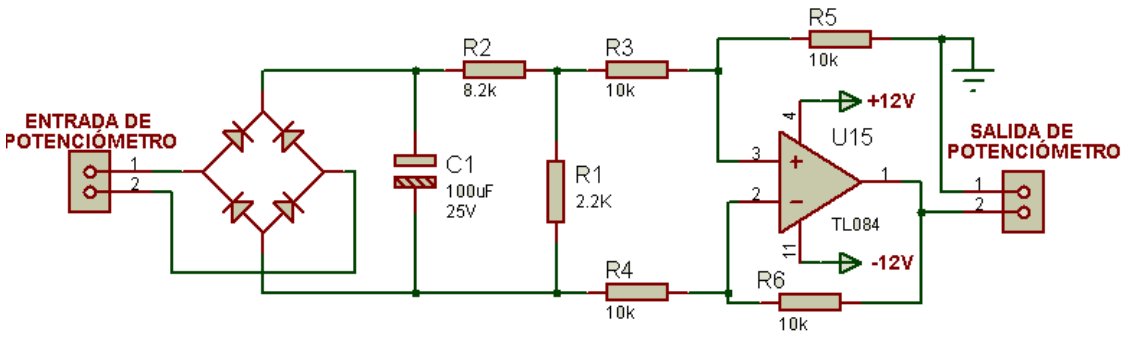



Figura 2.3 Circuito de acondicionamiento para el monitoreo de las corrientes.

Para el acondicionamiento de la señal es necesario aplicar un rectificador de voltaje. Para reducir el rizado de voltaje, se incluye un capacitor suficientemente grande, con lo cual se obtiene una mayor aproximación a un $V_{DC}$ completamente continuo. Asumiremos un rizado de voltaje del 2% del voltaje de salida del rectificador, T=17ms y una $R_L$=10k,lo suficientemente grande para que tienda a ser un circuito abierto.

Sabiendo esto, el valor del capacitor se obtiene de la siguiente expresión:

$$\Delta V = V_m\left(1 - e^{-T/(C1*R_L)}\right) \quad (2.1)$$

Por definición:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_m} \quad (2.2)$$

De donde se obtiene:

$$C_1 = -\frac{T}{R_L * \ln(1-\gamma)} \quad (2.3)$$

$\gamma$: Rizado de voltaje.

$R_L$: Resistencia de carga.

T: Periodo de la señal.

$V_m$: Voltaje máximo.

$\Delta V$: Incremento de voltaje.

$$C_1 = -\frac{17ms}{10K\Omega * \ln(1 - 0.02)}$$

$$C_1 = 85uF$$

Mientras mayor es la capacitancia se asegura una mayor estabilidad de la señal, en consecuencia, la capacitancia a utilizarse será de $100uF$.

El $V_{DC}$, en la carga, obtenido es de 21.5V, por tal motivo, es necesario un divisor de voltaje para obtener los 5V requeridos para la entrada al conversor A/D del microcontrolador.

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{in} \qquad (2.4)$$

Donde:

$V_{out}$: Voltaje a la salida del capacitor.

$V_{in}$: Voltaje a la salida del rectificador.

$R_1,\ R_2$: Resistencias del divisor de voltaje.

$$5V = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * 21.5V$$

$$R_2 = 3.3R_1$$

$$R_1 = 2.2k\Omega$$

$$R_2 = 7.3k\Omega$$

Así, $R_1 = 2.2k\Omega$ y por motivo de disponibilidad en el mercado$R_2 = 8.2k\Omega$.

La nueva $R_L$ es igual a $10.4k\Omega$, la cual se aproxima a la resistencia de carga asumida para el diseño, es decir, el valor del capacitor calculado anteriormente, no se verá afectado, ya que la capacitancia y la $R_L$ mantienen una relación inversamente proporcional como se puede observar en la ecuación 2.3.

Los voltajes obtenidos en los potenciómetros no se encuentran referidos a la tierra del módulo, sino, a una referencia distinta, dado que, para enviar la señal al microcontrolador es necesario que se encuentren al mismo nivel de referencia, se colocó una etapa de amplificación con una ganancia (G) de 1 al final del acondicionamiento. El amplificador que es útil para esta aplicación es el diferencial, se empleó el amplificador operacional TL084 para este diseño, en la Figura 2.4. se indica la distribución de pines y en la Tabla 2.1 las características eléctricas del TL084. En el ANEXO B se puede apreciar con más detalle las características de este amplificador operacional.

| **Características Amplificador Operacional TL 084** | |
|---|---|
| Ganancia | 250 |
| Ancho de banda | 500KHz |
| Impedancia de entrada | 10MΩ |
| Voltaje máximo de polarización | 18V |
| Corriente máxima de salida | 40mA |

Tabla 2.1. Características eléctricas del A.O. TL084

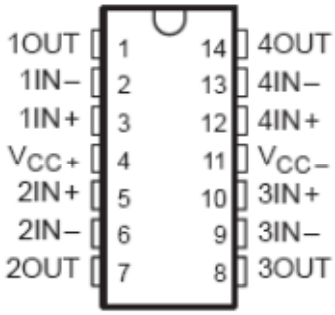



Figura 2.4 Distribución de pines del TL084

Si;

$$R_3 = R_4$$

$R_5 = R_6$

Entonces se tiene:

$$V_{out} = \frac{R_6}{R_4}(V_2 - V_1) \qquad (2.5)$$

Se necesita G=1, así que, $R_6 = R_4$

Donde:

$V_{out}$: Voltaje a la salida del amplificador.

$V_2 - V_1$: Voltaje a la salida de la etapa de rectificación.

G: Ganancia empleada en el amplificador.

Los valores a utilizarse serán: $R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 10K\Omega$.

Los voltajes diferenciales en los terminales de los potenciómetros I e $I_0$ para el relé REF543, son de 155mVac y 74mVac respectivamente; y para el potenciómetro U del SPAF 340C 1.6Vac, para sus valores máximos, por tanto, se implementó primeramente una etapa de amplificación; considerando que es necesaria una amplificación precisa ésta se la realizó con un amplificador de instrumentación AD620 posterior a esta etapa se añadió una etapa de rectificación. El circuito a implementarse es el de la Figura 2.5.

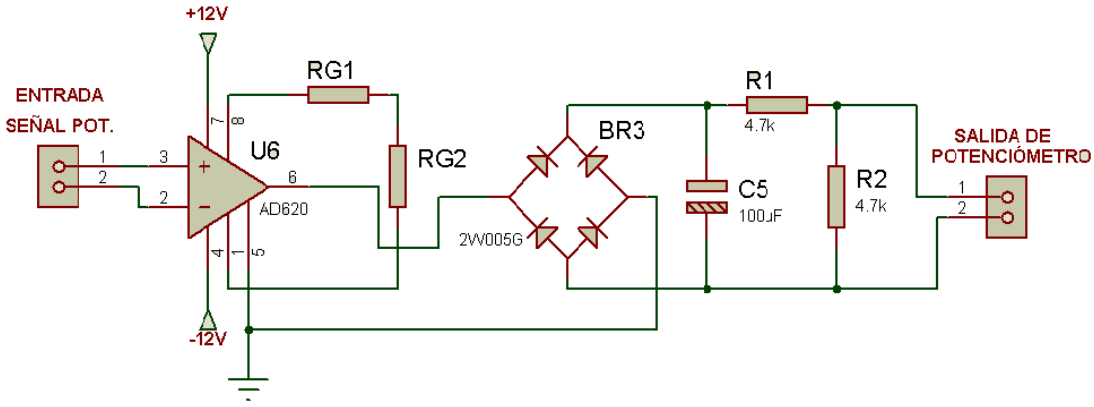



Figura 2.5 Circuito de acondicionamiento para el monitoreo de las corrientes del SPAF 340C y REF 543.

El AD620 es un amplificador de instrumentación (A.I.) que permite configurar la ganancia, entre 1 y 100, mediante una resistencia externa que es colocada entre los pines 1 y 8. La distribución de pines se muestra en la Figura 2.6 y sus características eléctricas en la Tabla 2.2. (ANEXO C).

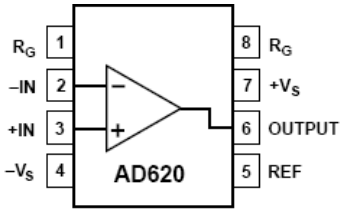



Figura 2.6. Distribución de pines AD620

| Características AD620 | |
|---|---|
| Ganancia | 1-100 |
| Ancho de banda | 120KHz |
| Impedancia de entrada | 10MΩ |
| Voltaje máximo de polarización | ±18V |

Tabla 2.2. Características eléctricas del AD620

*2.2.1.1.2. Potenciómetros del REF 543*

Considerando una ganancia de 60 para el potenciómetro I. El valor de la resistencia externa $R_G$, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{G-1} \quad (2.6)$$

$R_G$: Resistencia externa al AD620.

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{60-1}$$

$$R_G = 837.28\Omega$$

Para obtener una ganancia aproximada a la requerida se colocó dos resistencias en serie $R_{G1}= 820\Omega$ y $R_{G2}= 20\Omega$ con lo cual se logro una aproximación a la $R_{Gtotal}$ calculada.

En lo referente al potenciómetro $I_0$ se aplicó una G de 95. Su $R_G$ se la calculó a partir de la ecuación (2.6):

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{G-1}$$

$R_G$: Resistencia externa al AD620.

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{95-1}$$

$$R_G = 525.53\Omega$$

Por tanto, $R_{G1} = 330\Omega$y$R_{G2} = 200\Omega$.

En la etapa de rectificación, para I e Io, asumiremos un rizado de voltaje del 2% del voltaje de salida del rectificador, T=17ms y una $R_L$=10k. Sabiendo esto el valor de C se lo calcula a partir de la ecuación (2.3):

$$C = -\frac{T}{R_L * \ln(1-\gamma)}$$

$\gamma$: Rizado de voltaje.

$R_L$: Resistencia de carga.

T: Periodo de la señal.

$$C = -\frac{17ms}{10K\Omega * \ln(1-0.02)}$$

$$C = 85uF$$

Por tanto, el valor de C será de $100uF$ para ambos diseños.

El $V_{DC}$, en la carga, obtenido es de 10V, por tal motivo, es necesario un divisor de voltaje para obtener los 5V requeridos para la entrada al conversor A/D del microcontrolador. Emplearemos la ecuación (2.4):

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{in}$$

Donde:

$V_{out}$: Voltaje a la salida del capacitor.

$V_{in}$: Voltaje a la salida del rectificador.

$R_1,\ R_2$: Resistencias del divisor de voltaje.

$$5V = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * 10V$$

$$R_2 = 0.5R_1$$

$$R_1 = 4.7K\Omega$$

$$R_2 = 4.7K\Omega$$

En consecuencia, $R_1 = 4.7K\Omega$ y $R_2 = 4.7K\Omega$.

La nueva $R_L$ es igual a 9.4kΩ, sin embargo, esto no afecta el valor del capacitor obtenido anteriormente.

*2.2.1.1.3. Potenciómetro U DEL SPAF 340C*

Considerando el voltaje de entrada de 1.6 Vac, se empleará una ganancia de 5.

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{G - 1}$$

$R_G$: Resistencia externa al AD620.

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{5 - 1}$$

$$R_G = 12.35k\Omega$$

Por disponibilidad emplearemos una $R_G = 12k\Omega$.

En la etapa de rectificación utilizaremos los valores calculados anteriormente. Es decir, el valor de C es de$100uF$.

El $V_{DC}$, en la carga, obtenido es de 8V, entonces, es necesario un divisor de voltaje para obtener los 5V requeridos para la entrada al conversor A/D del microcontrolador. Emplearemos la ecuación (2.4):

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{in}$$

Donde:

$V_{out}$: Voltaje a la salida del capacitor.

$V_{in}$: Voltaje a la salida del rectificador.

$R_1,\ R_2$: Resistencias del divisor de voltaje.

$$5V = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * 8V$$

$$R_2 = 0.6R_1$$

$$R_1 = 6.8K\Omega$$

$$R_2 = 4.08K\Omega$$

Se empleó, $R_1 = 6.8K\Omega$y $R_2 = 4.7K\Omega$.

Por último, para la eliminación del ruido existente en todas las entradas análogas se implementó un filtro pasa-bajo.

*2.2.1.1.4. Filtro pasa-bajo*

El circuito a implementarse para esta aplicación es mostrado en la Figura 2.7.

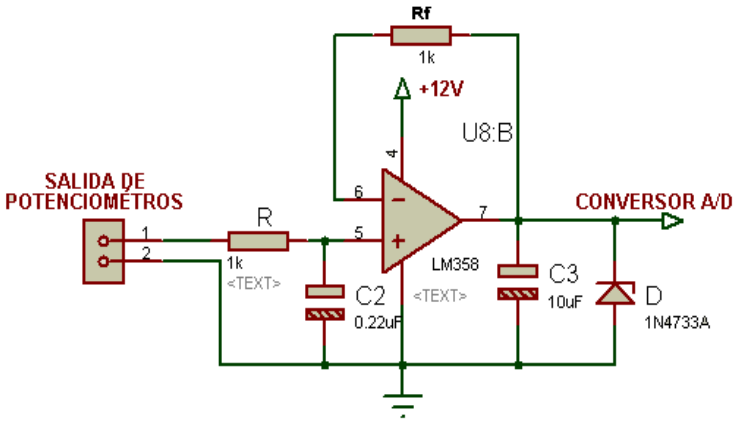



Figura 2.7 Filtro pasa-bajo

Se empleó un amplificador operacional LM358 para este diseño. Su distribución de pines se muestra en la Figura 2.8. y sus características en el ANEXO D.

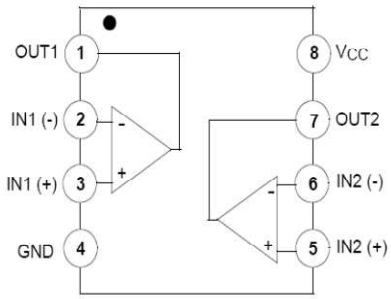



Figura 2.8 Distribución de pines del LM358

Un filtro pasa-bajo permite el paso de frecuencias bajas desde una frecuencia de cero hasta una determinada, denominada frecuencia de corte.

Para nuestro diseño se empleó una R= 1kΩ con una frecuencia de corte (fc) igual a 1KHz. La siguiente ecuación nos permite calcular el valor del capacitor utilizado:

$$C_2 = \frac{1}{2\pi * f_c * R} \qquad (2.7)$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi * 1KHz * 1k\Omega}$$

$$C_2 = 0.15\mu F$$

Mientras mayor sea el valor de la capacitancia, menor será la frecuencia de corte, lo que asegura la estabilidad de la señal. Por eso se escogió un valor de capacitancia comercial de 0.22$\mu F$.

El capacitor de 10 $\mu F$ añadido al final del filtro es para asegurar la eliminación de cualquier tipo de rizado, y el zéner de 5.1 V limita el voltaje hacia el pin del microcontrolador, en caso de existir algún daño en los amplificadores operacionales si se llegaran a saturar.

#### *2.2.1.1.5. Compensación del Voltaje offset de error*

Para compensar la pérdida de voltaje debido a la zona muerta que presenta el ATMEGA 164p, para valores menores a 0.5 V, fue necesario agregar un sumador no inversor, únicamente para el potenciómetro de variación de corriente en el primario del SPAD 346C, y los dos potenciómetros de variación de corriente de fase y corriente del Neutro del relé de protección REF 543.

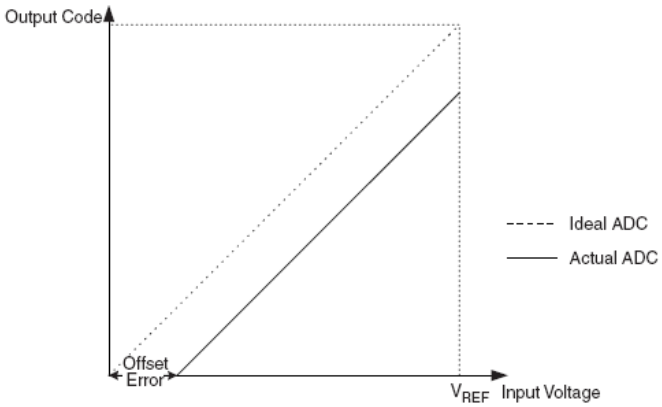



Figura 2.9 Voltaje offset de error

El circuito a implementarse es el siguiente:

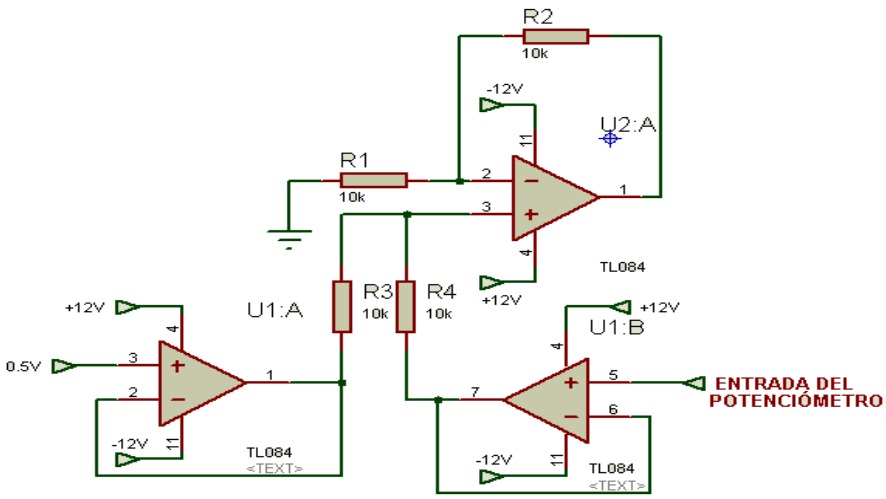



Figura 2.10 Circuito de compensación para error offset

Donde,

$$R_2 = R_1 * (n-1) (2.8)$$

Asumimos una $R_1 = 10\ K\Omega$, n toma el valor de 2, en vista de que son 2 entradas al sumador. Así, se obtiene $R_2 = 10K\Omega$.

Debido a que las fuentes no son ideales es necesario realizar acople de impedancias con un seguidor, antes de que la señal ingrese al sumador y colocar una resistencia de $10K\Omega$ a la salida de éste.

### 2.2.1.2. Acondicionamiento de disyuntores, alarmas, pulsantes y entradas externas

#### *2.2.1.2.1. Pulsantes del REF 543*

El circuito a implementarse para los pulsantes del REF 543 se lo muestra a continuación:

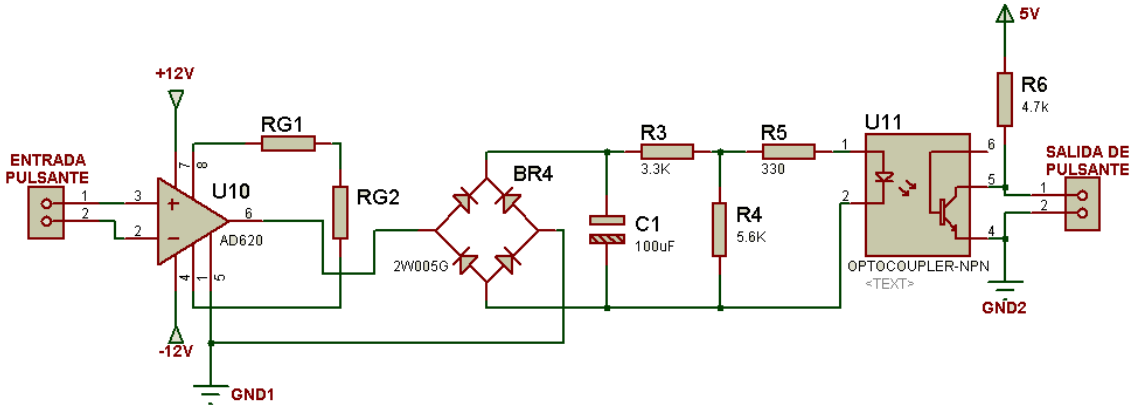



Figura 2.11 Circuito de acondicionamiento de pulsantes del REF 543.

Para el acondicionamiento de estos elementos fue necesaria la implementación de tres etapas. Debido a que el voltaje en sus terminales, es diferencial, en el orden de los mV, primeramente se diseñó una etapa de amplificación, con la utilización de un amplificador de instrumentación AD620. Tenemos un V=250mVac y se considera una ganancia de 35.

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{G-1}$$

$R_G$: Resistencia externa al AD620.

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{35-1}$$

$$R_G = 1452.94\Omega$$

En consecuencia, $R_G = 1.5k\Omega$.

En la etapa de rectificación, asumiremos las consideraciones empleadas para el diseño del acondicionamiento de los potenciómetros del REF543, un rizado de voltaje del 2% del voltaje de salida del rectificador, T=17ms y una $R_L$=10k.

Por tanto, el valor del capacitor a utilizarse será de $100\mu F$.

El $V_{DC}$, en la carga, obtenido es de 8.5V, por tal motivo, es necesario un divisor de voltaje para obtener los 5V requeridos para la entrada al conversor A/D del microcontrolador. Se empleará la ecuación (2.4):

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{in}$$

Donde:

$V_{out}$: Voltaje a la salida del capacitor.

$V_{in}$: Voltaje a la salida del rectificador.

$R_1,\ R_2$: Resistencias del divisor de voltaje.

$$5V = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * 8.5V$$

$$R_2 = 0.7R_1$$

$$R_1 = 5.6K\Omega$$

$$R_2 = 3.45K\Omega$$

Los valores a emplearse serán de $R_1 = 5.6\ k\Omega$ y $R_2 = 3.3k\Omega$.

La última etapa, de aislamiento, se la explicará posteriormente.

*2.2.1.2.2. Pulsantes del SPAC 315C, SPAJ 144C y SPAS 348C*

La forma de onda y valores obtenidos para los pulsantes de estos relés son los mismos que se obtuvo para los potenciómetros, es decir, los cálculos obtenidos anteriormente también serán empleados en este diseño, con la diferencia que aquí no se empleará ningún divisor de voltaje.

Tenemos: $R_L = 4.7K\Omega$ y $C_1 = 100\mu F$.

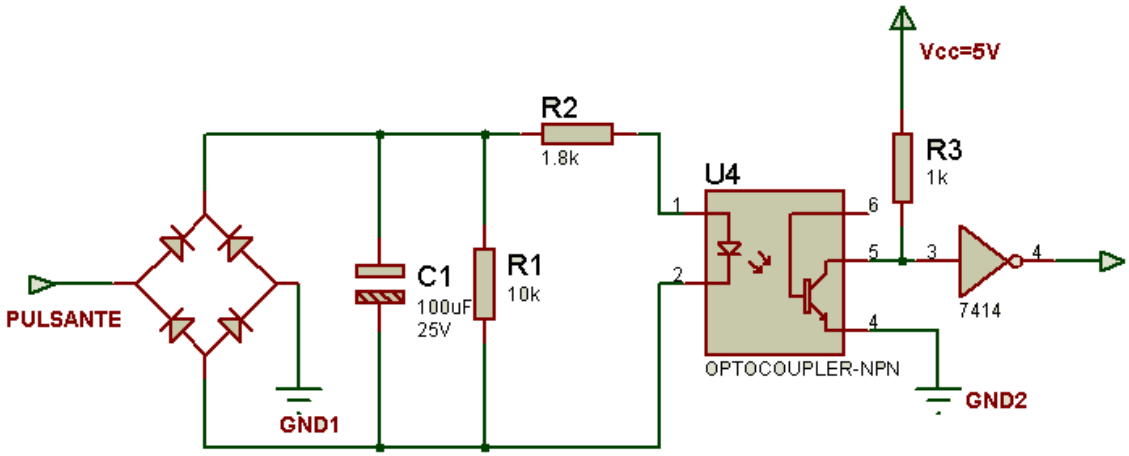



Figura 2.12 Circuito de acondicionamiento para los pulsantes del SPAC 315C, SPAJ 144C Y SPAS 348C

El diseño de la segunda etapa, se la explicará posteriormente.

### *2.2.1.2.3. Alarmas*

Para el acondicionamiento de las alarmasde todos los relés se consideró, por facilidad de conexión, el voltaje existente en el led adicionado al voltaje de la resistencia limitadora de corriente. Se tiene un voltaje máximo ($V_m$) de 20Vdc. y su circuito de acondicionamiento es el mostrado en la Figura 2.12. posteriormente se explicará el diseño.

### *2.2.1.2.4. Disyuntores*

Con respecto a los disyuntores o también denominados interruptores automáticos, se tomó en cuenta los mini relés existentes en el módulo, el voltaje existente en las borneras de la bobina que es de 20Vdc,el circuito a implementarse para su acondicionamiento será el mismo empleado para las alarmas. Figura 2.12.

*2.2.1.2.5. Seccionadores, Fallas a tierra y entradas externas del SPAD 346C, SPAS 348C y REF 543*

El SPAC 315C y el REF 543, además, de los disyuntores para permitir apertura y cierre de las líneas, presentan seccionadores y fallas a tierra, los cuales son simulados con interruptores sobre los cuales tenemos 90Vdc.

Los relés de protección SPAD 346, SPAS 348C y REF543 presentan entradas externas denominadas BS, que son pulsantes de una posición con retorno, adicional a esto, el REF543 posee otras entradas externas denominadas INPUTS, sobre los cuales tenemos $90V_{DC}$. El acondicionamiento se lo realizó de la siguiente manera, se empleó un divisor de voltaje a fin de no provocar calentamiento en las resistencias.

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{in}$$

Donde:

$V_{out}$: Voltaje a la salida del capacitor.

$V_{in}$: Voltaje a la salida del rectificador.

$R_1,\ R_2$: Resistencias del divisor de voltaje.

$$20V = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * 90V$$

$$R_2 = 3.5R_1$$

$$R_1 = 27K\Omega$$

$$R_2 = 94.5K\Omega$$

En consecuencia, $R_1 = 27K\Omega$ y$R_2 = 100K\Omega$.

Para que el microcontrolador pueda receptar las señales provenientes del módulo sin correr el riesgo de ser afectado por corrientes elevadas, o elevaciones súbitas de voltaje, y para evitarnos dificultades debido a las referencias, se empleó la

técnica conocida como opto-aislamiento, la cual se basa en la emisión de luz por dispositivos semiconductores cuando atraviesan por ellos determinada intensidad de corriente. Para esto, se empleó el optoacoplador 4N25. La Figura 2.13 muestra la distribución de pines del 4N25 y en la Tabla 2.3 se muestra sus características eléctricas, además, en el ANEXO E se puede observar detalladamente todas sus características.

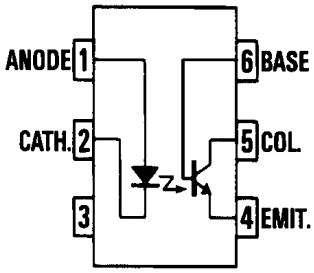



Figura 2.13 Distribución de pines del 4n25

| PARÁMETRO | SIMB. | MIN. | NOM. | MÁX. | UNID. |
|---|---|---|---|---|---|
| **LED DE ENTRADA** | | | | | |
| Voltaje Forward ($I_F$=10mA) | $V_F$ | - | 1.15 | 1.5 | V |
| Corriente de fuga inversa($V_R$=3V) | $I_R$ | - | - | 100 | µA |
| Capacitancia | $C_J$ | - | 18 | - | pF |
| **TRANSISTOR DE SALIDA** | | | | | |
| Corriente oscura colector-emisor | $I_{CEO}$ | - | 1 | 50 | nA |
| Corriente oscura colector-base | $I_{CBO}$ | - | 0.2 | - | nA |
| Voltaje de ruptura colector-emisor | $V_{(BR)CEO}$ | 30 | 45 | - | V |
| Voltaje de ruptura colector-base | $V_{(BR)CBO}$ | 70 | 100 | - | V |
| Voltaje de ruptura emisor-colector | $V_{(BR)ECO}$ | 7 | 7.8 | - | V |
| Ganancia de corriente DC | $h_{FE}$ | - | 500 | - | - |
| Capacitancia colector-emisor | $C_{CE}$ | - | 7 | - | pF |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Capacitancia colector-base | $C_{CB}$ | - | 19 | - | pF |
| Capacitancia emisor-base | $C_{EB}$ | - | 9 | - | pF |
| **ACOPLAMIENTO** | | | | | |
| Corriente de salida del colector | $I_C$(CTR) | 2(20) | 7(70) | - | mA(%) |
| Voltaje de saturación colector-emisor | $V_{CE(sat)}$ | - | 0.15 | 0.5 | V |
| Tiempo de encendido | $t_{on}$ | - | 2.8 | - | µs |
| Tiempo de apagado | $t_{off}$ | - | 4.5 | - | µs |
| Tiempo de subida | $t_r$ | - | 1.2 | - | µs |
| Tiempo de bajada | $t_f$ | - | 1.3 | - | µs |
| Voltaje de aislamiento | $V_{ISO}$ | 7500 | - | - | Vac(pk) |
| Resistencia de aislamiento | $R_{ISO}$ | $10^{11}$ | - | - | Ω |
| Capacitancia de aislamiento | $C_{ISO}$ | - | 0.2 | - | pF |

Tabla2.3 Características eléctricas del 4N25

Dado que tanto para pulsantes, alarmas y disyuntores, tenemos un voltaje de entrada de 20Vdc, para los seccionadores y entradas externas, sobre $R_1$también se tiene igual voltaje, el acondicionamiento será el mismo para todos estos elementos.

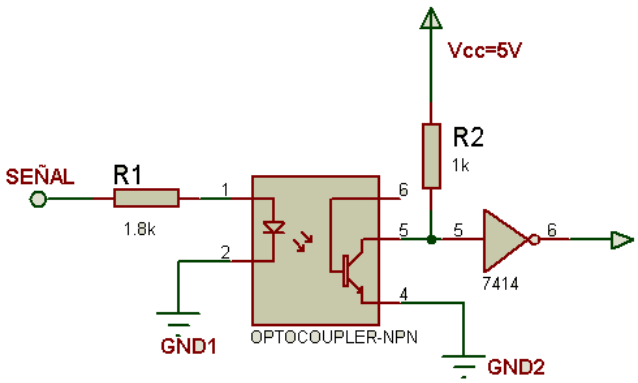



Figura 2.14 Circuito de aislamiento para las señales digitales

Para un $I_f$=10mA y $V_f$=1.15V, valores típicos del 4N25.

El valor de $R_1$ ese calcula de la siguiente manera:

$$R_1 = \frac{V_m - V_f}{I_f} \qquad (2.9)$$

Donde;

$V_m$: Voltaje de entrada al opto- acoplador.

$V_f$: Voltaje inverso.

$I_f$: Corriente inversa.

$$R_1 = \frac{20V - 1.15V}{10mA}$$

$$R_1 = 1.89K\Omega$$

Por motivo de disponibilidad se utilizó una resistencia de $1.8\ K\Omega$.

Para la selección adecuada de la resistencia se debe considerar la potencia consumida por la misma, la cual se obtiene de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{V^2}{R} \qquad (2.10)$$

$P$: Potencia.

$V$: Voltaje.

R: Resistencia.

$$P = \frac{(20V)^2}{1.8K\Omega}$$

$$P = 0.23W$$

Para evitar calentamiento de las resistencias, lo cual podría afectar al sistema, se consideró un factor de seguridad de 25%.

$$P = 0.23W * 1.25$$

$$P = 0.29W$$

Por disponibilidad se utilizó resistencias de 1.8KΩ de 1/2W.
Para el cálculo de $R_2$ tenemos:

$$CTR = \frac{I_c}{I_f} * 100\% \qquad (2.11)$$

Considerando, los valores anteriores y con un voltaje colector - emisor, $V_{CE}$=10V, para estos valores tenemos un CTR típico del 70% entonces:

$I_c$=7mA

Por tanto, $R_2$ será:

$$R_2 = \frac{V_{CE}}{I_C}$$

$V_{CE}$: Voltaje colector-emisor.
$I_C$: Corriente del colector.

$$R_2 = 1428.6k\Omega$$

Para asegurar la activación del elemento $R_2 = 4.7k\Omega$.

Finalmente, para asegurarse que los niveles de voltaje se mantengan en $0_L$ o en $1_L$ se añadió al circuito un Smitt-trigger, a la salida del opto-acoplador.

El 74LS14 es un circuito integrado que dispone en su interior de 6 compuertas inversoras trigger Schmitt (ANEXO F).

Los umbrales de disparo para el 74LS14 son de 0.8 y 1.6 voltios, esto quiere decir que cuando la señal en la entrada del disparador supere los 1.6 voltios se tomará como un 1 lógico en la entrada y la salida al ser inversa tomará el nivel lógico bajo o 0 voltios, si el voltaje de entrada baja por debajo de 0.8 voltios se entenderá como un 0 lógico en la entrada con lo que la salida obtenida será un nivel lógico 1,este integrado es muy práctico porque permite la eliminación del ruido asegurándonos obtener niveles TTL.

Se empleó este integrado a la salida de todos los opto-transistores empleados en el acondicionamiento.

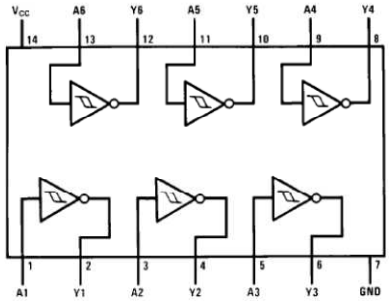



Figura2.15 Distribución de pines del 74LS14

| PARÁMETRO | SIMB. | MIN. | NOM. | MÁX. | UNID. |
|---|---|---|---|---|---|
| Voltaje de alimentación | Vcc | 4.75 | 5 | 5.25 | V |
| Voltaje umbral positivo | VT+ | 1.4 | 1.6 | 1.9 | V |
| Voltaje umbral negativo | VT- | 0.5 | 0.8 | 1 | V |
| Histéresis de entrada | HYS | 0.4 | 0.8 | - | V |
| Corriente de salida en alto | $I_{OH}$ | | -- | -0.4 | mA |
| Corriente de salida en bajo | $I_{OL}$ | - | - | 8 | mA |
| Temperatura de trabajo | $T_A$ | 0 | - | 70 | ºC |

Tabla 2.4 Características eléctricasdel 74LS14

*2.2.1.2.6. Entradas externas "FALLA DEL CIRCUITO DE MEDICIÓN" del SPAC 315C y SPAJ 144C*

Los relés SPAC 315C y SPAJ 144C, presentan entradas en caso de falla del circuito de medición, las cuales el operador las activa manualmente.

Para su acondicionamiento se implementó el circuito mostrado en la Figura 2.16.

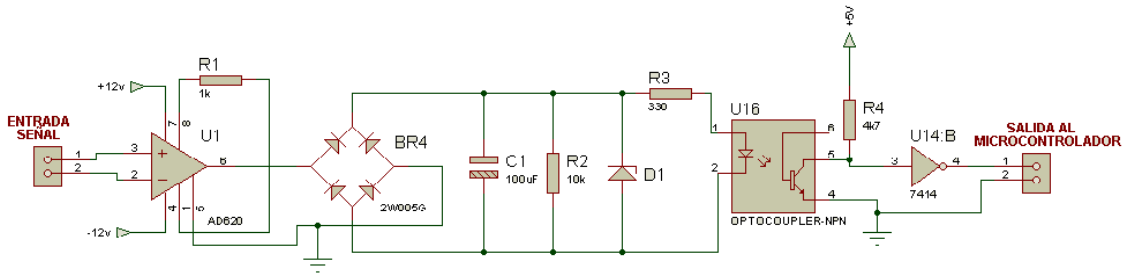



Figura 2.16 Circuito de acondicionamiento para las entradas de Falla de circuito de medición

Sobre los terminales de estos pulsantes tenemos 0V al momento de estar sin ser presionado, pero cuando se lo presiona este valor varía de 250mV a 6.6Vac, dependiente de la posición del potenciómetro, por tanto, para su acondicionamiento se implementó una primera etapa de amplificación con una G=25, con la finalidad de amplificar el voltaje más bajo a 6Vac. Para lo cual, se empleó la siguiente ecuación (2.8):

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{G-1}$$

$R_G$: Resistencia externa del AD620.

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{25-1}$$

$$R_G = 2.06\ K\Omega$$

Seguido al circuito de amplificación, se implementó un rectificador de voltaje. Asumiremos un rizado de voltaje del 2% del voltaje de salida del rectificador, T=17ms y una $R_L$=10kΩ. Considerando las especificaciones mencionadas, el valor del capacitor se obtiene de la ecuación 2.2:

$$C_1 = -\frac{T}{R_L * \ln(1-\gamma)}$$

$\gamma$: Rizado de voltaje.

$R_L$: Resistencia de carga.

T: Periodo de la señal.

$$C_1 = -\frac{17ms}{10K\Omega * \ln(1 - 0.02)}$$

$$C_1 = 85uF$$

Con el propósito de asegurar la eliminación de componente de ac tenemos:$C_1 = 100uF$.

Se colocó en paralelo a $R_2$ un zéner de 5.1 V, con la finalidad de limitar el voltaje a la a la entrada del opto-transistor, para que sea constante e independiente de la variación de voltaje que se tiene en los potenciómetros.

El voltaje a la salida del diodo zéner, es decir, el voltaje$V_m$ es de 5V. Para el diseño del circuito de aislamiento se consideró un $I_f$=10mA y $V_f$=1.15V, valores típicos del 4N25.

Para el cálculo de $R_4$ se aplica la ecuación 2.2.

$$R_4 = \frac{V_m - V_f}{I_f}$$

Donde;

$V_m$: Voltaje de entrada al opto- acoplador.

$V_f$: Voltaje inverso.

$I_f$: Corriente inversa.

$$R_4 = \frac{5V - 1.15V}{10mA}$$

$$R_4 = 385\Omega$$

Por motivo de disponibilidad se utilizó una resistencia de $330\Omega$.

Para la selección adecuada de la resistencia se debe considerar la potencia consumida por la misma, la cual se obtiene de la ecuación 2.8.

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$P$: Potencia.

$V$: Voltaje.

R: Resistencia.

$$P = \frac{(5V)^2}{330\Omega}$$

$$P = 0.08W$$

Para evitar calentamiento de las resistencias, lo cual podría afectar al sistema, se consideró un factor de seguridad de 25%.

$$P = 0.08W * 1.25$$

$$P = 0.09W$$

Es decir, el valor de $R_4$ será de 330Ω a 1/4W.

Para el cálculo de $R_5$ se tiene:

$$CTR = \frac{I_c}{I_f} * 100\%$$

Considerando, los valores anteriores y con un voltaje $V_{CE}$=10V, para estos valores se tiene un CTR típico del 70% entonces:

$I_c$=7mA

Por tanto, $R_5$ será:

$$R_5 = \frac{V_{CE}}{I_C}$$

$V_{CE}$: Voltaje colector-emisor.

$I_C$: Corriente del colector.

$$R_5 = 1428.6k\Omega$$

Para asegurar la activación del elemento y consumo de menor corriente $R_5 = 4.7k\Omega$

### 2.2.2. CONTROL DE LOS DISYUNTORES

Para la etapa de control de los disyuntores de línea de la S/E se diseña un circuito basado en el envío de estados lógicos por medio del microcontrolador a dos relés (Km y Kp) que mediante la lógica adecuada permiten cambiar desde la HMI el estado de los disyuntores, energizando o desenergizando la bobina de los contactores que controlan localmente a los disyuntores.

Cuando se selecciona la acción “Control” desde la HMI actúa el contactor denominado Km el cual bloquea la operación manual de todos los disyuntores del módulo simulador, posteriormente el microcontrolador procede a determinar la última posición del disyuntor (Abierto o cerrado), cuando el operador selecciona en la HMI el disyuntor sobre el cual se va a realizar la apertura o cierre, el microcontrolador activa a Kp en donde los contactos del mismo se han dispuesto de manera que permita realizar el cambio de estado requerido. Este cambio de estado se refleja en el módulo simulador de manera que la visualización de los parámetros de voltaje y corriente que muestra cada relé varía según sea el estado del disyuntor.

Cuando se requiere realizar el control local únicamente el microcontrolador desactiva a Km enviando el estado lógico “0”.

#### 2.2.2.1. Diseño del circuito de Control

Se emplearon dos relés por cada relé de protección digital en el módulo, y además el relé máster que realiza el bloqueo del módulo simulador durante el control remoto. Km y Kp son relés electromecánicos de 5 Vdc con un par de contactos, un contacto normalmente cerrado (NC) y un contacto normalmente abierto (NA).

Se colocó un diodo en paralelo a la bobina del relé como protección, ya que al energizarse la bobina ésta almacena corriente en forma de campo magnético, la cual puede afectar a los elementos que pertenecen al mismo circuito en el cual se encuentra la bobina, para evitar esta corriente de rebote se utiliza un diodo de recuperación rápida 1N4047 polarizado inversamente con la finalidad de no permitir el paso de la corriente generada por la bobina, dejando solo conducir la corriente en un sentido. Para la energización de los relés se emplearon los transistores de señal 2N3904 que se comportan como interruptores comandados por el microcontrolador a través del terminal base de los mismos se envían los estados lógicos de activación y desactivación de los relés Km y Kp.

El circuito de control se situará en la salida del microcontrolador ATMEGA 164p comose indica en la Figura 2.17.

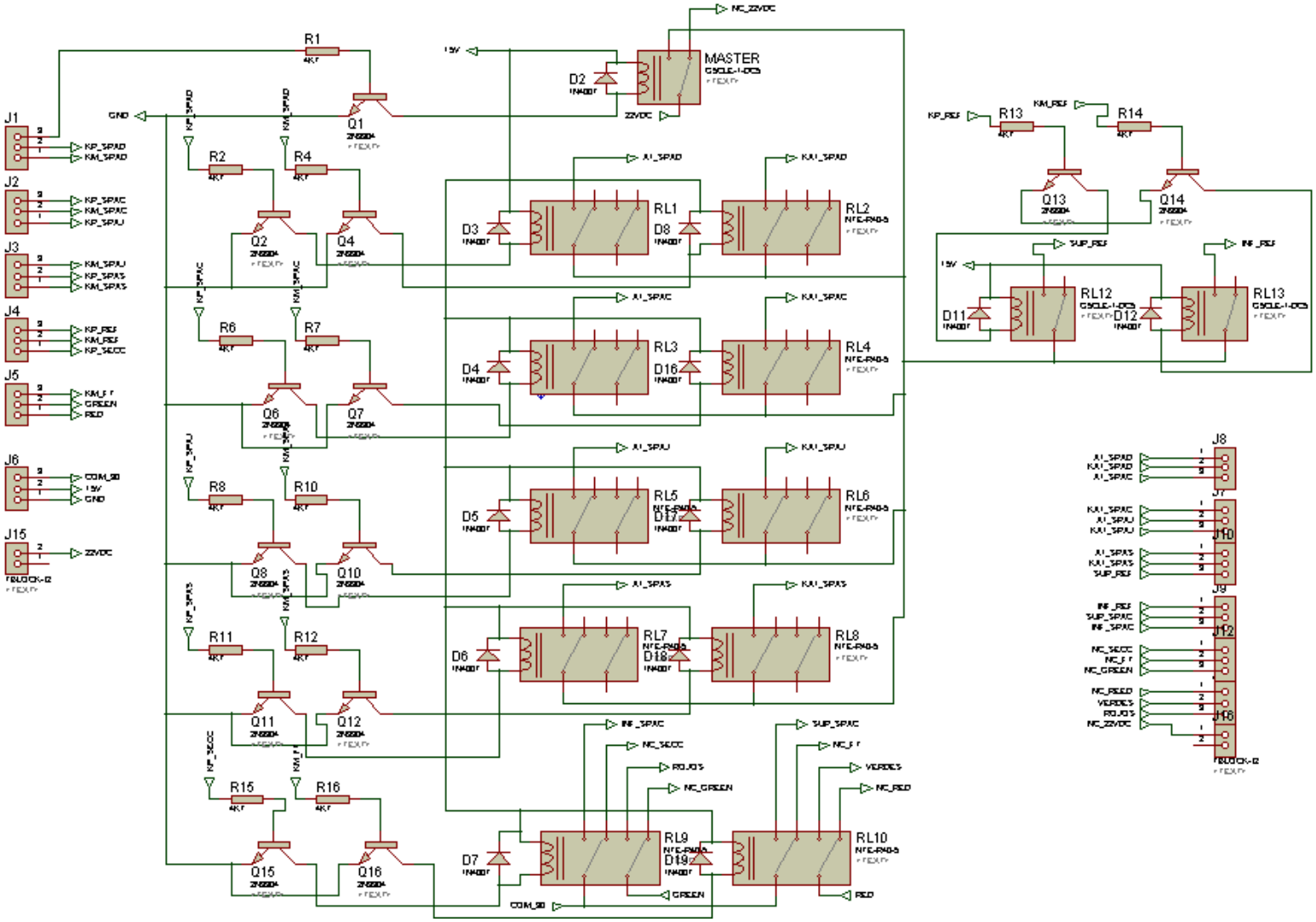



Figura 2.17 Diseño del Circuito de Control de los Disyuntores

### 2.2.3. ANÁLISIS DE PERIFÉRICOS

A continuación en la Tabla 2.5 se detalla el número de periféricos empleados para el monitoreo y control del módulo.

| DESCRIPCIÓN | PERIFÉRICOS |
|---|---|
| SPAD 346C | 3 potenciómetros (corrientes de línea y neutro). |
| | 1 pulsante de 2 posiciones con retorno (disyuntor). |
| | 5 pulsantes de 2 posiciones (entradas externas). |
| | 5 leds (alarmas indicadoras). |
| SPAF 340C | 2 potenciómetros (voltaje y frecuencia del sistema). |
| | 4 leds (alarmas indicadoras). |
| SPAC 315C | 2 potenciómetros (corrientes de línea y neutro). |
| | 1 pulsante de 2 posiciones con retorno (disyuntor). |
| | 2 interruptores (seccionador y falla a tierra). |
| | 4 leds (alarmas indicadoras). |
| | 6 pulsantes de 1 posición con retorno (sobrecorrientes en la línea, sobrecorrientes del neutro y entradas externas). |
| SPAJ 144C | 2 potenciómetros (corrientes de línea y neutro). |
| | 1 pulsante de 2 posiciones con retorno (disyuntor). |
| | 4 leds (alarmas indicadoras). |
| | 7 pulsantes de 1 posición con retorno (sobrecorrientes en la línea, sobrecorrientes del neutro y entrada externa). |
| SPAS 348C | 2 potenciómetros (corrientes de línea y neutro). |
| | 1 pulsante de 2 posiciones con retorno (disyuntor). |
| | 7 pulsantes de 2 posiciones (sobrecorrientes en la línea, sobrecorrientes |

| | |
|---|---|
| | del neutro y entrada externa). |
| | 4 leds (alarmas indicadoras). |
| REF 543C | 2 potenciómetros (corrientes de línea y neutro). |
| | 1 pulsante de 2 posiciones con retorno (disyuntor). |
| | 4 pulsantes de 2 posiciones (sobrecorriente en la línea y neutro). |
| | 9 interruptores (seccionadores, falla a tierra y entradas externas). |
| | 5 leds (alarmas indicadoras). |
| Comunicación Serial | 2 canales (Tx y Rx). |
| Control | 12 canales. |
| **TOTAL PERIFÉRICOS** | **98** |

Tabla 2.5 Análisis de periféricos

Debido a la gran cantidad de periféricos se plantea emplear dos microcontroladores ATMEGA 164p en la configuración de Modo extendido, la cual consiste en la utilización de drivers (buffers y latchs) que se comportan como unidades de memoria temporal. Se realizará la comunicación entre los microcontroladores en la configuración Master – Slave que se detalla en el capítulo 3.

### 2.2.4. DISEÑO DE LA UNIDAD REMOTA

La unidad remota está constituida por:

| CANTIDAD | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| 2 | Microcontroladores ATMEGA164p |
| 8 | Buffers 74LS244 |
| 2 | Demultiplexores 74LS138 |

| | |
|---|---|
| 1 | Acoplador de voltaje Max232 |

Tabla 2.6 Componentes Unidad Remota

### 2.2.4.1. MicrocontroladorATMEGA164p [4]

El ATMEGA164p es un microcontrolador de 8 bits, de baja potencia, montaje superficial, y alto desempeño con arquitectura del tipo RISC (Reduced Instructions Set Computer) la cual principalmente presenta las siguientes características fundamentales:

1. Instruccionesde tamaños fijos y presentados en un reducido número de formatos.
2. Sólo las instrucciones de carga y almacenamiento acceden a la memoria de datos.

Entre las principales características del ATMEGA 164p se destaca que posee 32 registros de propósito general, 32 lineas de I/O, 131 instrucciones de programación, contador en tiempo real (RCT) y demás características que se presentan en la Tabla 2.10 todo esto con una respuesta rápida y con bajo consumo de corriente (alrededor de 338 uA aproximadamente).

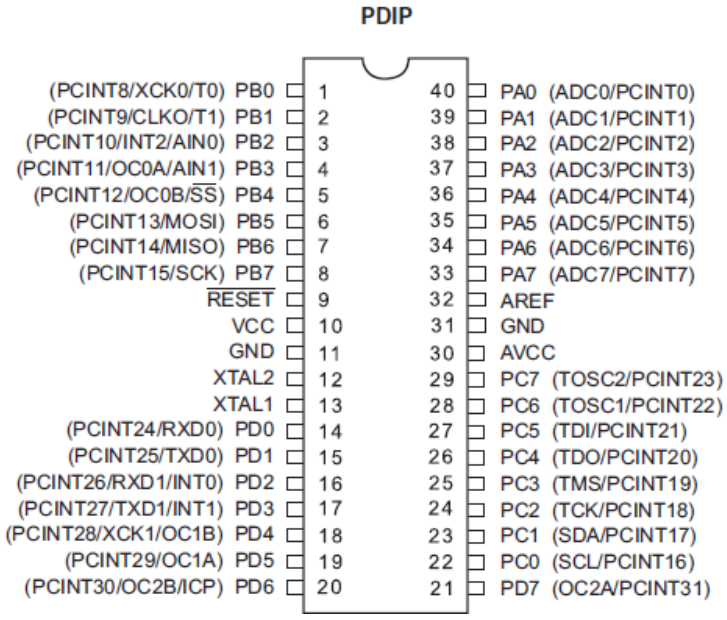


Figura 2.18 Distribución de Pines del Atmega164p

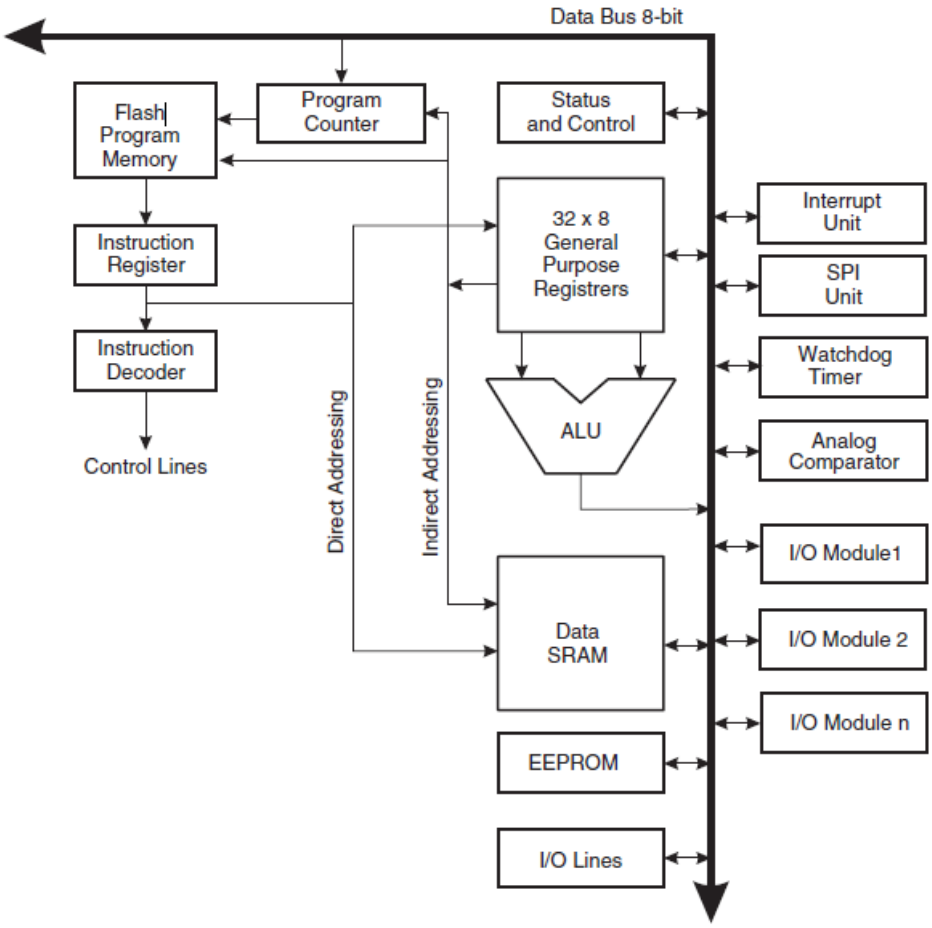



Figura 2.19 Arquitectura RISC de los microntroladores ATMEGA

| CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS | | |
|---|---|---|
| Fuente de voltaje | 2.7V<Vcc<5.5V | |
| Entrada baja de voltaje | -0.5 V<VIL<0.3Vcc | Excepto el pin XTAL1 y RESET |
| XTAL1 VIL | -0.5 V<VIL<0.1Vcc | |
| Entrada alta de voltaje | 0.6Vcc<VIH<Vcc+0.5V | Excepto el pin XTAL1 y RESET |
| XTAL1 VIH | 0.7Vcc<VIH<Vcc+0.5V | |
| RESET VIH | 0.9Vcc<VIH<Vcc+0.5V | |

| | | |
|---|---|---|
| | | |
| Salida baja de voltaje | VOL< 0.7V | Vcc=5V |
| | VOL< 0.5V | Vcc=3V |
| Salida alta de voltaje | VOH> 4.2V | Vcc=5V |
| | VOH> 2.3V | Vcc=3V |
| Resistencia pull-up RPU | 20KΩ<RPU<50 KΩ | Pines de entrada/salida |
| Resistencia pull-up RRST | 30KΩ<RPU<60 KΩ | Pin RESET |

| | | |
|---|---|---|
| **MEMORIA** | | |
| Flash | 16KB | 10 000 operaciones de lectura/escritura |
| EEPROM | 512B | 100 000 operaciones de lectura/escritura |
| SRAM | 1KB | Interna |
| **ESPECIFICACIONES** | | |
| Frecuencia del oscilador | | 0- 20MHz |
| Pines I/O | 32 | |
| Registros | 32 | Registros de propósito general |
| Interrupciones externas | 3 | INT0, INT1, INT2 |
| Canales conversor ADC | 8 | • Resolución de hasta 10 bits<br>• Modo diferencial con ganancia ajustable de 10x ó 200x |
| **COMUNICACIÓN** | | |
| Puertos USART | 2 | |
| SPI | | |

| | | |
|---|---|---|
| | 1 | • Full Duplex.<br>• Operación master-esclavo. |
| **CONSUMO DE CORRIENTE** | | |
| Encendido: | 338 µA | • Consumo de corriente a 1 MHz, 1.8V, 25℃ |
| Apagado: | 0.035 µA | |
| Modo Ahorro de Energía: | 0.5 µA | |

Tabla 2.7 Características principales del ATMEGA164.

### 2.2.4.2. Buffer 74LS244 [5]

Es undriver triestado (estado alto, estado bajo y alta impedancia) que funciona como una dirección de memoria temporal a la entrada de los pines de un microcontrolador almacenando un estado lógico (0 ó 1) hasta que reciba la señal de habilitación para transferir este estado a un pin del microcontrolador.

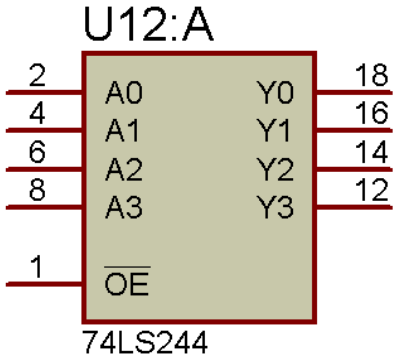



Figura 2.20 Buffer 74LS244

En la Figura 2.21 se muestra el diagrama interno de este dispositivo y la Tabla 2.8 muestra la Tabla de verdad para la operación del Buffer. Se adjunta el ANEXO G donde se detalla sus características.

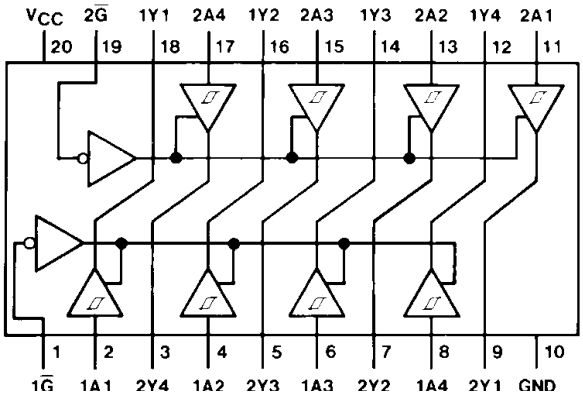



Figura 2.21 Diagrama interno del 74LS244

| ENTRADAS | | SALIDA |
|---|---|---|
| **G** | **A** | **Y** |
| L | L | L |
| L | H | H |
| H | X | Z |

**L:** Low state (Estado bajo)

**H:** High state (Estado alto)

**X:** Low or High state (Indiferente estado alto o bajo)

**Z:** High impedance (Alta impedancia)

Tabla 2.8 Tabla de operación del 74LS244

| PARÁMETRO | SIMB. | MIN. | NOM. | MÁX. | UNID. |
|---|---|---|---|---|---|
| Voltaje de alimentación | Vcc | 4.75 | 5 | 5.25 | V |
| Voltaje de entrada en alto | VIH | 2 | - | - | V |
| Voltaje de entrada en bajo | VIL | - | - | 0.8 | V |
| Temperatura de trabajo | TA | 0 | - | 70 | ºC |
| Corriente de alimentación | ICC Salidas en Estado Alto | - | 13 | - | mA |
| | ICC Salidas en Estado Bajo | - | 27 | - | |
| | ICC Salidas en Alta impedancia | - | 32 | - | |

Tabla 2.9 Características eléctricas 74LS244

### 2.2.4.3. Demultiplexor 74LS138 [6]

El demultiplexor 74LS138 está diseñado para ser utilizado como un decodificador de memoria de alto rendimiento  o como un transporte alternativo de datos en un sistema.

El 74LS138 decodifica una de ocho líneas, en base a las condiciones en las tres entradas binarias y la entrada de habilitación. (ANEXO H)

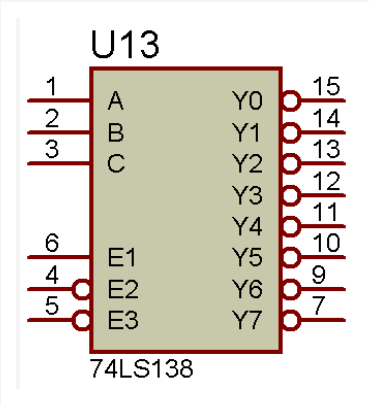



Figura 2.22  Demultiplexor 74LS138

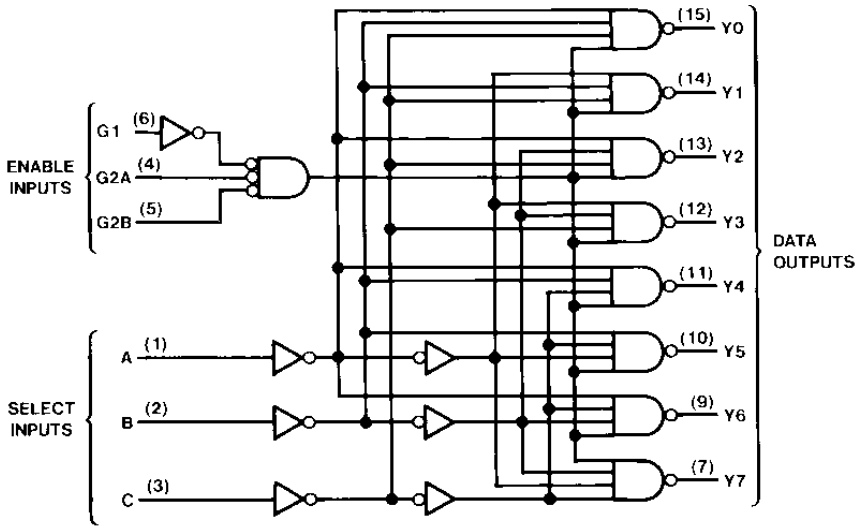



Figura 2.23 Diagrama interno del 74LS138

| Entradas | | | | | Salidas | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Habilitación | | Selección | | | | | | | | | | |
| G1 | G2 | C | B | A | YO | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | Y6 | Y7 |
| X | H | X | X | X | H | H | H | H | H | H | H | H |
| L | X | X | X | X | H | H | H | H | H | H | H | H |
| H | L | L | L | L | L | H | H | H | H | H | H | H |
| H | L | L | L | H | H | L | H | H | H | H | H | H |
| H | L | L | H | L | H | H | L | H | H | H | H | H |
| H | L | L | H | H | H | H | H | L | H | H | H | H |
| H | L | H | L | L | H | H | H | H | L | H | H | H |
| H | L | H | L | H | H | H | H | H | H | L | H | H |
| H | L | H | H | L | H | H | H | H | H | H | L | H |
| H | L | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | L |

Tabla 2.10 Diagrama interno del 74LS138

| PARÁMETRO | SIMB. | MIN. | NOM. | MÁX. | UNID. |
|---|---|---|---|---|---|
| Voltaje de alimentación | Vcc | 4.75 | 5 | 5.25 | V |
| Voltaje de entrada en alto | VIH | 2 | - | - | V |
| Voltaje de entrada en bajo | VIL | - | - | 0.8 | V |
| Temperatura de trabajo | TA | 0 | - | 70 | ºC |
| Corriente de alimentación | ICC | - | 6.3 | 10 | mA |

Tabla 2.11. Características eléctricas 74LS138

### 2.2.4.4. Hardware de la Unidad Remota

El hardware final a implementarse se muestra a continuación:

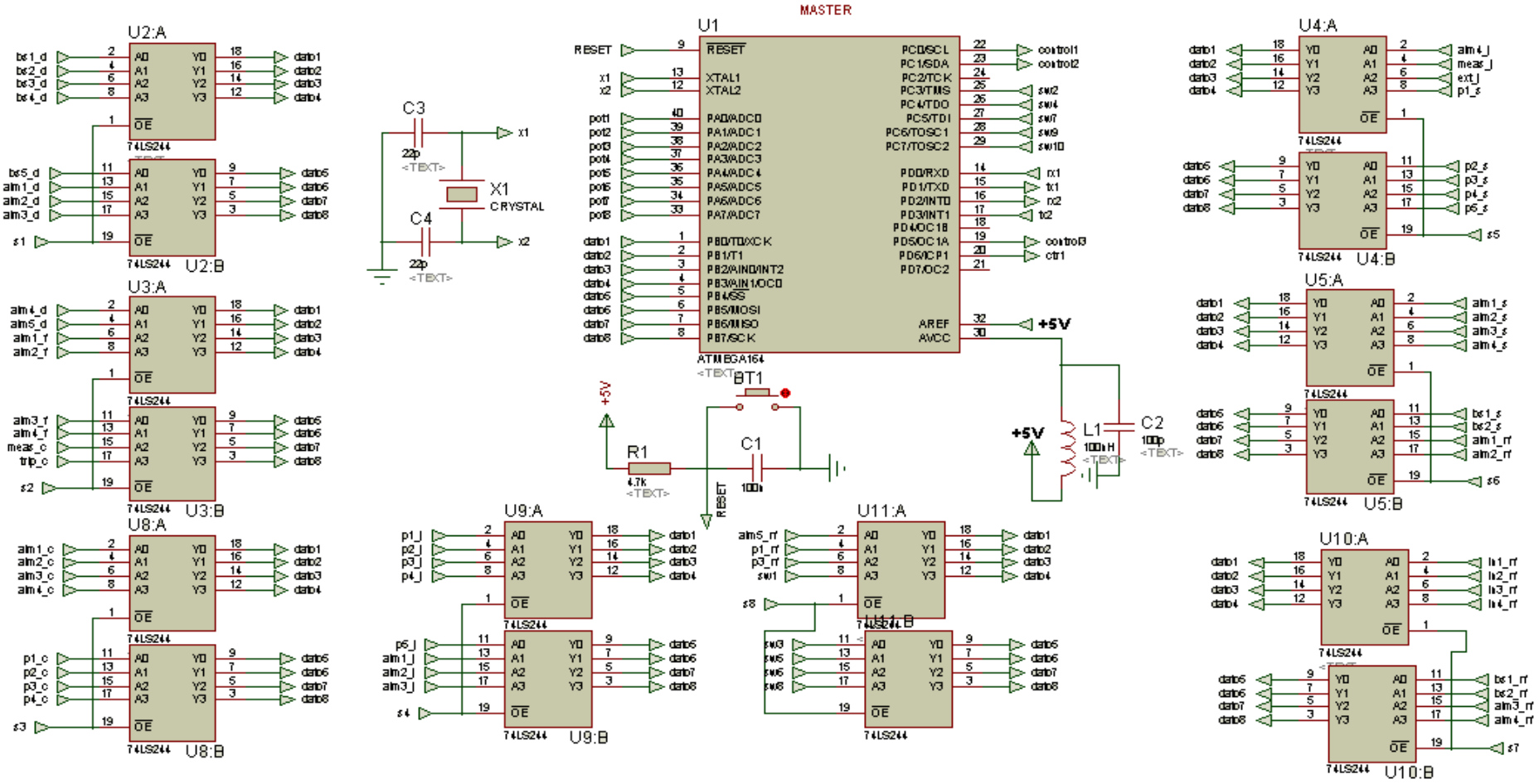



Figura 2.24 Esquema de la Unidad Terminal Remota (Parte 1)

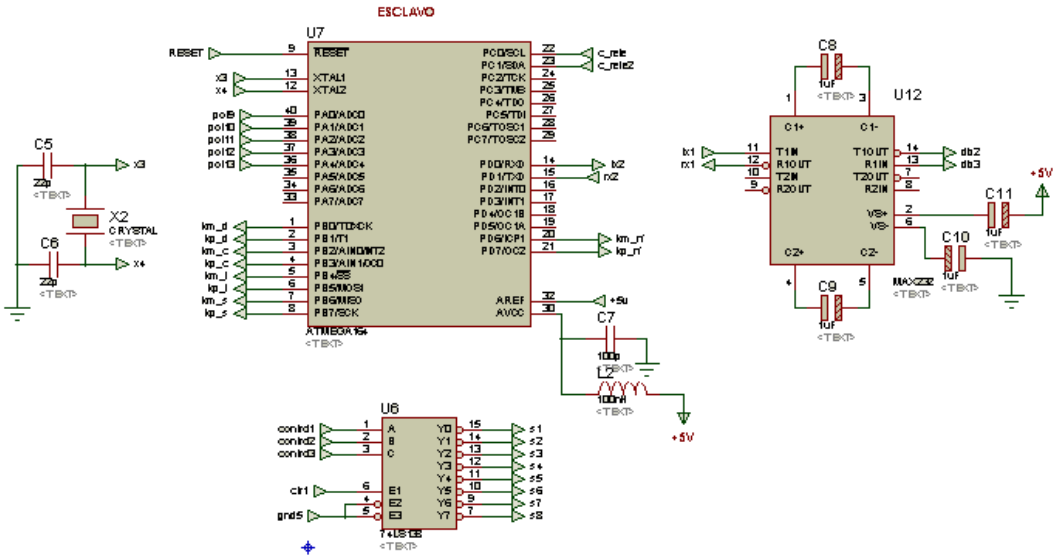



Figura 2.25 Esquema de la Unidad Terminal Remota (Parte 2)

### 2.2.4.5. Comunicación serial entre Microcontrolador y PC

La transmisión de datos se basa en el protocolo RS-232, ya que la distancia entre el simulador y el módulo de monitoreo y control es de un metro aproximadamente. El ATMEGA164p maneja niveles TTL de voltaje, por tanto se utiliza el MAX-232 para la comunicación, que convierte las señales TTL del microcontrolador a señales entre +/-15V, las cuales pueden ser reconocidas por la computadora. La Figura 2.26 muestra la distribución de pines del MAX-232, en la Figura 2.27 se muestra la conexión del MAX-232, recomendada por el fabricante (ANEXO I) y en la Tabla 2.12 se resume sus características eléctricas.

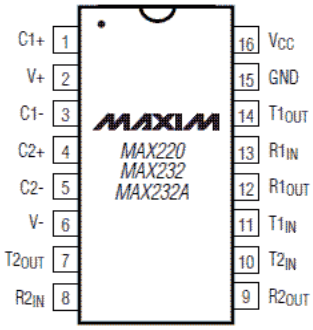



Figura 2.26 Distribución de pines del MAX232

| PARÁMETRO | SIMB. | MIN. | NOM. | MÁX. | UNID. |
|---|---|---|---|---|---|
| Voltaje de alimentación | Vcc | 4.5 | 5 | 5.5 | V |
| Voltaje de entrada en alto (T1IN,T2IN) | VIH | 2 | - | - | V |
| Voltaje de entrada en bajo (T1IN,T2IN) | VIL | - | - | 0.8 | V |
| Voltaje de entrada (R1IN,R2IN) | VR1IN | - | - | ±30 | V |
| Temperatura de trabajo | TA | 0 | - | 70 | ºC |
| Corriente de alimentación | ICC | - | 8 | 10 | mA |
| Voltaje de salida en alto (T1OUT,T2OUT) | VOH | 5 | 7 | - | V |
| Voltaje de salida en bajo (T1OUT,T2OUT) | VOL | - | -7 | -5 | V |

Tabla 2.12 Características eléctricas MAX232

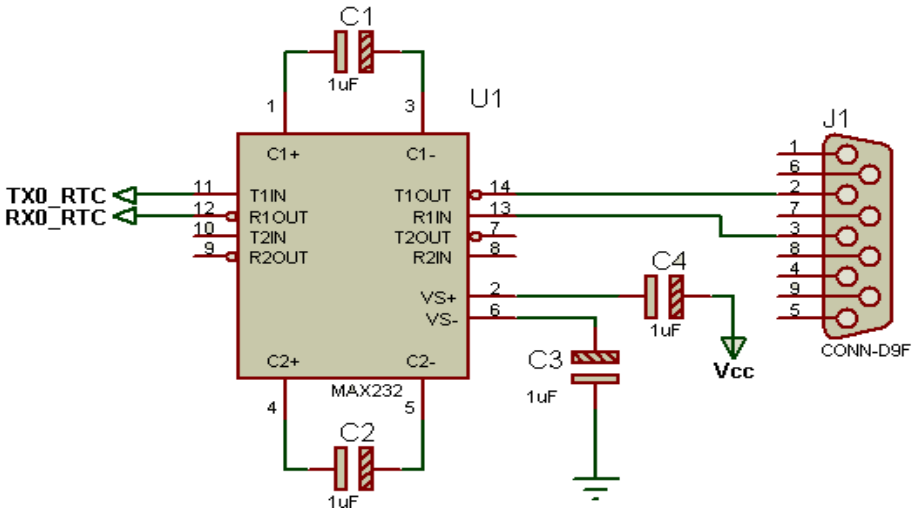



Figura 2.27 Comunicación Terminal-Unidad Remota

### 2.2.5. CONSUMO DE CORRIENTE DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

Para determinar la capacidad de corriente de las fuentes a emplear se procedió a calcular la capacidad de corriente requerida por todo el hardware, por lo que se detalla el consumo de cada uno de los componentes.

- **Entradas Digitales:**

Pulsantes: 18 optoacopladores

18*15mA = 270 mA

Pulsantes (Trip, Measuring): 3 optoacopladores

3*15mA = 45 mA

Seccionadores: 5 optoacopladores

5*15mA = 75 mA

Disyuntores: 5 optoacopladores

5*15mA = 75 mA

Alarmas: 26 optoacopladores

26*15mA= 390mA

Entradas externas (BS): 14 optoacopladores

14*15mA= 210 mA

- **Entradas Analógicas:**

Potenciómetros: 13

Consumo: 4.8 mA

13*4,8mA= 62.4 mA

Acontinuación se presenta el detalle de consumo de todos los componentes del Hardware del sistema.

| CANTIDAD | DISPOSITIVOS | CONSUMO DE CORRIENTE (mA) | TOTAL (mA) |
|---|---|---|---|

| | | TÍPICO | MÁXIMO | |
|---|---|---|---|---|
| 71 | OPTOACOPLADOR 4N25 | 15 | 60 | 1065 |
| 13 | POTENCIOMETROS | 4.8 | - | 62,4 |
| 3 | REGULADOR DE VOLTAJE 7805 | 5 | 8 | 24 |
| 1 | MAX 232 | 8 | 10 | 10 |
| 13 | AMP.OP LM358 | 0.8 | 2 | 26 |
| 4 | AMP.OP TL 084 | 1.4 | 2.8 | 11,2 |
| 5 | AMP.OP AD 620 | 0.9 | 1.3 | 65 |
| 6 | 74LS14 | 0.8 | 1.2 | 72 |
| 8 | 74LS244 | 13 | 27 | 104 |
| 2 | 74LS138 | 6.3 | 10 | 12.6 |
| | **CAPACIDAD DE CORRIENTE TOTAL REQUERIDA:** | | | 1452.20 |

Tabla 2.13 Detalle del consumo de corriente

Capacidad de corriente total requerida: 1452.20 mA

# CAPÍTULO 3

# DESARROLLO DEL SOFTWARE

En este capítulo se presenta el diseño del software que permite realizar el control de los microcontroladores, así como el software diseñado para la interfaz gráfica. Además se hace una descripción de los programas desarrollados y la lógica de programación empleada mediante los diagramas de flujo.

## 3.1. DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL DEL ATMEGA164P

Se seleccionó el microcontrolador ATMEGA164P considerando las características de este dispositivo, posee ocho entradas analógicas, por lo que fue necesariorealizar comunicación entre microcontroladores a modo de máster-esclavo, explicado en el capítulo anterior. Este dispositivo contiene dos puertos de comunicación asincrónica UART0 y UART1, mediante los cuales el microcontrolador máster realizará la comunicación con la PC y con el microcontrolador esclavo, respectivamente.

Posteriormente, se explicará detalladamente la lógica de programación utilizada para cada uno de los microcontroladores. El compilador empleado para la programación es el BASCOM-AVR IDE 1.11.9.5 el cual se detalla a continuación.

### 3.1.1. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN BASCOM AVR

La herramienta BASCOM AVR desarrollada por la empresa MCS Electronics, sirve para realizar programas en alto nivel para microcontroladores AVR, el cual posee un compilador y un ensamblador que traduce las instrucciones estructuradas en lenguaje de máquina. [7]

El programa que controla la unidad remota se desarrolla en lenguaje BASIC el cual ofrece un set de instrucciones de programación que permite al usuario configurar de una manera más sencilla los registros especiales y de uso general.

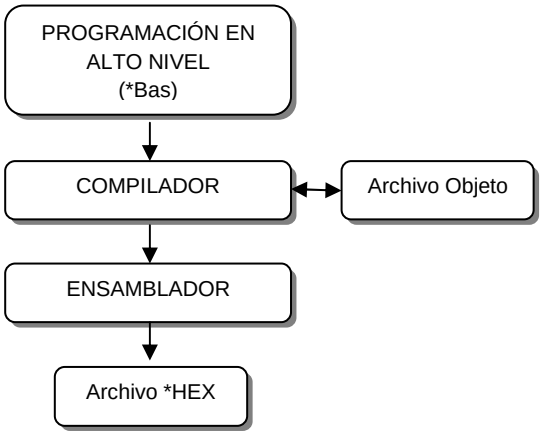



Figura 3.1 Diagrama de bloques de programación estructurada. [7]

En el desarrollo del software para esta aplicación se emplearon las instrucciones básicas de la herramienta BASCOM, sin embargo, las configuraciones de mayor relevancia fueron aquellas con las cuales se realizó la lectura de los potenciómetros simuladores de sobrecorriente y, la configuración y propiedades de la comunicación, las cuales se detallan a continuación.

#### 3.1.1.1. Conversores análogo/digital

Para la lectura de la medida proveniente de los potenciómetros se utilizó las entradas A/D del ATMEGA164P, tanto del microcontrolador máster como del esclavo.

Para configurar los conversores A/D se emplea la sintaxis siguiente:

```
Config Adc = Single, Prescaler = Auto, Reference = Avcc
```

- Config Adc: Puede ser configurado como SINGLE o FREE. Utilizaremos SINGLE.
- Prescaler: Esta instrucción corresponde a una constante numérica para el reloj divisor. Se utilizará AUTO, con lo cual, se está permitiendo al compilador generar el valor más adecuado, dependiendo del cristal que se está empleado.
- Reference: Este valor indica el valor máximo de voltaje que puede presentar las señales de entrada y depende del microcontrolador a

emplearse. Para el ATMEGA164p, se puede utilizar Vcc, internal_1.1 o internal_2.5. Para este proyecto se empleó referencia a Vcc.

Adicional a esto, para iniciar la conversión se debe agregar la siguiente instrucción:

```
Start Adc
```

El microcontrolador ATMEGA164p posee 8 conversores A/D, ubicados en el puerto A, para obtener el valor de la conversión se debe utilizar la instrucción:

```
Var=Getadc(#channel)
```

Con esta instrucción se obtiene el valor análogo del canal indicado. La variable var debe ser declarada como word u otra variable de 16 bits. El valor de la conversión para nuestro caso tendrá una variación de 0 a 1023.

#### 3.1.1.2. Comunicación serial con la PC y con el microcontrolador

Es imprescindible el envió de las señales acondicionadas a los microcontroladores utilizados para el desarrollo del programa de control, y de esta forma poder realizar el monitoreo y control del sistema.

Para la activación de los dos puertos de comunicación en modo serial es necesario ocupar la siguiente sintaxis:

```
Config Com1 = Dummy , Synchrone = 0 , Parity = None , Stopbits = 1 , Databits = 8 , Clockpol = 0
Config Com2 = Dummy , Synchrone = 0 , Parity = None , Stopbits = 1 , Databits = 8 , Clockpol = 0
```

A continuación su explicación:

- Comx: Velocidad de comunicación configurada en la instrucción $baud posteriormente. Para nuestro caso será de 9600 para la comunicación con la PC y entre microcontroladores.
- Synchrone: Indica el modo de operación. Los valores que puede tomar son 0 y 1, modo asincrónico y sincrónico, respectivamente.

- Parity: Existen las siguientes opciones none, disable, even ó odd.
  Para el desarrollo del programa utilizaremos la opción none, es decir sin paridad.
- Stopbits: El número de bits de paradas puede ser 1 o 2.
  Se utilizará para los 2 puertos un bit de parada.
- Databits: El número de bits de datos puede ser: 4, 5, 7, 8 o 9. Se utiliza 8 bits.
- Clockpol: Se utiliza para comunicación SPI. En este caso se utilizará 0.

Para poder comunicarnos serialmente tanto con el microcontrolador como con la PC es necesario conocer el funcionamiento de las siguientes instrucciones:

- **$baud**

Esta es una instrucción de configuración principal, que sirve para determinar la velocidad de transmisión a la que se van a comunicar los dispositivos. [1] Las velocidades que pueden ser empleadas son de: 2400, 4800, 9600, 19200, 28800, 38400, 57600, 115200.

Para el envío y recepción de datos entre el microcontrolador máster con la PC utilizamos las instrucciones siguientes:

- **Print**

Sirve para enviar datos en forma serial, desde el microcontrolador hacia la PC. Esta instrucción convierte automáticamente el dato sea de cualquier tipo a string.

PRINT [#channel , ] var

- **Input**

Sirve para la recepción de datos desde otro dispositivo hacia el microcontrolador, los datos a recibir únicamente deben ser de tipo string.

INPUT #ch, var

La comunicación entre microcontroladores se la realizó empleando las siguientes instrucciones:

- **Printbin**

Envía el dato var en forma binaria al puerto serial. En el compilador la instrucción se la escribe así:

```
PRINTBIN #channel, var
```

- **Inputbin**

Lee el valor binario que se encuentra en el puerto serial y lo guarda en la variable var1.

```
INPUTBIN #channel , var1
```

En donde #channel, tanto para la instrucción INPUT, PRINT, INPUTBIN, PRINTBIN identifica el puerto de comunicación por el cual se transmitirá o receptará el dato. Si el puerto por el cual se va a transmitir o receptar es UART0 este dato es sobre entendido, por lo tanto no es necesario colocarlo.

Cabe recalcar que el empleo del segundo puerto de comunicación UART1 es fundamental realizar la apertura de éste, lo cual se lo hace con el uso de la siguiente instrucción:

```
Open "com2:" For Binary As #1
```

Un inconveniente que presenta el “print” e “input”, es que necesitan como confirmación de datos el carácter ASCII (13) “ENTER” para ello es mejor o recomendable trabajar mediante la interrupción del pórtico serial, la cual es activada por recepción o transmisión de datos desde el microcontrolador.[1]

*3.1.1.2.1. Interrupción por el pórtico serial*

La interrupción del pórtico serial consiste en realizar una subrutina, la cual se encargará de almacenar el dato, proveniente de una fuente externa, el dato puede ser enviado por otro microcontrolador o por la PC.

Las instrucciones usadas para realizar una interrupción de recepción del puerto serial, son:

- On Urxc subserial: Esta instrucción activa la subrutina llamada SUBSERIAL, al momento de recibir un dato.
- Enable Interrupts: Habilita las interrupciones existentes en el microcontrolador.
- Enable Urxc: Habilita la interrupción de recepción del pórtico serial.
- Inkey(): Guarda el dato recibido en ese instante por comunicación serial en una variable declarada con anterioridad.

### 3.1.2. ARQUITECTURA DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL DE LOS MICROCONTROLADORES

El microcontrolador máster tiene como objetivo fundamental la lectura de las 63 entradas digitales y análogas de sus ocho respectivos canales, la comunicación con el microcontrolador esclavo para la lectura de los cinco potenciómetros restantes y el envío de las señales de control para la apertura y cierre de los seccionadores, además de la comunicación con la PC para el desarrollo de la interfaz gráfica en VISUAL BASIC 6.0.

La lógica de programación del microcontrolador máster, consta de los siguientes procedimientos en su respectivo orden:

1. Especificación de la frecuencia de oscilación del microcontrolador.
2. Especificación de la velocidad de comunicación, tanto con el microcontrolador esclavo como con la PC.
3. Configuración de las entradas y salidas del microcontrolador.
4. Habilitación de la interrupción serial.
5. Configuración de los canales A/D y de la comunicación serial para el UART0 y UART1.
6. Barrido de las entradas digitales como: disyuntores, seccionadores, alarmas y entradas externas.
7. Lectura de las entradas análogas de cada uno de los canales A/D del microcontrolador.
8. Obtención de los valores análogos de los canales A/D del microcontrolador esclavo.

9. Envío de las señales, al microcontrolador esclavo, para realizar la apertura y cierre de los seccionadores de cada una de las líneas de distribución.
10. Por interrupción serial, se recepta el dato requerido por la computadora para el envío del dato sea de los potenciómetros o de las entradas digitales.

El microcontrolador esclavo tiene como funciones: la obtención de los valores de algunos de los potenciómetros del módulo y, la comunicación con el microcontrolador máster para el envío de las señales análogas en caso de realizar el monitoreo, además, de acuerdo a la señal recibida por el máster tiene la función de activar o desactivar las bobinas del control de los seccionadores.

La lógica de programación del microcontrolador esclavo, consta de los siguientes procedimientos descritos a continuación:

1. Especificación de la frecuencia de oscilación del microcontrolador.
2. Especificación de la velocidad de comunicación.
3. Configuración de las entradas y salidas del microcontrolador.
4. Habilitación de la interrupción serial.
5. Configuración de los canales A/D y de la comunicación serial para el UART0.
6. Lectura de las entradas análogas de de los canales A/D.
7. Activación de los pines necesarios para el control de cada uno de los disyuntores.
8. Por interrupción serial, se recepta el dato requerido por el microcontrolador máster para el envío de la medida de voltaje del potenciómetro, al computador.

El diagrama de flujo permite observar la secuencia de pasos o procesos que se ejecutan de forma ordenada y sistemática. A continuación se indica el diagrama de flujo de los programas implementados:

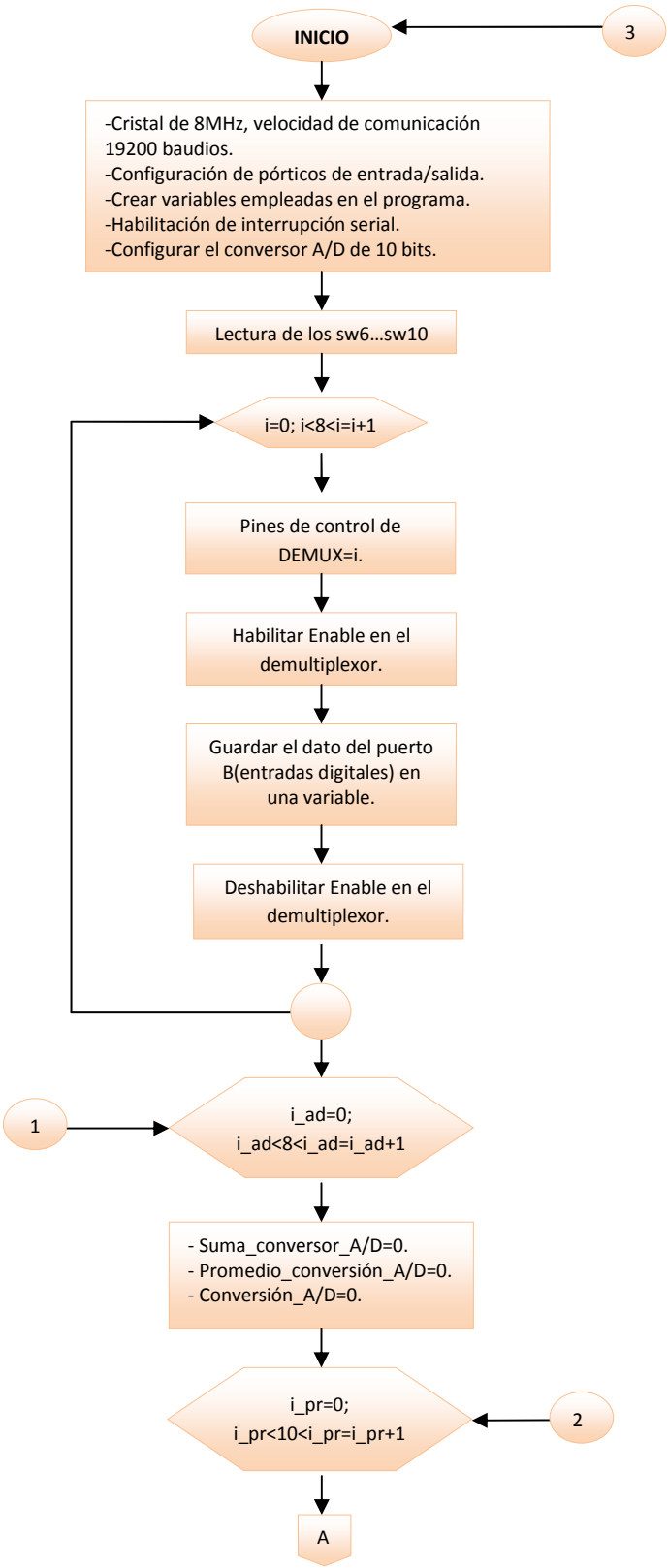



Figura 3.2 Diagrama de flujo del microcontrolador máster (Parte 1).

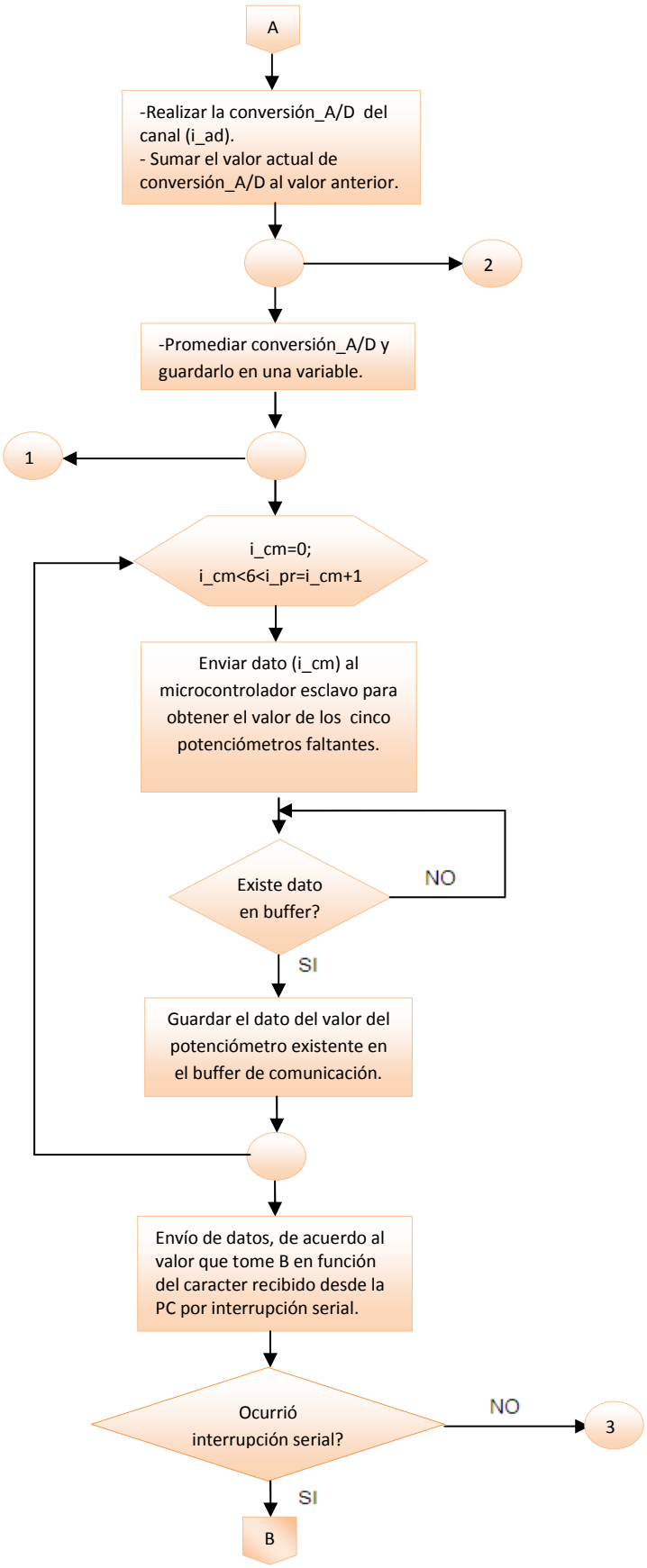



Figura 3.3 Diagrama de flujo del microcontrolador máster (Parte 2).

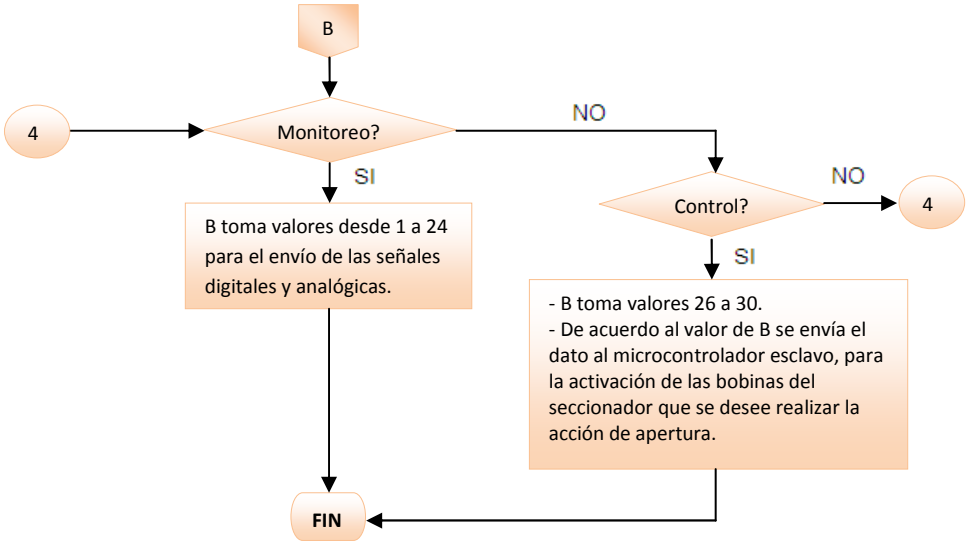



Figura 3.4 Diagrama de flujo del microcontrolador máster (Parte 3).

B: Variable auxiliar, dependerá del caracter enviado por la PC.

i: Indica el valor en los pines de control para realizar el barrido de las entradas digitales.

i_ad: Variable utilizada para indicar el canal a/d habilitado.

i_pr: Variable empleada para contabilizar el número de veces que se realiza la conversión a/d.

i_cm: Variable empleada para contabilizar el número de datos solicitados al microcontrolador esclavo.

Para el microcontrolador eclavo el diagrama de flujo se indica en la Figura 3.5

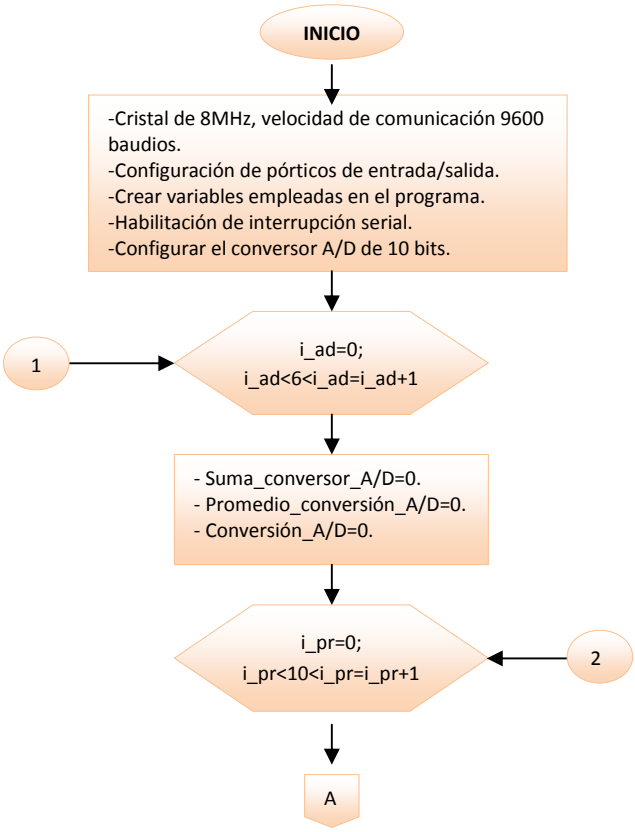



Figura 3.5 Diagrama de flujo del microcontrolador esclavo (Parte 1).

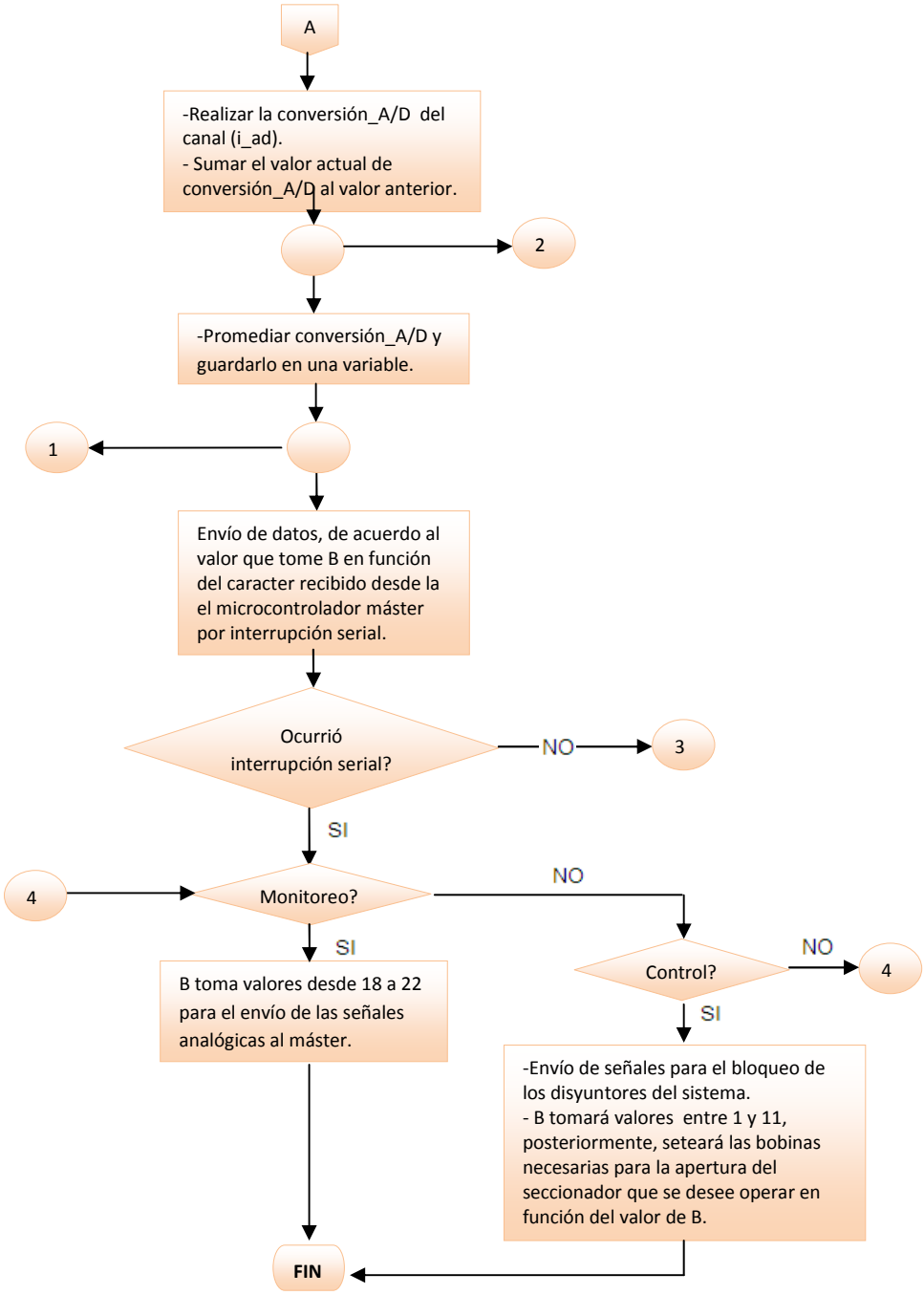



Figura 3.6 Diagrama de flujo del microcontrolador esclavo (Parte 2).

B: Variable auxiliar, dependerá del caracter enviado por el microcontrolador máster.

i_ad: Variable utilizada para indicar el canal a/d habilitado.

i_pr: Variable empleada para contabilizar el número de veces que se realiza la conversión a/d.

## 3.2. DESARROLLO DEL HMI EN EL ENTORNO VISUAL BASIC 6.0

La interfaz es una parte muy importante en la implementación de este proyecto, ya que es aquí donde el usuario, sea éste supervisor o administrador interactúa con el proceso permitiendo el monitoreo o el control del sistema de una forma sencilla y fácil de manipular. El HMI (Interfaz Hombre-Máquina) implementado, será capaz de procesar datos, manejar históricos, archivos y realizar el control de los seccionadores.

El lenguaje de programación seleccionado para el desarrollo de este proyecto fue el Visual Basic 6.0, por ser un software seguro, amigable para el usuario y de fácil maniobra para el programador.

### 3.2.1. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN VISUAL BASIC 6.0 [8]

Visual Basic 6.0 es un lenguaje de programación visual, también llamado lenguaje de cuarta generación. Esto quiere decir que un gran número de tareas se realizan sin escribir código, simplemente con operaciones gráficas realizadas con el ratón sobre la pantalla.

Visual Basic 6.0 es un programa basado en objetos, aunque no orientado a objetos como C++ o Java. La diferencia está en que Visual Basic 6.0 utiliza objetos con propiedades y métodos, pero carece de los mecanismos de herencia y polimorfismo propios de los verdaderos lenguajes orientados a objetos como Java y C++.Visual Basic 6.0 está orientado a la realización de programas para Windows, pudiendo incorporar todos los elementos de este entorno informático: ventanas, botones, cajas de diálogo y de texto, botones de opción y de selección, barras de desplazamiento, gráficos, menús, etc.

La aplicación Visual Basic de Microsoft puede trabajar de dos modos distintos: en modo de diseño y en modo de ejecución. En modo de diseño el usuario construye interactivamente la aplicación, colocando controles en el formulario, definiendo sus propiedades, y desarrollando funciones para gestionar los eventos.
La aplicación se prueba en modo de ejecución. En ese caso el usuario actúa sobre el programa (introduce eventos) y prueba cómo responde el programa. Hay algunas propiedades de los controles que deben establecerse en modo de diseño,

pero muchas otras pueden cambiarse en tiempo de ejecución desde el programa escrito en Visual Basic 6.0.

Al igual que C y otros lenguajes de programación, Visual Basic dispone de distintos tipos de datos, aplicables tanto para constantes como para variables. La Tabla 3.1 muestra los tipos de datos disponibles en Visual Basic.

| TIPO | DESCRIPCIÓN | RANGO |
|---|---|---|
| **Boolean** | Binario | True o False |
| **Byte** | Entero corto | 0 a 255 |
| **Integer** | Entero (2 bytes) | -32768 a 32767 |
| **Long** | Entero largo (4 bytes) | -2147483648 a 2147483647 |
| **Single** | Real precisión (4 bytes) | -3.40E+38 a 3.40E+38 |
| **Double** | Real doble precisión ( 8 bytes) | -1.79D+308 a 1.79D+308 |
| **Currency** | Número con punto decimal fijo (8 bytes) | -9.22E+14 a 9.22E+14 |
| **String** | Cadena de caracteres (4 bytes + 1 byte/car hasta 64 K) | 0 a 65500 caracteres. |
| **Date** | Fecha (8 bytes) | 1 de enero de 100 a 31 de diciembre de 9999. Indica también la hora, desde 0:00:00 a 23:59:59. |
| **Variant** | Fecha/hora;números enteros, reales, o caracteres(16 bytes + 1 byte/car. en cadenas de caracteres) | F/h: como Date<br>números: mismo rango que el tipo de valor almacenado. |
| **User-defined** | Cualquier tipo de dato o estructura de datos.Se crean utilizando la sentencia Type. | |

Tabla 3.1 Tipo de datos en Visual Basic 6.0

Es muy importante tener en cuenta que se debe utilizar el tipo de dato más sencillo querepresente correctamente el dato real ya que en otro caso se ocupará más memoria y la ejecución de los programas o funciones será más lenta.

Para comprender como fue elaborado este software es necesario primeramentetener conocimiento del funcionamiento de los componentes empleados para el desarrollo del HMI.

#### 3.2.1.1. Descripción de los componentes empleados

##### *3.2.1.1.1. Formularios, controles y propiedades*

Cada uno de los elementos gráficos que pueden formar parte de una aplicación en Windows es un tipo de control: los botones, las cajas de diálogo y de texto, las cajas de selección desplegables, los botones de opción y de selección, las barras de desplazamiento horizontales y verticales, los gráficos, los menús, y muchos otros tipos de elementos son controles para Visual Basic 6.0. [8]

Unformulario puede ser considerado como una especie de contenedor para los controles. Unaaplicación puede tener varios formularios, pero un único formulario puede ser suficiente para lasaplicaciones más sencillas. [8]

Cada formulario y cada tipo de control tienen un conjunto de propiedades que definen su aspecto gráfico (tamaño, color, posición en la ventana, tipo y tamaño de letra, etc.) y su forma de responder a las acciones del usuario (si está activo o no, por ejemplo). [8]

En el desarrollo de este programa se implementarón ocho formularios: “PRESENTACIÓN”, “PANEL_DE_MONITOREO”, “PANEL_DE_CONTROL”, “PANEL DE HISTORIALES”, “HISTORIAL_SPAC_315C”, “HISTORIAL_SPAJ_144C”, “HISTORIAL_SPAS_348C” e “HISTORIAL_REF_543” los cuales se describirán posteriormente.

En el desarrollo de cada una de las pantallas se utilizaron diferentes controles entre los cuales podemos mencionar los siguientes: cajas de texto, botones, botones de opción, control timer, etiquetas, picturebox, cajas de dialogo msgbox, Dbgrid, control Data y Mscomm, siendo los de mayor relevancia los tres últimos.

- **CONTROL Dbgrid**

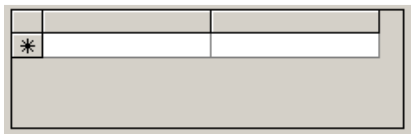


Figura 3.7 Control Dbgrid

Este control permite la visualización, en un formulario de visual basic 6.0, de los datos almacenados en una base de datos creada en Access.

- **CONTROL Data**

El control Data es un mecanismo desarrollado por Microsoft y es utilizado en ambiente Windows por programas computacionales para comunicarse con las bases de datos.

Figura 3.8 Control Data

Con este control es posible realizar diferentes acciones como leer, insertar, editar, o borrar, la información contenida en diferentes áreas de almacenamiento denominadas tablas.

El control Data se utiliza con el motor de base de datos Microsoft Jet para acceder a base de datos de diferentes formatos como por ejemplo: Microsoft Access, Dbase, Excel, FoxPro, Lotus y Paradox. [9]

El control Data permite trabajar con controles enlazados, por ejemplo con controles Label, TextBox, ComboBox, controles Image etc, para presentar los datos. Esto quiere decir que al colocar un control Data y enlazarlo a una base de datos y luego enlazar dichos controles con el control Data, los cambios que se realicen en los controles enlazados se reflejarán en la base de datos. [9]

- **CONTROL MSComm**

Este control permite la comunicación de una aplicación VB con el puerto serie.

Figura 3.9 Control MSComm

Se debe tomar en cuenta las siguientes propiedades y su correcta configuración para lograr obtener una comunicación exitosa:

- CommPort

Indica el número del puerto serie usado. Admite los valores de 1 a 255. Cambiando esa propiedad podemos cambiar el puerto de comunicación que vamos a usar. En nuestro caso estamos utilizando el COM7.

- Settings

Indica la velocidad, paridad, número de bits y bits de stop (parada) que se van a usar en la comunicación. La sintaxis utilizada es la siguiente:

MSComm.Settings = " Velocidad, Paridad, Bits de información, Bits parada"

Los valores posibles para **velocidad** son: 50, 100, 110, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400,19200 y 28800: Estos son indicados en baudios.

Los valores posibles para **paridad** son:

N: No envía bit de paridad ni hace comprobación de paridad en la recepción.

O: Envía y comprueba paridad, con el criterio de paridad IMPAR.

E: Envía y comprueba paridad, con criterio de paridad PAR.

Los valores para el parámetro **Bits de Información** pueden ser:

7: Envío o recepción 7 bits por trama de información.

8: Envío o recepción 8 bits por trama de información.

5: Envío o recepción 5 bits por trama de información.

Los valores para el parámetro **Bits de parada** pueden ser:

1: Se envía un bit de parada.

2: Se envían 2 bits de parada.

La sintaxis utilizada para nuestra aplicación fue:

MSComm.Settings = "19200,n,8,1"

- Handshaking

Especifica el método de control sobre el flujo de información. En una comunicación serie se necesita conocer si el puerto puede enviar información (necesita saber si el módem está preparado para recibirla) y necesita indicarle al módem que él está preparado para recibir información. A este proceso se le denomina Handshaking. (Handshaking = Control de Flujo).

- InputLen

Por defecto, cuando se lee el Buffer de recepción, se leen todos los caracteres, quedando el Buffer vacío. Si se le asigna a esta propiedad un valor distinto de 0, cada vez que leamos el Buffer de recepción leerá un número de caracteres igual a esa cantidad, permaneciendo los caracteres restantes en el Buffer a la espera de una nueva lectura. Asignándole el valor 0 (Valor por defecto), el buffer se lee completo.

- RTSEnable

Activa (Pone a 1) la señal RTS (Request To Send - Petición de envío) Esta señal debe ponerse a 1 para indicar al módem (o al equipo que va a recibir nuestra comunicación) que deseamos enviar datos. Debe estar activada durante toda la transmisión de datos.

- DTREnable

Activa (Pone a 1) la salida DTR (Data Terminal Ready - Terminal de Datos

Listo). Esta señal se emplea para decirle al módem que el terminal (Ordenador) está preparado para recibir datos.

- PortOpen

Abre el puerto de comunicación. Puede tener los valores True (Para abrirlo) y False (Para cerrarlo) Si se tiene un MSComm con Nombre (Name) MSComm1, para abrirlo ejecutaremos la siguiente sentencia:

```
MSComm1.PortOpen = True
```

Para cerrarlo, se ejecutará:

```
MSComm1.PortOpen = False
```

- Output

Envía caracteres al Buffer de salida. Debe existir un signo igual ( = ) entre Output y lo que se envía al Buffer. La sintaxis es la indicada a continuación:

```
MSComm1.Output = variable
```

- Input

  Lee el Buffer de recepción. El número de caracteres leídos dependerá del valor de la propiedad InputLen. Cuando la propiedad InputLen tiene el valor 0, el Buffer se lee completo. Si InputLen tiene un valor distinto de 0, se leerá un número de caracteres igual al valor de esta propiedad.

*3.2.1.1.2. Eventos*

Las acciones que realiza el usuario sobre el programa se llaman eventos. Son eventos típicos el clicar sobre un botón, el hacer doble clic sobre el nombre de un fichero para abrirlo, el arrastrar un icono, el pulsar una tecla o combinación de teclas, el elegir una opción de un menú, el escribir en una caja de texto, o simplemente mover el ratón. Cada vez que se produce un evento sobre un determinado tipo de control, Visual Basic 6.0 arranca una determinada función o procedimiento que realiza la acción programada por el usuario para ese evento

concreto. Estos procedimientos se llaman con un nombre que se forma a partir del nombre del objeto y el nombre del evento, separados por el carácter (_), como por ejemplo txtBox_click, que es el nombre del procedimiento que se ocupará de responder al evento click en el objeto txtBox.

### 3.2.2. ARQUITECTURA DEL HMI (INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA)

Para facilidad del usuario el programa se lo desarrolló en una serie de pantallas, las cuales se asemejan en lo posible al panel del módulo empleado, dicho programa se lo realizó en ambiente Windows, de esta forma se puede supervisar y controlar las diferentes variables involucradas en el proceso con mayor versatilidad, de tal manera que no sea de dificultad para el operario del sistema.

#### 3.2.2.1. Pantalla“PRESENTACIÓN”

La primera ventana que se muestra al ejecutar el programa de control es la pantalla denominada “PRESENTACIÓN”, Figura 3.10, en la cual se puede seleccionar, mediante el ingreso de una contraseña, si se tiene acceso como administrador o como supervisor, la diferencia es que el primero podrá realizar tanto el monitoreo de todo el sistema como el control para la apertura de los disyuntores de cada una de las líneas, mientras que el segundo únicamente tendrá la posibilidad de realizar la supervisión todo el proceso.

Figura 3.10 Pantalla “PRESENTACIÓN”

En esta ventana únicamente se visualiza los datos de mayor relevancia para la inicialización del HMI, una vez seleccionado el usuario e ingresada la contraseña correcta, se permitirá la visualización de los botones que permiten el acceso a las otras pantallas.

El diagrama de flujo indicado a continuación nos será de mucha ayuda para comprender de mejor forma la lógica del programa y como se desarrolla esta primera pantalla de la interfaz implementada.

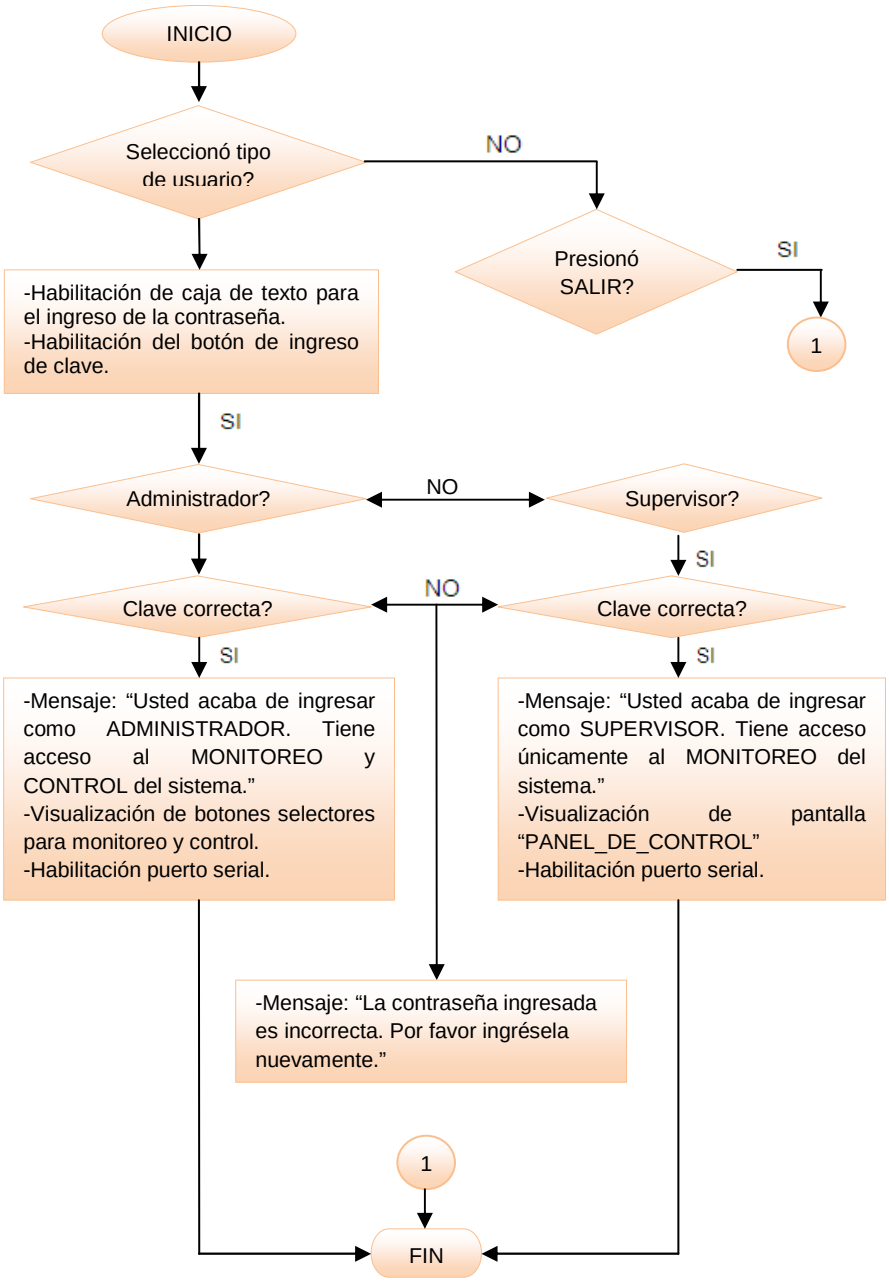



Figura 3.11 Diagrama de flujo de pantalla "PRESENTACIÓN"

Posteriormente, de haber ingresado la clave correcta y de acuerdo al tipo de usuario que haya ingresado la pantalla de "PRESENTACIÓN" se ocultará para dar paso a la ventana seleccionada.

### 3.2.2.2. Pantalla “PANEL_DE_ MONITOREO”

Esta pantalla permitirá al usuario realizar la visualización de todos las variables que intervienen en el proceso, es decir, estados actuales de los seccionadores y disyuntores, alarmas, tipo de falla de sobrecorrientes en las líneas de distribución, tipo de sobrecorrientes en el neutro, fallas a tierra, valor de las corrientes de línea y neutro, voltaje, potencia en cada una de las líneas y tiempos de operación de los relés.

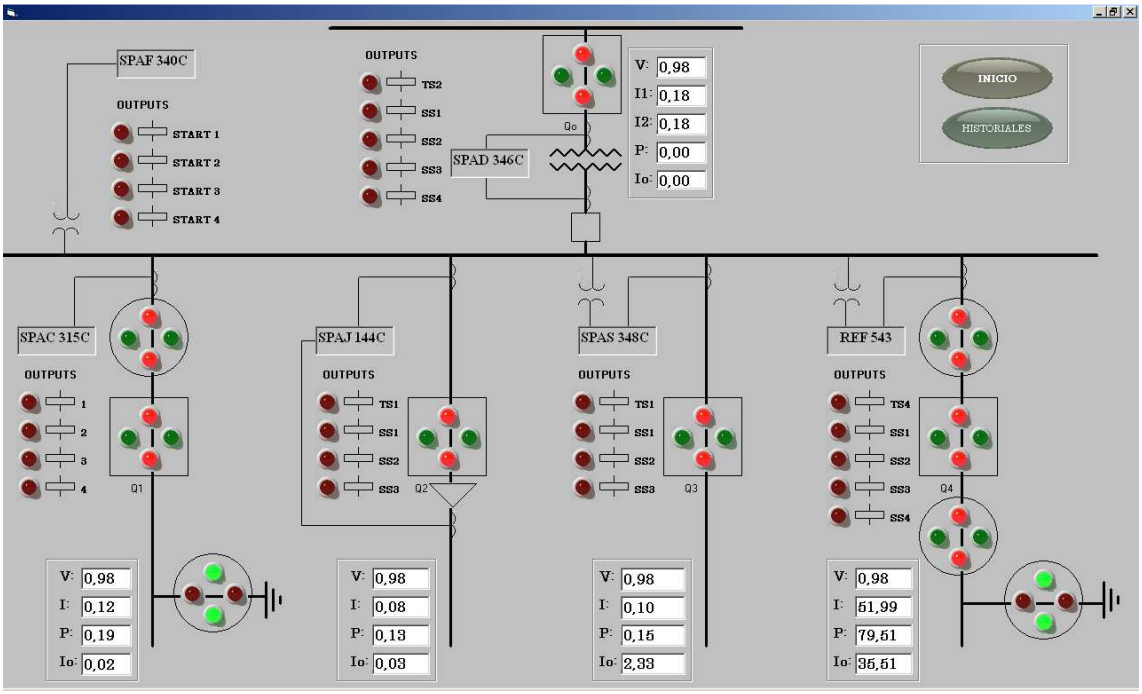



Figura 3.12 Pantalla “PANEL_DE_MONITOREO”

A continuación se indica el diagrama de flujo que muestra la lógica secuencial desarrollada para la elaboración de la pantalla.

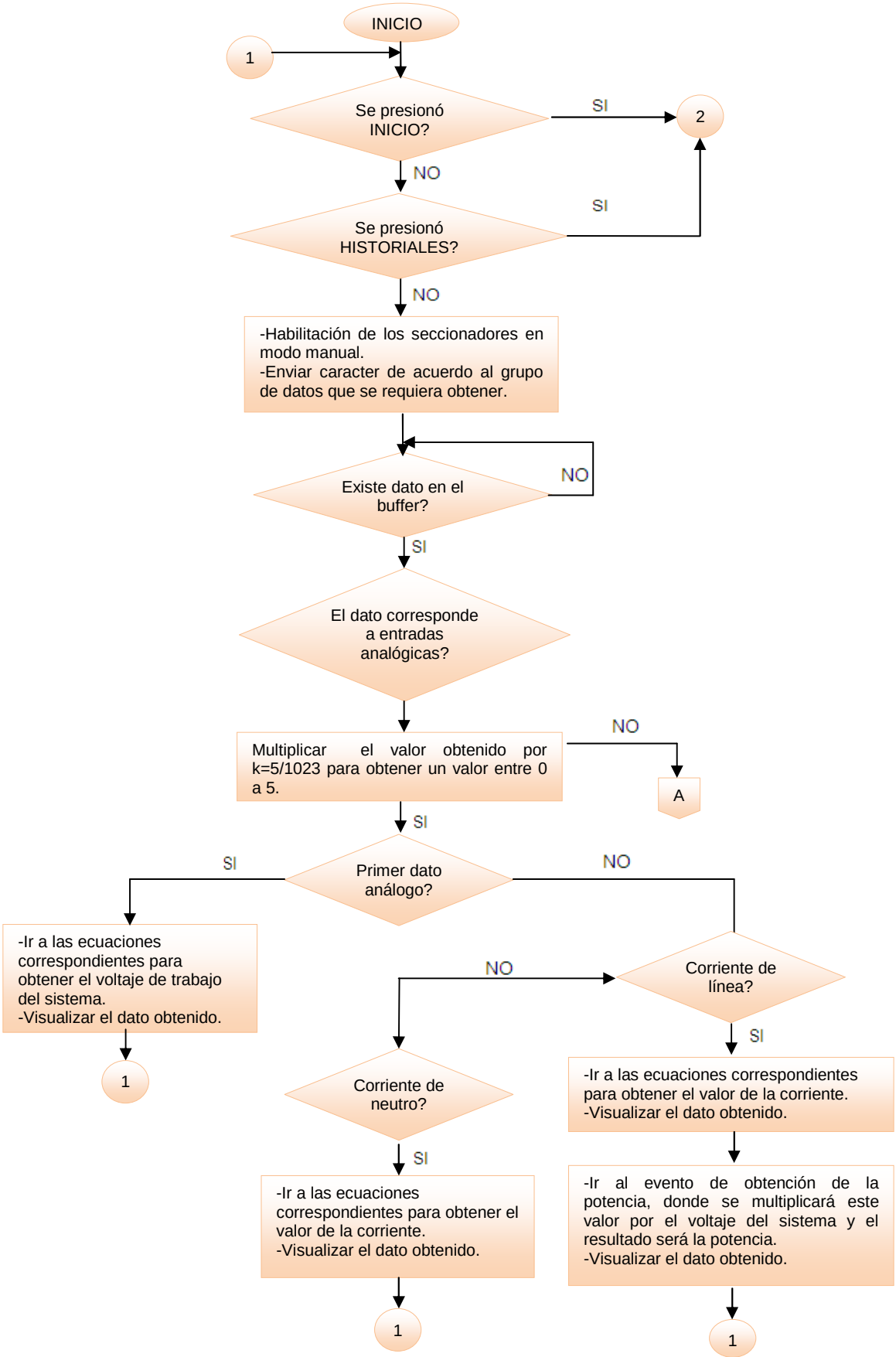

INICIO
1
Se presionó INICIO?
SI
2
NO
Se presionó HISTORIALES?
SI
NO
-Habilitación de los seccionadores en modo manual.
-Enviar caracter de acuerdo al grupo de datos que se requiera obtener.
Existe dato en el buffer?
NO
SI
El dato corresponde a entradas analógicas?
Multiplicar el valor obtenido por k=5/1023 para obtener un valor entre 0 a 5.
NO
A
SI
Primer dato análogo?
SI
NO
-Ir a las ecuaciones correspondientes para obtener el voltaje de trabajo del sistema.
-Visualizar el dato obtenido.
1
Corriente de línea?
NO
SI
Corriente de neutro?
SI
-Ir a las ecuaciones correspondientes para obtener el valor de la corriente.
-Visualizar el dato obtenido.
-Ir al evento de obtención de la potencia, donde se multiplicará este valor por el voltaje del sistema y el resultado será la potencia.
-Visualizar el dato obtenido.
1
1

Figura 3.13 Diagrama de flujo de la pantalla “PANEL_DE_MONITOREO”(Parte 1)

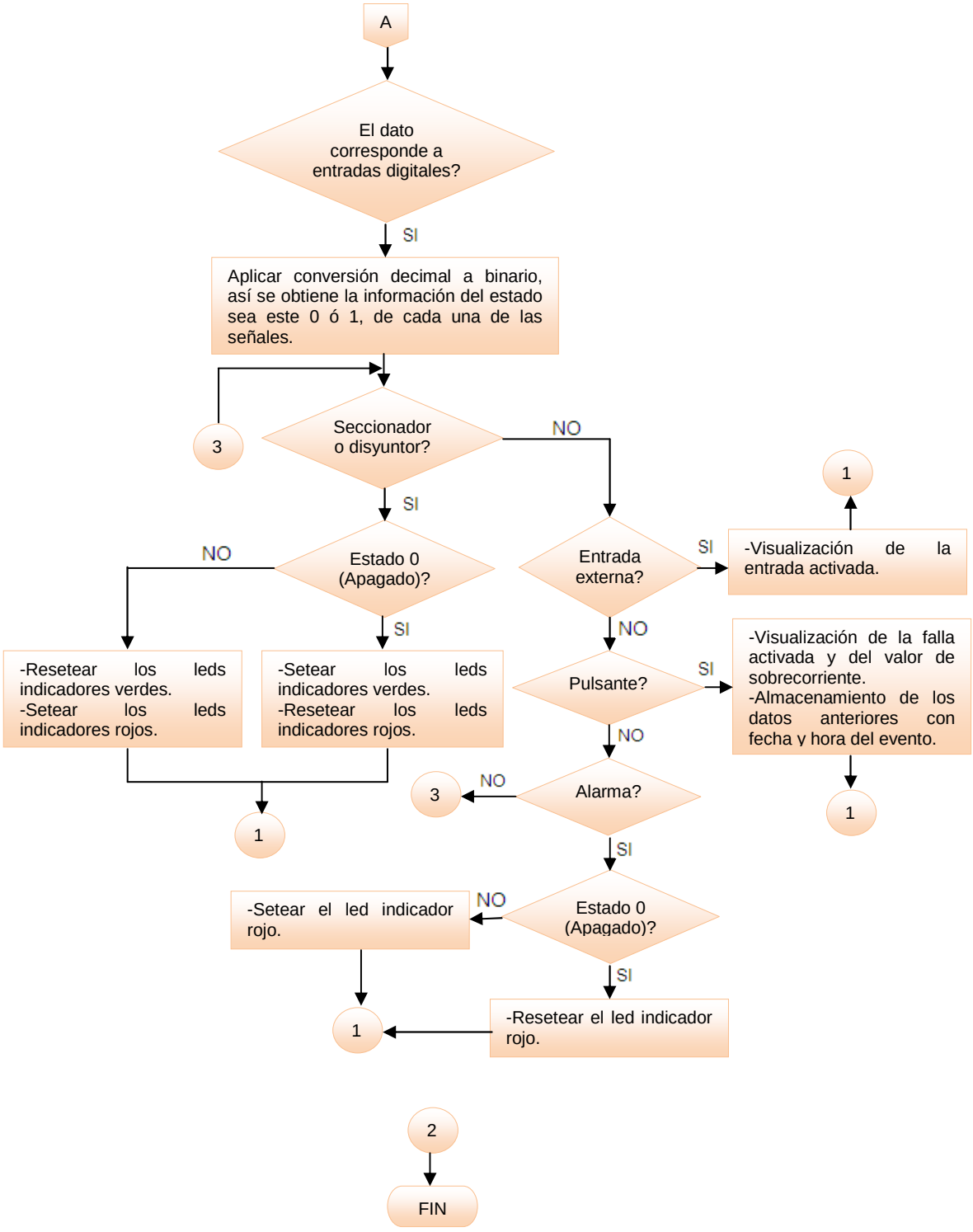



Figura 3.14 Diagrama de flujo de la pantalla “PANEL_DE_MONITOREO”(Parte 2)

### 3.2.2.3. Pantalla “PANEL_DE_ CONTROL”

En la ventana “PANEL_DE_CONTROL” se puede visualizar y cambiar el estado de todos los seccionadores de línea presentes en el módulo. Cabe recalcar que para esto las condiciones del sistema deben ser ideales, es decir, que no exista ninguna falla ya sea de sobre-corriente, sobre-frecuencia o falla a tierra.

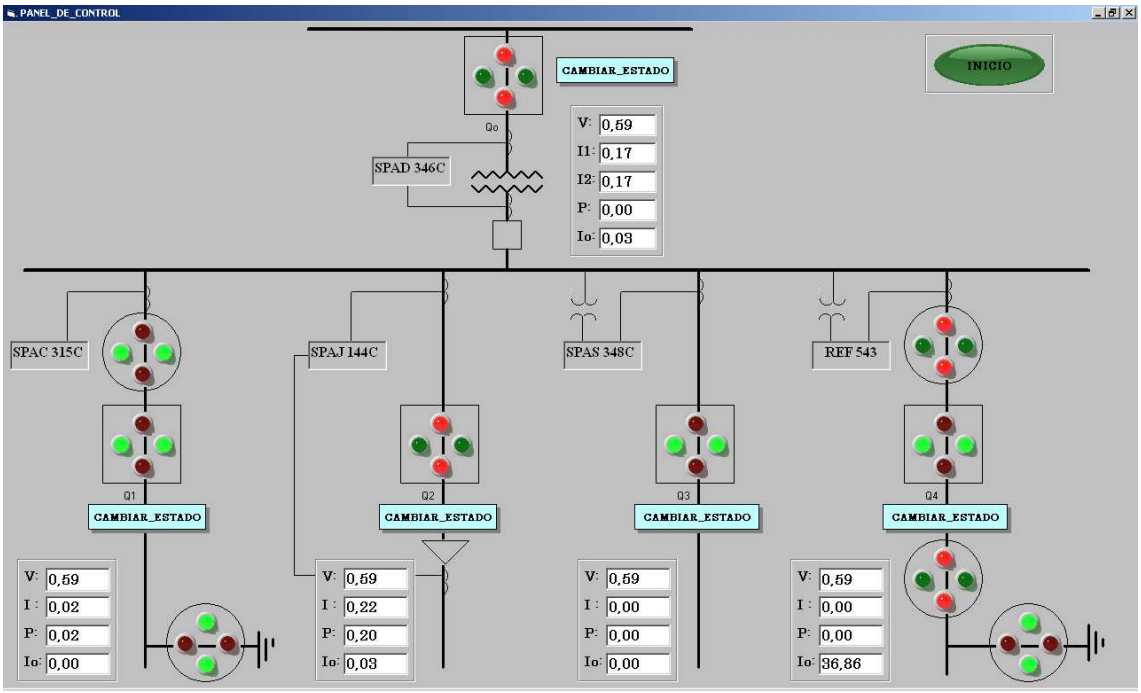



Figura 3.15 Pantalla “PANEL_DE_CONTROL”

Enseguida, el diagrama de flujo correspondiente a esta pantalla, donde se indica la secuencia de los procesos realizada en el programa.

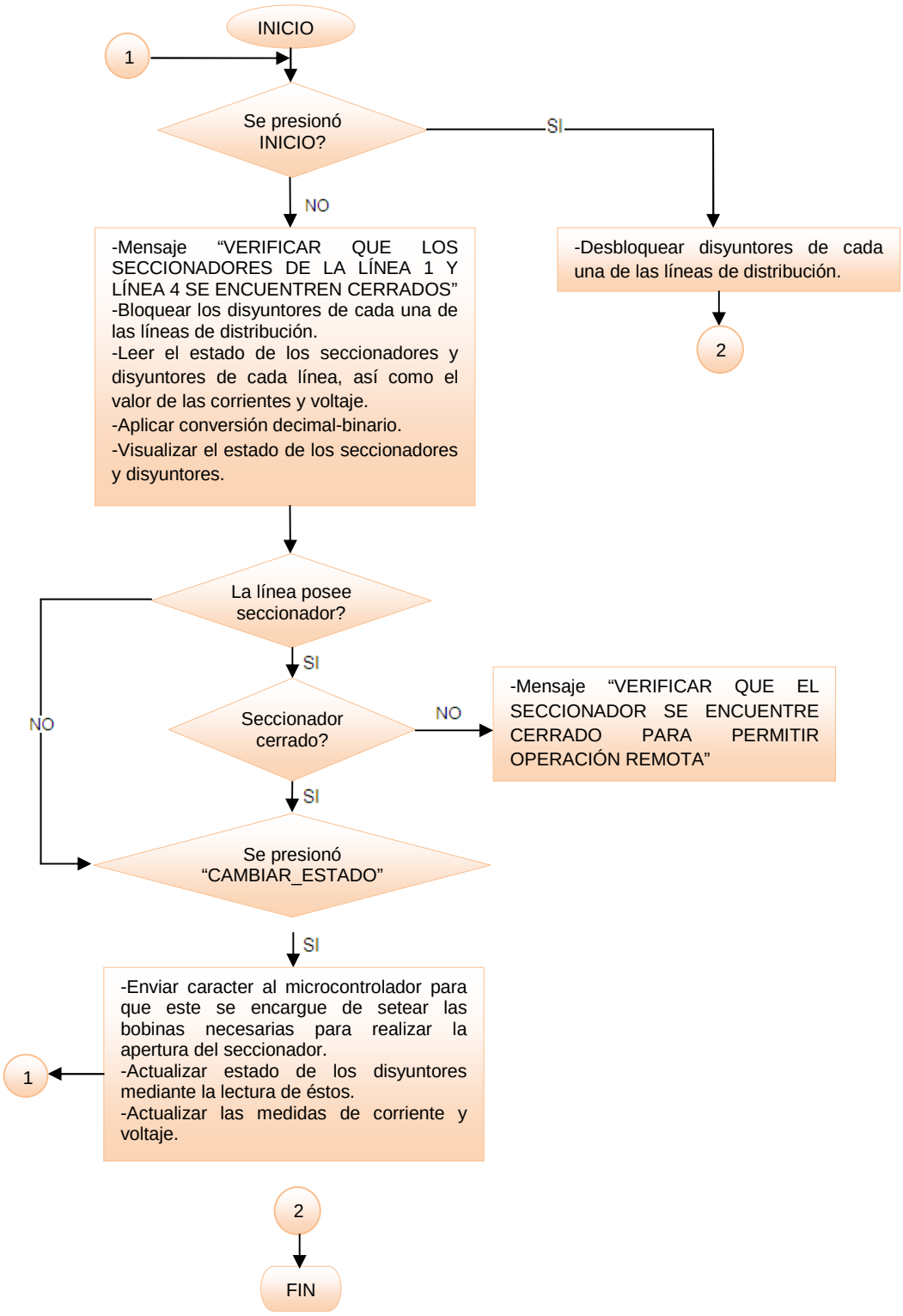



Figura 3.16 Diagrama de flujo de la pantalla "PANEL_DE_CONTROL"

### 3.2.2.4. Pantalla “PANEL DE HISTORIALES”

Dentro de todo HMI es de vital importancia poder visualizar los valores de los parámetros de interés, no únicamente actuales, sino durante un periodo determinado de tiempo. La pantalla “SELECCIÓN DE HISTORIALES” permitirá al usuario la selección de la pantalla deseada donde se puede visualizar los registros de la línea de distribución donde se encuentra ubicado dicho relé.

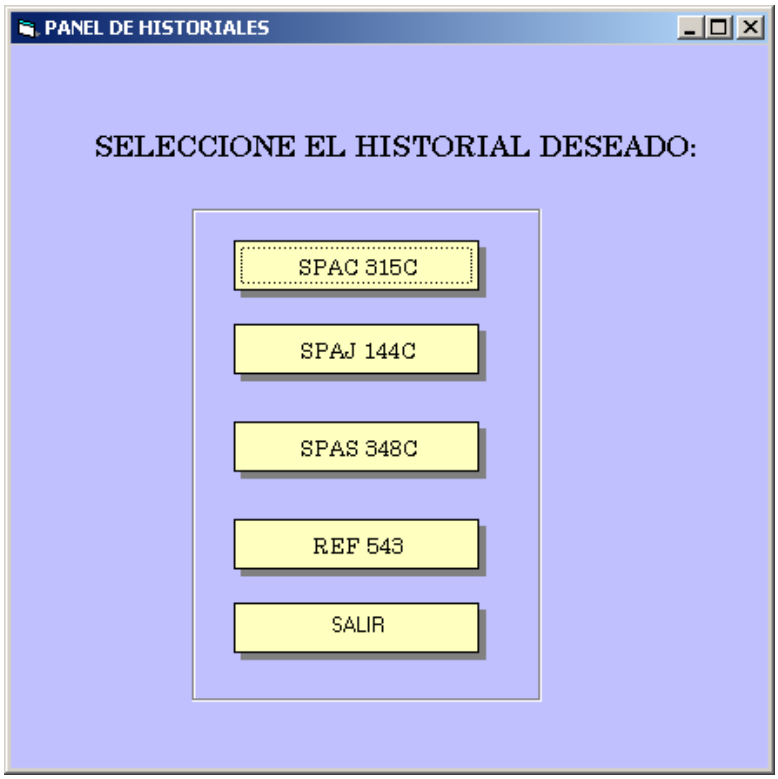



Figura 3.17 Pantalla “SELECCIÓN DE HISTORIALES”

A continuación se presenta un diagrama el diagrama de flujo, para comprender la secuencia utilizada para el desarrollo de dicho panel.

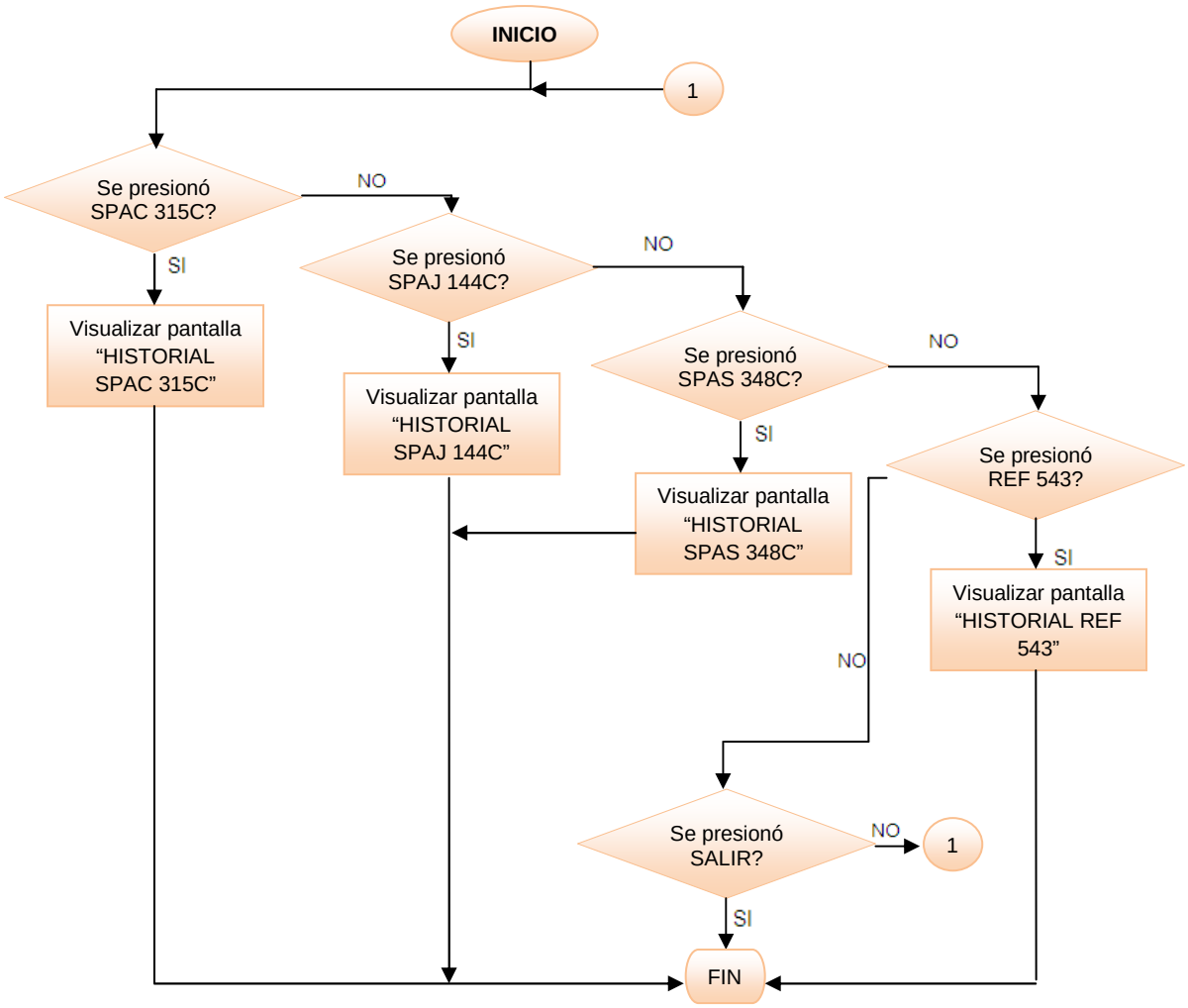



Figura 3.18 Diagrama de flujo de la pantalla "PANEL DE HISTORIALES"

Al generar el historial del funcionamiento del sistema, se tendrá en consideración los datos y la información requerida en un periodo de tiempo, sin importar que el módulo no se encuentre en funcionamiento. A continuación se describirán las pantallas que permitirán realizar dichas tareas.

### 3.2.2.5. Pantallas de Historiales de líneas de distribución

Como se mencionó anteriormente, es importante un registro donde se pueda observar con detalle el comportamiento de los parámetros que intervienen en la sub-estación eléctrica a lo largo de su funcionamiento, por tal motivo, se desarrolló una base de datos elaborada en Access para guardar los valores de las

corrientes de línea, voltaje de la línea, corrientes de neutro, potencia en cada una de las líneas, incluida fecha y hora, de adquisición del dato. Mediante los controles explicados en este capítulo, numeral 3.2.1.1, se diseñó una pantalla de registro de datos para cada una de las líneas de distribución, además dentro de ésta, también existen botones de opciones de selección para regresar a la pantalla “PANEL_DE _MONITOREO” ó a la pantalla de “SELECCIÓN DE HISTORIALES”, también se tiene el botón “BORRAR_HISTORIALES” el cual, mediante el ingreso de una clave permite borrar todos los datos almacenados de todas las líneas de distribución, y por último existe el botón “EXPORTAR”, el cual permite exportar los datos desde el control DBgrid, que es donde se visualizan los valores guardados en la base de datos creada en Access, a una hoja que se crea en Excel. Adicionalmente, se puede observar los valores instantáneos de voltaje, corriente de línea, potencia activa y corriente del neutro, así como también, el estado actual de los disyuntores. Las pantallas de los historiales también muestran las gráficas de voltaje y corriente de línea con los valores instantáneos, los cuales son tomados cada segundo.

Fueron cuatro las pantallas diseñadas, una para cada una de las líneas de distribución: “HISTORIAL SPAC 315C”, “HISTORIAL SPAJ 144C”,“HISTORIAL SPAS 348C” e “HISTORIAL REF 543”, las cuales se muestran a continuación:

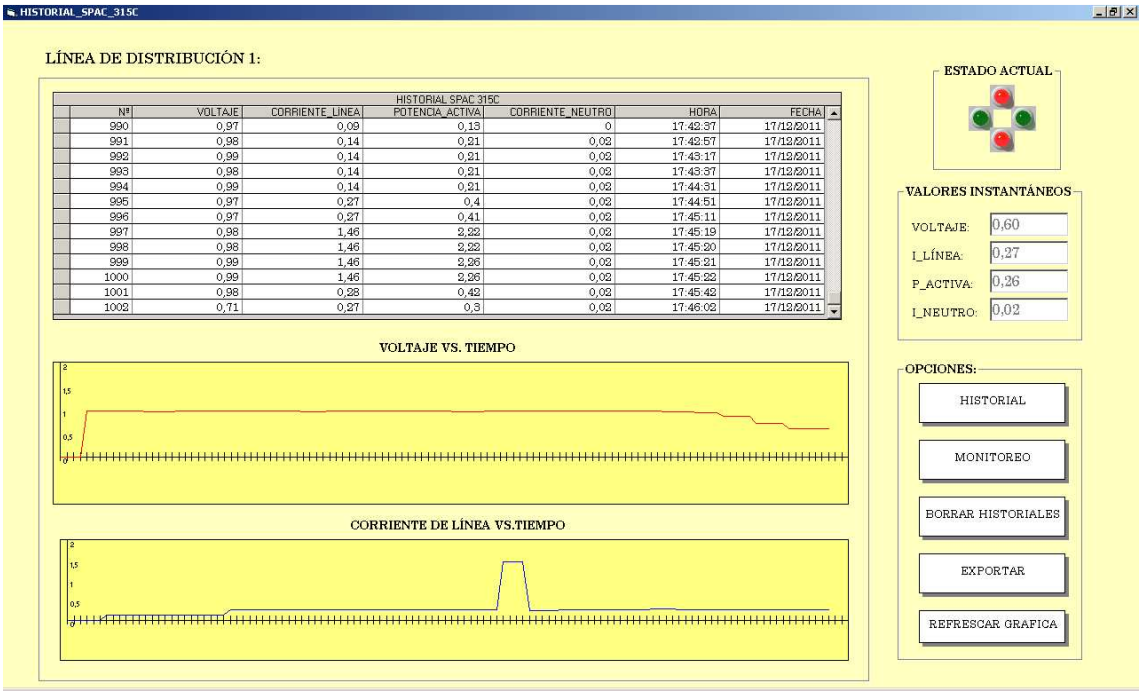



Figura 3.19 Pantalla “HISTORIAL SPAC 315C”

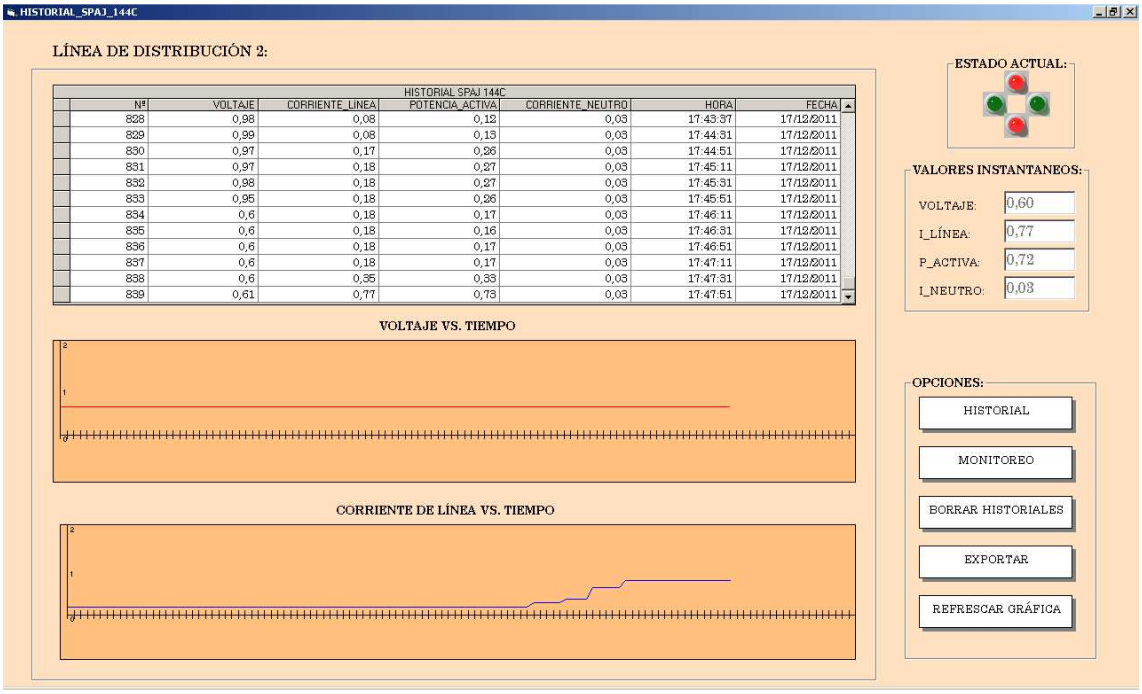



Figura 3.20 Pantalla “HISTORIAL SPAJ 144C”

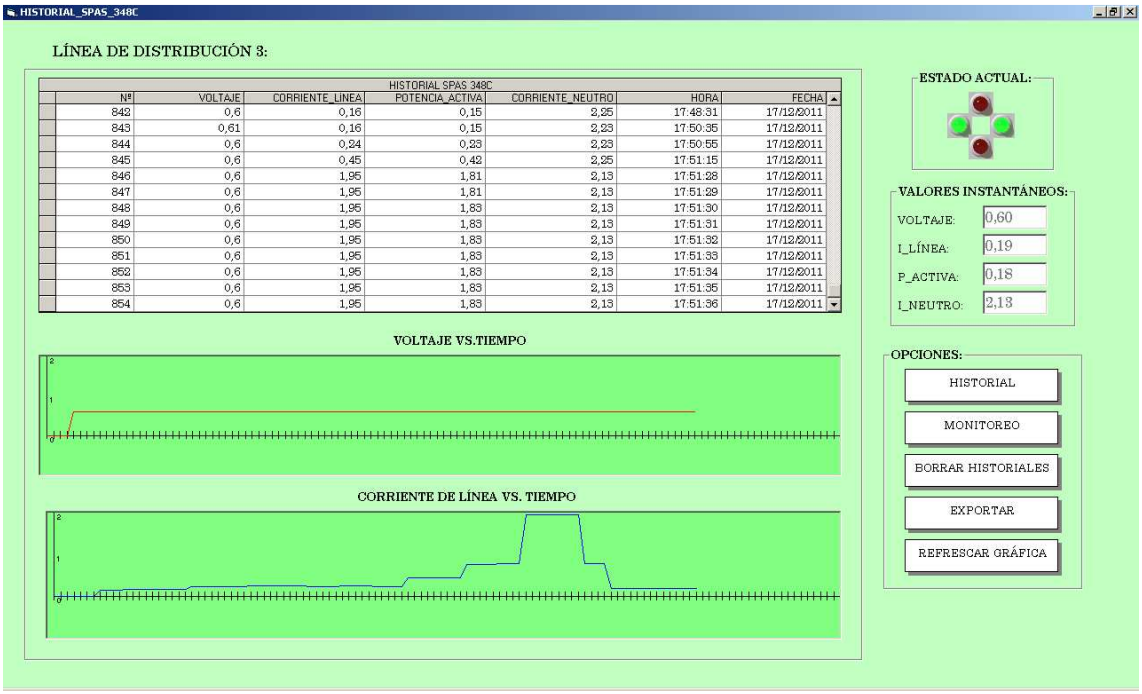



Figura 3.21 Pantalla “HISTORIAL SPAS 348C”

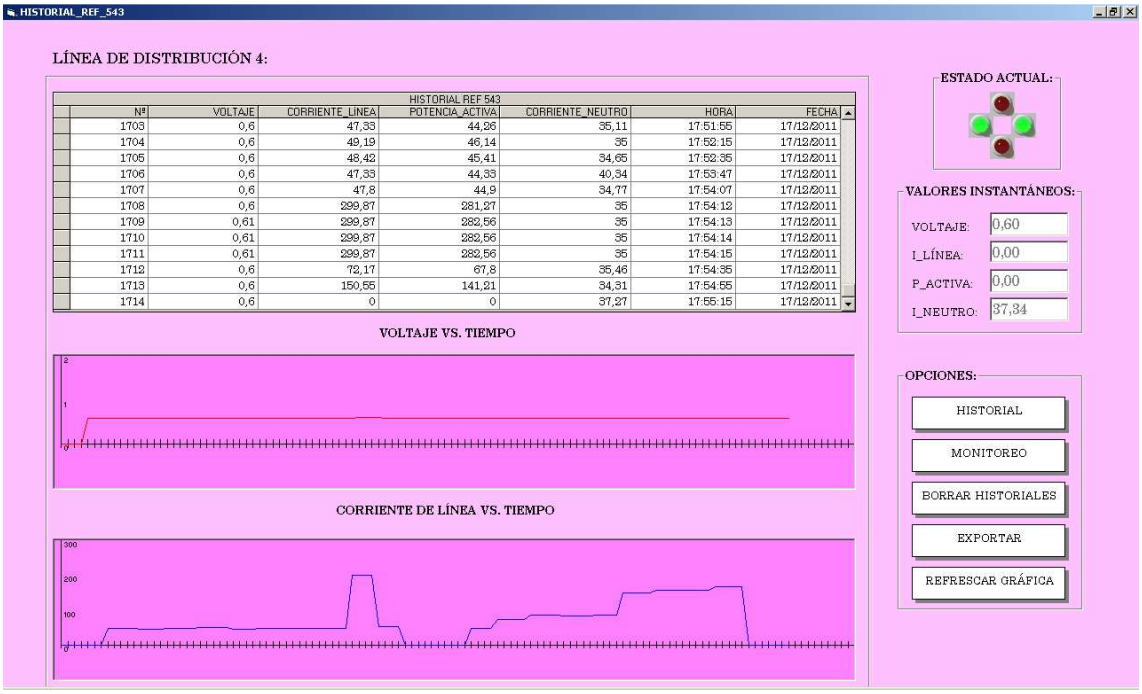



Figura 3.22 Pantalla “HISTORIAL REF 543”

En seguida, el diagrama de flujo secuencial para el desarrollo de la lógica utilizada para la elaboración de cada uno de los formularios.

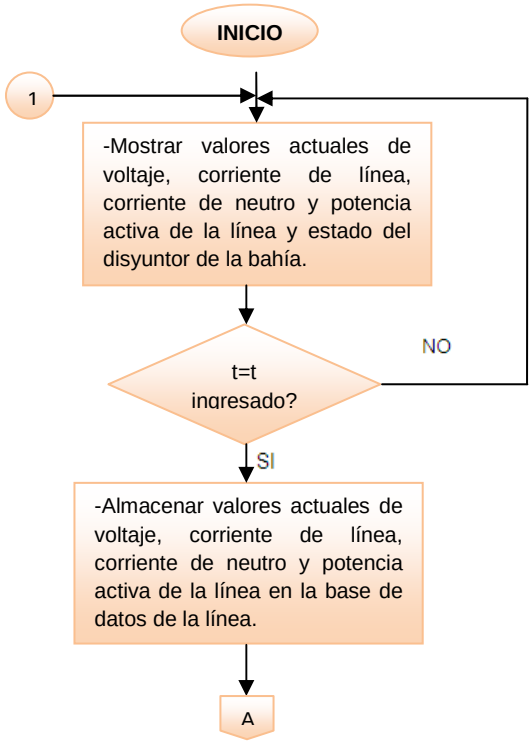



Figura 3.23 Diagrama de flujo de las pantallas Historiales de línea de distribución.

(Parte 1)

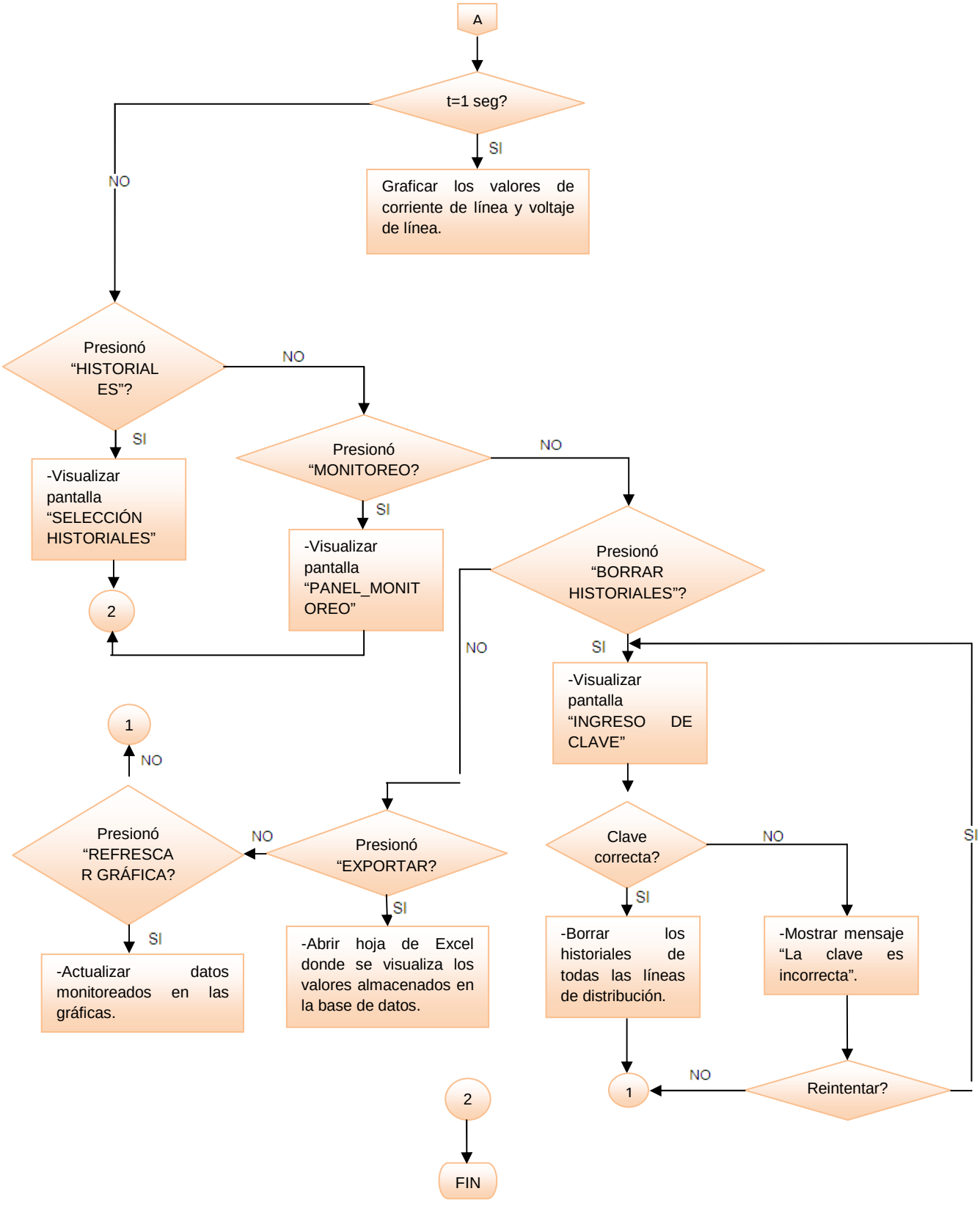



Figura 3.24 Diagrama de flujo de las pantallas Historiales de línea de distribución. (Parte 2)

# CAPÍTULO 4

# PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Después de desarrollar el sistema de control y monitoreo del prototipo de sub-estación eléctrica, se procederá a describir las pruebas respectivas para verificar el correcto funcionamiento de todo el equipo. Las pruebas realizadas corresponden a la comprobación del correcto funcionamiento del sistema, es decir, hardware y software, correspondiente a: control de los disyuntores, monitoreo de las señales provenientes del módulo; dentro de éste se presenta la obtención de las ecuaciones de los potenciómetros simuladores de voltaje en las líneas de distribución, corriente de línea y corriente en el neutro de las líneas.

Figura 4.1 Tablero de monitoreo y control del Prototipo de Subestación eléctrica del Laboratorio de Protecciones Eléctricas de la EPN.

## 4.1. ECUACIONES DE LOS POTENCIÓMETROS SIMULADORES DE VARIACIÓN DE CORRIENTE Y SOBRECORRIENTE DE LÍNEA, NEUTRO Y VOLTAJE DE DISTRIBUCIÓN

Para la visualización de las corrientes fue indispensable determinar el comportamiento de los potenciómetros simuladores de variación de corrientes de

línea, variación de corrientes del neutro y voltaje de las líneas de distribución, para esto, se procedió a la obtención de los voltajes de salida, los cuales varían entre 0 y 5Vdc, para los diferentes valores de corrientes, así como el voltaje, visualizadas en cada uno de los relés de protección que conforman el módulo, con la finalidad de obtener una relación entre éstos. Cabe recalcar que los valores de los parámetros mencionados anteriormente son valores eficaces.

### 4.1.1. OBTENCIÓN DE LAS ECUACIONES DE CORRIENTE PARA LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

#### 4.1.1.1. Relé de protección de sobrecorriente SPAD 346C

El SPAD 346C tiene potenciómetros simuladores de corriente en el primario, en el secundario y en el neutro.

Los datos obtenidos para el primero se muestran en la Tabla 4.1.

| Corriente de línea en el Primario | Voltaje de entrada al HMI [V] |
|---|---|
| 0,00 | 0,48 |
| 0,03 | 0,49 |
| 0,08 | 0,51 |
| 0,11 | 0,52 |
| 0,13 | 0,53 |
| 0,19 | 0,55 |
| 0,20 | 0,59 |
| 0,23 | 0,65 |
| 0,26 | 0,72 |
| 0,29 | 0,79 |
| 0,32 | 0,86 |
| 0,36 | 0,95 |
| 0,39 | 1,02 |
| 0,43 | 1,12 |

| | |
|---|---|
| 0,48 | 1,24 |
| 0,53 | 1,35 |
| 0,58 | 1,47 |
| 0,63 | 1,58 |
| 0,73 | 1,81 |
| 0,77 | 1,91 |
| 0,82 | 2,03 |
| 0,87 | 2,15 |
| 0,92 | 2,26 |
| 1,00 | 2,45 |
| 1,04 | 2,55 |
| 1,10 | 2,68 |
| 1,14 | 2,78 |
| 1,20 | 2,92 |
| 1,25 | 3,04 |
| 1,30 | 3,15 |
| 1,34 | 3,25 |
| 1,44 | 3,48 |
| 1,51 | 3,63 |
| 1,57 | 3,77 |
| 1,67 | 4 |
| 1,74 | 4,18 |
| 1,84 | 4,4 |
| 1,90 | 4,54 |
| 2,02 | 4,81 |
| 2,10 | 5 |

Tabla 4.1 Corriente en el primario vs. Voltaje de entrada al HMI.

Los datos recopilados fueron graficados en la Figura 4.2 la cual se muestra a continuación:

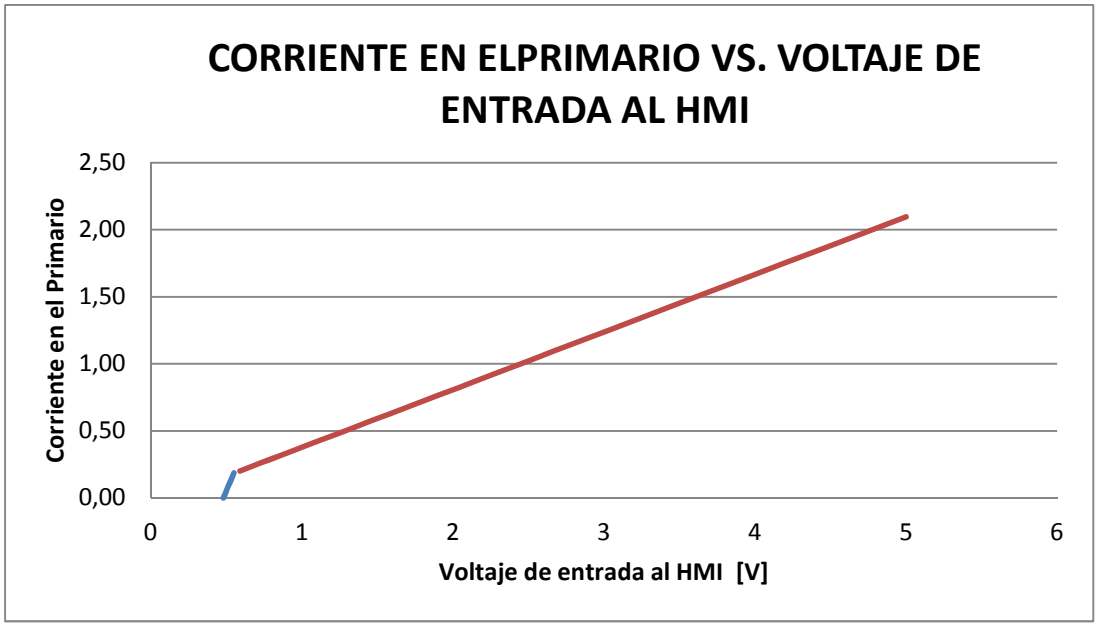



Figura 4.2 Curva de Corriente del Primario.

Como se puede observar, la curva de la corriente primaria vs. voltaje es completamente lineal en casi todo su rango. Para la obtención de la ecuación de la curva se partió de la siguiente ecuación:

$$y = (m * x) + b \quad (4.1)$$

Considerando los rangos de linealidad se obtuvo las siguientes ecuaciones:

Para 0.48V - 0.55V se tiene:

$$I_1 = (2.667 * V) - 1.28 \quad (4.2)$$

Entre 0.56V y 5V se obtuvo:

$$I_1 = (0.43 * V) - 0.0529 \quad (4.3)$$

Para el potenciómetro simulador de variación de corriente en el neutro se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 4.2:

| Corriente de neutro en línea de distribución | Voltaje de entrada al HMI [V] |
|---|---|
| 1,42 | 0,01 |
| 1,88 | 0,12 |
| 2,00 | 0,15 |
| 2,58 | 0,29 |
| 2,75 | 0,33 |
| 3,00 | 0,39 |
| 3,45 | 0,5 |
| 4,99 | 0,87 |
| 5,57 | 1,01 |
| 5,77 | 1,06 |
| 6,27 | 1,18 |
| 7,14 | 1,39 |
| 7,55 | 1,49 |
| 7,84 | 1,56 |
| 8,13 | 1,63 |
| 8,84 | 1,8 |
| 9,42 | 1,94 |
| 10,08 | 2,1 |
| 12,15 | 2,6 |
| 12,57 | 2,7 |
| 13,11 | 2,83 |
| 13,73 | 2,98 |
| 15,46 | 3,49 |
| 16,00 | 3,62 |
| 17,04 | 3,87 |

Tabla 4.2 Corriente del neutro de línea 1 vs. Voltaje de entrada al HMI.

La gráfica obtenida es la siguiente:

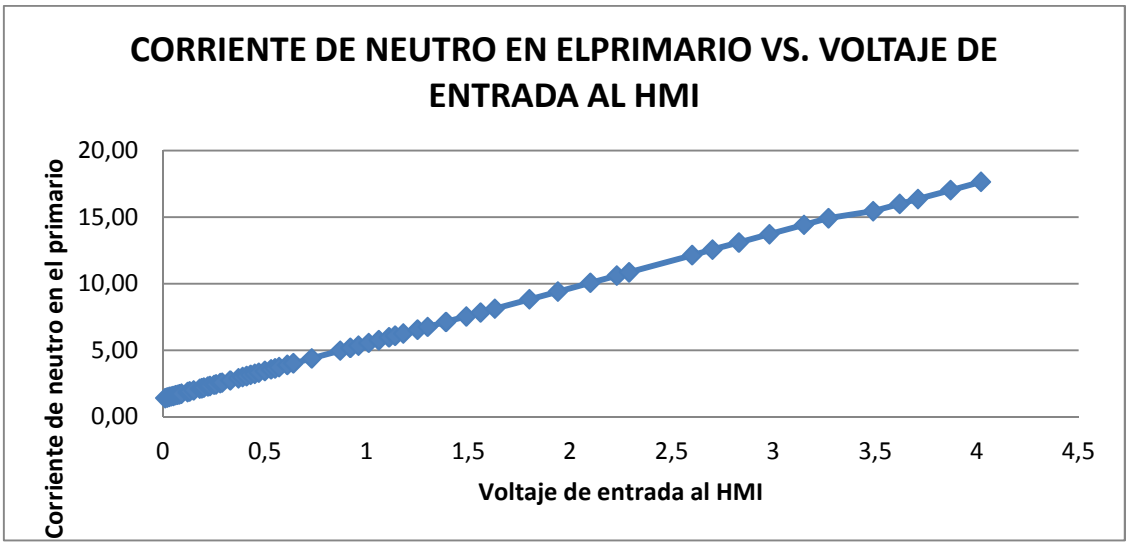



Figura 4.3 Curva de la Corriente del Neutro.

Para la obtención de la ecuación de las curvascorrespondientes para cada rango de linealidad igualmente se consideró la ecuación (4.1):

$$y = (m * x) + b$$

Para 0.48V - 0.55V se tiene:

$$I_1 = (4.144 * V) + 1.38 \qquad (4.4)$$

#### 4.1.1.2. Relé de protección de sobre-frecuencia SPAF 340C

En el relé SPAF 340C se puede visualizar el voltaje que se tiene en cada una de las líneas de distribución.

Los datos obtenidos para este potenciómetro simulador se muestran en la Tabla 4.3.

| Voltaje de Distribución | Voltaje de entrada al HMI [V] |
|---|---|
| 0,10 | 0,02 |

| | |
|---|---|
| 0,11 | 0,12 |
| 0,13 | 0,25 |
| 0,14 | 0,38 |
| 0,18 | 0,7 |
| 0,22 | 0,98 |
| 0,26 | 1,31 |
| 0,28 | 1,45 |
| 0,31 | 1,69 |
| 0,33 | 1,9 |
| 0,37 | 2,13 |
| 0,41 | 2,33 |
| 0,44 | 2,51 |
| 0,49 | 2,73 |
| 0,52 | 2,91 |
| 0,55 | 3,04 |
| 0,59 | 3,29 |
| 0,62 | 3,44 |
| 0,65 | 3,6 |
| 0,69 | 3,81 |
| 0,71 | 3,91 |
| 0,74 | 4,06 |
| 0,79 | 4,34 |
| 0,81 | 4,43 |
| 0,83 | 4,52 |
| 0,79 | 4,52 |
| 0,87 | 4,6 |
| 0,90 | 4,63 |
| 0,91 | 4,64 |
| 0,92 | 4,65 |
| 0,93 | 4,66 |
| 0,94 | 4,67 |

| | |
|---|---|
| 0,95 | 4,68 |

Tabla 4.3 Voltaje de Distribución vs. Voltaje de entrada al HMI.

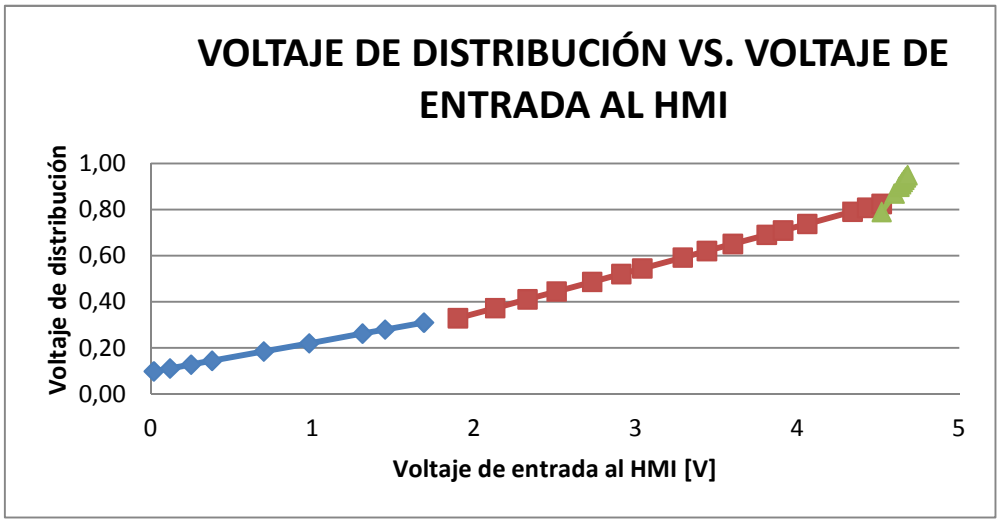



Figura 4.4 Curva del voltaje de las líneas de distribución.

Este potenciómetro también es lineal por secciones, así que, utilizó la ecuación (4.1).

Para 0V – 1.69 V se tiene:

$$U = (0.1268 * V) + 0.958 \qquad (4.5)$$

Entre 1.70 V y 4.52 V se obtuvo:

$$U = (1.892 * V) - 0.301 \qquad (4.6)$$

Y finalmente, Entre 4.53 V y 5 V se tenemos:

$$U = V - 3.73 \qquad (4.7)$$

#### 4.1.1.3. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAC 315C

En el SPAC 315C se visualiza la corriente de la línea de distribución 1, así como la corriente del neutro de dicha línea.

Los datos obtenidos para el primero se muestran en la Tabla 4.4.

| Corriente de línea | Voltaje de entrada al HMI [V] |
|---|---|
| 0,08 | 0,01 |
| 0,08 | 0,05 |
| 0,09 | 0,09 |
| 0,10 | 0,15 |
| 0,11 | 0,22 |
| 0,12 | 0,28 |
| 0,14 | 0,41 |
| 0,17 | 0,57 |
| 0,20 | 0,75 |
| 0,24 | 1,03 |
| 0,30 | 1,25 |
| 0,34 | 1,53 |
| 0,39 | 1,83 |
| 0,44 | 2,12 |
| 0,49 | 2,41 |
| 0,54 | 2,75 |
| 0,59 | 3,05 |
| 0,64 | 3,34 |
| 0,69 | 3,66 |
| 0,73 | 3,88 |
| 0,78 | 4,18 |
| 0,86 | 4,72 |
| 0,87 | 4,76 |

Tabla 4.4 Corriente de línea de distribución 1 vs. Voltaje de entrada al HMI.

A continuación la gráfica correspondiente:

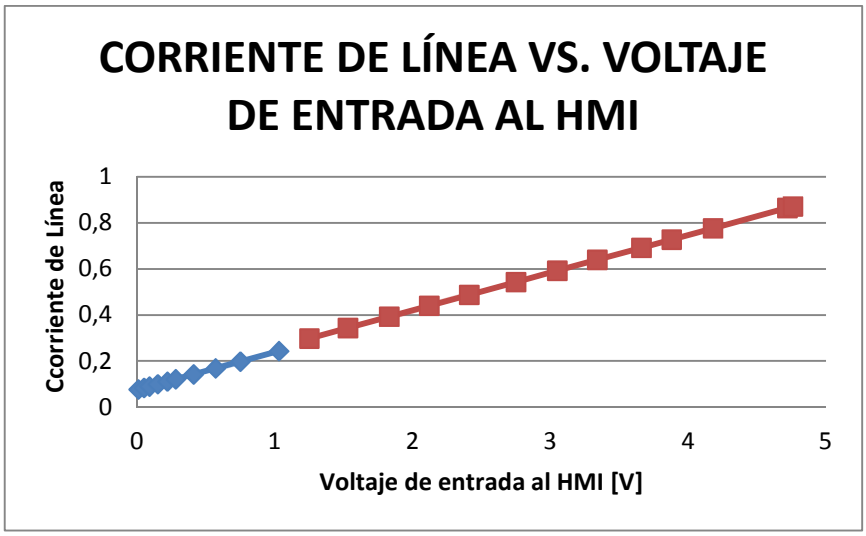



Figura 4.5 Curva de corriente de la línea de distribución 1.

Se puede observar que el comportamiento de este parámetro es lineal por secciones y, por tanto, sus ecuaciones parten de la fórmula (4.1):

$$y = (m * x) + b$$

Considerando los rangos de linealidad se obtuvo las siguientes ecuaciones:

Entre 0 V y 0.02 V se obtuvo:

$$I = (2 * V) + 0.02 \quad (4.8)$$

Entre 0.03 V y 0.73 V tenemos:

$$I = (0.2 * V) + 0.066 \quad (4.9)$$

Por último, entre 0.74 V y 5 V, se adquirió:

$$I = (0.178 * V) + 0.0899 \quad (4.10)$$

Los datos tomados para el potenciómetro simulador de variación de corriente en el neutro se presentan en la Tabla 4.5:

| Corriente de neutro | Voltaje de entrada al HMI [V] |
|---|---|
| 0,01 | 0,02 |
| 0,01 | 0,04 |
| 0,01 | 0,15 |
| 0,02 | 0,38 |
| 0,04 | 0,63 |
| 0,05 | 0,87 |
| 0,05 | 1,07 |
| 0,07 | 1,37 |
| 0,08 | 1,68 |
| 0,09 | 1,92 |
| 0,10 | 2,08 |

Tabla 4.5 Corriente de neutro de la línea de distribución 1 vs. Voltaje de entrada al HMI.

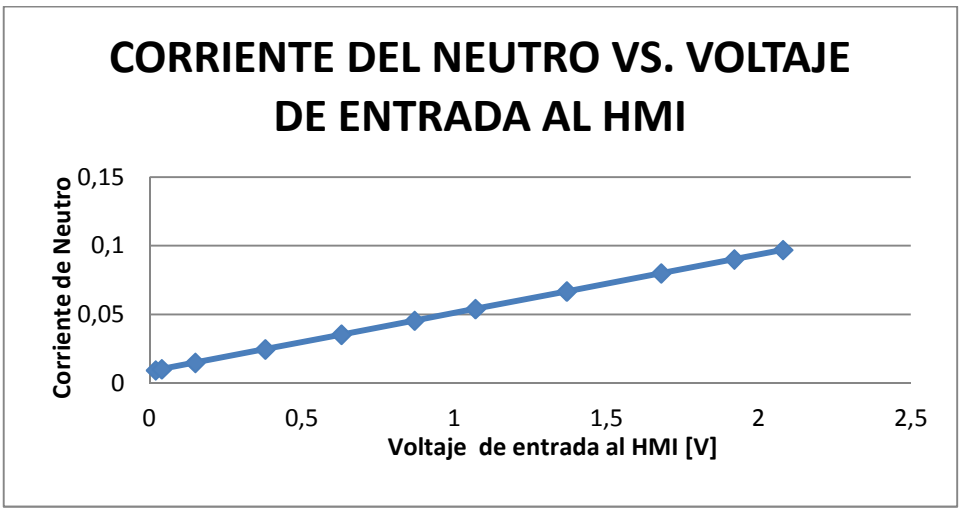


Figura 4.6 Curva de la corriente de neutro de la línea de distribución 1.

Cuya ecuación de la recta para todo el rango de voltaje es la siguiente:

$$I_0 = (0.0426 * V) + 0.0085 \qquad (4.11)$$

#### 4.1.1.4. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAJ 144C

En el SPAJ 144C se visualiza la corriente de la línea de distribución 2, así como la corriente del neutro de la misma. Los datos obtenidos para el primero se muestran en la Tabla 4.6.

| Corriente de línea 2 [KA] | Voltaje de salida [V] |
|---|---|
| 0,08 | 0,01 |
| 0,08 | 0,05 |
| 0,09 | 0,09 |
| 0,10 | 0,15 |
| 0,11 | 0,22 |
| 0,14 | 0,41 |
| 0,17 | 0,57 |
| 0,20 | 0,75 |
| 0,24 | 1,03 |
| 0,30 | 1,25 |
| 0,34 | 1,53 |
| 0,39 | 1,83 |
| 0,44 | 2,12 |
| 0,49 | 2,41 |
| 0,54 | 2,75 |
| 0,59 | 3,05 |
| 0,64 | 3,34 |

| | |
|---|---|
| 0,69 | 3,66 |
| 0,73 | 3,88 |
| 0,78 | 4,18 |
| 0,86 | 4,72 |
| 0,87 | 4,76 |

Tabla 4.6 Corriente de línea de distribución 2 vs. Voltaje de entrada al HMI.

Los datos recopilados fueron graficados en la Figura 4.7:

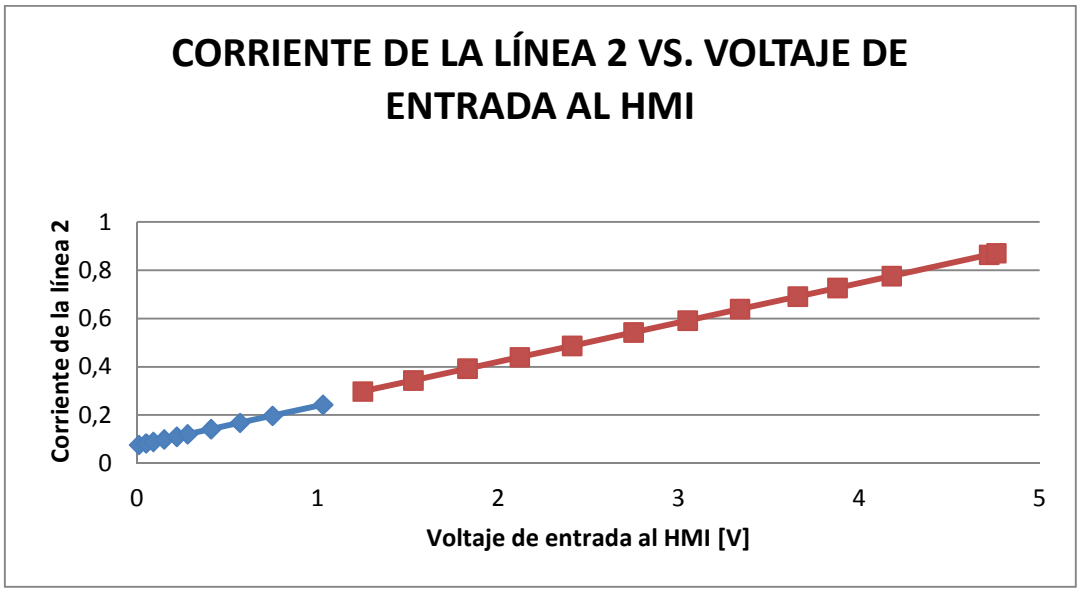



Figura 4.7 Curva de corriente de la línea de distribución 2.

Se puede observar que el comportamiento de este parámetro es lineal por secciones y, al igual que en los casos anteriores su ecuación está dada por la ecuación (4.1):

$$y = (m * x) + b$$

Considerando los rangos de linealidad se obtuvo las siguientes ecuaciones:

Entre 0.01 V y 1.03 V se tiene:

$$I = (0.16329 * V) + 0.075 \quad (4.12)$$

Entre 1.25 V y 5 V tenemos:

$$I = (0.1632 * V) + 0.0939 \quad (4.13)$$

Para la variación de la corriente del neutro los datos se encuentran tabulados en la Tabla 4.7.

| **Corriente de neutro línea 2 [KA]** | **Voltaje de salida [V]** |
|---|---|
| 0,02 | 0,01 |
| 0,02 | 0,21 |
| 0,03 | 0,39 |
| 0,04 | 0,68 |
| 0,06 | 1,2 |
| 0,08 | 1,85 |
| 0,11 | 2,51 |
| 0,13 | 3,04 |
| 0,17 | 4,1 |
| 0,18 | 4,45 |

Tabla 4.7 Corriente del neutro de línea 2 vs. Voltaje de entrada al HMI.

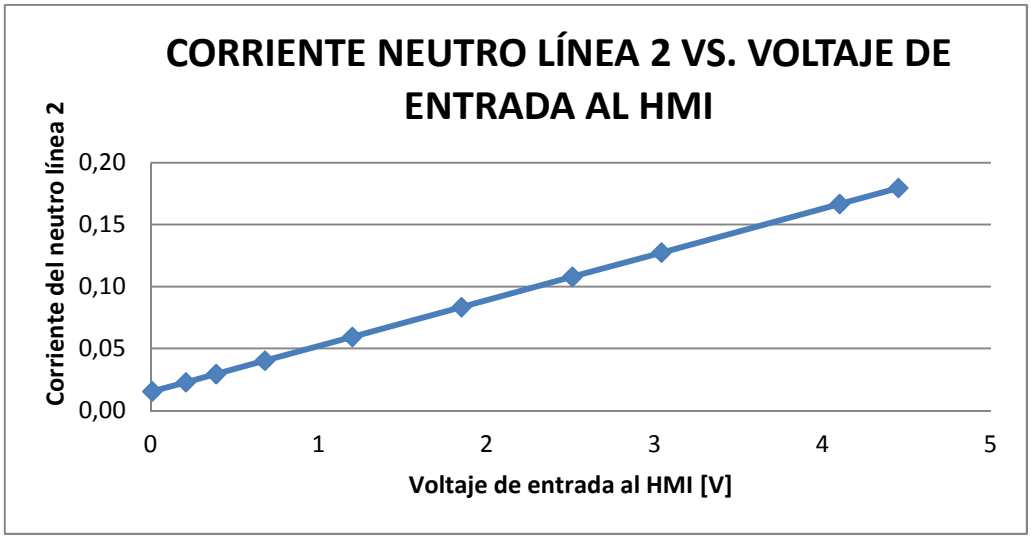



Figura 4.8Curva de Corriente del neutro de la línea de distribución 2.

Al igual que en las ecuaciones anteriores, se tomó como partida la ecuación (4.1). De donde se obtuvo la siguiente ecuación:

$$I_0 = (0.037 * V) + 0.015 \quad (4.14)$$

#### 4.1.1.5. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAS 348C

La corriente de la línea de distribución 3 y su corriente de neutro se visualizan mediante el relé SPAS 348C. Los datos de la corriente de línea vs.voltaje de salida se indican en la Tabla 4.8.

| Corriente de línea 3 | Voltaje de entrada al HMI [V] |
|---|---|
| 0,06 | 0,06 |
| 0,08 | 0,14 |
| 0,10 | 0,22 |
| 0,14 | 0,39 |
| 0,18 | 0,56 |
| 0,21 | 0,7 |

| | |
|---|---|
| 0,25 | 0,83 |
| 0,27 | 0,99 |
| 0,30 | 1,16 |
| 0,35 | 1,44 |
| 0,40 | 1,7 |
| 0,45 | 1,98 |
| 0,50 | 2,22 |
| 0,55 | 2,51 |
| 0,60 | 2,78 |
| 0,64 | 2,99 |
| 0,69 | 3,25 |
| 0,74 | 3,55 |
| 0,80 | 3,85 |
| 0,85 | 4,1 |
| 0,89 | 4,34 |
| 0,91 | 4,44 |

Tabla 4.8 Corriente de línea 3 vs. Voltaje de entrada al HMI.

Los datos recopilados fueron graficados en la Figura 4.9:

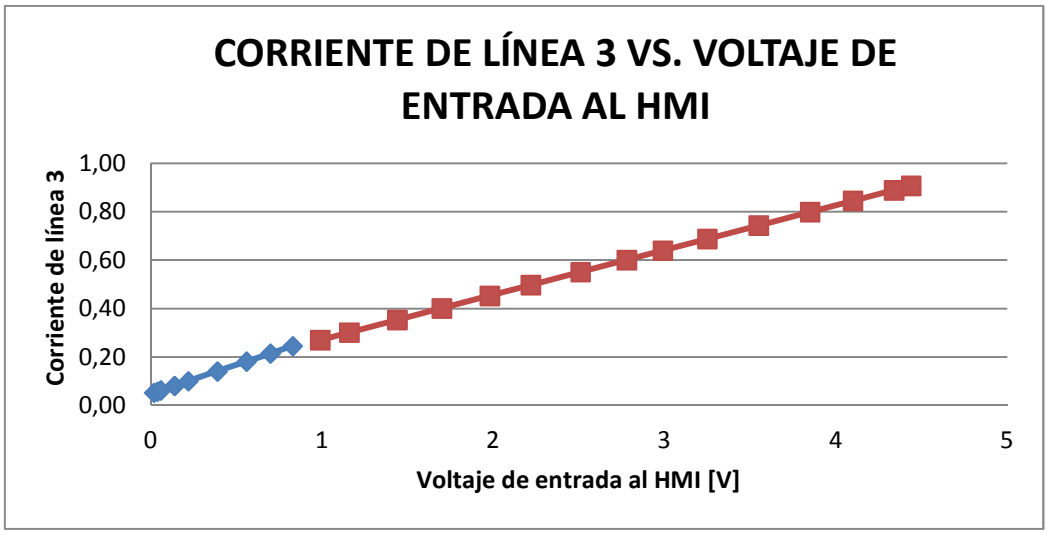



Figura 4.9 Curva de corriente de la línea de distribución 3.

A partir de esta gráfica se pudieron obtener sus dos ecuaciones de recta las cuales tienen la forma de la ecuación (4.1).

$$y = (m * x) + b$$

Considerando los rangos de linealidad se obtuvo las siguientes ecuaciones:

Entre 0.02 V y 0.83 V se tiene:

$$I = (0.2381 * V) + 0.048 \quad (4.15)$$

Entre 0.84 V y 5 V se llego a la expresión:

$$I = (0.185 * V) + 0.087 \quad (4.16)$$

Para la variación de la corriente del neutro los datos se encuentran tabulados en la Tabla 4.9.

| **Corriente de neutro de línea 3** | **Voltaje de entrada al HMI [V]** |
|---|---|
| 0,83 | 0,01 |
| 1,13 | 0,02 |
| 1,43 | 0,03 |
| 1,56 | 0,04 |
| 1,65 | 0,06 |
| 1,77 | 0,09 |
| 1,81 | 0,1 |
| 1,89 | 0,12 |
| 2,14 | 0,18 |
| 2,39 | 0,24 |
| 2,55 | 0,28 |
| 2,89 | 0,36 |
| 3,05 | 0,4 |
| 3,26 | 0,45 |

| | |
|---|---|
| 3,38 | 0,48 |
| 3,71 | 0,56 |
| 4,04 | 0,64 |
| 4,37 | 0,72 |
| 4,58 | 0,77 |
| 4,79 | 0,82 |
| 5,03 | 0,88 |
| 5,45 | 0,98 |
| 5,74 | 1,05 |
| 6,11 | 1,14 |
| 6,36 | 1,2 |
| 6,81 | 1,31 |
| 7,18 | 1,4 |
| 7,55 | 1,49 |
| 7,97 | 1,59 |
| 8,59 | 1,74 |
| 8,96 | 1,83 |
| 9,29 | 1,91 |
| 9,87 | 2,05 |
| 10,45 | 2,19 |
| 11,07 | 2,34 |
| 11,52 | 2,45 |
| 12,06 | 2,58 |
| 12,64 | 2,72 |
| 13,01 | 2,81 |
| 13,63 | 2,96 |
| 14,21 | 3,1 |
| 14,79 | 3,24 |
| 15,57 | 3,43 |
| 16,15 | 3,57 |
| 16,31 | 3,61 |

| | |
|---|---|
| 17,60 | 3,92 |
| 18,79 | 4,21 |
| 20,07 | 4,52 |
| 20,78 | 4,69 |

Tabla 4.9 Corriente del neutro de línea 3 vs. Voltaje de entrada al HMI.

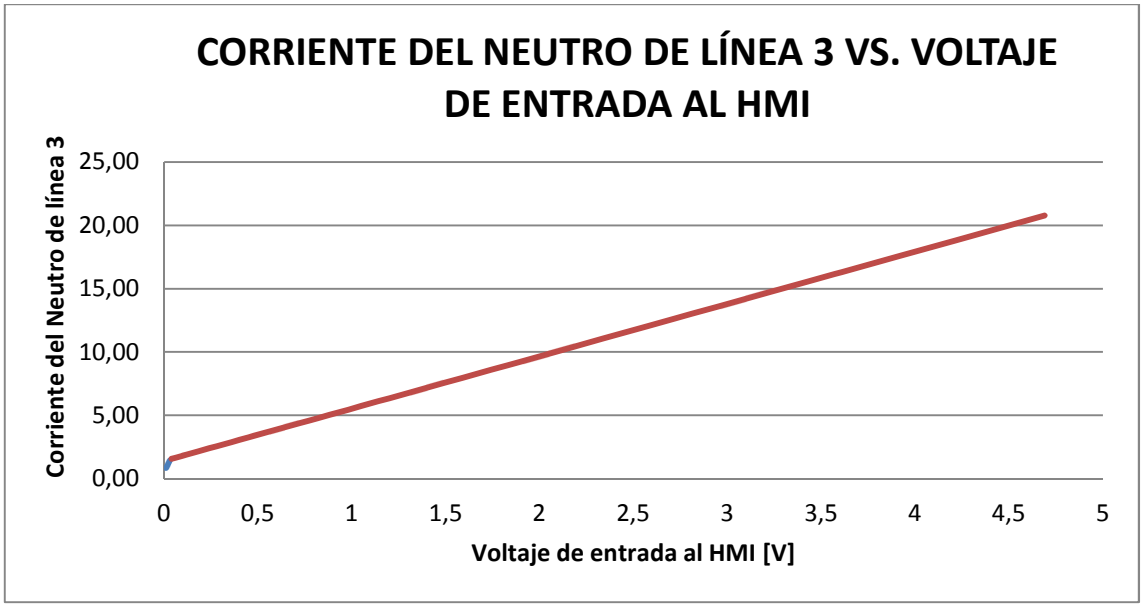



Figura 4.10 Curva de la corriente del neutro de la línea de distribución 3.

La expresión resultante tiene la forma de la ecuación (4.1):

$$I_0 = (0.037 * V) + 0.015 \quad (4.13)$$

#### 4.1.1.6. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra REF 543

El relé de protección REF 543 presenta una pantalla donde se puede monitorear los valores de corriente de línea así como la corriente del neutro.

Los datos de obtenidos se visualizan a continuación en la Tabla 4.10.

| Corriente de línea 4 | Voltaje de entrada al HMI [V] |
|---|---|

| | |
|---|---|
| 0,55 | 30,30 |
| 0,63 | 32,84 |
| 0,66 | 33,79 |
| 0,72 | 35,70 |
| 0,82 | 38,87 |
| 0,92 | 42,05 |
| 0,96 | 43,32 |
| 1 | 44,59 |
| 1,06 | 46,49 |
| 1,12 | 48,85 |
| 1,22 | 50,37 |
| 1,28 | 52,12 |
| 1,37 | 54,76 |
| 1,44 | 56,82 |
| 1,52 | 59,16 |
| 1,61 | 61,80 |
| 1,69 | 64,14 |
| 1,77 | 66,49 |
| 1,84 | 68,54 |
| 1,93 | 71,18 |
| 2,07 | 75,28 |
| 2,13 | 77,04 |
| 2,22 | 79,68 |
| 2,35 | 83,49 |
| 2,41 | 85,25 |
| 2,53 | 88,77 |
| 2,78 | 96,10 |
| 2,97 | 101,67 |
| 3,1 | 105,48 |
| 3,16 | 107,24 |
| 3,25 | 109,88 |

| | |
|---|---|
| 3,43 | 115,15 |
| 3,49 | 116,91 |
| 3,68 | 122,48 |
| 3,76 | 124,83 |
| 3,91 | 129,23 |
| 4,18 | 137,14 |
| 4,38 | 143,00 |
| 4,63 | 150,33 |
| 4,75 | 153,85 |
| 4,86 | 157,08 |
| 4,96 | 160,01 |

Tabla 4.10 Corriente de línea 4 vs. Voltaje de salida.

Al graficar los datos Figura 4.11 se puede observar q al igual que en los casos anteriores el comportamiento del potenciómetro es lineal por secciones.

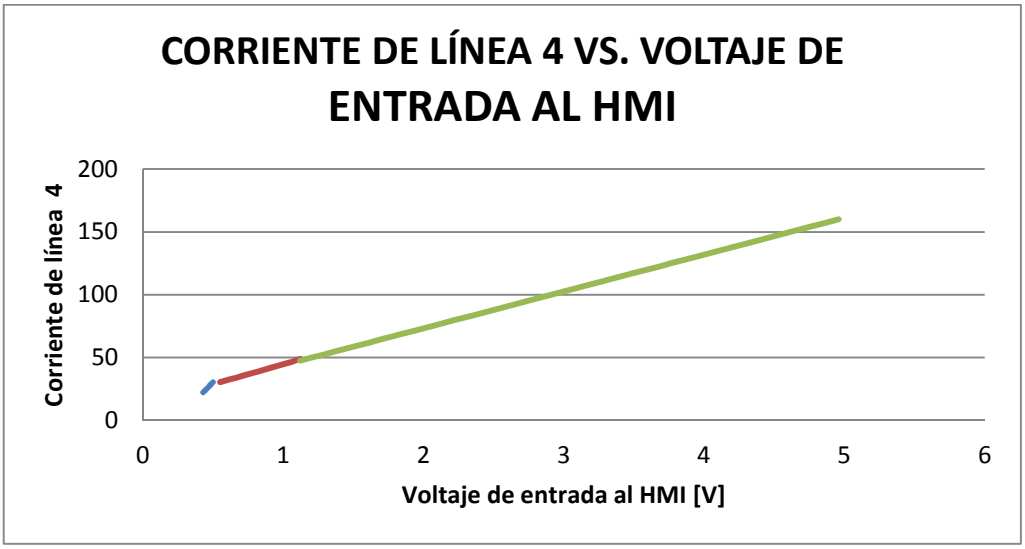



Figura 4.11 Curva de corriente de la línea de distribución 4.

A partir de esta gráfica se pudieron obtener sus tres ecuaciones de las rectas las cuales tienen la forma de la ecuación (4.1).

$$y = (m * x) + b$$

De donde se obtuvo las siguientes ecuaciones:

Entre 0.55 V y 0.63 V se tiene:

$$I = (115.71 * V) - 27.469 \quad (4.17)$$

Entre 0.64 V y 1.12 V tenemos:

$$I = (31.76 * V) + 12.829 \quad (4.18)$$

Por último, entre 1.13V y 5V se obtuvo:

$$I = (29.316 * V) + 14.6 \quad (4.19)$$

En lo referente a la variación de corriente en el neutro los datos que se obtuvieron fueron los siguientes Tabla 4.11.

| **Corriente del neutro de línea 4** | **Voltaje de entrada al HMI [V]** |
|---|---|
| 21,40 | 0,78 |
| 21,64 | 0,79 |
| 23,52 | 0,87 |
| 27,54 | 1,04 |
| 29,90 | 1,14 |
| 33,20 | 1,28 |
| 36,74 | 1,43 |
| 36,50 | 1,5 |
| 38,17 | 1,62 |
| 39,55 | 1,72 |
| 42,47 | 1,93 |
| 44,97 | 2,11 |
| 48,30 | 2,35 |

| | |
|---|---|
| 50,80 | 2,53 |
| 53,71 | 2,74 |
| 55,79 | 2,89 |
| 56,90 | 2,97 |
| 59,96 | 3,19 |
| 61,48 | 3,3 |
| 63,06 | 3,41 |
| 64,65 | 3,52 |
| 66,09 | 3,62 |
| 67,25 | 3,7 |
| 69,41 | 3,85 |
| 71,29 | 3,98 |
| 73,75 | 4,15 |
| 76,06 | 4,31 |
| 77,36 | 4,4 |
| 80,47 | 4,5 |
| 82,80 | 4,54 |
| 88,62 | 4,64 |
| 89,20 | 4,65 |

Tabla 4.11 Corriente del neutro de línea 4 vs. Voltaje deentrada al HMI.

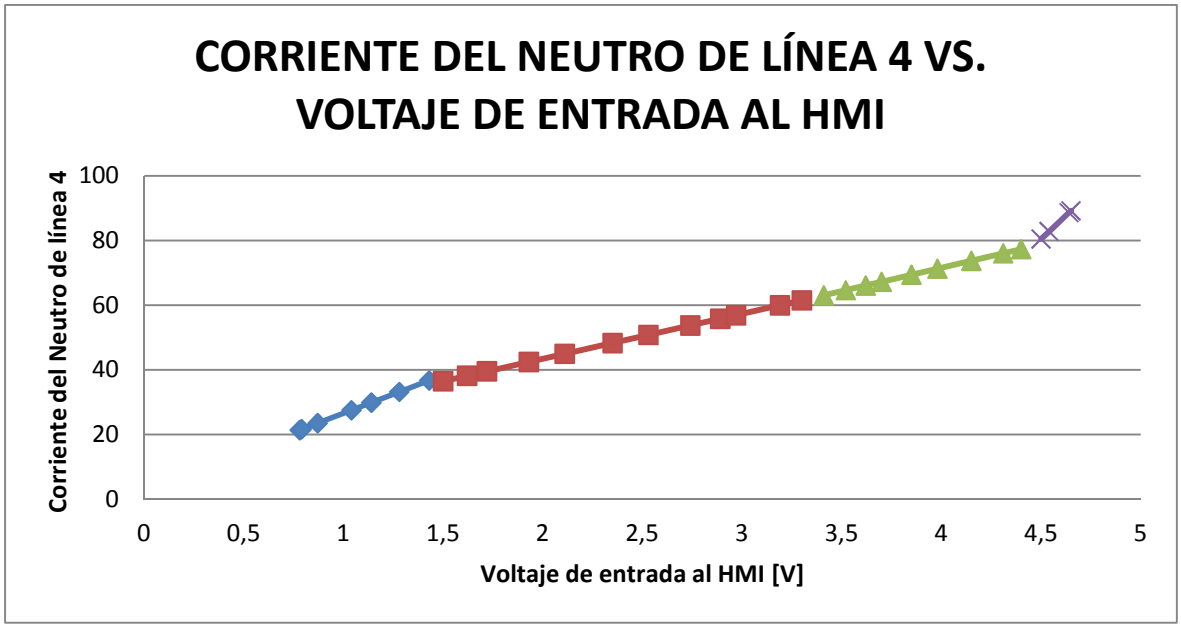



Figura 4.12 Curva de la corriente del neutro de la línea de distribución 4.

Considerando la ecuación (4.1) las ecuaciones obtenidas fueron las siguientes:

Entre los rangos de 0.78 V y 1.43 V se obtuvo:

$$I_0 = (23.6 * V) - 2.992 \qquad (4.20)$$

Entre 1.44 V y 3.30 V la ecuación de la recta es:

$$I_0 = (13.88 * V) + 15.68 \qquad (4.21)$$

Entre 3.31 V y 4.40 V tenemos:

$$I_0 = (11.44 * V) + 13.82 \qquad (4.22)$$

Finalmente, entre 4.41V y 5V resultó:

$$I_0 = (58.18 * V) - 18 \qquad (4.23)$$

### 4.1.2. OBTENCIÓN DE ECUACIONES DE SOBRECORRIENTE PARA LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

Para el cálculo de la ecuación de sobrecorriente se procedió a la tabulación de los datos siguientes:

| Corriente de línea 1 [KA] | Sobrecorriente I> [KA] | Sobrecorriente I>> [KA] |
|---|---|---|
| 0.00 | 1.28 | 0.43 |
| 0.05 | 1.34 | 0.50 |
| 0.10 | 1.40 | 0.56 |
| 0.15 | 1.45 | 0.61 |
| 0.20 | 1.50 | 0.66 |
| 0.25 | 1.55 | 0.71 |
| 0.30 | 1.58 | 0.74 |
| 0.40 | 1.66 | 0.83 |
| 0.50 | 1.74 | 0.91 |
| 0.60 | 1.83 | 1.00 |
| 0.70 | 1.92 | 1.08 |
| 0.80 | 2.01 | 1.16 |
| 0.90 | 2.11 | 1.26 |

Tabla 4.12 Corrientes y sobrecorrientes de la línea de distribución 1.

| Corriente del Neutro de línea 1 [KA] | Sobrecorriente Io> [KA] | Sobrecorriente Io>> [KA] |
|---|---|---|
| 0.00 | 0.27 | 1.33 |

| | | |
|---|---|---|
| 0.01 | 0.27 | 1.35 |
| 0.03 | 0.29 | 1.37 |
| 0.05 | 0.31 | 1.38 |
| 0.07 | 0.33 | 1.40 |
| 0.09 | 0.35 | 1.42 |

Tabla 4.13 Corrientes y sobrecorrientes del Neutro de la línea de distribución 1.

| **Corriente de línea 2 [KA]** | **Sobrecorriente I> [KA]** | **Sobrecorriente I>> [KA]** | **Sobrecorriente I>>> [KA]** |
|---|---|---|---|
| 0.00 | 1.41 | 0.48 | 0.64 |
| 0.05 | 1.48 | 0.55 | 0.72 |
| 0.10 | 1.53 | 0.61 | 0.78 |
| 0.15 | 1.57 | 0.66 | 0.83 |
| 0.20 | 1.61 | 0.71 | 0.88 |
| 0.25 | 1.66 | 0.77 | 0.94 |
| 0.30 | 1.71 | 0.81 | 0.98 |
| 0.40 | 1.79 | 0.91 | 1.07 |
| 0.50 | 1.87 | 0.98 | 1.14 |
| 0.60 | 1.95 | 1.08 | 1.23 |
| 0.70 | 2.04 | 1.16 | 1.32 |
| 0.80 | 2.13 | 1.25 | 1.40 |
| 0.84 | 2.15 | 1.28 | 1.42 |

Tabla 4.14 Corrientes y sobrecorrientes de la línea de distribución 2.

| **Corriente del Neutro de línea 1 [KA]** | **Sobrecorriente Io> [KA]** | **Sobrecorriente Io>> [KA]** |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| 0.00 | 0.29 | 1.57 |
| 0.03 | 0.32 | 1.58 |
| 0.06 | 0.34 | 1.60 |
| 0.09 | 0.37 | 1.62 |
| 0.12 | 0.40 | 1.65 |
| 0.15 | 0.43 | 1.68 |
| 0.18 | 0.46 | 1.70 |

Tabla 4.15 Corrientes y sobrecorrientes del Neutro de la línea de distribución 2.

| **Corriente de línea 3 [KA]** | **Sobrecorriente I> [KA]** | **Sobrecorriente I>> [KA]** | **Sobrecorriente I>>> [KA]** |
|---|---|---|---|
| 0.00 | 1.39 | 0.39 | 0.53 |
| 0.05 | 1.42 | 0.46 | 0.60 |
| 0.10 | 1.49 | 0.52 | 0.67 |
| 0.15 | 1.52 | 0.57 | 0.72 |
| 0.20 | 1.57 | 0.62 | 0.77 |
| 0.25 | 1.62 | 0.67 | 0.82 |
| 0.30 | 1.67 | 0.72 | 0.86 |
| 0.40 | 1.74 | 0.80 | 0.94 |
| 0.50 | 1.83 | 0.89 | 1.03 |
| 0.60 | 1.89 | 0.95 | 1.09 |
| 0.70 | 1.99 | 1.05 | 1.18 |
| 0.75 | 2.03 | 1.10 | 1.22 |
| 0.87 | 2.20 | 1.19 | 1.32 |

Tabla 4.16 Corrientes y sobrecorrientes de la línea de distribución 3.

| **Corriente del Neutro de línea 1 [KA]** | **Sobrecorriente Io> [A]** | **Sobrecorriente Io>> [A]** |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| 0.00 | 29.1 | 149 |
| 0.70 | 29.8 | 150 |
| 2.30 | 31.3 | 152 |
| 3.60 | 32.5 | 151 |
| 4.23 | 33.0 | 152 |
| 5.13 | 33.8 | 153 |
| 7.13 | 36.0 | 154 |
| 8.33 | 37.0 | 155 |
| 9.33 | 37.8 | 156 |
| 11.0 | 39.1 | 158 |
| 12.5 | 40.8 | 159 |
| 14.5 | 42.5 | 160 |
| 16.5 | 45 | 162 |
| 19.3 | 48.3 | 165 |

Tabla 4.17 Corrientes y sobrecorrientes del Neutro de la línea de distribución 3.

Al realizar un análisis de los valores de sobrecorriente para diferentes valores de corriente de línea y neutro de cada uno de los ramales, se puede observar que los valores de sobrecorriente son los mismos valores de las corrientes agregado un valor constante.

#### 4.1.2.1. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAC 315C

El relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAC 315C, ubicado en la línea de distribución 1 presenta dos etapas de sobreintensidad: la de ajuste bajo ($I_{>}$) cuya ecuación es la (4.24) y de ajuste alto ($I_{\gg}$) dada por la ecuación (4.25).

$$I_{>} = I + 1.28 \pm 0.02 \quad (4.24)$$

$$I_{\gg} = I + 0.42 \pm 0.02 \quad (4.25)$$

Adicional a esto, el SPAC 315C también presenta dos etapas de sobreintensidad para la corriente del neutro: ajuste bajo ($I_{o>}$) y la de ajuste alto ($I_{o\gg}$), las ecuaciones ingresadas al HMI son la (4.26) y la (4.27), respectivamente.

$$I_{o>} = I_o + 0.37 \quad (4.26)$$

$$I_{o\gg} = I_o + 1.35 \quad (4.27)$$

#### 4.1.2.2. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAJ 144C

Para el relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAJ 144C ubicado en la línea de distribución 2 se obtuvo las siguientes ecuaciones para las fallas de sobrecorriente: para la etapa de ajuste bajo ($I_>$) su ecuación es la (4.28), en lo referente a la primera etapa de ajuste alto ($I_{\gg}$) se obtuvo la expresión (4.29) y por último, para el cálculo de los valores de la segunda etapa de ajuste alto ($I_{\gg>}$) se empleó la ecuación (4.30).

$$I_> = I + 1.28 \ (\pm 0.02) \quad (4.28)$$

$$I_{\gg} = I + 0.35 \ (\pm 0.02 \quad (4.29)$$

$$I_{\gg>} = I + 0.10 \ (\pm 0.02) \quad (4.30)$$

Para las fallas de sobrecorriente en el neutro se tiene:

Etapa de ajuste bajo $I_{o>}$:

$$I_{o>} = I_o + 0.37 \quad (4.31)$$

Etapa de ajuste alto $I_{o\gg}$:

$$I_{o\gg} = I_o + 1.35 \quad (4.32)$$

#### 4.1.2.3. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra SPAS 348C

En la línea de distribución 3 se encuentra el SPAS 348C el cual presenta las mismas etapas de sobreintensidad tanto de línea como de neutro que el SPAJ 144C. Las ecuaciones se muestran a continuación:

Para fallas de sobrecorriente detectadas en la línea:

Etapa de ajuste bajo $I_{>}$:

$$I_{>} = I + 1.21 \ (\pm 0.02) \quad (4.33)$$

Primera etapa de ajuste alto $I_{\gg}$:

$$I_{\gg} = I + 0.34 \ (\pm 0.02) \quad (4.34)$$

Finalmente, segunda etapa de ajuste alto $I_{\gg>}$:

$$I_{\gg>} = I + 0.51 \ (\pm 0.02) \quad (4.35)$$

Para fallas de sobrecorriente detectadas en el neutro:

Etapa de ajuste bajo $I_{o>}$:

$$I_{o>} = I_o + 28.80 \ (\pm 0.05) \quad (4.36)$$

Para la etapa de ajuste alto $I_{o\gg}$ se obtuvo dos ecuaciones de acuerdo al valor de corriente visualizado en el display:

Para valores entre 0 y 16 A tenemos:

$$I_{o\gg} = I_o + 151 \quad (4.37)$$

Y para valores superiores a 16 A se obtuvo la siguiente expresión:

$$I_{o\gg} = I_o + 28.8 \quad (4.38)$$

#### 4.1.2.4. Relé de protección de sobrecorriente y falla a tierra REF 543

En lo que respecta al relé REF 543 los valores visualizados al momento de simular una sobrecorriente en la línea de distribución 4 son independientes del valor de corriente de funcionamiento que se encuentre en dicho momento.

En la corriente de fase se tiene:

Para la etapa de ajuste bajo tenemos una corriente que varía entre 309.8 A y 314.8 A.

Para la etapa de ajuste alto se visualiza una corriente de 738.3 A a 742.78 A.

Referente a la corriente de neutro:

Para la etapa de ajuste bajo tenemos una corriente de neutro que se encuentra en el rango de 148.5 A y 155.9 A.

Para la etapa de ajuste alto se visualiza una corriente que oscila entre 373 A y 382.4 A.

## 4.2. PRUEBAS DE MONITOREO

En el prototipo de sub-estación eléctrica utilizado para el desarrollo de este proyecto para cada una de las líneas de distribución que lo conforman, así como en la línea principal, se encuentra un número considerable de entradas tanto análogas como digitales, las cuales son visualizadas en el Panel de Monitoreo.

### 4.2.1. ENTRADAS DIGITALES

El estado de pulsantes, alarmas, y entradas externas según sea el funcionamiento del módulo son visualizados en la interfaz. Los resultados obtenidos pueden verificarse con facilidad en el formulario respectivo como se muestra a continuación.

Figura 4.13 Entradas digitales del panel del simulador de sub-estación eléctrica.

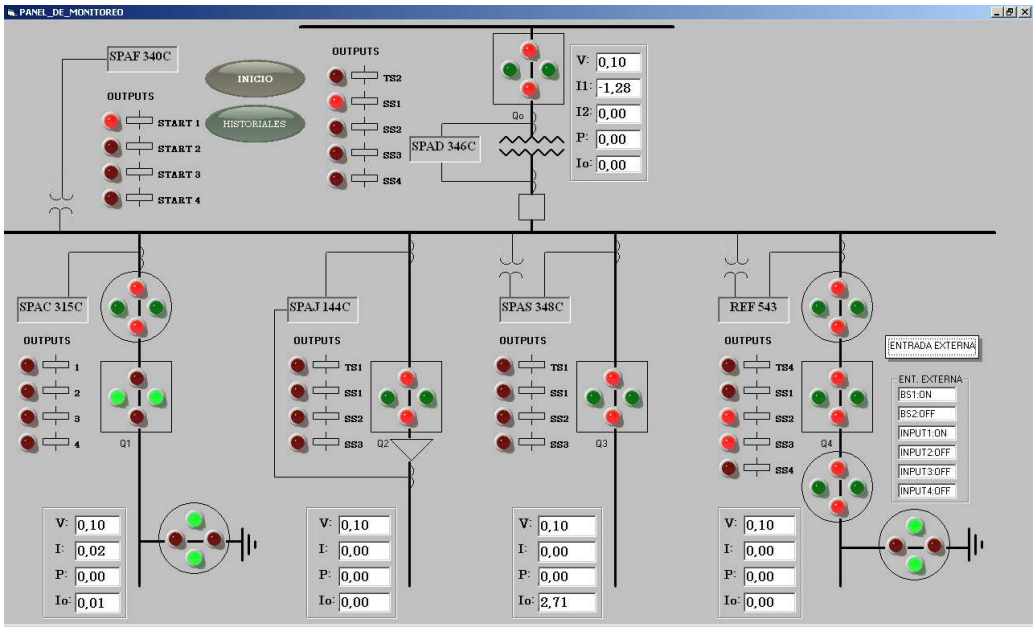



Figura 4.14 Entradas digitales del panel del simulador de sub-estación eléctrica en la pantalla del HMI.

### 4.2.2. ENTRADAS ANÁLOGAS

En cada una de las líneas de distribución así como de la línea de alimentación se encuentran los relés de protección, los cuales poseen displays para la visualización de la corriente de línea y corriente del neutro.

El HMI diseñado presenta una gran ventaja en comparación a los relés de protección del módulo en lo que respecta a la visualización de datos, ya que, en la pantalla denominada "PANEL_DE MONITOREO" se puede observar simultáneamente, los valores de las corrientes de línea, corrientes del neutro, voltaje de línea y potencia activa de cada una de las líneas, como se detalló en el capítulo anterior, lo cual resulta ser de mayor facilidad para un monitoreo más amigable.

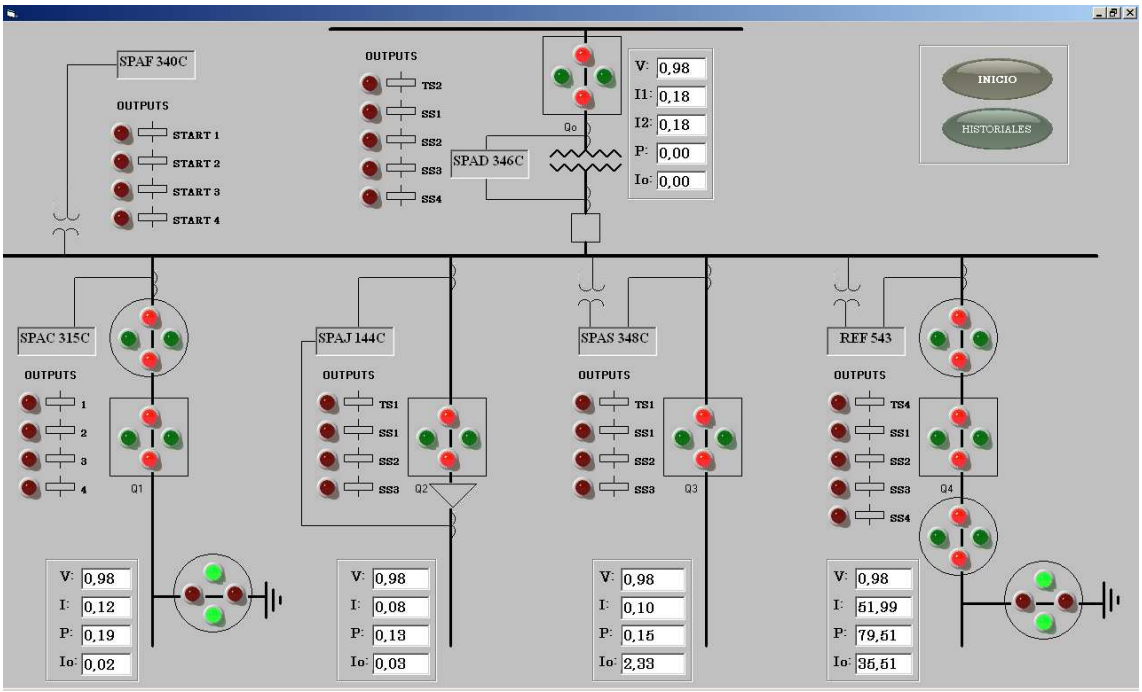



Figura 4.15 Visualización de los valores análogos del módulo simulador de Sub-estación eléctrica en la pantalla del HMI.

El tiempo que se demora la interfaz en detectar una variación ya sea de alguna de las entradas digitales o de las entradas análogas es de aproximadamente 4seg, siendo éste un tiempo ideal para esta aplicación, ya que al tratarse de un módulo

didáctico se trató en lo posible que su funcionamiento se asemeje a una sub-estación real, donde existen retrasos en la adquisición de datos debido a las distancias entre la planta y los equipos de medición, así como también retardos debido al procesamiento de la señal.

#### 4.2.2.1. Cálculo de errores

Para el cálculo de los errores se utilizaron las siguientes expresiones:

Error absoluto:

$$Ea = V.Medido - V.Real \quad (4.39)$$

Error relativo en % a fondo de escala:

$$\%_{Total} = \frac{E_a}{Fondo\ de\ escala} * 100 \quad (4.40)$$

Para tres diferentes valores de cada uno de los relés de protección se obtuvo lo siguiente:

| | Valor Real | Valor HMI | Error absoluto | Error relativo [%] |
|---|---|---|---|---|
| **SPAD 346C** | | | | |
| Corriente primaria [KA] | 0.20 | 0.21 | 0.01 | 5 |
| | 0.69 | 0.70 | 0.01 | 1.5 |
| | 0.95 | 0.94 | 0.01 | 1.05 |
| Corriente de neutro [KA] | 0.09 | 0.09 | 0 | 0 |
| | 0.12 | 0.12 | 0 | 0 |
| | 0.19 | 0.20 | 0.02 | 5 |
| **SPAF 340C** | | | | |
| Voltaje de distribución [KV] | 0.34 | 0.33 | 0.01 | 2.94 |
| | 0.57 | 0.56 | 0.01 | 1.75 |
| | 0.85 | 0.87 | 0.02 | 2.35 |
| **SPAC 315C** | | | | |
| Corriente de línea | 0.17 | 0.16 | 0.01 | 5 |
| | 0.50 | 0.50 | 0 | 0 |
| | 0.80 | 0.81 | 0.03 | 2.5 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| [KA] | | | | |
| Corriente de neutro [KA] | 0.05 | 0.05 | 0 | 0 |
| | 0.08 | 0.08 | 0 | 0 |
| | 0.09 | 0.09 | 0 | 0 |
| **SPAJ 144C** | | | | |
| Corriente de línea [KA] | 0.18 | 0.17 | 0.01 | 5.6 |
| | 0.43 | 0.44 | 0.01 | 2.33 |
| | 0.79 | 0.80 | 0.01 | 1.27 |
| Corriente de neutro [KA] | 0.04 | 0.04 | 0 | 0 |
| | 0.06 | 0.06 | 0 | 0 |
| | 0.08 | 0.08 | 0 | 0 |
| **SPAS 348C** | | | | |
| Corriente de línea [KA] | 0.38 | 0.38 | 0 | 0 |
| | 0.67 | 0.68 | 0.01 | 1.5 |
| | 0.88 | 0.87 | 0.01 | 1.14 |
| Corriente de neutro [KA] | 5.17 | 5.37 | 0.20 | 3.86 |
| | 10.50 | 10.55 | 0.05 | 0.48 |
| | 15.80 | 16.11 | 0.019 | 1.96 |
| **REF 543** | | | | |
| Corriente de línea [KA] | 44.59 | 47.12 | 2.53 | 5.6 |
| | 80.56 | 75.94 | 4.62 | 5.73 |
| | 120.34 | 125.67 | 2.33 | 4.43 |
| Corriente de neutro [KA] | 45.78 | 43.09 | 2.69 | 5.8 |
| | 67.52 | 70.89 | 3.37 | 4.99 |
| | 81.05 | 86.01 | 4.96 | 6 |

Tabla 4.18 Error de los valores análogos del sistema.

Como se pudo comprobar al realizar el cálculo de los errores para los valores de corrientes y voltaje en las líneas, el porcentaje de error obtenido no sobre pasa el 5% para la mayoría de los casos, porcentaje que se encuentra dentro del rango

de aceptación y funcionamiento de muchos de los equipos electrónicos que son utilizados para aplicaciones similares. Donde se puede observar que hay errores de mayor magnitud es en las medidas de la línea de distribución cuatro, cuyo relé de protección es el REF 543, y esto se debe a que la medida obtenida directamente del módulo es inestable y con un rango considerable de variación.

## 4.3. PRUEBAS DE VISUALIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS REGISTROS DE DATOS DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

Para una correcta visualización del comportamiento de las variables que intervienen en este prototipo de subestación eléctrica se consideró de vital importancia la obtención de las gráficas del voltaje y corriente de línea en función del tiempo. Estos cambios pueden ser visualizados en el formulario cada segundo, se pueden observar hasta 120 muestras en la pantalla antes de que la gráfica se actualice. Además, se consideró la idea de realizar el análisis de las muestras dentro del rango que se considere de mayor relevancia para el estudio, es por esto, que dentro de las pantallas de visualización de registros se incluyó un botón, el cual permite acceder a la opción de exportar, mediante el cual el usuario tendrá acceso a la base de datos para manipular los valores allí almacenados y realizar el análisis respectivo, el objetivo es que, tanto el instructor como los practicantes puedan observar en detalle el funcionamiento del prototipo dentro del rango de tiempo que se estime prudente.

Los resultados obtenidos fueron los deseados, ya que al realizar una comparación entre los gráficos obtenidos en la pantalla y los gráficos que se pudieron lograr de la base de datos creada en Excel, se puede observar que son iguales, con la única diferencia que en los segundos se hizo un análisis tomando en cuenta un gran número de muestras previas.

A continuación las pantallas con sus gráficas obtenidas de las bases de datos respectivas.

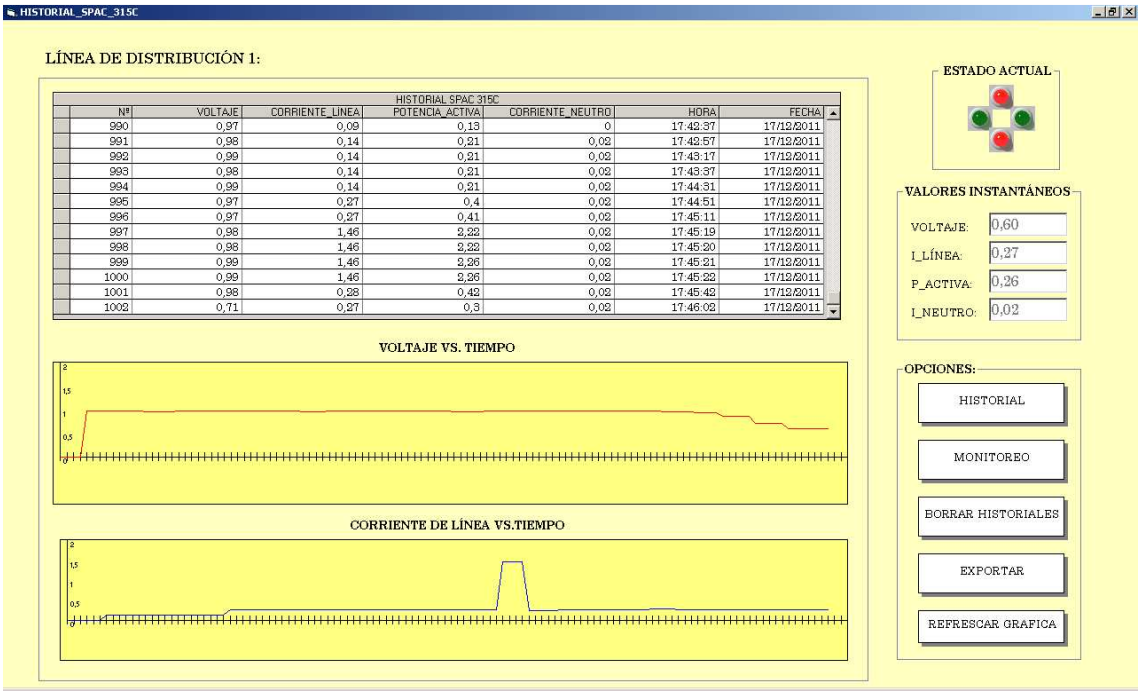



Figura 4.16 Pantalla Historial de la línea de distribución 1. Relé SPAC 315C.

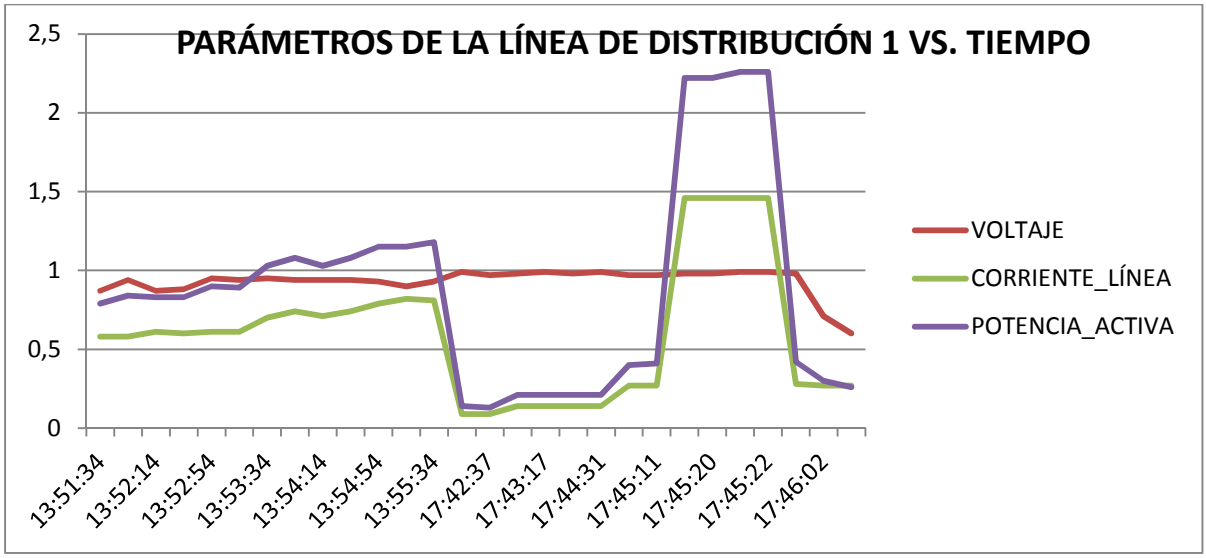



Figura 4.17 Análisis de los parámetros de la línea de distribución 1 en función del tiempo.

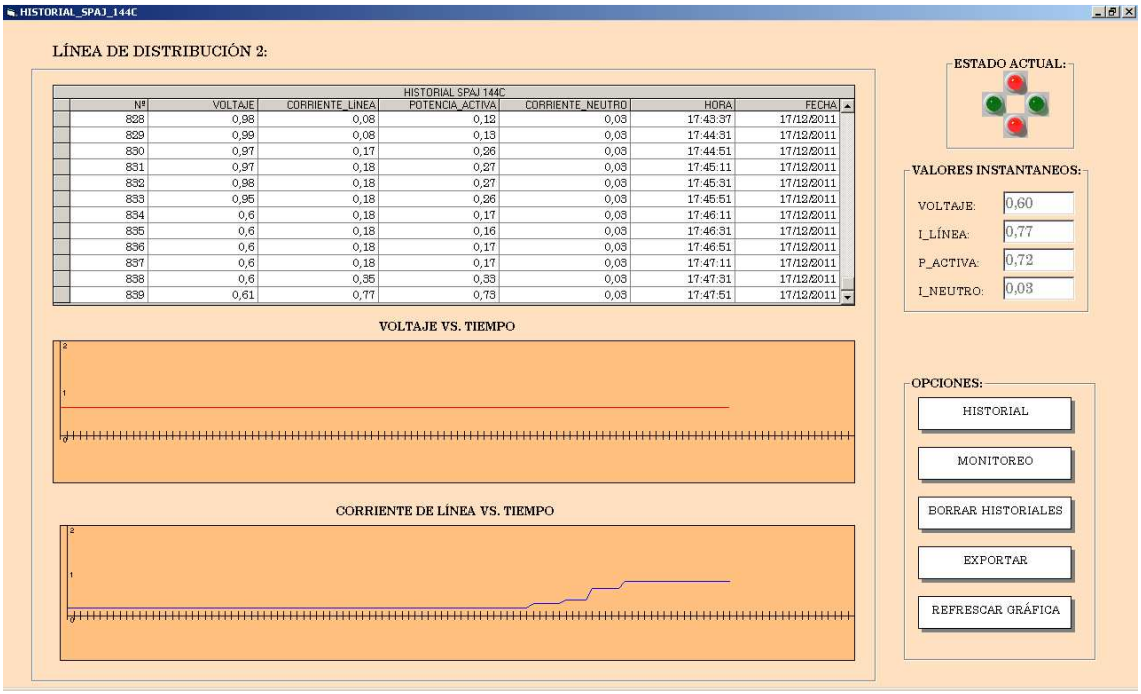



Figura 4.18 Pantalla Historial de la línea de distribución 2. Relé SPAJ 144C

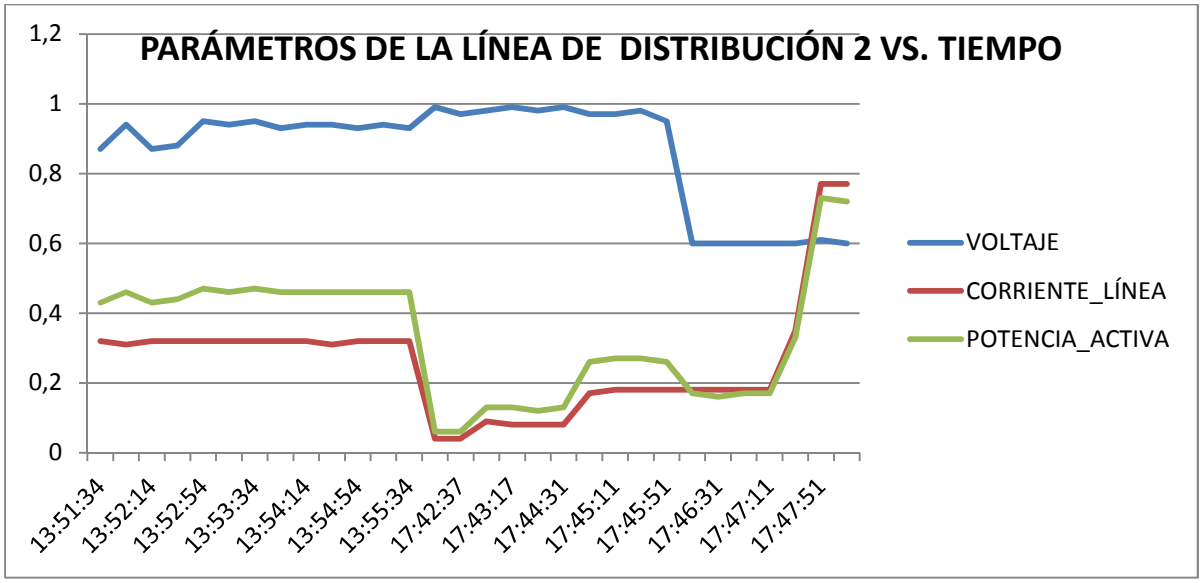



Figura 4.19 Análisis de los parámetros de la línea de distribución 2 en función del tiempo.

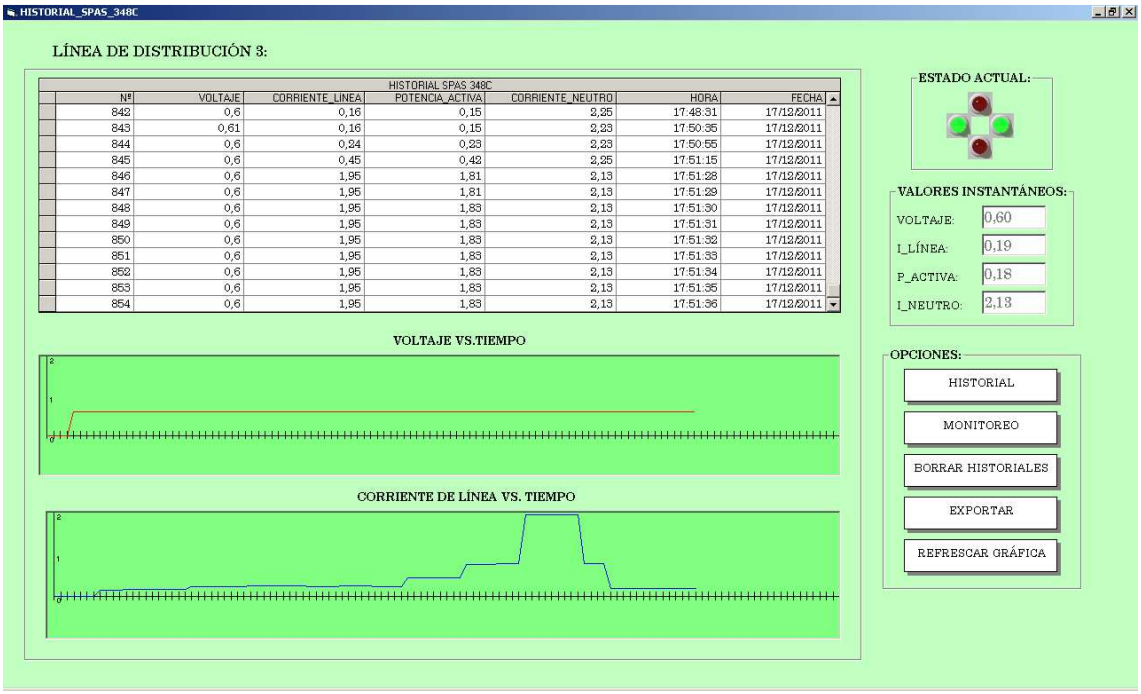



Figura 4.20 Pantalla Historial de la línea de distribución 3. Relé SPAS 348C

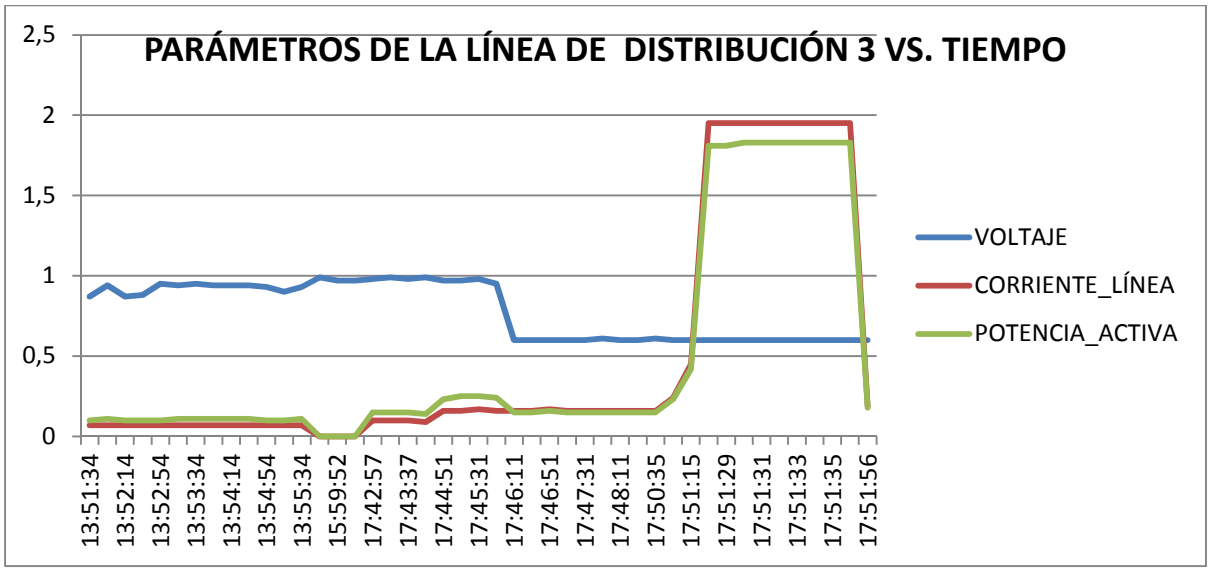



Figura 4.21 Análisis de los parámetros de la línea de distribución 3 en función del tiempo.

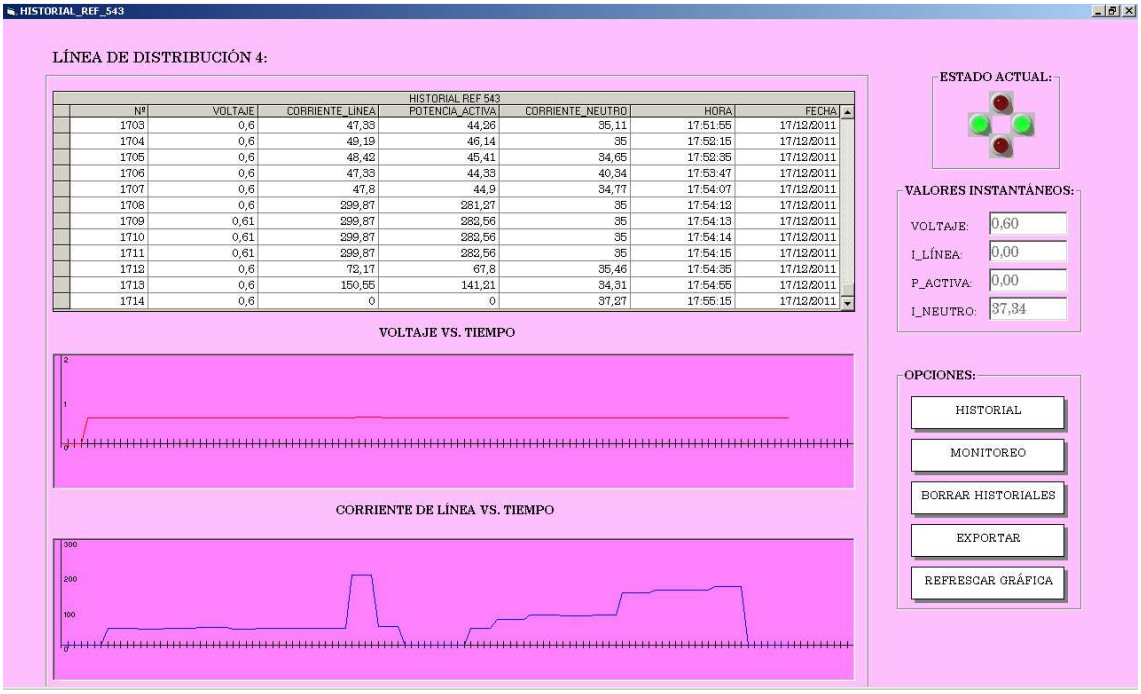



Figura 4.22 Pantalla Historial de la línea de distribución 4. Relé REF 543

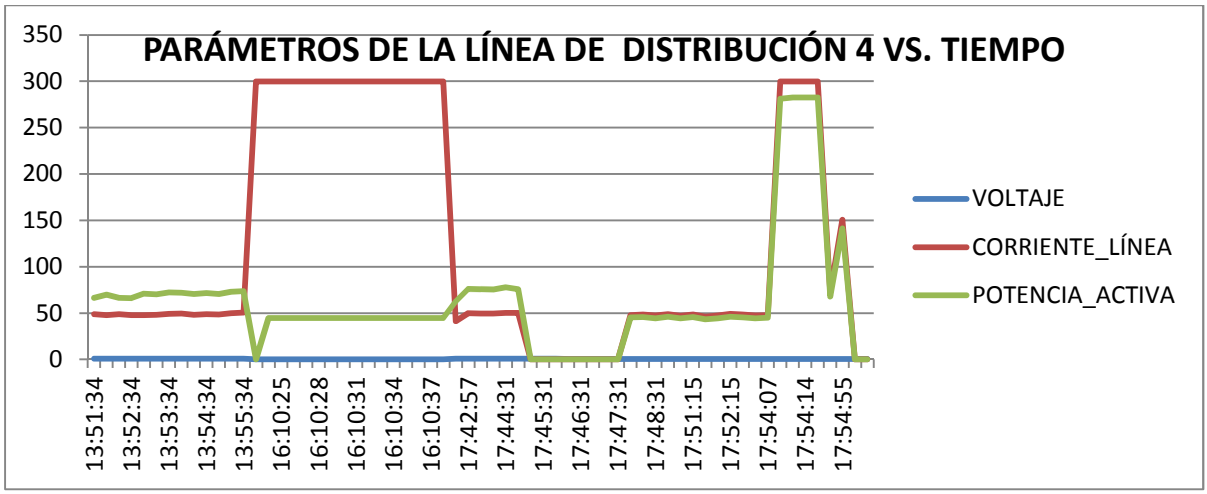



Figura 4.23 Análisis de los parámetros de la línea de distribución 4 en función del tiempo.

## 4.4. PRUEBAS DE CONTROL

El propósito del control de los disyuntores de cada una de las líneas de distribución fue: realizar el cambio de estado de éstos, procedimiento realizado en el formulario “PANEL_DE_CONTROL” diseñado en el HMI implementado para esta aplicación, obteniendo resultados satisfactorios, ya que con la utilización adecuada de los contactos de los relés utilizados para el diseño del control se logro realizar, primeramente el bloqueo de todos los disyuntores del módulo, para posteriormente permitir la apertura y cierre de los mismos, y además, memorizar su estado al cambiar de modo automático a manual, conservando todos los valores de los parámetros de todas y cada una de las líneas de distribución.

Se debe recalcar que para permitir el control remoto, los seccionadores, al ser un elemento no motorizado, deben ser cerrados manualmente por el operario, caso contrario no se tendrá acceso al control del disyuntor de dicha línea.

Considerando como partida los estados siguientes para cada disyuntor.

| LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN | ESTADO DE DISYUNTOR |
|---|---|
| Línea de alimentación. Relé SPAD 346C | Cerrado |
| Línea 1. Relé SPAC 315C | Abierto con seccionador abierto |
| Línea 2. Relé SPAJ 144C | Cerrado |
| Línea 3. Relé SPAS 348C | Abierto |
| Línea 4. Relé REF 543 | Abierto con seccionadores cerrados |

Tabla 4.19 Estado inicial de los disyuntores de las líneas.

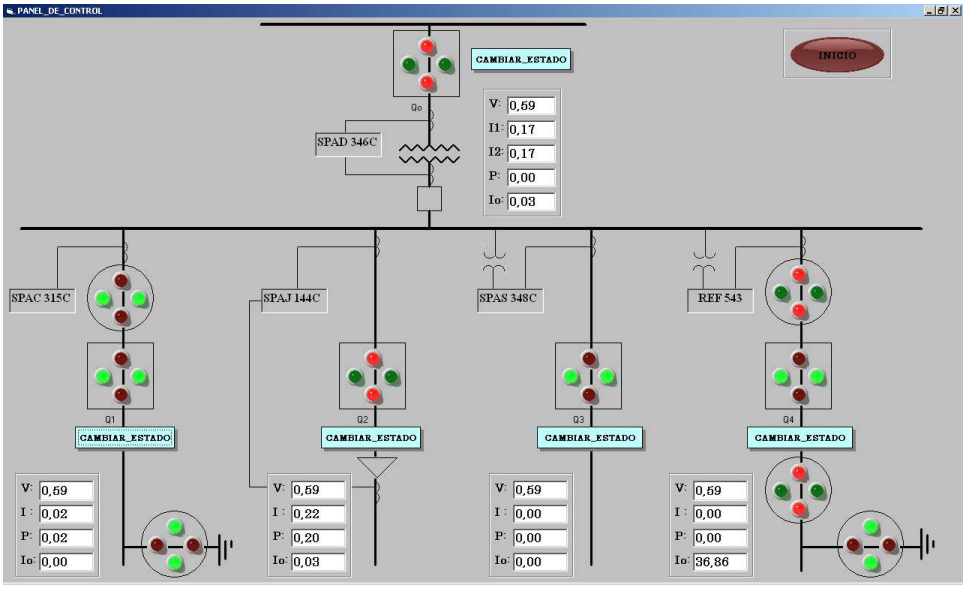



Figura 4.24 Estado inicial en las líneas en la pantalla del HMI.

Posteriormente, al realizar el control de los disyuntores que se encuentran en cada una de las líneas se obtuvo el siguiente resultado.

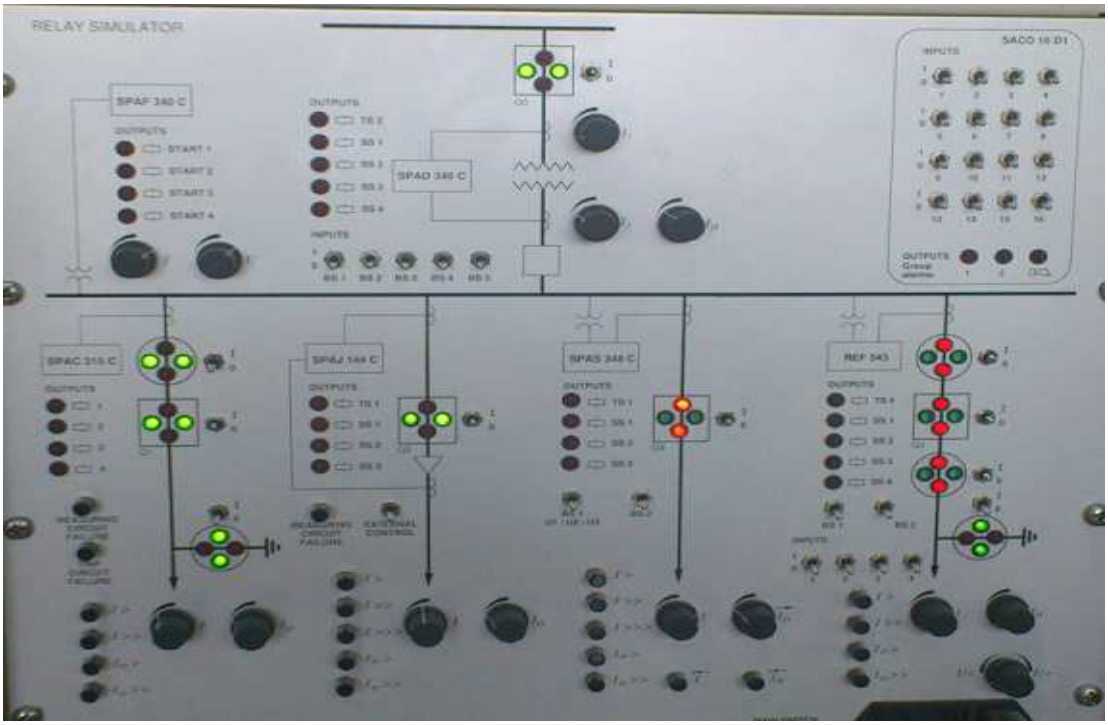



Figura 4.25 Estado final de las líneas en el modulo simulador.

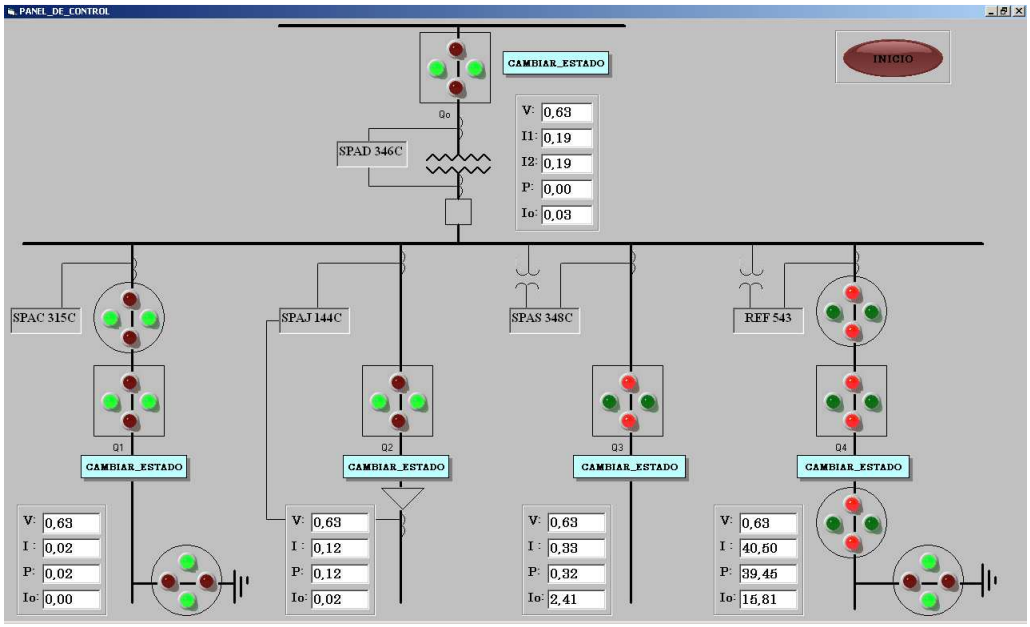



Figura 4.26 Estado final en las líneas en la pantalla del HMI.

La línea de distribución 1 permanece abierta debido a que su seccionador no fue cerrado previamente. El HMI se encargará de comunicar al operario la razón por la cual no se permite el control de ese disyuntor. Se muestra a continuación:

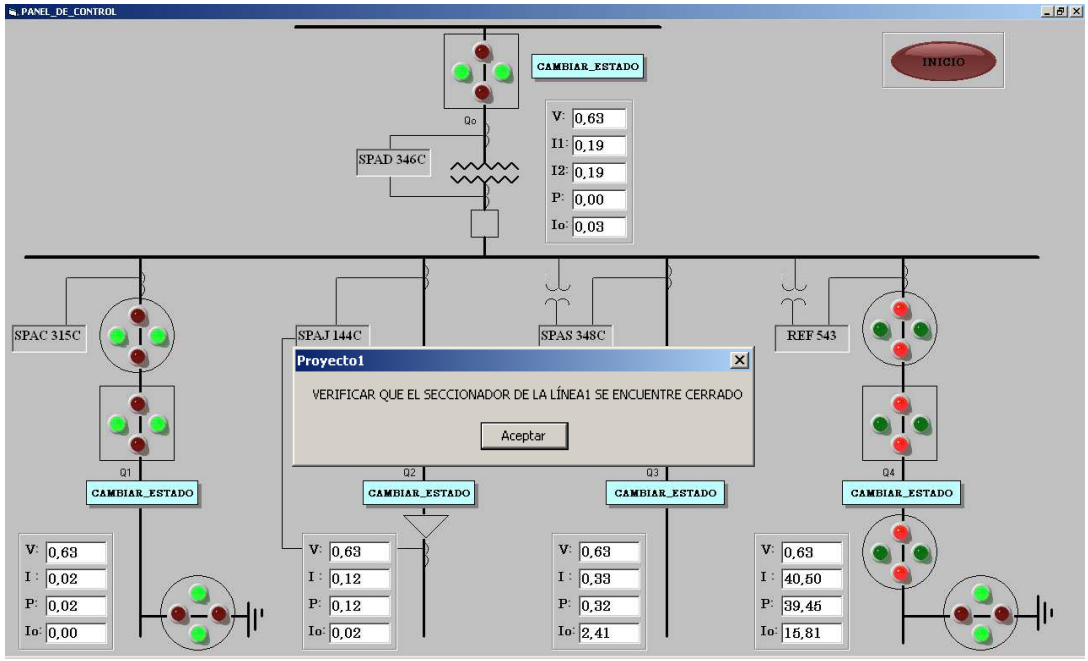



Figura 4.28 Mensaje de estado de línea 1.

Con el resto de seccionadores no se obtuvo problema alguno como se demostró anteriormente.

# CAPÍTULO 5

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se indican las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó luego del proceso de diseño, construcción y pruebas de un sistema de monitoreo y control para un prototipo de subestación eléctrica.

## 5.1. CONCLUSIONES

- La modernización de las S/E junto con el desarrollo de la tecnología exige que se desarrollen interfaces de monitoreo y control amigables para el operador y con alta confiabilidad en la toma de las lecturas de los parámetros propios de las S/E.

- Al tratarse de una aplicación didáctica el sistema no se considera un SCADA, porque no emplea protocolos de comunicación de tipo industrial, redes de datos, servicios de tecnologías tipo WAN y hasta enlaces telefónicos o satelitales que sí se presentan en los sistemas SCADA de gran alcance.

- En la adquisición y acondicionamiento de señales provenientes de pulsantes, seccionadores y disyuntores no se encontraron mayores inconvenientes puesto que son señales de tipo digital en donde el microcontrolador únicamente toma lecturas de 5VDC ó 0VDC.

- En sistemas en los cuales se desea monitorear gran cantidad de señales como en este caso, se debe seleccionar con acierto el tipo de cables a emplearse puesto que al manejar varias señales simultáneamente se genera calentamiento en los cables lo que ocasiona que los datos tomados tengan errores, es así que en el presente proyecto se emplearon canalizaciones diferentes con la finalidad de evitar interferencias entre señales de tipo digital y analógico.

- Las innovaciones en el desarrollo de relés digitales permite la automatización de manera más eficaz puesto que actualmente los relés de protección para alimentadores existentes en el mercado cuentan con facilidades para las comunicaciones mediante diversidad de protocolos que permiten que se enlacen con dispositivos de diferentes fabricantes.

- Visual Basic es una herramienta de gran ayuda, debido a su facilidad de uso y a su programación basada en objetos que permite realizar de manera sencilla: visualización de parámetros, adquisición de datos, bases de datos y comunicación serial RS-232.

- El HMI resulta amigable y de fácil manejo para el usuario, los datos monitoreados se encuentran visualizados en una única pantalla, lo cual resulta muy conveniente al usuario, existen botones los que permiten ligar a las diferentes pantallas, también presenta los mensajes necesarios a lo largo del desarrollo del programa para que el usuario tenga conocimiento de la operación que se encuentra ejecutando.

- Microsoft Access es una potente herramienta de Microsoft, es un sistema de gestión de bases de datos relacionales, la cual permite la creación de ficheros de bases de datos que pueden ser fácilmente manipuladas por una interfaz gráfica simple.

- Considerando la distancia del módulo y del tablero de adquisición y envío de datos, el tipo de comunicación que se utilizó es la RS-232, debido a que el Atmega164p cuenta con dos modos de comunicación asincrónica (USART0 y USART1) y su velocidad de transmisión de datos se programó en 19200 baudios, la comunicación permite la obtención de los estados de todas las señales digitales, y de los valores análogos de todo el sistema, desde las tarjetas de acondicionamiento hacia el microcontrolador máster en un tiempo de 3 segundos aproximadamente, tiempo ideal, ya que, al ser éste un prototipo de subestación eléctrica debe asemejarse en lo posible a

una subestación real, donde existen retardos debido a la distancia del proceso y el procesamiento de señales.

- La programación en alto nivel permitió estructurar las acciones en el microcontrolador con claridad y de manera ordenada. Además se reduce al máximo el número de instrucciones o líneas de código necesarias para la programación, lo que permitió realizar modificaciones en el programa de forma directa y en menor tiempo.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- En la adquisición de datos se recomienda el empleo de filtros pasa- bajos para evitar el ruido e interferencias de alta frecuencia que pueden afectar a la toma de datos reales, especialmente en las señales analógicas que representan las variaciones del consumo de corriente de la S/E y en las que se requiere precisión en la visualización de este parámetro en la HMI.

- Para implementar la automatización completa de una S/E se debe asegurar que los seccionadores sean del tipo motorizado en lugar de los seccionadores manuales que actualmente se asocian a los disyuntores del módulo simulador, para que se pueda ejercer control remoto sobre los mismos.

- Se recomienda aislar los circuitos que manejan corrientes y voltajes propios del módulo simulador del circuito de control debido a que los microprocesadores son elementos sensibles a las variaciones bruscas de voltaje, por lo que en el presente proyecto se recurrió al empleo de los opto-acopladores 4N25 que brindan un desempeño óptimo en el aislamiento de todas las señales digitales provenientes del módulo simulador.

- Al ser el HMI el medio de enlace entre el usuario y el proceso, éste debe ser lo más estético posible, para mejorar la apariencia de las pantallas que

conforman el HMI diseñado se pueden usar controles OCX, los mismos que integran recursos visuales para mejorar la presentación de la interfaz, que normalmente el Visual Basic 6.0 no lo presentan.

- Adquirir un computador que cumpla con los requerimientos mínimos del paquete computacional Visual Basic 6.0, que sea dedicado para uso exclusivo del sistema de control y monitoreo desarrollado en este proyecto.

- Si se desea agilitar el proceso de adquisición de datos lo más conveniente sería remplazar los microcontroladores por una tarjeta de adquisición de datos, la cual permite que la comunicación con la PC sea más rápida y más eficiente ya que la tarjeta puede ocupar toda la memoria del computador para almacenamiento de datos y toda la potencia de las procesadoras modernas para su tratamiento.

- Se recomienda como proyecto futuro el desarrollo de un sistema de comunicación para cada uno de los relés con una PC de manera que los parámetros de configuración del relé puedan ser ajustados desde la computadora permitiendo así mayor versatilidad en la administración de parámetros, mediciones, eventos, etc.

- Se recomienda también como proyecto futuro y complemento del actual el control de los potenciómetros de simulación de toma de carga (I) a través del HMI.

- Se recomienda que se restrinja el nivel de acceso a la pantalla de control únicamente al instructor de laboratorio, puesto que para el correcto funcionamiento de esta pantalla se requiere que el instructor realice de manera local el cierre de los seccionadores.

- Se recomienda que en modo local y remoto la energización de cada una de las líneas de la S/E inicie desde el cierre del disyuntor principal situado aguas arriba del transformador.

- Para tener mayor precisión en la lectura de los valores de voltaje, corriente y potencia en la pantalla de monitoreo se recomienda que todas las líneas de la S/E se encuentren energizadas.

- Para la solución de problemas en cuanto a la falta de visualización de las señales de entrada en el HMI se recomienda referirse al manual del instructor en la sección Terminales de Operación la cual detalla cada una de las señales de entrada a las placas de adquisición de datos y la salida correspondiente hacia el microcontrolador, revisar condición del cable y verificar continuidad.

- Se recomienda como tareas de mantenimiento preventivo realizar el ajuste de terminales en las borneras de las placas de adquisición de datos, y la limpieza de los componentes del módulo simulador con algún desengrasante específico para componentes electrónicos, con una frecuencia de 3 meses.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**[1]**VILLACRÉS JIRÓN, Mauricio Adrián “Adecuación del Sistema de Control, Medida y Protección para los alimentadores a nivel de 13.8 KV de la S/E San Rafael “Empresa Eléctrica Cotopaxi” Escuela Politécnica Nacional - Febrero 2008.

**[2]** MENDIBURU, Henry. Sistemas SCADA. http://www.galeon.com/hamd/pdf/scada.pdf.

**[3]** INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS SCADA. http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/sistemasinteligentes/UT4/4.htm

**[4]** ATMEL Corporation. Datasheet ATMEGA 164p.

**[5]** FAIRCHILD Datasheet 74LS244.

**[6]** FAIRCHILD Datasheet 74LS138.

**[7]** VALENCIA, Ramiro. Aplicaciones Electrónicas con Microcontroladores.

**[8]** GARCÍA, RODRÍGUEZ, BRAZÁLES. Aprenda Visual Basic 6.0 como si estuviera en primero. http://www.tecnun.es/asignaturas/Informat1/AyudaInf/ aprendainf/VisualBasic6/vbasic60.pdf

**[9]** Sección de tutoriales y manuales vb.http://www.recursosvisualbasic.com.ar/htm /tutoriales/control-data.htm.

**[10]**IDC TECHNOLOGIES. Practical Distribution& Substation Automation (Incl. Communications) for Electrical Power Systems.

# ANEXOS

# ANEXO A

Planos Eléctricos Adjuntos

# ANEXO B

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

# TL084

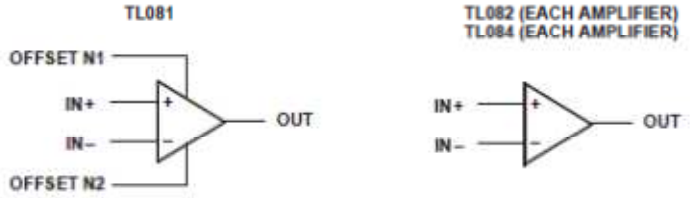
- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/μs Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes $V_{CC+}$

## description

The TL08x JFET-input operational amplifier family is designed to offer a wider selection than any previously developed operational amplifier family. Each of these JFET-input operational amplifiers incorporates well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit. The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient. Offset adjustment and external compensation options are available within the TL08x family.

The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C. The I-suffix devices are characterized for operation from –40°C to 85°C. The Q-suffix devices are characterized for operation from –40°C to 125°C. The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of –55°C to 125°C.

## symbols




AVAILABLE OPTIONS

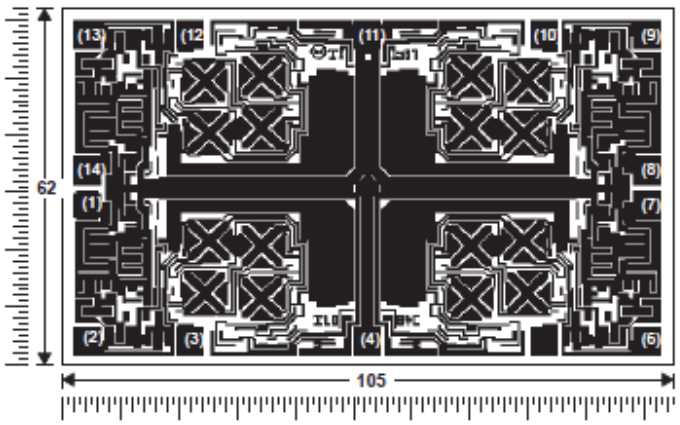
| $T_A$ | $V_{IO}$max AT 25°C | PACKAGED DEVICES | | | | | | | | | | CHIP FORM (Y) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SMALL OUTLINE (D008) | SMALL OUTLINE (D014) | CHIP CARRIER (FK) | CERAMIC DIP (J) | CERAMIC DIP (JG) | PLASTIC DIP (N) | PLASTIC DIP (P) | TSSOP (PW) | FLAT PACK (U) | FLAT PACK (W) | |
| 0°C to 70°C | 15 mV | TL081CD | — | — | — | — | — | TL081CP | TL081CPW | — | — | — |
| | 6 mV | TL081ACD | | | | | | TL081ACP | | | | |
| | 3 mV | TL081BCD | | | | | | TL081BCP | | | | |
| | 15 mV | TL082CD | — | — | — | — | — | TL082CP | TL082CPW | — | — | TL082Y |
| | 6 mV | TL082ACD | | | | | | TL082ACP | | | | |
| | 3 mV | TL082BCD | | | | | | TL082BCP | | | | |
| | 15 mV | — | TL084CD | — | — | — | TL084CN | — | TL084CPW | — | — | TL084Y |
| | 6 mV | | TL084ACD | | | | TL084ACN | | | | | |
| | 3 mV | | TL084BCD | | | | TL084BCN | | | | | |
| –40°C to 85°C | 6 mV | TL081ID | | — | — | — | | TL081IP | — | — | — | — |
| | 6 mV | TL082ID | | | | | | TL082IP | | | | |
| | 6 mV | TL084ID | TL084ID | | | | TL084IN | | | | | |
| –40°C to 125°C | 9 mV | — | TL084QD | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| –55°C to 125°C | 6 mV | — | — | TL081MFK | | TL081MJG | — | — | — | TL081MU | | — |
| | 6 mV | | | TL082MFK | | TL082MJG | | | | TL082MU | | |
| | 9 mV | | | TL084MFK | TL084MJ | | | | | | TL084MW | |

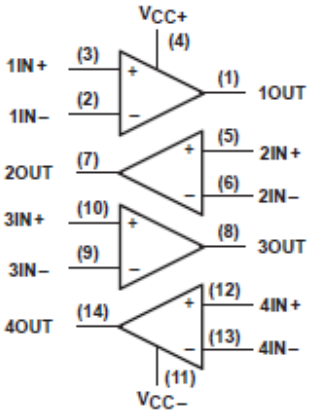
The D package is available taped and reeled. Add R suffix to the device type (e.g., TL081CDR).

## TL084Y chip information

These chips, when properly assembled, display characteristics similar to the TL084. Thermal compression or ultrasonic bonding may be used on the doped-aluminum bonding pads. Chips may be mounted with conductive epoxy or a gold-silicon preform.

**BONDING PAD ASSIGNMENTS**




CHIP THICKNESS: 15 TYPICAL

BONDING PADS: 4 × 4 MINIMUM

$T_J$max = 150°C

TOLERANCES ARE ±10%.

ALL DIMENSIONS ARE IN MILS.

PIN (11) IS INTERNALLY CONNECTED TO BACKSIDE OF CHIP.

## electrical characteristics, $V_{CC\pm}$ = ±15 V (unless otherwise noted)

| PARAMETER | | TEST CONDITIONS | $T_A$† | TL081C TL082C TL084C | | | TL081AC TL082AC TL084AC | | | TL081BC TL082BC TL084BC | | | TL081I TL082I TL084I | | | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| $V_{IO}$ | Input offset voltage | $V_O$ = 0, $R_S$ = 50 Ω | 25°C | | 3 | 15 | | 3 | 6 | | 2 | 3 | | 3 | 6 | mV |
| | | | Full range | | | 20 | | | 7.5 | | | 5 | | | 9 | |
| $\alpha_{VIO}$ | Temperature coefficient of input offset voltage | $V_O$ = 0, $R_S$ = 50 Ω | Full range | | 18 | | | 18 | | | 18 | | | 18 | | µV/°C |
| $I_{IO}$ | Input offset current‡ | $V_O$ = 0 | 25°C | | 5 | 200 | | 5 | 100 | | 5 | 100 | | 5 | 100 | pA |
| | | | Full range | | | 2 | | | 2 | | | 2 | | | 10 | nA |
| $I_{IB}$ | Input bias current‡ | $V_O$ = 0 | 25°C | | 30 | 400 | | 30 | 200 | | 30 | 200 | | 30 | 200 | pA |
| | | | Full range | | | 10 | | | 7 | | | 7 | | | 20 | nA |
| $V_{ICR}$ | Common-mode input voltage range | | 25°C | ±11 | −12 to 15 | | ±11 | −12 to 15 | | ±11 | −12 to 15 | | ±11 | −12 to 15 | | V |
| $V_{OM}$ | Maximum peak output voltage swing | $R_L$ = 10 kΩ | 25°C | ±12 | ±13.5 | | ±12 | ±13.5 | | ±12 | ±13.5 | | ±12 | ±13.5 | | V |
| | | $R_L$ ≥ 10 kΩ | Full range | ±12 | | | ±12 | | | ±12 | | | ±12 | | | |
| | | $R_L$ ≥ 2 kΩ | | ±10 | ±12 | | ±10 | ±12 | | ±10 | ±12 | | ±10 | ±12 | | |
| $A_{VD}$ | Large-signal differential voltage amplification | $V_O$ = ±10 V, $R_L$ ≥ 2 kΩ | 25°C | 25 | 200 | | 50 | 200 | | 50 | 200 | | 50 | 200 | | V/mV |
| | | $V_O$ = ±10 V, $R_L$ ≥ 2 kΩ | Full range | 15 | | | 25 | | | 25 | | | 25 | | | |
| $B_1$ | Unity-gain bandwidth | | 25°C | | 3 | | | 3 | | | 3 | | | 3 | | MHz |
| $r_i$ | Input resistance | | 25°C | | $10^{12}$ | | | $10^{12}$ | | | $10^{12}$ | | | $10^{12}$ | | Ω |
| CMRR | Common-mode rejection ratio | $V_{IC}$ = $V_{ICR}$min, $V_O$ = 0, $R_S$ = 50 Ω | 25°C | 70 | 86 | | 75 | 86 | | 75 | 86 | | 75 | 86 | | dB |
| $k_{SVR}$ | Supply voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$) | $V_{CC}$ = ±15 V to ±9 V, $V_O$ = 0, $R_S$ = 50 Ω | 25°C | 70 | 86 | | 80 | 86 | | 80 | 86 | | 80 | 86 | | dB |
| $I_{CC}$ | Supply current (per amplifier) | $V_O$ = 0, No load | 25°C | | 1.4 | 2.8 | | 1.4 | 2.8 | | 1.4 | 2.8 | | 1.4 | 2.8 | mA |
| $V_{O1}/V_{O2}$ | Crosstalk attenuation | $A_{VD}$ = 100 | 25°C | | 120 | | | 120 | | | 120 | | | 120 | | dB |

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage unless otherwise specified. Full range for $T_A$ is 0°C to 70°C for TL08_C, TL08_AC, TL08_BC and −40°C to 85°C for TL08_I.

‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 17. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.

## electrical characteristics, $V_{CC\pm}$ = ±15 V (unless otherwise noted)

| PARAMETER | | TEST CONDITIONS† | | $T_A$ | TL081M, TL082M | | | TL084Q, TL084M | | | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| $V_{IO}$ | Input offset voltage | $V_O$ = 0, | $R_S$ = 50 Ω | 25°C | | 3 | 6 | | 3 | 9 | mV |
| | | | | Full range | | | 9 | | | 15 | |
| $\alpha_{VIO}$ | Temperature coefficient of input offset voltage | $V_O$ = 0 | $R_S$ = 50 Ω | Full range | | 18 | | | 18 | | µV/°C |
| $I_{IO}$ | Input offset current‡ | $V_O$ = 0 | | 25°C | | 5 | 100 | | 5 | 100 | pA |
| | | | | 125°C | | | 20 | | | 20 | nA |
| $I_{IB}$ | Input bias current‡ | $V_O$ = 0 | | 25°C | | 30 | 200 | | 30 | 200 | pA |
| | | | | 125°C | | | 50 | | | 50 | nA |
| $V_{ICR}$ | Common-mode input voltage range | | | 25°C | ±11 | ±12 to 15 | | ±11 | ±12 to 15 | | V |
| $V_{OM}$ | Maximum peak output voltage swing | $R_L$ = 10 kΩ | | 25°C | ±12 | ±13.5 | | ±12 | ±13.5 | | V |
| | | $R_L$ ≥ 10 kΩ | | Full range | ±12 | | | ±12 | | | |
| | | $R_L$ ≥ 2 kΩ | | | ±10 | ±12 | | ±10 | ±12 | | |
| $A_{VD}$ | Large-signal differential voltage amplification | $V_O$ = ±10 V, | $R_L$ ≥ 2 kΩ | 25°C | 25 | 200 | | 25 | 200 | | V/mV |
| | | $V_O$ = ±10 V, | $R_L$ ≥ 2 kΩ | Full range | 15 | | | 15 | | | |
| $B_1$ | Unity-gain bandwidth | | | 25°C | | 3 | | | 3 | | MHz |
| $r_i$ | Input resistance | | | 25°C | | $10^{12}$ | | | $10^{12}$ | | Ω |
| CMRR | Common-mode rejection ratio | $V_{IC}$ = $V_{ICR}$min, $V_O$ = 0, | $R_S$ = 50 Ω | 25°C | 80 | 86 | | 80 | 86 | | dB |
| $k_{SVR}$ | Supply voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$) | $V_{CC}$ = ±15 V to ±9 V, $V_O$ = 0, | $R_S$ = 50 Ω | 25°C | 80 | 86 | | 80 | 86 | | dB |
| $I_{CC}$ | Supply current (per amplifier) | $V_O$ = 0, | No load | 25°C | | 1.4 | 2.8 | | 1.4 | 2.8 | mA |
| $V_{O1}/V_{O2}$ | Crosstalk attenuation | $A_{VD}$ = 100 | | 25°C | | 120 | | | 120 | | dB |

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified.
‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 17. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperatures as close to the ambient temperature as is possible.

## operating characteristics, $V_{CC\pm}$ = ±15 V, $T_A$ = 25°C (unless otherwise noted)

| PARAMETER | | TEST CONDITIONS | | | | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SR | Slew rate at unity gain | $V_I$ = 10 V, | $R_L$ = 2 kΩ, | $C_L$ = 100 pF, | See Figure 1 | 8* | 13 | | V/µs |
| | | $V_I$ = 10 V, $T_A$ = – 55°C to 125°C, | $R_L$ = 2 kΩ, See Figure 1 | $C_L$ = 100 pF, | | 5* | | | |
| $t_r$ | Rise time | $V_I$ = 20 mV, | $R_L$ = 2 kΩ, | $C_L$ = 100 pF, | See Figure 1 | | 0.05 | | µs |
| | Overshoot factor | | | | | | 20% | | |
| $V_n$ | Equivalent input noise voltage | $R_S$ = 20 Ω | f = 1 kHz | | | | 18 | | nV/√Hz |
| | | | f = 10 Hz to 10 kHz | | | | 4 | | µV |
| $I_n$ | Equivalent input noise current | $R_S$ = 20 Ω, | f = 1 kHz | | | | 0.01 | | pA/√Hz |
| THD | Total harmonic distortion | $V_{I}$rms = 6 V, f = 1 kHz | $A_{VD}$ = 1, | $R_S$ ≤ 1 kΩ, | $R_L$ ≥ 2 kΩ, | | 0.003% | | |

## electrical characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15$ V, $T_A = 25°C$ (unless otherwise noted)

| PARAMETER | | TEST CONDITIONS† | | TL082Y, TL084Y | | | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | MIN | TYP | MAX | |
| $V_{IO}$ | Input offset voltage | $V_O = 0$, | $R_S = 50\ \Omega$ | | 3 | 15 | mV |
| $\alpha_{VIO}$ | Temperature coefficient of input offset voltage | $V_O = 0$, | $R_S = 50\ \Omega$ | | 18 | | µV/°C |
| $I_{IO}$ | Input offset current‡ | $V_O = 0$, | | | 5 | 200 | pA |
| $I_{IB}$ | Input bias current‡ | $V_O = 0$, | | | 30 | 400 | pA |
| $V_{ICR}$ | Common-mode input voltage range | | | ±11 | −12 to 15 | | V |
| $V_{OM}$ | Maximum peak output voltage swing | $R_L = 10\ k\Omega$, | | ±12 | ±13.5 | | V |
| $A_{VD}$ | Large-signal differential voltage amplification | $V_O = \pm 10$ V, | $R_L \geq 2\ k\Omega$ | 25 | 200 | | V/mV |
| $B_1$ | Unity-gain bandwidth | | | | 3 | | MHz |
| $r_i$ | Input resistance | | | | $10^{12}$ | | Ω |
| CMRR | Common-mode rejection ratio | $V_{IC} = V_{ICR}$min, $R_S = 50\ \Omega$ | $V_O = 0$, | 70<br>70 | 86<br>86 | | dB |
| $k_{SVR}$ | Supply voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$) | $V_{CC} = \pm 15$ V to ± 9 V, $V_O = 0$, | $R_S = 50\ \Omega$ | 70<br>70 | 86<br>86 | | dB |
| $I_{CC}$ | Supply current (per amplifier) | $V_O = 0$, | No load | | 1.4 | 2.8 | mA |
| $V_{O1}/V_{O2}$ | Crosstalk attenuation | $A_{VD} = 100$ | | | 120 | | dB |

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage unless otherwise specified.
‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 17. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.

## operating characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15$ V, $T_A = 25°C$

| PARAMETER | | TEST CONDITIONS | | | | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SR | Slew rate at unity gain | $V_I = 10$ V, | $R_L = 2\ k\Omega$, | $C_L = 100$ pF, | See Figure 1 | 8 | 13 | | V/µs |
| $t_r$ | Rise time | $V_I = 20$ mV, | $R_L = 2\ k\Omega$, | $C_L = 100$ pF, | See Figure 1 | | 0.05 | | µs |
| | Overshoot factor | | | | | | 20% | | |
| $V_n$ | Equivalent input noise voltage | $R_S = 20\ \Omega$ | f = 1 kHz | | | | 18 | | nV/√Hz |
| | | | f = 10 Hz to 10 kHz | | | | 4 | | µV |
| $I_n$ | Equivalent input noise current | $R_S = 20\ \Omega$, | f = 1 kHz | | | | 0.01 | | pA/√Hz |
| THD | Total harmonic distortion | $V_{Irms} = 6$ V, f = 1 kHz | $A_{VD} = 1$, | $R_S \leq 1\ k\Omega$, | $R_L \geq 2\ k\Omega$, | | 0.003% | | |

# ANEXO C

ANALOG DEVICES

AD620

## FEATURES

Easy to use
- Gain set with one external resistor (Gain range 1 to 10,000)
- Wide power supply range (±2.3 V to ±18 V)
- Higher performance than 3 op amp IA designs
- Available in 8-lead DIP and SOIC packaging
- Low power, 1.3 mA max supply current

Excellent dc performance (B grade)
- 50 µV max, input offset voltage
- 0.6 µV/°C max, input offset drift
- 1.0 nA max, input bias current
- 100 dB min common-mode rejection ratio (G = 10)

Low noise
- 9 nV/√Hz @ 1 kHz, input voltage noise
- 0.28 µV p-p noise (0.1 Hz to 10 Hz)

Excellent ac specifications
- 120 kHz bandwidth (G = 100)
- 15 µs settling time to 0.01%

## APPLICATIONS

Weigh scales
ECG and medical instrumentation
Transducer interface
Data acquisition systems
Industrial process controls
Battery-powered and portable equipment

Table 1. Next Generation Upgrades for AD620

| Part | Comment |
|---|---|
| AD8221 | Better specs at lower price |
| AD8222 | Dual channel or differential out |
| AD8226 | Low power, wide input range |
| AD8220 | JFET input |
| AD8228 | Best gain accuracy |
| AD8295 | +2 precision op amps or differential out |
| AD8429 | Ultra low noise |

## CONNECTION DIAGRAM

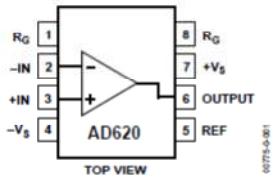



Figure 1. 8-Lead PDIP (N), CERDIP (Q), and SOIC (R) Packages

## PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to 10,000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery-powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 µV max, and offset drift of 0.6 µV/°C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications, such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Superβeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/√Hz at 1 kHz, 0.28 µV p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, and 0.1 pA/√Hz input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 µs to 0.01%, and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

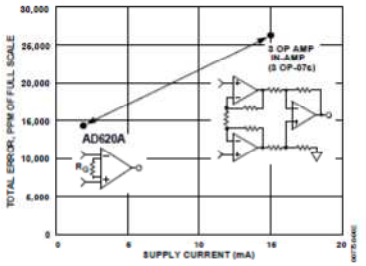



Figure 2. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

# SPECIFICATIONS

Typical @ 25°C, $V_S$ = ±15 V, and $R_L$ = 2 kΩ, unless otherwise noted.

Table 2.

| | | AD620A | | | AD620B | | | AD620S[1] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parameter** | **Conditions** | **Min** | **Typ** | **Max** | **Min** | **Typ** | **Max** | **Min** | **Typ** | **Max** | **Unit** |
| GAIN | G = 1 + (49.4 kΩ/$R_G$) | | | | | | | | | | |
| Gain Range | | 1 | | 10,000 | 1 | | 10,000 | 1 | | 10,000 | |
| Gain Error[2] | $V_{OUT}$ = ±10 V | | | | | | | | | | |
| G = 1 | | | 0.03 | 0.10 | | 0.01 | 0.02 | | 0.03 | 0.10 | % |
| G = 10 | | | 0.15 | 0.30 | | 0.10 | 0.15 | | 0.15 | 0.30 | % |
| G = 100 | | | 0.15 | 0.30 | | 0.10 | 0.15 | | 0.15 | 0.30 | % |
| G = 1000 | | | 0.40 | 0.70 | | 0.35 | 0.50 | | 0.40 | 0.70 | % |
| Nonlinearity | $V_{OUT}$ = −10 V to +10 V | | | | | | | | | | |
| G = 1–1000 | $R_L$ = 10 kΩ | | 10 | 40 | | 10 | 40 | | 10 | 40 | ppm |
| G = 1–100 | $R_L$ = 2 kΩ | | 10 | 95 | | 10 | 95 | | 10 | 95 | ppm |
| Gain vs. Temperature | | | | | | | | | | | |
| | G = 1 | | | 10 | | | 10 | | | 10 | ppm/°C |
| | Gain >1[2] | | | −50 | | | −50 | | | −50 | ppm/°C |
| VOLTAGE OFFSET | (Total RTI Error = $V_{OSI}$ + $V_{OSO}$/G) | | | | | | | | | | |
| Input Offset, $V_{OSI}$ | $V_S$ = ±5 V to ± 15 V | | 30 | 125 | | 15 | 50 | | 30 | 125 | µV |
| Overtemperature | $V_S$ = ±5 V to ± 15 V | | | 185 | | | 85 | | | 225 | µV |
| Average TC | $V_S$ = ±5 V to ± 15 V | | 0.3 | 1.0 | | 0.1 | 0.6 | | 0.3 | 1.0 | µV/°C |
| Output Offset, $V_{OSO}$ | $V_S$ = ±15 V | | 400 | 1000 | | 200 | 500 | | 400 | 1000 | µV |
| | $V_S$ = ± 5 V | | | 1500 | | | 750 | | | 1500 | µV |
| Overtemperature | $V_S$ = ±5 V to ± 15 V | | | 2000 | | | 1000 | | | 2000 | µV |
| Average TC | $V_S$ = ±5 V to ± 15 V | | 5.0 | 15 | | 2.5 | 7.0 | | 5.0 | 15 | µV/°C |
| Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR) | $V_S$ = ±2.3 V to ±18 V | | | | | | | | | | |
| G = 1 | | 80 | 100 | | 80 | 100 | | 80 | 100 | | dB |
| G = 10 | | 95 | 120 | | 100 | 120 | | 95 | 120 | | dB |
| G = 100 | | 110 | 140 | | 120 | 140 | | 110 | 140 | | dB |
| G = 1000 | | 110 | 140 | | 120 | 140 | | 110 | 140 | | dB |
| INPUT CURRENT | | | | | | | | | | | |
| Input Bias Current | | | 0.5 | 2.0 | | 0.5 | 1.0 | | 0.5 | 2 | nA |
| Overtemperature | | | | 2.5 | | | 1.5 | | | 4 | nA |
| Average TC | | | 3.0 | | | 3.0 | | | 8.0 | | pA/°C |
| Input Offset Current | | | 0.3 | 1.0 | | 0.3 | 0.5 | | 0.3 | 1.0 | nA |
| Overtemperature | | | | 1.5 | | | 0.75 | | | 2.0 | nA |
| Average TC | | | 1.5 | | | 1.5 | | | 8.0 | | pA/°C |
| INPUT | | | | | | | | | | | |
| Input Impedance | | | | | | | | | | | |
| Differential | | | 10‖2 | | | 10‖2 | | | 10‖2 | | GΩ_pF |
| Common-Mode | | | 10‖2 | | | 10‖2 | | | 10‖2 | | GΩ_pF |
| Input Voltage Range[3] | $V_S$ = ±2.3 V to ±5 V | $-V_S$ + 1.9 | | $+V_S$ − 1.2 | $-V_S$ + 1.9 | | $+V_S$ − 1.2 | $-V_S$ + 1.9 | | $+V_S$ − 1.2 | V |
| Overtemperature | | $-V_S$ + 2.1 | | $+V_S$ − 1.3 | $-V_S$ + 2.1 | | $+V_S$ − 1.3 | $-V_S$ + 2.1 | | $+V_S$ − 1.3 | V |
| | $V_S$ = ± 5 V to ±18 V | $-V_S$ + 1.9 | | $+V_S$ − 1.4 | $-V_S$ + 1.9 | | $+V_S$ − 1.4 | $-V_S$ + 1.9 | | $+V_S$ − 1.4 | V |
| Overtemperature | | $-V_S$ + 2.1 | | $+V_S$ − 1.4 | $-V_S$ + 2.1 | | $+V_S$ + 2.1 | $-V_S$ + 2.3 | | $+V_S$ − 1.4 | V |

| Parameter | Conditions | AD620A Min | AD620A Typ | AD620A Max | AD620B Min | AD620B Typ | AD620B Max | AD620S[1] Min | AD620S[1] Typ | AD620S[1] Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Common-Mode Rejection | | | | | | | | | | | |
| Ratio DC to 60 Hz with | | | | | | | | | | | |
| 1 kΩ Source Imbalance | $V_{CM}$ = 0 V to ± 10 V | | | | | | | | | | |
| G = 1 | | 73 | 90 | | 80 | 90 | | 73 | 90 | | dB |
| G = 10 | | 93 | 110 | | 100 | 110 | | 93 | 110 | | dB |
| G = 100 | | 110 | 130 | | 120 | 130 | | 110 | 130 | | dB |
| G = 1000 | | 110 | 130 | | 120 | 130 | | 110 | 130 | | dB |
| OUTPUT | | | | | | | | | | | |
| Output Swing | $R_L$ = 10 kΩ | | | | | | | | | | |
| | $V_S$ = ±2.3 V to ± 5 V | $-V_S$ + 1.1 | | $+V_S$ – 1.2 | $-V_S$ + 1.1 | | $+V_S$ – 1.2 | $-V_S$ + 1.1 | | $+V_S$ – 1.2 | V |
| Overtemperature | | $-V_S$ + 1.4 | | $+V_S$ – 1.3 | $-V_S$ + 1.4 | | $+V_S$ – 1.3 | $-V_S$ + 1.6 | | $+V_S$ – 1.3 | V |
| | $V_S$ = ±5 V to ± 18 V | $-V_S$ + 1.2 | | $+V_S$ – 1.4 | $-V_S$ + 1.2 | | $+V_S$ – 1.4 | $-V_S$ + 1.2 | | $+V_S$ – 1.4 | V |
| Overtemperature | | $-V_S$ + 1.6 | | $+V_S$ – 1.5 | $-V_S$ + 1.6 | | $+V_S$ – 1.5 | $-V_S$ + 2.3 | | $+V_S$ – 1.5 | V |
| Short Circuit Current | | | ±18 | | | ±18 | | | ±18 | | mA |
| DYNAMIC RESPONSE | | | | | | | | | | | |
| Small Signal –3 dB Bandwidth | | | | | | | | | | | |
| G = 1 | | | 1000 | | | 1000 | | | 1000 | | kHz |
| G = 10 | | | 800 | | | 800 | | | 800 | | kHz |
| G = 100 | | | 120 | | | 120 | | | 120 | | kHz |
| G = 1000 | | | 12 | | | 12 | | | 12 | | kHz |
| Slew Rate | | 0.75 | 1.2 | | 0.75 | 1.2 | | 0.75 | 1.2 | | V/µs |
| Settling Time to 0.01% | 10 V Step | | | | | | | | | | |
| G = 1–100 | | | 15 | | | 15 | | | 15 | | µs |
| G = 1000 | | | 150 | | | 150 | | | 150 | | µs |
| NOISE | | | | | | | | | | | |
| Voltage Noise, 1 kHz | $Total\ RTI\ Noise = \sqrt{(e_{ni}^2) + (e_{no}/G)^2}$ | | | | | | | | | | |
| Input, Voltage Noise, $e_{ni}$ | | | 9 | 13 | | 9 | 13 | | 9 | 13 | nV/√Hz |
| Output, Voltage Noise, $e_{no}$ | | | 72 | 100 | | 72 | 100 | | 72 | 100 | nV/√Hz |
| RTI, 0.1 Hz to 10 Hz | | | | | | | | | | | |
| G = 1 | | | 3.0 | | | 3.0 | 6.0 | | 3.0 | 6.0 | µV p-p |
| G = 10 | | | 0.55 | | | 0.55 | 0.8 | | 0.55 | 0.8 | µV p-p |
| G = 100–1000 | | | 0.28 | | | 0.28 | 0.4 | | 0.28 | 0.4 | µV p-p |
| Current Noise | f = 1 kHz | | 100 | | | 100 | | | 100 | | fA/√Hz |
| 0.1 Hz to 10 Hz | | | 10 | | | 10 | | | 10 | | pA p-p |
| REFERENCE INPUT | | | | | | | | | | | |
| $R_{IN}$ | | | 20 | | | 20 | | | 20 | | kΩ |
| $I_{IN}$ | $V_{IN+}$, $V_{REF}$ = 0 | | 50 | 60 | | 50 | 60 | | 50 | 60 | µA |
| Voltage Range | | $-V_S$ + 1.6 | | $+V_S$ – 1.6 | $-V_S$ + 1.6 | | $+V_S$ – 1.6 | $-V_S$ + 1.6 | | $+V_S$ – 1.6 | V |
| Gain to Output | | 1 ± 0.0001 | | | 1 ± 0.0001 | | | 1 ± 0.0001 | | | |
| POWER SUPPLY | | | | | | | | | | | |
| Operating Range[4] | | ±2.3 | | ±18 | ±2.3 | | ±18 | ±2.3 | | ±18 | V |
| Quiescent Current | $V_S$ = ±2.3 V to ±18 V | | 0.9 | 1.3 | | 0.9 | 1.3 | | 0.9 | 1.3 | mA |
| Overtemperature | | | 1.1 | 1.6 | | 1.1 | 1.6 | | 1.1 | 1.6 | mA |
| TEMPERATURE RANGE | | | | | | | | | | | |
| For Specified Performance | | –40 to +85 | | | –40 to +85 | | | –55 to +125 | | | °C |

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 3.

| Parameter | Rating |
|---|---|
| Supply Voltage | ±18 V |
| Internal Power Dissipation[1] | 650 mW |
| Input Voltage (Common-Mode) | $\pm V_S$ |
| Differential Input Voltage | 25 V |
| Output Short-Circuit Duration | Indefinite |
| Storage Temperature Range (Q) | −65°C to +150°C |
| Storage Temperature Range (N, R) | −65°C to +125°C |
| Operating Temperature Range | |
| AD620 (A, B) | −40°C to +85°C |
| AD620 (S) | −55°C to +125°C |
| Lead Temperature Range | |
| (Soldering 10 seconds) | 300°C |

[1] Specification is for device in free air:
8-Lead Plastic Package: $\theta_{JA}$ = 95°C
8-Lead CERDIP Package: $\theta_{JA}$ = 110°C
8-Lead SOIC Package: $\theta_{JA}$ = 155°C

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other condition s above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ESD CAUTION

**ESD (electrostatic discharge) sensitive device.** Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

# ANEXO D

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR®

LM358

# LM2904,LM358/LM358A,LM258/ LM258A

## Dual Operational Amplifier

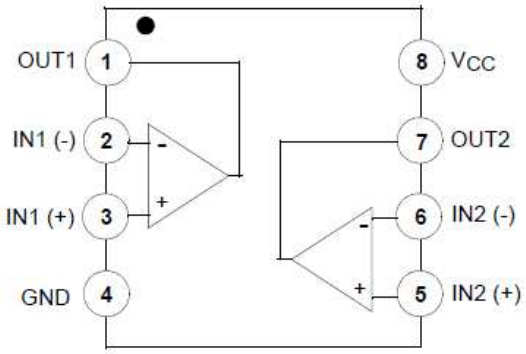
### Features

- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:
  LM258/LM258A, LM358/LM358A: 3V~32V (or ±1.5V ~ 16V)
  LM2904 : 3V~26V (or ±1.5V ~ 13V)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V DC to Vcc -1.5V DC
- Power Drain Suitable for Battery Operation.

### Description

The LM2904,LM358/LM358A, LM258/LM258A consist of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltage. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP-AMP circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.

### Internal Block Diagram



## Electrical Characteristics

($V_{CC}$ = 5.0V, $V_{EE}$ = GND, $T_A$ = 25°C, unless otherwise specified)

| Parameter | Symbol | Conditions | LM258 | | | LM358 | | | LM2904 | | | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. | |
| Input Offset Voltage | $V_{IO}$ | $V_{CM}$ = 0V to $V_{CC}$ -1.5V<br>$V_{O(P)}$ = 1.4V,<br>$R_S$ = 0Ω | - | 2.9 | 5.0 | - | 2.9 | 7.0 | - | 2.9 | 7.0 | mV |
| Input Offset Current | $I_{IO}$ | - | - | 3 | 30 | - | 5 | 50 | - | 5 | 50 | nA |
| Input Bias Current | $I_{BIAS}$ | - | - | 45 | 150 | - | 45 | 250 | - | 45 | 250 | nA |
| Input Voltage Range | $V_{I(R)}$ | $V_{CC}$ = 30V<br>(LM2904, $V_{CC}$=26V) | 0 | - | $V_{CC}$ -1.5 | 0 | - | $V_{CC}$ -1.5 | 0 | - | $V_{CC}$ -1.5 | V |
| Supply Current | $I_{CC}$ | $R_L$ = ∞, $V_{CC}$ = 30V<br>(LM2904, $V_{CC}$=26V) | - | 0.8 | 2.0 | - | 0.8 | 2.0 | - | 0.8 | 2.0 | mA |
| | | $R_L$ = ∞, $V_{CC}$ = 5V | - | 0.5 | 1.2 | - | 0.5 | 1.2 | - | 0.5 | 1.2 | mA |
| Large Signal Voltage Gain | $G_V$ | $V_{CC}$ = 15V,<br>$R_L$= 2kΩ<br>$V_{O(P)}$ = 1V to 11V | 50 | 100 | - | 25 | 100 | - | 25 | 100 | - | V/mV |
| Output Voltage Swing | $V_{O(H)}$ | $V_{CC}$=30V ($V_{CC}$ =26V for LM2904), $R_L$ = 2kΩ | 26 | - | - | 26 | - | - | 22 | - | - | V |
| | | $V_{CC}$=30V ($V_{CC}$ =26V for LM2904), $R_L$= 10kΩ | 27 | 28 | - | 27 | 28 | - | 23 | 24 | - | V |
| | $V_{O(L)}$ | $V_{CC}$ = 5V, $R_L$= 10kΩ | - | 5 | 20 | - | 5 | 20 | | 5 | 20 | mV |
| Common-Mode Rejection Ratio | CMRR | - | 70 | 85 | - | 65 | 80 | - | 50 | 80 | - | dB |
| Power Supply Rejection Ratio | PSRR | - | 65 | 100 | - | 65 | 100 | - | 50 | 100 | - | dB |
| Channel Separation | CS | f = 1kHz to 20kHz<br>(Note1) | - | 120 | - | - | 120 | - | - | 120 | - | dB |
| Short Circuit to GND | $I_{SC}$ | - | - | 40 | 60 | - | 40 | 60 | - | 40 | 60 | mA |
| Output Current | $I_{SOURCE}$ | $V_{I(+)}$ = 1V,<br>$V_{I(-)}$ = 0V,<br>$V_{CC}$ = 15V,<br>$V_{O(P)}$ = 2V | 20 | 30 | - | 20 | 30 | - | 20 | 30 | - | mA |
| | $I_{SINK}$ | $V_{I(+)}$ = 0V, $V_{I(-)}$ = 1V,<br>$V_{CC}$ = 15V,<br>$V_{O(P)}$ = 2V | 10 | 15 | - | 10 | 15 | - | 10 | 15 | - | mA |
| | | $V_{I(+)}$ = 0V,$V_{I(-)}$ =1V ,<br>$V_{CC}$ = 15V,<br>$V_{O(P)}$ = 200mV | 12 | 100 | - | 12 | 100 | - | - | - | - | µA |
| Differential Input Voltage | $V_{I(DIFF)}$ | - | - | - | $V_{CC}$ | - | - | $V_{CC}$ | - | - | $V_{CC}$ | V |

**Note:**

1. This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

| Parameter | Symbol | Conditions | LM258 | | | LM358 | | | LM2904 | | | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. | |
| Input Offset Voltage | $V_{IO}$ | $V_{CM}$ = 0V to $V_{CC}$ -1.5V<br>$V_{O(P)}$ = 1.4V,<br>$R_S$ = 0Ω | - | - | 7.0 | - | - | 9.0 | - | - | 10.0 | mV |
| Input Offset Voltage Drift | $\Delta V_{IO}/\Delta T$ | $R_S$ = 0Ω | - | 7.0 | - | - | 7.0 | - | - | 7.0 | - | μV/°C |
| Input Offset Current | $I_{IO}$ | - | - | - | 100 | - | - | 150 | - | 45 | 200 | nA |
| Input Offset Current Drift | $\Delta I_{IO}/\Delta T$ | - | - | 10 | - | - | 10 | - | - | 10 | - | pA/°C |
| Input Bias Current | $I_{BIAS}$ | - | - | 40 | 300 | - | 40 | 500 | - | 40 | 500 | nA |
| Input Voltage Range | $V_{I(R)}$ | $V_{CC}$ = 30V<br>(LM2904 , $V_{CC}$ = 26V) | 0 | - | $V_{CC}$ -2.0 | 0 | - | $V_{CC}$ -2.0 | 0 | - | $V_{CC}$ -2.0 | V |
| Large Signal Voltage Gain | $G_V$ | $V_{CC}$ = 15V,<br>$R_L$ =2.0kΩ<br>$V_{O(P)}$ = 1V to 11V | 25 | - | - | 15 | - | - | 15 | - | - | V/mV |
| Output Voltage Swing | $V_{O(H)}$ | $V_{CC}$=30V ($V_{CC}$ = 26V for LM2904) $R_L$ = 2kΩ | 26 | - | - | 26 | - | - | 22 | - | - | V |
| | | $R_L$=10kΩ | 27 | 28 | - | 27 | 28 | - | 23 | 24 | - | V |
| | $V_{O(L)}$ | $V_{CC}$ = 5V, $R_L$=10kΩ | - | 5 | 20 | - | 5 | 20 | - | 5 | 20 | mV |
| Output Current | $I_{SOURCE}$ | $V_{I(+)}$ = 1V,<br>$V_{I(-)}$ = 0V,<br>$V_{CC}$ = 15V,<br>$V_{O(P)}$ = 2V | 10 | 30 | - | 10 | 30 | - | 10 | 30 | - | mA |
| | $I_{SINK}$ | $V_{I(+)}$ = 0V,<br>$V_{I(-)}$ = 1V,<br>$V_{CC}$ = 15V,<br>$V_{O(P)}$ = 2V | 5 | 8 | - | 5 | 9 | - | 5 | 9 | - | mA |
| Differential Input Voltage | $V_{I(DIFF)}$ | - | - | - | $V_{CC}$ | - | - | $V_{CC}$ | - | - | $V_{CC}$ | V |

## Absolute Maximum Ratings

| Parameter | Symbol | LM258/LM258A | LM358/LM358A | LM2904 | Unit |
|---|---|---|---|---|---|
| Supply Voltage | $V_{CC}$ | ±16 or 32 | ±16 or 32 | ±13 or 26 | V |
| Differential Input Voltage | $V_{I(DIFF)}$ | 32 | 32 | 26 | V |
| Input Voltage | $V_I$ | -0.3 to +32 | -0.3 to +32 | -0.3 to +26 | V |
| Output Short Circuit to GND $V_{CC}$≤15V, $T_A$ = 25°C(One Amp) | - | Continuous | Continuous | Continuous | - |
| Operating Temperature Range | $T_{OPR}$ | -25 ~ +85 | 0 ~ +70 | -40 ~ +85 | °C |
| Maximun Junction Temperature | $T_{J(MAX)}$ | +150 | +150 | +150 | °C |
| Storage Temperature Range | $T_{STG}$ | -65 ~ +150 | -65 ~ +150 | -65 ~ +150 | °C |

# ANEXO E

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

**4N25**

GlobalOptoisolator™

VDE | UL | CSA | SETI | SEMKO | DEMKO | NEMKO | BABT

# 6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

**4N25**
**4N26**
**4N27**
**4N28**

The 4N25, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

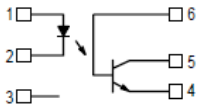
- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- ***To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.***

**Applications**

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

STANDARD THRU HOLE

**SCHEMATIC**




PIN 1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

**MAXIMUM RATINGS** ($T_A$ = 25°C unless otherwise noted)

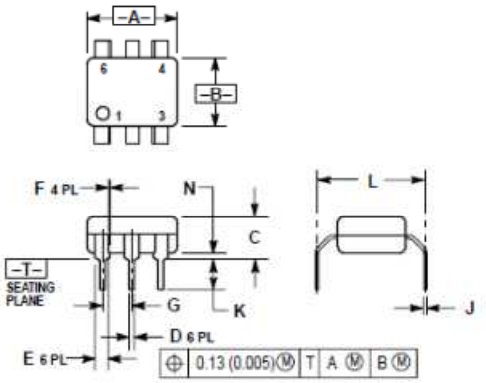
| Rating | Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| **INPUT LED** | | | |
| Reverse Voltage | $V_R$ | 3 | Volts |
| Forward Current — Continuous | $I_F$ | 60 | mA |
| LED Power Dissipation @ $T_A$ = 25°C with Negligible Power in Output Detector | $P_D$ | 120 | mW |
| Derate above 25°C | | 1.41 | mW/°C |
| **OUTPUT TRANSISTOR** | | | |
| Collector–Emitter Voltage | $V_{CEO}$ | 30 | Volts |
| Emitter–Collector Voltage | $V_{ECO}$ | 7 | Volts |
| Collector–Base Voltage | $V_{CBO}$ | 70 | Volts |
| Collector Current — Continuous | $I_C$ | 150 | mA |
| Detector Power Dissipation @ $T_A$ = 25°C with Negligible Power in Input LED | $P_D$ | 150 | mW |
| Derate above 25°C | | 1.76 | mW/°C |
| **TOTAL DEVICE** | | | |
| Isolation Surge Voltage(1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration) | $V_{ISO}$ | 7500 | Vac(pk) |
| Total Device Power Dissipation @ $T_A$ = 25°C | $P_D$ | 250 | mW |
| Derate above 25°C | | 2.94 | mW/°C |
| Ambient Operating Temperature Range | $T_A$ | −55 to +100 | °C |
| Storage Temperature Range | $T_{stg}$ | −55 to +150 | °C |
| Soldering Temperature (10 sec, 1/16″ from case) | $T_L$ | 260 | °C |

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($T_A$ = 25°C unless otherwise noted)(1)

| Characteristic | | Symbol | Min | Typ(1) | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **INPUT LED** | | | | | | |
| Forward Voltage ($I_F$ = 10 mA) | $T_A$ = 25°C<br>$T_A$ = –55°C<br>$T_A$ = 100°C | $V_F$ | —<br>—<br>— | 1.15<br>1.3<br>1.05 | 1.5<br>—<br>— | Volts |
| Reverse Leakage Current ($V_R$ = 3 V) | | $I_R$ | — | — | 100 | µA |
| Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz) | | $C_J$ | — | 18 | — | pF |
| **OUTPUT TRANSISTOR** | | | | | | |
| Collector–Emitter Dark Current ($V_{CE}$ = 10 V, $T_A$ = 25°C | 4N25,26,27<br>4N28 | $I_{CEO}$ | —<br>— | 1<br>1 | 50<br>100 | nA |
| ($V_{CE}$ = 10 V, $T_A$ = 100°C) | All Devices | $I_{CEO}$ | — | 1 | — | µA |
| Collector–Base Dark Current ($V_{CB}$ = 10 V) | | $I_{CBO}$ | — | 0.2 | — | nA |
| Collector–Emitter Breakdown Voltage ($I_C$ = 1 mA) | | $V_{(BR)CEO}$ | 30 | 45 | — | Volts |
| Collector–Base Breakdown Voltage ($I_C$ = 100 µA) | | $V_{(BR)CBO}$ | 70 | 100 | — | Volts |
| Emitter–Collector Breakdown Voltage ($I_E$ = 100 µA) | | $V_{(BR)ECO}$ | 7 | 7.8 | — | Volts |
| DC Current Gain ($I_C$ = 2 mA, $V_{CE}$ = 5 V) | | $h_{FE}$ | — | 500 | — | — |
| Collector–Emitter Capacitance (f = 1 MHz, $V_{CE}$ = 0) | | $C_{CE}$ | — | 7 | — | pF |
| Collector–Base Capacitance (f = 1 MHz, $V_{CB}$ = 0) | | $C_{CB}$ | — | 19 | — | pF |
| Emitter–Base Capacitance (f = 1 MHz, $V_{EB}$ = 0) | | $C_{EB}$ | — | 9 | — | pF |
| **COUPLED** | | | | | | |
| Output Collector Current ($I_F$ = 10 mA, $V_{CE}$ = 10 V) | 4N25,26<br>4N27,28 | $I_C$ (CTR)(2) | 2 (20)<br>1 (10) | 7 (70)<br>5 (50) | —<br>— | mA (%) |
| Collector–Emitter Saturation Voltage ($I_C$ = 2 mA, $I_F$ = 50 mA) | | $V_{CE(sat)}$ | — | 0.15 | 0.5 | Volts |
| Turn–On Time ($I_F$ = 10 mA, $V_{CC}$ = 10 V, $R_L$ = 100 Ω)(3) | | $t_{on}$ | — | 2.8 | — | µs |
| Turn–Off Time ($I_F$ = 10 mA, $V_{CC}$ = 10 V, $R_L$ = 100 Ω)(3) | | $t_{off}$ | — | 4.5 | — | µs |
| Rise Time ($I_F$ = 10 mA, $V_{CC}$ = 10 V, $R_L$ = 100 Ω)(3) | | $t_r$ | — | 1.2 | — | µs |
| Fall Time ($I_F$ = 10 mA, $V_{CC}$ = 10 V, $R_L$ = 100 Ω)(3) | | $t_f$ | — | 1.3 | — | µs |
| Isolation Voltage (f = 60 Hz, t = 1 sec)(4) | | $V_{ISO}$ | 7500 | — | — | Vac(pk) |
| Isolation Resistance (V = 500 V)(4) | | $R_{ISO}$ | $10^{11}$ | — | — | Ω |
| Isolation Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz)(4) | | $C_{ISO}$ | — | 0.2 | — | pF |

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).
2. Current Transfer Ratio (CTR) = $I_C/I_F$ x 100%.
3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.
4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.




NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

| | INCHES | | MILLIMETERS | |
|---|---|---|---|---|
| DIM | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.320 | 0.350 | 8.13 | 8.89 |
| B | 0.240 | 0.260 | 6.10 | 6.60 |
| C | 0.115 | 0.200 | 2.93 | 5.08 |
| D | 0.016 | 0.020 | 0.41 | 0.50 |
| E | 0.040 | 0.070 | 1.02 | 1.77 |
| F | 0.010 | 0.014 | 0.25 | 0.36 |
| G | 0.100 BSC | | 2.54 BSC | |
| J | 0.008 | 0.012 | 0.21 | 0.30 |
| K | 0.100 | 0.150 | 2.54 | 3.81 |
| L | 0.400 | 0.425 | 10.16 | 10.80 |
| N | 0.015 | 0.040 | 0.38 | 1.02 |

# ANEXO F

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR®

**7414**

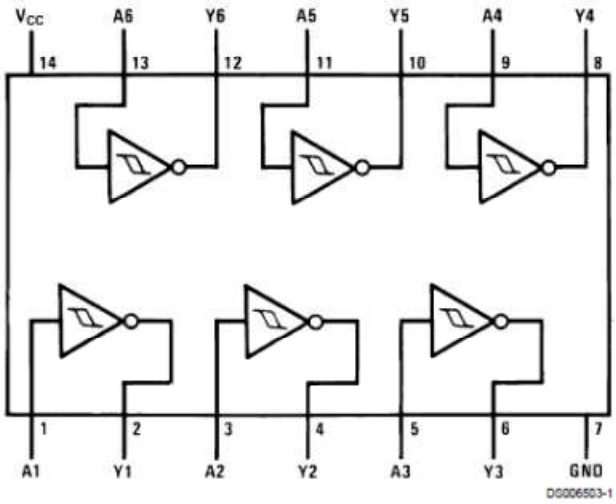
## Hex Inverter with Schmitt Trigger Inputs

### General Description

This device contains six independent gates each of which performs the logic INVERT function. Each input has hysteresis which increases the noise immunity and transforms a slowly changing input signal to a fast changing, jitter free output.

### Connection Diagram

**Dual-In-Line Package**




**Order Number DM5414J, DM5414W or DM7414N**
**See Package Number J14A, N14A or W14B**

### Function Table

$Y = \overline{A}$

| Input | Output |
|---|---|
| A | Y |
| L | H |
| H | L |

H = High Logic Level
L = Low Logic Level

## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Supply Voltage | 7V | DM54 | −55°C to +125°C |
| Input Voltage | 5.5V | DM74 | 0°C to +70°C |
| Operating Free Air Temperature Range | | Storage Temperature Range | −65°C to +150°C |

## Recommended Operating Conditions

| Symbol | Parameter | DM5414 | | | DM7414 | | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Min | Nom | Max | Min | Nom | Max | |
| $V_{CC}$ | Supply Voltage | 4.5 | 5 | 5.5 | 4.75 | 5 | 5.25 | V |
| $V_{T+}$ | Positive-Going Input Threshold Voltage (Note 2) | 1.5 | 1.7 | 2 | 1.5 | 1.7 | 2 | V |
| $V_{T-}$ | Negative-Going Input Threshold Voltage (Note 2) | 0.6 | 0.9 | 1.1 | 0.6 | 0.9 | 1.1 | V |
| HYS | Input Hysteresis (Note 2) | 0.4 | 0.8 | | 0.4 | 0.8 | | V |
| $I_{OH}$ | High Level Output Current | | | −0.8 | | | −0.8 | mA |
| $I_{OL}$ | Low Level Output Current | | | 16 | | | 16 | mA |
| $T_A$ | Free Air Operating Temperature | −55 | | 125 | 0 | | 70 | °C |

**Note 1:** *The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.*

## Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

| Symbol | Parameter | Conditions | | Min | Typ (Note 3) | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_I$ | Input Clamp Voltage | $V_{CC}$ = Min, $I_I$ = −12 mA | | | | −1.5 | V |
| $V_{OH}$ | High Level Output Voltage | $V_{CC}$ = Min, $I_{OH}$ = Max, $V_I$ = $V_{T-}$ Min | | 2.4 | 3.4 | | V |
| $V_{OL}$ | Low Level Output Voltage | $V_{CC}$ = Min, $I_{OL}$ = Max, $V_I$ = $V_{T+}$ Max | | | 0.2 | 0.4 | V |
| $I_{T+}$ | Input Current at Positive-Going Threshold | $V_{CC}$ = 5V, $V_I$ = $V_{T+}$ | | | −0.43 | | mA |
| $I_{T-}$ | Input Current at Negative-Going Threshold | $V_{CC}$ = 5V, $V_I$ = $V_{T-}$ | | | −0.56 | | mA |
| $I_I$ | Input Current @ Max Input Voltage | $V_{CC}$ = Max, $V_I$ = 5.5V | | | | 1 | mA |
| $I_{IH}$ | High Level Input Current | $V_{CC}$ = Max, $V_I$ = 2.4V | | | | 40 | µA |
| $I_{IL}$ | Low Level Input Current | $V_{CC}$ = Max, $V_I$ = 0.4V | | | | −1.2 | mA |
| $I_{OS}$ | Short Circuit Output Current | $V_{CC}$ = Max (Note 4) | DM54 | −18 | | −55 | mA |
| | | | DM74 | −18 | | −55 | |
| $I_{CCH}$ | Supply Current with Outputs High | $V_{CC}$ = Max | | | 22 | 36 | mA |
| $I_{CCL}$ | Supply Current with Outputs Low | $V_{CC}$ = Max | | | 39 | 60 | mA |

**Note 2:** $V_{CC}$ = 5V

**Note 3:** All typicals are at $V_{CC}$ = 5V, $T_A$ = 25°C.

**Note 4:** Not more than one output should be shorted at a time.

# ANEXO G

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR®

74LS244

# DM74LS244
# Octal 3-STATE Buffer/Line Driver/Line Receiver

## General Description

These buffers/line drivers are designed to improve both the performance and PC board density of 3-STATE buffers/drivers employed as memory-address drivers, clock drivers, and bus-oriented transmitters/receivers. Featuring 400 mV of hysteresis at each low current PNP data line input, they provide improved noise rejection and high fanout outputs and can be used to drive terminated lines down to 133Ω.

## Features

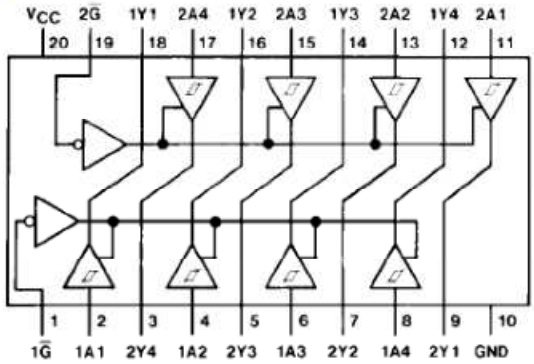
- 3-STATE outputs drive bus lines directly
- PNP inputs reduce DC loading on bus lines
- Hysteresis at data inputs improves noise margins
- Typical $I_{OL}$ (sink current) 24 mA
- Typical $I_{OH}$ (source current) −15 mA
- Typical propagation delay times
  - Inverting 10.5 ns
  - Noninverting 12 ns
- Typical enable/disable time 18 ns
- Typical power dissipation (enabled)
  - Inverting 130 mW
  - Noninverting 135 mW

## Ordering Code:

| Order Number | Package Number | Package Description |
|---|---|---|
| DM74LS244WM | M20B | 20-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300 Wide |
| DM74LS244SJ | M20D | 20-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide |
| DM74LS244N | N20A | 20-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide |

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

## Connection Diagram




## Function Table

| Inputs | | Output |
|---|---|---|
| $\overline{G}$ | A | Y |
| L | L | L |
| L | H | H |
| H | X | Z |

L = LOW Logic Level
H = HIGH Logic Level
X = Either LOW or HIGH Logic Level
Z = High Impedance

## Absolute Maximum Ratings(Note 1)

| | |
|---|---|
| Supply Voltage | 7V |
| Input Voltage | 7V |
| Operating Free Air Temperature Range | 0°C to +70°C |
| Storage Temperature Range | −65°C to +150°C |

**Note 1:** The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

## Recommended Operating Conditions

| Symbol | Parameter | Min | Nom | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|
| $V_{CC}$ | Supply Voltage | 4.75 | 5 | 5.25 | V |
| $V_{IH}$ | HIGH Level Input Voltage | 2 | | | V |
| $V_{IL}$ | LOW Level Input Voltage | | | 0.8 | V |
| $I_{OH}$ | HIGH Level Output Current | | | −15 | mA |
| $I_{OL}$ | LOW Level Output Current | | | 24 | mA |
| $T_A$ | Free Air Operating Temperature | 0 | | 70 | °C |

## Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

| Symbol | Parameter | Conditions | | Min | Typ (Note 2) | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_I$ | Input Clamp Voltage | $V_{CC}$ = Min, $I_I$ = −18 mA | | | | −1.5 | V |
| HYS | Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$) Data Inputs Only | $V_{CC}$ = Min | | 0.2 | 0.4 | | V |
| $V_{OH}$ | HIGH Level Output Voltage | $V_{CC}$ = Min, $V_{IH}$ = Min $V_{IL}$ = Max, $I_{OH}$ = −1 mA | | 2.7 | | | V |
| | | $V_{CC}$ = Min, $V_{IH}$ = Min $V_{IL}$ = Max, $I_{OH}$ = −3 mA | | 2.4 | 3.4 | | |
| | | $V_{CC}$ = Min, $V_{IH}$ = Min $V_{IL}$ = 0.5V, $I_{OH}$ = Max | | 2 | | | |
| $V_{OL}$ | LOW Level Output Voltage | $V_{CC}$ = Min $V_{IL}$ = Max $V_{IH}$ = Min | $I_{OL}$ = 12 mA | | | 0.4 | V |
| | | | $I_{OL}$ = Max | | | 0.5 | |
| $I_{OZH}$ | Off-State Output Current, HIGH Level Voltage Applied | $V_{CC}$ = Max $V_{IL}$ = Max | $V_O$ = 2.7V | | | 20 | µA |
| $I_{OZL}$ | Off-State Output Current, LOW Level Voltage Applied | $V_{IH}$ = Min | $V_O$ = 0.4V | | | −20 | µA |
| $I_I$ | Input Current at Maximum Input Voltage | $V_{CC}$ = Max | $V_I$ = 7V | | | 0.1 | mA |
| $I_{IH}$ | HIGH Level Input Current | $V_{CC}$ = Max | $V_I$ = 2.7V | | | 20 | µA |
| $I_{IL}$ | LOW Level Input Current | $V_{CC}$ = Max | $V_I$ = 0.4V | −0.5 | | −200 | µA |
| $I_{OS}$ | Short Circuit Output Current | $V_{CC}$ = Max (Note 3) | | −40 | | −225 | mA |
| $I_{CC}$ | Supply Current | $V_{CC}$ = Max, Outputs Open | Outputs HIGH | | 13 | 23 | mA |
| | | | Outputs LOW | | 27 | 46 | |
| | | | Outputs Disabled | | 32 | 54 | |

**Note 2:** All typicals are at $V_{CC}$ = 5V, $T_A$ = 25°C.

**Note 3:** Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

## Switching Characteristics

at $V_{CC}$ = 5V, $T_A$ = 25°C

| Symbol | Parameter | Conditions | Max | Units |
|---|---|---|---|---|
| $t_{PLH}$ | Propagation Delay Time<br>LOW-to-HIGH Level Output | $C_L$ = 45 pF<br>$R_L$ = 667Ω | 18 | ns |
| $t_{PHL}$ | Propagation Delay Time<br>HIGH-to-LOW Level Output | $C_L$ = 45 pF<br>$R_L$ = 667Ω | 18 | ns |
| $t_{PZL}$ | Output Enable Time to<br>LOW Level | $C_L$ = 45 pF<br>$R_L$ = 667Ω | 30 | ns |
| $t_{PZH}$ | Output Enable Time to<br>HIGH Level | $C_L$ = 45 pF<br>$R_L$ = 667Ω | 23 | ns |
| $t_{PLZ}$ | Output Disable Time<br>from LOW Level | $C_L$ = 5 pF<br>$R_L$ = 667Ω | 25 | ns |
| $t_{PHZ}$ | Output Disable Time<br>from HIGH Level | $C_L$ = 5 pF<br>$R_L$ = 667Ω | 18 | ns |
| $t_{PLH}$ | Propagation Delay Time<br>LOW-to-HIGH Level Output | $C_L$ = 150 pF<br>$R_L$ = 667Ω | 21 | ns |
| $t_{PHL}$ | Propagation Delay Time<br>HIGH-to-LOW Level Output | $C_L$ = 150 pF<br>$R_L$ = 667Ω | 22 | ns |
| $t_{PZL}$ | Output Enable Time to<br>LOW Level | $C_L$ = 150 pF<br>$R_L$ = 667Ω | 33 | ns |
| $t_{PZH}$ | Output Enable Time to<br>HIGH Level | $C_L$ = 150 pF<br>$R_L$ = 667Ω | 26 | ns |

# ANEXO H

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR®

74LS138

# DM74LS138 • DM74LS139 Decoder/Demultiplexer

## General Description

These Schottky-clamped circuits are designed to be used in high-performance memory-decoding or data-routing applications, requiring very short propagation delay times. In high-performance memory systems these decoders can be used to minimize the effects of system decoding. When used with high-speed memories, the delay times of these decoders are usually less than the typical access time of the memory. This means that the effective system delay introduced by the decoder is negligible.

The DM74LS138 decodes one-of-eight lines, based upon the conditions at the three binary select inputs and the three enable inputs. Two active-low and one active-high enable inputs reduce the need for external gates or inverters when expanding. A 24-line decoder can be implemented with no external inverters, and a 32-line decoder requires only one inverter. An enable input can be used as a data input for demultiplexing applications.

The DM74LS139 comprises two separate two-line-to-four-line decoders in a single package. The active-low enable input can be used as a data line in demultiplexing applications.

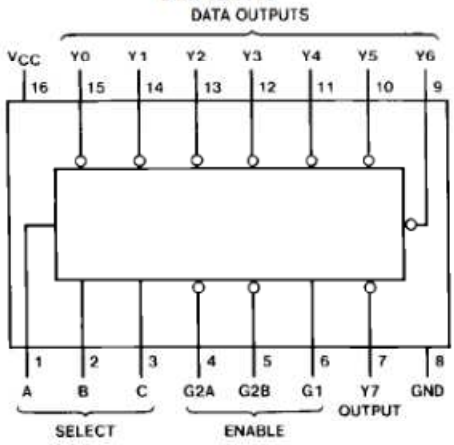
All of these decoders/demultiplexers feature fully buffered inputs, presenting only one normalized load to its driving circuit. All inputs are clamped with high-performance Schottky diodes to suppress line-ringing and simplify system design.

## Features

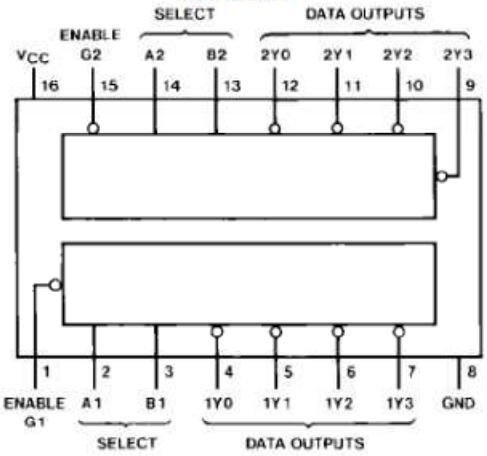
- Designed specifically for high speed:
  - Memory decoders
  - Data transmission systems
- DM74LS138 3-to-8-line decoders incorporates 3 enable inputs to simplify cascading and/or data reception
- DM74LS139 contains two fully independent 2-to-4-line decoders/demultiplexers
- Schottky clamped for high performance
- Typical propagation delay (3 levels of logic)
  - DM74LS138 21 ns
  - DM74LS139 21 ns
- Typical power dissipation
  - DM74LS138 32 mW
  - DM74LS139 34 mW

## Connection Diagrams

**DM74LS138**




**DM74LS139**




## Function Tables

**DM74LS138**

| Inputs | | | | | Outputs | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Enable | | Select | | | | | | | | | | |
| G1 | G2 (Note 1) | C | B | A | YO | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | Y6 | Y7 |
| X | H | X | X | X | H | H | H | H | H | H | H | H |
| L | X | X | X | X | H | H | H | H | H | H | H | H |
| H | L | L | L | L | L | H | H | H | H | H | H | H |
| H | L | L | L | H | H | L | H | H | H | H | H | H |
| H | L | L | H | L | H | H | L | H | H | H | H | H |
| H | L | L | H | H | H | H | H | L | H | H | H | H |
| H | L | H | L | L | H | H | H | H | L | H | H | H |
| H | L | H | L | H | H | H | H | H | H | L | H | H |
| H | L | H | H | L | H | H | H | H | H | H | L | H |
| H | L | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | L |

**DM74LS139**

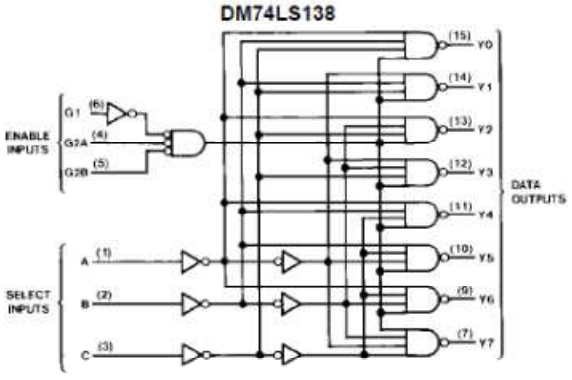
| Inputs | | | Outputs | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Enable | Select | | | | | |
| G | B | A | Y0 | Y1 | Y2 | Y3 |
| H | X | X | H | H | H | H |
| L | L | L | L | H | H | H |
| L | L | H | H | L | H | H |
| L | H | L | H | H | L | H |
| L | H | H | H | H | H | L |

H = HIGH Level
L = LOW Level
X = Don't Care

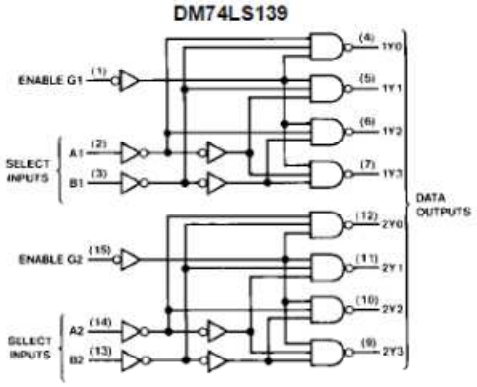
Note 1: G2 = G2A + G2B

## Logic Diagrams

**DM74LS138**




**DM74LS139**



## Absolute Maximum Ratings (Note 2)

| | |
|---|---|
| Supply Voltage | 7V |
| Input Voltage | 7V |
| Operating Free Air Temperature Range | 0°C to +70°C |
| Storage Temperature Range | −65°C to +150°C |

**Note 2:** The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

## DM74LS138 Recommended Operating Conditions

| Symbol | Parameter | Min | Nom | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|
| $V_{CC}$ | Supply Voltage | 4.75 | 5 | 5.25 | V |
| $V_{IH}$ | HIGH Level Input Voltage | 2 | | | V |
| $V_{IL}$ | LOW Level Input Voltage | | | 0.8 | V |
| $I_{OH}$ | HIGH Level Output Current | | | −0.4 | mA |
| $I_{OL}$ | LOW Level Output Current | | | 8 | mA |
| $T_A$ | Free Air Operating Temperature | 0 | | 70 | °C |

## DM74LS138 Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ (Note 3) | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_I$ | Input Clamp Voltage | $V_{CC}$ = Min, $I_I$ = −18 mA | | | −1.5 | V |
| $V_{OH}$ | HIGH Level Output Voltage | $V_{CC}$ = Min, $I_{OH}$ = Max, $V_{IL}$ = Max, $V_{IH}$ = Min | 2.7 | 3.4 | | V |
| $V_{OL}$ | LOW Level Output Voltage | $V_{CC}$ = Min, $I_{OL}$ = Max, $V_{IL}$ = Max, $V_{IH}$ = Min | | 0.35 | 0.5 | V |
| | | $I_{OL}$ = 4 mA, $V_{CC}$ = Min | | 0.25 | 0.4 | |
| $I_I$ | Input Current @ Max Input Voltage | $V_{CC}$ = Max, $V_I$ = 7V | | | 0.1 | mA |
| $I_{IH}$ | HIGH Level Input Current | $V_{CC}$ = Max, $V_I$ = 2.7V | | | 20 | µA |
| $I_{IL}$ | LOW Level Input Current | $V_{CC}$ = Max, $V_I$ = 0.4V | | | −0.36 | mA |
| $I_{OS}$ | Short Circuit Output Current | $V_{CC}$ = Max (Note 4) | −20 | | −100 | mA |
| $I_{CC}$ | Supply Current | $V_{CC}$ = Max (Note 5) | | 6.3 | 10 | mA |

**Note 3:** All typicals are at $V_{CC}$ = 5V, $T_A$ = 25°C.

**Note 4:** Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

**Note 5:** $I_{CC}$ is measured with all outputs enabled and OPEN.

## DM74LS138 Switching Characteristics

at $V_{CC}$ = 5V and $T_A$ = 25°C

| Symbol | Parameter | From (Input) To (Output) | Levels of Delay | $R_L$ = 2 kΩ | | | | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $C_L$ = 15 pF | | $C_L$ = 50 pF | | |
| | | | | Min | Max | Min | Max | |
| $t_{PLH}$ | Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output | Select to Output | 2 | | 18 | | 27 | ns |
| $t_{PHL}$ | Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output | Select to Output | 2 | | 27 | | 40 | ns |
| $t_{PLH}$ | Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output | Select to Output | 3 | | 18 | | 27 | ns |
| $t_{PHL}$ | Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output | Select to Output | 3 | | 27 | | 40 | ns |
| $t_{PLH}$ | Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output | Enable to Output | 2 | | 18 | | 27 | ns |
| $t_{PHL}$ | Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output | Enable to Output | 2 | | 24 | | 40 | ns |
| $t_{PLH}$ | Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output | Enable to Output | 3 | | 18 | | 27 | ns |
| $t_{PHL}$ | Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output | Enable to Output | 3 | | 28 | | 40 | ns |

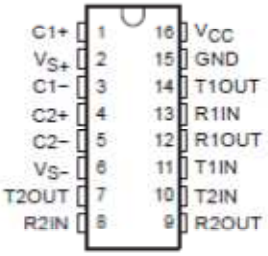
# ANEXO I

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

# MAX232

- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operates From a Single 5-V Power Supply With 1.0-μF Charge-Pump Capacitors
- Operates Up To 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- ±30-V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- ESD Protection Exceeds JESD 22
  - 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Upgrade With Improved ESD (15-kV HBM) and 0.1-μF Charge-Pump Capacitors is Available With the MAX202
- Applications
  - TIA/EIA-232-F, Battery-Powered Systems, Terminals, Modems, and Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)




## description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply TIA/EIA-232-F voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts TIA/EIA-232-F inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V, a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ±30-V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into TIA/EIA-232-F levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

## Function Tables

**EACH DRIVER**

| INPUT TIN | OUTPUT TOUT |
|---|---|
| L | H |
| H | L |

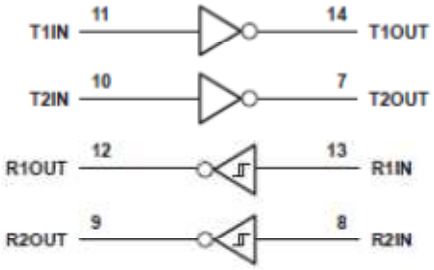
H = high level, L = low level

**EACH RECEIVER**

| INPUT RIN | OUTPUT ROUT |
|---|---|
| L | H |
| H | L |

H = high level, L = low level

## logic diagram (positive logic)



## absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Input supply voltage range, $V_{CC}$ (see Note 1) ..... −0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, $V_{S+}$ ..... $V_{CC}$ − 0.3 V to 15 V
Negative output supply voltage range, $V_{S-}$ ..... −0.3 V to −15 V
Input voltage range, $V_I$: Driver ..... −0.3 V to $V_{CC}$ + 0.3 V
Receiver ..... ±30 V
Output voltage range, $V_O$: T1OUT, T2OUT ..... $V_{S-}$ − 0.3 V to $V_{S+}$ + 0.3 V
R1OUT, R2OUT ..... −0.3 V to $V_{CC}$ + 0.3 V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT ..... Unlimited
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Notes 2 and 3): D package ..... 73°C/W
DW package ..... 57°C/W
N package ..... 67°C/W
NS package ..... 64°C/W
Operating virtual junction temperature, $T_J$ ..... 150°C
Storage temperature range, $T_{stg}$ ..... −65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltages are with respect to network GND.
2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(max)$, $\theta_{JA}$, and $T_A$. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum $T_J$ of 150°C can affect reliability.
3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

## recommended operating conditions

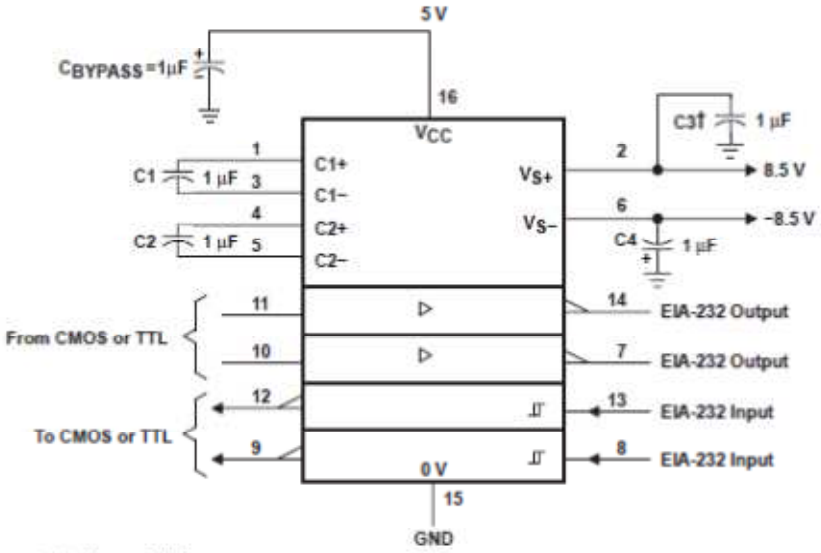
| | | | MIN | NOM | MAX | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{CC}$ | Supply voltage | | 4.5 | 5 | 5.5 | V |
| $V_{IH}$ | High-level input voltage (T1IN,T2IN) | | 2 | | | V |
| $V_{IL}$ | Low-level input voltage (T1IN, T2IN) | | | | 0.8 | V |
| R1IN, R2IN | Receiver input voltage | | | | ±30 | V |
| $T_A$ | Operating free-air temperature | MAX232 | 0 | | 70 | °C |
| | | MAX232I | −40 | | 85 | |

## electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Note 4 and Figure 4)

| PARAMETER | | TEST CONDITIONS | MIN | TYP‡ | MAX | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_{CC}$ | Supply current | $V_{CC}$ = 5.5 V, All outputs open, $T_A$ = 25°C | | 8 | 10 | mA |

‡ All typical values are at $V_{CC}$ = 5 V and $T_A$ = 25°C.
NOTE 4: Test conditions are C1−C4 = 1 µF at $V_{CC}$ = 5 V ± 0.5 V.

## APPLICATION INFORMATION




† C3 can be connected to $V_{CC}$ or GND.

NOTES: A. Resistor values shown are nominal.

B. Nonpolarized ceramic capacitors are acceptable. If polarized tantalum or electrolytic capacitors are used, they should be connected as shown. In addition to the 1-µF capacitors shown, the MAX202 can operate with 0.1-µF capacitors.

**Figure 4. Typical Operating Circuit**

# ANEXO J

# CABLEADO ELÉCTRICO

Para la implementación de la unidad remota que permite el control y monitoreo del prototipo de subestación eléctrica se adoptó una nomenclatura que clasifica a los cables que transportan las señales de la siguiente manera:

**SERIE 100 ENTRADAS DIGITALES**

| TERMINAL | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| 000 | GND para todos los pulsantes |
| 100 | Pulsante I> SPAC 315 |
| 101 | Pulsante I>> SPAC 315 |
| 102 | Pulsante Io> SPAC 315 |
| 103 | Pulsante Io>> SPAC 315 |
| 104 | Pulsante TRIP CIRCUIT FAILURE SPAC 315 |
| 105 | Pulsante MEASURING CIRCUIT FAILURE SPAC 315 |
| 106 | Pulsante I> SPAJ 144 |
| 107 | Pulsante I>> SPAJ 144 |
| 108 | Pulsante I>>> SPAJ 144 |
| 109 | Pulsante Io> SPAJ 144 |
| 110 | Pulsante Io>> SPAJ 144 |
| 111 | Pulsante MEASURING CIRCUIT FAILURE SPAJ 144 |
| 112 | Pulsante I> SPAS 348 |
| 113 | Pulsante I>> SPAS 348 |
| 114 | Pulsante I>>> SPAS 348 |
| 115 | Pulsante Io> SPAS 348 |
| 116 | Pulsante Io>> SPAS 348 |

| | |
|---|---|
| 117 | Pulsante I> REF 543 (+) |
| 118 | Pulsante Io> REF 543 (+) |
| 119 | Entrada BS1 REF 543 |
| 120 | Entrada BS2 REF 543 |
| 121 | Entrada INPUT 1 REF 543 |
| 122 | Entrada INPUT 2 REF 543 |
| 123 | Entrada INPUT 3 REF 543 |
| 124 | Entrada INPUT 4 REF 543 |
| 125 | GND para las entradas INPUT del REF 543 |
| 126 | Entrada BS1 SPAS 348 |
| 127 | Entrada BS2 SPAS 348 |
| 128 | GND para las entradas BS del SPAS 348 |
| 129 | Entrada BS1 SPAD 346 |
| 130 | Entrada BS2 SPAD 346 |
| 131 | Entrada BS3 SPAD 346 |
| 132 | Entrada BS4 SPAD 346 |
| 133 | Entrada BS5 SPAD 346 |
| 134 | GND para las entradas BS del SPAD 346 |
| 135 | Entrada EXTERNAL SPAJ144 |
| 136 | GND para la entrada EXTERNAL del SPAJ 144 |
| 137 | Pulsante I>  REF 543 (-) |
| 138 | Pulsante Io> REF 543 (-) |
| 139 | No se usa |
| 140 | No se usa |
| 141 | No se usa |
| 142 | No se usa |

| | |
|---|---|
| 143 | No se usa |
| 144 | No se usa |
| 145 | No se usa |
| 146 | No se usa |
| 147 | No se usa |
| 148 | No se usa |
| 149 | No se usa |
| 150 | Pulsante I>>  REF 543 (+) |
| 151 | Pulsante I>>  REF 543 (-) |
| 152 | Pulsante Io>>  REF 543 (+) |
| 153 | Pulsante Io>>  REF 543 (-) |

Tabla J.1 Terminales de entradas digitales

## SERIE 200 ENTRADAS DE DISYUNTORES Y SECCIONADORES

| TERMINAL | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| 201 | Entrada del disyuntor de la línea del SPAD 346 (+) |
| 202 | Entrada del disyuntor de la línea del SPAC 315 (+) |
| 203 | Entrada del disyuntor de la línea del SPAJ 144 (+) |
| 204 | Entrada del disyuntor de la línea del SPAS 348 (+) |
| 205 | Entrada del disyuntor de la línea del REF 543 (+) |
| 206 | Entrada del seccionador de la línea del SPAC 315  (+) |
| 207 | Entrada del seccionador de puesta a tierra de la línea del SPAC 315 (+) |
| 208 | GND para los seccionadores del SPAC 315 |
| 209 | Entrada del seccionador 2 del REF 543 (+) |

| | |
|---|---|
| 210 | Entrada del seccionador 1 del REF 543 (+) |
| 211 | Entrada del seccionador de puesta a tierra del REF 543 (+) |
| 212 | GND para los seccionadores del REF 543 |
| 213 | GND para los todos los disyuntores |

Tabla J.2 Terminales de disyuntores y seccionadores

**SERIE 300 ENTRADAS DE ALARMAS**

| TERMINAL | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| 300 | Alarma 1 de operación del SPAD 346 (+) |
| 301 | Alarma 2 de operación del SPAD 346 (+) |
| 302 | Alarma 3 de operación del SPAD 346 (+) |
| 303 | Alarma 4 de operación del SPAD 346 (+) |
| 304 | Alarma 5 de operación del SPAD 346 (+) |
| 305 | Alarma 1 de operación del SPAF 340 (+) |
| 306 | Alarma 2 de operación del SPAF 340 (+) |
| 307 | Alarma 3 de operación del SPAF 340 (+) |
| 308 | Alarma 4 de operación del SPAF 340 (+) |
| 309 | Alarma 1 de operación del SPAC 315 (+) |
| 310 | Alarma 2 de operación del SPAC 315 (+) |
| 311 | Alarma 3 de operación del SPAC 315 (+) |
| 312 | Alarma 4 de operación del SPAC 315 (+) |
| 313 | Alarma 1 de operación del SPAJ 144 (+) |
| 314 | Alarma 2 de operación del SPAJ 144 (+) |
| 315 | Alarma 3 de operación del SPAJ 144 (+) |
| 316 | Alarma 4 de operación del SPAJ 144 (+) |

| | |
|---|---|
| 317 | Alarma 1 de operación del SPAS 348 (+) |
| 318 | Alarma 2 de operación del SPAS 348 (+) |
| 319 | Alarma 3 de operación del SPAS 348 (+) |
| 320 | Alarma 4 de operación del SPAS 348 (+) |
| 321 | Alarma 1 de operación del REF 543 (+) |
| 322 | Alarma 2 de operación del REF 543 (+) |
| 323 | Alarma 3 de operación del REF 543 (+) |
| 324 | Alarma 4 de operación del REF 543 (+) |
| 325 | Alarma 5 de operación del REF 543 (+) |
| 213 | GND para todas las Alarmas |

Tabla J.3 Terminales de entradas de alarmas

## SERIE 400 ENTRADAS DE POTENCIÓMETROS

| TERMINAL | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| 000 | GND para todos los potenciómetros |
| 410 | Entrada del potenciómetro Io del SPAD 346 (+) |
| 411 | Entrada del potenciómetro I2 del SPAD 346 (+) |
| 412 | Entrada del potenciómetro I1 del SPAD 346 (+) |
| 413 | Entrada del potenciómetro I del SPAC 315 (+) |
| 414 | Entrada del potenciómetro Io del SPAC 315 (+) |
| 415 | Entrada del potenciómetro I del SPAJ 144 (+) |
| 416 | Entrada del potenciómetro Io del SPAJ 144(+) |
| 417 | Entrada del potenciómetro I del SPAS 348 (+) |
| 418 | Entrada del potenciómetro Io del SPAS 348 (+) |

| | |
|---|---|
| 419 | Entrada del potenciómetro U del SPAF 340 (+) |
| 420 | Entrada del potenciómetro U del SPAF 340 (-) |
| 421 | No se usa |
| 422 | No se usa |
| 423 | Entrada del potenciómetro I del REF 543 (+) |
| 424 | Entrada del potenciómetro Io del REF 543 (+) |

Tabla J.4 Terminales de entradas de potenciómetros

## SERIE 80- 90 ENTRADAS PARA CONTROL REMOTO

| TERMINAL | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| | |
| 80 | Entrada para operación en CONTROL REMOTO |
| 81 | Entrada KP para el control del disyuntor de la línea del SPAD 346 |
| 82 | Entrada KM para el control del disyuntor de la línea del SPAD 346 |
| 83 | Entrada KP para el control del disyuntor de la línea del SPAC 315 |
| 84 | Entrada KM para el control del disyuntor de la línea del SPAC 315 |
| 85 | Entrada KP para el control del disyuntor de la línea del SPAJ 144 |
| 86 | Entrada KM para el control del disyuntor de la línea del SPAJ 144 |
| 87 | Entrada KP para el control del disyuntor de la línea del SPAS 348 |
| 88 | Entrada KM para el control del disyuntor de la línea del SPAS 348 |
| 89 | Entrada KP para el control del disyuntor de la línea del REF 543 |
| 90 | Entrada KM para el control del disyuntor de la línea del REF 543 |
| 91 | Entrada para el control del seccionador de la línea del SPAC 315 |
| 92 | Entrada para el control del seccionador de puesta a tierra de la línea del SPAC 315 |

| | |
|---|---|
| 93 | Entrada de control para LEDS ROJOS de los seccionadores de la línea del SPAC 315 |
| 94 | Entrada de control para LEDS VERDES de los seccionadores de la línea del SPAC 315 |
| 95 | Terminal común de todos los disyuntores |

Tabla J.5 Terminales de entrada para CONTROL REMOTO

## SALIDAS DE CONTROL REMOTO

| TERMINAL | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| | |
| 1 | Salida A1 para el control del disyuntor de la línea del SPAD 346 |
| 2 | Salida KA1 para el control del disyuntor de la línea del SPAD 346 |
| 3 | Salida A1 para el control del disyuntor de la línea del SPAC 315 |
| 4 | Salida KA1 para el control del disyuntor de la línea del SPAC 315 |
| 5 | Salida A1 para el control del disyuntor de la línea del SPAJ 144 |
| 6 | Salida KA1 para el control del disyuntor de la línea del SPAJ 144 |
| 7 | Salida A1 para el control del disyuntor de la línea del SPAS 348 |
| 8 | Salida KA1 para el control del disyuntor de la línea del SPAS 348 |
| 9 | Salida A1 para el control del disyuntor de la línea del REF 543 |
| 10 | Salida KA1 para el control del disyuntor de la línea del REF 543 |
| 11 | Salida para el control del seccionador de la línea del SPAC 315 |
| 12 | Salida para el control del seccionador de puesta a tierra de la línea del SPAC 315 |
| 13 | Salida de control para LEDS ROJOS del seccionador de la línea del SPAC 315 |
| 14 | Salida de control para LEDS VERDES del seccionador de la línea del SPAC 315 |

| | |
|---|---|
| 15 | Salida de control para LEDS ROJOS del seccionador de puesta a tierra del SPAC 315 |
| 16 | Salida de control para LEDS VERDES de los seccionador de puesta a tierra del SPAC 315 |
| 17 | Salida de control para los seccionadores del REF 543 (+) |
| 18 | Salida de control para los seccionadores del REF 543 (-) |
| 19 | Salida para operación en CONTROL REMOTO |

Tabla J.6 Terminales de salida para CONTROL REMOTO

## ENTRADAS A MICROCONTROLADORES

| TERMINAL | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| BJ | Seccionador de Puesta a tierra de la línea del SPAC 315 |
| BK | Seccionador de la línea del SPAC 315 |
| Tierra | GND |
| Polarización (+) | +5V |
| BL | Alarma 2 REF 543 |
| BM | Alarma 1 REF 543 |
| BN | Potenciómetro I de la línea del SPAC 315 |
| MM | Potenciómetro U del SPAF 340 |
| BU | Potenciómetro I de la línea del SPAJ 144 |
| CY | Potenciómetro I de la línea del REF 543 |
| BW | Potenciómetro I de la línea del SPAS 348 |
| BR | Potenciómetro I de la línea del SPAD 346 |
| U | Pulsante BS1 SPAD 346 |
| V | Pulsante BS2 SPAD 346 |
| W | Pulsante BS3 SPAD 346 |
| X | Pulsante BS4 SPAD 346 |
| Y | Pulsante BS5 SPAD 346 |

| | |
|---|---|
| AA | Alarma 1 SPAD 346 |
| AB | Alarma 2 SPAD 346 |
| AC | Alarma 3 SPAD 346 |
| BE | Alarma 4 SPAD 346 |
| BF | Alarma 5 SPAD 346 |
| BG | Alarma 1 SPAF 340 |
| BH | Alarma 2 SPAF 340 |
| BI | Alarma 3 SPAF 340 |
| 61 | Alarma 4 SPAF 340 |
| 82 | Salida de control KM para disyuntor de la línea del SPAD 346 |
| 81 | Salida de control KP para disyuntor de la línea del SPAD 346 |
| 84 | Salida de control KM para disyuntor de la línea del SPAC 315 |
| 83 | Salida de control KP para disyuntor de la línea del SPAC 315 |
| 86 | Salida de control KM para disyuntor de la línea del SPAJ 144 |
| 85 | Salida de control KP para disyuntor de la línea del SPAJ 144 |
| 88 | Salida de control KM para disyuntor de la línea del SPAS 348 |
| 87 | Salida de control KP para disyuntor de la línea del SPAS 348 |
| 90 | Salida de control KM para disyuntor de la línea del REF 543 |
| 89 | Salida de control KP para disyuntor de la línea del REF 543 |
| 91 | Salida de control para seccionador de línea del SPAC 315 |
| 92 | Salida de control para seccionador de puesta a tierra de la línea del SPAC 315 |
| AU | INPUT 1 de la línea del REF 543 |
| AV | INPUT 2 de la línea del REF 543 |
| AW | INPUT 3 de la línea del REF 543 |
| AW. | INPUT 4 de la línea del REF 543 |
| AX | Pulsante BS1 REF 543 |
| AY | Pulsante BS2 REF 543 |
| AZ | Alarma 3 REF 543 |
| BA | Alarma 4 REF 543 |

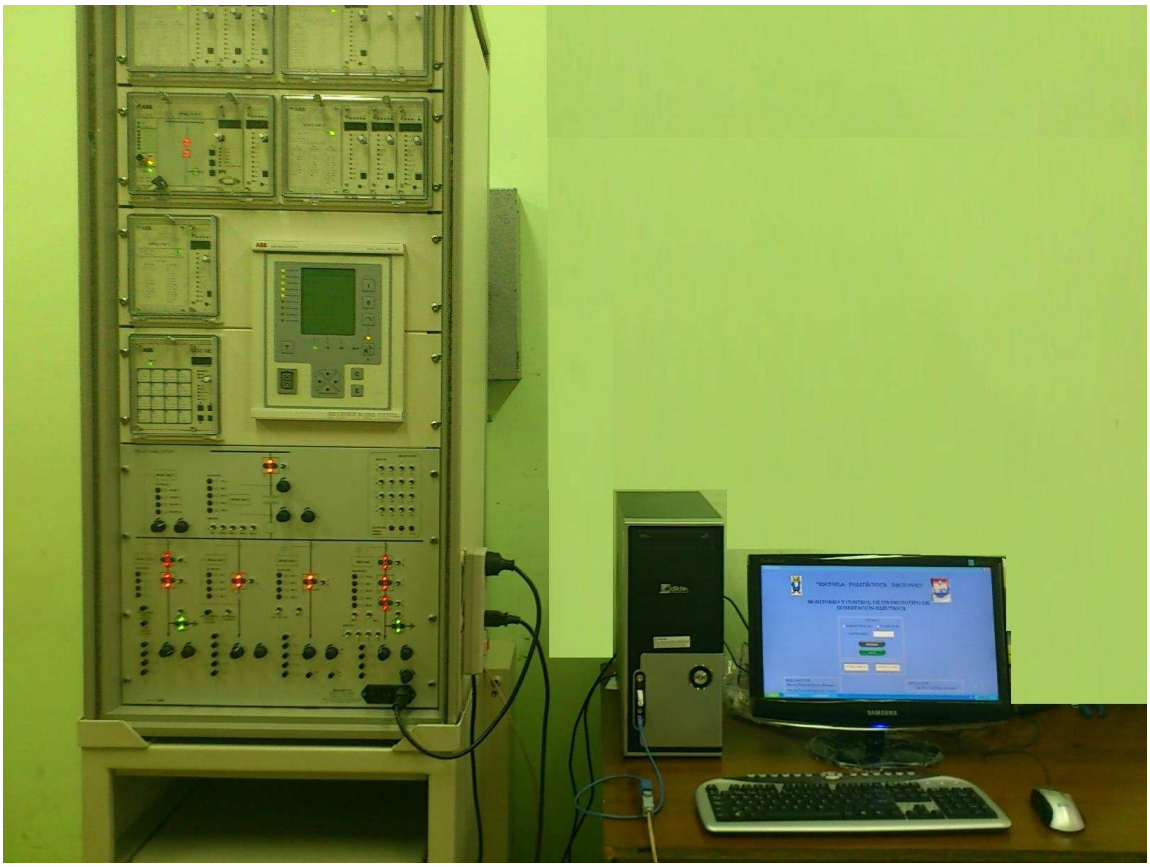
| | |
|---|---|
| 145 | Pulsante I>>  REF 543 |
| 146 | Pulsante Io>>  REF 543 |
| BE | Disyuntor de la línea del SPAD 346 |
| BF | Disyuntor de la línea del SPAC 315 |
| BG | Disyuntor de la línea del SPAJ 144 |
| BH | Disyuntor de la línea del SPAS 348 |
| BI | Disyuntor de la línea del REF 543 |
| Polarización (-) | -12V |
| Tierra | GND |
| Polarización (+) | +12V |
| CA | Seccionador 1 de la línea del REF 543 |
| CC | Seccionador 2 de la línea del REF 543 |
| CD | Seccionador de puesta a tierra de la línea del REF 543 |
| 6 | Alarma 1 SPAC 315 |
| 7 | Alarma 2 SPAC 315 |
| F | Alarma 3 SPAJ 144 |
| AA | Alarma 1 SPAD 346 |
| 80 | Control Remoto |
| 2 | Terminal RX para comunicación serial RS 232 |
| 3 | Terminal TX para comunicación serial RS 232 |
| 0 | GND para comunicación serial RS 232 |
| 4 | Pulsante MEASURING SPAC 315 |
| 5 | Pulsante TRIP MEASURING FAILURE SPAC 315 |
| AD | Alarma 1 SPAC 315 |
| AE | Alarma 2 SPAC 315 |
| 57 | Alarma 3 SPAC 315 |
| 9 | Alarma 4 SPAC 315 |
| 10 | Pulsante I>  SPAC 315 |
| 11 | Pulsante I>> SPAC 315 |

| | |
|---|---|
| 12 | Pulsante Io> SPAC 315 |
| 13 | Pulsante Io>> SPAC 315 |
| 14 | Pulsante I> SPAJ 144 |
| 15 | Pulsante I>> SPAJ 144 |
| A | Pulsante I>>> SPAJ 144 |
| B | Pulsante Io> SPAJ 144 |
| C | Pulsante Io>> SPAJ 144 |
| E | Alarma 1 SPAJ 144 |
| 58 | Alarma 2 SPAJ 144 |
| 59 | Alarma 3 SPAJ 144 |
| CA | Alarma 4 SPAJ 144 |
| H | Pulsante MEASURING SPAJ 144 |
| J | Pulsante I> SPAS 348 |
| K | Pulsante I>> SPAS 348 |
| L | Pulsante I>>> SPAS 348 |
| M | Pulsante Io> SPAS 348 |
| N | Pulsante Io>> SPAS 348 |
| O | Alarma 1 SPAS 348 |
| P | Alarma 2 SPAS 348 |
| Q | Alarma 3 SPAS 348 |
| R | Alarma 4 SPAS 348 |
| S | Pulsante BS1 SPAS 348 |
| T | Pulsante BS2 SPAS 348 |
| BT | Potenciómetro Io de la línea del SPAC 315 |
| BX | Potenciómetro Io de la línea del REF 543 |
| BV | Potenciómetro Io de la línea del SPAS 348 |

Tabla J.7 Terminales de entrada a los Microcontroladores

# ANEXO K

# MANUAL DEL USUARIO



## A. INTRODUCCIÓN

El presente documento es una guía necesaria para instruir a cualquier tipo de usuario en la operación del sistema implementado, para obtener así los resultados requeridos en la operación del sistema de monitoreo y control sea éste local o remoto del prototipo de Subestación Eléctrica existente en el Laboratorio de Protecciones Eléctricas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

El software para esta aplicación se desarrolló en Visual Basic 6.0 que es un lenguaje de programación potente y de fácil manejo, amigable tanto para el programador como para el usuario que opera el sistema desde la interfaz gráfica.

## B. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA REQUERIMIENTOS DE HARDWARE Y SOFTWARE

Para realizar la ejecución del programa es necesario primeramente instalar el archivo ejecutable (.exe) desarrollado en Visual Basic 6.0, para esto se recomienda que la PC donde se vaya a realizar la instalación presente los siguientes requerimientos.

Los requerimientos mínimos de hardware son:

- Procesador Pentium IV (Compatible) o superior
- Mínimo 256 MB de memoria RAM
- Mínimo 200 MB libres en disco duro
- Puerto serial o puerto USB

Cuando se disponga del puerto USB se requiere el cable convertidor de USB a serial (DB9) para la comunicación con la Unidad Remota.

Este sistema es compatible con los siguientes sistemas operativos:

- Windows XP o superiores.

Se señala además que el conector DB9 macho va conectado al tablero mientras que el extremo DB9 hembra va conectado a la PC o al conector serial en caso de utilizarse el cable convertidor.

## C. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

Para la inicialización del proceso, es necesario cargar el programa con todos los formularios que lo conforman, para esto el usuario deberá hacer doble click sobre el icono “SISTEMA” presente en el escritorio, para conseguir el acceso al entorno Visual Basic 6.0. Figura C.1.

Cabe recalcar que previo a esto se debe asegurar que se encuentre conectado el cable USB-Serial para tener comunicación entre la PC y la Unidad Remota, y así se pueda operar el sistema.

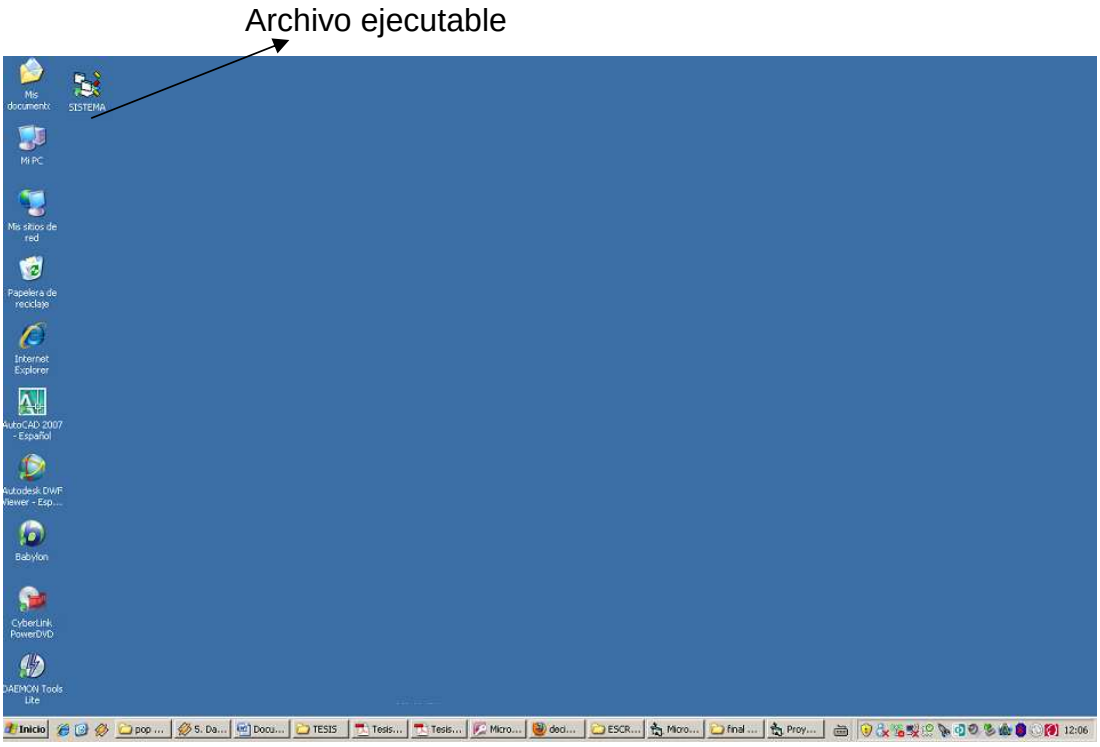



Figura C.1 Inicialización del programa

Una vez inicializado el programa se tiene acceso a las pantallas del programa iniciando con la pantalla “PRESENTACIÓN” Figura C.2, como se muestra a continuación.

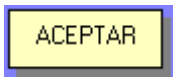
## C.1 PANTALLA “PRESENTACIÓN”

En esta pantalla se tendrá la posibilidad de seleccionar el tipo de usuario que ingresará al sistema, y con esto el nivel de acceso, además del puerto serial de la PC por el cual se realiza la comunicación serial RS 232.

Figura C.2 Pantalla “PRESENTACIÓN”

Primeramente, se debe seleccionar el nombre del puerto que se utilizará para enlazar la PC con en el módulo. Para esto se hace uso de los siguientes controles localizados en la parte superior de la pantalla.

Al hacer click sobre la pestaña se presentan las opciones de los puertos de comunicación, desde COM1 a COM7.




Mediante este control se acepta utilizar el puerto escogido previamente.

A continuación la explicacón del resto de controles localizados en esta pantalla.

Al seleccionar el tipo de usuario que accede al sistema se habilita la caja de texto donde se debe escribir la clave.

Este botón permite el ingreso de la clave para acceder

al sistema.

Este botón es útil en caso de querer abandonar completamente la aplicación.

Para el ingreso de la clave se debe tener en cuenta que este se lo realice con letras mayúsculas, ya que para mayor seguridad el software diferencia entre mayúsculas y minúsculas, en caso de no ingresar la clave correcta se presentará al usuario el siguiente mensaje.

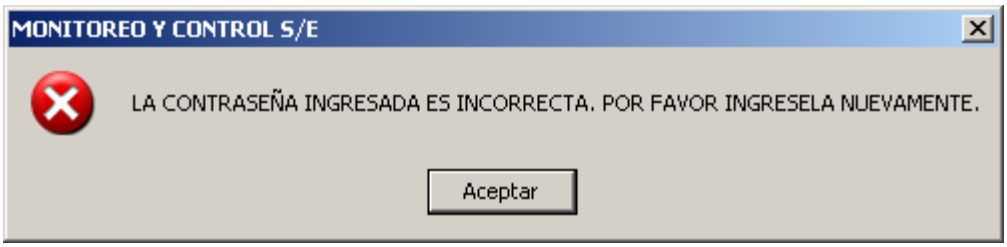



Figura C.3 Notificación de contraseña incorrecta.

Una vez ingresada la clave correcta, y al hacer click en el botón “INGRESAR”, se visualizará el mensaje de la Figura C.4, en caso de acceder como Administrador, y el mensaje de la Figura C.5, en caso de acceder únicamente como Supervisor.

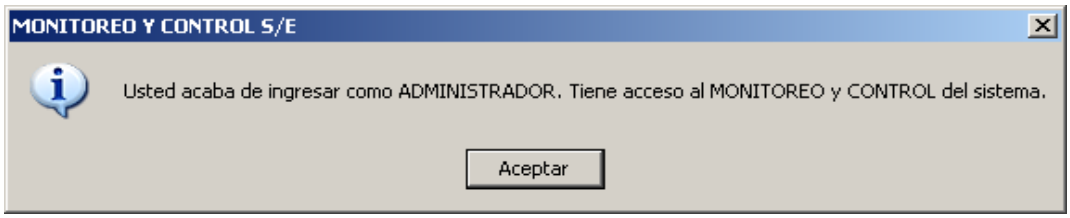
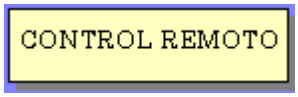


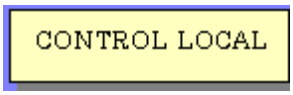

Figura C.4 Notificación al usuario ADMINISTRADOR

Figura C.5 Notificación al usuario SUPERVISOR

En caso de acceder como SUPERVISOR, al presionar Aceptar en la notificación mostrada, inmediatamente se visualiza la pantalla “TIEMPO DE ADQUISICIÓN”, Figura C.6, la cual se explicará posteriormente. Al ingresar como ADMINISTRADOR, al presionar Aceptar en el mensaje, sobre la pantalla se visualizan los botones “CONTROL LOCAL” y “CONTROL REMOTO”.




Mediante ente control se tendrá acceso a la pantalla “TIEMPO DE ADQUISICIÓN”




Este control permitirá el acceso a la pantalla “PANTALLA DE CONTROL”

Al seleccionar la opción CONTROL REMOTO, se visualiza a la pantalla “TIEMPO DE ADQUISICIÓN”, que es donde el usuario ingresará el tiempo en el cual se desea recopilar las muestras de los parámetros de las líneas de distribución.

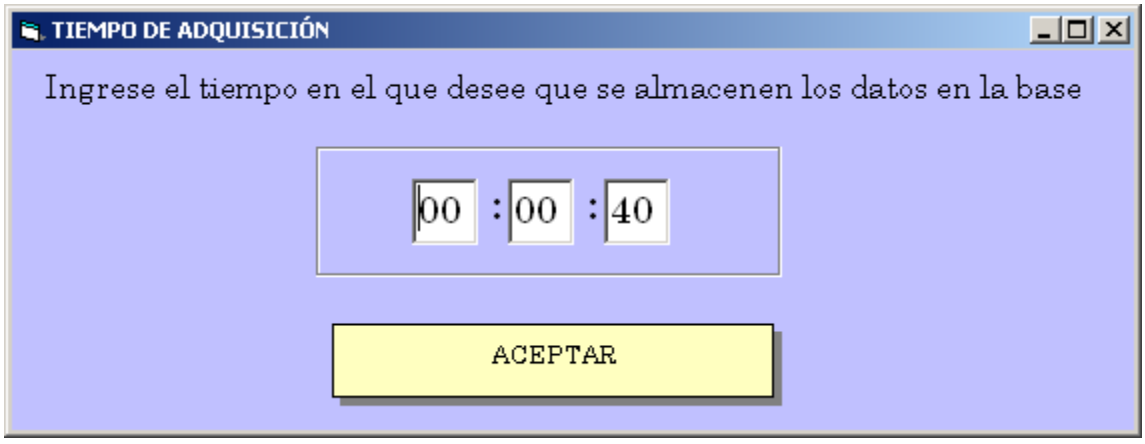



Figura C.6 Pantalla “TIEMPO DE ADQUISICIÓN”

Después del ingreso del tiempo, se tendrá acceso a la pantalla de monitoreo. Figura C.7.

**C.2 PANTALLA “PANEL_DE_MONITOREO”**

En esta pantalla se tiene la visualización de todos los valores de los parámetros que intervienen en el sistema como son: voltaje, corriente, potencia activa y corriente de neutro, para cada una de las líneas, valores que se pueden monitorear en las cajas de texto colocadas junto a cada bahía. Adicional a esto, se visualiza el estado de las alarmas y entradas externas.

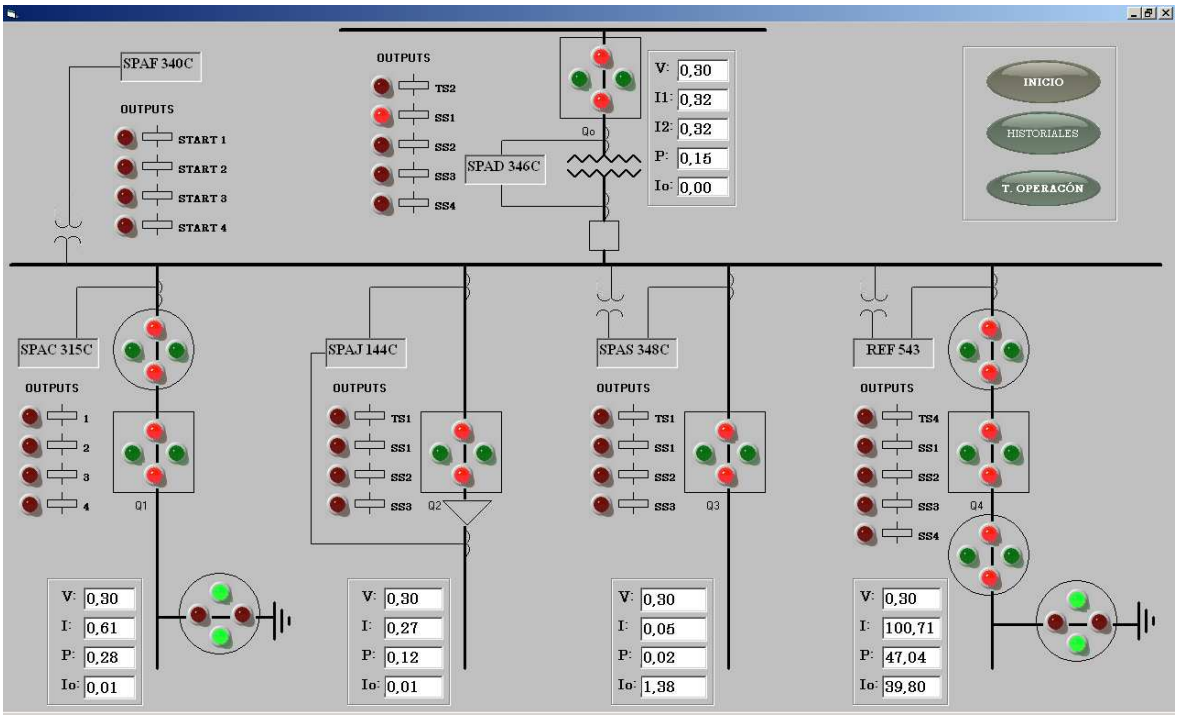



Figura C.7 Pantalla “PANEL_DE_MONITOREO”

En caso de tener la activación de una entrada externa o una sobrecorriente, inmediatamente se visualizarán los controles siguientes:

A través de este control se puede observar el estado de las entradas externas.

Este control se visualiza en caso de tener una falla de sobrecorriente en cualquiera de las líneas, indicando que tipo de falla se obtuvo.

La visualización de este mensaje se da cuando se ha tenido una falla externa en alguna línea.

Estos controles se presentan únicamente mientras persista la entrada externa, la falla de sobrecorriente o la falla externa, caso contrario estos desaparecen, estos controles se localizan junto a la línea en la cual se detecte cualquiera de los casos mencionados anteriormente.

Además, en la parte superior derecha de la pantalla de monitoreo se cuenta con los siguientes controles:

Al presionar este botón, se tiene acceso a la pantalla principal del sistema.

Con este control se tiene acceso a la pantalla de "SELECCIÓN DE HISTORIALES".

Mediante el uso de este botón se puede visualizar la pantalla "TIEMPO DE OPERACIÓN".

## C.3 PANTALLA "TIEMPO DE OPERACIÓN"

En esta pantalla se puede observar el tipo de falla que se detectó en cada línea, incluido el tiempo durante el cual se detectó la sobrecorriente.

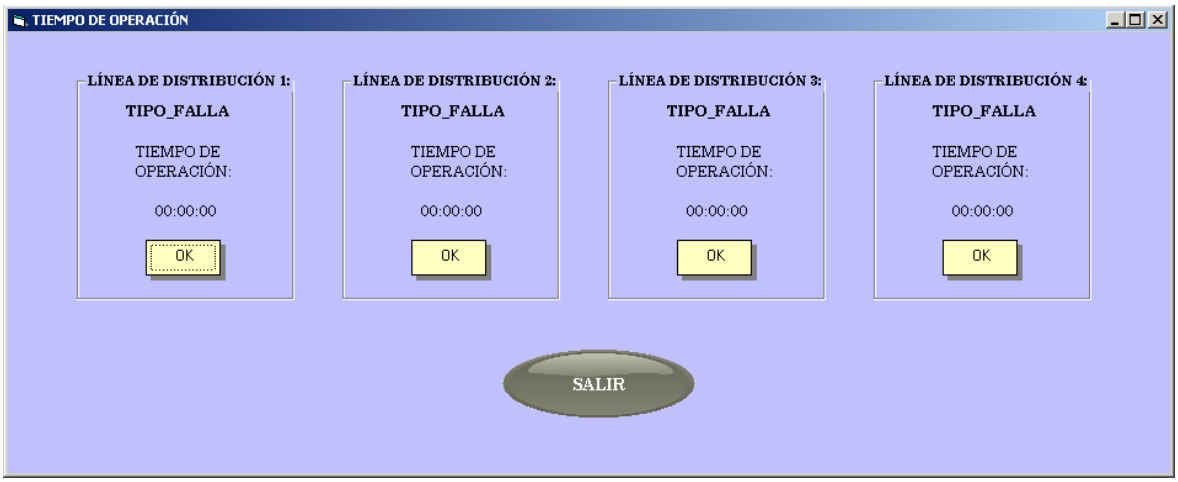
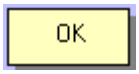



Figura C.8 Pantalla “TIEMPO DE OPERACIÓN”

En este formulario se tiene los siguientes botones:




Este control se lo utiliza para restablecer el tipo de falla detectada y el tiempo de operación. Existe uno por cada bahía.

Al seleccionar este botón se cierra la pantalla “TIEMPO DE OPERACIÓN”.

## C.4PANTALLA “SELECCIÓN DE HISTORIALES”

Al acceder a la opción HISTORIALES se despliega la siguiente pantalla.

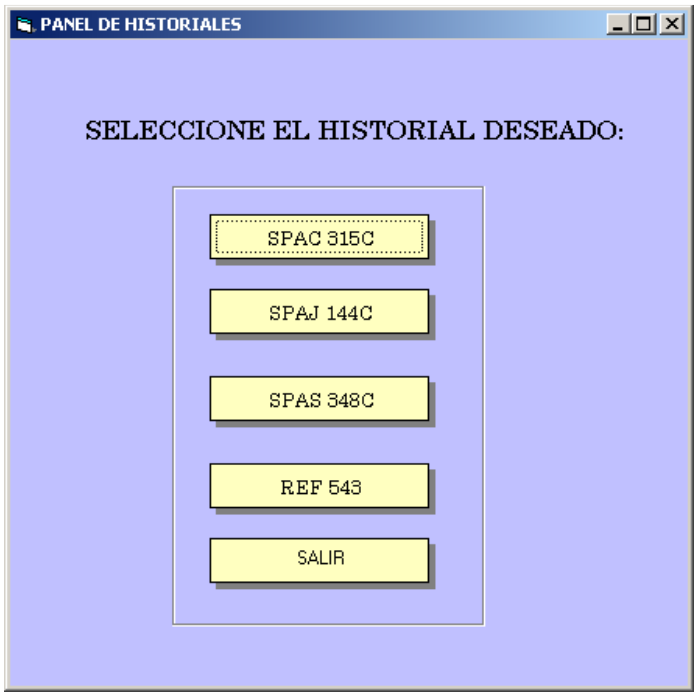
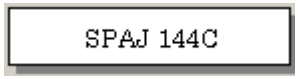


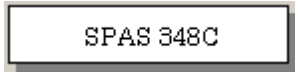

Figura C.9 Pantalla “SELECCIÓN DE HISTORIALES”

En esta pantalla tenemos cinco controles mediante los cuales se pueden tener acceso a otras pantallas. A continuación se describe cada uno de éstos.

Al presionar este botón se puede acceder a la pantalla de “HISTORIAL_SPAC_315C”, registro de la línea de distribución 1.




Con este botón se puede acceder a la pantalla de “HISTORIAL_SPAJ_144C”, registro de la línea de distribución 2.




Al seleccionar esta opción se tiene acceso a la pantalla de “HISTORIAL_SPAs_348C”, registro de la línea de distribución 3.

Mediante éste, se ingresa a la pantalla “HISTORIAL_REF_543”, registro de la línea de distribución 4.

Y por último, con el botón SALIR, se regresa nuevamente a la pantalla de monitoreo.

## C.5 PANTALLAS HISTORIALES DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.

Son cuatro,  y se presentan en las figuras C.10, C.11, C.12 y C.13 una para cada línea de distribución, debido a que tienen el mismo modo de operación para cada línea se las describe en forma general.

En estas pantallas se puede visualizar el historial la línea de distribución seleccionada en la pantalla “SELECCIÓN DE HISTORIAL”, los valores de los parámetros: voltaje, corriente de línea, potencia activa, corriente de neutro, hora y fecha, que se encuentran almacenados en la base de datos creada en Access, debajo del Historial se puede observar las gráfica de los valores instantáneos de voltaje y corriente de línea en función del tiempo, a lado izquierdo. Ubicados a la derecha se encuentran  los valores instantáneos de los parámetros mencionados inicialmente, así como también el estado actual del disyuntor presente en esa línea y un menú con diferentes opciones las cuales se describen en lo posterior.

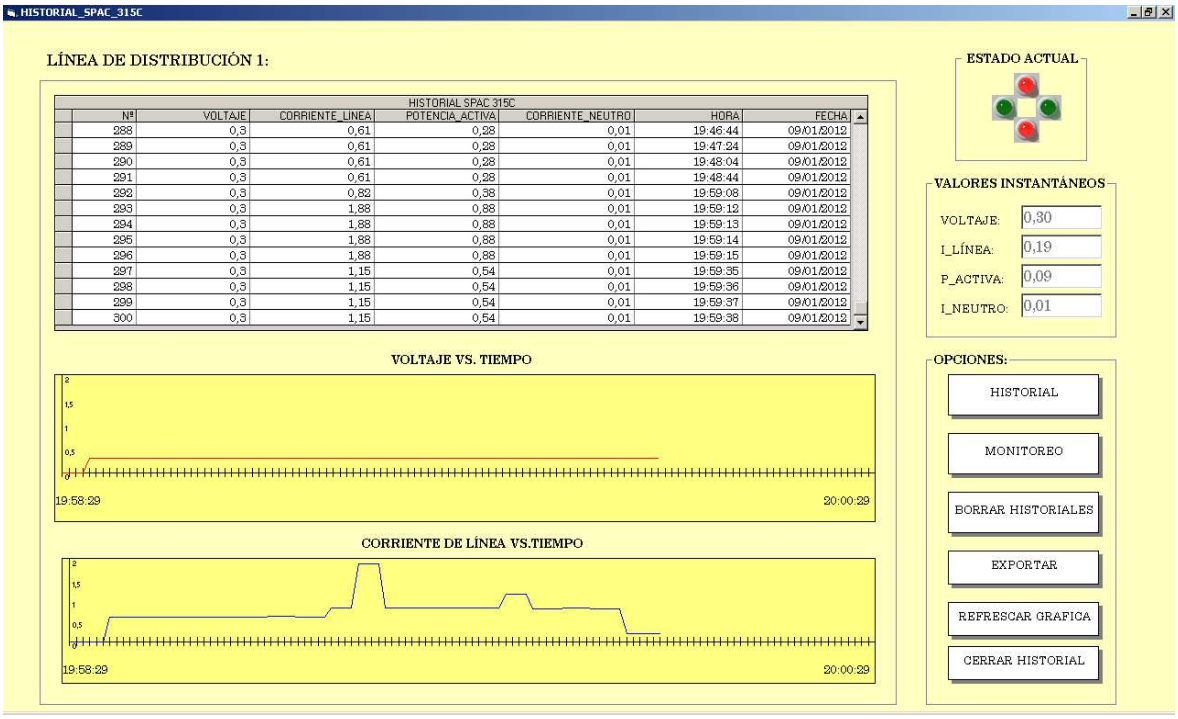



Figura C.10 Pantalla “HISTORIAL_SPAC_315C”

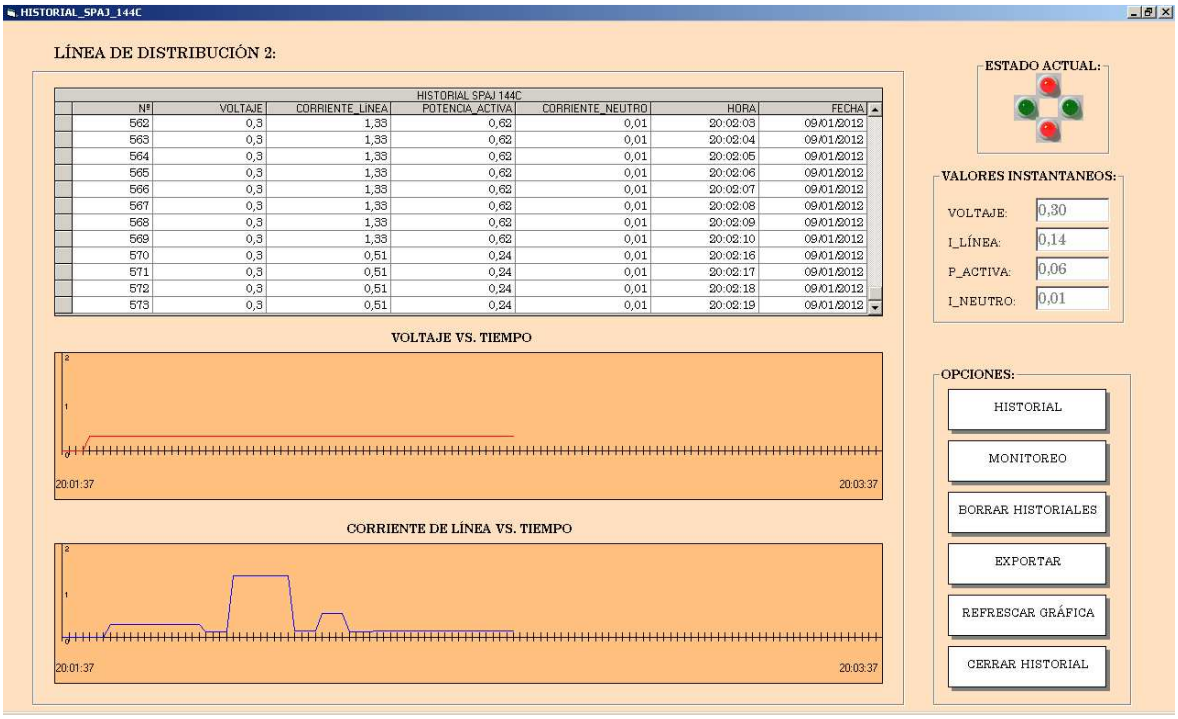



Figura C.11 Pantalla “HISTORIAL_SPAJ_144C”

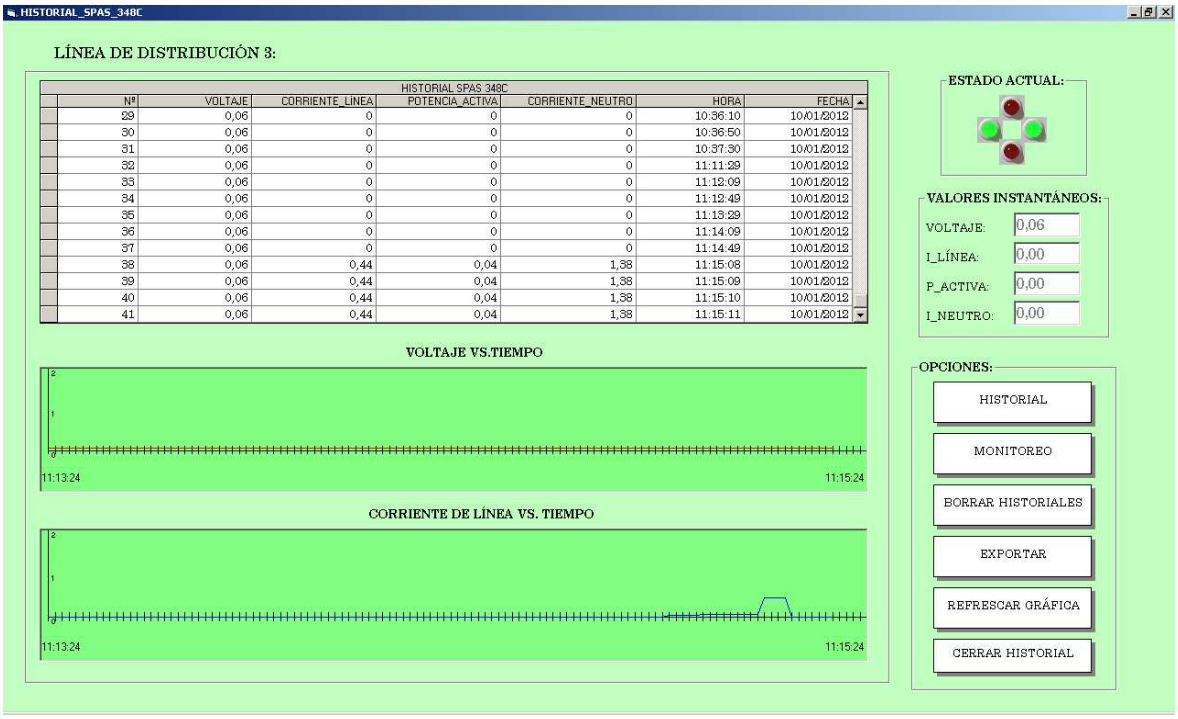



Figura C.12 Pantalla “HISTORIAL_SPAS_348C”

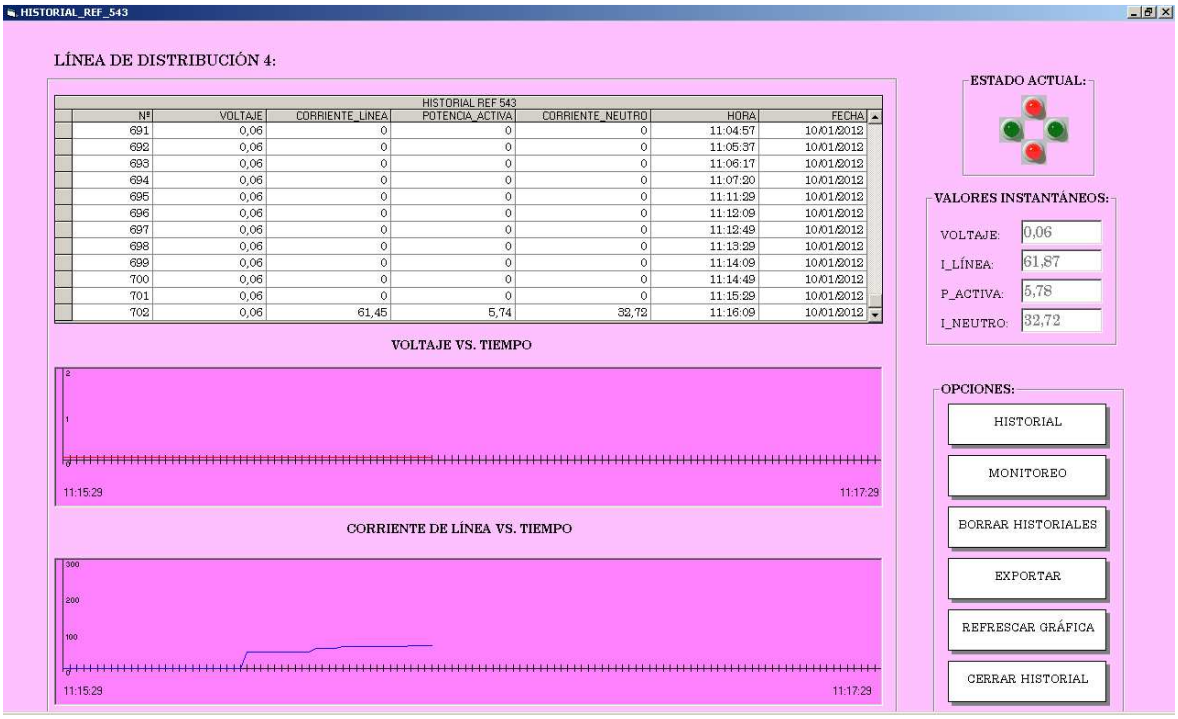



Figura C.13 Pantalla “HISTORIAL_REF_543”

A continuación se describe la función de cada uno de los botones que se encuentran en el menú OPCIONES.

Mediante este control se puede visualizar la pantalla de selección del registro.

Al presionar este botón se regresa nuevamente a la pantalla de monitoreo del sistema.

A través de este control, se tiene acceso a la opción de eliminación de los registros almacenados en la base.

Si se presiona el botón BORRAR HISTORIALES se visualiza el siguiente mensaje:

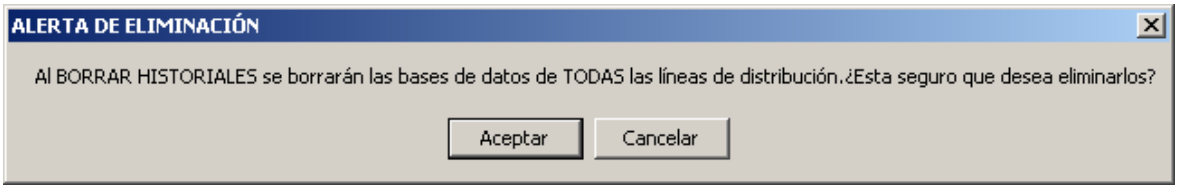



Figura C.14 Mensaje al presionar BORRAR HISTORIALES

Al dar click en Aceptar, el sistema pedirá el ingreso de la clave, como se aprecia en la Figura C.15.

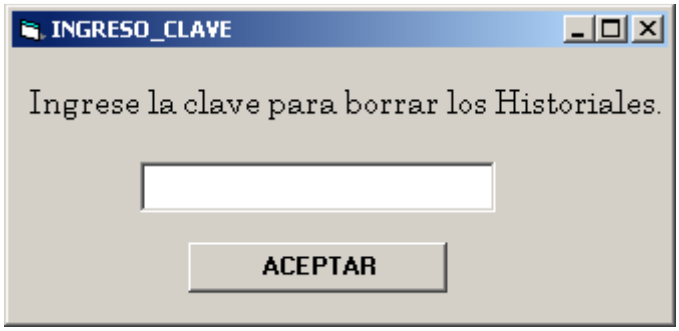
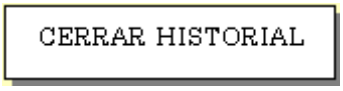



Figura C.15. Ingreso de clave para BORRAR HISTORIALES

La clave para la eliminación de los valores almacenados en la tabla es la misma con la que se inicia sesión como ADMINISTRADOR.

Al presionar el botón EXPORTAR, se creará una hoja en Excel, donde se encuentran los valores almacenados en la base de datos creada en Access.

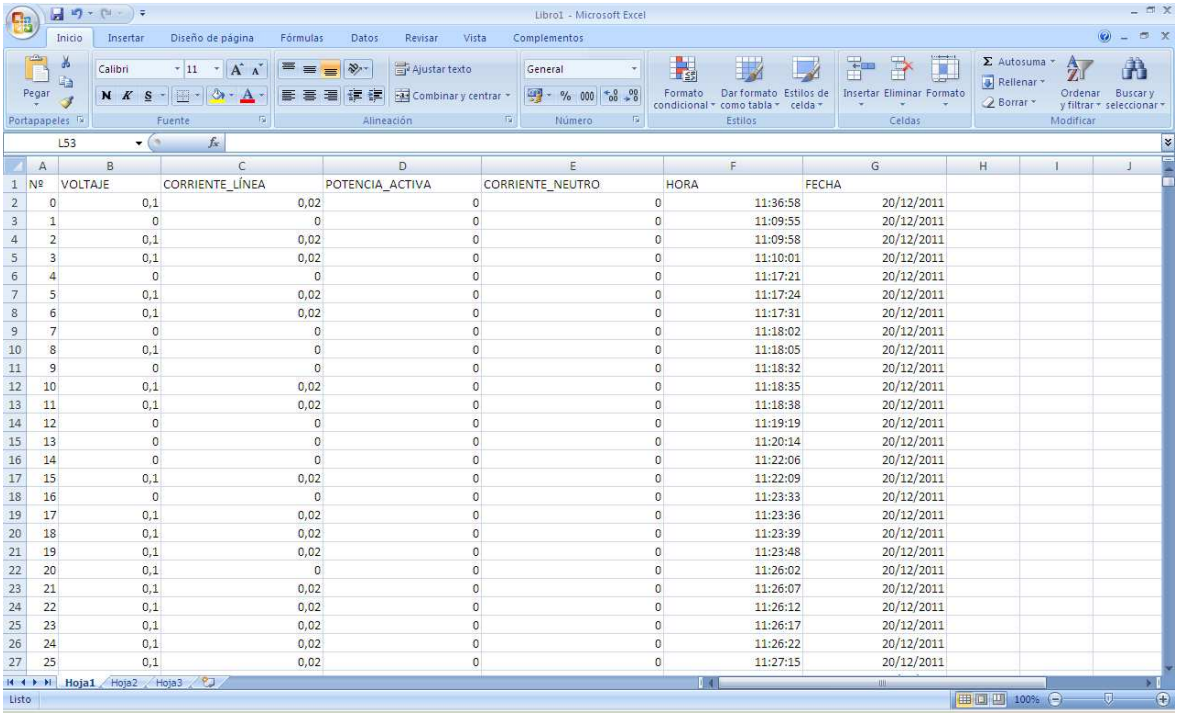
Con esta opción se refrescan las graficas de voltaje y corriente en función del tiempo.




Al hacer click sobre esta opción la pantalla desaparece.

Los datos recopilados se guardan en una base de datos creada en Microsoft Access 2007, pero en vista de que los datos se los desea manipular para realizar la práctica y con el fin de que los valores almacenados no se vean afectados, al momento de hacer click sobre el botón exportar estos datos se copian en una hoja creada en Microsoft Excel 2007.

Dado el caso que Access no diferencia entre horas y fechas al momento de tener al registro creado en Excel es necesario seleccionar la columna hora, la cual se encuentra en formato fecha, para cambiar a formato hora.



| Nº | VOLTAJE | CORRIENTE_LÍNEA | POTENCIA_ACTIVA | CORRIENTE_NEUTRO | HORA | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:36:58 | 20/12/2011 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11:09:55 | 20/12/2011 |
| 2 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:09:58 | 20/12/2011 |
| 3 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:10:01 | 20/12/2011 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11:17:21 | 20/12/2011 |
| 5 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:17:24 | 20/12/2011 |
| 6 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:17:31 | 20/12/2011 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11:18:02 | 20/12/2011 |
| 8 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 11:18:05 | 20/12/2011 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11:18:32 | 20/12/2011 |
| 10 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:18:35 | 20/12/2011 |
| 11 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:18:38 | 20/12/2011 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11:19:19 | 20/12/2011 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11:20:14 | 20/12/2011 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11:22:06 | 20/12/2011 |
| 15 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:22:09 | 20/12/2011 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11:23:33 | 20/12/2011 |
| 17 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:23:36 | 20/12/2011 |
| 18 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:23:39 | 20/12/2011 |
| 19 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:23:48 | 20/12/2011 |
| 20 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 11:26:02 | 20/12/2011 |
| 21 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:26:07 | 20/12/2011 |
| 22 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:26:12 | 20/12/2011 |
| 23 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:26:17 | 20/12/2011 |
| 24 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:26:22 | 20/12/2011 |
| 25 | 0,1 | 0,02 | 0 | 0 | 11:27:15 | 20/12/2011 |

Figura C.16 Base de datos exportada a Microsoft Excel 2007

Si se desea realizar el control remoto de las bahías se debe regresar a la pantalla de inicial, donde se encuentra esta opción.

**C.6 PANTALLA "PANEL_DE_CONTROL"**

Para realizar el control de los disyuntores de cada una de las líneas es necesario realizar el cierre manual de los seccionadores presentes en cada una de las líneas. Para asegurar esta condición se indica el mensaje indicado en la Figura C.17.

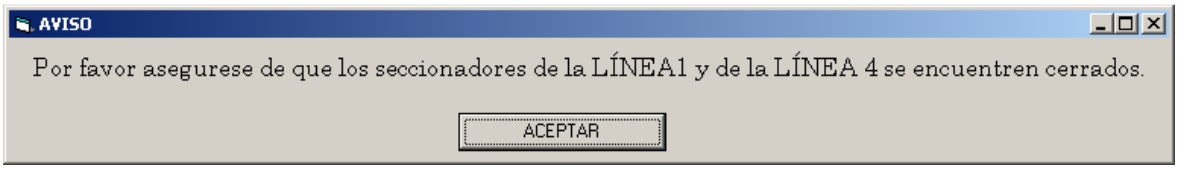



Figura C.17 Notificación para el cierre de seccionadores

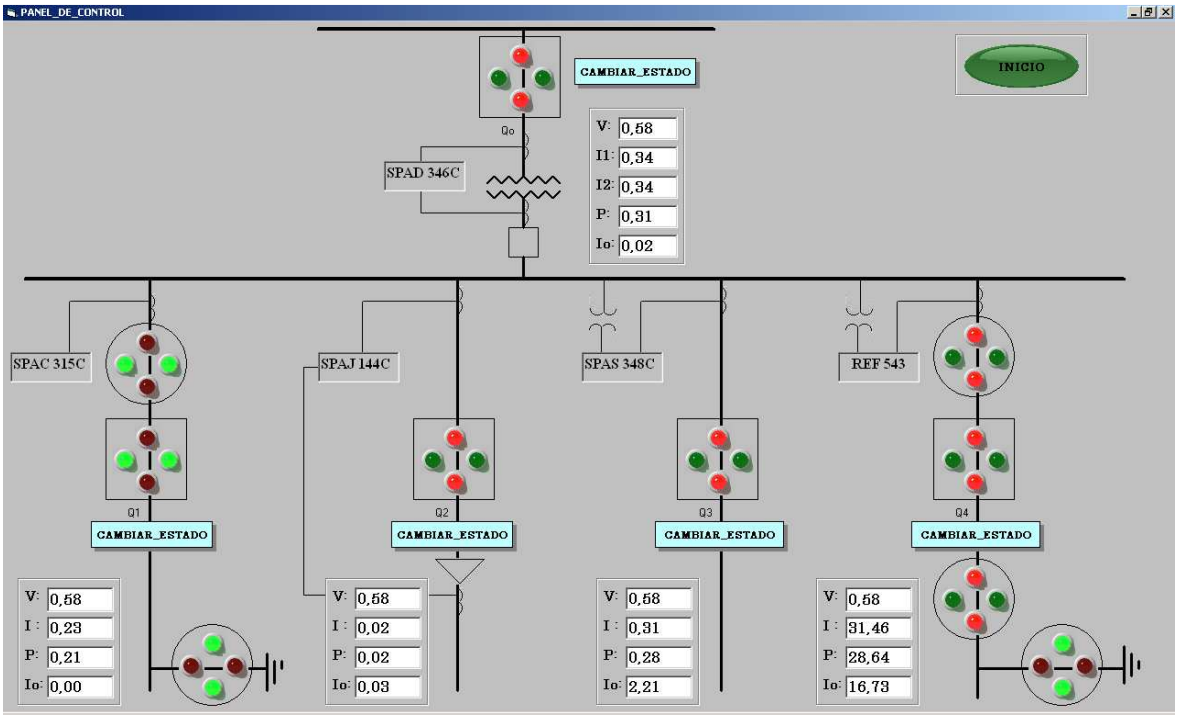



Figura C.18 Pantalla “PANEL_DE_CONTROL”

Este control permite realizar el cierre o apertura del disyuntor presente en la línea.

En caso de querer cerrar el disyuntor de la línea donde se encuentre presente un seccionar abierto se tendrá la siguiente notificación.

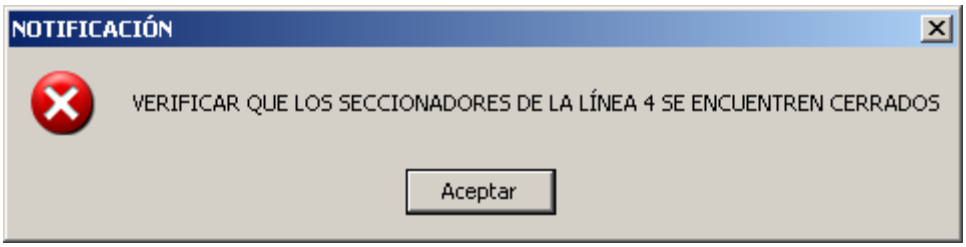



Figura C.19 Mensaje de verificación de estado de seccionadores

Una vez que el seccionador ha sido cerrado manualmente se puede realizar el control del disyuntor sin ningún problema.

En la parte superior derecha se encuentra ubicado el botón INICIO.

Al presionar este control se retorna a la pantalla inicial.