

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LABORATORIO UTILIZANDO INFRARROJOS

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

RENÉ ALEXANDER PALACIOS OCHOA

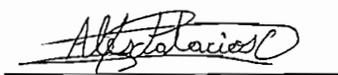
DIRECTORA: ING. ANA RODAS BENALCAZAR

Quito, Agosto 2005

DECLARACIÓN

Yo, René Alexander Palacios Ochoa, declaro bajo juramento que el presente trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

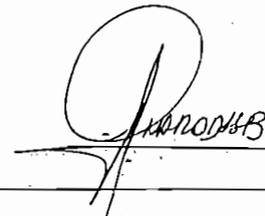
A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



R. Alexander Palacios O.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por René Alexander Palacios Ochoa, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'ARODASB', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Ing. Ana Rodas Benalcazar
DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mis padres y a mi hermano que me han apoyado día a día durante mi carrera estudiantil en la Escuela Politécnica Nacional.

A la Ing. Ana Rodas Benalcazar por la dirección del proyecto de titulación.

DÉDICATORIA

A mis padres el Sr. René Palacios Aguirre y la Sra. Alicia Ochoa Loyola.

A mi hermano Pablo Palacios Ochoa.

CONTENIDO

| | PÁGINA |
|---------------------------|--------|
| CONTENIDO..... | I |
| CONTENIDO DE FIGURAS..... | IX |
| CONTENIDO DE TABLAS..... | XVI |
| RESUMEN..... | XX |
| PRESENTACIÓN..... | XXI |

CAPÍTULO I

| | |
|--|----------|
| 1. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y COMUNICACIÓN INFRARROJA..... | 1 |
| 1.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN PC..... | 2 |
| 1.1.1 TRANSDUCTORES..... | 3 |
| 1.1.2 SEÑALES ANALÓGICAS..... | 4 |
| 1.1.3 SEÑALES DIGITALES..... | 5 |
| 1.1.4 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES..... | 6 |
| 1.1.4.1 Amplificación..... | 7 |
| 1.1.4.2 Atenuación..... | 7 |
| 1.1.4.3 Aislamiento..... | 7 |
| 1.1.4.4 Multiplexación..... | 8 |
| 1.1.4.5 Filtración..... | 8 |
| 1.1.4.6 Excitación..... | 8 |
| 1.1.4.7 Linealización..... | 8 |
| 1.1.4.8 Compensación de unión fría..... | 9 |
| 1.1.4.9 Muestreo simultáneo..... | 9 |
| 1.1.5 TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 10 |
| 1.1.5.1 Partes de una tarjeta de adquisición de datos..... | 10 |
| 1.1.6 SOFTWARE DE LOS SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS... | 11 |

1.2 ADQUISICIÓN Y REGISTRO DE DATOS – DATA

| | |
|---|----|
| LOGGING | 12 |
| 1.2.1 DATA LOGGERS | 12 |
| 1.2.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DATA LOGGING | 13 |
| 1.2.2.1 Adquisición..... | 13 |
| 1.2.2.2 Análisis en línea..... | 15 |
| 1.2.2.3 Registro y almacenamiento..... | 16 |
| 1.2.2.4 Análisis fuera de línea..... | 17 |
| 1.2.2.5 Visualización..... | 18 |
| 1.2.2.6 Generación de reportes..... | 19 |
| 1.2.2.7 Distribución de datos y publicación..... | 19 |
| 1.3 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS COMERCIALES | 20 |
| 1.3.1 TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS COMERCIALES | 23 |
| 1.3.1.1 Tarjetas de adquisición de datos Multifunción series M..... | 23 |
| 1.3.1.2 Tarjetas de adquisición de datos Multifunción series E..... | 24 |
| 1.3.1.3 Tarjetas de adquisición de datos Multifunción series S..... | 25 |
| 1.3.1.4 Tarjetas de adquisición de datos Multifunción series B..... | 26 |
| 1.3.1.5 Tarjetas de salidas analógicas..... | 27 |
| 1.3.2 DATA LOGGERS COMERCIALES | 28 |
| 1.3.2.1 Data logger NI-USB-9211 de National Instruments..... | 28 |
| 1.3.2.2 Data logger LSB36II de Linseis International..... | 29 |
| 1.3.2.3 Data Logger HI-141 de Hanna Instruments..... | 30 |
| 1.3.2.4 Data Logger GL500 de Western Graphtec..... | 31 |
| 1.3.2.5 Data Logger GL400 de Western Graphtec..... | 32 |
| 1.4 INFRARROJOS | 33 |
| 1.4.1 TRANSMISIÓN DE DATOS IrDA | 35 |
| 1.4.2 TRANSMISIÓN DE DATOS COMPATIBLE CON IrDA | 36 |
| 1.4.3 ESTÁNDAR IrDA DE LA CAPA FÍSICA | 38 |
| 1.4.3.1 Definiciones de enlace..... | 38 |
| 1.4.3.2 Definiciones de interfaz de salida activa..... | 39 |
| 1.4.3.3 Definiciones de interfaz de entrada activa..... | 41 |
| 1.4.4 DESCRIPCIÓN DEL ESTÁNDAR IrDA DE LA CAPA FÍSICA | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 1.4.4.1 Especificaciones de enlace..... | 43 |
| 1.4.4.2 Especificaciones de la interfaz de salida activa..... | 44 |
| 1.4.4.3 Especificaciones de la interfaz de entrada activa..... | 45 |
| 1.4.5 TRANSMISIÓN DE DATOS IrDA SIR..... | 46 |
| 1.5 SOFTWARE PARA DESARROLLO DE APLICACIONES DE CONTROL..... | 47 |
| 1.5.1 VISUAL BASIC..... | 48 |
| 1.5.2 INTOUCH..... | 49 |
| 1.5.3 LOOKOUT..... | 52 |
| 1.5.4 LABVIEW..... | 53 |
| 1.5.4.1 Entorno de programación de Labview..... | 54 |
| 1.6 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 58 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|-----------|
| 2. DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA..... | 61 |
| 2.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA DEL ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 61 |
| 2.1.1 ENTRADAS ANALÓGICAS..... | 62 |
| 2.1.2 SALIDAS ANALÓGICAS..... | 62 |
| 2.1.3 ENTRADAS DIGITALES..... | 62 |
| 2.1.4 SALIDAS DIGITALES..... | 62 |
| 2.1.5 LEDS..... | 63 |
| 2.1.6 LCD..... | 63 |
| 2.1.7 PULSADORES..... | 63 |
| 2.1.8 INFRARROJOS..... | 63 |
| 2.1.9 MICROCONTROLADOR..... | 63 |
| 2.2 DISEÑO DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 65 |
| 2.2.1 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA16..... | 67 |
| 2.2.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL MCP2120..... | 71 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL TFDS4500..... | 72 |
| 2.2.4 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL LCD | 73 |
| 2.2.5 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE LAS SALIDAS ANALÓGICAS.. | 74 |
| 2.2.6 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE LOS EXPANSORES DE PUERTO..... | 76 |
| 2.2.7 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN..... | 77 |
| 2.3 DISEÑO DE LA TARJETA TRANSECTOR DE INFRARROJOS PARA EL COMPUTADOR..... | 78 |
| 2.3.1 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN DE LA TARJETA TRANSECTOR DE INFRARROJOS PARA EL COMPUTADOR.... | 79 |
| 2.3.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL MAX232..... | 80 |
| 2.3.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL MCP2120..... | 81 |
| 2.3.4 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL TFDS4500..... | 81 |
| 2.4 FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 82 |
| 2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA16..... | 82 |
| 2.4.1.1 Puerto A (PA7...PA0)..... | 84 |
| 2.4.1.2 Puerto B (PB7...PB0)..... | 84 |
| 2.4.1.3 Puerto C (PC7... PC0)..... | 85 |
| 2.4.1.4 Puerto D (PD7...PD0)..... | 85 |
| 2.4.2 LCD..... | 86 |
| 2.4.3 PCF8574..... | 87 |
| 2.4.3.1 Condiciones de inicio y de parada..... | 89 |
| 2.4.3.2 Confirmación de recepción..... | 90 |
| 2.4.4 MAX5250..... | 92 |
| 2.4.4.1 Descripción de los pines del max5250..... | 93 |
| 2.4.4.2 Descripción del funcionamiento del max5250..... | 94 |
| 2.4.4.3 Configuración de la interfaz serial..... | 95 |
| 2.4.5 CONVERTIDOR ANALÓGICO A DIGITAL DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 99 |
| 2.4.6 MCP2120..... | 100 |
| 2.4.6.1 Descripción de pines del mcp2120..... | 101 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 2.4.6.2 | Modulación..... | 103 |
| 2.4.6.3 | Demodulación..... | 104 |
| 2.4.7 | TFDS4500..... | 104 |
| 2.4.7.1 | Distribución de pines del TFDS4500..... | 105 |
| 2.4.8 | MEMORIA EEPROM DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 106 |
| 2.4.9 | PROGRAMADOR DEL MICROCONTROLADOR..... | 106 |
| 2.5 | CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN..... | 107 |
| 2.5.1 | PANEL FRONTAL DE L MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 108 |
| 2.5.2 | PANEL FRONTAL Y POSTERIOR DE LA TARJETA TRANSCEPTOR DE INFRARROJOS PARA EL COMPUTADOR.. | 110 |
| 2.5.3 | MODULO DE SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES..... | 112 |

CAPÍTULO III

| | | |
|---------|--|-----|
| 3. | SOFTWARE DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 114 |
| 3.1 | CONSIDERACIONES PARA DESARROLLAR EL SOFTWARE EN LABVIEW 6.1..... | 114 |
| 3.2 | SOFTWARE EN LABVIEW..... | 115 |
| 3.2.1 | DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PROGRAMA..... | 115 |
| 3.2.2 | DESCRIPCIÓN DE LOS PANELES Y SUS CORRESPONDIENTES DIAGRAMAS DE PROGRAMACIÓN..... | 118 |
| 3.2.2.1 | Entradas Analógicas..... | 120 |
| 3.2.2.2 | Salidas Analógicas..... | 128 |
| 3.2.2.3 | Entradas Digitales..... | 130 |
| 3.2.2.4 | Salidas Digitales..... | 135 |
| 3.2.2.5 | Pantalla Transmisión y recepción de señales..... | 137 |
| 3.2.2.6 | Lectura de Eeprom..... | 140 |
| 3.2.2.7 | Configurar Directorio..... | 147 |
| 3.2.2.8 | Leer archivos..... | 149 |

| | |
|--|------------|
| 3.2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE PROGRAMACIÓN PARA LA COMUNICACIÓN SERIAL..... | 151 |
| 3.2.3.1 Comunicación serial, datos enviados a las salidas analógicas..... | 153 |
| 3.2.3.2 Comunicación serial, datos recibidos desde las entradas analógicas..... | 155 |
| 3.2.3.3 Comunicación serial, datos transmitidos a las salidas analógicas.. | 156 |
| 3.2.3.4 Comunicación serial, datos recibidos desde las entradas digitales..... | 157 |
| 3.2.3.5 Comunicación serial, datos recibidos desde eeprom..... | 158 |
| 3.2.4 CREACIÓN DE INSTALADORES CON LABVIEW..... | 159 |
| 3.3 CONSIDERACIONES PARA DESARROLLAR EL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA16..... | 161 |
| 3.4 SOFTWARE DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA16..... | 163 |
| 3.4.1 BASCOM AVR..... | 163 |
| 3.4.1.1 Programación con Bascom-avr..... | 166 |
| 3.4.2 PROGRAMA PRINCIPAL..... | 168 |
| 3.4.3 SUBROUTINA PRESENTACIÓN..... | 172 |
| 3.4.4 SUBROUTINA SUBPRESENTA5..... | 173 |
| 3.4.5 SUBROUTINA SUBPRESENTA6..... | 174 |
| 3.4.6 SUBROUTINA SUBPRESENTA7..... | 175 |
| 3.4.7 SUBROUTINA SUBPRESENTA8..... | 177 |
| 3.4.8 SUBROUTINA SUBPRESENTA8B..... | 177 |
| 3.4.9 SUBROUTINA SUBPRESENTA9..... | 178 |
| 3.4.10 SUBROUTINA PRESENTA9FIN..... | 180 |
| 3.4.11 SUBROUTINA PRESENTACTIVAR..... | 180 |
| 3.4.12 SUBROUTINA PRESENTA5..... | 181 |
| 3.4.13 SUBROUTINA PRESENTA6..... | 182 |
| 3.4.14 SUBROUTINA PRESENTA7..... | 182 |
| 3.4.15 SUBROUTINA PRESENTA8..... | 183 |
| 3.4.16 SUBROUTINA PRESENTA9..... | 183 |
| 3.4.17 SUBROUTINA TRANSFORMA..... | 184 |
| 3.4.18 SUBROUTINA VALORADC..... | 186 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 3.4.19 SUBROUTINA VALORDAC..... | 187 |
| 3.4.20 SUBROUTINA VALORLCD..... | 188 |
| 3.4.21 SUBROUTINA RECIBIR..... | 188 |
| 3.4.22 SUBROUTINA FUNCIONES..... | 189 |
| 3.4.23 SUBROUTINA DAC..... | 193 |
| 3.4.24 SUBROUTINA CONFIGURAR..... | 195 |
| 3.4.25 SUBROUTINA ENVIARDACA..... | 196 |
| 3.4.26 SUBROUTINA DIGITAL..... | 196 |
| 3.4.27 SUBROUTINA SALIDA1..... | 197 |
| 3.4.28 SUBROUTINA SALIDA2..... | 198 |
| 3.4.29 SUBROUTINA ENTRADA1..... | 199 |
| 3.5 MENSAJES EN EL LCD..... | 200 |

CAPÍTULO IV

| | |
|---|------------|
| 4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y COSTO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 206 |
| 4.1 PRUEBAS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 207 |
| 4.1.1 PRUEBA DE CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS AUTÓNOMA Y MENSAJES EN EL LCD..... | 208 |
| 4.1.2 PRUEBA DE ADQUISICIÓN DE DATOS AUTÓNOMA..... | 211 |
| 4.1.3 PRUEBA DE LECTURA DE EEPROM..... | 217 |
| 4.1.4 PRUEBA DE BORRADO DE EEPROM..... | 218 |
| 4.1.5 PRUEBA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS EN INTERCONEXIÓN CON EL COMPUTADOR..... | 219 |
| 4.1.6 PRUEBA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES DIGITALES EN INTERCONEXIÓN CON EL COMPUTADOR..... | 224 |
| 4.1.7 PRUEBA DE GENERACIÓN DE SEÑALES DE VOLTAJE ANALÓGICOS A TRAVÉS DEL COMPUTADOR..... | 226 |
| 4.1.8 PRUEBA DE GENERACIÓN DE SEÑALES DE VOLTAJE DIGITALES A TRAVÉS DEL COMPUTADOR..... | 232 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.9 PRUEBA DE LECTURA DE LA MEMORIA EEPROM DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS A TRAVÉS DEL COMPUTADOR..... | 234 |
| 4.1.10 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS Y DIGITALES..... | 235 |
| 4.1.11 PRUEBA DE DISTANCIAS Y ÁNGULOS DE LOS INFRARROJOS..... | 240 |
| 4.1.12 LIMITACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 244 |
| 4.2 COSTO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 246 |
| 4.2.1 COSTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y DEL TRANSCEPTOR PARA EL COMPUTADOR..... | 246 |
| 4.2.2 COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE TARJETAS Y CAJAS..... | 247 |
| 4.2.3 COSTO DE ELEMENTOS ADICIONALES..... | 248 |
| 4.2.4 COSTO DEL MODULO DE SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES..... | 249 |
| 4.2.5 COSTO DE IMPORTACIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS..... | 249 |
| 4.2.6 COSTO DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 250 |
| 4.2.7 COSTO DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 251 |
| 4.2.8 COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 251 |
| 4.2.9 COSTO DEL SOFTWARE PARA DESARROLLO..... | 252 |
| 4.2.10 PRECIOS DE DATA LOGGERS Y TARJETAS DAQ COMERCIALES..... | 252 |

CAPÍTULO V

| | |
|--|-----|
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 254 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 254 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 257 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 260 |

ANEXO A

IrDA-Compatible Data Transmission. VISHAY SEMICONDUCTORS. 2003

ANEXO B

Características Técnicas de elementos utilizados en el sistema de adquisición de datos

CONTENIDO DE FIGURAS

CAPÍTULO I

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Sistema de adquisición de datos en base al PC..... | 2 |
| Figura 1.2 Características de una señal analógica..... | 4 |
| Figura 1.3 Características de una señal digital. | 5 |
| Figura 1.4 Hardware de acondicionamiento de señales. | 6 |
| Figura 1.5 Diagrama de bloques de las partes de hardware de una tarjeta de adquisición de datos multifunción..... | 11 |
| Figura 1.6 Elementos básicos de un sistema Data logging. | 13 |
| Figura 1.7 Componentes de hardware de un sistema <i>Data logging</i> | 14 |
| Figura 1.8 Opciones para la conectividad de señales..... | 15 |
| Figura 1.9 Gráfico del historial de datos de un software de registro..... | 18 |
| Figura 1.10 Generación de reportes con software de <i>National Instruments</i> | 19 |
| Figura 1.11 Tarjetas multifunción de las series M de <i>National Instruments</i> | 23 |
| Figura 1.12 Tarjeta de adquisición de datos multifunción de las series E..... | 25 |

| | |
|--|----|
| Figura 1.13 Tarjeta de adquisición de datos multifunción de las series S..... | 26 |
| Figura 1.14 Tarjeta de adquisición de datos multifunción de las series B..... | 26 |
| Figura 1.15 Tarjeta de salidas analógicas de <i>National Instruments</i> | 27 |
| Figura 1.16 Data logger NI-USB-9211de <i>National Instruments</i> | 28 |
| Figura 1.17 Data logger LSB36II de <i>Linseis International</i> | 29 |
| Figura 1.18 Data logger HI-141 de Hanna Instruments..... | 30 |
| Figura 1.19 Data logger GL500 de <i>Western Graphtec</i> | 31 |
| Figura 1.20 Data loggers GL400 de <i>Western Graphtec</i> | 32 |
| Figura 1.21 Representación gráfica del espectro electromagnético..... | 34 |
| Figura 1.22 Diagrama de bloques de la comunicación SIR-IrDA..... | 37 |
| Figura 1.23 Geometría del puerto óptico..... | 39 |
| Figura 1.24 Definición de parámetros de un pulso..... | 40 |
| Figura 1.25 Fluctuación de borde <i>edge jitter</i> | 41 |
| Figura 1.26 Elementos en la comunicación serial infrarroja..... | 46 |
| Figura 1.27 Diagrama de tiempos de la transmisión IrDA SIR..... | 47 |
| Figura 1.28 Interfaz hombre-máquina (HMI) creada con Intouch..... | 51 |
| Figura 1.29 Interfaz hombre máquina creada con Lookout..... | 52 |
| Figura 1.30 Panel Frontal creado en Labview..... | 55 |
| Figura 1.31 Diagrama de bloque de Labview..... | 56 |
| Figura 1.32 Paleta de herramientas..... | 57 |
| Figura 1.33 Paleta de controles..... | 57 |
| Figura 1.34 Paleta de funciones..... | 57 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 Diagrama de bloques del hardware de la tarjeta de adquisición de datos..... | 66 |
| Figura 2.2 Conexiones del microcontrolador ATmega16..... | 67 |
| Figura 2.3 Conexiones de los pulsadores..... | 68 |
| Figura 2.4 Conector para el programador del microcontrolador..... | 69 |
| Figura 2.5 Conexiones del codificador-decodificador de infrarrojos mcp2120..... | 72 |
| Figura 2.6 Conexiones del transceptor óptico de infrarrojos TFDS4500..... | 73 |
| Figura 2.7 Conexiones del LCD DMC20481NY-LY-AGE de optrex..... | 73 |

| | |
|---|-----|
| Figura 2.8 Conexiones de los MAX5250..... | 74 |
| Figura 2.9 Conexiones de los max6225. | 75 |
| Figura 2.10 Conexiones de los expansores de puerto PCF8574..... | 76 |
| Figura 2.11 Conexiones de los leds de la tarjeta de adquisición de datos. | 77 |
| Figura 2.12 Borneras de la tarjeta de adquisición de datos. | 77 |
| Figura 2.13 Fuente de voltaje de la tarjeta de adquisición de datos. | 78 |
| Figura 2.14 Diagrama de bloques del transceptor de infrarrojos para el computador..... | 78 |
| Figura 2.15 Tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador..... | 79 |
| Figura 2.16 Fuente de 5 voltios con led de indicación de encendido..... | 80 |
| Figura 2.17 Conexiones del max232..... | 80 |
| Figura 2.18 Conexiones del MCP2120..... | 81 |
| Figura 2.19 Transceptor óptico de infrarrojos TFDS4500..... | 81 |
| Figura 2.20 Microcontrolador ATmega16..... | 83 |
| Figura 2.21 Distribución de pines del PCF8574A..... | 87 |
| Figura 2.22 Datos válidos en el protocolo I2C..... | 89 |
| Figura 2.23 Condición de inicio y parada en el protocolo I2C..... | 89 |
| Figura 2.24 Conexión de dispositivos en las líneas SDA y SCL..... | 90 |
| Figura 2.25 Bit de confirmación de recepción..... | 90 |
| Figura 2.26 Secuencia de bits en la comunicación I2C..... | 91 |
| Figura 2.27 Distribución de pines del max5250..... | 92 |
| Figura 2.28 Diagrama funcional del max5250..... | 92 |
| Figura 2.29 Conexión de varios dispositivos esclavos..... | 95 |
| Figura 2.30 Formato del dato serial en el max5250..... | 96 |
| Figura 2.31 Diagrama de tiempos de la comunicación SPI. | 98 |
| Figura 2.32 Diagrama funcional de conexión de los DACs y amplificadores..... | 99 |
| Figura 2.33 Distribución de pines del mcp2120..... | 101 |
| Figura 2.34 Diagrama de bloques de la interconexión del mcp2120..... | 101 |
| Figura 2.35 Diagrama de tiempos de la modulación en el mcp2120..... | 103 |
| Figura 2.36 Diagrama de tiempos de la demodulación en el mcp210..... | 104 |
| Figura 2.37 Encapsulado del TFDS4500..... | 105 |
| Figura 2.38 Conexiones del TFDS4500..... | 106 |
| Figura 2.39 Programador de microcontroladores AVR..... | 107 |

| | |
|--|-----|
| Figura 2.40 Tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador..... | 107 |
| Figura 2.41 Tarjeta de adquisición de datos..... | 108 |
| Figura 2.42 Panel frontal del módulo de adquisición de datos..... | 109 |
| Figura 2.43 Parte interna de la caja que contiene la tarjeta de adicción de datos. | 110 |
| Figura 2.44 Panel frontal de la tarjeta transceptor de infrarrojos..... | 111 |
| Figura 2.45 Panel posterior de la tarjeta transceptor de infrarrojos..... | 111 |
| Figura 2.46 Parte interna de la caja que contiene la tarjeta transceptor de Infrarrojos para el computador..... | 111 |
| Figura 2.47 Conexiones de la tarjeta del módulo de señales. | 112 |
| Figura 2.48 Módulo de señales analógicas y digitales..... | 113 |
| Figura 2.49 Módulo de señales analógicas y digitales..... | 113 |

CAPÍTULO III

| | |
|--|-----|
| Figura 3.1 Árbol de presentación de pantallas en Labview..... | 116 |
| Figura 3.2 Árbol de SubVIs: entradas digitales, salidas digitales, entradas analógicas, salidas analógicas..... | 117 |
| Figura 3.3 Árbol de SubVIs: total, eeprom, path grabar, leer archivo..... | 118 |
| Figura 3.4 Pantalla principal del software de adquisición de datos..... | 119 |
| Figura 3.5 Mensaje de confirmación para salir del software del sistema de adquisición de datos. | 119 |
| Figura 3.6 Diagrama del programa asociado a la pantalla principal..... | 120 |
| Figura 3.7 Pantalla de las entradas analógicas..... | 121 |
| Figura 3.8 Gráfico de los datos grabados..... | 122 |
| Figura 3.9 Representación numérica de los valores de las entradas analógicas..... | 123 |
| Figura 3.10 Diagrama correspondiente a la pantalla de las entradas analógicas..... | 124 |
| Figura 3.11 Diagrama de programación que elimina los datos grabados de las entradas analógicas..... | 125 |
| Figura 3.12 Diagrama correspondiente a la representación gráfica de las entradas analógicas..... | 126 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.13 Diagrama correspondiente a la representación numérica de las entradas analógicas..... | 127 |
| Figura 3.14 Diagrama asociado al subVI Separa Datos. | 127 |
| Figura 3.15 Pantalla de las Salidas Analógicas..... | 128 |
| Figura 3.16 Diagrama correspondiente a la pantalla de las Salidas Analógicas..... | 130 |
| Figura 3.17 Pantalla de las Entradas Digitales..... | 131 |
| Figura 3.18 Gráfico de las entradas digitales. | 132 |
| Figura 3.19 Diagrama correspondiente a la pantalla de las entradas digitales... | 133 |
| Figura 3.20 Diagrama que llama al subVI que recibe los datos digitales..... | 134 |
| Figura 3.21 Diagrama correspondiente a la representación gráfica de las entradas digitales..... | 135 |
| Figura 3.22 Pantalla de las Salidas Digitales..... | 136 |
| Figura 3.23 Diagrama de programación que corresponde a la pantalla de las salidas digitales..... | 137 |
| Figura 3.24 Pantalla Transmisión y recepción de señales..... | 138 |
| Figura 3.25 Diagrama de programación Transmisión y recepción de señales... | 139 |
| Figura 3.26 Pantalla de lectura de eeprom..... | 141 |
| Figura 3.27 Pantalla Representación numérica de los datos de eeprom..... | 142 |
| Figura 3.28 Pantalla Gráfico de las entradas analógicas..... | 142 |
| Figura 3.29 Pantalla gráfico de las entradas digitales grabadas en eeprom..... | 143 |
| Figura 3.30 Diagrama correspondiente a la pantalla lectura de eeprom..... | 144 |
| Figura 3.31 Diagrama correspondiente a la pantalla representación numérica de los datos grabados en eeprom..... | 145 |
| Figura 3.32 Diagrama de correspondiente a la pantalla gráfico de las entradas analógicas grabadas en eeprom..... | 146 |
| Figura 3.33 Diagrama correspondiente a la pantalla gráfico de las entradas digitales grabadas en eeprom..... | 147 |
| Figura 3.34 Pantalla que contiene los directorios de los archivos de texto..... | 148 |
| Figura 3.35 Diagrama de programación asociado a la pantalla de los directorios de los archivos de texto..... | 149 |
| Figura 3.36 Pantalla Leer archivos..... | 149 |
| Figura 3.37 Diagrama correspondiente a la pantalla Leer archivos..... | 150 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.38 Diagramas utilizados para abrir y cerrar el puerto serial..... | 152 |
| Figura 3.39 Secuencia de transmisión de datos a las salidas analógicas..... | 153 |
| Figura 3.40 Diagrama de programación del subVI Descompone..... | 154 |
| Figura 3.41 Diagrama de programación del subVI Rotación DAC..... | 154 |
| Figura 3.42 Secuencia de recepción de datos de las entradas analógicas..... | 155 |
| Figura 3.43 Secuencia de transmisión de datos a las salidas digitales..... | 156 |
| Figura 3.44 Diagrama de programación del subVI <i>byte out</i> | 157 |
| Figura 3.45 Diagrama de programación del subVI Rotación Salida Digital..... | 157 |
| Figura 3.46 Secuencia de recepción de datos de las entradas digitales..... | 158 |
| Figura 3.47 Secuencia de recepción de datos grabados en memoria eeprom... | 159 |
| Figura 3.48 Pantalla para seleccionar el directorio de destino..... | 160 |
| Figura 3.49 Pantalla para elegir los archivos fuente para crear instaladores..... | 160 |
| Figura 3.50 Pantalla para habilitar la creación de instaladores..... | 161 |
| Figura 3.51 Entorno de programación de Bascom-avr..... | 166 |
| Figura 3.52 Simulador de Bascom-avr..... | 167 |
| Figura 3.53 Simulador de hardware externo de Bascom-avr..... | 167 |
| Figura 3.54 Software programador de Bascom-avr..... | 168 |
| Figura 3.55 Diagrama de Flujo del programa principal del microcontrolador..... | 169 |
| Figura 3.56 Diagrama de Flujo del programa principal del microcontrolador..... | 170 |
| Figura 3.57 Diagrama de Flujo del programa principal del microcontrolador..... | 171 |
| Figura 3.58 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presentacion..... | 172 |
| Figura 3.59 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presentacion..... | 173 |
| Figura 3.60 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subpresenta5..... | 174 |
| Figura 3.61 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subpresenta6..... | 175 |
| Figura 3.62 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subpresenta7..... | 176 |
| Figura 3.63 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subpresenta8..... | 177 |
| Figura 3.64 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subpresenta8b..... | 178 |
| Figura 3.65 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subpresenta9..... | 179 |
| Figura 3.66 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subpresenta9fin..... | 180 |
| Figura 3.67 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presentactivar..... | 181 |
| Figura 3.68 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presenta5..... | 181 |
| Figura 3.69 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presenta6..... | 182 |
| Figura 3.70 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presenta7..... | 182 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.71 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presenta8..... | 183 |
| Figura 3.72 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presenta9..... | 184 |
| Figura 3.73 Diagrama de Flujo de la Subrutina Transforma..... | 185 |
| Figura 3.74 Diagrama de Flujo de la Subrutina Transforma..... | 186 |
| Figura 3.75 Diagrama de Flujo de la Subrutina Valoradc..... | 187 |
| Figura 3.76 Diagrama de Flujo de la Subrutina Valordac..... | 187 |
| Figura 3.77 Diagrama de Flujo de la Subrutina Valorlcd..... | 188 |
| Figura 3.78 Diagrama de Flujo de la Subrutina Recibir..... | 189 |
| Figura 3.79 Diagrama de Flujo de la Subrutina Funciones..... | 190 |
| Figura 3.80 Diagrama de Flujo de la Subrutina Funciones..... | 191 |
| Figura 3.81 Diagrama de Flujo de la Subrutina Funciones..... | 192 |
| Figura 3.82 Diagrama de Flujo de la Subrutina Funciones..... | 193 |
| Figura 3.83 Diagrama de Flujo de la Subrutina Dac..... | 194 |
| Figura 3.84 Diagrama de Flujo de la Subrutina Configurar..... | 195 |
| Figura 3.85 Diagrama de Flujo de la Subrutina Enviardaca..... | 196 |
| Figura 3.86 Diagrama de Flujo de la Subrutina Digital..... | 197 |
| Figura 3.87 Diagrama de Flujo de la Subrutina Salida1..... | 198 |
| Figura 3.88 Diagrama de Flujo de la Subrutina Salida2..... | 198 |
| Figura 3.89 Diagrama de Flujo de la Subrutina Entrada1..... | 199 |
| Figura 3.90 Mensaje de presentación en el LCD luego de un reset..... | 200 |
| Figura 3.91 Menú principal de mensajes en el LCD..... | 201 |
| Figura 3.92 Activación de la adquisición de datos independiente..... | 202 |
| Figura 3.93 Programación del intervalo de tiempo de adquisición de datos..... | 202 |
| Figura 3.94 Pantalla de confirmación de la lectura de eeprom..... | 202 |
| Figura 3.95 Pantallas de lectura de eeprom..... | 203 |
| Figura 3.96 Pantallas de borrado de eeprom..... | 204 |
| Figura 3.97 Aviso de activación de adquisición de datos independiente..... | 204 |
| Figura 3.98 Mensajes en el LCD relativos al Grabado de eeprom..... | 205 |
| Figura 3.99 Mensajes en el LCD cuando el módulo de adquisición de datos se comunica con el computador..... | 205 |

CAPÍTULO IV

| | |
|--|-----|
| Figura 4.1 Módulo de adquisición de datos..... | 206 |
| Figura 4.2 Transceptor de infrarrojos para el PC..... | 206 |
| Figura 4.3 Módulo de señales analógicas y digitales..... | 207 |
| Figura 4.4 Conexión del módulo de señales analógicas y digitales con el módulo de adquisición de datos..... | 211 |
| Figura 4.5 Prueba de lectura de la memoria eeprom..... | 217 |
| Figura 4.6 Prueba de borrado de la memoria eeprom..... | 218 |
| Figura 4.7 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC..... | 219 |
| Figura 4.8 Prueba de adquisición de señales digitales con el PC..... | 225 |
| Figura 4.9 Diagrama de las señales digitales grabadas en el PC..... | 225 |
| Figura 4.10 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC..... | 227 |
| Figura 4.11 Instrumento virtual en Labview de las salidas digitales..... | 233 |
| Figura 4.12 Prueba de generación de voltajes digitales a través del PC..... | 233 |
| Figura 4.13 Pantalla de lectura de eeprom..... | 234 |
| Figura 4.14 Prueba de lectura de la memoria eeprom a través del PC..... | 235 |
| Figura 4.15 Pantalla de Labview que contiene cuatro parámetros..... | 236 |
| Figura 4.16 Módulo de adquisición de datos y transceptor de infrarrojos para PC..... | 241 |

CONTENIDO DE TABLAS

CAPÍTULO I

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1 Transductores y variable física que miden..... | 3 |
| Tabla 1.2 Lista de fabricantes de DAQs y módulos de adquisición de datos..... | 21 |
| Tabla 1.3 Longitudes de onda y frecuencias del espectro electromagnético..... | 33 |
| Tabla 1.4 Especificaciones de distancia de enlace infrarrojo..... | 43 |
| Tabla 1.5 Tasas de transferencia y duración de los pulsos..... | 44 |
| Tabla 1.6 Especificaciones de la salida activa..... | 44 |
| Tabla 1.7 Especificaciones de la entrada activa..... | 45 |

CAPÍTULO II

| | |
|--|-----|
| Tabla 2.1 Descripción de la conexiones del ATmega16..... | 70 |
| Tabla 2.2 Funciones alternas del Puerto B del microcontrolador ATmega16..... | 84 |
| Tabla 2.3 Funciones alternas del Puerto C del microcontrolador ATmega16..... | 85 |
| Tabla 2.4 Funciones alternas del Puerto D del microcontrolador ATmega16..... | 85 |
| Tabla 2.5 Distribución y conexión de pines del LCD..... | 86 |
| Tabla 2.6 Formato del <i>byte</i> de dirección del PCF8574..... | 87 |
| Tabla 2.7 Direcciones de escritura de los PCF8574A de la tarjeta de adquisición de datos..... | 88 |
| Tabla 2.8 Direcciones de lectura de los PCF8574A de la tarjeta de adquisición de datos..... | 88 |
| Tabla 2.9 Descripción de los pines del max5250..... | 93 |
| Tabla 2.10 Comandos de programación del max5250..... | 97 |
| Tabla 2.11 Descripción de los pines del mcp2120..... | 102 |
| Tabla 2.12 Baudios en función de la frecuencia del oscilador..... | 103 |
| Tabla 2.13 Descripción de la función de los pines del TFDS4500..... | 105 |

CAPÍTULO III

| | |
|--|-----|
| Tabla 3.1 Códigos ASCII de los caracteres enviados por el puerto serial..... | 151 |
|--|-----|

CAPÍTULO IV

| | |
|--|-----|
| Tabla 4.1 Prueba de adquisición de datos autónoma..... | 212 |
| Tabla 4.2 Prueba de adquisición de datos autónoma..... | 212 |
| Tabla 4.3 Prueba de adquisición de datos autónoma..... | 213 |
| Tabla 4.4 Prueba de adquisición de datos autónoma..... | 213 |
| Tabla 4.5 Prueba de adquisición de datos autónoma..... | 214 |
| Tabla 4.6 Prueba de adquisición de datos autónoma..... | 214 |
| Tabla 4.7 Prueba de adquisición de datos autónoma..... | 214 |
| Tabla 4.8 Prueba de adquisición de datos autónoma..... | 215 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 4.9 Prueba de adquisición de datos autónoma..... | 215 |
| Tabla 4.10 Prueba de adquisición de datos autónoma..... | 216 |
| Tabla 4.11 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC..... | 220 |
| Tabla 4.12 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC..... | 220 |
| Tabla 4.13 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC..... | 221 |
| Tabla 4.14 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC..... | 221 |
| Tabla 4.15 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC..... | 221 |
| Tabla 4.16 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC..... | 222 |
| Tabla 4.17 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC..... | 222 |
| Tabla 4.18 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC..... | 223 |
| Tabla 4.19 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC..... | 223 |
| Tabla 4.20 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC..... | 224 |
| Tabla 4.21 Prueba de adquisición de señales digitales con el PC..... | 226 |
| Tabla 4.22 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC..... | 227 |
| Tabla 4.23 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC..... | 228 |
| Tabla 4.24 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC..... | 228 |
| Tabla 4.25 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC..... | 229 |
| Tabla 4.26 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC..... | 229 |
| Tabla 4.27 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC..... | 230 |
| Tabla 4.28 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC..... | 230 |
| Tabla 4.29 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC..... | 231 |
| Tabla 4.30 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC..... | 231 |
| Tabla 4.31 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC..... | 231 |
| Tabla 4.32 Prueba de las entradas y salidas analógicas y digitales..... | 236 |
| Tabla 4.33 Prueba de las entradas y salidas analógicas y digitales..... | 237 |
| Tabla 4.34 Prueba de las entradas y salidas analógicas y digitales..... | 238 |
| Tabla 4.35 Prueba de las entradas y salidas analógicas y digitales..... | 239 |
| Tabla 4.36 Prueba de las entradas y salidas analógicas y digitales..... | 239 |
| Tabla 4.37 Prueba de distancias y ángulos de los infrarrojos..... | 242 |
| Tabla 4.38 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos..... | 242 |
| Tabla 4.39 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos..... | 242 |
| Tabla 4.40 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos..... | 242 |
| Tabla 4.41 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos..... | 243 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4.42 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos..... | 243 |
| Tabla 4.43 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos..... | 243 |
| Tabla 4.44 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos..... | 243 |
| Tabla 4.45 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos..... | 243 |
| Tabla 4.46 Costo de materiales para la construcción del módulo de adquisición de datos y del transceptor de infrarrojos para el computador..... | 246 |
| Tabla 4.47 Costo de construcción de tarjetas y cajas..... | 248 |
| Tabla 4.48 Costo de elementos adicionales..... | 248 |
| Tabla 4.49 Costo de materiales del módulo de señales analógicas y digitales..... | 249 |
| Tabla 4.50 Costo de importación de elementos electrónicos..... | 250 |
| Tabla 4.51 Costo total del hardware del sistema de adquisición de datos..... | 250 |
| Tabla 4.52 Costo de diseño e implementación del sistema de adquisición de datos..... | 251 |
| Tabla 4.53 Costo total del sistema de adquisición de datos..... | 251 |
| Tabla 4.54 Costo total del sistema de adquisición de datos, incluye el módulo de señales analógicas y digitales..... | 252 |
| Tabla 4.55 Costo del software para desarrollo..... | 252 |
| Tabla 4.56 Costo de data loggers y DAQs comerciales..... | 253 |

RESUMEN

En este proyecto se presenta el diseño y la construcción de un sistema de adquisición de datos con comunicación infrarroja. El sistema de adquisición de datos consta de un módulo de adquisición de datos, un transceptor de infrarrojos para el computador, un módulo de señales analógicas y digitales, y el software de adquisición de datos desarrollado en Labview 6.1.

En el capítulo uno se presenta la teoría relativa a los sistemas de adquisición de datos y a la comunicación infrarroja. Se describe las características de algunos sistemas de adquisición de datos comerciales.

En el capítulo dos se realiza el diseño del hardware del sistema de adquisición de datos y la descripción de los elementos utilizados, lo cual comprende: el módulo de adquisición de datos con el transceptor de infrarrojos incorporado, el transceptor de infrarrojos para el computador y el módulo de señales.

En el capítulo tres se presenta el desarrollo en Labview del software del sistema de adquisición de datos, la descripción del software Bascom-avr, utilizado para la programación del microcontrolador y los diagramas de flujo del programa del microcontrolador.

En el capítulo cuatro se presenta la descripción de las pruebas realizadas al sistema de adquisición de datos y los costos de su implementación.

En el capítulo cinco se presenta las conclusiones y recomendaciones resultado de la construcción, diseño y pruebas de funcionamiento del sistema de adquisición de datos con comunicación infrarroja.

En los anexos se presenta un artículo de Vishay Semiconductors sobre transceptores de infrarrojos compatibles con el estándar IrDA y las características técnicas de algunos elementos utilizados.

PRESENTACIÓN

La adquisición, registro y análisis de tendencias de los datos adquiridos en un proceso se realizaba en forma manual, mediante la observación de instrumentos analógicos como termómetros, manómetros, etc. La primera automatización del registro de datos se realizó mediante un aparato que convierte los impulsos eléctricos provenientes de sensores, en movimientos de un brazo mecánico que tiene conectado un bolígrafo, que grafica los datos en un papel que se mueve a una velocidad constante. Este sistema de adquisición de datos automático era un gran adelanto con respecto a la adquisición manual de datos, sin embargo para realizar análisis de los datos adquiridos se requería trasladar los datos gráficos, lo cual tomaba mucho tiempo. A partir del desarrollo de las computadoras personales en 1970 y 1980, los registros y análisis de datos en procesos industriales se empezaron a realizar con la computadora, con lo que empezó el desarrollo de los sistemas de adquisición de datos basados en PC.

Los sistemas de adquisición de datos basados en PC son un conjunto de elementos de hardware y de software que tienen por objeto realizar un proceso de adquisición de señales analógicas y digitales en forma automática desde dispositivos de medida y sensores. Los sistemas de adquisición se aplican en procesos de adquisición y control de variables físicas como: temperatura, nivel, presión, densidad, sonido, etc., para lo cual generalmente disponen de entradas analógicas, entradas digitales, salidas analógicas, salidas digitales, contadores y temporizadores.

La adquisición y registro de señales que varían lentamente con el tiempo como por ejemplo la temperatura y nivel son muy frecuentes en aplicaciones de instrumentación industrial. El sistema de adquisición de datos de este proyecto permite adquirir y almacenar señales analógicas y digitales de voltaje que varían lentamente con el tiempo. Los datos adquiridos se graban en el disco duro del computador o en la memoria eeprom del módulo de adquisición de datos. Los recursos de hardware del sistema de adquisición de datos de este proyecto son: tarjeta de adquisición de datos con un transceptor de infrarrojos incorporado,

tarjeta externa de infrarrojos que se conecta al computador a través del puerto serial, pantalla de visualización LCD, memoria eeprom, entradas y salidas analógicas y digitales.

El software del sistema de adquisición de datos está desarrollado en Labview, y tiene las siguientes funciones: iniciar la comunicación con el módulo de adquisición de datos, controlar la adquisición y registro en el computador de las señales de voltaje analógicas y digitales, y controlar las señales de voltaje en las salidas analógicas y digitales de la tarjeta de adquisición de datos. Los datos de las entradas analógicas grabados en el computador pueden ser utilizados para realizar gráficos de las tendencias de las señales analógicas. La aplicación desarrollada en Labview permite leer y grabar en el computador los datos de la memoria eeprom del módulo de adquisición de datos y representar sus valores en forma gráfica.

La comunicación infrarroja es una tecnología inalámbrica que tiene ventajas de costo, confiabilidad y corto alcance, por lo que su utilización en equipos electrónicos portátiles está en crecimiento. Actualmente existen equipos electrónicos que disponen de comunicación infrarroja como por ejemplo calculadoras, agendas electrónicas, celulares, PDAs, computadoras portátiles, teclados, mouse, etc. Los estándares de comunicación infrarroja son establecidos por la organización *Infrared Data Association*, IrDA. Los estándares IrDA permiten fijar condiciones de comunicación infrarroja para un gran rango de aplicaciones y dispositivos. El módulo de adquisición de datos y la tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador construidos en este proyecto cumplen la especificación de distancia máxima de enlace infrarrojo que describe el estándar IrDA-SIR versión 1.2

CAPÍTULO I

SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y COMUNICACIÓN INFRARROJA

1. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y COMUNICACIÓN INFRARROJA

Los sistemas de adquisición de datos son un conjunto de elementos de hardware y de software que tienen por objeto realizar un proceso de adquisición de señales analógicas y digitales en forma automática desde dispositivos de medida y sensores. Los sistemas de adquisición de datos se utilizan en procesos de automatización sobre una plataforma de PC, para lo cual un sistema de adquisición de datos generalmente dispone de entradas analógicas, entradas digitales, salidas analógicas, salidas digitales, contadores y temporizadores. Los sistemas de adquisición de datos tienen aplicaciones en procesos donde se requiere tener información o control del estado de variables físicas. Ejemplos de variables físicas son: temperatura, nivel, presión, densidad, sonido, etc. La adquisición de datos se realiza mediante las entradas analógicas y digitales, y el control se realiza mediante las salidas analógicas y digitales. Las salidas digitales son utilizadas para enviar señales de control on-off; las salidas analógicas pueden ser utilizadas en lazos de control realimentados o para generar señales analógicas que son el resultado de aplicar filtros digitales a las señales analógicas de entrada del sistema de adquisición de datos.

El avance en la tecnología de la electrónica digital ha permitido que casi todos los sistemas y equipos funcionen en base a microcontroladores, que manejan todos los recursos que ofrece un equipo electrónico. Los sistemas de adquisición de datos se han desarrollado con el avance de los sistemas de computación, y actualmente se dispone de plataformas que realizan la adquisición de datos en base al PC. Para la adquisición de datos en base al PC, se puede utilizar tarjetas de adquisición de datos, data loggers o cualquier equipo que permita ingresar datos al computador. La información de las señales analógicas que ingresa al computador debe pasar previamente por etapas de acondicionamiento, muestreo y digitalización. El muestreo y digitalización de las señales analógicas es realizado mediante convertidores analógicos a digitales (ADC). La digitalización consiste en

convertir el nivel de voltaje analógico que es muestreado por el ADC en un valor numérico que pueda utilizarse en un sistema basado en PC.

1.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN PC

La adquisición de datos en base al computador es un proceso en el cual se capturan señales analógicas y digitales que provienen de sensores o dispositivos de medición y se las envía a un PC. La adquisición de datos con el computador combina hardware y software, con lo que se obtiene flexibilidad en el análisis de datos y en el sistema de medida.

La figura 1.1 presenta un sistema de adquisición de datos en base al PC.

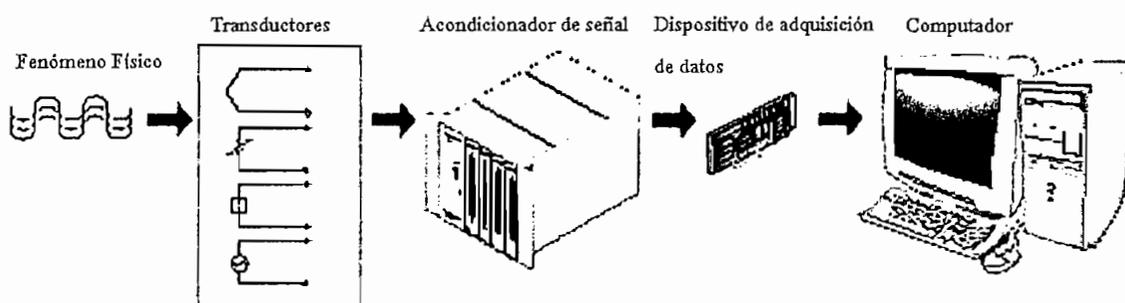


Figura 1.1 Sistema de adquisición de datos en base al PC

Las señales analógicas y digitales son capturadas y digitalizadas mediante el hardware adecuado y almacenadas en un computador. Los sistemas de adquisición de datos DAQ son diseñados con diferentes tecnologías para la interconexión del hardware de adquisición de datos con el computador, se puede escoger entre: PCI, PXI, CompactPCI, PCMCIA, USB, Firewire, puerto paralelo y puerto serial.

Los elementos que conforman un sistema de adquisición de datos son: transductores, señales analógicas o digitales, acondicionadores de señal, hardware de adquisición de datos y software.

1.1.1 TRANSDUCTORES

Un sistema de adquisición de datos primero debe realizar la medida del fenómeno físico, por ejemplo temperatura, intensidad de luz, presión, fuerza aplicada a un objeto, caudal, etc., para lo cual se usan generalmente transductores. El transductor convierte la magnitud de la variable física medida en una señal eléctrica de voltaje o de corriente. Los transductores se denominan sensores en los sistemas de adquisición de datos. Existen diferentes tipos de transductores según la variable física que miden. La tabla 1.1 presenta una lista de los transductores más comunes y el fenómeno físico que miden.

| Variable física | Transductor |
|---------------------------|---|
| Temperatura | Termocuplas Sensor de temperatura resistivo RTD Termistores, termómetros |
| Nivel de líquidos | Medidor resistivo Medidor ultrasónico |
| Fuerza y presión | Galgas extensométricas Transductores piezoeléctricos |
| Posición y desplazamiento | Potenciómetros Transformador de voltaje diferencial lineal Codificador óptico |
| Caudal | Transductores ultrasónicos |
| Sonido | Micrófono |
| pH | Electrodos de pH |

Tabla 1.1 Transductores y variable física que miden

Los transductores usados en los sistemas de adquisición de datos tienen una salida eléctrica sea resistiva, capacitiva, inductiva, etc., es decir su función es convertir la medición de un fenómeno físico en una señal eléctrica. Estas señales pueden ser de dos tipos señales analógicas o digitales.

1.1.2 SEÑALES ANALÓGICAS

Las señales analógicas pueden tener cualquier valor en un instante de tiempo, lo que significa que el valor de una señal analógica puede cambiar con respecto al tiempo. Ejemplos de señales analógicas son: voltaje, temperatura, presión, sonido. Las características principales de una señal analógica son nivel, forma y frecuencia. La figura 1.2 presenta las características de una señal analógica.

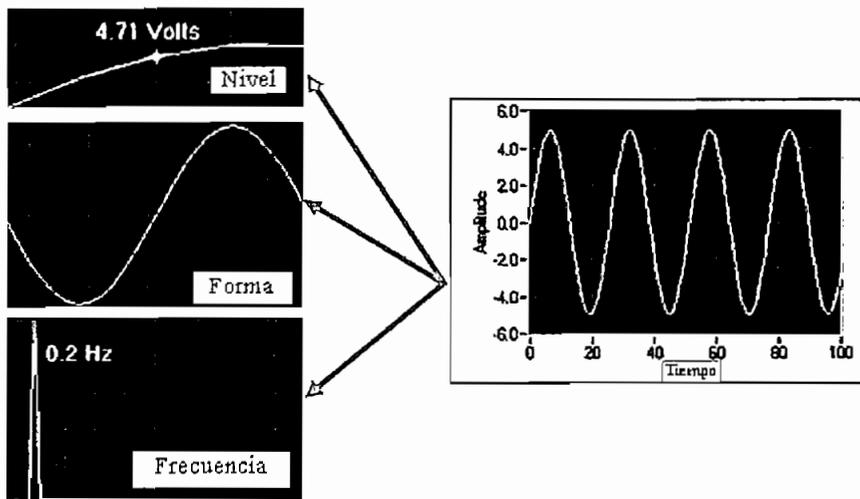


Figura 1.2 Características de una señal analógica.

El nivel de una señal analógica da información del valor medido. Por ejemplo, las señales analógicas de temperatura en un cuarto, presión en un tanque, intensidad de luz indican como varían estas variables y generalmente no tienen cambios rápidos con respecto al tiempo.

La forma de las señales analógicas es tan importante como el nivel; a partir de la forma se tiene información de las componentes de DC, de los picos de la señal, componentes armónicos. Algunas señales analógicas tienen su nombre de acuerdo a su forma, como por ejemplo: cuadrada, diente de sierra, triangular. La forma de las señales analógicas es de interés generalmente cuando cambian rápidamente con respecto al tiempo y se usan para analizar transitorios, como en las señales analógicas que provienen de latidos del corazón, señales de video, sonido, vibraciones, respuesta de circuitos eléctricos, etc.

Las señales analógicas pueden ser clasificadas por su frecuencia. La frecuencia de las señales analógicas es de gran importancia en aplicaciones de telecomunicaciones, análisis de voz, señales de sismos, etc. Para conocer la frecuencia de una señal analógica en un sistema de adquisición de datos se utiliza un algoritmo de software basado en la transformada de Fourier. Para obtener precisión en el valor de la frecuencia, se debe considerar la velocidad de la adquisición de datos y la precisión. El sistema de adquisición de datos debe tener la suficiente velocidad para no perder los datos de la señal analógica mientras se realiza la adquisición, para lo cual debe cumplir el teorema de muestreo de Nyquist que establece que la frecuencia de muestreo debe ser por lo menos dos veces mayor que la frecuencia de la señal.

1.1.3 SEÑALES DIGITALES

Las señales digitales solo pueden tener valores fijos con respecto al tiempo. Una señal digital solo tiene dos posibles valores alto y bajo. Generalmente las señales digitales son de lógica TTL (Transistor-to-Transistor Logic), que establece un valor de 0 a 0.8 voltios para el estado lógico bajo y de 2 a 5 voltios para el estado lógico alto. Las señales digitales tienen dos características importantes que son la tasa o velocidad y el estado. La figura 1.3 se presenta las características de una señal digital.

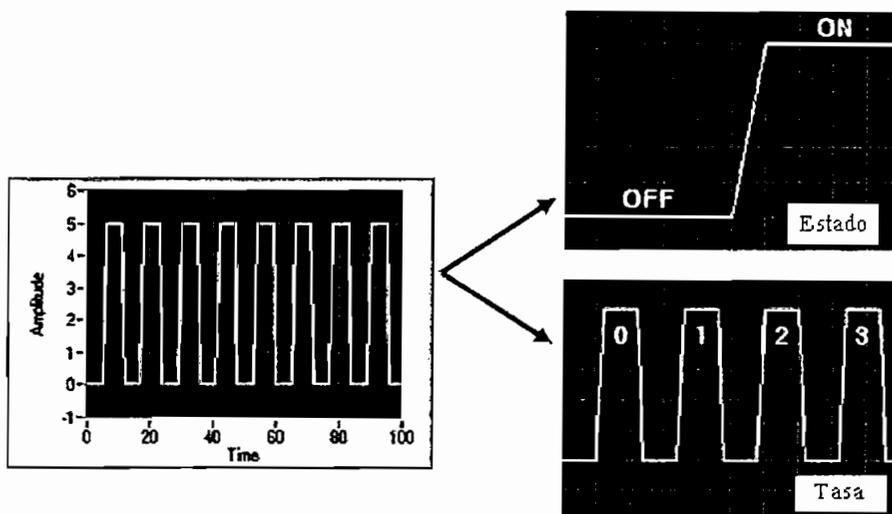


Figura 1.3 Características de una señal digital.

El estado de una señal digital indica el nivel de la señal, el cual solo puede ser alto o bajo. Varios sensores proporcionan señales digitales *on-off*, como son los sensores de presencia, los interruptores, los detectores, etc.

La tasa o velocidad de una señal digital define como una señal cambia de estado con respecto al tiempo. La tasa mide cada cuanto tiempo se repite un tramo de una señal digital. No se requiere de algoritmos para saber la tasa de una señal digital. Por ejemplo, en comunicaciones entre computadores o equipos, se tiene tasas de transferencia predeterminadas.

1.1.4 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

Se requiere de acondicionamiento de las señales cuando se tiene transductores que generan señales de valores pequeños, peligrosas o difíciles de medir directamente con una tarjeta de adquisición de datos. Se utiliza acondicionadores de señal cuando se mide altos voltajes, en ambientes con ruido, señales de muy bajo o muy alto nivel, con sensores analógicos o digitales. Los acondicionadores de señal aumentan la precisión y seguridad del sistema y permiten la adecuada operación de los sensores. La figura 1.4 presenta algunos acondicionadores de señal fabricados por *National Instruments*.

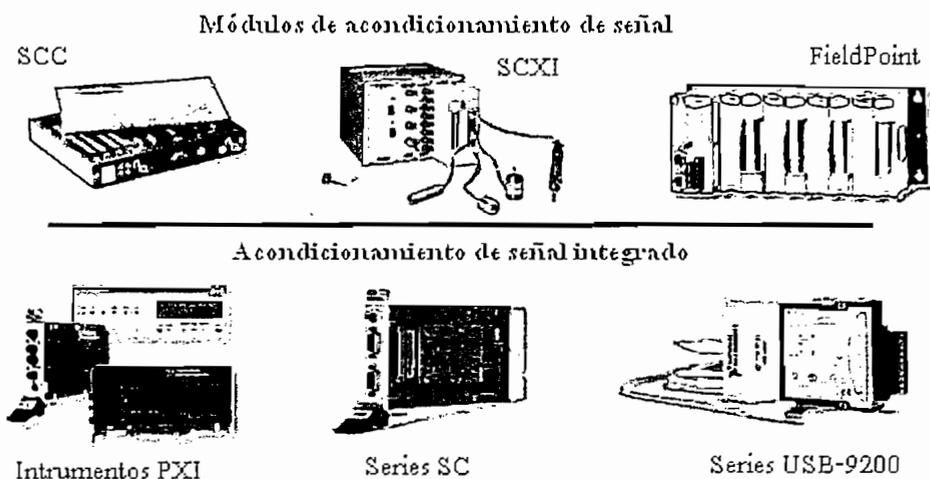


Figura 1.4 Hardware de acondicionamiento de señales.

Existen fabricantes de acondicionadores de señal como National Instruments, que ofrecen accesorios de acondicionamiento de señal modulares e integrados, para amplificación, atenuación, aislamiento, realización de puentes, muestreos simultáneos, excitación de sensores y multiplexación. El tipo de acondicionador de señal depende del tipo de señal que proporcione el sensor. A continuación se describe los tipos de acondicionamiento de señal, la función que realiza y con que clase de sensor se debe usar.

1.1.4.1 Amplificación

Se realiza amplificación cuando los niveles de voltaje medidos son muy pequeños. La amplificación permite que el convertidor analógico a digital de la tarjeta de adquisición de datos maximice su efectividad. Al amplificar la señal, el convertidor analógico a digital del sistema de adquisición de datos puede utilizar todo su rango disponible para el muestreo de datos, con lo que se tiene mayor cantidad de datos adquiridos, por lo tanto se aprovecha al máximo la resolución del convertidor analógico a digital, y por consiguiente a la tarjeta de adquisición de datos. Las termocuplas y las galgas extensométricas son ejemplos de sensores que requieren amplificación.

1.1.4.2 Atenuación

Los acondicionadores de señal que realizan atenuación, reducen el voltaje que entrega el sensor. La atenuación se utiliza cuando el voltaje que debe entrar al sistema de adquisición de datos es mayor al rango que soporta a su entrada.

1.1.4.3 Aislamiento

Las señales de voltaje que están sobre el rango del convertidor analógico a digital de la tarjeta de adquisición de datos, pueden causar daño al equipo de adquisición de datos, e incluso al operador. Para proteger al operador y al equipo de adquisición de datos, se utiliza acondicionadores de señal de atenuación y de aislamiento con lo cual se evita voltajes peligrosos como picos de voltaje. El

aislamiento también es necesario cuando el sensor está en una tierra diferencial como por ejemplo una termocupla colocada sobre una máquina.

1.1.4.4 Multiplexación

La multiplexación se utiliza para tener varios canales de entrada analógicos dirigidos hacia un solo canal de entrada analógico. Por ejemplo mediante la multiplexación se tiene ocho canales de entrada analógicos dirigidos a una sola entrada del convertidor analógico a digital de la tarjeta de adquisición de datos. La multiplexación reduce el costo del hardware del sistema, ya que la digitalización es el proceso más caro de un sistema de adquisición de datos. Existen microcontroladores que tienen incorporado un convertidor analógico a digital y un multiplexor para realizar la conversión de señales analógicas a valores numéricos.

1.1.4.5 Filtración

La filtración se utiliza para eliminar componentes de frecuencia no deseados y reducir el ruido. Por ejemplo las medidas con termocuplas requieren de filtros pasabajos para eliminar ruido de la señal, las señales de vibraciones necesitan de filtros que eliminen las componentes de alta frecuencia que están sobre el rango de medida del sistema de adquisición de datos.

1.1.4.6 Excitación

La excitación consiste en proporcionar voltaje o corriente al sensor para que funcione. Algunos ejemplos de sensores que requieren excitación para su funcionamiento son los RTDs, galgas extensométricas y acelerómetros.

1.1.4.7 Linealización

Existen sensores que proporcionan señales de voltaje que no varían en forma lineal con respecto a la variable física que miden. La linealización consiste en transformar la señal no lineal que proporciona el sensor en una señal lineal, cuya

medida corresponda proporcionalmente al cambio del fenómeno físico que mide el sensor. Por ejemplo las termocuplas son sensores que requieren de un acondicionador de señal que realice linealización.

1.1.4.8 Compensación de unión fría

Los sensores de temperatura termocuplas, requieren de compensación de unión fría. Cuando una termocupla es conectada al sistema de adquisición de datos, la temperatura de la conexión debe ser conocida para calcular el valor verdadero de temperatura medida por la termocupla. El sistema debe incorporar compensación de unión fría en el lugar de la conexión.

1.1.4.9 Muestreo simultáneo

Se utiliza acondicionadores de señal con muestreo simultáneo cuando se requiere medir dos señales al mismo tiempo. La tecnología de muestreo simultáneo en los acondicionadores de señal es una solución efectiva y de menor costo que utilizar varios convertidores analógicos a digitales que cumplan esta función. Por ejemplo en una aplicación se podría requerir muestro simultáneo para medir señales de vibración y diferencia de fase

Los sensores generalmente requieren de una combinación de las tecnologías de acondicionamiento de señal descritas en párrafos anteriores. Por ejemplo la termocupla necesita de amplificación, linealización, compensación de unión fría, filtración, y asilamiento.

Un sistema de adquisición de datos debe tener incorporado una etapa de acondicionamiento de señal, especialmente cuando se utiliza: RTDs, termistores, galgas extensométricas, LVDTs, acelerómetros, conmutadores, multiplexores, combinación de señales de bajos y altos voltajes, entradas de corriente, entradas de resistencia.

1.1.5 TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Las tarjetas de adquisición de datos constituyen la interfaz de hardware entre la computadora y las señales analógicas acondicionadas. La tarjeta de adquisición de datos tiene como función principal digitalizar las señales analógicas para que puedan ser interpretadas por el computador. Las tarjetas de adquisición de datos pueden disponer de combinaciones de entradas y salidas analógicas, entradas y salidas digitales, contadores y temporizadores. Existen tarjetas de adquisición de datos en diferentes buses como PCI, CompactPCI, PXI, PCMCIA, USB y Firewire.

1.1.5.1 Partes de una tarjeta de adquisición de datos

Las tarjetas de adquisición de datos tienen como elemento principal un microcontrolador cuya función es controlar todos los recursos de hardware y de software de la tarjeta y establecer la transferencia de datos con el computador. Los elementos de hardware de una tarjeta de adquisición de datos generalmente son: entradas analógicas, entradas digitales, salidas analógicas, salidas digitales, contadores, temporizadores y un dispositivo de comunicación. Cuando una tarjeta de adquisición de datos tiene varios de estos de elementos de hardware, se denomina tarjeta de adquisición de datos multifunción

Las líneas de entradas y salidas digitales tienen generalmente niveles TTL (Transistor-to-Transistor Logic), por lo que las señales digitales en las entradas deben ser acondicionadas para no causar daños en la tarjeta de adquisición de datos. Las entradas y salidas digitales pueden ser pines de entrada-salida del microcontrolador o de expansores de puerto conectados al microcontrolador. Las entradas analógicas se implementan mediante un convertidor analógico a digital, y un multiplexor que permite disponer de varios canales de entrada analógicos. Las salidas analógicas se diseñan mediante convertidores digitales a analógicos.

El dispositivo de comunicación establece el medio físico de transferencia de datos entre el computador y la tarjeta de adquisición de datos, el cual puede ser: bus PCI, CompactPCI, PXI, PCMCIA, USB, Firewire, puerto paralelo o puerto serial.

La figura 1.5 presenta el diagrama de bloques de las partes de hardware que generalmente se incluyen en una tarjeta de adquisición de datos multifunción.

El software de una tarjeta de adquisición de datos se instala en un computador e incluye los *drivers* de la tarjeta y una aplicación de software para visualizar y controlar los recursos de hardware de la tarjeta de adquisición de datos. Mediante los *drivers* de la tarjeta de adquisición de datos se puede realizar aplicaciones de software personalizadas, en programas de desarrollo de software como *Labview*.

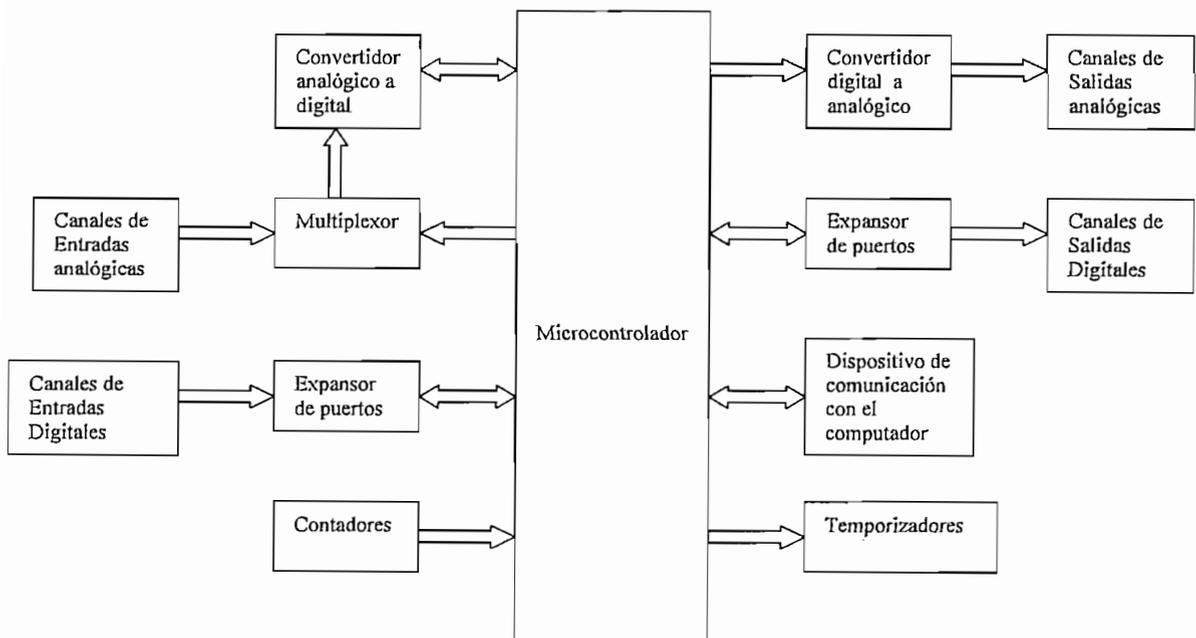


Figura 1.5 Diagrama de bloques de las partes de hardware de una tarjeta de adquisición de datos multifunción.

1.1.6 SOFTWARE DE LOS SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El software del sistema de adquisición de datos realiza el control de la tarjeta de adquisición de datos, lo cual permite que el computador reconozca el hardware, y constituye una herramienta de análisis y presentación de la adquisición de datos. El software está dividido en: *drivers* y aplicación. Los *drivers* permiten la comunicación con el hardware, el cual no realiza ninguna función si los *drivers* no son los apropiados. Los *drivers* también permiten al programador que acceda a las funciones del hardware sin tener que utilizar comandos o instrucciones de

lenguaje de máquina. La aplicación de software tiene dos posibilidades: Un programa que permita configurar las funciones de la tarjeta de adquisición de datos en un sistema predefinido, o puede consistir en un entorno de programación para crear un desarrollo personalizado con las funciones de hardware de la tarjeta de adquisición de datos.

1.2 ADQUISICIÓN Y REGISTRO DE DATOS - *DATA LOGGING*

La adquisición y registro de datos (*Data logging*) es muy común en aplicaciones industriales, en las cuales se requiere medir y grabar parámetros físicos y eléctricos en un periodo de tiempo. Los datos pueden ser temperatura, fuerza, desplazamiento, flujo, presión, voltaje, corriente, resistencia, potencia, y más parámetros que tenga un proceso. En aplicaciones reales, a más de la adquisición de datos se tiene análisis en funcionamiento, análisis fuera de funcionamiento, visualización, ordenamiento de datos y generación de reportes.

Los sistemas de adquisición y registro de datos son usados en una gran variedad de aplicaciones. Algunos ejemplos de *data logging* son: en procesos químicos se registra temperatura, pH, presión; en ingeniería civil se realiza mediciones y registros de tensión y peso de los puentes para evaluar la seguridad de la construcción, en geología se realiza registro de datos para determinar la composición mineral en perforaciones petroleras. La lista de aplicaciones es muy amplia y aumenta cada día con los requerimientos de la industria.

1.2.1 DATA LOGGERS

El *data logger* es un equipo autónomo que mide señales, las convierte en datos digitales y las almacena internamente. Los datos adquiridos por el *data logger* pueden ser transferidos al computador para almacenamiento, análisis y generación de reportes. La transferencia de datos al computador se realiza mediante algún tipo de comunicación, como serial o USB.

La utilización de la combinación del computador con los *data loggers* para almacenamiento de datos se debe al incremento de la confiabilidad de los computadores, la constante disminución del costo de los discos duros y al mayor espacio de almacenamiento en un computador. Los registros de datos basados en el computador, permiten una gran capacidad de análisis de datos, y herramientas para la generación de reportes.

1.2.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA *DATA LOGGING*

Un sistema automático de registro de datos basado en el computador se puede dividir en cinco partes que son: Adquisición de datos, análisis en línea, almacenamiento de datos, análisis fuera de línea, y visualización, distribución y generación de reportes. A continuación se describe cada uno de los elementos que conforma el sistema *data logging*. En la figura 1.6 se presenta el diagrama de bloques de un sistema *data logging*.

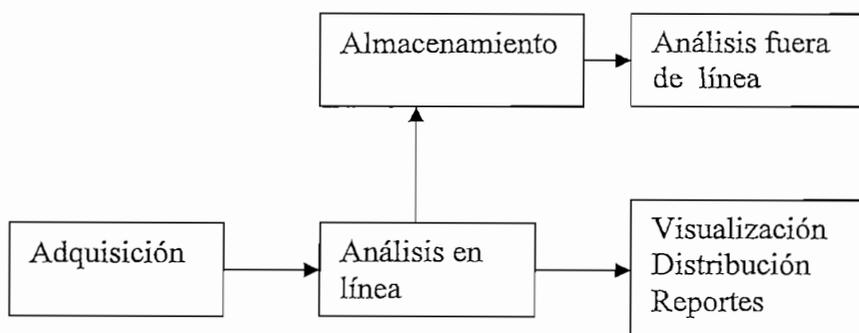


Figura 1.6 Elementos básicos de un sistema Data logging.

1.2.2.1 Adquisición

La adquisición de datos con un sistema *data logging* se la realiza mediante hardware de medición conformado por sensores, elementos para la conectividad de la señal, acondicionadores de señal, convertidores analógicos a digitales. Al igual que en las tarjetas de adquisición de datos, los *data loggers* utilizan sensores para convertir las variables físicas en señales eléctricas.

En la figura 1.7 se presenta los componentes de hardware de un sistema *Data logging*.

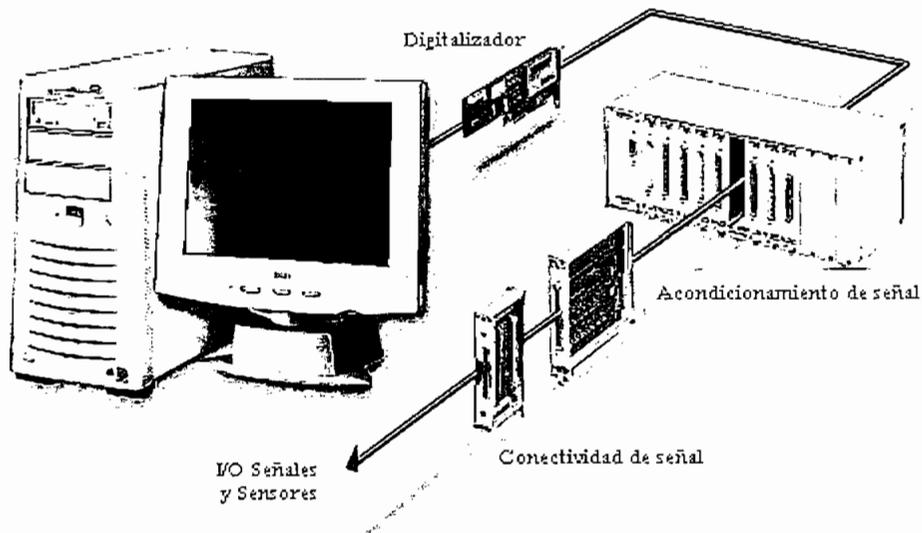


Figura 1.7 Componentes de hardware de un sistema *Data logging*.

La conectividad de señales se refiere a la interfaz física entre los sensores y los acondicionadores de señal del sistema *data logging*. La conectividad de señal establece varios componentes que son utilizados para conectar los sensores. Para conectar directamente el alambre descubierto de los sensores con el sistema *data logging*, se utiliza terminales de rosca, con lo cual se puede conectar varias señales en un espacio pequeño de superficie. La figura 1.8 presenta algunas opciones para la conectividad de señales. Los elementos para la conectividad de señales son estándar y facilitan la conexión y desconexión de sensores. Por ejemplo, existen conectores para las termocupas; los conectores BNC y SMB son generalmente usados cuando se requiere protección eléctrica para inmunidad al ruido; conectores banana, son usados cuando se mide corriente, resistencia y altos voltajes. El sensor utilizado define el tipo de conector.

El acondicionamiento de señales en un sistema *data logging*, es una de las partes más importantes, y al igual que para las tarjetas de adquisición de datos consiste en preparar la señal antes de que sea digitalizada en el *data logger*. Por ejemplo las termocupas producen niveles de señal muy bajos, y por lo tanto estas señales requieren ser amplificadas, filtradas y linealizadas. En el caso de otros sensores

como los RTDs, termistores, galgas extensométricas, y acelerómetros requieren energía eléctrica a más de la amplificación y filtrado. Otras señales podría necesitar de aislamiento para la protección de altos voltajes. El acondicionamiento de señal se debe utilizar para proteger el *data logger*, y realizar las mediciones con seguridad. La teoría de acondicionamiento de señal explicada para las tarjetas de adquisición de datos, es la misma que para los sistemas *data logger*.

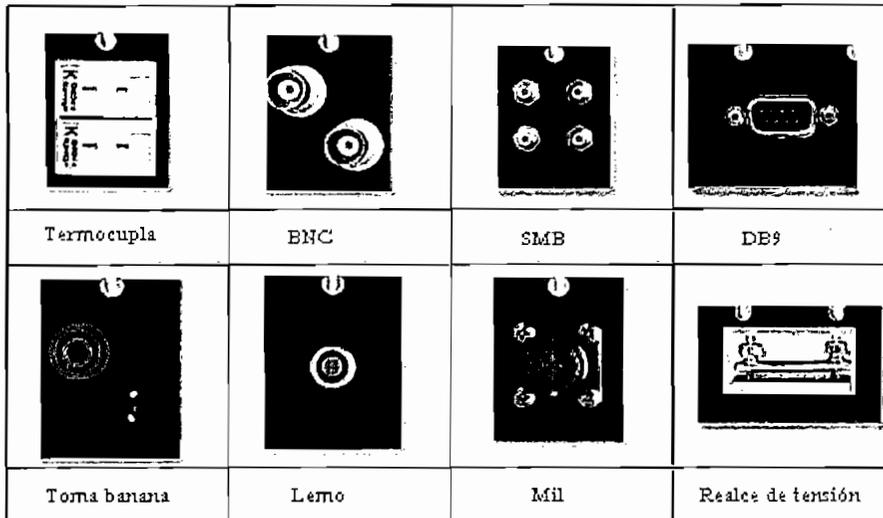


Figura 1.8 Opciones para la conectividad de señales.

Luego de la etapa de acondicionamiento de señal, se realiza la digitalización de las señales analógicas adquiridas, para lo cual se utiliza convertidores analógicos a digitales. La resolución de los convertidores analógicos a digitales, tiene repercusión directa en el precio del hardware de adquisición de datos. En un sistema de adquisición de datos basado en computador, la configuración del sistema debe ser realizado a través del software, el cual debe incorporar un control de todos los elementos del hardware de adquisición de datos.

1.2.2.2 Análisis en línea

El análisis en línea consiste en un proceso que se ejecuta mientras se realiza la adquisición de datos, como por ejemplo, ajuste de parámetros, alarmas, y controles que actúan según los datos adquiridos. El análisis en línea es ejecutado mediante software, y es requerido según la aplicación. Por ejemplo un análisis en

línea es la transformación de los valores binarios que entrega el digitalizador en unidades apropiadas, como grados centígrados cuando se mide temperatura. De igual forma, se realiza análisis en línea con los valores que provienen de sensores como galgas extensométricas, RTDs, acelerómetros, etc, en los cuales se ejecuta subrutinas mediante software para representar las mediciones en las unidades adecuadas.

El análisis en línea también tiene la función de controlar alarmas y eventos, que se activan cuando una señal excede un límite preestablecido en el software de control. Las alarmas pueden ser una notificación visual mediante la activación de luces de peligro o respuestas automáticas a ciertos eventos. Por ejemplo un sistema *data logging* puede apagar una máquina si la temperatura excede de cierto límite. El análisis en línea puede incluir sistemas de control realimentados y análisis de señales en el computador.

1.2.2.3 Registro y almacenamiento

Los sistemas de *data logging* deben tener almacenamiento de datos. Los métodos de almacenamiento pueden ser cintas de grabación, memorias no volátiles (memoria eeprom), discos flexibles, tarjetas de memoria. Los sistemas basados en computador utilizan como medio de almacenamiento el disco duro del computador, o de las unidades de la red.

El software de un sistema *data logging* basado en computador es muy importante, porque determina como los datos son grabados, la velocidad de grabación en el disco y la eficiencia en la utilización del espacio en el disco duro del computador. El software de registro y almacenamiento de datos le da flexibilidad al formato de los datos, y al acceso a bases de datos. El formato de los datos almacenados permite una utilización fácil del sistema. Los tres formatos de registro de datos más comúnmente usados en sistemas *data logging* son: Archivos de texto ASCII, archivos binarios y bases de datos.

Existen varios medios de almacenamiento para sistemas *data logging* como son memorias no volátiles, discos flexibles, tarjetas de memoria, cintas de grabar. Los sistemas *data logging* basados en PC, generalmente utilizan el disco duro del computador, ya que actualmente se dispone de gran capacidad de almacenamiento en los discos duros y este dispositivo resulta económico; sin embargo siempre es necesario sacar respaldos de la información.

Cuando se tiene aplicaciones de adquisición de datos de alta velocidad, más de un millón de muestras por segundo, se puede exceder la velocidad de escritura del disco duro del computador. Los sistemas *data logging* basados en PC, tienen la ventaja de poder cambiar algunos elementos del hardware, en el caso de requerir mayor velocidad de almacenamiento se puede utilizar dispositivos de alta velocidad de almacenamiento y computadoras de alto rendimiento, sin tener que realizar modificaciones o con muy pocos cambios en el software o el hardware de medida. Un dispositivo de almacenamiento de alto rendimiento son los controladores RAID (redundant array of independent disk), los cuales usan múltiples discos duros en conjunto para mejorar la velocidad de flujo al disco, y para asegurar la integridad de los datos. Los audio-visual (AV) son unidades de almacenamiento de datos que son usados para registro de datos de alta velocidad. Las unidades audio-visual (AV) están optimizadas para recibir grandes cantidades de información de audio y video, por lo que también las unidades AV son adecuadas para *data logging* de alta velocidad.

Algunas compañías diseñan dispositivos de almacenamiento que se conectan en el bus PCI del computador y que reciben directamente los datos de las tarjetas DAQ, en este caso el límite de velocidad de almacenamiento está definido por la velocidad del bus PCI del computador, la cual es de 132 Mbytes/seg.

1.2.2.4 Análisis fuera de línea

El análisis fuera de línea se realiza después de adquirir los datos y generalmente se utiliza funciones matemáticas para extraer la información importante de los datos registrados. Se puede realizar como análisis fuera de línea cálculos

estadísticos de los parámetros medidos, análisis de la frecuencia de las señales adquiridas. El análisis fuera de línea generalmente está combinado con la generación de reportes, presentación de historiales y funciones de distribución y publicación.

1.2.2.5 Visualización

Los sistemas de data logging, generalmente requieren de un medio de visualización de los datos que están siendo grabados. Las herramientas de visualización permiten revisar los datos mientras están siendo almacenados y presentar historiales de los datos que han sido previamente grabados. En la figura 1.9 se presenta el gráfico del historial de datos adquirido por un software comercial de un sistema *data logging* basado en PC de *National Instruments*.

La mayoría de los data loggers necesita que los datos sean trasladados al computador para revisar los historiales. Los sistemas de *data logging* basados en PC tienen la posibilidad de visualizar los datos mientras se los adquiere y de revisar los historiales mediante la misma interfaz de usuario, la cual dispone de herramientas de software de fácil manejo como son cursores, herramientas de ampliación gráfica, barras de desplazamiento, etc.

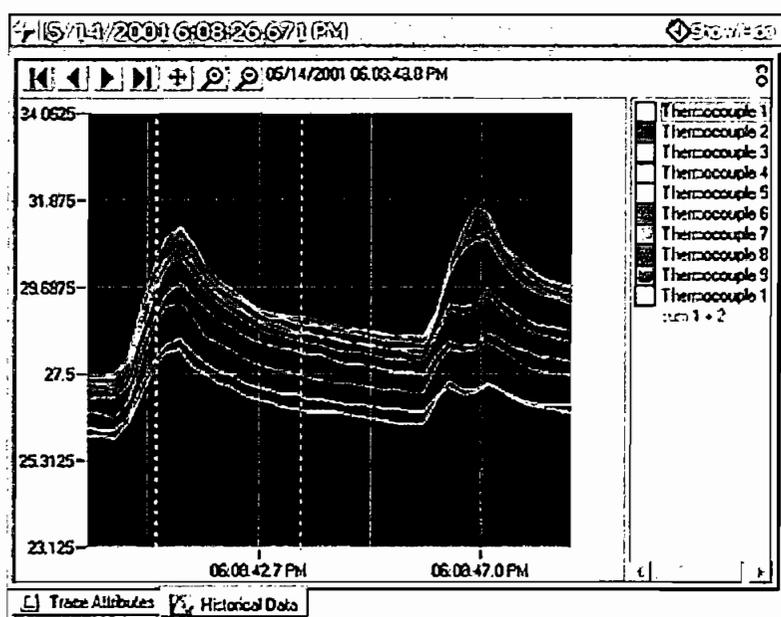


Figura 1.9 Gráfico del historial de datos de un software de registro.

1.2.2.6 Generación de reportes

En los sistemas data logging, generalmente no se considera la generación de reportes como parte de la aplicación de *data logging*, sin embargo los sistemas data logging requieren de software para la generación de reportes para presentar los datos almacenados en un formato adecuado.

La generación de reportes incrementa la eficiencia de un sistema *data logging* basado en PC, permite entregar reportes periódicos y distribuirlos al personal que le corresponda. El software de generación de reportes, debe integrarse al software del sistema data logging, para pasar automáticamente los datos almacenados hacia la aplicación de generación de reportes. La figura 1.10 presenta un ejemplo de un paquete de software para la generación de reportes.

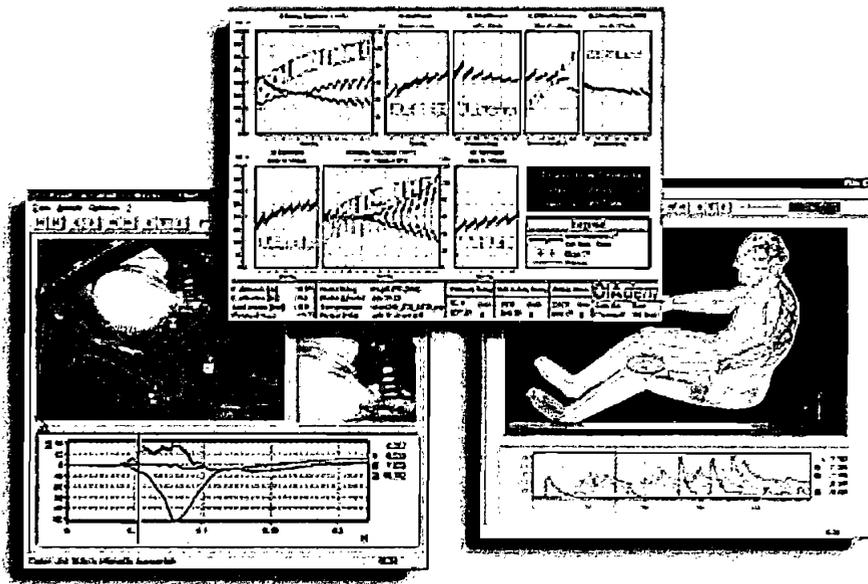


Figura 1.10 Generación de reportes con software de *National Instruments*.

1.2.2.7 Distribución de datos y publicación

Los datos adquiridos en un sistema *data logging* basado en PC, deben estar disponibles para el personal correspondiente. El software de distribución y publicación de un sistema data logging, permite que los datos sean publicados en la red de computadoras de la industria, mientras se realiza la adquisición de

datos, o periódicamente se puede enviar los datos a correos electrónicos. También se puede configurar para que los datos almacenados y los reportes de los análisis estén disponibles en una página Web, que los presente al personal autorizado mediante una clave de ingreso.

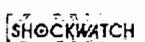
Por ejemplo en una aplicación de distribución de *data logging*, se tiene que cada nodo de un sistema de adquisición de datos puede publicar los datos medidos en la red, y una computadora principal almacena los datos publicados para tener un registro de todos los nodos, realizar análisis de los datos almacenados y generar reportes de los resultados.

1.3 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS COMERCIALES

En la actualidad existen centenares de fabricantes de sistemas de adquisición de datos, y cada uno de estos ofrece diferentes categorías de productos en tarjetas de adquisición de datos DAQ y en *data loggers*.

Comercialmente se dispone de cientos de sistemas de adquisición de datos diseñados para aplicaciones como medición de temperatura, de humedad, registro de parámetros operativos de un vehículo, etc, y de equipos electrónicos diseñados para interconectarse con un gran sistema de adquisición de datos.

En la tabla 1.2 se presenta una lista de tarjetas de adquisición de datos, módulos y registradores de datos. *National Instruments* es la empresa fabricante de plataformas para adquisición de datos que ofrece la mayor cantidad de recursos de hardware y de software, se puede escoger entre una extensa gama de productos para tarjetas de adquisición de datos, desde tarjetas de pocos canales hasta tarjetas con cientos de canales.

| Tarjetas de adquisición de datos, módulos y registradores de datos | | | |
|---|--|---|----------------------|
|  | Tarjetas de adquisición de datos series M |  | National Instruments |
|  | Data logger USB |  | National Instruments |
|  | Plataforma para data loggers industrial basado en PCI |  | National Instruments |
|  | Tarjeta de adquisición de datos en bus PCI |  | ADVANTECH |
|  | Tarjeta de adquisición de datos en bus PCI |  | CONTEC |
|  | Tarjeta de adquisición de datos en PCI/ISA/PCMCIA |  | Keithley Instruments |
|  | Tarjetas de adquisición de datos y de control |  | AXIOMTEK |
|  | Tarjeta de adquisición de datos en bus PCI |  | Kontron |
|  | Registradores de datos para temperatura y humedad |  | KIMO |
|  | Registradores de datos para temperatura y humedad |  | Rotronic |
|  | Registradores de datos para temperatura y humedad |  | SHOCKWATCH |
|  | Registradores de datos para temperatura y humedad |  | ELPRO |
|  | Registradores de datos para temperatura, humedad y tensión |  | Eltex |
|  | Registradores de datos para temperatura y humedad |  | HIOKI |
|  | Registradores de datos para temperatura y humedad |  | Hart Scientific |

| Tarjetas de adquisición de datos, módulos y registradores de datos | | | |
|---|---|---|---------------------------------|
|  | Sistemas de adquisición de datos |  | Campbell Scientific Europe |
|  | Sistemas de adquisición de datos |  | Edaq |
|  | Sistemas de adquisición de datos |  | Parr Instrument |
|  | Sistemas de adquisición de datos |  | RESATO High pressure technology |
|  | Sistemas de adquisición de datos multivías |  | STL Systemtechnik |
|  | Sistemas de adquisición de datos para temperatura |  | Datapaq |
|  | Sistemas de adquisición y grabación de datos |  | YOKOGAWA Europe |
|  | Sistemas de adquisición y grabación de datos |  | Geosignal |
|  | Centrales de medición y adquisición de datos |  | AHLBORN |
|  | Módulos de adquisición de datos |  | DORIC |
|  | Módulos de adquisición de datos |  | Fideris |
|  | Registradores de datos |  | MARPOSS |
|  | Registradores de datos |  | Campbell Scientific Europe |
|  | Registradores de datos |  | Nokeval |
|  | Registradores de datos autónomos |  | ELPRO |
|  | Registradores de datos autónomos |  | Geosignal |

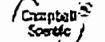
| Tarjetas de adquisición de datos, módulos y registradores de datos | | | |
|---|---|---|----------------------------|
|  | Registradores de datos inteligentes para todo tipo de señal |  | Gantner Electronic |
|  | Registradores de datos multivias |  | Campbell Scientific Europe |

Tabla 1.2 Lista de fabricantes de DAQs y módulos de adquisición de datos.

1.3.1 TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS COMERCIALES

Las características de las tarjetas de adquisición de datos varían en los recursos de entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales, salidas digitales, contadores, medio de comunicación con el computador y en la velocidad de muestreo. Actualmente no se fabrican tarjetas de adquisición de datos que dispongan de comunicación infrarroja con el computador. A continuación se presentan como ejemplos las características técnicas de algunas tarjetas de adquisición de datos comerciales de *National Instruments*.

1.3.1.1 Tarjetas de adquisición de datos Multifunción series M

La figura 1.11 presenta la foto de tarjetas de adquisición de datos de las series M de *National Instruments*.

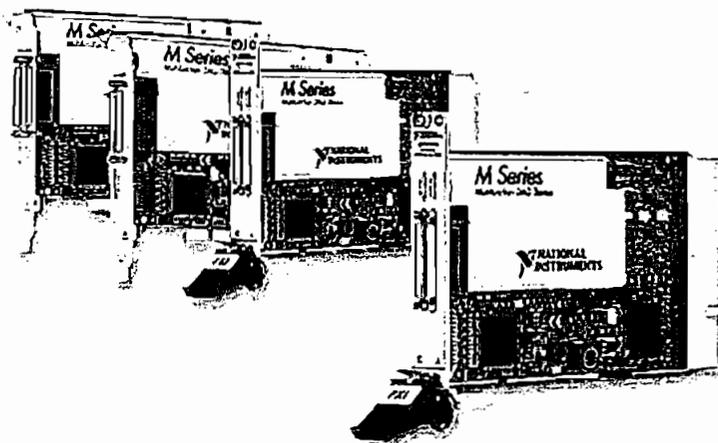


Figura 1.11 Tarjetas multifunción de las series M de *National Instruments*

Las tarjetas de adquisición de datos series M se dividen en tres categorías:

- DAQ de bajo costo con 16 bits de resolución y 250 KS/seg.
- DAQ de alta velocidad con 16 bits de resolución y 1.25 MS/seg
- DAQ de Alta precisión con 18 bits de resolución y 625 KS/seg.

Las características técnicas generales de las tarjetas DAQ de las series M varían en cada clase de tarjeta DAQ, pero en general tienen las siguientes especificaciones técnicas:

- Resolución de 16 bits o 18 bits, una tasa de muestreo de hasta 1.25 MS/seg. Máximo ochenta entradas analógicas.
- Dos temporizadores-contadores de 32 bits, de 80 MHz
- Alto rendimiento de los controladores de software NI-DAQmx y adicionales servicios de medición.
- Hasta 48 líneas de entrada-salida TTL/CMOS.
- Tecnología de calibración NI-MCal para mejorar la precisión de la medida.
- Hasta cuatro salidas analógicas con 16 bits de resolución, y 2.8 MS/seg (2 us configurado al máximo).
- Herramientas de software para medida incluyendo NI-DAQmx y el software de registro de datos VI Logger Lite.
- Filtro pasa bajos con una frecuencia de corte de 40 KHz.

1.3.1.2 Tarjetas de adquisición de datos Multifunción series E

La figura 1.12 presenta la foto de una tarjeta de adquisición de datos multifunción de las series E de *National Instruments*. Las características técnicas generales de las tarjetas de adquisición de datos series E de *National Instruments* son:

- Sistemas de medida personalizados con mediciones sincronizadas.
- Entradas y salidas analógicas. Máximo 64 entradas analógicas.
- Líneas digitales de entrada-salida TTL, dos contadores-temporizadores de 24 bits. Disponible para bus PCI, PCMCIA, e ISA.

- Utilidades de medida NI-DAQ para configuración.
- Integración superior: LabView, CVI, *Measurement Studio* para *Visual Basic* y *Visual Studio .Net*
- Disparador de entradas analógicas y digitales.
- Varias resoluciones y tasas de muestreo: 16 bits y 333 KS/seg, 16 bits y 20 KS/seg, 16 bits y 200 KS/seg, 16 bits y 100 KS/seg, 12 bits y 1.25 MS/seg, 12 bits y 250 KS/seg, 12 bits y 100 KS/seg, 12 bits y 200 KS/seg,

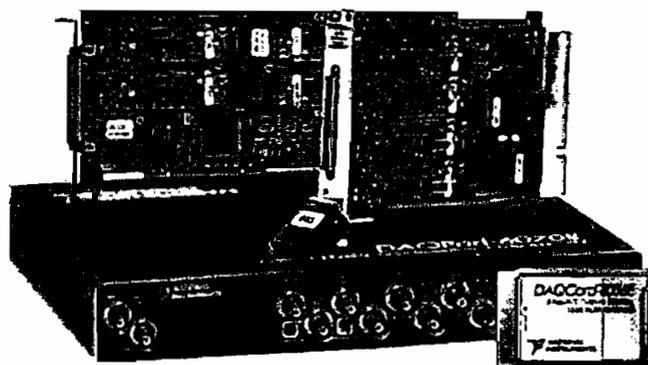


Figura 1.12 Tarjeta de adquisición de datos multifunción de las series E.

1.3.1.3 Tarjetas de adquisición de datos Multifunción series S

Las características técnicas generales de las tarjetas de adquisición de datos series S de National Instruments son:

- 12, 14 y 16 bits de resolución
- 8 muestreos simultáneos de las entradas analógicas.
- Integración superior con LabView, CVI, *Measurement Studio* para *Visual Basic* y *Visual Studio .Net*.
- Controladores de software NI-DAQ que simplifica la configuración y medida.
- Alta velocidad de las entradas-salidas digitales
- Hasta dos salidas analógicas de 16 bits y 4 MS/seg.
- Hasta dos contadores de 24 bits.
- Varias resoluciones y tasas de muestreo: 12 bits y 10 MS/seg, 12 bits y 5 MS/seg, 16 bits y 1 MS/seg, 16 bits y 250 KS/seg, 14 bits y 3 MS/seg, 16 bits y 500 KS/seg.

La figura 1.13 presenta la foto de una tarjeta de adquisición de datos multifunción de las series S de National Instruments.

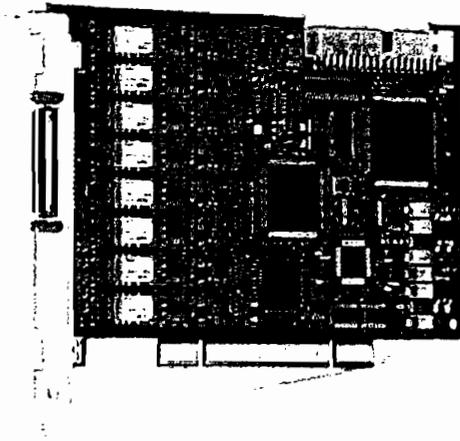


Figura 1.13 Tarjeta de adquisición de datos multifunción de las series S.

1.3.1.4 Tarjetas de adquisición de datos Multifunción series B

La figura 1.14 presenta la foto de las tarjetas de adquisición de datos series B de National Instruments. Las características generales son:



Figura 1.14 Tarjeta de adquisición de datos multifunción de las series B.

- Bajo costo, 200 KS/seg, 16 bits, 16 entradas analógicas para bus PCI.
- Hasta dos salidas analógicas de 16 bits.
- 8 líneas digitales de entrada-salida, con dos contadores de 24 bits y disparador digital.

- Controladores de software NI-DAQ que simplifica la configuración y medida.
- Integración superior: LabView, CVI, *Measurement Studio para Visual Basic* y *Visual Studio .Net*

1.3.1.5 Tarjetas de salidas analógicas

Las características técnicas generales de las tarjetas de salidas analógicas de *National Instruments* son:

- Salidas de voltaje y corriente, y sumidero de corriente.
- 12 o 16 bits de resolución.
- Software y utilidades NI-DAQ para configuración.
- 8 o 16 líneas digitales de entrada-salida.
- Hasta 1 MS/s para generación de formas de onda.
- Integración superior: LabView, CVI, *Measurement Studio para Visual Basic* y *Visual Studio .Net*.
- Controladores de software NI-DAQ que simplifica la configuración y medida.

La figura 1.15 presenta la foto de una tarjeta de salidas analógicas de *National Instruments*.

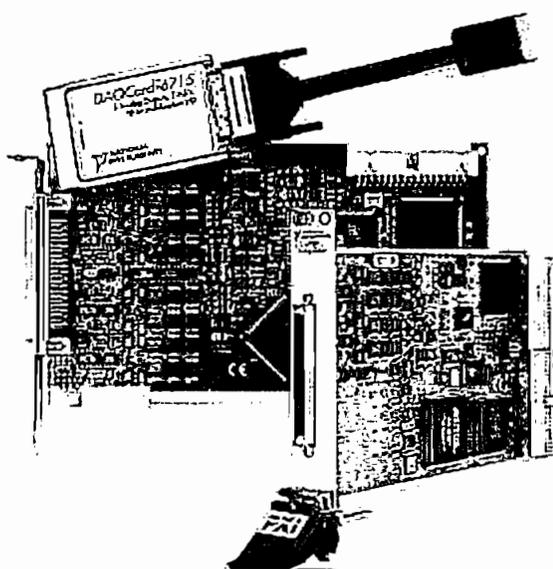


Figura 1.15 Tarjeta de salidas analógicas de *National Instruments*.

1.3.2 DATA LOGGERS COMERCIALES

Los *data loggers* pueden ser diseñados para una aplicación específica como *data loggers* de temperatura, o para un sistema de adquisición de datos que pueda recibir cualquier tipo de entrada analógica y digital acondicionada. Existen variedad de *data loggers* comerciales que se diferencian en el número de canales de entrada, la interfaz de usuario para configuración, los medios de comunicación con el computador y el dispositivo de almacenamiento de datos, como memorias no volátiles. Se dispone de *data loggers* que se comunican con el computador, a través del bus USB, puerto paralelo, puerto serial, y actualmente se está implementando la comunicación infrarroja. A continuación se presenta ejemplos de algunos de *data loggers* comerciales.

1.3.2.1 Data logger NI-USB-9211 de National Instruments

La figura 1.16 presenta una foto del *data logger* NI-USB-9211 de National Instruments

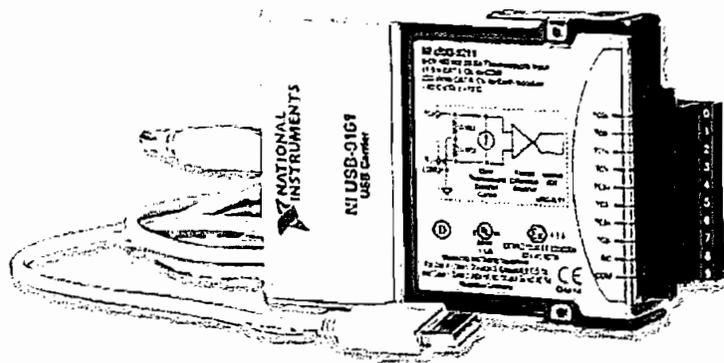


Figura 1.16 *Data logger* NI-USB-9211 de National Instruments.

- 24 bits, hasta 12 lecturas por segundo.
- Entradas de termocupla.
- Conectividad plug-and-play de bus USB.
- Controladores de software para Windows, Mac OS X, y Linux.
- Fuente de poder portátil

- Software *data logger* listo para ejecutar.
- Cuatro canales de entrada aislados para termocuplas.

El *data logger* NI USB-9211 es diseñado para mediciones con termocuplas, tiene convertidores analógicos a digitales con una resolución de 24 bits. El NI USB-9211 dispone de una aplicación de software listo para ejecutar, que adquiere y graba los datos de las mediciones hechas por las termocuplas. Este *data logger* tiene incluido controladores de software para desarrollar aplicaciones personalizadas en Labview.

1.3.2.2 Data logger LSB36II de Linseis Internacional

- Almacena datos en un disquete, dispone de LCD y teclado.
- Convertidor digital a analógico con interfaz para PC
- Funcionamiento autónomo o con el computador.
- Dispone de 36 canales
- Disquete de 1.44 MB para almacenar aproximadamente 720,000 medidas
- Comunicación RS-232
- Grabación con fecha y hora

La figura 1.17 presenta la foto del data logger LSB36II de *Linseis Internacional*

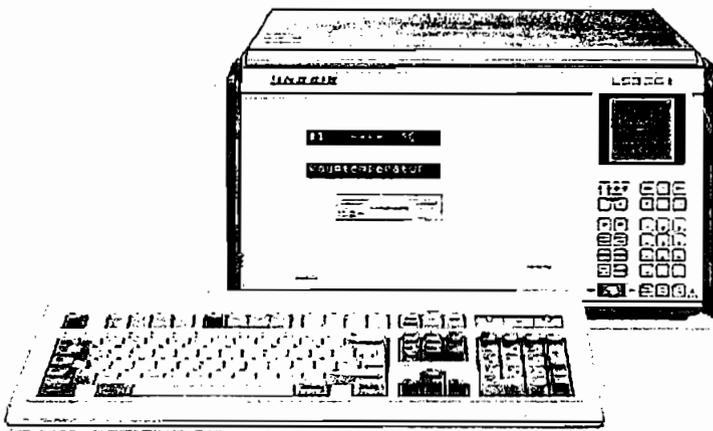


Figura 1.17 Data logger LSB36II de *Linseis Internacional*.

1.3.2.3 Data Logger HI-141 de Hanna Instruments

- El data logger HI-141 puede almacenar hasta 16.000 muestras de temperatura en su memoria.
- Se puede configurar el intervalo de mediciones desde una vez por segundo hasta cada 24 horas.
- Todos los datos registrados quedan organizados en lotes numerados.
- El alojamiento es impermeable.
- Se alimenta mediante batería de litio de larga duración. Se estima una duración de 4 años a intervalos de medición y registro de 1 minuto.
- El usuario programa y transfiere los datos del registrador de temperatura mediante un transmisor de infrarrojos y el software para Windows.
- El HI-141 tiene una pantalla LCD que indica la temperatura actual.

El rango de temperaturas que puede medir es de -20 a 70°C con una resolución de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. El *data logger* HI-141 viene con software de programación y con un transmisor de infrarrojos para comunicación del data logger con el computador. El PC debe tener puerto serie para conexión.

El *data logger* HI-141 es uno de los pocos data loggers comerciales que se comunican con el computador a través de enlace infrarrojo.

En la figura 1.18 se presenta la foto del data logger HI-141.

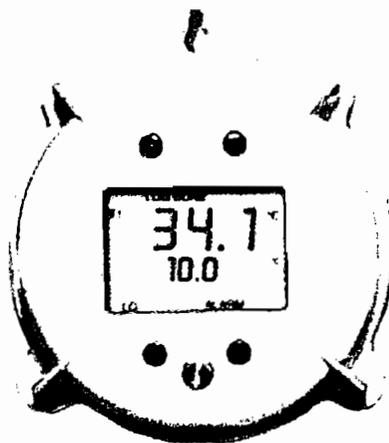


Figura 1.18 Data logger HI-141 de Hanna Instruments.

1.3.2.4 Data Logger GL500 de Western Graphtec

- Pantalla LCD a color de 4.7 pulgadas.
- Ethernet incorporado e interfaz USB 2.0
- Acepta entradas de voltajes y termocuplas.
- 4, 8, o 16 canales (Hasta 8 con aislamiento)
- Niveles de entrada de voltaje: ± 0.1 V a ± 100 V.
- Tipos de termocuplas que acepta: B, R, S, T, N, K, W, E, J.
- Doble velocidad de muestreo, baja y alta velocidad.
- 2 MB de memoria interna estándar.
- Ranura estándar PCM-CIA para memoria flash.
- Tiene una entrada de pulsos y una entrada de disparo.
- Tiene 4 salidas de alarmas.
- Software de configuración, control, transferencia de datos, y conversión a formato ASCII y Excel.
- Alto aislamiento
- Filtros incorporados
- Dimensiones (210 mm x 150 mm x 40 mm)

La figura 1.19 presenta la foto del data logger GL500 de *Western Graphtec*

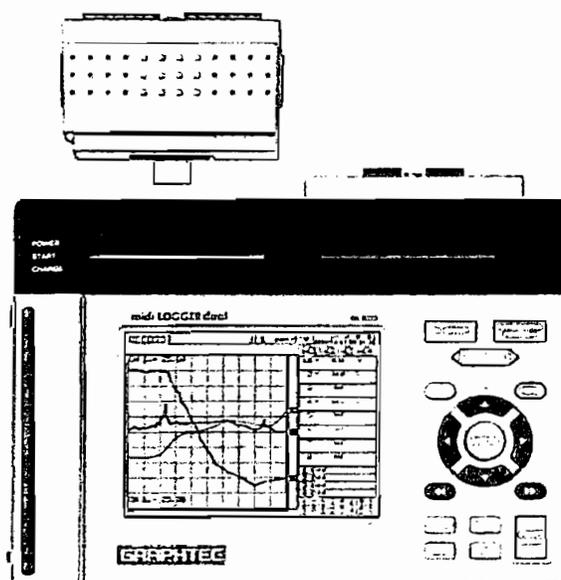


Figura 1.19 Data logger GL500 de *Western Graphtec*

1.3.2.5 Data Logger GL400 de Western Graphtec

- GL400 tiene pantalla LCD a color de 4.7 pulgadas.
 - Ethernet incorporado e interfaz USB.
 - Acepta entradas de voltajes, termocuplas y RTDs.
 - Muestreo más rápido cada 100 milisegundos y más lento cada hora.
 - Incluye 10 canales. Se puede expandir con módulos de 20 y 50 canales.
 - 2 MB de memoria interna estándar
 - Ranura estándar PCM-CIA para memoria flash.
 - Alto aislamiento en las entradas 125 Vrms y 350 Vdc.
 - Tiene una entrada de pulsos y una entrada de disparo.
 - Dimensiones (210 mm x 150 mm x 40 mm)
 - Tipos de termocuplas que acepta: K, J, E, T, R, S, B, N y W.
 - Tipos de RTDs que acepta: Pt100 y JPt100
 - Tiene cuatro canales de entradas lógicas.
- Mediante las tarjetas de memoria flash PCMCIA se puede transferir los datos desde el data logger GL400 al computador. Los datos son normalmente grabados en la memoria interna del data logger.

La figura 1.20 presenta la foto del *data logger* GL400 de *Western Graphtec*.



Figura 1.20 Data loggers GL400 de *Western Graphtec*

1.4 INFRARROJOS

La radiación infrarroja es un tipo de radiación electromagnética comprendida entre la luz visible y las microondas. La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. El rango completo de longitudes de onda forma el espectro electromagnético, del cual la luz visible es un minúsculo intervalo que va desde la longitud de onda correspondiente al violeta hasta la longitud de onda del rojo. La radiación infrarroja es de mayor longitud de onda que la luz visible y menor longitud de onda que las microondas. Por lo tanto los infrarrojos tienen menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. Se denominan infrarrojos ya que su frecuencia está bajo la frecuencia de la luz roja, que es el color de luz de mayor longitud de onda del espectro de luz visible. La tabla 1.3 presenta las longitudes de onda y las frecuencias del espectro electromagnético. La relación entre la longitud de onda λ y la frecuencia f es: $\lambda = \frac{c}{f}$

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío. ($c = 3 \times 10^8$ m/s)

| Espectro electromagnético | Longitud de onda | Frecuencia |
|------------------------------------|------------------|------------|
| Rayos Gamma | < 10 pm | > 30 EHz |
| Rayos X | < 10 nm | > 30 PHz |
| Ultravioleta extremo | < 200 nm | > 1.5 PHz |
| Ultravioleta cercano | < 380 nm | > 789 THz |
| Luz visible | < 780 nm | > 384 THz |
| Infrarrojo cercano | < 2.5 μ m | > 120 THz |
| Infrarrojo medio | < 50 μ m | > 6 THz |
| Infrarrojo lejano o submilimétrico | < 1 mm | > 300 GHz |
| Microondas | < 30 cm | > 1 GHz |
| Ultra alta frecuencia Radio | < 1 m | > 300 MHz |
| Muy alta frecuencia Radio | < 10 m | > 30 MHz |
| Onda corta Radio | < 180 m | > 1.7 MHz |

| Espectro electromagnético | Longitud de onda | Frecuencia |
|---------------------------|------------------|------------|
| Onda Media (AM) Radio | < 650 m | > 650 KHz |
| Onda Larga Radio | < 10 Km | > 30 KHz |
| Muy baja frecuencia Radio | > 10 Km | < 30 KHz |

Tabla 1.3 Longitudes de onda y frecuencias del espectro electromagnético.

A la radiación infrarroja también se le denomina radiación térmica, debido a que los objetos a temperatura normal emiten radiaciones en el rango de los infrarrojos. Esta propiedad de todo objeto, permite que los infrarrojos tengan aplicaciones en equipos de visión nocturna. Los objetos más calientes son los que emiten mayor cantidad de radiación infrarroja. Los infrarrojos también son utilizados para comunicar aparatos electrónicos con el computador, para lo cual deben cumplir con estándares de comunicación publicados por la *Infrared Data Association*. La figura 1.21 presenta una representación gráfica del espectro electromagnético.

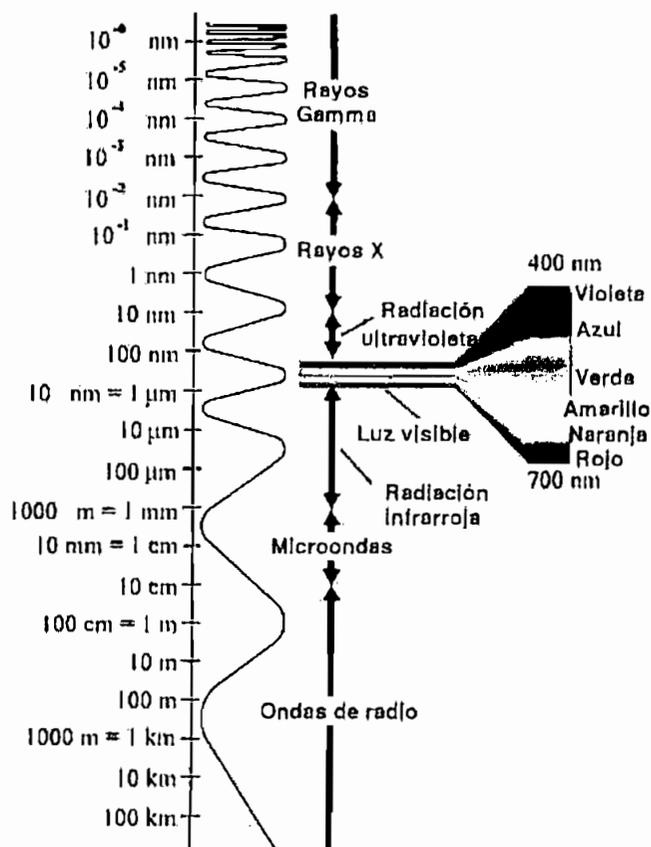


Figura 1.21 Representación gráfica del espectro electromagnético

Los infrarrojos no pueden atravesar objetos, por lo tanto la comunicación inalámbrica del emisor y del receptor de infrarrojos debe estar en línea. En la actualidad varios dispositivos electrónicos se comunican con el computador mediante luz infrarroja, como por ejemplo calculadoras, celulares, agendas electrónicas, diccionarios electrónicos, mouse, teclados, etc. Algunas computadoras portátiles tienen incorporado un puerto de infrarrojos.

1.4.1 TRANSMISIÓN DE DATOS IrDA

Las siglas IrDA son la abreviación de *Infrared Data Association*, la cual es una organización constituida para establecer estándares en las conexiones infrarrojas con el computador. La organización IrDA fue conformada en 1993 para establecer y sustentar estándares de hardware y de software con los cuales crear enlaces de comunicación infrarroja. La norma IrDA para la interconexión de datos infrarrojos seriales punto a punto de bajo costo, baja potencia, y *half-duplex*, para un gran rango de aplicaciones y dispositivos.

La comunicación infrarroja está basada en tecnología similar a la que se usa en los dispositivos de control remoto de televisión, de equipos de sonido, *playstation*, DVDs, etc. Los infrarrojos ofrecen una forma económica y confiable de interconectar dispositivos periféricos con el computador sin el uso de cables. Varios fabricantes de computadoras portátiles y PDAs, tienen incorporado un dispositivo para comunicación infrarroja que cumple los estándares IrDA.

Las especificaciones IrDA han sido extendidas para incluir estándares para comunicaciones a alta velocidad 1.152 Mbits/s y 4 Mbtis/s. La comunicación infrarroja a esta velocidad requiere añadir al computador tarjetas para comunicación infrarroja de alta velocidad. En 1995 algunos fabricantes anunciaron productos con comunicación infrarroja basada en los estándares IrDA, estos productos incluían PCs, PDAs, impresoras, computadoras portátiles, adaptadores, acceso LAN, y software de aplicación. En 1995 la corporación Microsoft añadió al sistema operativo Microsoft Windows 95 conectividad IrDA, con lo cual Windows

puede trabajar con dispositivos periféricos inalámbricos que cumplan el estándar IrDA, por ejemplo teclados, mouses inalámbricos, celulares. Los dispositivos electrónicos infrarrojos IrDA se caracterizan por ser de baja potencia, de bajo costo, y no causan interferencia ya que son de corto alcance. La norma IrDA permite que los equipos electrónicos con enlace infrarrojo, tengan compatibilidad e interoperabilidad entre dispositivos complementarios de diferentes fabricantes, de similar forma, todos los dispositivos periféricos que se comunican con el computador, deben cumplir con el estándar IrDA de hardware y de software.

1.4.2 TRANSMISIÓN DE DATOS COMPATIBLE CON IrDA

La transmisión de datos serial infrarroja compatible con IrDA se denomina SIR (serial infrarroja), utiliza el puerto serial RS-232 incorporado en la mayoría de los computadores, y mediante una interfaz de hardware se realiza una reducción de la longitud de los bits de transmisión serial RS-232 a un máximo de 3/16 de la longitud original de cada bit, para ahorrar potencia, con lo cual se obtiene un formato de pulsos que es entregado a un diodo emisor de infrarrojos, el cual transmite la señal óptica al receptor de infrarrojos.

La transmisión serial infrarroja SIR soporta velocidades de hasta 115.2 Kbits/s, la cual es la máxima velocidad de una UART estándar. La mínima velocidad de transmisión de datos con IrDA es de 2.4 Kbits/seg. Generalmente las transmisiones se inician a una tasa de transferencia de 9.6 Kbits/seg para habilitar la compatibilidad, luego de que se establezca el enlace se puede aumentar la velocidad, calibrando los puertos de comunicación.

Para velocidades de comunicación más altas de hasta 1.152 Mbits/seg, se requiere de interfaces especiales, que reducen la longitud de los bits al igual que en el caso de la transmisión SIR, pero con una reducción de pulsos de ¼ de la longitud original del pulso. La tasa de transferencia de 4 MB/seg se denominada FIR (Fasta infrared) y opera con pulsos de 125 ns.

Los transceptores ópticos tienen niveles de sensibilidad diseñada para detectar los datos en un ángulo de ± 15 grados, y solo se establece comunicación punto a punto, a una distancia de por lo menos 1 metro. El detector de infrarrojos, recibe la señal, la convierte en pulsos seriales y la entrega al puerto serial. La comunicación infrarroja se realiza solo en modo *half-duplex*, lo cual significa que se puede transmitir en una sola dirección a la vez.

Para frecuencias de hasta 115.2 Kbits/s, la mínima intensidad de salida está definida a 40 mW/sr. Para velocidades más altas, la mínima intensidad de salida es de 100 mW/sr. La sensibilidad umbral para transmisión SIR es de 40 mW/m², mientras que para transmisión FIR es de 100 mW/m². La longitud de onda utilizada por el estándar IrDA está entre 850 nm y 900 nm. La figura 1.22 presenta un diagrama de bloques que indica las etapas en la transmisión y recepción de datos IrDA SIR. Hay varios fabricantes de elementos de hardware para la transmisión SIR, por ejemplo para transceptores ópticos se dispone de Sharp, Vishay, Telefunken, en cuanto a codificadores-decodificadores IrDA SIR se tiene fabricantes como Microchip y Vishay.

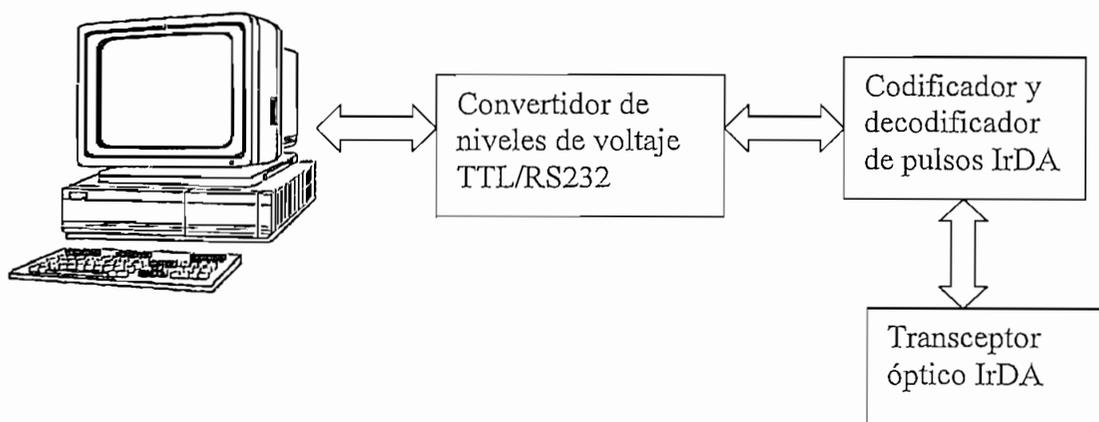


Figura 1.22 Diagrama de bloques de la comunicación SIR-IrDA

En 1997 fue creado un estándar IrDA adicional para aplicaciones de control, llamado estándar IrControl. La tasa de transferencia establecida en IrControl es de 72 Kbits/seg. Este sistema de transmisión tiene problemas de compatibilidad con el estándar IrDA SIR y FIR, una de las desventajas es que el circuito detector es diferente del que se utiliza en SIR y FIR, por lo que las aplicaciones que usan

IrControl y SIR son más caras ya que requieren incorporar dos tecnologías de hardware.

1.4.3 ESTÁNDAR IrDA DE LA CAPA FÍSICA

El estándar de la capa física comprende la definición de las características de hardware de los transceptores. En la comunicación IrDA SIR, los datos son representados por pulsos ópticos entre $1.6 \mu\text{s}$ y $3/16$ de la longitud de cada bit de datos seriales RS232. La reducción del pulso de cada bit también es aplicado en velocidades más altas, de hasta 1.152 Mbits/seg.

Las especificaciones de la norma IrDA para la capa física facilitan la comunicación entre dispositivos electrónicos, como los periféricos y el computador. La comunicación se realiza mediante enlace serial *half duplex*, a través del espacio. Mediante esta norma se tiene especificaciones para el enlace infrarrojo para velocidades de hasta 4 Mbits/seg. El enlace serial IrDA permite utilizar dispositivos optoelectrónicos de bajo costo diseñados para comunicación entre dos dispositivos a una distancia que está entre 0 y por lo menos 1 metro. Los dos dispositivos deben estar en línea de vista. El interfaz óptico es independiente de la tecnología utilizada para el enlace.

En la norma IrDA de la capa física se define algunos términos técnicos que regularmente se usan en la descripción de las especificaciones. Estas definiciones están divididas tres grupos: Definiciones de enlace, Definiciones de interfaz de salida activa y Definiciones de interfaz de entrada activa.

1.4.3.1 Definiciones de enlace

BER: (Bit error ratio): Es el número de errores dividido por el número total de bits, es una probabilidad generalmente muy pequeña, y normalmente expresada como una potencia negativa de 10, por ejemplo 10^{-8} .

Rango angular: Es descrito por un sistema de coordenadas esféricas, cuyo eje es normal a la superficie de emisión y recepción del puerto óptico y corta al puerto óptico en el centro, el rango angular es un cono cuya cúspide es la intersección del eje óptico y el plano de interfaz óptico.

Angulo mitad: Se mide en grados y es la mitad del ángulo del cono cuya cúspide está en el centro del puerto óptico y cuyo eje es normal a la superficie del puerto. El ángulo mitad tiene un valor que es determinado por el ángulo mínimo desde la normal hasta la superficie donde se encuentra la intensidad mínima en el rango angular. La subtensión angular es el ángulo desde el emisor o receptor que cubre una distancia especificada. La figura 1.23 presenta la geometría del puerto óptico.

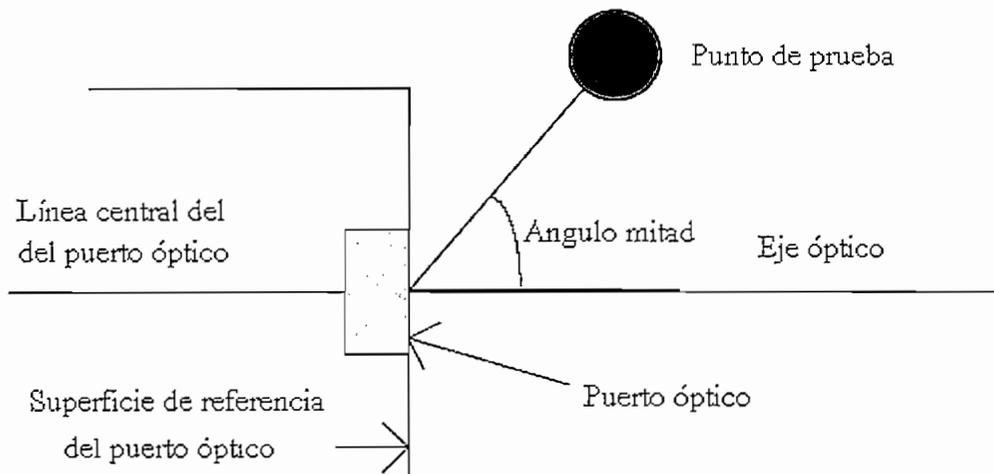


Figura 1.23 Geometría del puerto óptico

1.4.3.2 Definiciones de interfaz de salida activa

Intensidad máxima en el rango angular: Es la máxima intensidad permitida de la fuente de emisión dentro del rango angular. Define la máxima potencia por unidad de ángulo entero, se mide en miliwatts por sterradianes (mW/sr).

Intensidad mínima en rango angular: Es la mínima intensidad permitida de la fuente de emisión dentro del rango angular, define la mínima potencia por unidad de ángulo entero, en miliwatts o microwatts por sterradianes (mW/sr).

Tiempo de subida T_r , 10-90%: Es el intervalo de tiempo en el cual el pulso sube desde el 10% al 90% de su valor total, se mide en ms o ns.

Tiempo de bajada T_f , 90-10%: Es el intervalo de tiempo en el cual el pulso baja desde el 90% al 10% de su valor total, se mide en ms o ns.

Sobrepico óptico: Es el nivel pico de la señal óptica arriba de su valor máximo en estado estable menos el valor máximo de dicha señal en estado estable, se expresa como porcentaje del máximo valor de la señal en estado estable.

Tasa de transferencia: Es la velocidad a la cual la señal es enviada al receptor, se mide en kilobits por segundo o megabits por segundo.

Duración del pulso: Es la duración del pulso óptico medido entre el 50% de los puntos de amplitud dividido por la duración del bit o del símbolo de periodo según el esquema de modulación, se expresa como un porcentaje. Este parámetro es usado en el factor de conversión entre las medidas de potencia pico y potencia media. La figura 1.24 presenta gráficamente las definiciones de tiempo de subida, tiempo de bajada, sobrepico óptico y duración del pulso.

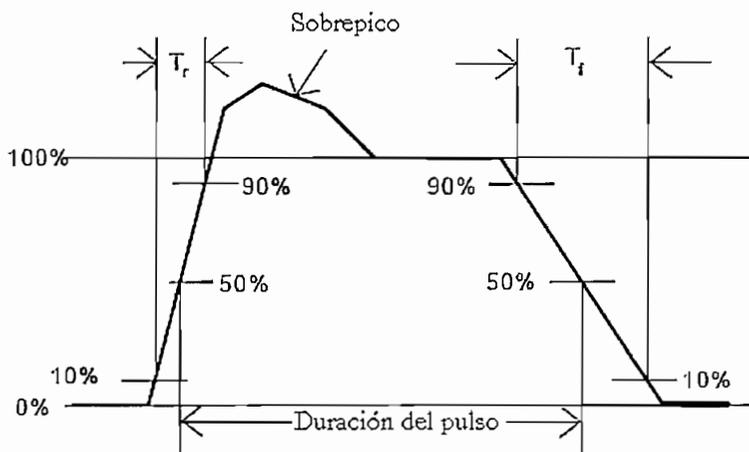


Figura 1.24 Definición de parámetros de un pulso

Fluctuación de borde: Para velocidades de hasta 115.2 Kb/s, es la máxima desviación entre el primer borde del pulso óptico y el borde de una señal de referencia. La señal de referencia puede ser el borde del primer pulso del byte, es

decir el bit de inicio. Usando la tasa de transferencia nominal, el tiempo de llegada de cada pulso de un byte puede predecirse. El margen de fluctuación define la máxima desviación de la llegada del borde de un pulso comparada con el valor de referencia. Se expresa en porcentaje de la duración de un bit. Esta definición solo se aplica para velocidades de hasta 115.2 Kb/s. En la figura 1.25 se indica el margen de fluctuación.

Longitud de onda pico: Longitud de onda en la cual la intensidad de salida de la fuente tiene su valor máximo.

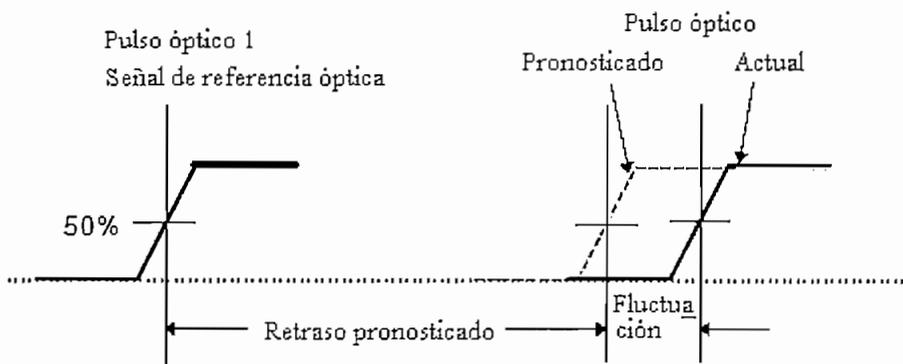


Figura 1.25 Fluctuación de borde

1.4.3.3 Definiciones de interfaz de entrada activa

Irradiación máxima en rango angular: Potencia por unidad de área, se mide en mW/cm^2 . Se tiene esta condición de funcionamiento cuando la potencia óptica entregada al detector por una fuente, operando a la máxima intensidad en el rango angular en la mínima longitud de enlace no causa distorsión, ni errores de enlace y el receptor tiene el radio de error por bit (BER) de la especificación.

Irradiación mínima en el rango angular: Potencia por unidad de área, se mide en mW/cm^2 . Se tiene esta condición de funcionamiento cuando el receptor se encuentra dentro de la especificación de radio de error por bit BER trabajando con la intensidad mínima en el rango angular, en el rango mínimo de ángulo mitad y con la máxima longitud de enlace.

Angulo mitad: Se mide en grados y es la mitad del ángulo del cono cuya cúspide está en el centro del puerto óptico y cuyo eje es normal a la superficie del puerto. El receptor debe operar en la irradiación mínima en el rango angular desde cero grados hasta por lo menos el mínimo valor de rango angular.

Latencia del receptor permitida: Es el máximo tiempo después de que un nodo cesa de transmitir antes de que el nodo receptor recupere su sensibilidad especificada. Se mide en milisegundos o microsegundos.

Fluctuación de borde: Esta definición es similar a la descrita en las definiciones de interfaz de salida activa. El receptor debe permitir que el enlace funcione dentro de la especificación del radio de error por bit para todas las combinaciones posibles de la interfaz de la especificación de salida, excepto para códigos no permitidos.

1.4.4 DESCRIPCIÓN DEL ESTÁNDAR IrDA DE LA CAPA FÍSICA

Para mantener una precisión que esté dentro del radio de error por bit, la longitud del enlace infrarrojo debe estar entre 0 y 1 metro. El hardware para enlace infrarrojo debe trabajar a la temperatura especificada por el fabricante.

Para velocidades de hasta 1.152 Mb/s, se utiliza modulación RZI. Un cero lógico es representado por un pulso de luz. Para tasas de transferencia de hasta 115.2 KB/s, la duración del pulso óptico es de $\frac{3}{16}$ de la duración de un bit. Para velocidades de 0.576 Mb/s y 1.152 Mb/s, la duración del pulso óptico es nominalmente de $\frac{1}{4}$ de la duración de un bit.

Para 4.0 Mbits/seg, el esquema de modulación que se utiliza se denomina 4PPM (*Four Pulse Position Modulation*). Un par de bits son tomados juntos y llamados dato símbolo, el cual es dividido en 4 partes, solo una de las cuales contiene un pulso óptico. Para 4.0 Mbits/seg, la duración nominal del pulso es 125 ns. Un uno lógico es representado por un pulso de luz.

1.4.4.1 Especificaciones de enlace

Hay dos diferentes conjuntos de especificaciones transmisor-receptor. El primero, denominado Estándar es para enlaces infrarrojos cuya distancia está comprendida desde 0 hasta por lo menos 1 metro, y el segundo conjunto de especificaciones denominado Opción de baja potencia, tiene rangos de operación más corto y está definido sólo hasta 115.2 KB/s. En base a los conjuntos de especificaciones se tiene tres posibilidades de enlaces: Opción de baja potencia a opción de baja potencia, estándar a opción de baja potencia y estándar a estándar. La distancia de enlace es medida entre las superficies de referencia óptica. La tabla 1.4 se presenta las especificaciones de distancia de enlace.

| | Baja potencia - Baja potencia | Estándar - Baja potencia | Estándar - Estándar |
|--|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Límite inferior de la distancia de enlace (m) | 0 | 0 | 0 |
| Límite superior de la distancia de enlace mínima (m) | 0.2 | 0.3 | 1.0 |

Tabla 1.4 Especificaciones de distancia de enlace infrarrojo.

El radio de error por bit (BER) no debe ser mayor que 10^{-8} . El enlace infrarrojo debe operar todo el tiempo en el rango de radio de error por bit especificado.

Tasa de transferencia: La interfaz serial infrarroja IrDA SIR puede operar desde 9.6 KB/seg hasta 115.2 KB/seg. Como se indica en la tabla 1.5 todas las tasas de transferencia desde 2.4 KB/s hasta 115.2 KB/s tienen la misma duración mínima de un pulso. La especificación permite una duración mínima de pulso para la tasa de transferencia de 115.2 KB/s de $1.63 \mu\text{s}$ menos $0.22 \mu\text{s}$ de tolerancia, que da $0.41 \mu\text{s}$. La duración máxima de un pulso es de $3/16$ del bit de duración, más una tolerancia del 2.5 % de la duración de un bit.

| Tasa de transferencia | Modulación | Tolerancia | Duración mínima de los pulsos | Duración nominal de los pulsos | Duración máxima de los pulsos |
|-----------------------|------------|------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 2.4 KB/s | RZI | ± 0.87 | 1.41 μs | 78.13 μs | 88.55 μs |
| 9.6 KB/s | RZI | ± 0.87 | 1.41 μs | 19.53 μs | 22.13 μs |
| 19.2 KB/s | RZI | ± 0.87 | 1.41 μs | 9.77 μs | 11.07 μs |
| 38.4 KB/s | RZI | ± 0.87 | 1.41 μs | 4.88 μs | 5.96 μs |
| 57.6 KB/s | RZI | ± 0.87 | 1.41 μs | 3.26 μs | 4.34 μs |
| 115.2 KB/s | RZI | ± 0.87 | 1.41 μs | 1.63 μs | 2.23 μs |

Tabla 1.5 Tasas de transferencia y duración de los pulsos.

1.4.4.2 Especificaciones de la interfaz de salida activa

En la interfaz de salida activa una señal infrarroja es emitida. Las especificaciones se presentan en la tabla 1.6.

| Especificación | Tasa de transferencia | Tipo | Mínimo | Máximo |
|---|------------------------------------|--------------------------|--------|--------|
| Longitud de onda pico μm | Todas | Estándar y Baja potencia | 0.85 | 0.90 |
| Máxima intensidad en rango angular mW/sr | Todas | Estándar | - | 500 |
| | | Baja potencia | - | 28.8 |
| Mínima intensidad en rango angular mW/sr | 115.2 KB/s y más bajas velocidades | Estándar | 40 | - |
| | | Baja potencia | 3.6 | - |
| Angulo mitad en grados | Todas | Estándar y Baja potencia | 15 | 30 |

| Especificación | Tasa de transferencia | Tipo | Mínimo | Máximo |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| Tiempo de subida y de bajada en ns | 115.2 KB/s y más bajas velocidades | Estándar y Baja potencia | - | 600 |
| Sobrepico óptico % | Todas | Estándar y Baja potencia | - | 25 |
| Fluctuación de borde % | 115.2 KB/s y más bajas velocidades | Estándar y Baja potencia | - | ± 6.5 |

Tabla 1.6 Especificaciones de la salida activa.

1.4.4.3 Especificaciones de la interfaz de entrada activa

Cuando una señal infrarroja choca con la interfaz de entrada activa, es detectada dependiendo del estado del circuito receptor y del decodificador receptor de infrarrojos. La tabla 1.7 presenta las especificaciones de la interfaz de entrada.

| Especificación | Tasa de transferencia | Tipo | Mínimo | Máximo |
|---|------------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| Irradiación máxima en rango angular mW/cm^2 | Todas | Estándar y Baja potencia | - | 500 |
| Irradiación mínima en rango angular mW/cm^2 | 115.2 KB/s y velocidades más bajas | Estándar | 4.0 | - |
| | | Baja potencia | 9.0 | - |
| Angulo mitad en grados | Todas | Estándar y Baja potencia | 15 | |
| Latencia del receptor permitida ms | Todas | Estándar | - | 10 |
| | | Baja potencia | - | 0.5 |

Tabla 1.7 Especificaciones de la entrada activa

El ángulo mitad no tiene especificación para máximo valor en la interfaz de entrada activa, pero el ángulo mínimo de enlace debe funcionar desde 0 hasta por lo menos 15 grados.

1.4.5 TRANSMISIÓN DE DATOS IrDA SIR

La figura 1.26 presenta los elementos en la comunicación serial infrarroja. La comunicación de la UART (Universal asincrónico receptor transmisor) con el módulo codificador-decodificador de infrarrojos se establece a través de una secuencia de pulsos que tiene el formato asincrónico de comunicación serial un bit de inicio, 8 bits de datos, sin bit de paridad y un bit de parada.

El codificador de infrarrojos convierte el formato serial de la UART en una secuencia de pulsos eléctricos que son enviados al transmisor óptico de infrarrojos. Estos pulsos eléctricos tienen una duración de 3/16 de la duración de un bit. Las señales que recibe el detector óptico de infrarrojos son entregados al decodificador de infrarrojos como pulsos eléctricos, el cual los convierte en formato serial compatible con una UART estándar.

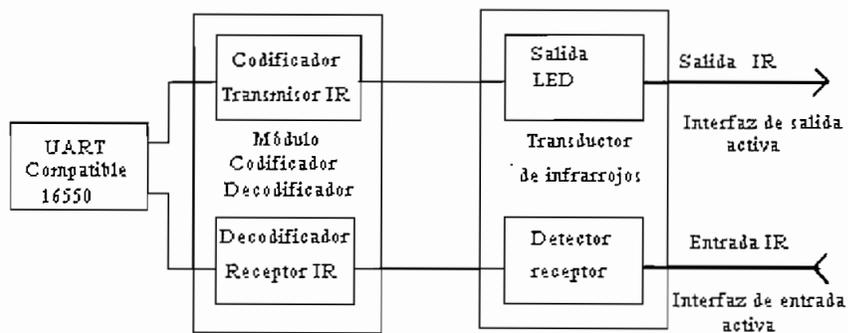


Figura 1.26 Elementos en la comunicación serial infrarroja.

En las transmisiones infrarrojas seriales IrDA SIR, se utiliza el esquema de modulación RZI (Return-to-zero Inverted), el cual representa un cero lógico mediante un pulso y un uno lógico cuando no hay pulso en el tiempo de duración de un bit. La figura 1.27 presenta el diagrama de tiempos de la transmisión IrDA SIR (serial infrarroja).

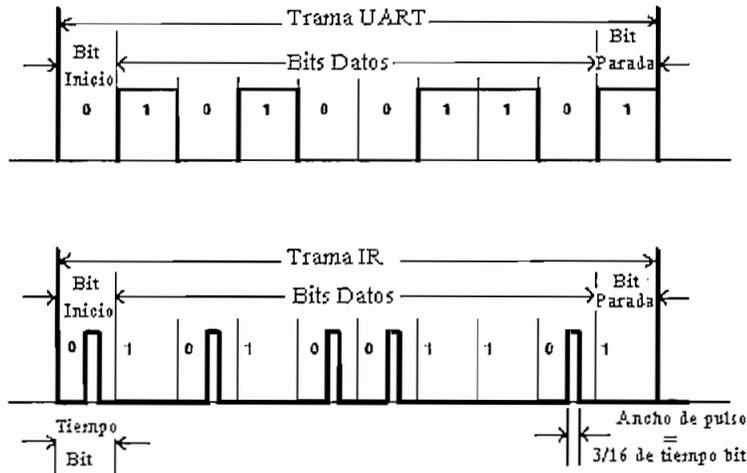


Figura 1.27 Diagrama de tiempos de la transmisión IrDA SIR.

1.5 SOFTWARE PARA DESARROLLO DE APLICACIONES DE CONTROL

El diseño de aplicaciones en el PC para el control de hardware externo requiere que el software de desarrollo disponga de controladores para manejo de puertos de comunicación, como por ejemplo controles para puerto serial o paralelo. Existen varios paquetes para desarrollo de aplicaciones de software que permiten crear interfaces de usuario gráficas, de manera que se pueda representar en el computador los elementos de hardware de un equipo electrónico. Para el caso de los sistemas de adquisición de datos, el paquete de software que se elige para crear la interfaz de usuario debe disponer de los recursos necesarios para controlar y visualizar el funcionamiento del hardware de adquisición de datos. Entre los paquetes de software para aplicaciones de control se encuentran Intouch de Wonderware, Labview de National Instruments, Lookout de National Instruments, los cuales son entornos para desarrollo de software especializados para sistemas de automatización y control. Pero además del software especializado se puede desarrollar aplicaciones de interfaz de usuario con un entorno gráfico en lenguajes de programación como Visual Basic, el cual tiene gran cantidad de recursos para crear aplicaciones en Windows, pero no dispone de controladores para el hardware como los programas para ingeniería de control.

La elección del software adecuado para crear una interfaz de usuario en un proyecto de electrónica, depende de los requerimientos de la aplicación. A continuación se presenta las características principales de cuatro programas para desarrollo de aplicaciones de software para interfaz de usuario en el PC, Visual Basic, Intouch, Lookout, y Labview.

1.5.1 VISUAL BASIC

Visual Basic es un lenguaje de programación visual, lo que significa que combina operaciones gráficas realizadas con el ratón y escritura de código. Visual Basic permite a los programadores realizar aplicaciones de desarrollo para Windows en un tiempo menor que con lenguajes de programación estructurada como lenguaje C. Sus características principales son:

- Puede crear todos los elementos del entorno de Windows, como son ventanas, botones, cajas de diálogo y de texto, botones de opción y selección, barras de desplazamiento, gráficos, menús, etc.
- Permite generar de manera automática, conectividad entre controles y datos mediante la acción de arrastrar y colocar sobre ventanas, que en Visual Basic se denominan formularios. Los formularios contienen los controles, y una aplicación puede tener varios formularios.
- Dispone de un asistente para formularios cuya función es generar de manera automática formularios que administran registros de tablas o consultas pertenecientes a una base de datos y hoja de cálculo.
- Tiene un asistente para barras de herramientas que permite seleccionar los botones que se desea visualizar durante la ejecución.
- En aplicaciones HTML se dispone de instrucciones de Visual Basic y de código HTML para controlar eventos que se realizan en una página Web.

Visual Basic es una alternativa importante para el desarrollo de software en los sistemas operativos de Windows, sobre todo en aplicaciones de informática. Pero para aplicaciones de ingeniería electrónica e instrumentación virtual se requiere que el software de desarrollo pueda controlar dispositivos de hardware y funciones que permitan interactuar con equipos externos al computador, como por ejemplo PLCs, tarjetas de adquisición de datos, microcontroladores, etc.

Visual Basic dispone de un control del puerto serial que puede ser utilizado para la comunicación con otro computador o con dispositivos electrónicos que dispongan de una UART estándar para comunicación serial, como los microcontroladores. Este control de comunicación serial es de gran utilidad cuando se realiza el diseño y construcción de un aparato electrónico. Sin embargo para aplicaciones de control existe software especializado que dispone de gran cantidad de funciones para análisis de datos, control y visualización de procesos y una variedad de protocolos para interfaces de comunicación industrial, que permiten desarrollar aplicaciones de control en corto tiempo lo cual en ingeniería electrónica e instrumentación virtual tiene grandes ventajas sobre Visual Basic.

1.5.2 INTOUCH

Intouch es un software para control y visualización de procesos industriales creado por Wonderware. Intouch dispone de asistentes y representaciones gráficas que permiten crear aplicaciones personalizadas para interfaces hombre-máquina (HMI) con intercambio de datos en tiempo real. Intouch se basa en pantallas de presentación denominadas ventanas que contienen representaciones de una planta industrial. Las características principales son:

- **Manejador de SmartSymbols de Wonderware:** Con esta herramienta de Intouch se crea, desarrolla y modifica elementos gráficos de la aplicación. Se puede crear a partir de elementos gráficos una plantilla que se conecta a variables locales de intouch. Estas plantillas de símbolos son almacenadas en la librería de SmartSymbols para ser utilizados en otra aplicación. Cualquier gráfico de una ventana de Intouch puede ser convertido en un SmartSymbol.

Además las librerías de SmartSymbols pueden exportarse a otras aplicaciones o plantas permitiendo que las industrias puedan estandarizar sus gráficos. Para realizar un cambio de un SmartSymbol en una ventana, simplemente se modifica la plantilla de ese SmartSymbol, con lo cual el cambio se realiza en todas las ventanas donde se encuentre el SmartSymbol que ha sido modificado.

- **Facilidad de uso:** Al utilizar un software HMI para una aplicación industrial, la facilidad de uso ahorra mucho tiempo en desarrollo, pruebas y distribución de la aplicación. Intouch dispone de múltiples herramientas para gráficos, enlaces de comunicación de entrada-salida, y opciones de distribución de aplicaciones que permiten desarrollar aplicaciones en muy corto tiempo. Mediante *Windows Maker*, Intouch permite desarrollar gráficos que representan los procesos de una planta. *Windows Maker* contiene componentes gráficos estándar, imágenes, controles Active X, y *Symbol factory*, la cual es una librería con cientos de imágenes industriales prediseñadas.
- **Arquitectura Flexible:** Intouch permite crear aplicaciones de un solo nodo, que pueden ampliarse a un sistema de cientos de nodos para desarrollo distribuido. Intouch tiene características para desarrollo, manejo y administración de sistemas a gran escala.
- **Aplicaciones Móviles:** Intouch dispone de funciones que le permiten visualizar una aplicación desde múltiples monitores, en terminales remotos, Internet, o dispositivos móviles como PDAs y Tablet PCs. Para visualizar una aplicación desde diferentes dispositivos, se ejecuta Intouch en modo *Terminal Service*. La visualización desde diferentes dispositivos sin requerir cambios adicionales reduce costos de desarrollo.
- **Amplia conectividad:** Intouch puede conectarse con prácticamente todos los dispositivos de control y automatización industrial mediante los cientos de servidores Wonderware diseñados para interconexión con productos de automatización como por ejemplo PLCs.

- Intouch para Tablet PCs: Mediante el uso de Intouch en Tablet PCs se dispone de movilidad a través de una planta manteniendo la visualización y control del proceso industrial. La versión 9 de Intouch soporta el sistema operativo Microsoft XP Tablet PC, y maneja características de las Tablet PCs como el reconocimiento de escritura a mano y rayado sobre pantalla.

Intouch es un software para desarrollo de sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), que consiste en una aplicación de software para control de un proceso industrial. Intouch establece la comunicación entre el computador y dispositivos de campo como PLCs para controlar y visualizar toda la planta industrial. En el caso de aplicaciones de un solo nodo, Intouch posibilita un desarrollo eficiente con el control de todos los recursos de hardware. Por lo tanto Intouch es una alternativa importante en el control de procesos y maquinaria electrónica.

La figura 1.28 presenta una interfaz hombre-máquina creada con Intouch.

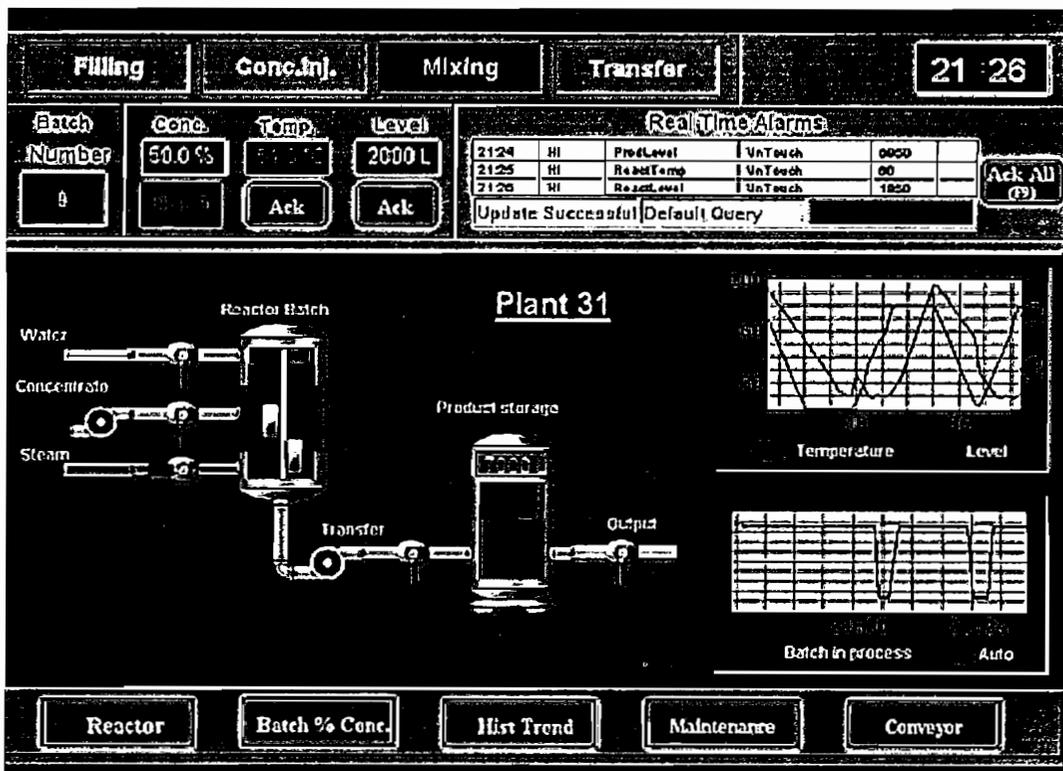


Figura 1.28 Interfaz hombre-máquina (HMI) creada con Intouch.

1.5.3 LOOKOUT

- Lookout de National Instruments es un software para crear aplicaciones de monitoreo y control de procesos. El desarrollo de aplicaciones con Lookout se realiza en poco tiempo, lo cual ahorra el costo del proyecto. La figura 1.29 presenta una interfaz hombre máquina creada con Lookout.

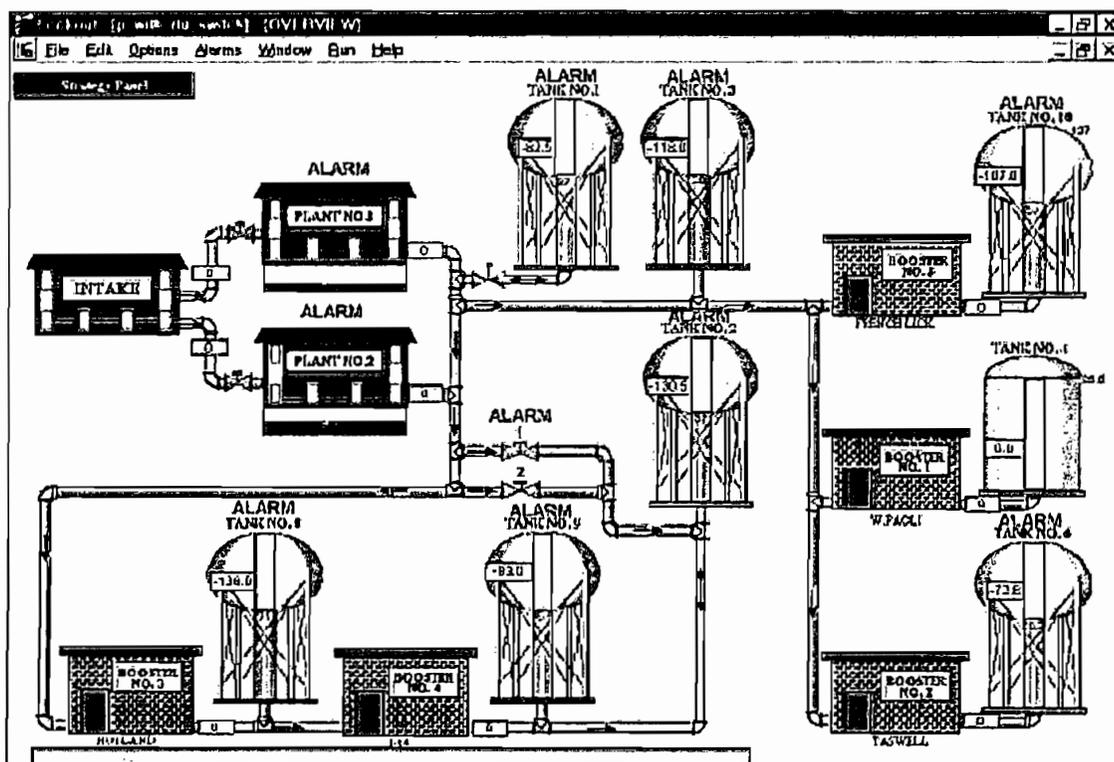


Figura 1.29 Interfaz hombre máquina creada con Lookout.

Las características principales de Lookout son:

- Desempeño confiable para diversas aplicaciones, conectividad abierta, herramientas para manejo de datos, generación de reportes, visualización, supervisión y control, manejo de eventos, configuración en línea, alarmas, seguridad, tendencias y gráficas.
- Arquitectura basada en objetos: Lookout permite desarrollar aplicaciones de monitoreo y control mediante configuración y conexión de objetos.

- Conexiones en red: Dispone de herramientas para conexiones remotas y conexión de múltiples servidores y clientes dentro de la red de una planta.

Conexión con Internet: Se puede monitorear y controlar un proceso usando un explorador de Web como Internet Explorer o Netscape, sin necesidad de programar en HTML o XML, para lo cual se utiliza una función que permite exportar un proceso como página Web.

1.5.4 LABVIEW

Labview es un lenguaje programación gráfico creado por National Instruments, que utiliza símbolos gráficos en lugar de las líneas de texto de los lenguajes de programación estructurada. La ejecución de un programa creado con Labview se basa en el flujo de datos. Labview permite crear una interfaz de usuario mediante un conjunto de herramientas y objetos, la interfaz de usuario en Labview es conocida como panel frontal. El código de programación gráfico se desarrolla en una ventana denominada diagrama de bloques en la cual hay elementos asociados a los del panel frontal. Se puede adquirir en National Instruments herramientas de software complementarias para el desarrollo de aplicaciones en Labview que se integran al paquete de software en forma transparente para el usuario. Las características principales de Labview son:

- Labview tiene funciones para varios tipos de comunicación con hardware, como GPIB, VXI, RS-232, RS-485 y dispone de herramientas de software para adquisición de datos, visión, y control de dispositivos. Por ejemplo las funciones para la comunicación serial controlan todos los parámetros del puerto serial. National Instruments proporciona controladores y funciones de software en Labview para tarjetas de adquisición de datos.
- Tiene incorporado funciones para conectar la aplicación creada, a Internet usando Labview *web server* y software estándar para redes TCP/IP y Active X.

Mediante la herramienta *Web publishing* se puede crear documentos HTML que contiene imágenes estáticas o animadas del panel frontal. .

- Labview crea aplicaciones compiladas de 32 bits de rápida ejecución para realizar adquisición de datos, pruebas, medidas, y soluciones de control. Se puede crear programas ejecutables autónomos y librerías dinámicas DLL. También dispone de mecanismos para utilizar código externo o software a través de librerías DLL y controles Active X. Permite crear, abrir y modificar el contenido de otros programas de Windows como Microsoft Excel.
- Labview contiene librerías para adquisición, presentación y almacenamiento de datos. Dispone de puntos de interrupción, (breakpoints) ejecución de programa animada, y ejecución del programa paso a paso para depuración.
- Con Labview se puede construir un sistema de medida completo, puede manejar centenares de dispositivos a través de las librerías de instrumentos.

1.5.4.1 Entorno de programación de Labview

Los programas desarrollados en Labview, se denominan instrumentos virtuales o VIs, porque su representación y operación es parecida a la de un instrumento real, como un osciloscopio o un multímetro. Cada instrumento virtual (VI) tiene funciones de entrada y salida de datos, para la interfaz de usuario, presentación de indicadores y configuración de controles. Un instrumento virtual está conformado por tres componentes principales: Panel frontal, Diagrama de bloques y conector. El panel frontal contiene la interfaz de usuario, el diagrama de bloques contiene el código fuente del programa que define la funcionalidad del instrumento virtual y el conector sirve para identificar el VI para que pueda ser usado en otro VI. Un conector creado en un Instrumento virtual, se lo representa mediante un bloque que contiene las entradas y salidas del programa y cuando este programa es llamado dentro de otro VI, se lo denomina subVI. Un subVI es análogo a una subrutina en lenguaje de programación basado en texto.

En la figura 1.30 se presenta un osciloscopio creado en el panel frontal de Labview, que contiene varios controles y un indicador gráfico. El panel frontal es la interfaz de usuario de un instrumento virtual que se construye utilizando controles e indicadores. Los controles corresponden a las entradas de un instrumento virtual, y los indicadores son las salidas. Se dispone de controles numéricos, booleanos como los pulsadores e interruptores, cadenas, arreglos, etc. De igual forma los indicadores pueden ser numéricos, booleanos como los leds, cadenas, arreglos, gráficos, etc.

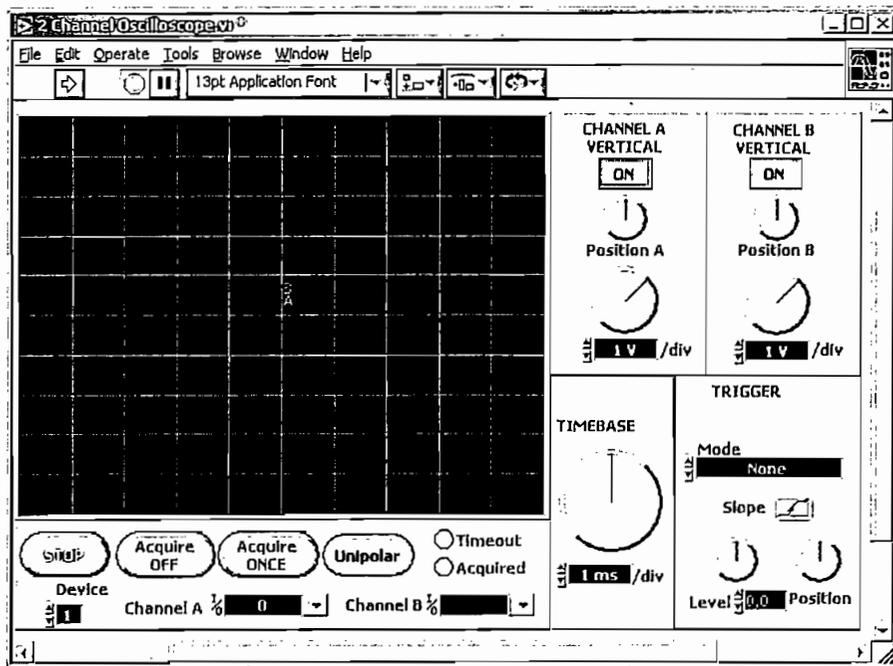


Figura 1.30 Panel Frontal creado en Labview

Los controles funcionan como entradas del instrumento virtual, ingresan datos al diagrama de bloques. Los indicadores funcionan como salidas del instrumento virtual, y presentan los datos generados en el diagrama de bloques. Los indicadores pueden ser creados desde el panel frontal o desde el diagrama de bloques, pero solo se pueden eliminar desde el panel frontal.

El diagrama de bloques contiene el código fuente del programa. Los controladores e indicadores del panel frontal tienen asociado representaciones gráficas con terminales en el diagrama de bloques. Además en el diagrama de bloques se

encuentran las estructuras de programación como lazos while, if, for, case, secuencias y funciones matemáticas y lógicas.

La figura 1.31 presenta el entorno de programación del diagrama de bloques.

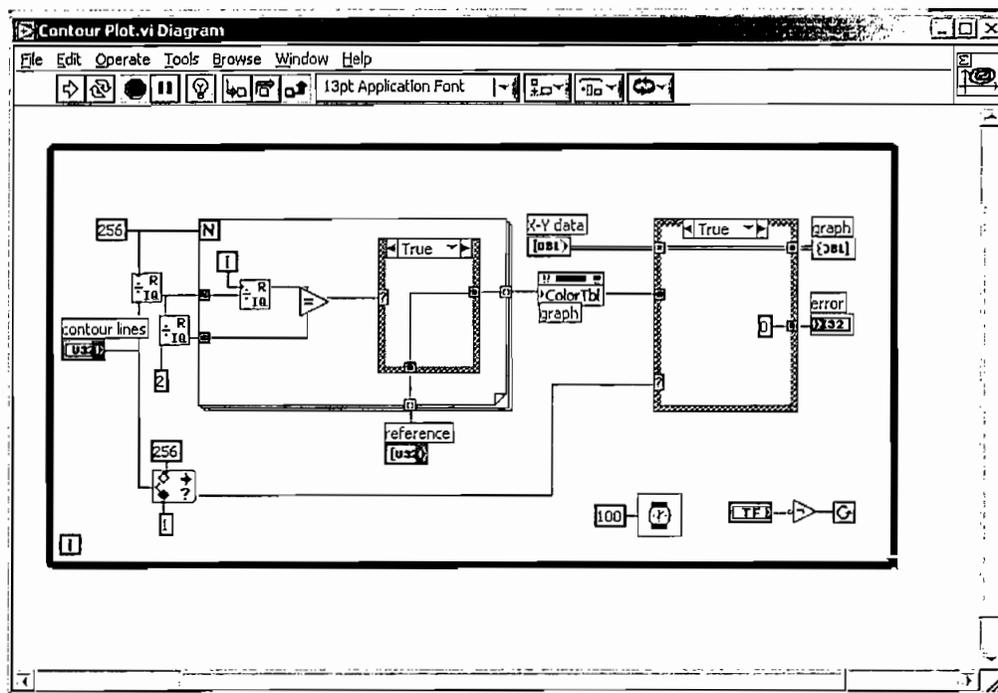


Figura 1.31 Diagrama de bloque de Labview

Labview permite ejecutar la aplicación paso a paso y resaltando con animación gráfica el flujo de datos entre los nodos del programa en el diagrama de bloques, lo cual permite revisar cada subVI de una aplicación.

Paleta de herramientas: Proporciona diferentes funciones al mouse como crear y ✓ modificar texto, enlazar controles e indicadores dentro del diagrama de bloques, mover objetos dentro del panel frontal, cambiar el tamaño de los objetos, cambiar los colores del entorno de interfaz de usuario. La figura 1.32 presenta la papeleta de herramientas.

Paleta de controles: Está disponible solo en el panel frontal, y contiene los controles e indicadores para crear la interfaz de usuario. Los objetos de la papeleta de control se pueden colocar en cualquier posición de la pantalla, y los principales son: Controles e indicadores numéricos, booleanos, cadenas,

directorios (paths), arreglos, agrupamientos (clusters), listas, tablas, gráficos, controles para adquisición de datos, cuadros de diálogo, controles Active X, etc. En la figura 1.33 se presenta la paleta de controles.

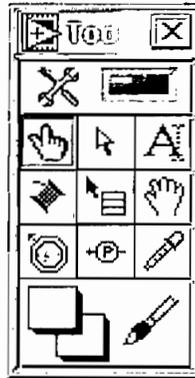


Figura 1.32 Paleta de herramientas.

Paleta de funciones: Está disponible solo en el diagrama de bloques y contiene estructuras de programación, funciones matemáticas y lógicas, instrumentos virtuales (VIs) que son parte del paquete de software Labview, y permite utilizar instrumentos virtuales creados previamente para ser utilizados como subVIs. En la figura 1.34 se presenta la paleta de funciones.

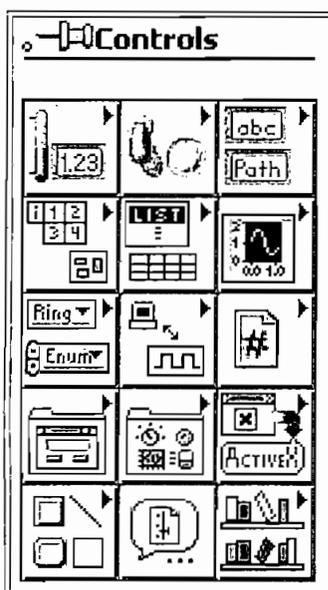


Figura 1.33 Paleta de controles

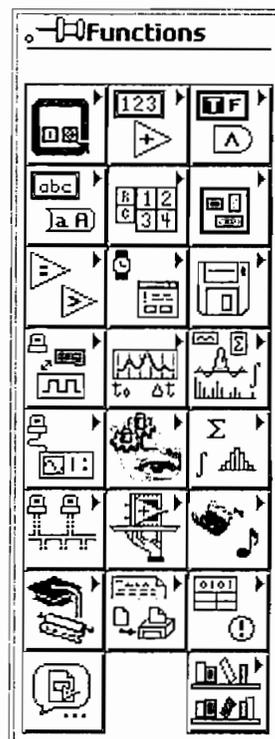


Figura 1.34 Paleta de funciones

Las estructuras para la programación que dispone Labview son lazos while, for, casos, secuencias, variables locales, variables globales, fórmula de nodo, y estructura evento. Dispone de decenas de funciones matemáticas, lógicas, conversiones numéricas, cadenas de caracteres, temporizadores, contadores, funciones para operaciones con arreglos, funciones para controlar puertos de comunicación, funciones para cálculos de probabilidad y estadística, tratamiento de imágenes, lectura y escritura de archivos, etc.

1.6 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- El sistema de adquisición de datos será diseñado y construido para aplicaciones de medición de señales analógicas y digitales de baja velocidad, como por ejemplo entradas analógicas en las cuales se conectan sensores de temperatura, y entradas digitales que pueden leer el estado de sensores de presencia. Además dispondrá de salidas analógicas y digitales para realizar acciones de control. El sistema de adquisición de datos de este proyecto tendrá características de las tarjetas de adquisición de datos y de los módulos data loggers, ya que funcionará en forma autónoma, y con interconexión con el computador. En funcionamiento autónomo los datos adquiridos serán grabados en memoria eeprom, y cuando funcione con interconexión al computador, los datos serán grabados en el disco duro del PC.
- Se diseñará y construirá el módulo de adquisición de datos en base a un microcontrolador, dispondrá de entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales, salidas digitales y leds para indicar el estado de las salidas digitales. Además tendrá memoria eeprom para grabar el estado de las entradas analógicas y digitales cuando funciona en forma autónoma. Dispondrá de una interfaz de usuario que permita visualizar el estado de las entradas y salidas analógicas y digitales. Para esto se utilizará un LCD y pulsadores que permitan seleccionar la visualización de los parámetros de funcionamiento.

- El computador y el módulo de adquisición de datos realizarán la transferencia de información digital mediante comunicación infrarroja. La comunicación infrarroja cuenta con características como alcance restringido, transferencia de datos confiable y no produce interferencia, lo cual es adecuado en esta aplicación. El uso de tecnología para comunicación mediante luz infrarroja se incorpora en varios equipos que requieren interconexión con el computador, por lo que se ha considerado construir este sistema de adquisición de datos mediante luz infrarroja. Para establecer la comunicación infrarroja se construirá dos transceptores de infrarrojos, uno para el módulo de adquisición de datos y otro para el computador.

- Se utilizará un microcontrolador que tendrá funciones como leer el estado de los pulsadores del módulo de adquisición de datos, cambiar los mensajes en el LCD, iniciar la adquisición de datos autónoma, lectura, escritura y borrado de eeprom, calibrar el intervalo de tiempo de muestreo en la adquisición de datos independiente. Estas características del sistema de adquisición de datos que se construirá lo hacen similar a los *data loggers* comerciales.

- Cuando el módulo funciona en comunicación con el computador, todas las operaciones que realiza el módulo de adquisición de datos son controladas desde el computador. El módulo de adquisición de datos realiza la lectura de las entradas analógicas y digitales, o de memoria eeprom cuando recibe la orden del software del computador. Los valores a cargar en las salidas analógicas y digitales serán controlado desde el computador. Tanto en la adquisición de datos autónoma, como cuando el módulo funciona en interconexión con el computador, se dispondrá de mensajes en el LCD que indiquen la función que se ejecuta.

- El software seleccionado para desarrollar la interfaz de usuario en el computador es Labview de National Instruments, por disponer de gran cantidad de funciones para análisis de datos, comunicación serial, grabación de historiales, análisis de tendencias mediante gráficos, controles e indicadores gráficos prediseñados que ahorran mucho tiempo en

programación. Todas estas características lo convierten en la mejor opción para esta aplicación.

- Los datos recibidos desde las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos serán recibidos por el computador y graficados mientras se realiza la recepción. Estos datos también serán grabados en un archivo de texto, el cual podrá ser utilizado para graficarlos nuevamente, o para tener una representación numérica ordenada de los datos de las entradas analógicas. De igual forma, los datos recibidos desde las entradas digitales podrán ser grabados en un archivo de texto y graficados.
- El nivel de voltaje en salidas analógicas del módulo de adquisición de datos será controlado por Labview. El valor de las salidas digitales, y de los leds también se controlará desde Labview.
- La aplicación desarrollada en LabView podrá leer la memoria eeprom del módulo de adquisición de datos y grabar estos datos en un archivo de texto. Los datos recibidos desde eeprom podrán ser representados en forma numérica y gráfica a través del archivo de texto en el cual se graban los datos.

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA

2. DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA

El hardware del sistema de adquisición de datos comprende todos los elementos que integran la tarjeta de adquisición de datos, la tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador y la tarjeta del módulo de señales.

2.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA DEL ADQUISICIÓN DE DATOS

- El sistema de adquisición de datos tendrá ocho entradas analógicas, ocho salidas analógicas, ocho entradas digitales, ocho salidas digitales, ocho leds que indican el estado de las salidas digitales y memoria eeprom.
- Dispondrá de una interfaz de usuario que permita visualizar el estado de las entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales, salidas digitales, y lectura de la memoria eeprom. Para esto se utiliza un LCD y dos pulsadores para seleccionar el parámetro que se desea visualizar.
- La comunicación de la tarjeta de adquisición de datos con el computador se realizará mediante luz infrarroja, para esto se requiere de un transceptor óptico de infrarrojos y de un codificador-decodificador de infrarrojos tanto para la tarjeta de adquisición de datos como para la tarjeta transceptor de infrarrojos de conexión con el computador.
- El sistema tendrá memoria *eeprom*, con lo cual a más de la adquisición de datos en interconexión con el computador; el sistema de adquisición de datos podrá funcionar en forma autónoma, es decir sin conectar al computador; en este caso se podrá almacenar los datos adquiridos desde las entradas analógicas y digitales en la memoria eeprom de la tarjeta de adquisición de datos. Los datos grabados en la memoria eeprom podrán ser transmitidos al computador a través de la comunicación infrarroja.

- Todo el hardware de la tarjeta de adquisición de datos será controlado por un microcontrolador que proporcione convertidores de señales analógicas a digitales y de memoria *eeprom* como recurso interno.

2.1.1 ENTRADAS ANALÓGICAS

Actualmente existen una gran variedad de microcontroladores que tienen conversores analógicos a digitales incluidos dentro del propio microcontrolador, por lo que las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos serán las que tiene el microcontrolador. Los microcontroladores generalmente tienen un convertidor análogo digital y un multiplexor que sirve como canales de entrada.

2.1.2 SALIDAS ANALÓGICAS

El sistema requiere de ocho salidas analógicas, para lo cual se necesita de ocho conversores digital a analógico, que deben ser conectados como periféricos externos al microcontrolador. Los circuitos integrados que contienen convertidores digital a analógico deben comunicarse en forma serial sincrónica con el microcontrolador para optimizar los pines del microcontrolador.

2.1.3 ENTRADAS DIGITALES

Las entradas digitales podrán recibir una señal digital de cero y 5 voltios. A las entradas digitales se puede conectar cualquier tipo de sensor *ON/OFF* que cumpla con la condición anterior. Los datos de las entradas digitales, serán enviados directamente al computador o grabados en memoria *eeprom*.

2.1.4 SALIDAS DIGITALES

Las salidas digitales tendrán niveles de voltaje TTL, y pueden activar cualquier dispositivo *on-off* acondicionado en estos valores digitales. Los estados lógicos de las salidas digitales serán programados por el computador.

2.1.5 LEDES

Indicarán el estado de las salidas digitales. Solo podrán ser activados desde el PC.

2.1.6 LCD

La tarjeta de adquisición de datos requiere de un LCD alfanumérico para presentar el estado de las entradas digitales, entradas analógicas, salidas digitales, salidas analógicas, mensajes de programación y lectura de eeprom. Para una visualización adecuada se necesita de un LCD de veinte caracteres por cuatro filas para presentar varios parámetros al mismo tiempo.

2.1.7 PULSADORES

La tarjeta de adquisición de datos requiere de dos pulsadores que permitan seleccionar el parámetro que se visualiza en el LCD alfanumérico.

2.1.8 INFRARROJOS

El medio de comunicación entre la tarjeta de adquisición de datos y el computador es luz infrarroja, por lo que se necesita de un transceptor óptico de infrarrojos tanto para la tarjeta de adquisición de datos como para el computador.

2.1.9 MICROCONTROLADOR

La tarjeta de adquisición de datos tiene como elemento principal un microcontrolador, el cual controla el funcionamiento de todo el sistema: obtiene el estado de las entradas digitales, adquiere señales analógicas y controla las salidas analógicas y digitales. El microcontrolador también permite el control de la adquisición de datos en forma autónoma sin el computador mediante la grabación de datos en memoria eeprom, realiza la comunicación infrarroja de la tarjeta de adquisición de datos con el computador, y controla la visualización de mensajes en un LCD alfanumérico. Todos los recursos del sistema de adquisición de datos

funcionan en base al microcontrolador, por lo cual es importante que el microcontrolador tenga periféricos como memoria eeprom y convertidores analógicos a digitales internos para optimizar el hardware del sistema.

Existe una extensa variedad de microcontroladores de diferentes fabricantes, como por ejemplo Intel, Motorola, Atmel, Microchip, etc. Cada fabricante de microcontrolador proporciona varios tipos de microcontroladores que varían en velocidad, lenguaje de programación, número de UARTs, temporizadores, convertidores A/D, comunicación sincrónica, memoria ram, eeprom, etc. Para elegir el microcontrolador adecuado se debe tener en cuenta los requerimientos del sistema, disponibilidad de un grabador para el microcontrolador, disponibilidad del software de programación, tamaño del microcontrolador, tiempo de desarrollo.

El microcontrolador seleccionado para el diseño y construcción de la tarjeta de adquisición de datos es el ATmega16 de Atmel, que pertenece a la familia de microcontroladores AVR de Atmel. Las razones principales para la elección del microcontrolador ATmega16 son:

- Los pines para comunicación SPI, I2C y serial asincrónica son independientes, es decir que a diferencia de otros microcontroladores que tienen pines que comparten estas funciones de comunicación, el ATmega16 tiene pines distintos para cada clase de comunicación, con lo cual no se necesita alternar la función que realiza cada pin según el tipo de comunicación que se ejecuta como en otros microcontroladores.
- El ATmega16 tiene ventaja en cuanto a la grabación del microcontrolador, pues no se requiere comprar costosos programadores, sino que se puede implementar un sencillo circuito que realiza la grabación del programa en el microcontrolador. El software de programación de microcontroladores AVR de Atmel Bascom-avr, tiene herramientas para depuración y simulación de un programa, y también realiza la grabación del programa en el microcontrolador a través de un programador de fácil implementación como el STK300, que programa microcontroladores AVR de Atmel a través del puerto paralelo.

- Dispone de elementos internos como son conversores A/D, circuitos internos para comunicación SPI, I2C, serial asincrónica, 528 bytes de memoria eeprom y 1 Kbyte de memoria RAM, lo cual reduce hardware externo, costo de implementación y tamaño del sistema.
- La programación del microcontrolador se la puede realizar en Basic o en ensamblador, o combinando ambos lenguajes, para lo cual se utiliza el software *BASCOM-AVR*, el cual también permite descargar el programa en el microcontrolador. *BASCOM-AVR* puede asignar las funciones de comunicación SPI e I2C a cualquier pin del microcontrolador ATmega16, esto posibilita utilizar cualquiera de los pines para comunicación SPI o I2C, sin regirse a la distribución de hardware.
- La programación In-System del atmega16 optimiza tiempo de desarrollo y pruebas del sistema.

2.2 DISEÑO DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En la figura 2.1 se indica el diagrama de bloques de la tarjeta de adquisición de datos. Para realizar este diagrama se han definido los siguientes aspectos:

La comunicación infrarroja requiere de un codificador-decodificador de infrarrojos y de un transceptor óptico de infrarrojos. Los dispositivos elegidos son el codificador-decodificador de infrarrojos mcp2120 de Microchip y el transceptor óptico de infrarrojos TFDS4500 de Vishay. El codificador-decodificador de infrarrojos mcp2120 se conecta directamente con los pines de comunicación serial asincrónica del microcontrolador.

Las entradas analógicas son las que dispone el microcontrolador atmega16, el cual tiene un convertidor analógico a digital y un multiplexor de 8 canales, que permite conectar ocho diferentes señales al convertidor analógico a digital. La lectura de los ocho canales se la hace por barrido mediante software.

Se utiliza tres expansores de puerto para conectar las entradas digitales, salidas digitales y los leds de indicación de las salidas digitales. El dispositivo que se utiliza es el PCF8574A de Texas Instruments. Estos dispositivos se comunican con el microcontrolador a través de una interfaz serial sincrónica de dos hilos I2C. Los tres expansores de puerto comparten las dos líneas de comunicación.

El microcontrolador almacena los datos adquiridos en la memoria eeprom, la cual es un recurso interno del microcontrolador, y se realiza su lectura y escritura a través de instrucciones de software. Como se indica en el diagrama de bloques de la figura 2.1, la tarjeta de adquisición datos tendrá como interfaz de usuario dos pulsadores y un LCD alfanumérico de veinte caracteres por cuatro filas.

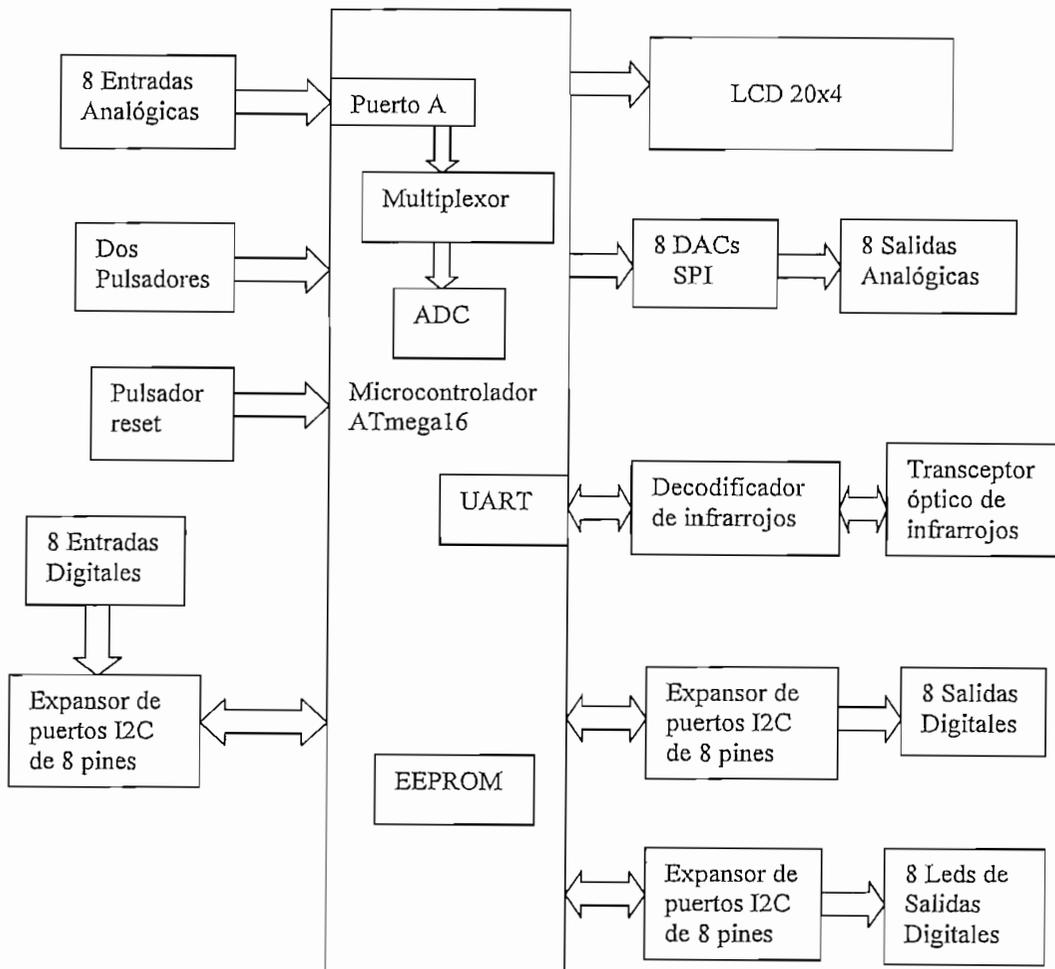


Figura 2.1 Diagrama de bloques del hardware de la tarjeta de adquisición de datos

Las salidas analógicas se implementan mediante el circuito integrado max5250 de Maxim. Este circuito integrado se comunica con el microcontrolador mediante el protocolo de comunicación serial sincrónica SPI. El max5250 tiene en su encapsulado cuatro convertidores de voltaje digital a analógico independientes y cuatro amplificadores de precisión. Se utilizan dos max5250 en el diseño de la tarjeta de adquisición de datos para disponer de ocho salidas de voltaje analógico, que serán controlados por el computador.

2.2.1 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA16

La figura 2.2 presenta las conexiones del microcontrolador atmega16. El microcontrolador atmega16 tiene conectado directamente a sus pines: las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos, tres pulsadores, el LCD, el bus de comunicación I2C, el bus de comunicación SPI, las líneas de comunicación serial asincrónica, los pines de programación del microcontrolador, tierra y fuente de alimentación de 5 voltios. A continuación se describe cada una de las conexiones del microcontrolador.

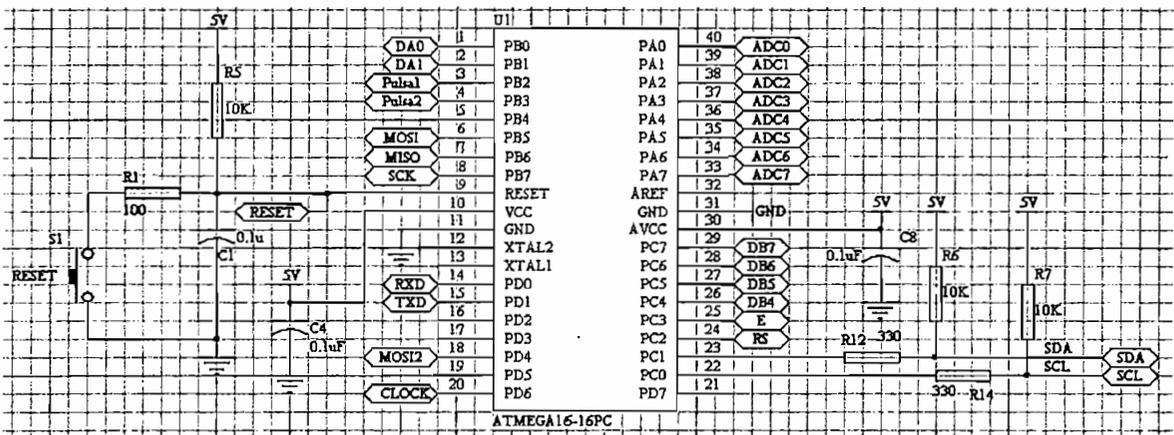


Figura 2.2 Conexiones del microcontrolador ATmega16

Las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos corresponden al puerto A del microcontrolador. Los pines del puerto A del microcontrolador atmega16 tienen como función alterna operar como canales de entrada analógicos que se conectan internamente a un multiplexor, el que a su vez está conectado a un convertidor analógico a digital interno. El pin AVCC se conecta a 5 voltios para alimentar el convertidor analógico a digital.

El microcontrolador tiene el control del LCD mediante el bus de datos y el bus de control, para lo cual utiliza los pines PC2 a PC7.

La comunicación infrarroja se establece a través de la UART (Universal asincrónico receptor transmisor) del microcontrolador, mediante los pines TXD y RXD para la transmisión y recepción de datos en formato serial asincrónico. Las líneas de comunicación RXD y TXD corresponden a los pines PD0 y PD1 del microcontrolador que se conectan con el decodificador de infrarrojos MCP2120.

La tarjeta de adquisición de datos se implementa con tres pulsadores. El pulsador uno se conecta al pin PB2, el pulsador dos al pin PB3 y el pulsador tres a la entrada de reset del microcontrolador. Los tres pulsadores tienen un circuito conformado por dos resistencias y un capacitor para eliminar rebotes. La figura 2.2 y 2.3 presentan las conexiones de los pulsadores de la tarjeta de adquisición de datos.

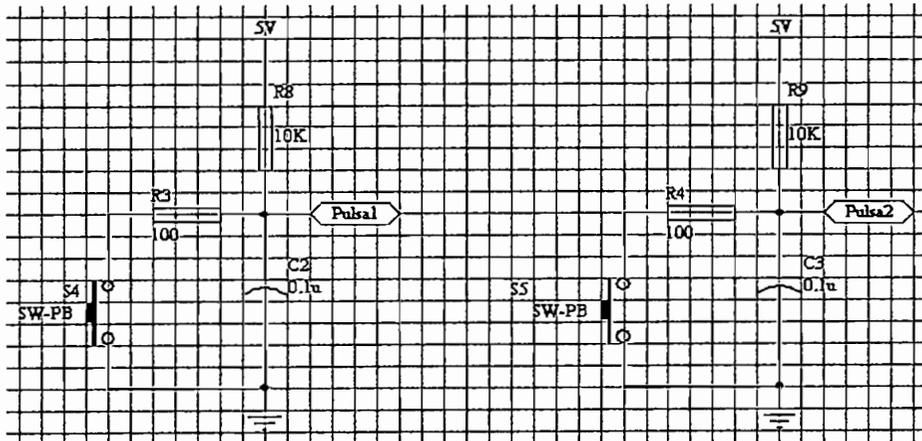


Figura 2.3 Conexiones de los pulsadores

Las entradas digitales, salidas digitales y los leds de la tarjeta de adquisición de datos se implementan mediante tres expansores de puerto I2C PCF8574. El microcontrolador establece comunicación serial sincrónica I2C con los tres expansores de puerto a través de los pines: PC1 para la línea SDA y PC0 para la línea SCL. Se conectan resistencias pull-up de 10K al bus I2C; y resistencias de 330 ohmios en serie con los pines PC0 y PC1 para limitar la corriente. Estas conexiones son recomendadas en el datasheet del PCF8574.

Las salidas analógicas de la tarjeta de adquisición se implementan mediante dos MAX5250. Los circuitos integrados MAX5250 deben ser configurados a través de la comunicación serial sincrónica SPI. El bus de datos de comunicación SPI utiliza los pines del microcontrolador: PD4 para la línea master output slave input MOSI2; PD6 para la línea de reloj; PB0 para activar el primer MAX5250 y PB1 para activar el segundo MAX5250. Los pines PD4, PD6, PB0 y PB1 son asignados por software, lo que significa que no son los que el microcontrolador dispone en su distribución de pines para la comunicación SPI, Mediante el software de programación Bascom-avr se asigna cualquier pin del microcontrolador para las funciones de comunicación SPI.

La programación del microcontrolador se realiza a través de los pines de comunicación SPI, por lo se los deja disponibles para el programador a través de un conector. Los cuatro pines de programación son: PB5 para la línea MOSI, PB6 para la línea MISO, PB7 para la línea de reloj SCK, y el pin de reset. Estos pines son los que corresponden por hardware a la comunicación SPI, lo que significa que son los que se presentan en el datasheet. La figura 2.4 presenta el conector de la tarjeta de adquisición de datos para programador el microcontrolador atmega16. El led se enciende mientras se programa el microcontrolador.

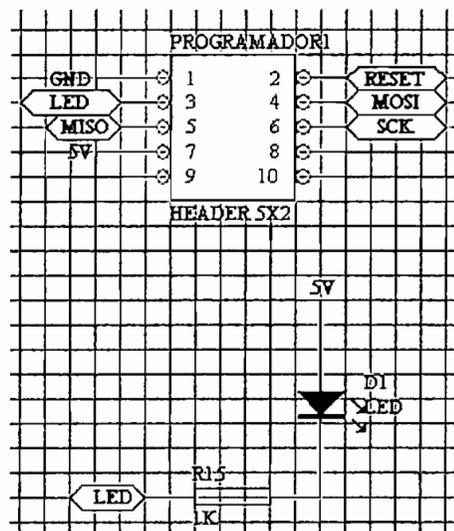


Figura 2.4 Conector para el programador del microcontrolador

La tabla 2.1 presenta la descripción de las conexiones de los pines del ATmega16 y la función que cumplen en la tarjeta de adquisición de datos.

| pin | Nombre | Conexión | Función |
|-----|--------|--------------------------------------|---|
| 1 | PB0 | <i>Pin 8 (CS) del primer max5250</i> | Habilita la comunicación SPI con el primer max5250 |
| 2 | PB1 | <i>Pin 8 (CS) segundo max5250</i> | Habilita la comunicación SPI con el segundo max5250 |
| 3 | PB2 | Pulsador uno | Entrada del pulsador uno de la tarjeta |
| 4 | PB3 | Pulsador dos | Entrada del pulsador dos de la tarjeta |
| 5 | PB4 | Sin conexión | No se utiliza |
| 6 | PB5 | Conector de salida externa | MOSI se utiliza para la programación del atmega16. |
| 7 | PB6 | Conector de salida externa | MISO se utiliza para la programación del atmega16. |
| 8 | PB7 | Conector de salida externa | SCK se utiliza para la programación del atmega16. |
| 9 | Reset | Pulsador de reset y conector externo | Permite reiniciar el microcontrolador |
| 10 | VCC | Fuente de 5 voltios | Entrada de alimentación del voltaje |
| 11 | GND | Tierra del circuito | Referencia de tierra |
| 12 | XTAL2 | Sin conexión | Oscilador externo. No se utiliza |
| 13 | XTAL1 | Sin conexión | Oscilador externo. No se utiliza |
| 14 | PD0 | Pin 11 (RXD) del mcp2120 | RXD del atmega16. Recibe los datos seriales del mcp2120 |
| 15 | PD1 | Pin 12 (TXD) del mcp2120 | TXD del atmega16. Envía los datos seriales hacia el mcp2120 |
| 16 | PD2 | Sin conexión | No se utiliza |
| 17 | PD3 | Sin conexión | No se utiliza |
| 18 | PD4 | Pin 9 (DIN) de cada max5250 | Master output-slave input en la comunicación SPI con el max5250 |
| 19 | PD5 | Sin conexión | No se utiliza |
| 20 | PD6 | Pin 10 (SCLK) de cada max5250 | Señal de reloj en la comunicación SPI con el max5250 |
| 21 | PD7 | Sin conexión | No se utiliza |

| pin | Nombre | Conexión | Función |
|-----|--------|-------------------------------|---|
| 22 | PC0 | Pin 14 (SDA) de cada PCF8574A | Línea serial de datos en la comunicación I2C |
| 23 | PC1 | Pin 15 (SCL) de cada PCF8574A | Línea serial de reloj en la comunicación I2C |
| 24 | PC2 | Pin 4 (RS) del LCD | Selecciona el registro del LCD |
| 25 | PC3 | Pin 6 (E) del LCD | Señal de activación del LCD |
| 26 | PC4 | Pin 11 (DB4) del LCD | Bus de datos del LCD |
| 27 | PC5 | Pin 12 (DB5) del LCD | Bus de datos del LCD |
| 28 | PC6 | Pin 13 (DB6) del LCD | Bus de datos del LCD |
| 29 | PC7 | Pin 14 (DB7) del LCD | Bus de datos del LCD |
| 30 | AVCC | Fuente de 5 voltios | Alimentación de voltaje de los convertidores análogo digitales (ADCs) |
| 31 | GND | Tierra del circuito | Referencia de tierra |
| 32 | AREF | Sin conexión | No se utiliza |
| 33 | PA7 | Conector externo | Canal 8 de entrada analógica |
| 34 | PA6 | Conector externo | Canal 7 de entrada analógica |
| 35 | PA5 | Conector externo | Canal 6 de entrada analógica |
| 36 | PA4 | Conector externo | Canal 5 de entrada analógica |
| 37 | PA3 | Conector externo | Canal 4 de entrada analógica |
| 38 | PA2 | Conector externo | Canal 3 de entrada analógica |
| 39 | PA1 | Conector externo | Canal 2 de entrada analógica |
| 40 | PA0 | Conector externo | Canal 1 de entrada analógica |

Tabla 2.1 Descripción de la conexiones del ATmega16

2.2.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL MCP2120

La figura 2.5 presenta las conexiones del codificador-decodificador de infrarrojos mcp2120. El microcontrolador se conecta al mcp2120 a través de sus pines RX y TX para establecer comunicación serial asincrónica.

El cristal de cuarzo y los niveles lógicos asignados externamente en los pines baud0, baud1 y baud2 son usados por el mcp2120 para determinar la velocidad de la tasa de transferencia de datos. Los pines baud0, baud1 y baud2 son conectados a tierra y el cuarzo utilizado es de 7.3728 MHz con lo que se tiene una tasa de transferencia de datos de 9.6 KB/s; este valor se determina mediante una tabla en el datasheet del mcp2120.

El pin 13 (En) del mcp2120 es conectado a 5 voltios para que el dispositivo esté habilitado; el pin 7 (mode) se conecta a 5 voltios para que el mcp2120 realice la codificación y decodificación; el pin 4 (reset) se conecta a 5 voltios, ya que un cero lógico reinicia al mcp2120. El pin 5 (RXIR) y el pin 6 (TXIR) del mcp2120 se conectan con el transceptor óptico de infrarrojos TFDS4500.

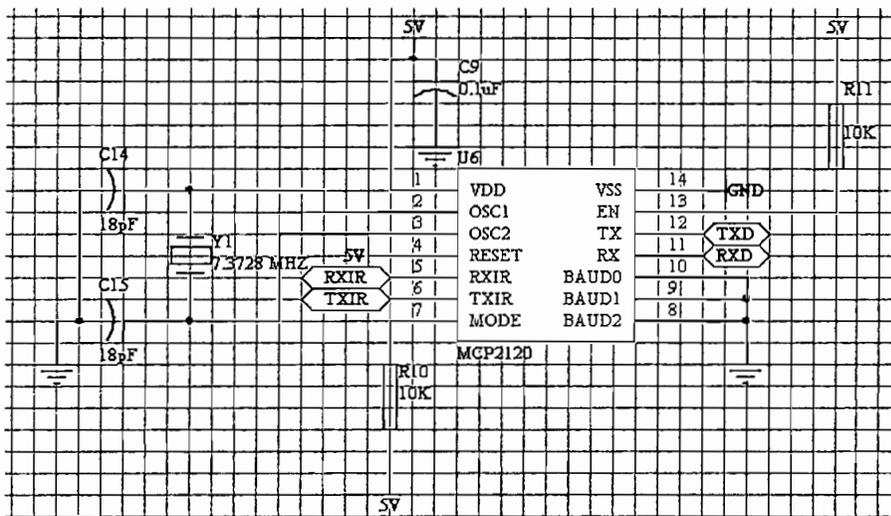


Figura 2.5 Conexiones del codificador-decodificador de infrarrojos mcp2120

2.2.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL TFDS4500

La figura 2.6 presenta las conexiones del transceptor óptico de infrarrojos TFDS4500. La resistencia de 13 ohmios limita la corriente en el emisor de infrarrojos; la resistencia de 47 ohmios y los capacitores de 4.7 μF y de 0.1 μF tienen la función de reducir el ruido RF. Los valores de los elementos y el esquema del circuito electrónico de la figura 2.6 son recomendados por el datasheet del TFDS4500. El pin SC (sensitivity control) al ser conectado a nivel

lógico alto incrementa la sensibilidad del TFDS4500 aumentando el rango de transmisión, pero también incrementando los errores en la transmisión; por este motivo se ha dejado libre el pin SC del TFD4500.

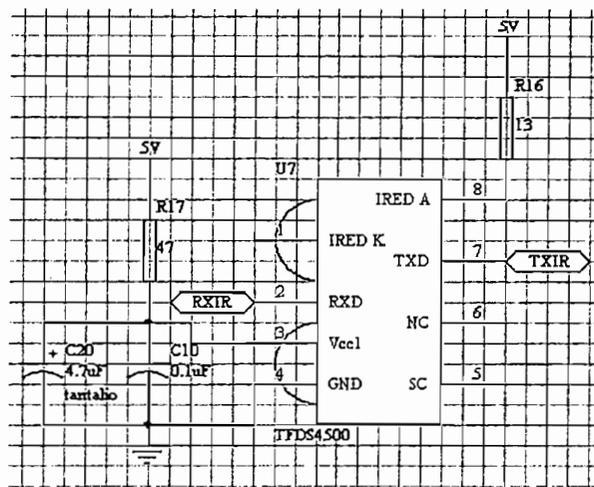


Figura 2.6 Conexiones del transceptor óptico de infrarrojos TFDS4500

2.2.4 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL LCD

El LCD es controlado por el microcontrolador a través de seis líneas: cuatro de datos DB4 a DB7 y dos de control RS y E. El contraste del LCD se ha fijado mediante una resistencia de 330 ohmios conectada entre el pin 3 (VEE) y tierra. El nivel de luz del LCD se ha fijado con una resistencia de 100 ohmios colocada entre la fuente de cinco voltios y el ánodo del led del LCD (pin 15).

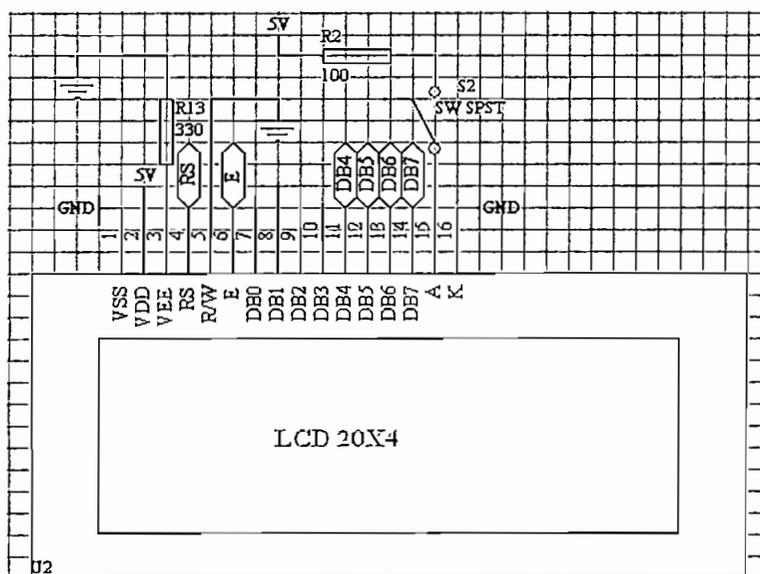


Figura 2.7 Conexiones del LCD DMC20481NY-LY-AGE de optrex

La luz se puede activar y desactivar mediante un interruptor conectado en serie con la fuente de 5 voltios. La figura 2.7 presenta las conexiones del LCD.

2.2.5 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE LAS SALIDAS ANALÓGICAS

Las salidas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos se implementan mediante dos max5250. El max5250 es un circuito integrado que dispone de cuatro convertidores analógicos a digitales y de cuatro amplificadores de instrumentación. La figura 2.8 presenta las conexiones de los dos max5250. Las resistencias de 10 K que se conectan entre los pines FBA y OUTA; FBB y OUTB; FBC y OUTC; FBD y OUTD, del max5250 tienen por objeto calibrar la ganancia de los amplificadores de precisión internos del max5250. El max5250 necesita para su funcionamiento de referencias de voltaje; en este diseño se utiliza referencias de voltaje de 2.5 voltios en los pines REFAB y REFCD.

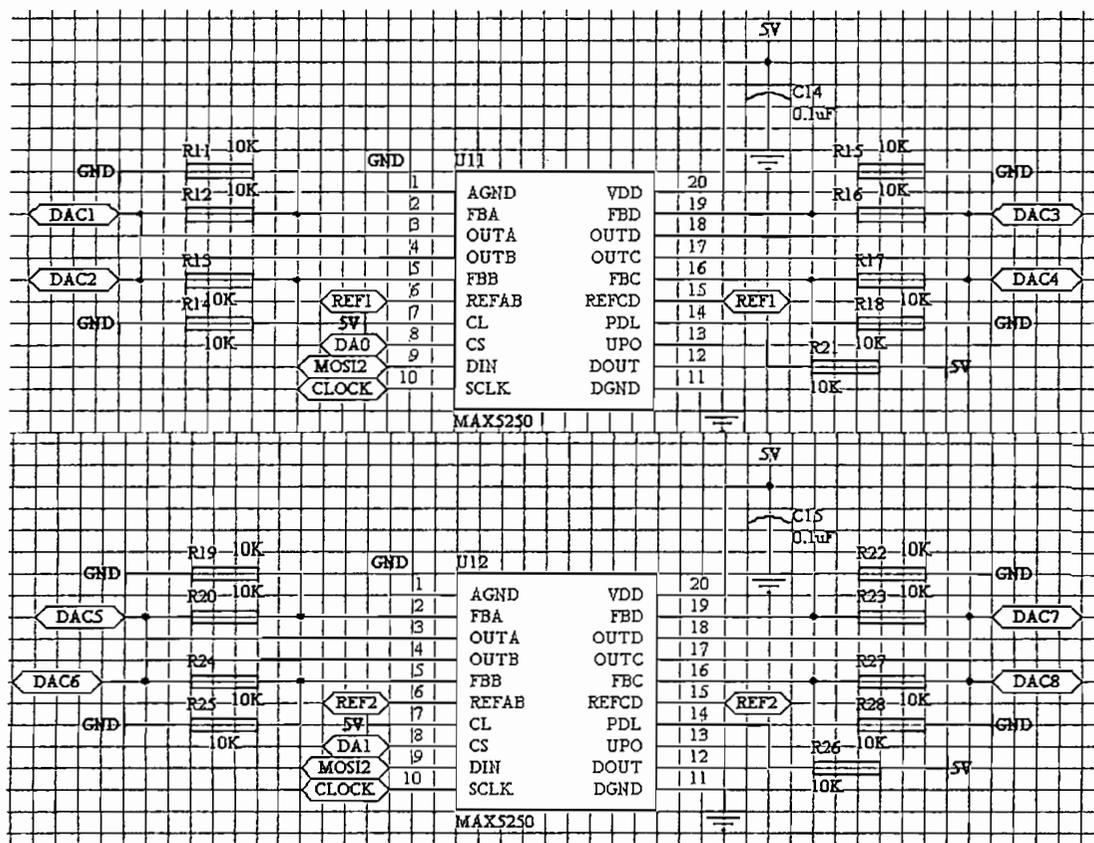


Figura 2.8 Conexiones de los MAX5250

Las resistencias de 10 K del esquema de diseño de la figura 2.8 determinan una ganancia de dos unidades y como la referencia de voltaje de los max5250 es de 2.5 voltios, se tiene un rango de 0 a 5 voltios en las salidas analógicas.

Los pines DIN (pin 9), SCLK (pin 10) y SC (pin 8) del max5250 se conectan al microcontrolador para establecer la comunicación serial sincrónica SPI. El microcontrolador habilita al max5250 a través de su pin CS. Las salidas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos que se indican en la figura 2.8 como DAC1 a DAC7 son conectadas al exterior mediante borneras.

La referencia de voltaje que se conecta a cada max5250 es entregada por el circuito integrado max6225, que proporciona un voltaje de 2.5 voltios, con bajo ruido y una corriente de 15 mA. La figura 2.9 presenta las conexiones del max6225. Los valores de los capacitores conectados al max6225 son recomendados en su datasheet. La alimentación de voltaje del max6225 se realiza a través del pin 3 (IN) con 5 voltios.

Se utiliza un max6225 por cada max5250 para tener precisión en la referencia de voltaje, ya que cada referencia de voltaje es una carga para el max6225.

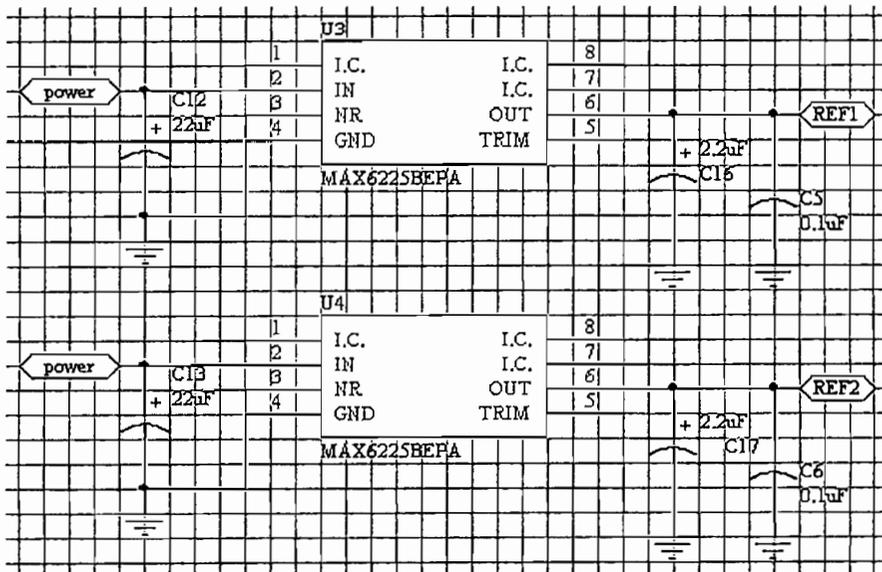


Figura 2.9 Conexiones de los max6225.

2.2.6 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE LOS EXPANSORES DE PUERTO

La tarjeta de adquisición de datos tiene tres expansores de puerto utilizados para: las entradas digitales, leds y salidas digitales. Los expansores de puerto utilizados son los circuitos integrados PCF8574, que tienen como característica principal la configuración de sus pines como entradas o salidas digitales mediante comunicación serial sincrónica I2C. Las conexiones de los expansores de puerto se presentan en la figura 2.10

Los expansores de puerto PCF8574 se comunican con el microcontrolador a través de las líneas SDA y SCL. Los niveles lógicos asignados a los pines 1, 2 y 3 del PCF8574 sirven como parte de la dirección con la que se lo identifica en la comunicación I2C. El funcionamiento del PCF8574 como entrada o salida digital depende del comando que recibe por parte del microcontrolador. Los pines 4 a 12 del PCF8574 son las líneas bidireccionales de entrada-salida. Las entradas digitales de la tarjeta de adquisición de datos corresponden a las líneas de P0 a P7 (pines 4 a 12) del primer PCF8574; el segundo PCF8574 tiene conectado ocho leds y el tercer PCF8574 funcionará como salidas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.

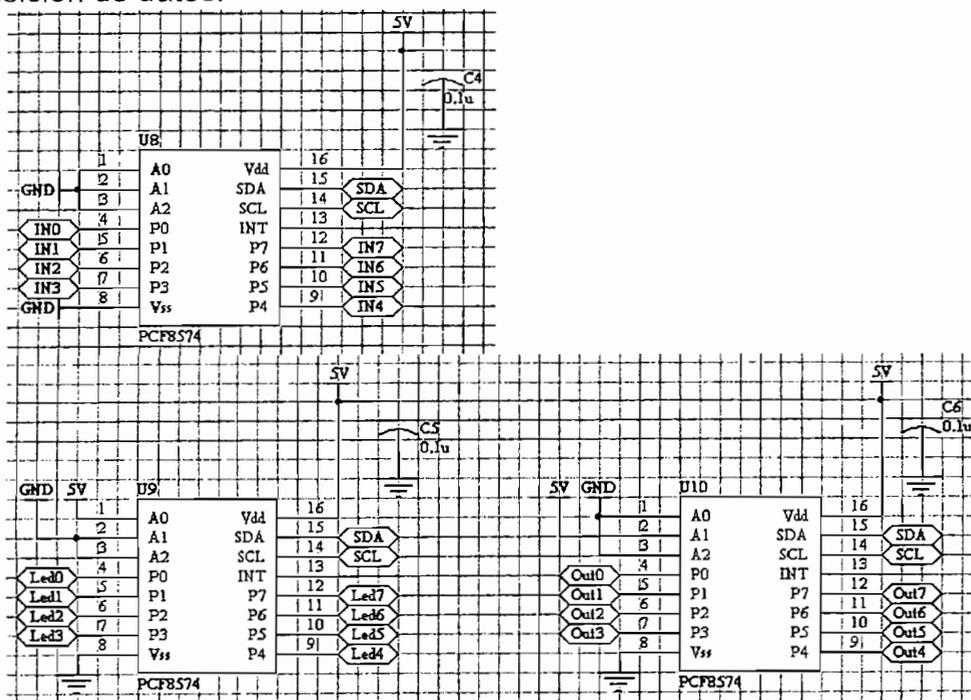


Figura 2.10 Conexiones de los expansores de puerto PCF8574

Los leds tienen conexión de ánodo común, por lo tanto se encienden mediante un cero lógico que lo proporciona el PCF8574 que le corresponde activarlos. La figura 2.11 presenta la conexión de los leds.

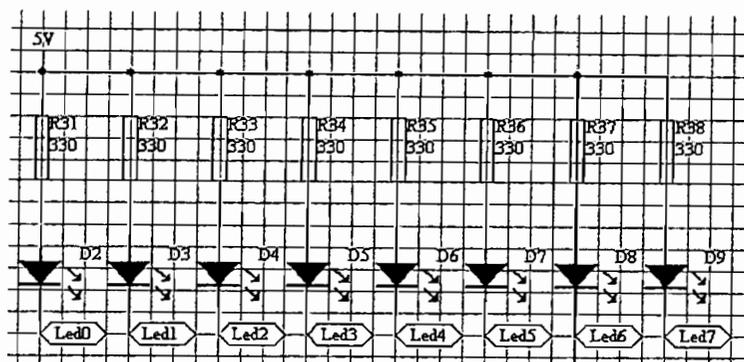


Figura 2.11 Conexiones de los leds de la tarjeta de adquisición de datos.

Las entradas digitales, entradas analógicas, salidas digitales y salidas analógicas salen al exterior de la tarjeta de adquisición de datos mediante borneras como se indica en la figura 2.12.

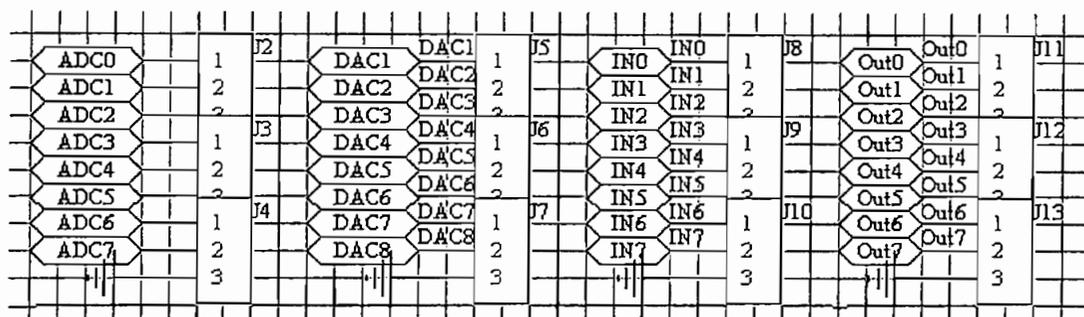


Figura 2.12 Borneras de la tarjeta de adquisición de datos.

2.2.7 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN

La figura 2.13 presenta el diseño del circuito de alimentación de la tarjeta de adquisición de datos. El voltaje de alimentación de la tarjeta de adquisición de datos es de 5 voltios, y lo proporciona el LM7805. La fuente de 5 voltios de DC se realiza a partir de 120 voltios de AC, que se reduce a 12 voltios de AC mediante un transformador, luego se rectifica la onda de voltaje con un puente de diodos. El capacitor de 2200 μF tiene por objeto eliminar parte del rizo de la onda de voltaje rectificadas a la salida del puente de diodos; el capacitor de 0.33 μF sirve para

eliminar el ruido a la entrada del LM7805; y los capacitores de $10\ \mu\text{F}$ y $0.1\ \mu\text{F}$ sirven para eliminar el ruido a la salida del LM7805.

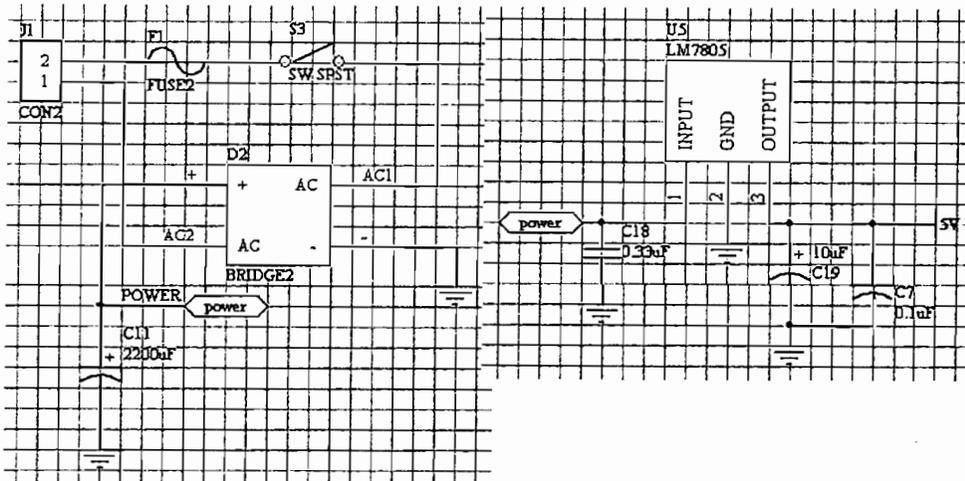


Figura 2.13 Fuente de voltaje de la tarjeta de adquisición de datos.

2.3 DISEÑO DE LA TARJETA TRANSECTOR DE INFRARROJOS PARA EL COMPUTADOR

En la figura 2.14 se presenta un diagrama de bloques de la tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador. Los elementos principales que se utilizarán son: un max232 que convierte los niveles de voltaje rs232 en TTL y viceversa, un codificador-decodificador de infrarrojos, y un transceptor óptico de infrarrojos.

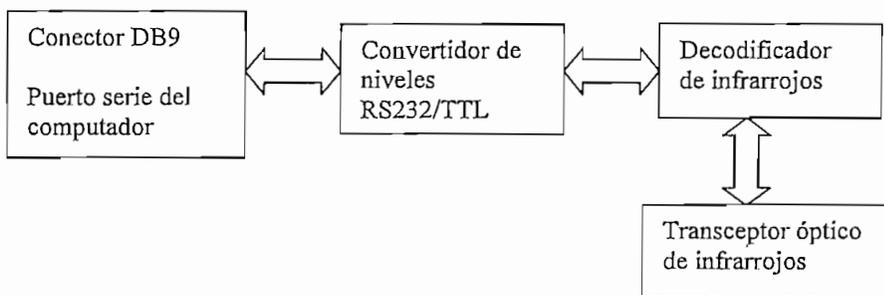


Figura 2.14 Diagrama de bloques del transceptor de infrarrojos para el computador

Al igual que para la tarjeta de adquisición de datos, se utiliza para el transceptor de infrarrojos el codificador-decodificador mcp2120 y el transceptor óptico TFDS4500 de Vishay.

El convertidor de niveles de voltaje max232 transfiere los datos entre el puerto serie del computador y el codificador-decodificador de infrarrojos, el que a su vez realiza la transmisión y recepción de datos hacia y desde el transceptor óptico. El TFDS4500 dispone en un solo encapsulado para el emisor y receptor infrarrojo. La figura 2.15 presenta los elementos de la tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador.

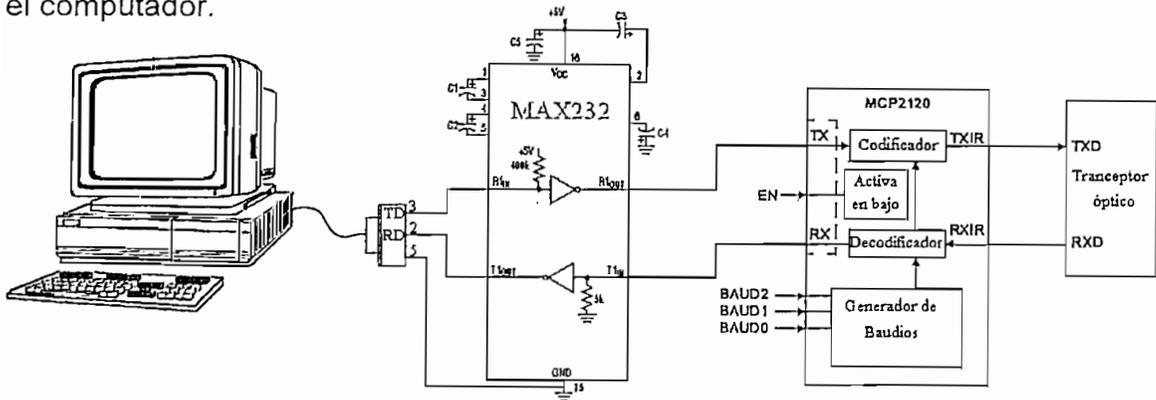


Figura 2.15 Tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador

El computador envía datos a través del pin de transmisión TD del puerto serie. Estos datos seriales con niveles de voltaje rs232 son convertidos a niveles TTL mediante el circuito integrado max232; luego son codificados como pulsos eléctricos por el mcp2120 y finalmente enviados al transceptor en óptico.

La recepción de datos por parte del computador se realiza del siguiente modo: el transceptor de infrarrojos recibe los datos por luz infrarroja y los envía como pulsos eléctricos hacia el mcp2120, el cual los decodifica y convierte en datos de formato serial; los datos seriales son enviados al max232 y finalmente hacia el computador a través del puerto serie.

2.3.1 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN DE LA TARJETA TRANSECTOR DE INFRARROJOS PARA EL COMPUTADOR

La figura 2.16 presenta el diseño de la fuente de alimentación de 5 voltios de la tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador. La tarjeta tiene un interruptor que permite elegir entre dos fuentes de voltaje: una batería de 9 voltios de DC o una fuente de 12 voltios de AC. Los 12 voltios de AC se obtienen reduciendo el

voltaje de 120 voltios de AC de la red eléctrica mediante un transformador de voltaje. El diseño de la fuente de 5 voltios de la tarjeta transceptor de infrarrojos es similar a la fuente de 5 voltios descrita para la tarjeta de adquisición de datos.

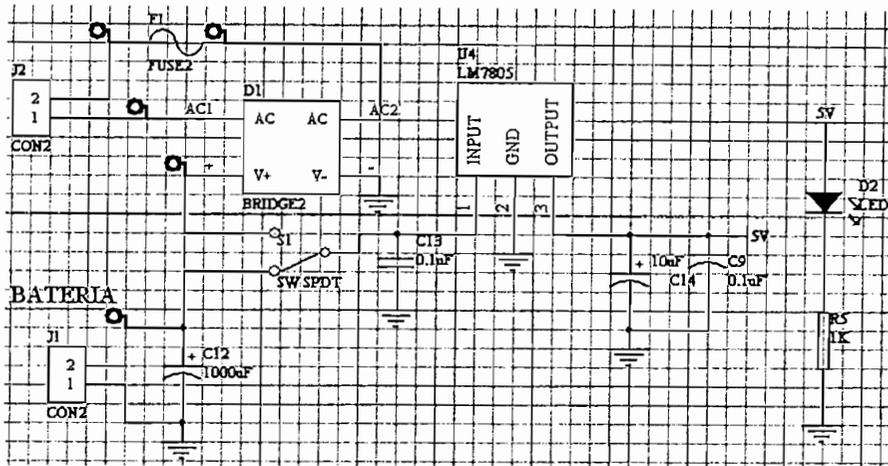


Figura 2.16 Fuente de 5 voltios con led de indicación de encendido

2.3.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL MAX232

La tarjeta transceptor de infrarrojos se conecta al computador a través del puerto serial. Para convertir los niveles de voltaje RS232 del puerto serial del PC a TTL se utiliza el circuito integrado max232. La figura 2.17 presenta las conexiones del max232. Los valores de los capacitores y el esquema de conexión son recomendados en el datasheet del max232. El max232 se conecta con el codificador-decodificador de infrarrojos MCP2120 a través de sus pines R1OUT (pin 12) y T1IN (pin 11).

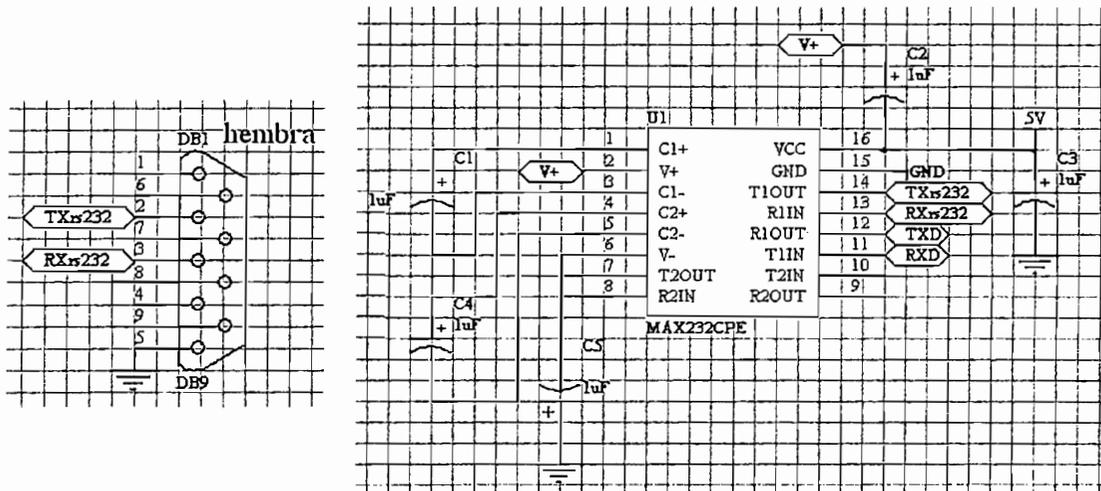


Figura 2.17 Conexiones del max232

2.3.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL MCP2120

La figura 2.18 presenta las conexiones del circuito del MCP2120. El cuarzo es de 7.3728 MHz; los pines baud0, baud1 y baud2 se conectan a tierra, con lo que se fija la tasa de transferencia de datos a 9.6 KB/s al igual que en el transceptor de infrarrojos de la tarjeta de adquisición de datos.

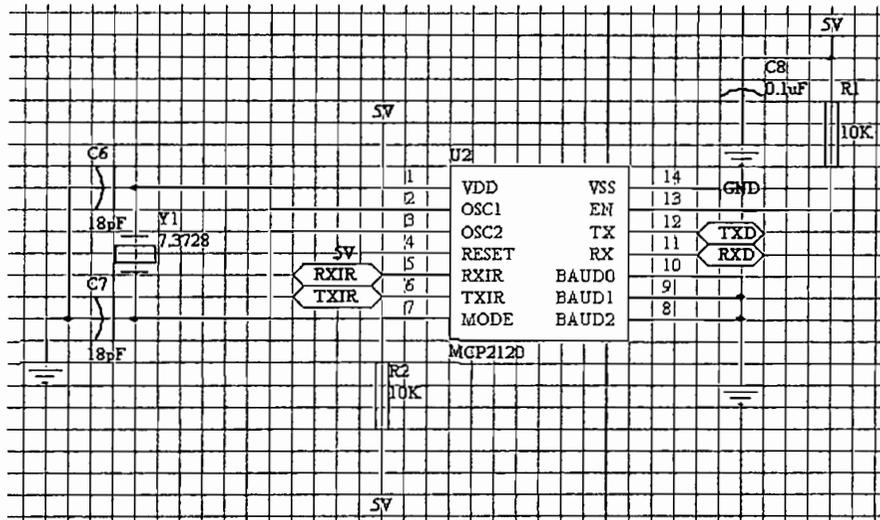


Figura 2.18 Conexiones del MCP2120

2.3.4 DISEÑO DEL CIRCUITO DEL TFDS4500

La figura 2.19 presenta las conexiones del circuito del TFDS4500 de la tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador. Este circuito es el mismo que se utiliza en el transceptor de infrarrojos de la tarjeta de adquisición de datos.

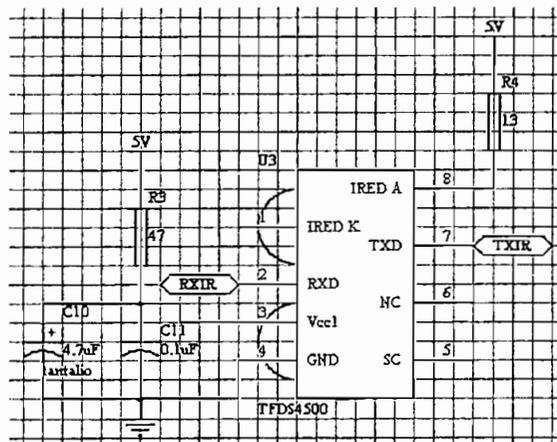


Figura 2.19 Transceptor óptico de infrarrojos TFDS4500

2.4 FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

A continuación se presenta la descripción del funcionamiento de los circuitos integrados que conforman la tarjeta de adquisición de datos y la tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador.

2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA16^[1]

El microcontrolador atmega16 dispone de las siguientes características:

- Microcontrolador de 8 bits.
- Arquitectura RISC
- 131 instrucciones que se ejecutan en un solo ciclo de reloj.
- 32 registros de propósito general.
- Hasta millones de instrucciones por segundo cuando trabaja a 16 MHz.
- 16 K Bytes de memoria flash, con diez mil ciclos de escritura - borrado.
- 512 bytes de eeprom con cien mil ciclos de escritura - borrado.
- 1 K byte de RAM
- Programación In-System
- Dos temporizadores-contadores de 8 bits
- Un temporizador-contador de 16 bits.
- Cuatro canales PWM
- Ocho canales ADC de 10 bits.
- Comunicación I2C
- Comunicación SPI
- Comunicación serial asincrónica.
- Calibración interna del oscilador RC
- Fuentes de interrupción internas y externas.
- Operación 0 – 16 MHz.

^[1] ATMEL CORPORATION. Manual del microcontrolador ATmega16. 12/2003

En la figura 2.20 se presenta la distribución de pines del ATmega16. Una característica especial de este microcontrolador es que dispone de un oscilador interno que le permite trabajar a una frecuencia de 8 MHz. Con este oscilador interno, no se requiere conectar un cristal externo, ni capacitores para filtrar ruido.

El ATmega16 es un microcontrolador de 8 bits basado en arquitectura RISC, que ejecuta sus instrucciones en un solo ciclo de reloj, el ATmega16 logra un rendimiento aproximado de 1 millón de instrucciones por segundo por MHz, lo que significa que con el oscilador interno de 8 MHz tiene un rendimiento aproximado de 8 millones de instrucciones por segundo.

El núcleo AVR tiene un conjunto 131 instrucciones y 32 registros de propósito general. Los 32 registros son conectados directamente a la unidad aritmética lógica (ALU), permitiendo que dos registros independientes puedan acceder en una sola instrucción ejecutada en un solo ciclo de reloj.

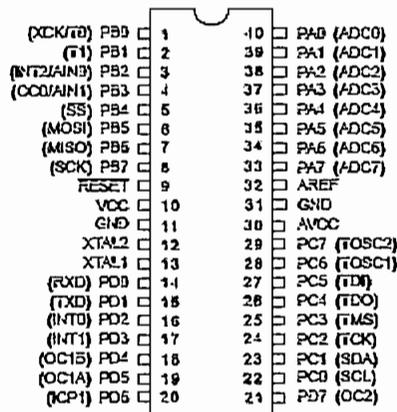


Figura 2.20 Microcontrolador ATmega16

El ATmega16 puede ser programado *In-System*, lo que significa que este microcontrolador puede ser programado mientras está conectado con sus periféricos, es decir no se requiere sacar el chip de la tarjeta de funcionamiento normal. Sólo se conecta los pines de grabación a través de la interfaz serial SPI.

A continuación se realiza una descripción general de los pines del microcontrolador. Para tener detalles de los recursos del microcontrolador se

debe revisar el manual del ATmega16. El ATmega16 tiene cuatro puertos bidireccionales de entrada y salida A,B,C y D.

2.4.1.1 Puerto A (PA7...PA0)

Es un puerto bidireccional de entrada y salida con resistencia internas pull-up para cada bit. Cuando ocurre un reset los pines del puerto están en alta impedancia. El puerto A tiene como función alterna la conversión analógica a digital. El puerto A tiene alimentación de voltaje independiente a través del pin AVCC, el cual debe ser conectado a VCC externamente. Si se utiliza los convertidores analógicos a digitales se conecta un capacitor en el pin AVCC para filtrar ruido.

2.4.1.2 Puerto B (PB7...PB0)

Es un puerto bidireccional de entrada y salida con resistencia internas pull-up para cada bit. Tiene funciones alternas para comunicación serial sincrónica SPI, comparadores, interrupción externa. En la tabla 2.2 se indica la función alterna que dispone cada pin del puerto B.

| Pin | Función alterna |
|-----|--|
| PB7 | SCK (bus SPI reloj serial) |
| PB6 | MISO (bus SPI Master entrada, esclavo salida) |
| PB5 | MOSI (bus SPI Master salida, esclavo entrada) |
| PB4 | SS (SPI entrada selector de esclavo) |
| PB3 | AIN1(Comparador análogo entrada negativa OCO (Temporizador-contador 0) |
| PB2 | AIN0 (Comparador análogo entrada positiva) INT2 (Entrada de interrupción externa 2) |
| PB1 | T1 (Temporizador contador 1) |
| PB0 | T0 (Temporizador contador 1) XCK (USART reloj externo) |

Tabla 2.2 Funciones alternas del Puerto B del microcontrolador ATmega16

2.4.1.3 Puerto C (PC7... PC0)

Es un puerto bidireccional de entrada y salida con resistencia internas pull-up para cada bit. Tiene funciones alternas como entradas de oscilador de temporizador, comunicación I2C. En la tabla 2.3 se indica la función alterna de los pines.

| Pin | Función alterna |
|-----|--|
| PC7 | TOSC2 (Temporizador oscilador pin2) |
| PC6 | TOSC1 (Temporizador oscilador pin1) |
| PC5 | TDI (JTAG Test Data In) |
| PC4 | TDO (JTAG Test Data Out) |
| PC3 | TMS (JTAG Test Mode Select) |
| PC2 | TCK (JTAG Test Clock) |
| PC1 | SDA (Two-wire Serial Bus Data Input/Output line) |
| PC0 | SCL (Two-wire Serial Bus Clock Line) |

Tabla 2.3 Funciones alternas del Puerto C del microcontrolador ATmega16

2.4.1.4 Puerto D (PD7...PD0)

Es un Puerto bidireccional de 8 bits con resistencias internas de pull-up para cada bit. Tiene funciones alternas como temporizadores, contadores, interrupciones externas y comunicación serial asincrónica. Los pines TXD para la transmisión y RXD para la recepción establecen la comunicación serial asincrónica entre la UART del microcontrolador y la UART del computador o de otro microcontrolador. Los nombres de los pines del puerto D se indican en la tabla 2.4.

| Pin | Función alterna |
|-----|---|
| PD7 | OC2 (Temporizador/contador2 Salida comparador) |
| PD6 | ICP1 (Temporizador/Contador1 entrada de captura) |
| PD5 | OC1A (Temporizador/Contador1 Salida comparador A) |
| PD4 | OC1B (Temporizador/Contador1 Salida comparador B) |
| PD3 | INT1 (Entrada de interrupción externa 1) |

| Pin | Función alterna |
|-----|--|
| PD2 | INT0 (Entrada de interrupción externa 0) |
| PD1 | TXD (USART pin de salida) |
| PD0 | RXD (USART pin de entrada) |

Tabla 2.4 Funciones alternas del Puerto D del microcontrolador ATmega16

2.4.2 LCD^[1]

El LCD utilizado en el sistema de adquisición de datos es el DMC20481NY-LY-AGE de optrex. Este LCD tiene 4 filas de 20 caracteres cada una. La distribución de pines es la estándar de los LCD que se presenta en la tabla 2.5.

| Pin | Nombre | Conexión | Descripción |
|------|-------------|---|--|
| 1 | Vss | Tierra del circuito | Referencia de tierra |
| 2 | Vdd | 5 V | Alimentación del LCD |
| 3 | Vee | Resistencia | Patilla de contraste del LCD |
| 4 | RS | PC2 del atmega16 | RS=0 registro de control RS=1 registro de datos |
| 5 | R/W | Tierra del circuito | R/W = 0 Modo escritura del LCD R/W = 1 Modo lectura del LCD |
| 6 | E | PC3 del atmega16 | Señal de activación E = 1 activado |
| 7-14 | DB0- DB7 | DB0-DB3 sin conexión DB4-DB7 con PC4-PC7 | Bus de datos del LCD |
| 15 | A | 5 V mediante resistencia | Ánodo del led de luz |
| 16 | K | Tierra del circuito | Cátodo del led de luz |

Tabla 2.5 Distribución y conexión de pines del LCD

Existen dos alternativas de conexión del bus de datos del LCD con el microcontrolador, que son conectar las ocho líneas del bus de datos o sólo cuatro líneas del bus de datos DB4 a DB7, lo cual es una alternativa para ahorrar el

^[1] OPTREX CORPORATION. Data sheet del DMC20481NY-LY-AGE

número de pines del microcontrolador. En el diseño de la tarjeta de adquisición de datos se ha empleado la conexión de cuatro líneas, con lo cual el manejo del LCD por parte del microcontrolador requiere de seis líneas DB4 a DB7, RS y E.

El LCD del sistema de adquisición de datos dispone de luz, que es activada con un interruptor. Los detalles de la presentación de mensajes serán indicados en el capítulo de software.

2.4.3 PCF8574^{[1][2]}

Este circuito integrado es un expansor de puertos de 8 bits bidireccional, y constituye la solución para la falta de pines de un microcontrolador. Sus características principales son: protocolo de comunicación I2C, genera un bit de interrupción que puede ser conectado a un microcontrolador, es compatible con la mayoría de microcontroladores, se puede conectar directamente leds en sus salidas. En la figura 2.21 se indica la distribución de pines del PCF8574.

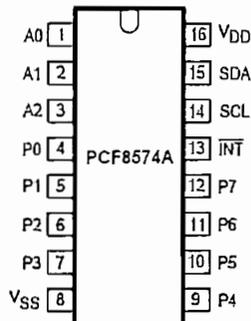


Figura 2.21 Distribución de pines del PCF8574A

Se puede conectar 8 dispositivos PCF8574A con un microcontrolador, para lo cual se asigna 8 direcciones diferentes. La dirección de un dispositivo PCF8574 se determina con el *byte* de dirección indicado en la tabla 2.6.

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---|---|---|----|----|----|-----|
| PCF8574A <i>byte</i> de dirección | 0 | 1 | 1 | 1 | A2 | A1 | A0 | R/W |
|-----------------------------------|---|---|---|---|----|----|----|-----|

Tabla 2.6 Formato del *byte* de dirección del PCF8574

^[1] PHILIPS SEMICONDUCTORS. Datasheet del PCF8574. 11/2002

^[2] TOMDIO NANA, Emmanuel. TEXAS INSTRUMENTS. Improving System Interrupt Management Using the PCF8574 and PCF8574A I/O Expanders for I2C Bus. 08/2001

Los bits A0, A1 y A2 del *byte* de dirección corresponden al valor lógico que se conectan a los pines 1, 2 y 3 del PCF8574A, con lo cual se tiene una dirección asignada por hardware. El bit R/W asigna una dirección de lectura si R/W es uno lógico y de escritura si el bit es cero lógico.

La tarjeta de adquisición de datos utiliza tres expansores de puerto PCF8574, que funcionan como entradas digitales, salidas digitales y que activan ocho leds. Las direcciones de escritura y lectura asignadas a los PCF8574 de la tarjeta de adquisición de datos se presentan en las tablas 2.7 y 2.8.

| Direcciones de escritura | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|-------------|
| Dispositivo | Dirección en binario | | | | | | | | Hexadecimal |
| PCF8574A uno | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70H |
| PCF8574A dos | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 72H |
| PCF8574A tres | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 74H |

Tabla 2.7 Direcciones de escritura de los PCF8574A de la tarjeta de adquisición de datos

| Direcciones de lectura | | | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|-------------|
| Dispositivo | Dirección en binario | | | | | | | | Hexadecimal |
| PCF8574A uno | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 71H |
| PCF8574A dos | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 73H |
| PCF8574A tres | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 75H |

Tabla 2.8 Direcciones de lectura de los PCF8574A de la tarjeta de adquisición de datos

Al dispositivo uno están conectadas las entradas digitales, al dispositivo dos los leds y al dispositivo tres están conectadas las salidas digitales.

La comunicación serial sincrónica I2C se realiza mediante dos líneas de los circuitos integrados. Las dos líneas son la línea serial de datos SDA y la línea serial de reloj SCL. Ambas líneas son conectadas a la fuente de alimentación a

través de resistencias de pull-up. La transmisión de datos puede ser inicializada sólo cuando el bus no está ocupado.

Un bit de datos es transferido durante cada pulso de reloj. Los datos en la línea SDA deben mantenerse estables durante el tiempo en alto de un periodo de reloj, porque los cambios en la línea de datos en este tiempo son interpretados como señales de control de inicio o de parada como se indica en la figura 2.22.

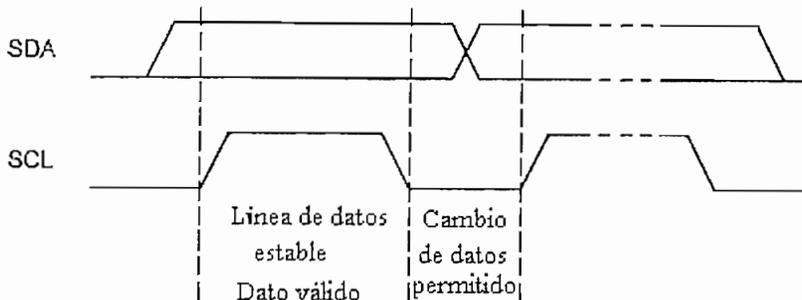


Figura 2.22 Datos válidos en el protocolo I2C

2.4.3 1 Condiciones de inicio y de parada

Ambas líneas SDA y SCL se mantienen en alto cuando el bus no está ocupado.

Condición de Inicio: Es una transición de un nivel lógico alto a un nivel lógico bajo en la línea de datos mientras la línea de reloj está en alto.

Condición de parada: Es una transición de un nivel lógico bajo a un nivel lógico alto en la línea de datos mientras la línea de reloj está en alto. La figura 2.23 presenta un diagrama de la condición de inicio y de parada.

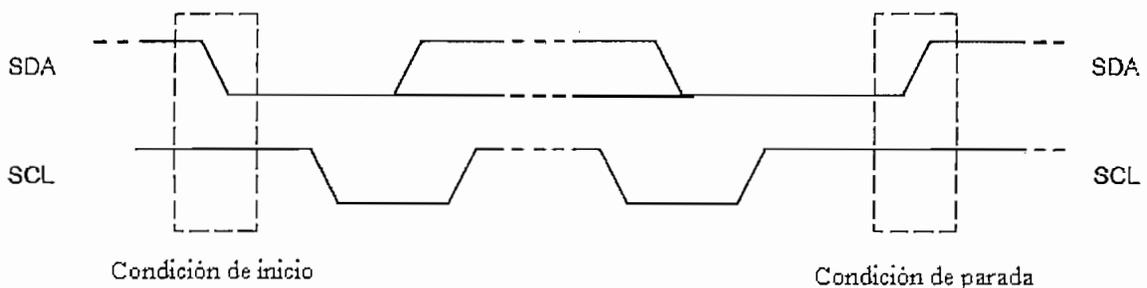


Figura 2.23 Condición de inicio y parada en el protocolo I2C

El dispositivo que genera un mensaje es el transmisor y el dispositivo que recibe el mensaje es el receptor. El dispositivo que controla los mensajes es el master y los dispositivos que son controlados por el master son los esclavos. Todos los dispositivos master y esclavos se conectan como se indica en la figura 2.24.

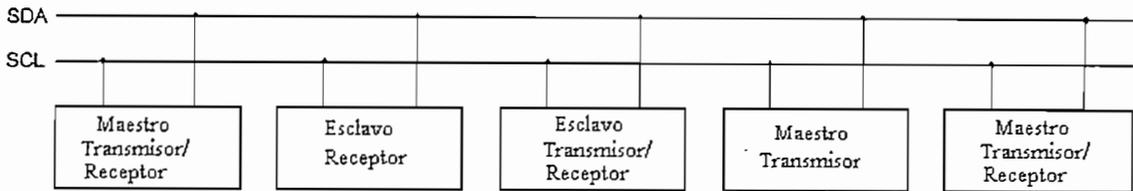


Figura 2.24 Conexión de dispositivos en las líneas SDA y SCL

2.4.3.2 Confirmación de recepción

El número de *bytes* transferidos entre la condición de inicio y de parada desde el transmisor al receptor es ilimitado. Cada *byte* de 8 bits está seguido de un bit de reconocimiento, que indica la confirmación de la recepción. Este bit de confirmación de recepción es generado por el receptor en el noveno pulso de reloj de la línea SCL con el transmisor en nivel lógico alto. La figura 2.25 presenta un diagrama que indica cuando se genera el bit de confirmación de recepción.

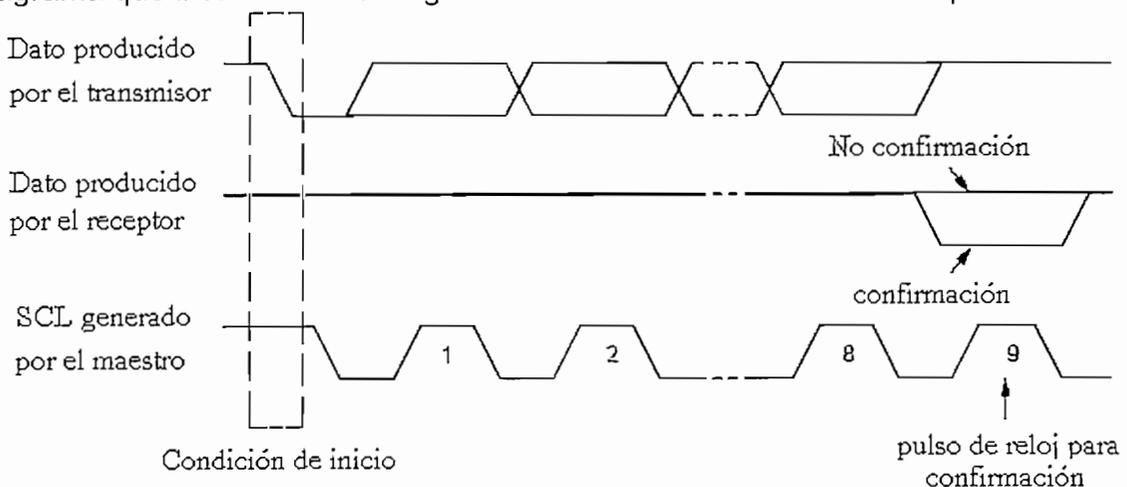


Figura 2.25 Bit de confirmación de recepción

Después de la recepción de cada *byte*, el esclavo receptor direccionado, debe generar un bit de confirmación de recepción ACK. También el dispositivo master debe generar un bit de confirmación de recepción después de recibir cada *byte*

que proviene de un esclavo transmisor. El dispositivo que confirma la recepción tiene que mantener un nivel lógico bajo en la línea SDA durante el tiempo en alto del noveno pulso de la línea de reloj.

Un master receptor debe señalar el fin de la transmisión de datos de un esclavo transmisor, para lo cual no genera un bit de confirmación de recepción en el último *byte* recibido. En este caso el transmisor debe dejar la línea de datos en alto para que el master genere la condición de parada.

El PCF8574A también dispone de una salida de interrupción que se genera cuando existe algún cambio de estado lógico en sus entradas. Esta salida de interrupción puede ser conectada a un microcontrolador, sin embargo para el diseño de la tarjeta de adquisición de datos este recurso no es utilizado.

La comunicación I2C tiene en su estructura: una condición de inicio, la dirección de un esclavo, un bit de confirmación de recepción por parte del esclavo, uno o más *bytes* de datos transferidos entre el master y el esclavo seguidos por un bit de confirmación de recepción, y por último una condición de parada. La figura 2.26 presenta la secuencia de bits en la comunicación I2C.

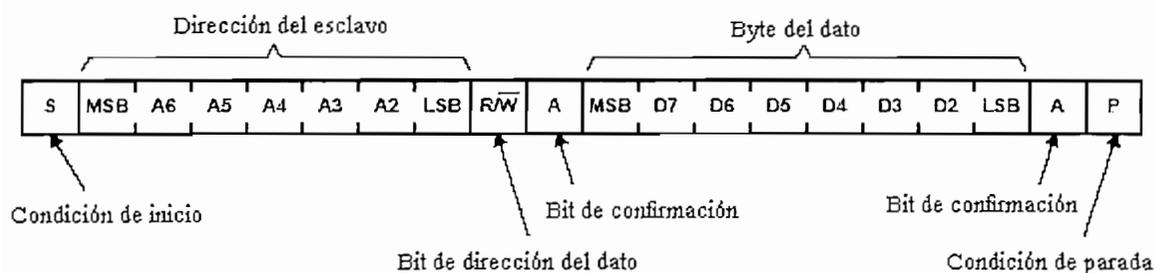


Figura 2.26 Secuencia de bits en la comunicación I2C

El PCF8574A no puede controlar la línea SCL. La línea SCL en este dispositivo es entrada, por lo tanto el PCF8574A solo puede ser esclavo receptor o transmisor según el estado del bit R/W en el *byte* de dirección. En el diseño de la tarjeta de adquisición de datos se tiene tres PCF8574A conectados al microcontrolador ATmega16, lo cual permite disponer de 24 líneas digitales controladas únicamente con dos pines del microcontrolador: SDA y SCL.

2.4.4 MAX5250^[1]

El max5250 es un circuito integrado que dispone de cuatro convertidores digitales a analógicos de 10 bits y cuatro amplificadores de precisión que utilizan una sola fuente de alimentación de 5 voltios. La principal característica del max5250 es la comunicación SPI con otros dispositivos. La figura 2.27 presenta el encapsulado del max5250 y la figura 2.28 presenta un diagrama de bloques funcional que contiene la estructura interna del max5250.

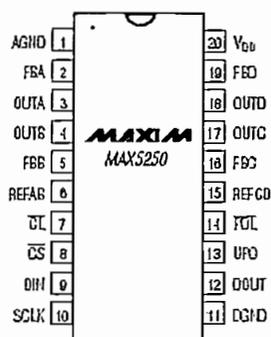


Figura 2.27 Distribución de pines del max5250

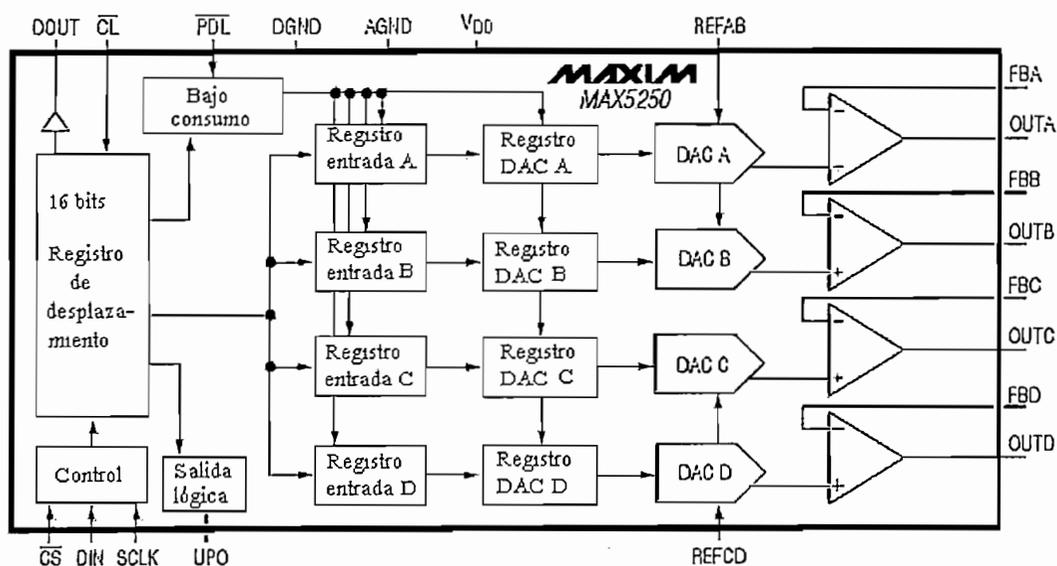


Figura 2.28 Diagrama funcional del max5250

Las cuatro entradas negativas de los amplificadores de precisión del max5250 están disponibles externamente a través de los pines para calibrar la ganancia.

^[1] MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. Data sheet del max5250. 10/2002

El max5250 tiene un registro de desplazamiento de 16 bits para entrada y salida de datos como se indica en el diagrama funcional de la figura 2.28. Cada DAC del max5250 tiene dos registros denominados registro de entrada y registro DAC. Una palabra serial de 16 bits carga los datos dentro de cada registro; los registros de entrada y registros DAC pueden ser cargados independientemente o simultáneamente con un comando de software. Todas las entradas son compatibles con lógica TTL.

2.4.4.1 Descripción de los pines del max5250

La tabla 2.9 presenta la descripción de la función de los pines del max5250.

| Nombre | Función |
|----------------------------|---|
| FBA, FBB, FBC, FBD | Corresponden a las entradas negativas de los amplificadores de precisión. |
| OUTA, OUTB, OUTC, OUTD. | Salidas analógicas de los convertidores digital análogo. |
| REFAB | Referencia de entrada de voltaje para los DAC A y DAC B |
| REBCD | Referencia de entrada de voltaje para los DAC C y DAC D |
| SCLK | Entrada de reloj |
| CS | Entrada que habilita el funcionamiento del circuito integrado, se activa con un nivel lógico bajo, y permite que el circuito integrado sea elegido como esclavo en la comunicación SPI. |
| DIN | Entrada serial de datos |
| DOUT | Salida serial de datos |
| CL | Entrada digital que limpia todos los registros, se activa con nivel lógico bajo. |
| PDL | Habilita al max5250 para entrar en estado de bajo consumo cuando está en nivel lógico alto, para lo cual el max5250 recibe un comando serial por parte del microcontrolador. |
| UPO | Salida lógica programable |
| VDD | Entrada de alimentación de voltaje. |

| Nombre | Función |
|--------|------------------|
| AGND | Tierra analógica |
| DGND | Tierra digital. |

Tabla 2.9 Descripción de los pines del max5250

2.4.4.2 Descripción del funcionamiento del max5250

El max5250 tiene cuatro convertidores digital a analógico de 10 bits que son seleccionados mediante comunicación serial sincrónica SPI.

El voltaje de cada entrada de referencia REFAB y REFCD establece la escala del voltaje de salida para sus correspondiente DACs. El voltaje de la entrada de referencia debe estar en un rango de 0 a (VDD - 1.4 V). Las salidas de voltaje son programadas digitalmente utilizando la fórmula:

$$V_{out} = \frac{V_{REF} \times NB \times G}{1024}$$

Donde NB es el valor numérico que puede estar entre 0 y 1023, V_{REF} es el voltaje de referencia, G es la ganancia externa de voltaje y V_{out} es el voltaje a la salida del convertidor digital a analógico.

En el diseño se ha conectado referencias de voltaje de 2.5 voltios y una ganancia de dos unidades para los amplificadores no inversores.

$$G = 1 + \frac{R2}{R1} = 1 + \frac{10K}{10K} = 2$$

$$V_{out} = \frac{V_{REF} \times NB \times G}{1024} = \frac{2.5V \times 1023 \times 2}{1024} = 4.995V$$

Con el hardware del diseño de la tarjeta de adquisición de datos se tiene una variación de las salidas analógicas de 0 a 4.995 voltios. Al usar dos max5250 se dispone de ocho convertidores digital a analógico independientes, con lo que se

tiene ocho salidas analógicas, sin necesidad de realizar multiplexación para los canales de salida. Cada salida analógica corresponde a un DAC del max5250.

2.4.4.3 Configuración de la interfaz serial

La programación del max5250 se realiza mediante comunicación SPI (*serial peripheral interfaz*) con un microcontrolador. El protocolo de comunicación SPI permite altas velocidades de transferencia serial sincrónica entre un microcontrolador y un dispositivo periférico o entre varios microcontroladores. La comunicación SPI utiliza tres líneas de conexión: *Master output-slave input (MOSI)* salida de datos master y entrada de datos esclavo; *Master input-slave output (MISO)* entrada de datos master y salida de datos esclavo; *serial clock (SCK)* salida de reloj generada por el master; *Chip select (CS)*, que permite al master elegir el esclavo con el que se realiza la comunicación.

La conexión del pin DOUT no es necesaria, pero puede ser usada para verificar los valores que envía el microcontrolador haciendo que los datos retornen. En el caso del diseño de la tarjeta de adquisición de datos este pin no está conectado. La tarjeta de adquisición de datos tiene dos max5250. El microcontrolador utiliza los pines PB0 y PB1 para elegir con cual de los dos max5250 establece la comunicación. La figura 2.29 presenta la interconexión de varios max5250 con las líneas de comunicación SPI.

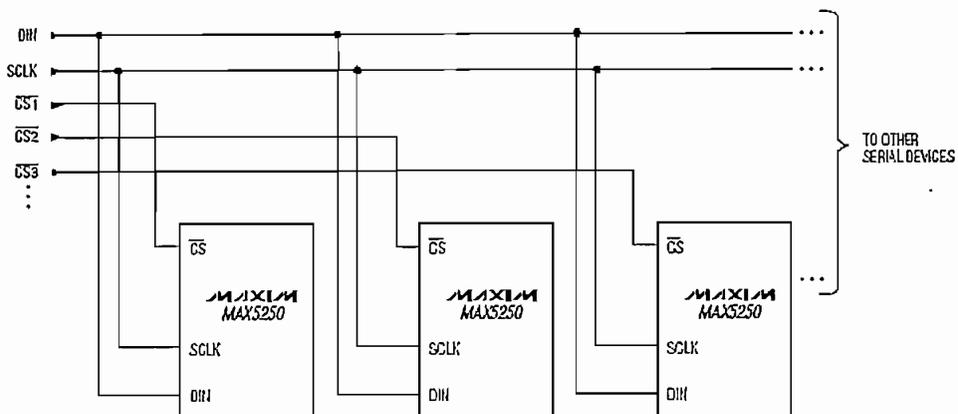


Figura 2.29 Conexión de varios dispositivos esclavos

| Palabra serial de 16 bits | | | | | FUNCIÓN |
|---------------------------|-------|--------------------------|-------|---|---------|
| A1_A0 | C1_C0 | D9.....D0 MSB.....LSB | S1_S0 | | |
| 0 0 | 0 1 | 10 bits data DAC | 0 0 | Carga registro de entrada A, registros DAC sin cambios. | |
| 0 1 | 0 1 | 10 bits data DAC | 0 0 | Carga registro de entrada B, registros DAC sin cambios. | |
| 1 0 | 0 1 | 10 bits data DAC | 0 0 | Carga registro de entrada C, registros DAC sin cambios. | |
| 1 1 | 0 1 | 10 bits data DAC | 0 0 | Carga registro de entrada D, registros DAC sin cambios. | |
| 0 0 | 1 1 | 10 bits data DAC | 0 0 | Carga registro de entrada A, todos los registros DAC son actualizados. | |
| 0 1 | 1 1 | 10 bits data DAC | 0 0 | Carga registro de entrada B, todos los registros DAC son actualizados. | |
| 1 0 | 1 1 | 10 bits data DAC | 0 0 | Carga registro de entrada C, todos los registros DAC son actualizados. | |
| 1 1 | 1 1 | 10 bits data DAC | 0 0 | Carga registro de entrada D, todos los registros DAC son actualizados. | |
| 0 1 | 0 0 | xxxxxxxxxx | x x | Actualiza todos los registros DAC desde sus respectivos registros de entrada. | |
| 1 0 | 0 0 | 10 bits data DAC | 0 0 | Carga todos los registros DAC desde el registro de desplazamiento. | |
| 1 1 | 0 0 | xxxxxxxxxx | x x | Entra en modo de bajo consumo cuando se tiene PDL = 1 | |
| 0 0 | 1 0 | xxxxxxxxxx | x x | Pin UPO con nivel lógico bajo | |
| 0 1 | 1 0 | xxxxxxxxxx | x x | Pin UPO con nivel lógico alto | |
| 0 0 | 0 0 | xxxxxxxxxx | x x | No operación todos los registros DAC | |
| 1 1 | 1 0 | xxxxxxxxxx | x x | Modo 1: DOUT transmite en el flanco de subida de la señal de reloj. Todos los registros DAC son actualizados. | |
| 1 0 | 1 0 | xxxxxxxxxx | x x | Modo 0: DOUT transmite en el flanco de bajada de la señal de reloj. Todos los registros DAC son actualizados. | |

Tabla 2.10 Comandos de programación del max5250

La figura 2.31 presenta el diagrama de tiempos de la comunicación serial sincrónica SPI:

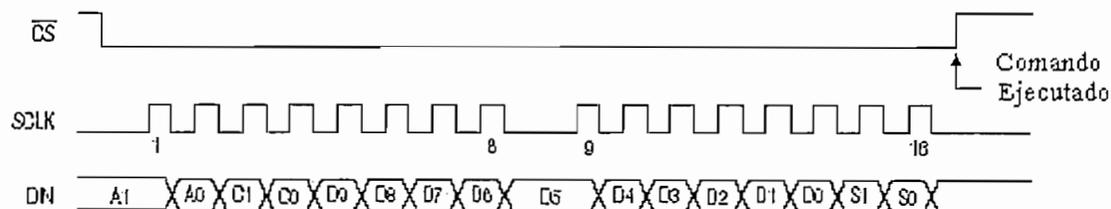


Figura 2.31 Diagrama de tiempos de la comunicación SPI.

El pin chip select (CS) debe estar en nivel lógico bajo para habilitar la interfaz serial del DAC. Cuando CS está en bajo, los datos son enviados al registro interno de desplazamiento a través del pin de entrada serial DIN en el flanco de subida de la señal de reloj SCLK. La máxima frecuencia de reloj para la cual el fabricante garantiza la transmisión es de 10 MHz.

Los comandos de programación permiten cargar cada registro de entrada sin afectar los datos de los registros DACs; también se puede cargar los registros de entrada y actualizar el valor de los registros DACs con una sola instrucción. Otra alternativa que ofrece la lista de comandos es cargar primero los registro de entrada mediante una instrucción, y luego pasarlos a los registros DAC mediante una segunda instrucción.

La configuración de hardware del max5250 utilizada en la tarjeta de adquisición de datos tiene una referencia de voltaje de 2.5 voltios y una ganancia en los amplificadores de precisión de 2 unidades, con lo que se dispone de una salida de voltaje analógico de 0 a 5V. La figura 2.32 presenta un diagrama funcional de conexión de los DACs y amplificadores de precisión del max5250.

La referencia de voltaje utilizada para las entradas REFAB y REFCB del max5250 es proporcionada por el circuito integrado max6225^[1], que suministra una referencia de voltaje de precisión y bajo ruido. La tolerancia del max6225 es del 2% y la regulación de carga funciona correctamente hasta 15 mA.

^[1] MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. Data sheet del max6225. 01/2001

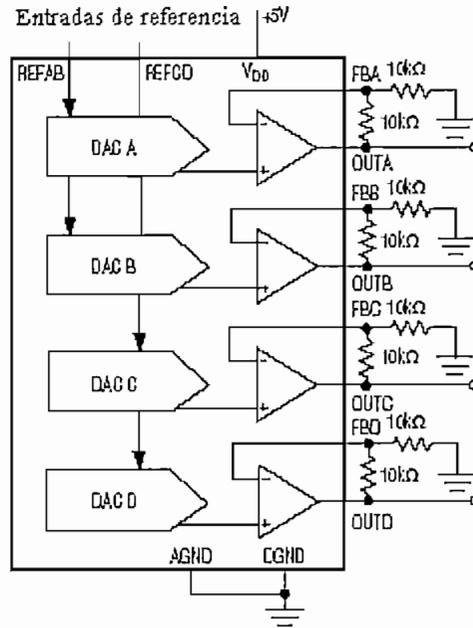


Figura 2.32 Diagrama funcional de conexión de los DACs y amplificadores

2.4.5 CONVERTIDOR ANALÓGICO A DIGITAL DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El ATmega16 tiene un convertidor analógico a digital de 10 bits de resolución. El ADC es conectado a un multiplexor analógico de ocho canales, con lo que se dispone de ocho entradas analógicas que se encuentran como función alterna del puerto A. Las ocho entradas analógicas tienen como referencia la tierra del ATmega16. El tiempo de conversión está entre 65 y 260 microsegundos. El ADC puede tomar hasta 15 mil muestras por segundo en máxima resolución.

Los ADCs contienen un circuito de muestreo y retención que aseguran que la entrada de voltaje se mantenga en un nivel constante durante la conversión. Los ADCs tienen un voltaje de alimentación independiente a través del pin AVCC del microcontrolador. El voltaje en AVCC no debe diferir en más de 0.3 voltios del voltaje en VCC. Se puede tomar como referencia de voltaje un valor de 2.56 V interno del microcontrolador o el valor conectado al pin AVCC.

Los ADCs convierten una entrada de voltaje analógica en un número de diez bits. Los ADCs tienen soportan un rango de voltaje de muestreo; el valor mínimo de

voltaje es GND y el valor máximo es el voltaje en el pin AREF menos 1 LSB (Bit menos significativo).

$$1 \text{ LSB} = \frac{5V}{2^{10}} = 0.0049V$$

$$AREF - 1LSB = 5V - 0.0049 = 4.991V$$

Para la resolución de 10 bits y 5 voltios de voltaje de referencia se tiene que el máximo valor de voltaje que puede muestrear el ADC es de 4.991 V.

Los ADCs de la tarjeta de adquisición de datos tienen como referencia de voltaje AVCC. La selección de los canales del ADC se la realiza mediante software. El resultado de la conversión analógica a digital de diez bits se presenta en dos registros del microcontrolador.

Los ADCs del microcontrolador pueden genera una interrupción cuando una conversión se ha completado, pero este recurso no es utilizado en la tarjeta de adquisición de datos. El resultado de una conversión se representa mediante un número digital entero y corresponde a la siguiente ecuación:

$$ADC = \frac{V_{IN} \times 1024}{V_{REF}}$$

Donde V_{IN} es el voltaje en el pin de entrada, V_{REF} es la referencia de voltaje seleccionada y ADC es el número digital resultado de la conversión.

2.4.6 MCP2120^[1]

El MCP2120 de Microchip es un codificador-decodificador de infrarrojos de alto rendimiento y bajo costo. El mcp2120 funciona en modo half duplex, lo que significa que transmite o recibe datos, pero no ambos a la vez. La figura 2.33 indica la distribución de pines del mcp2120.

^[1] MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. Data sheet del mcp2120. 05/2001

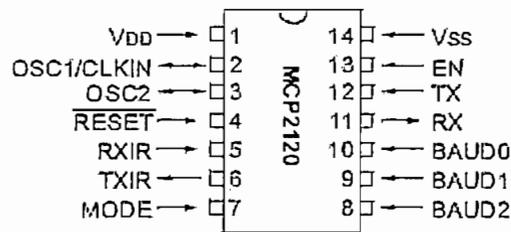


Figura 2.33 Distribución de pines del mcp2120

En el diseño de una tarjeta para comunicación infrarroja, el mcp2120 se sitúa entre una UART estándar y un transceptor óptico de infrarrojos. Los datos recibidos desde la UART son codificados o modulados por el mcp2120 y enviados al transceptor de infrarrojos como pulsos eléctricos. El transceptor de infrarrojos también recibe datos y los envía como pulsos eléctricos al mcp2120, el cual los decodifica o demodula para ser transmitidos a una UART.

La tarjeta de adquisición de datos dispone de un mcp2120 y de un transceptor óptico de infrarrojos. La figura 2.34 presenta un diagrama de bloques que indica los dispositivos principales con los que funciona el mcp2120.

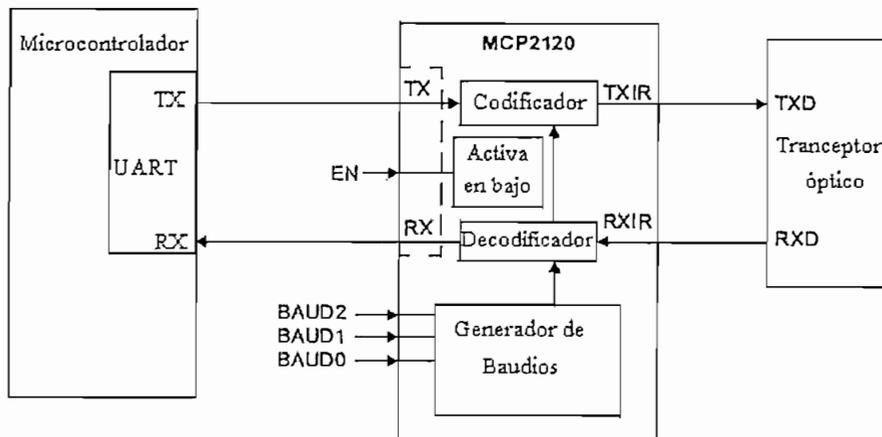


Figura 2.34 Diagrama de bloques de la interconexión del mcp2120

Como se indica en la figura 2.34 el microcontrolador envía y recibe datos en formato serial a través de su UART. Los datos seriales se transfieren entre el microcontrolador y el mcp2120 a través de las líneas TX para la transmisión y RX para la recepción. Los datos seriales transmitidos por el microcontrolador son recibidos por el mcp2120, codificados en pulsos eléctricos y enviados al transceptor óptico de infrarrojos a través de la línea TXIR. El mcp2120 recibe los

pulsos eléctricos que proviene del transceptor óptico a través de la línea RXIR. Estos pulsos eléctricos son decodificados y transmitidos al microcontrolador.

2.4.6.1 Descripción de pines del mcp2120

En la tabla 2.11 se presenta la descripción de los pines del mcp2120.

| Pin | Nombre | Descripción |
|-----|---------------|--|
| 1 | VDD | Entrada de alimentación de voltaje de 5 V. |
| 2-3 | OSC1, OSC2 | En estos pines se conecta un oscilador externo. |
| 4 | Reset | Reinicia el dispositivo, se activa en nivel lógico bajo. |
| 5 | RXIR | Receptor asincrónico desde el transceptor infrarrojo. |
| 6 | TXIR | Transmisor asincrónico hacia el transceptor infrarrojo. |
| 7 | MODE: | Se activa en nivel bajo, y al activarse cualquier dato que es recibido por el mcp2120 es reenviado al microcontrolador sin realizar codificación-decodificación. |
| 8 | BAUD2 | Especifica la velocidad de transferencia de datos |
| 9 | BAUD1 | Especifica la velocidad de transferencia de datos |
| 10 | BAUD0 | Especifica la velocidad de transferencia de datos |
| 11 | RX | Transmisor asincrónico hacia la UART del microcontrolador. |
| 12 | TX | Receptor asincrónico desde la UART del microcontrolador |
| 13 | EN | Habilita el dispositivo |
| 14 | Vss | Referencia de tierra |

Tabla 2.11 Descripción de los pines del mcp2120

El mcp2120 selecciona por hardware la tasa de transferencia de bits mediante el estado lógico de los pines de entrada BAUD2, BAUD1 y BAUD0. En la tabla 2.12 se indica los valores proporcionados por el fabricante de la tasa de transferencia de bits por segundo en función del valor lógico de los pines BAUD2, BAUD1 y BAUD0 y del oscilador utilizado.

| BAUD2:BAUD0 | Frecuencia (MHz) | | | | | Tasa de bits |
|-------------|------------------|-------|--------|--------|--------|---------------|
| | 0.6144 | 2.000 | 3.6864 | 4.9152 | 7.3728 | |
| 000 | 800 | 2604 | 4800 | 6400 | 9600 | $F_{osc}/768$ |
| 001 | 1600 | 5208 | 9600 | 12800 | 19200 | $F_{osc}/384$ |
| 010 | 3200 | 10417 | 19200 | 25600 | 38400 | $F_{osc}/192$ |
| 011 | 4800 | 15625 | 28800 | 38400 | 57600 | $F_{osc}/128$ |
| 100 | 9600 | 31250 | 57600 | 78600 | 115200 | $F_{osc}/64$ |

Tabla 2.12 Baudios en función de la frecuencia del oscilador

La tasa de transferencia que se ha seleccionado para el diseño es de 9600 bits por segundo, para lo que se ha conectado los pines BAUD2, BAUD1 y BAUD0 a cero lógico y se utiliza un oscilador de 7.3728 MHz.

2.4.6.2 Modulación

La modulación consiste en dividir el tiempo de cada bit en 16 pulsos de reloj. Un nivel lógico en bajo de un bit modulado corresponde a un tiempo en bajo de siete pulsos de reloj, seguido de un tiempo en alto de 3 pulsos de reloj y finalmente un tiempo en bajo de seis pulsos de reloj. Un nivel lógico en alto de un bit modulado corresponde a un nivel lógico bajo durante los 16 pulsos de reloj.

La figura 2.35 presenta el diagrama de tiempos de la modulación.

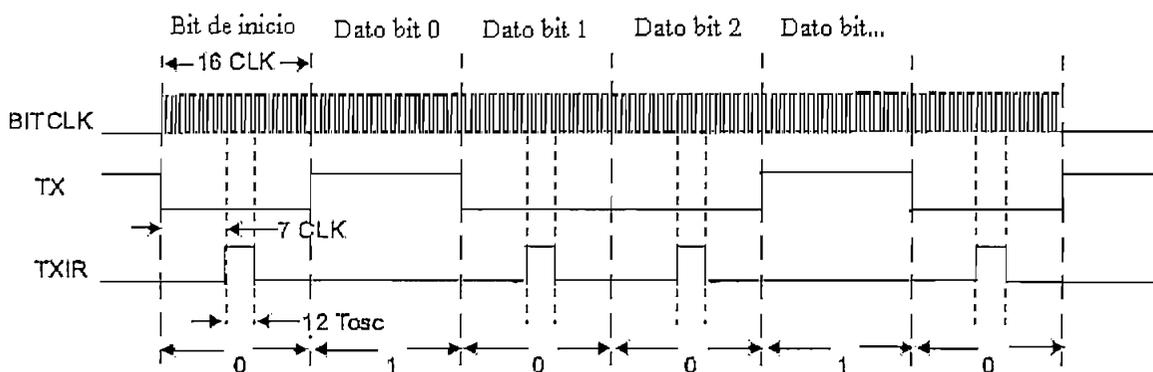


Figura 2.35 Diagrama de tiempos de la modulación en el mcp2120

2.4.6.3 Demodulación

El transceptor óptico de infrarrojos envía una señal modulada al mcp2120, el cual debe decodificarla. La demodulación permite que la UART del microcontrolador o del computador reciba los datos seriales en formato UART. Al igual que para la modulación cada bit está dividido en 16 pulsos de reloj. Los niveles lógicos que envía el transceptor óptico se interpretan del siguiente modo: uno lógico corresponde a tener en el pin RXIR un nivel bajo durante tres pulsos de reloj y luego un nivel alto durante trece pulsos de reloj; cero lógico corresponde a tener en el pin RXIR un nivel lógico alto durante los dieciséis pulsos de reloj. La figura 2.36 presenta el diagrama de tiempos de la demodulación.

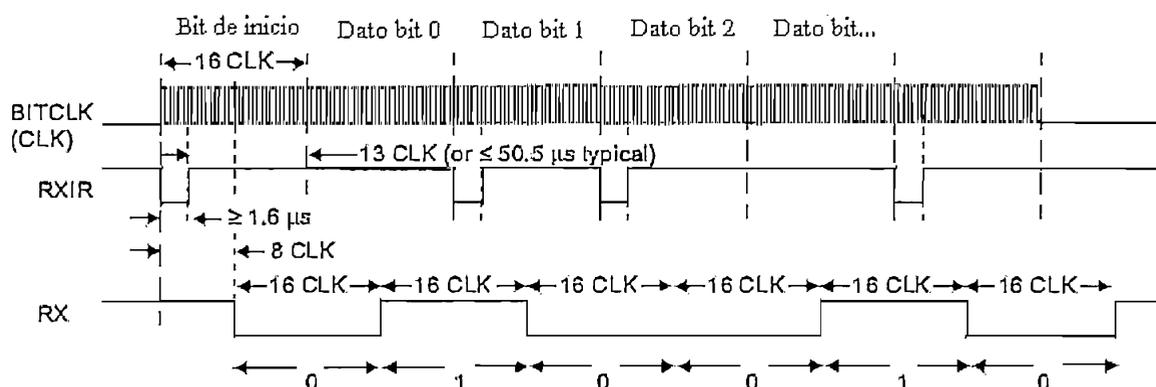


Figura 2.36 Diagrama de tiempos de la demodulación en el mcp210

2.4.7 TFDS4500^[1]

El TFDS4500 es un transceptor óptico de infrarrojos que tiene en un solo integrado un transmisor y un receptor de infrarrojos. También tiene un control análogo interno, con lo que se requiere solo de algunos componentes externos para su funcionamiento.

El TFDS4500 tiene un rango de voltaje de operación de 2.7 voltios a 5.5 voltios, y el alcance para la comunicación es de hasta tres metros según especificaciones del fabricante. No necesita blindaje para protección contra EMI.

^[1] VISHAY SEMICONDUCTOR. Data sheet del TFDS4500. 08/1998

2.4.7.1 Distribución de pines del TFDS4500

El TFDS4500 es de montaje superficial, la figura 2.37 presenta su encapsulado.

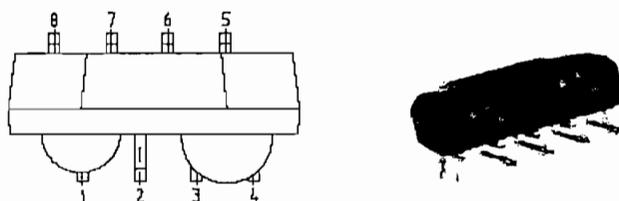


Figura 2.37 Encapsulado del TFDS4500

En la tabla 2.13 se presenta la descripción de los pines del TFDS4500.

| Pin | Nombre | Función |
|-----|-------------|--|
| 1 | IRED cátodo | No requiere conectarse a ningún componente externo |
| 2 | Rxd | Salida de datos recibidos |
| 3 | Vcc1 | Fuente de alimentación |
| 4 | GND | Referencia de tierra |
| 5 | SC | Control de sensibilidad |
| 6 | NC | No conexión |
| 7 | Txd | Entrada para transmisión de datos |
| 8 | IRED ánodo | Se conecta a una resistencia para limitar la corriente |

Tabla 2.13 Descripción de la función de los pines del TFDS4500

En la figura 2.38 se indica el circuito que recomienda usar el datasheet del TFDS4500. La resistencia R1 limita la corriente a través del emisor de infrarrojos. La resistencia R2 y los capacitores C1 y C2 reducen el ruido RF. Los valores para estos elementos recomendados en la hoja de datos del fabricante son $R1 = 14 \Omega$, $R2 = 47 \Omega$, $C1 = 4.7 \mu\text{F}$, $C2 = 0.1 \mu\text{F}$.

Cuando se conecta el pin SC a nivel lógico alto, se incrementa la sensibilidad a señales infrarrojas y se incrementa la distancia de transmisión hasta tres metros, pero también el transceptor es más susceptible de errores en la transmisión,

debido a que es más sensible a disturbios en la luz fluorescente. Por este motivo se ha dejado libre este pin en el diseño de los transceptores de infrarrojos.

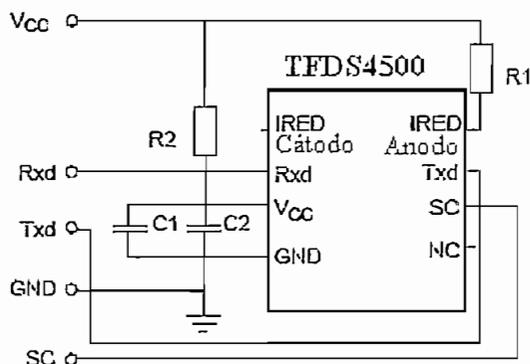


Figura 2.38 Conexiones del TFDS4500

El TFDS4500 se conecta directamente con un codificador-decodificador de infrarrojos como el mcp2120.

2.4.8 MEMORIA EEPROM DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La tarjeta de adquisición de datos utiliza la memoria eeprom interna del microcontrolador atmega16, el cual dispone de 528 bytes que pueden ser escritos y borrados hasta cien mil veces. En la memoria eeprom se almacena los datos correspondientes a las entradas analógicas y digitales cuando el sistema funciona en forma autónoma, es decir sin conexión con el computador.

2.4.9 PROGRAMADOR DEL MICROCONTROLADOR^[1]

La programación del microcontrolador se realiza a través de los pines de comunicación serial sincrónica SPI del microcontrolador. Para evitar sacar el microcontrolador de la tarjeta de adquisición de datos se ha colocado un conector que permite tener acceso a los pines de programación: MOSI, MISO, SCK, reset, GND y VCC. La programación se realiza a través del puerto paralelo y utilizando BASCOM AVR, cuyas características serán descritas en el capítulo de software. La figura 2.39 presenta el circuito que se utiliza para la programación del microcontrolador atmega16. En Bascom-avr se configura el programador STK200.

[1] BASCOM-AVR VERSIÓN 1.11.7.4. MCS Electronics. 2003

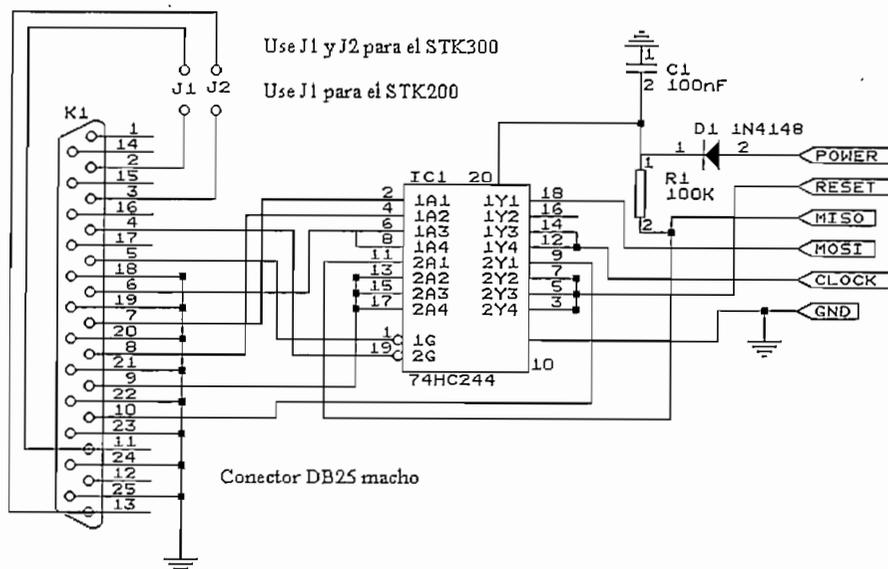


Figura 2.39 Programador de microcontroladores AVR

2.5 CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

La tarjeta de adquisición de datos y la tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador se han construido con rutas de cobre en las dos caras. Cada tarjeta está contenida en una caja, para su protección y fácil uso. La figura 2.40 presenta una foto de la tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador. Algunos elementos de la tarjeta del transceptor de infrarrojos se ha sacado hacia el exterior de la caja: el transceptor óptico de infrarrojos, un led y un interruptor.

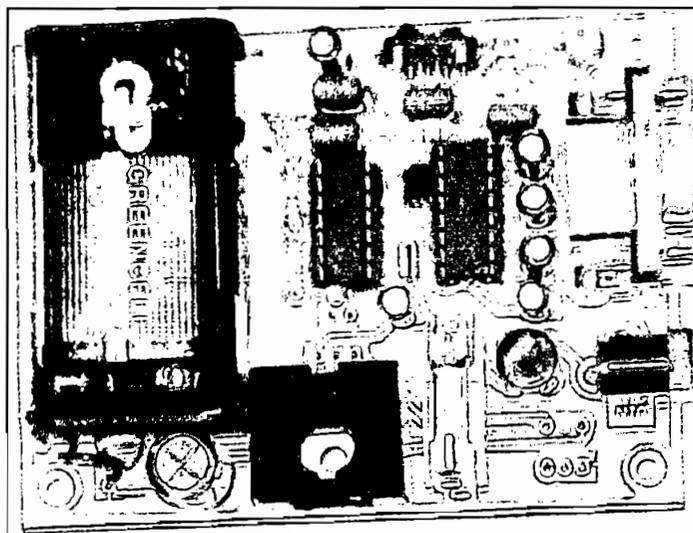


Figura 2.40 Tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador

En la tarjeta de adquisición de datos se ha sacado al exterior de la caja que la contiene los elementos de interfaz de usuario como son: el LCD, leds, pulsadores, interruptores, entradas analógicas, entradas digitales, salidas analógicas, salidas digitales, transceptor óptico de infrarrojos. La figura 2.41 presenta una foto de la tarjeta de adquisición de datos.

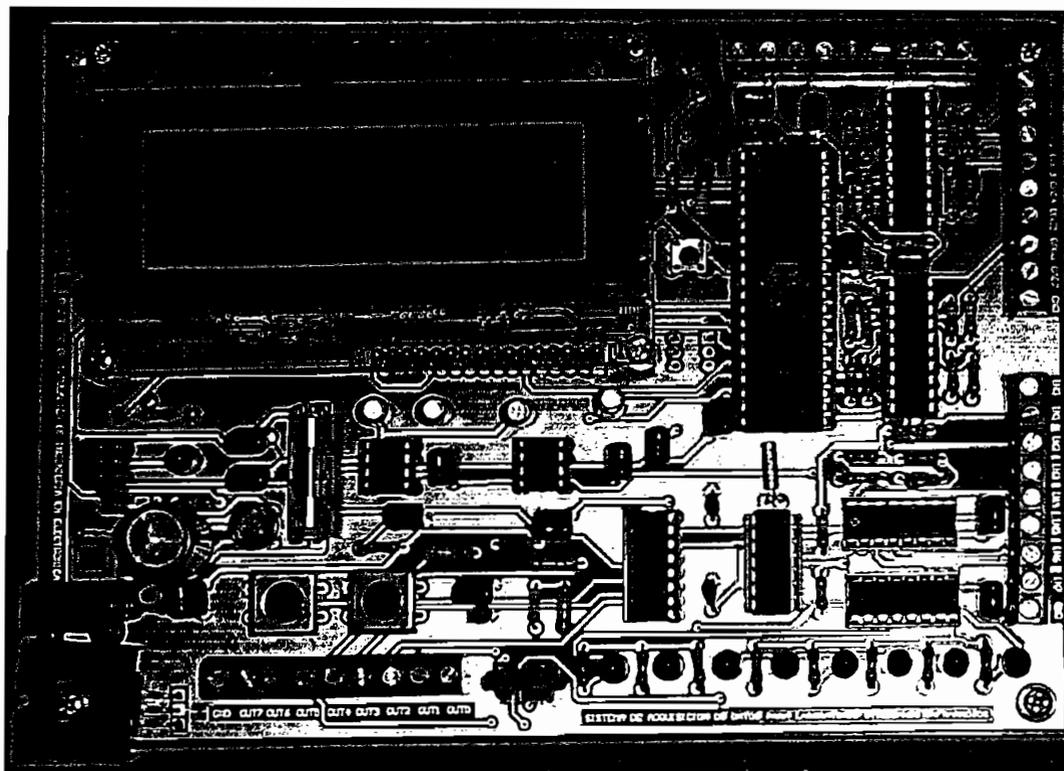


Figura 2.41 Tarjeta de adquisición de datos

2.5.1 PANEL FRONTAL DE L MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El módulo de adquisición de datos está conformado por: la tarjeta de adquisición de datos, un transformador de voltaje, la caja y el panel frontal con todas las conexiones. La tarjeta de adquisición de datos es colocada dentro de una caja que tiene un panel frontal con los elementos de interfaz de usuario de la tarjeta de adquisición de datos. Los elementos que contiene el panel frontal son: LCD, pulsadores para configuración, pulsador de reset, interruptor que activa la luz del LCD, interruptor de encendido, transceptor óptico de infrarrojos, leds, y 36 borneras que corresponden a las entradas analógicas, entradas digitales, salidas analógicas, salidas digitales, y la referencia de tierra. Para comodidad en las

conexiones se tiene cuatro borneras como referencia de tierra. La figura 2.42 presenta una foto del panel frontal del módulo de adquisición de datos.

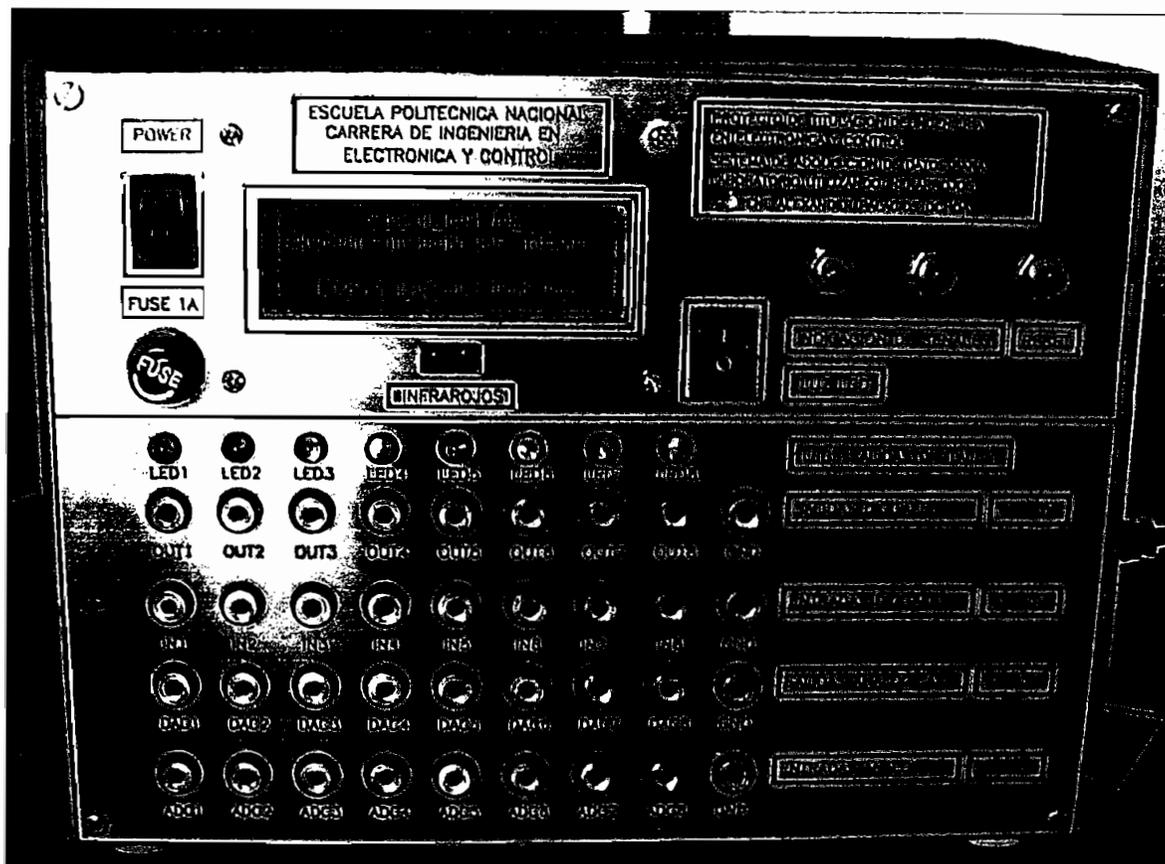


Figura 2.42 Panel frontal del módulo de adquisición de datos

Los elementos de la tarjeta de adquisición de datos que se indican en la figura 2.42 son sacados externamente mediante cables con conectores, para que el panel sea desmontable. A excepción del transceptor óptico de infrarrojos, todos los elementos pueden desconectarse de la tarjeta. El transceptor óptico de infrarrojos es de montaje superficial, por lo cual se lo ha soldado en una pequeña tarjeta de circuito impreso que se coloca en el panel y que se une a la tarjeta principal mediante cables soldados. No se ha puesto conector en este elemento para evitar ruido en los contactos.

En la figura 2.43 se indica la parte interna de la caja que contiene: la tarjeta de adquisición de datos y el transformador de voltaje que tiene como entrada una fuente voltaje de 120 voltios rms.

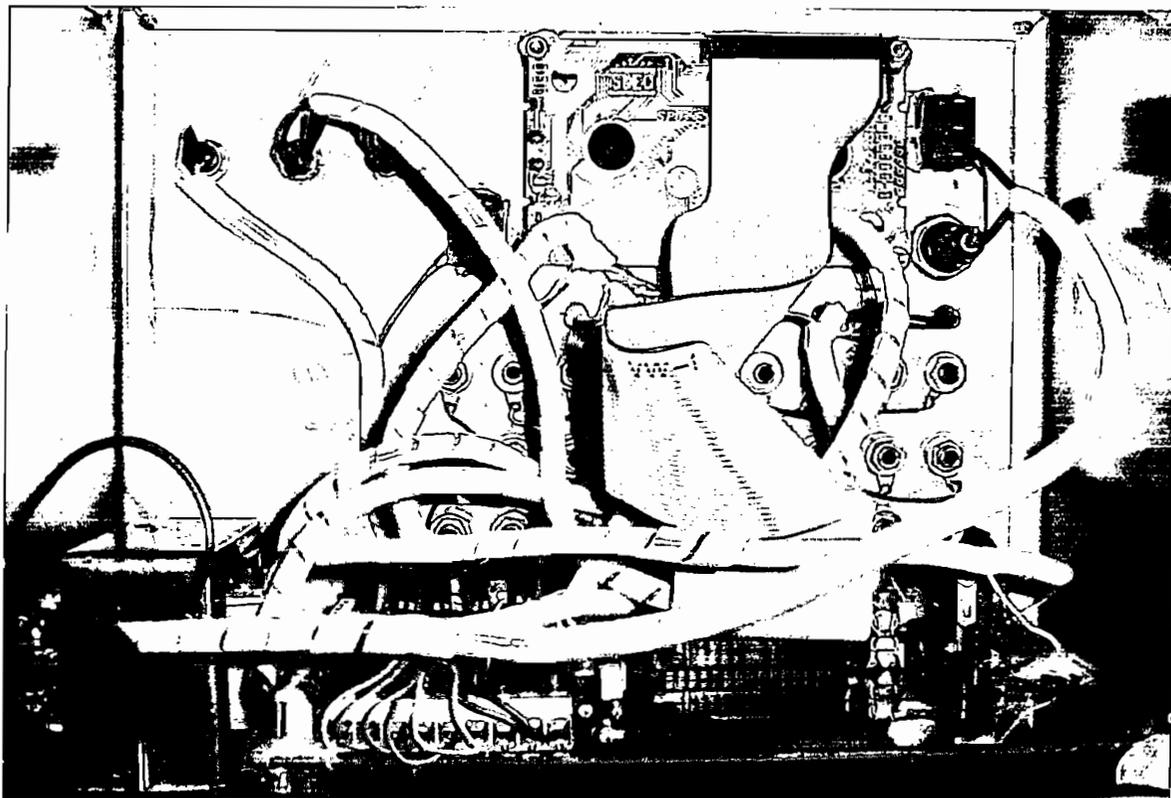


Figura 2.43 Parte interna de la caja que contiene la tarjeta de adición de datos.

2.5.2 PANEL FRONTAL Y POSTERIOR DE LA TARJETA TRANSCPTOR DE INFRARROJOS PARA EL COMPUTADOR

El panel frontal del transceptor de infrarrojos contiene: un interruptor, un led y el transceptor óptico de infrarrojos. El interruptor permite elegir entre una batería de nueve voltios o alimentación externa de voltaje de 120 Vrms; el interruptor utilizado es de dos posiciones, con lo cual se tiene conectada la batería o la fuente de alimentación externa. El led colocado en el panel frontal sirve para indicar que la tarjeta está encendida, es decir que tiene fuente de alimentación conectada, sea la batería o la fuente externa de 120 Vrms.

El panel posterior contiene: un conector DB9 externo para que la tarjeta transceptor de infrarrojos pueda conectarse al puerto serial del computador a través de un cable serial; y un conector para un cable de poder para 120 Vrms. En

las figuras 2.44 y 2.45 se presentan las fotos del panel frontal y panel posterior de la tarjeta del transceptor de infrarrojos para el computador.

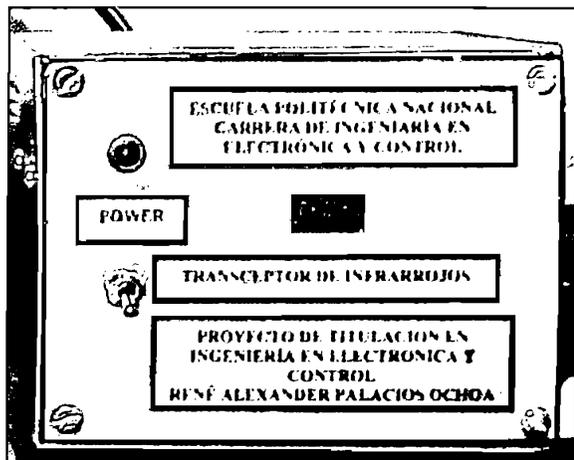


Figura 2.44 Panel frontal de la tarjeta transceptor de infrarrojos.

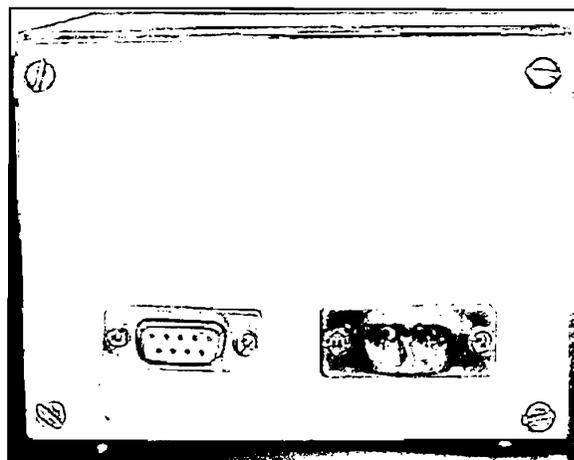


Figura 2.45 Panel posterior de la tarjeta transceptor de infrarrojos.

En la figura 2.46 se presenta una foto de la parte interna de la caja de la tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador. La caja tiene una puerta lateral para el cambio de la batería de 9 voltios.



Figura 2.46 Parte interna de la caja que contiene la tarjeta transceptor de infrarrojos para el computador

2.5.3 MODULO DE SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES

El módulo de señales analógicas y digitales se ha construido para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema de adquisición de datos. El módulo de señales contiene: ocho salidas analógicas de voltaje, ocho salidas digitales de voltaje, ocho potenciómetros y ocho interruptores. La amplitud del voltaje de las salidas analógicas está en un rango de 0 a 5 voltios y las salidas digitales tienen niveles de voltaje TTL. Las salidas de voltaje analógicas y digitales se diseñan en base a una fuente regulada de 5 voltios. La figura 2.47 presenta el circuito de la tarjeta del módulo de señales.

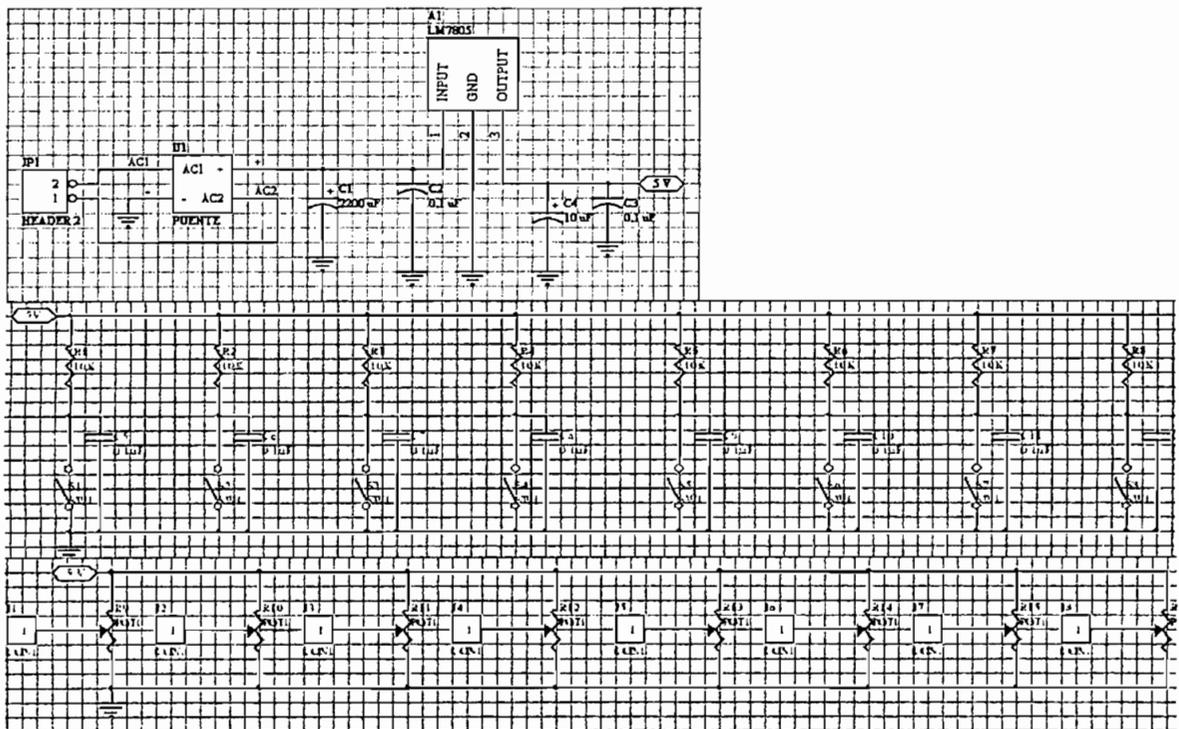


Figura 2.47 Conexiones de la tarjeta del módulo de señales.

Los interruptores de la tarjeta del módulo de señales se conectan en un circuito de eliminación de rebotes; los capacitores son de $0.1 \mu\text{F}$ y las resistencias son de 10K . Los interruptores del módulo de señales controlan el estado lógico de las salidas digitales y los potenciómetros controlan el nivel de voltaje de las salidas analógicas. Las salidas digitales y analógicas son sacadas al exterior del panel frontal del módulo de señales a través de borneras. La figura 2.48 presenta una foto del panel frontal del módulo de señales. El panel frontal del módulo de

señales contiene: ocho salidas de voltaje analógicas, ocho salidas de voltaje digitales; ocho interruptores, ocho potenciómetros, un fusible de 1 amperio y un interruptor de encendido. La figura 2.49 presenta una foto de la parte interna de la caja del módulo de señales que indica: las conexiones internas del panel frontal, el transformador de voltaje y la tarjeta del módulo de señales.

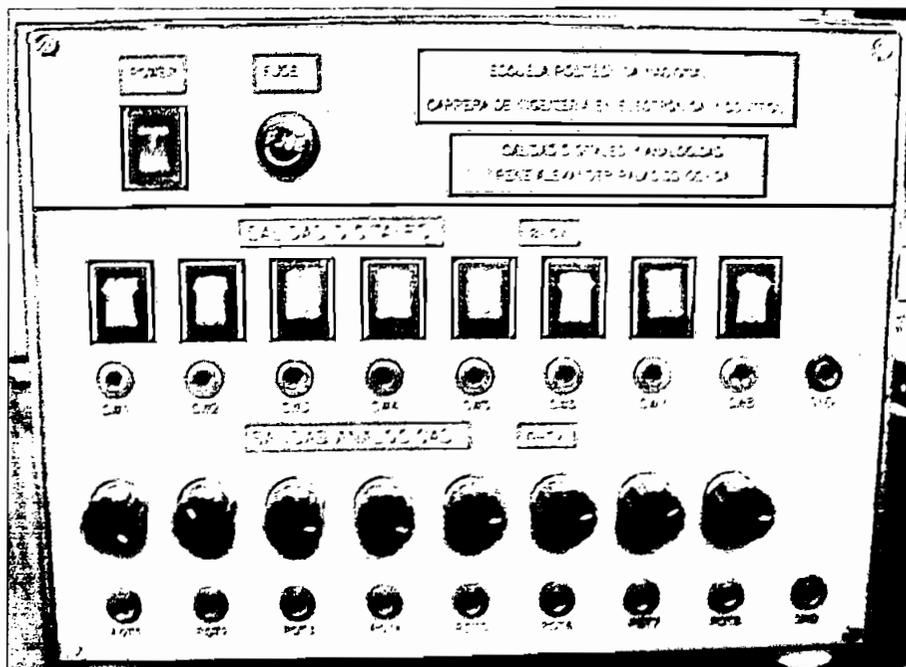


Figura 2.48 Módulo de señales analógicas y digitales.

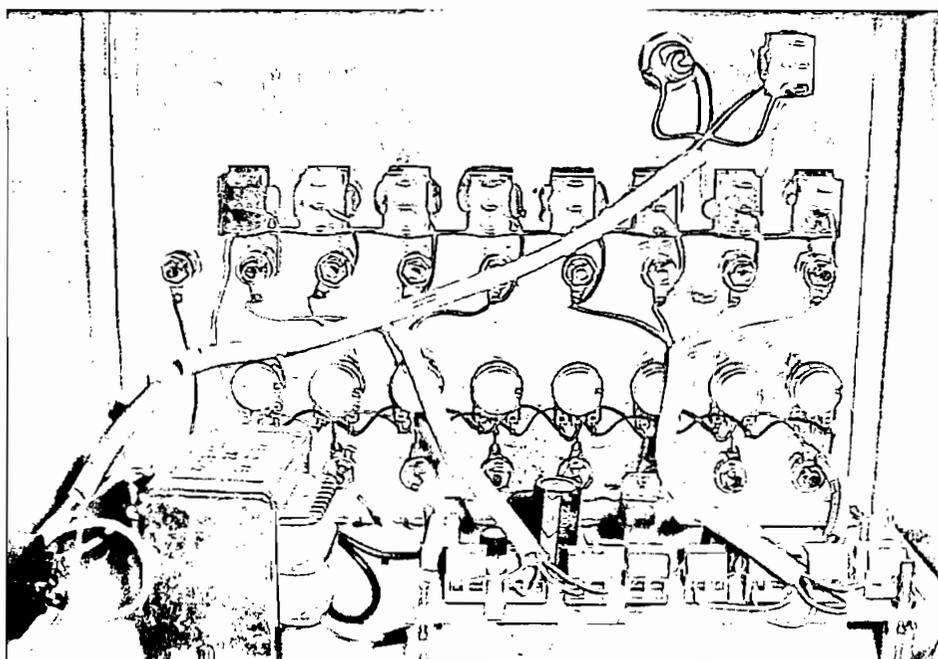


Figura 2.49 Módulo de señales analógicas y digitales.

CAPÍTULO III

SOFTWARE DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

3. SOFTWARE DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El software del sistema de adquisición de datos comprende el desarrollo de un programa para el computador mediante LabView 6.1 y un programa para el microcontrolador desarrollado en Bascom-avr. El software del sistema de adquisición de datos permite realizar el control de todos los recursos del sistema como son las entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales, salidas digitales, leds, memoria eeprom, comunicación serial infrarrojos, mensajes en el LCD, control de los pulsadores.

3.1 CONSIDERACIONES PARA DESARROLLAR EL SOFTWARE EN LABVIEW 6.1

- El programa en el computador será desarrollado en LabView y tendrá el control del envío y recepción de datos mediante luz infrarroja entre el computador y el módulo de adquisición de datos. Se creará instaladores de la aplicación desarrollada en Labview.
- Los datos recibidos desde las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos serán recibidos por el computador y mediante una herramienta de LabView serán graficados mientras se realiza la recepción de los datos. Estos datos también serán grabados en un archivo de texto, el cual podrá ser utilizado para graficar nuevamente los datos grabados, o para tener una representación numérica ordenada de los datos de las entradas analógicas.
- Los datos recibidos desde las entradas digitales de la tarjeta de adquisición de datos podrán ser grabados en un archivo de texto y visualizados en una representación gráfica, que presente el estado lógico de cada entrada digital.

- El valor de los datos de las salidas analógicas podrán ser enviados desde el computador hacia la tarjeta de adquisición de datos. El valor analógico tendrá un rango de cero a 4.96 voltios.
- El valor de las salidas digitales será representado en forma gráfica en el computador y el software podrá enviar un valor digital a la tarjeta de adquisición de datos el número de veces que se requiera. El estado de los leds corresponde al valor que se envía a las salidas digitales.
- El software en LabView podrá leer la memoria eeprom del módulo de adquisición de datos y grabará estos datos en un archivo de texto. Los datos recibidos desde eeprom podrán ser representados en forma numérica y gráfica a través del archivo de texto en el cual se graban los datos.

3.2 SOFTWARE EN LABVIEW

El software en Labview comprende veintinueve instrumentos virtuales llamados VIs que corresponden al programa principal, veintisiete subrutinas y una variable global. Además contiene seis archivos de texto que son utilizados para grabar datos que provienen del módulo de adquisición de datos. Los archivos de texto almacenan los datos de las entradas analógicas, entradas digitales y los datos grabados en eeprom del módulo de adquisición de datos.

3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

La función del programa principal es llamar a ocho subprogramas que corresponden a las entradas digitales, salidas digitales, entradas analógicas, salidas analógicas, lectura de eeprom, transmisión y recepción de señales, configurar directorio y leer archivos. Cada uno de estos programas es invocado al pulsar el botón que lleva el nombre del programa.

Estos ocho programas son la base del software en Labview, y éstos a su vez invocan a otros subprogramas para la presentación de pantallas, de grabar datos, representaciones numéricas, representaciones gráficas y comunicación serial. No todos los programas tienen asociada una pantalla de presentación para el usuario, sino que varios programas son un proceso interno desarrollado para ser utilizado como subrutina. En la figura 3.1 se indica un diagrama de bloques que contiene el árbol de presentación de pantallas a partir del programa principal. Los nombres indicados en la figura 3.1 corresponden a los botones que acceden a las pantallas del programa.

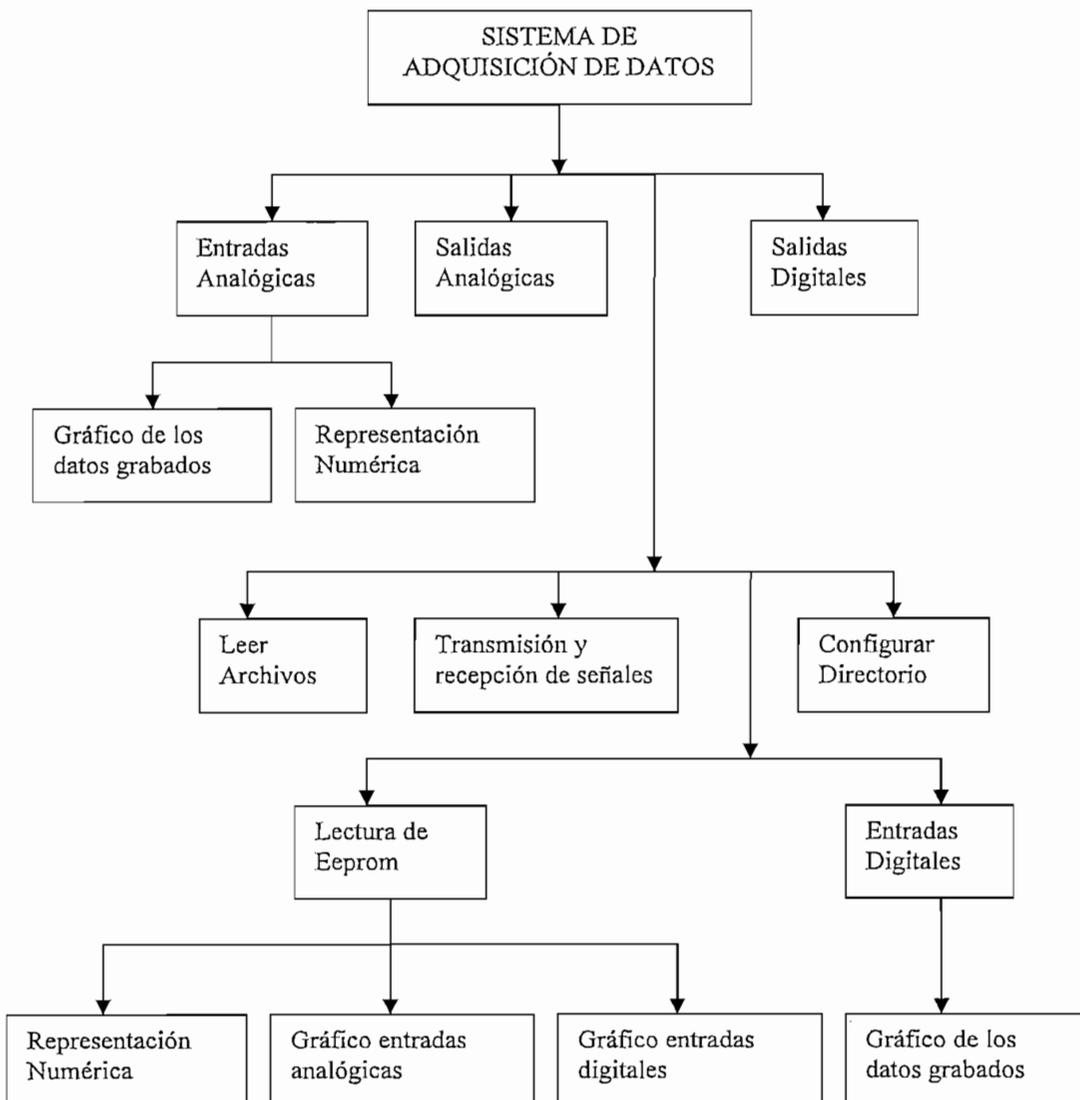


Figura 3.1 Árbol de presentación de pantallas en Labview

Los ocho programas principales tienen asociado un árbol de subrutinas que permiten la comunicación serial infrarroja, la presentación de mensajes, la lectura y escritura en archivos de texto, las representaciones numéricas y gráficas de los datos recibidos del módulo de adquisición de datos. En las figuras 3.2 y 3.3 se presenta el árbol de subVIs del software en Labview. Estos programas fueron creados como subrutinas, de los cuales solo los que están en la figura 3.1 tienen asociado una pantalla de presentación para el usuario. Los nombres de los subVIs que se repiten en las figuras 3.2 y 3.3 corresponden al mismo SubVI compartido.

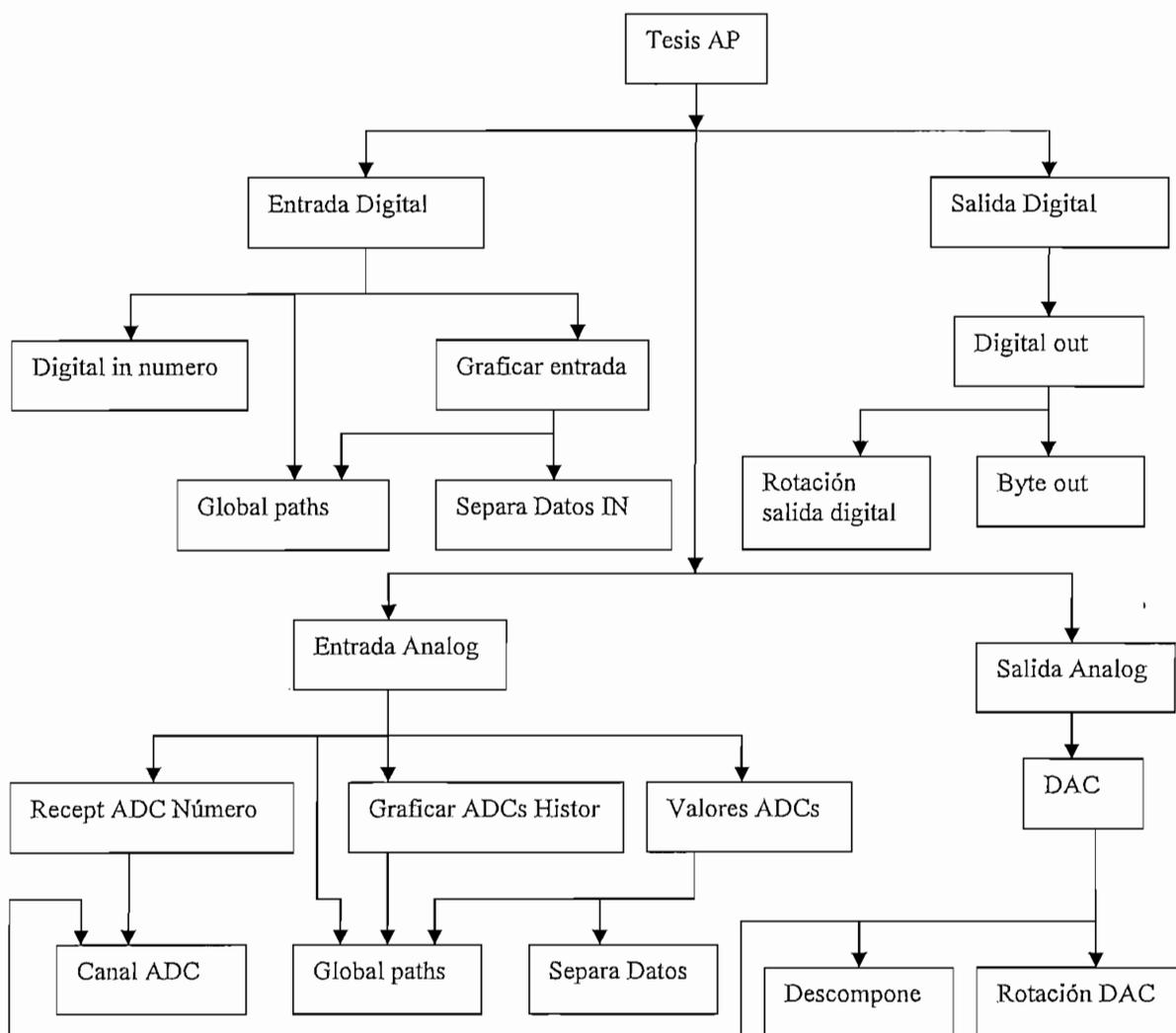


Figura 3.2 Árbol de SubVIs: entradas digitales, salidas digitales, entradas analógicas, salidas analógicas.

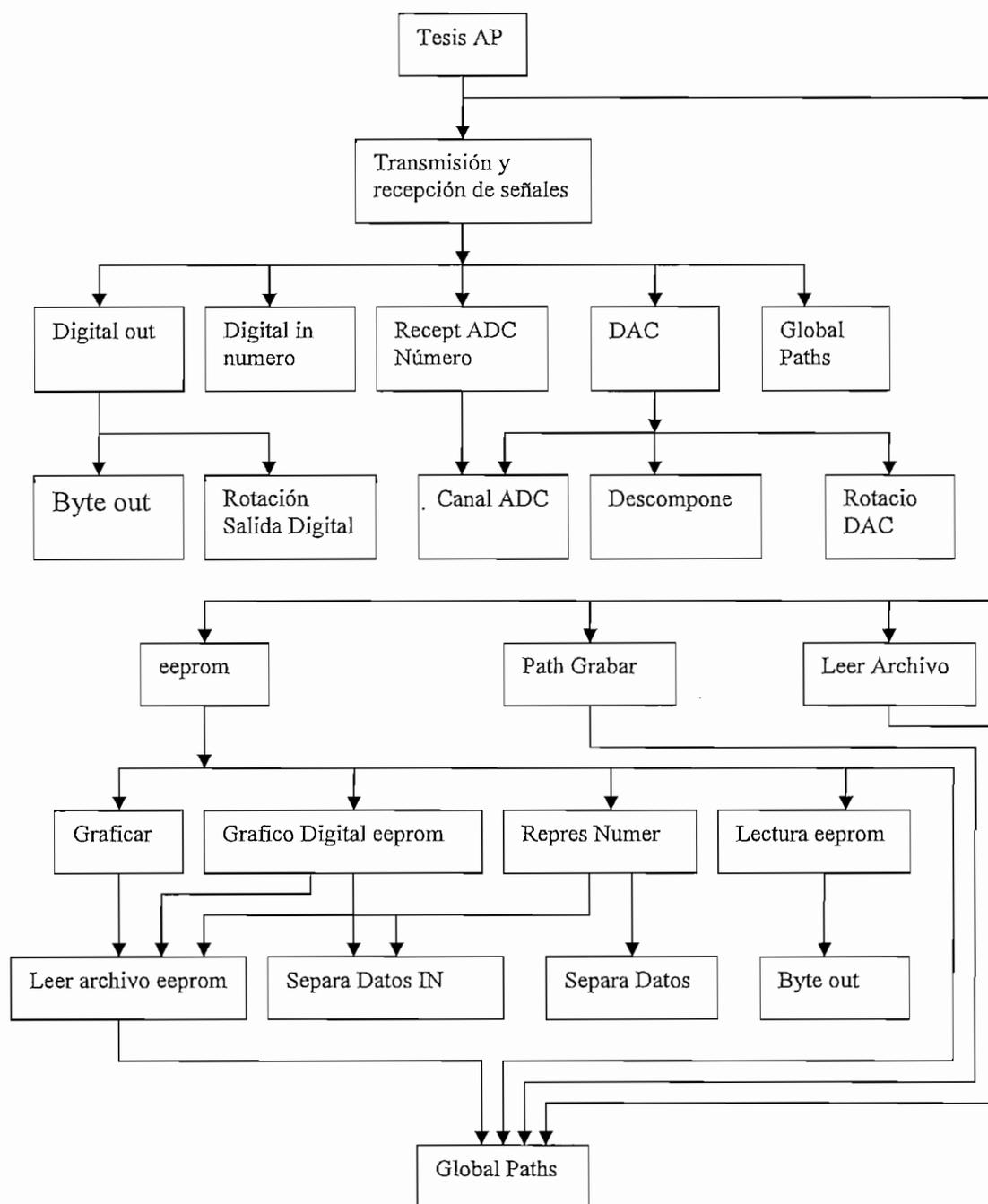


Figura 3.3 Árbol de SubVIs: total, eeprom, path grabar, leer archivo.

3.2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PANELES Y SUS CORRESPONDIENTES DIAGRAMAS DE PROGRAMACIÓN

La pantalla de presentación principal consta de nueve botones, de los cuales ocho sirven para ingresar a los programas de visualización y control de los parámetros de la tarjeta de adquisición de datos.

En la figura 3.4 se presenta el panel de la pantalla principal del programa.

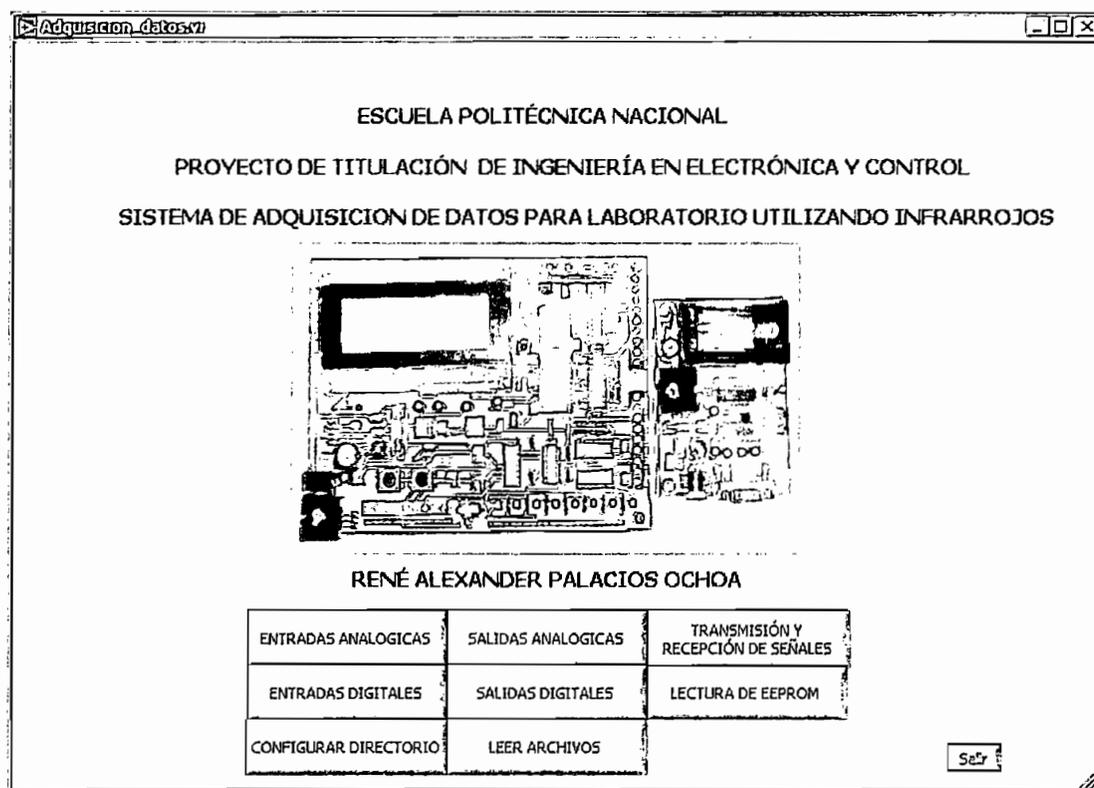


Figura 3.4 Pantalla principal del software de adquisición de datos.

El botón salir, permite cerrar el software de adquisición de datos, previo la presentación de un mensaje de confirmación que se indica en el figura 3.5.

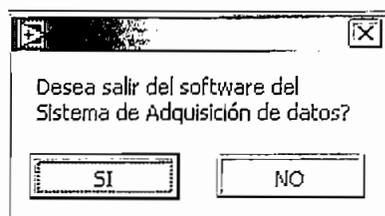


Figura 3.5 Mensaje de confirmación para salir del software del sistema de adquisición de datos.

El diagrama asociado a esta pantalla comprende nueve estructuras *case*, con dos posibilidades verdadero y falso. Cuando una estructura *case*, es verdadera, llama a un nuevo subVI que tiene la correspondiente pantalla de presentación. Las nueve estructuras *cases* están dentro de un lazo *while* que se ejecuta mientras el botón salir y la orden de confirmación sean falsos. En la figura 3.6 se presenta el diagrama asociado a la pantalla principal.

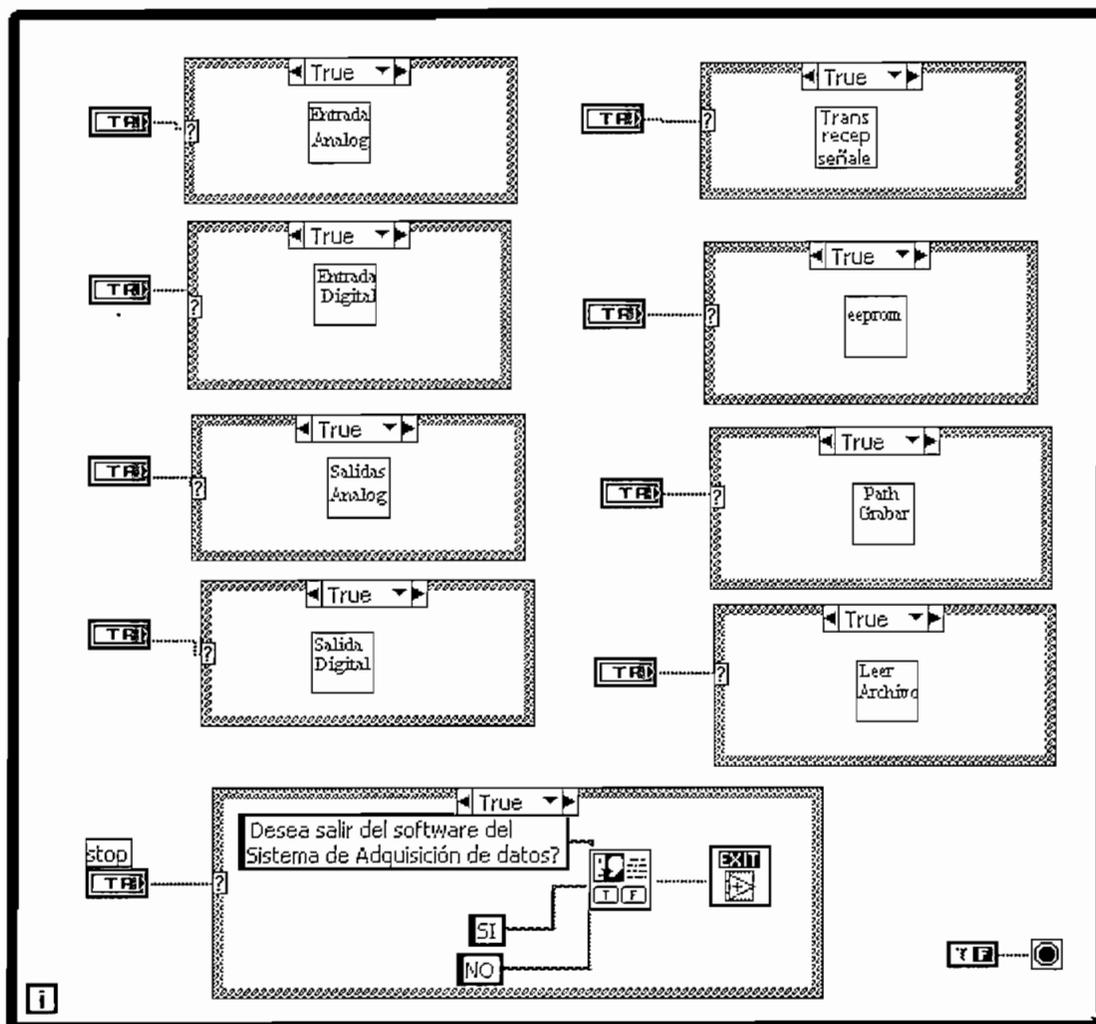


Figura 3.6 Diagrama del programa asociado a la pantalla principal

3.2.2.1 Entradas Analógicas

La pantalla de las entradas analógicas contiene veinte ocho elementos, que corresponden a indicadores gráficos, indicadores numéricos, controles para la adquisición de datos y controles para la presentación de pantallas. En la figura 3.7 se presenta la pantalla de las entradas analógicas.

Indicadores numéricos de las entradas analógicas: Los ocho indicadores presentan el valor de las entradas analógicas en el momento de la recepción. Por lo tanto una vez finalizada la adquisición de datos, estos indicadores numéricos presentan el último valor tomado.

Indicadores gráficos: La pantalla consta de ocho indicadores gráficos que presentan el valor de las entradas analógicas a medida que los datos son recibidos desde el módulo de adquisición de datos.

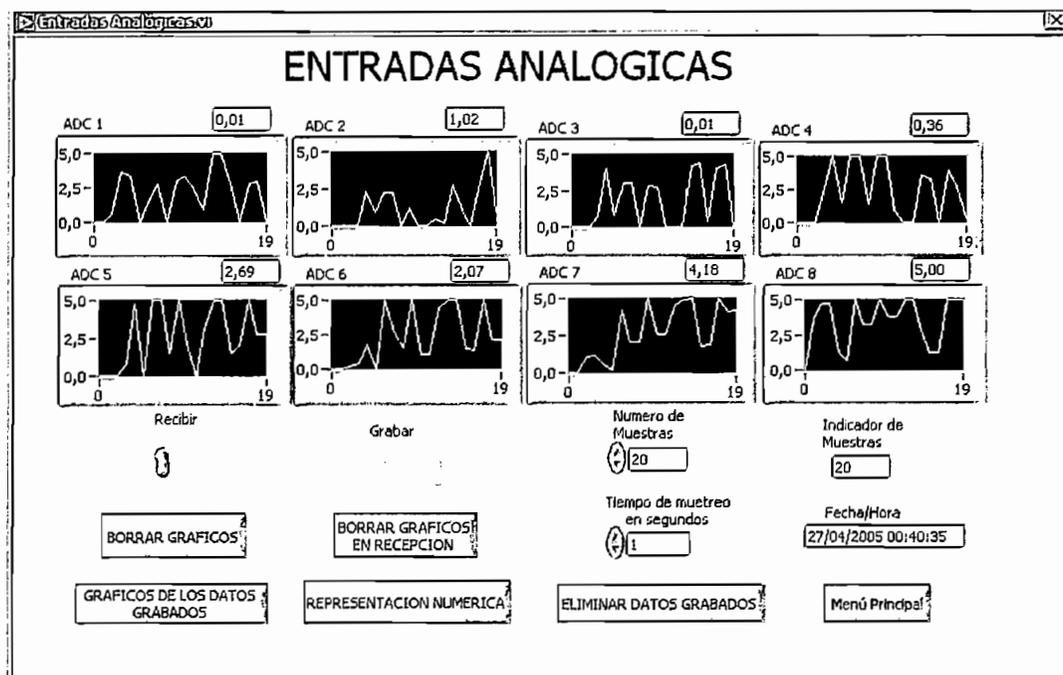


Figura 3.7 Pantalla de las entradas analógicas

Botón grabar: Habilita la grabación de los datos en un archivo de texto.

Botón eliminar datos grabados: Borra el contenido del archivo de texto que contiene los datos grabados de las entradas analógicas.

Botón borrar gráficos en recepción: Borra los visualizadores gráficos mientras se realiza la recepción de datos. Este botón se podría utilizar cuando se adquiere un gran número de datos, con lo cual se evita que se sature la presentación gráfica y se pueda visualizar de forma adecuada los nuevos datos. La escala del eje X está en auto-calibración como valor predeterminado.

Botón borrar gráficos: Borra los gráficos después de realizar la recepción

Control tiempo de muestreo en segundos: Es un control para escribir el intervalo de tiempo en que se realiza una adquisición de datos analógicos.

Control Número de muestras: Mediante este control se configura el número de adquisiciones que se realiza con las ocho entradas analógicas.

Indicador del Número de muestras: Presenta el número de muestras tomadas cuando transcurre la adquisición de datos.

Botón recibir: Inicia la recepción de datos y la presentación de todos los parámetros en los respectivos indicadores.

Botón Menú principal: Regresa a la pantalla principal. Esta pantalla también dispone de un Indicador de fecha y hora.

Botón gráfico de los datos grabados: Presenta la pantalla de la figura 3.8.

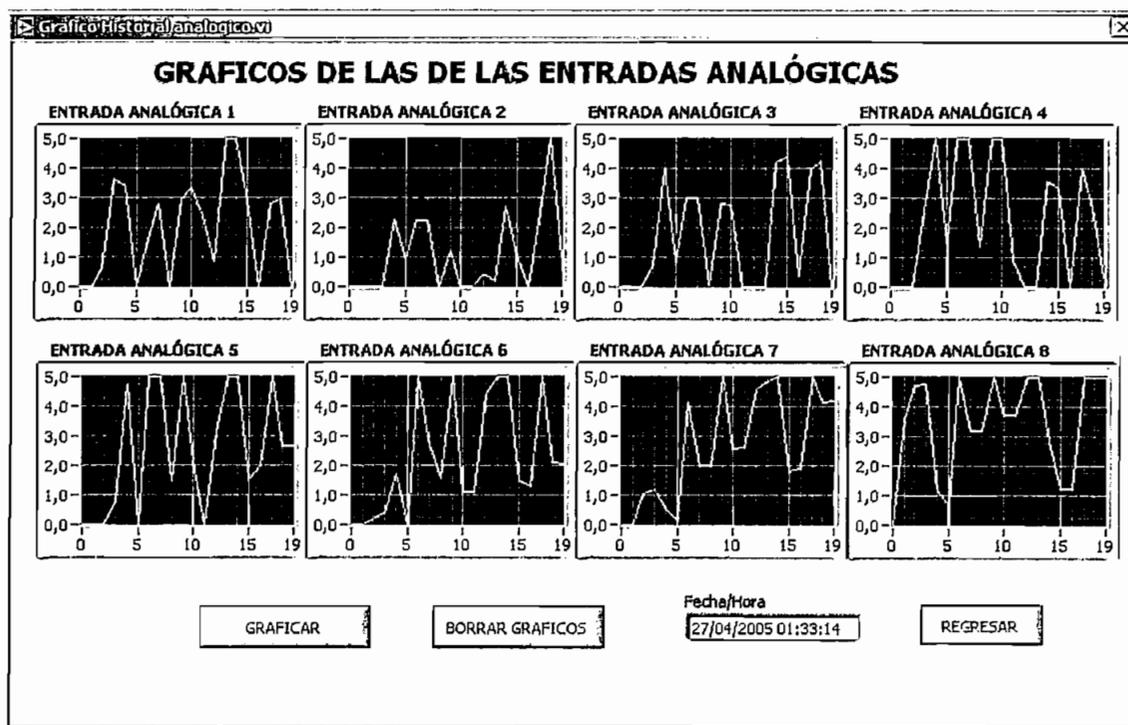


Figura 3.8 Gráfico de los datos grabados

Esta pantalla tiene tres botones y un indicador de fecha y hora. El botón graficar ejecuta un subVI que lee los datos grabados en el archivo de texto de las entradas analógicas y los presenta en forma gráfica. El botón borrar gráficos, limpia las pantallas gráficas de las entradas analógicas, pero los datos pueden ser

graficados nuevamente al pulsar el botón graficar. El botón regresar, presenta la pantalla de las entradas analógicas.

Botón representación numérica: Presenta la pantalla de la figura 3.9.

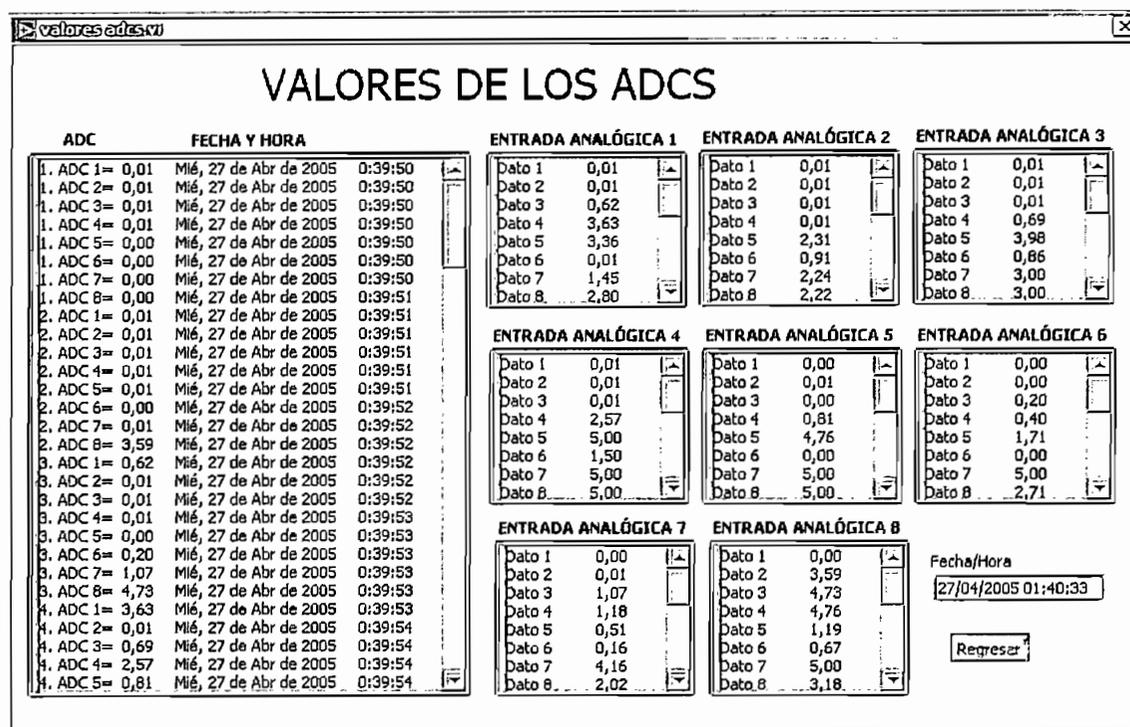


Figura 3.9 Representación numérica de los valores de las entradas analógicas.

Esta pantalla tiene nueve indicadores de texto. El indicador de la izquierda de la figura 3.9 tiene todos los datos de las entradas analógicas con las respectivas fechas y horas de adquisición almacenadas en un archivo de texto. Los otros ocho indicadores de texto corresponden a los datos ordenados de las ocho entradas analógicas. También se dispone de un indicador de fecha y hora, y de un control que regresa a la pantalla de las entradas analógicas.

El diagrama asociado a la pantalla de las entradas analógicas se presenta en la figura 3.10, el cual realiza lo siguiente: Al pulsar el botón recibir borra los gráficos, los inicializa con cero, crea o reemplaza dos archivos de texto llamados Entradas analógicas.txt y Presentación analógicas.txt. Lo cual significa que si hubiese datos

grabados previamente en estos archivos, serán reemplazados por los nuevos datos de esta adquisición.

Luego llama a un SubVI que se encarga de la recepción de los datos analógicos. Estos datos recibidos son grabados en archivos de texto y convertidos a valores de 0 a 5 para ser presentados en los indicadores numéricos y gráficos.

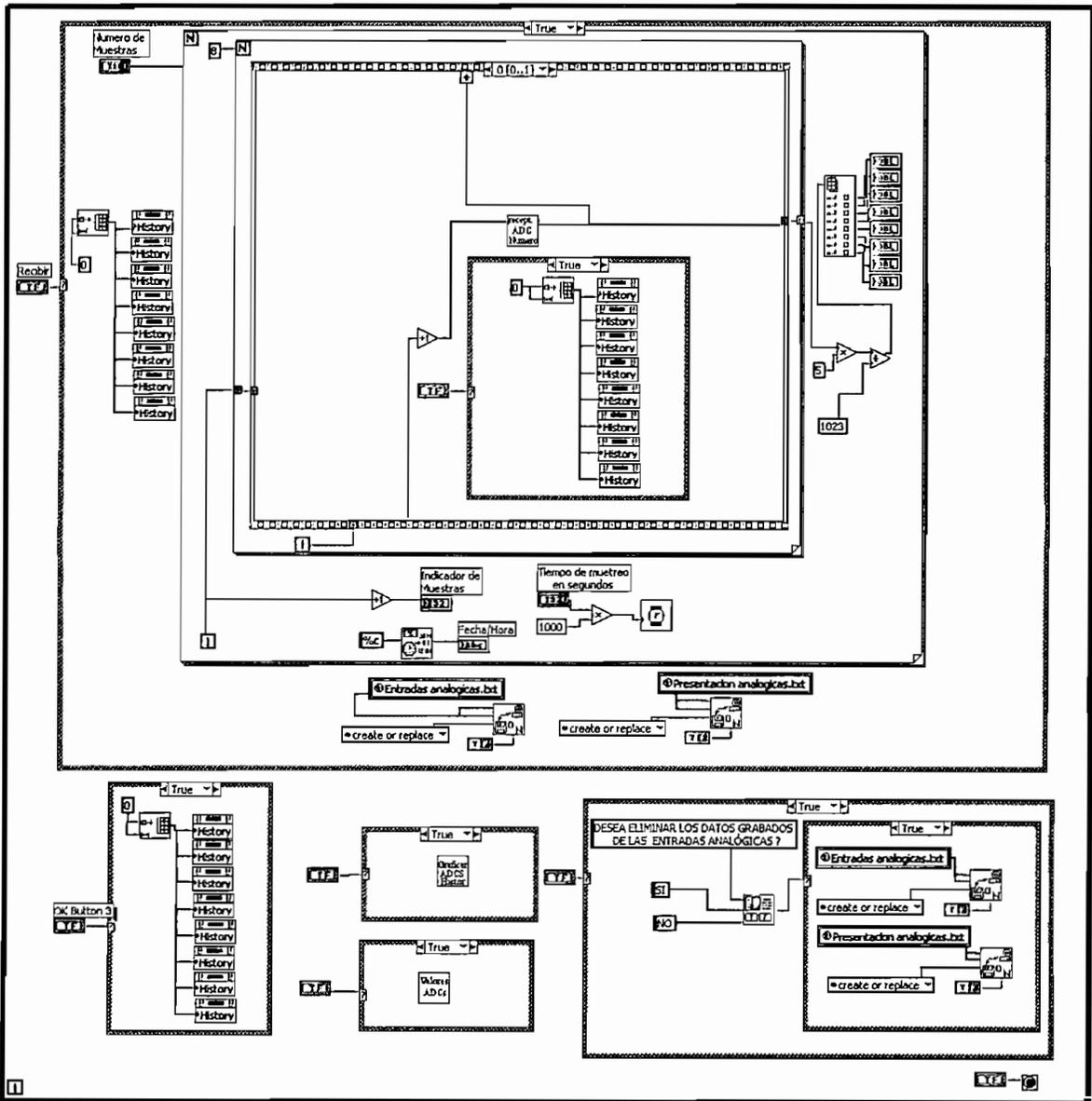


Figura 3.10. Diagrama correspondiente a la pantalla de las entradas analógicas

Al pulsar el botón eliminar datos grabados, se ejecuta el diagrama de programación indicado en la figura 3.11. Este diagrama elimina el contenido de los archivos de texto Entradas analógicas.txt y Presentación analógicas.txt, previo la presentación de un mensaje de confirmación.

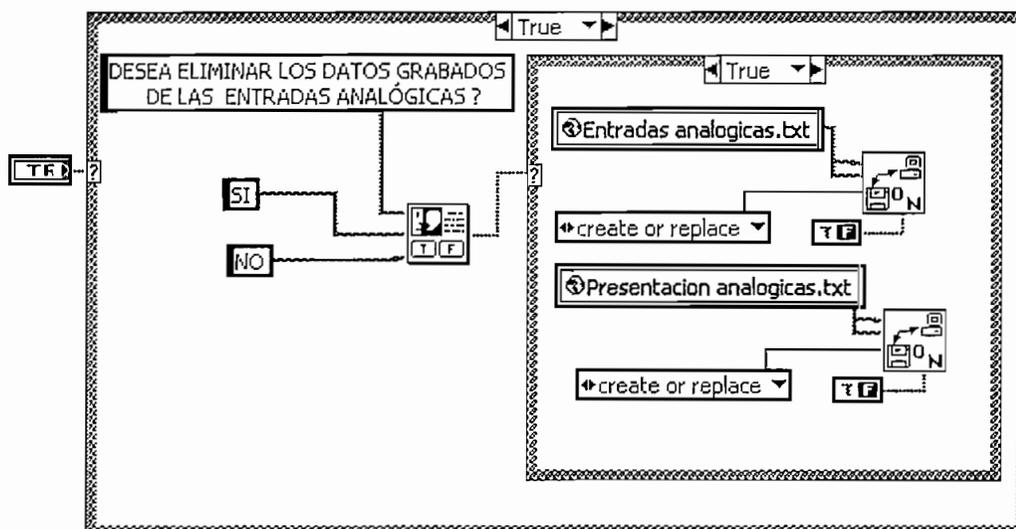


Figura 3.11 Diagrama de programación que elimina los datos grabados de las entradas analógicas.

Al pulsar el botón representación gráfica se accede a la pantalla de la figura 3.8. Los datos para estos gráficos son tomados de los archivos de texto que contienen los datos de las entradas analógicas, previamente grabados al pulsar el botón recibir en una adquisición anterior.

En la figura 3.12 se presenta el diagrama de programación correspondiente a la representación gráfica de las entradas analógicas.

Los datos son leídos del archivo de texto, convertidos a valores de 0 a 5 para la representación gráfica y luego graficados. Al pulsar el botón borrar gráficos, se borra el estado actual de los indicadores gráficos, pero no se afecta el archivo de texto, por lo cual al pulsar nuevamente graficar, se ejecuta la lectura del archivo de texto que contiene los datos de las entradas analógicas y se grafican.

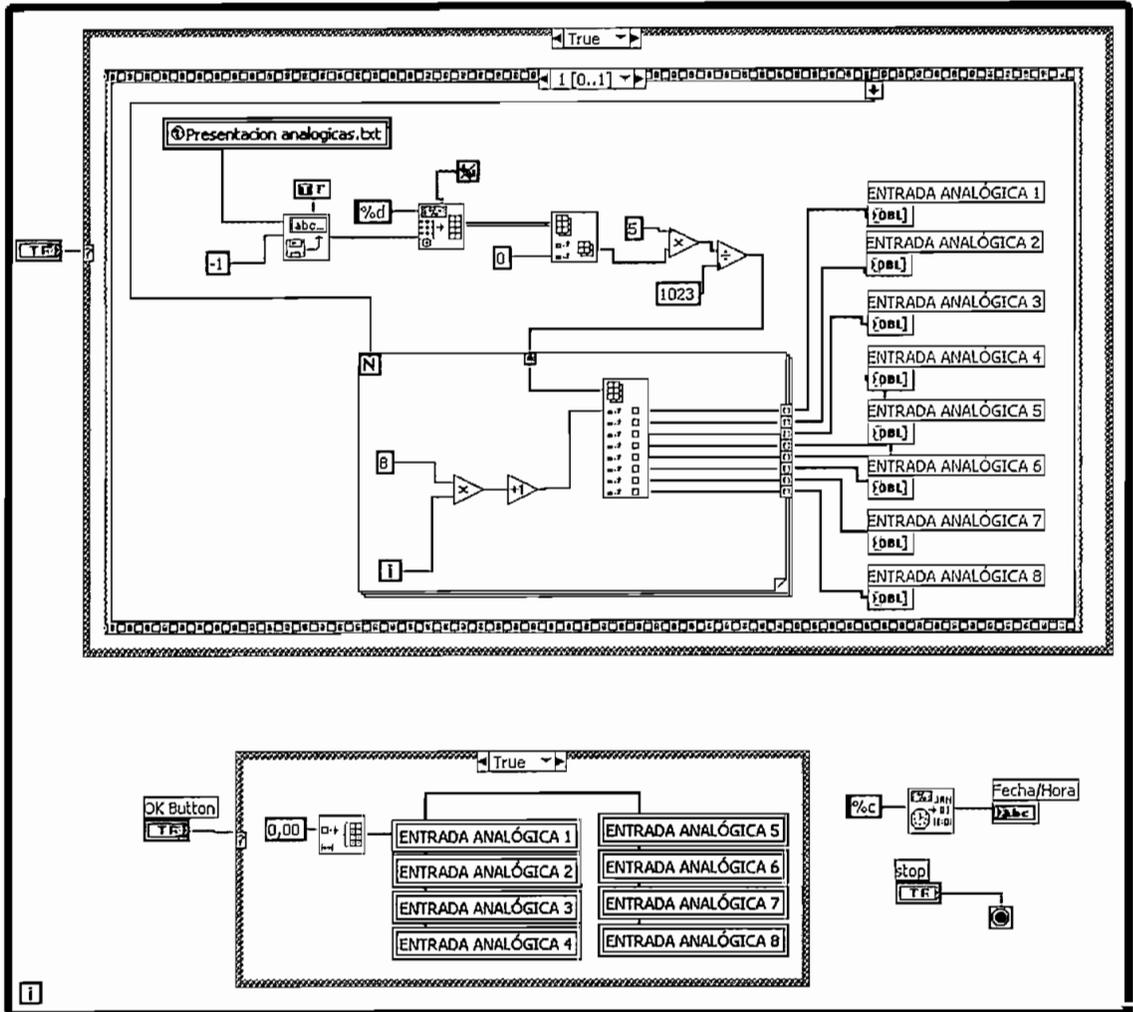


Figura 3.12 Diagrama correspondiente a la representación gráfica de las entradas analógicas.

En la figura 3.13 se presenta el diagrama correspondiente a la representación numérica de las entradas analógicas; la pantalla asociada a este subvi corresponde a la figura 3.9. Este subVI se denomina Valores ADCs, y su ejecución se realiza cuando se pulsa el botón representación numérica en la pantalla de entradas analógicas. La función que realiza es leer los archivos Presentación analógicas.txt y Entradas analógicas.txt, realizar conversiones de números a cadenas de caracteres y visualizar en indicadores de texto.

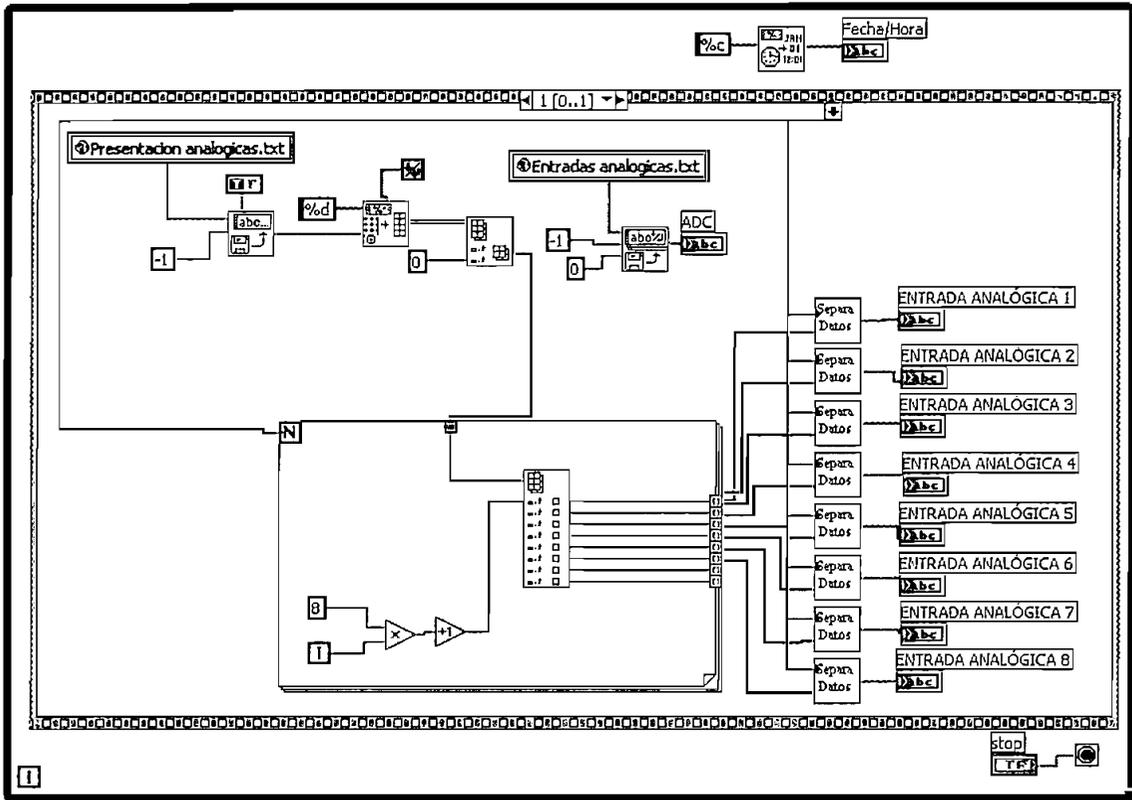


Figura 3.13 Diagrama correspondiente a la representación numérica de las entradas analógicas.

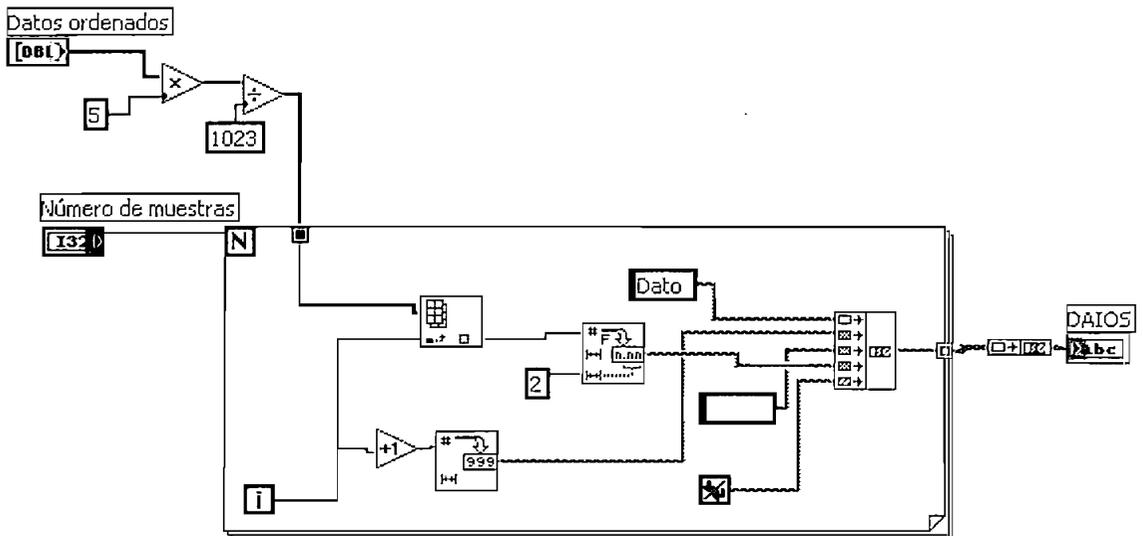


Figura 3.14 Diagrama asociado al subVI Separa Datos.

En la figura 3.13 se presenta ocho veces el subVI Separa Datos, el cual se encarga de convertir los datos numéricos almacenados en el archivo de texto

Presentación analógica.txt en un formato de cadena de caracteres que presenta al usuario el mensaje del número de muestra de la entrada analógica. En la figura 3.14 se presenta el diagrama asociado al subVI Separa Datos.

3.2.2.2 Salidas Analógicas

La pantalla de las salidas analógicas dispone de treinta elementos que realizan el control gráfico y numérico del valor de las salidas analógicas, e inician la comunicación con el módulo de adquisición de datos. En la figura 3.15 se presenta la pantalla de las salidas analógicas.



Figura 3.15 Pantalla de las Salidas Analógicas.

Controles Gráficos y Numéricos: El valor analógico cuyo rango está entre 0 y 4.96 puede ser graficado en el control gráfico o escrito en el control numérico. Para esto se tiene un control selector para cada salida analógica que permite elegir entre el control gráfico o el control numérico. Cuando se activa el control gráfico mediante el selector, se tiene que el control numérico actúa como visualizador y no permite escribir en dicho control, por otra parte, si se activa el control

numérico, se tiene que el control gráfico actúa como visualizador y no permite que se manipule el valor de dicho control.

Control Enviar: Inicia la comunicación con el módulo de adquisición de datos.

Control Número de datos a transmitir: Establece el número de datos que se envía al módulo de adquisición de datos, en cada paquete de datos se envía el código que corresponde al valor analógico de las ocho salidas.

Indicación de datos transmitidos: Este indicador presenta el número de datos que son transmitidos a medida que transcurre el tiempo.

Control Intervalo de tiempo entre transmisiones en segundos: Mediante este control se establece el intervalo de tiempo en que se realiza el envío de cada paquete de datos de las ocho salidas analógicas.

El panel de las salidas analógicas dispone de un indicador de fecha y hora y de un botón denominado Menú Principal que regresa a la pantalla principal.

En la figura 3.16 se presenta el diagrama correspondiente a la pantalla de las salidas analógicas. La función de este diagrama es tomar los datos analógicos que ingresan por medio de los controles numéricos o gráficos según la activación del control selector, luego acondicionarlos a un valor de cero a mil veintitrés, que corresponde a un número de diez bits y por último enviarlos al subVI DAC que se encarga de la transmisión de los datos analógicos a través del puerto serial del computador.

Los datos analógicos son enviados en paquetes que contienen los valores de las ocho salidas analógicas. Según el número de muestras seleccionado en la pantalla de las salidas analógicas, se tendrá el correspondiente número de paquetes de datos a transmitir. El subVI DAC recibe los datos de uno en uno, es decir esta subrutina se ejecuta una vez para cada salida analógica. Por lo tanto

Indicador Dato recibido: Es un indicador numérico que presenta los datos de las entradas digitales como un valor decimal mientras se los recibe.

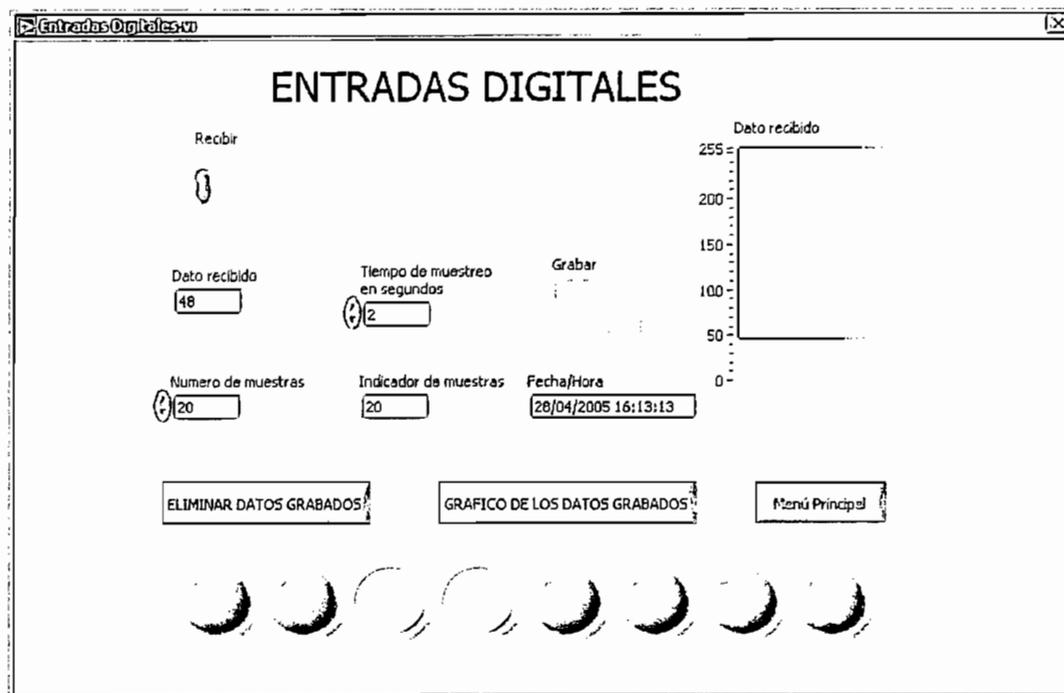


Figura 3.17 Pantalla de las Entradas Digitales

Control Número de muestras: En este control se escribe el número de veces que se realizará la adquisición de los datos digitales.

Indicador de Muestras: Presenta el número de muestras que son recibidas por el computador a medida que transcurre la adquisición de datos.

Control Tiempo de muestreo en segundos: En este control se escribe el intervalo de tiempo de muestreo entre cada adquisición de los datos digitales.

Control Grabar: Al pulsar este control se activa la grabación de los datos digitales en dos archivos de texto denominados Entrada digitales.txt y Presentación digitales.txt.

Control Eliminar datos grabados: Elimina el contenido de los archivos de texto Entradas digitales.txt y Presentación digitales.txt, previo la presentación de un mensaje de confirmación.

Control Menú principal: Regresa a la pantalla principal del programa.

Control Gráfico de los datos grabados: Ingresa a la pantalla de la figura 3.18.

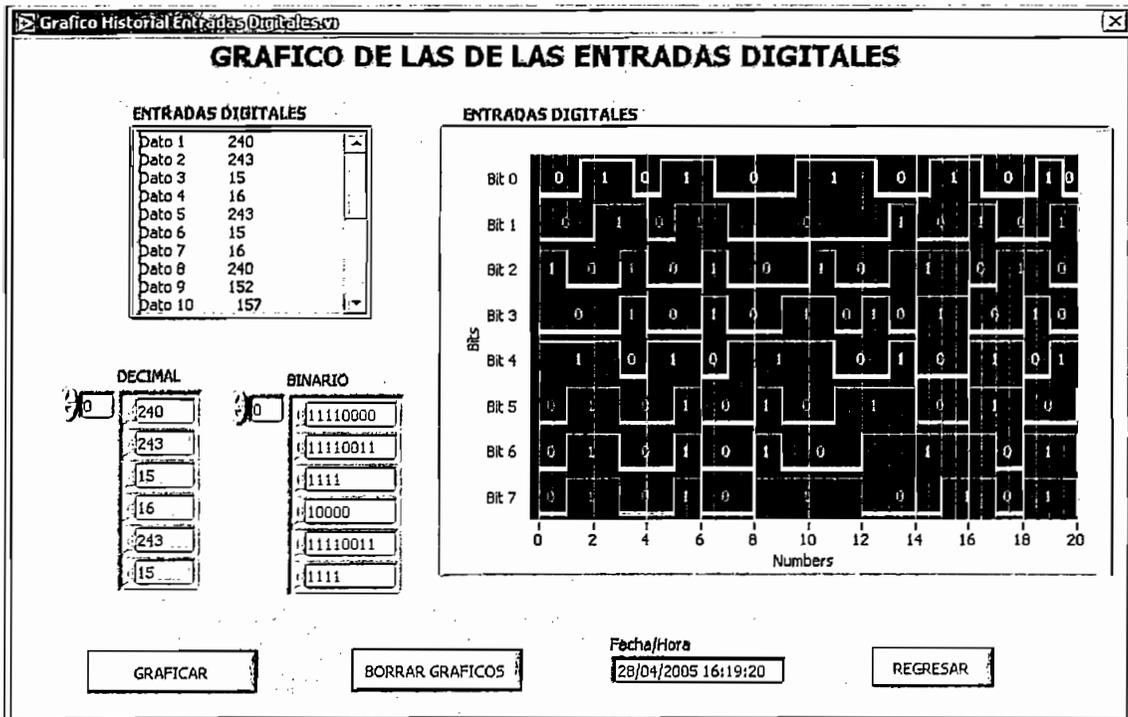


Figura 3.18 Gráfico de las entradas digitales.

Los datos de las entradas digitales son grabados en dos archivos de texto, y al pulsar graficar en la pantalla gráfico de las entradas digitales de la figura 3.18, se ejecuta la lectura de los archivos de texto y la representación gráfica y numérica de todos los datos de las entradas digitales almacenados en los archivos de texto. En esta pantalla se dispone de tres representaciones numéricas de los datos digitales. En la parte superior izquierda de la pantalla se tiene los datos en un formato de texto que indica el número de dato y su valor en formato decimal. Adicionalmente las otras dos representaciones numéricas corresponden a dos arreglos de números, uno en formato decimal y el otro en formato binario.

La representación gráfica contiene ocho diagramas de tiempo, uno por cada entrada digital. Los datos de las ocho entradas digitales son adquiridos al mismo tiempo y conforman un número de ocho bits que es representado en el eje Y del gráfico. Cada valor del eje X corresponde a un paquete de adquisición diferente.

En este diagrama de tiempos se puede observar un historial gráfico del estado de las entradas digitales grabadas en los archivos de texto.

El control borrar gráficos limpia la pantalla del gráfico, pero al pulsar el botón graficar, se realiza nuevamente la lectura de los archivos de texto que contienen los datos de las entradas digitales y se grafican. El botón regresar, presenta la pantalla anterior de las entradas digitales. En la figura 3.19 se presenta el diagrama correspondiente a la pantalla de las entradas digitales.

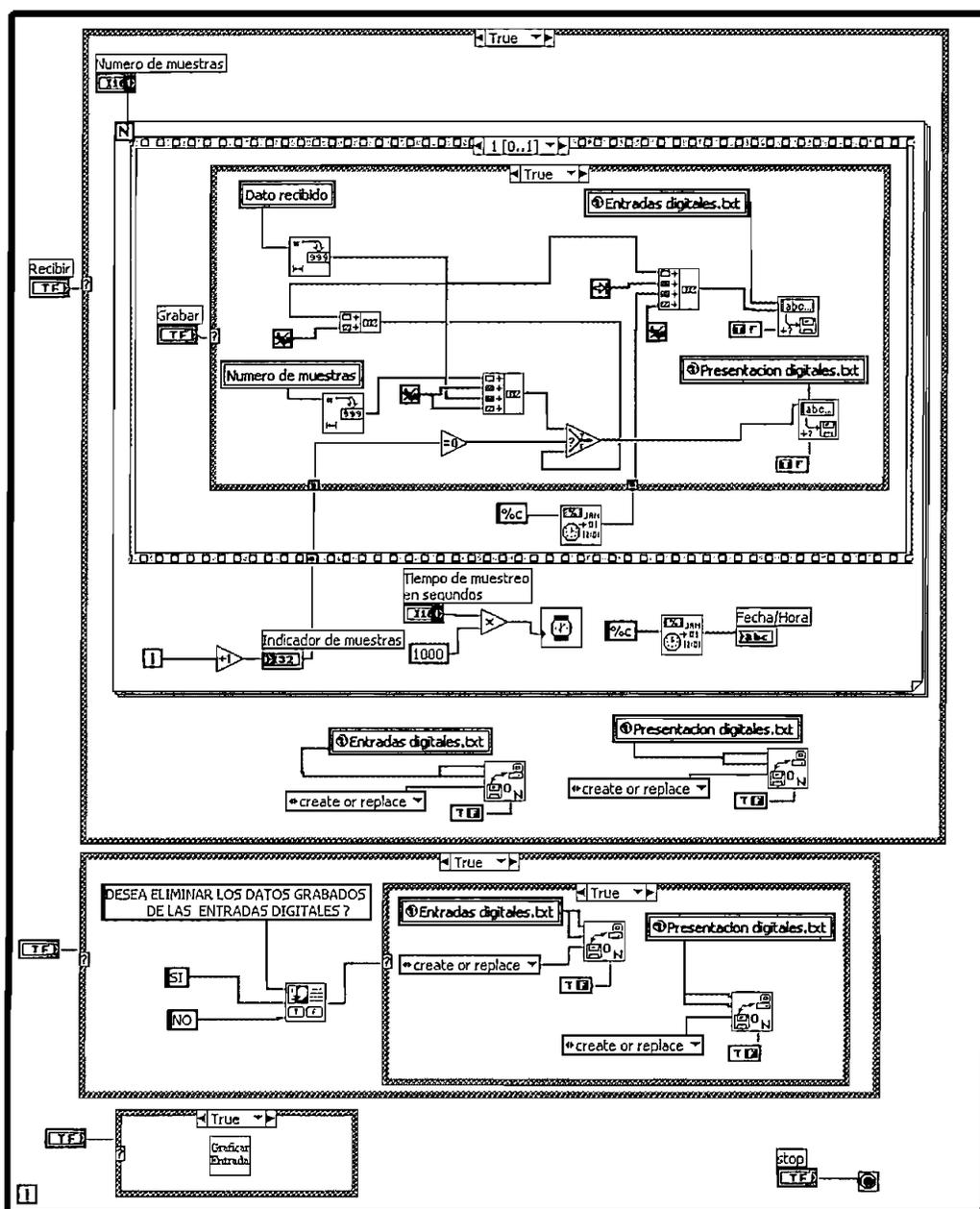


Figura 3.19 Diagrama correspondiente a la pantalla de las entradas digitales.

numérica en formato de texto y enviar los datos numéricos al indicador gráfico y a los dos arreglos de indicación numérica.

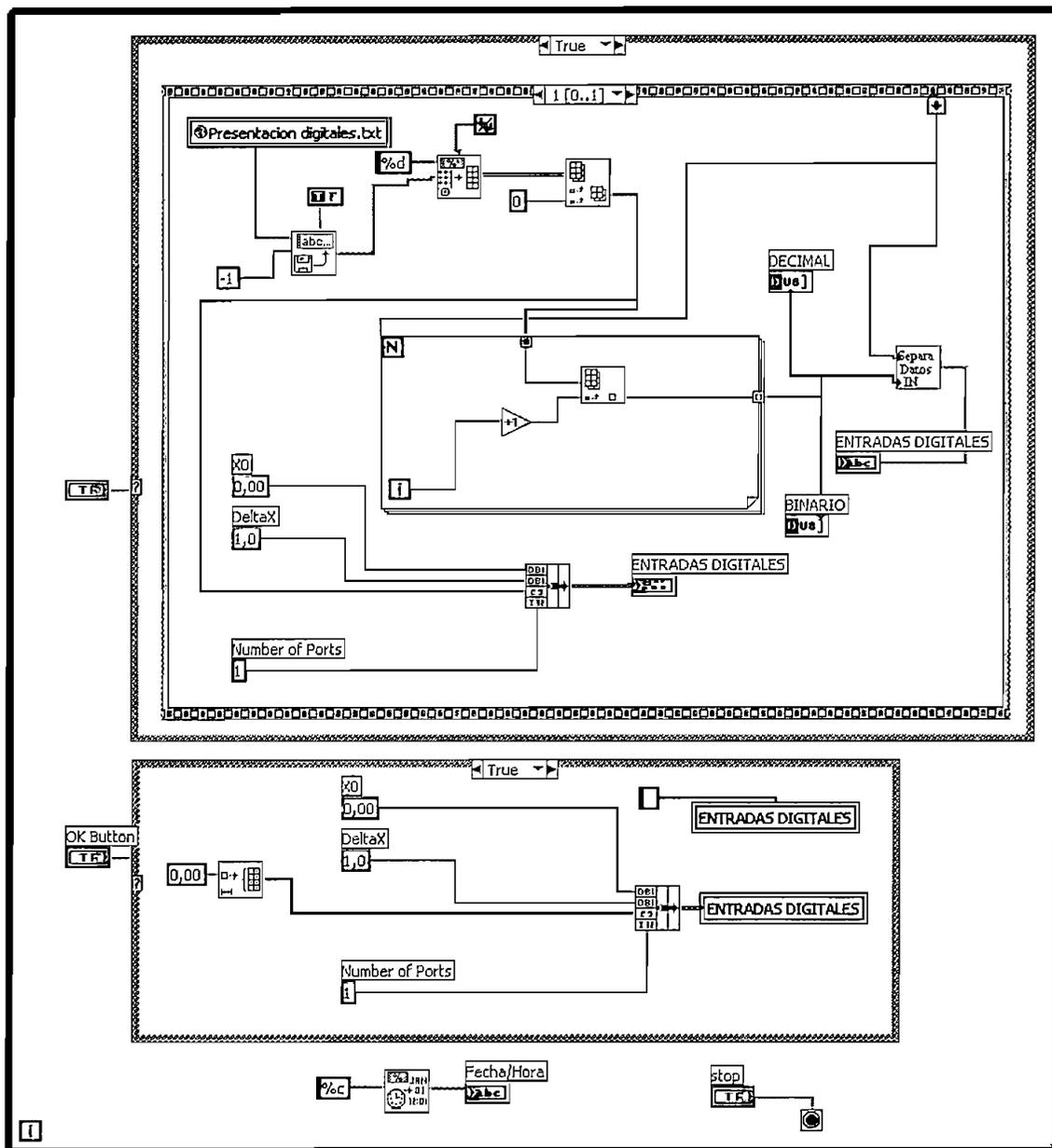


Figura 3.21 Diagrama correspondiente a la representación gráfica de las entradas digitales.

3.2.2.4 Salidas Digitales

La pantalla de las salidas digitales contiene dieciséis elementos que corresponden a indicadores y controles gráficos y numéricos. En la figura 3.22 se presenta la pantalla de las salidas digitales.



Figura 3.22 Pantalla de las Salidas Digitales.

Al pulsar el botón enviar, se envían los valores digitales de los ocho leds, y al mismo tiempo se presenta una indicación gráfica en el tanque que corresponde al valor numérico que componen los ocho datos digitales. Este valor numérico es un dato de ocho bits, por lo tanto su valor está en el rango de cero a doscientos cincuenta y cinco. El dato enviado también se presenta con formato decimal en el indicador numérico denominado dato transmitido.

La pantalla de las salidas digitales dispone de un control para escribir el número de datos que se desea enviar, y un control para escribir el intervalo de tiempo entre cada transmisión de datos, con lo cual se puede cambiar el valor de las salidas digitales mientras se realiza la transmisión de datos. El panel también contiene un indicado de fecha y hora.

El indicador de datos transmitidos presenta cuantos datos han sido transmitidos, a medida que se realiza el envío de datos digitales.

El botón enviar inicia la transmisión de datos digitales al módulo de adquisición de datos y el botón menú principal regresa a la pantalla principal del software.

En la figura 3.23 se presenta el diagrama de programación que corresponde a la pantalla de las salidas digitales.

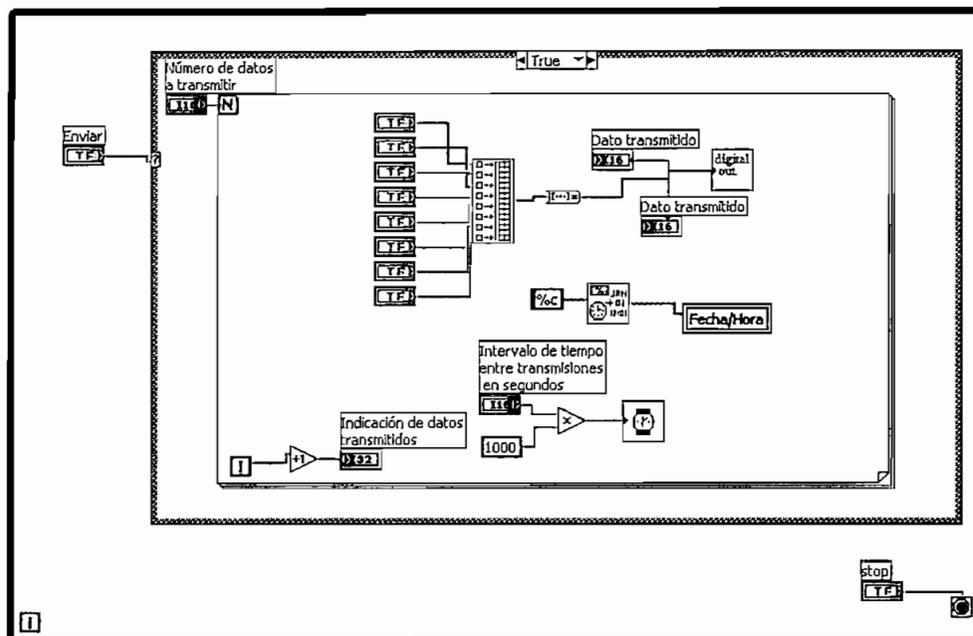


Figura 3.23 Diagrama de programación que corresponde a la pantalla de las salidas digitales.

El diagrama de programación de las salidas digitales lee los datos de los controles gráficos y numéricos. Los controles gráficos son los ocho leds, y los controles numéricos son el número de datos a transmitir y el intervalo de tiempo entre transmisiones. Con estos parámetros se inicia la transmisión serial al pulsar el botón enviar. El subVI que se encarga de la transmisión de datos digitales se denomina *digital out*. Los datos de las ocho salidas digitales son enviados al subVI *digital out* como un número decimal de ocho bits.

3.2.2.5 Pantalla Transmisión y recepción de señales

La pantalla denominada transmisión y recepción de señales, contiene los parámetros de las entradas y salidas analógicas y digitales. Se accede a esta pantalla pulsando el botón denominado todos los parámetros en el panel principal del software. La figura 3.24 presenta el panel de la pantalla total. Esta pantalla está dividida en cuatro secciones que contienen los indicadores y controles para las entradas y salidas analógicas y digitales.

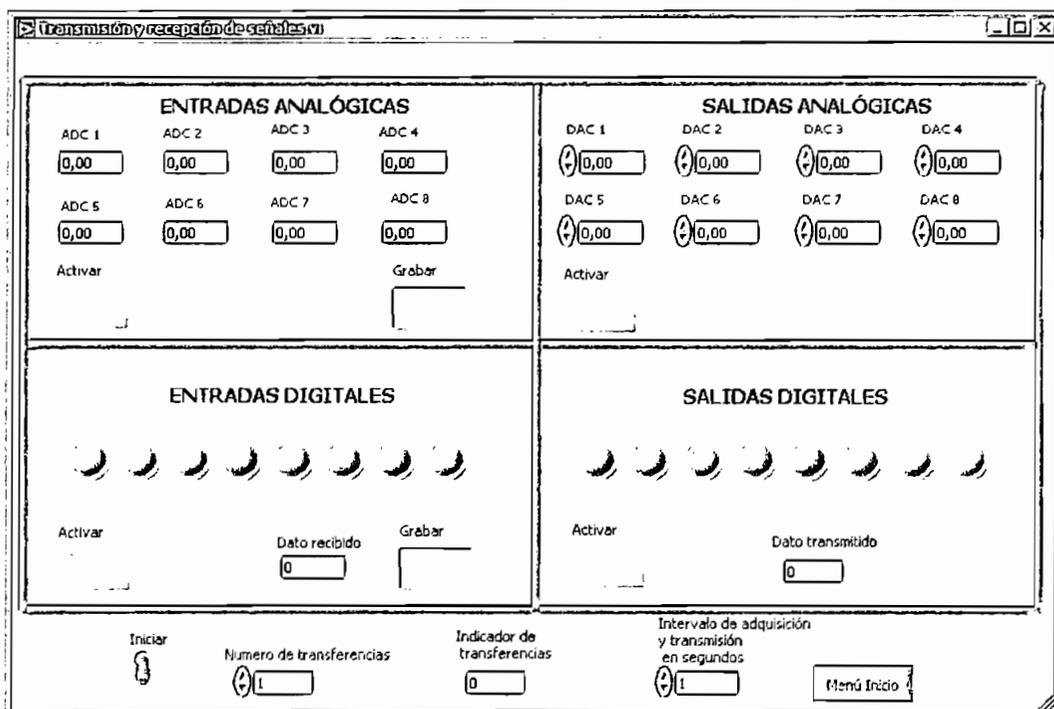


Figura 3.24 Pantalla Transmisión y recepción de señales.

Controles Activar: La pantalla contiene cuatro controles denominados activar, uno para cada parámetro. La función de estos controles es permitir que cada parámetro se habilite en forma individual, de modo que se pueda utilizar todos los parámetros al mismo tiempo o los que se elija al pulsar el botón activar.

Controles Grabar: Estos controles son utilizados solo por las entradas analógicas y digitales. La función de los controles grabar es permitir que los datos de las entradas a analógicas y digitales se graben en los archivos de texto asociados a estas entradas. Los dos controles son independientes.

Control Número de transferencias: El valor numérico escrito en este control es el número de veces que se transfieren todos los parámetros.

Indicador de transferencias: Presenta el número de transferencias a medida que se realiza la comunicación.

Control Intervalo de adquisición y transmisión: Corresponde al intervalo de tiempo de espera entre cada transferencia.

El botón menú inicio regresa a la pantalla principal. En la figura 3.25 se presenta el diagrama de programación asociado a la Transmisión y recepción de señales.

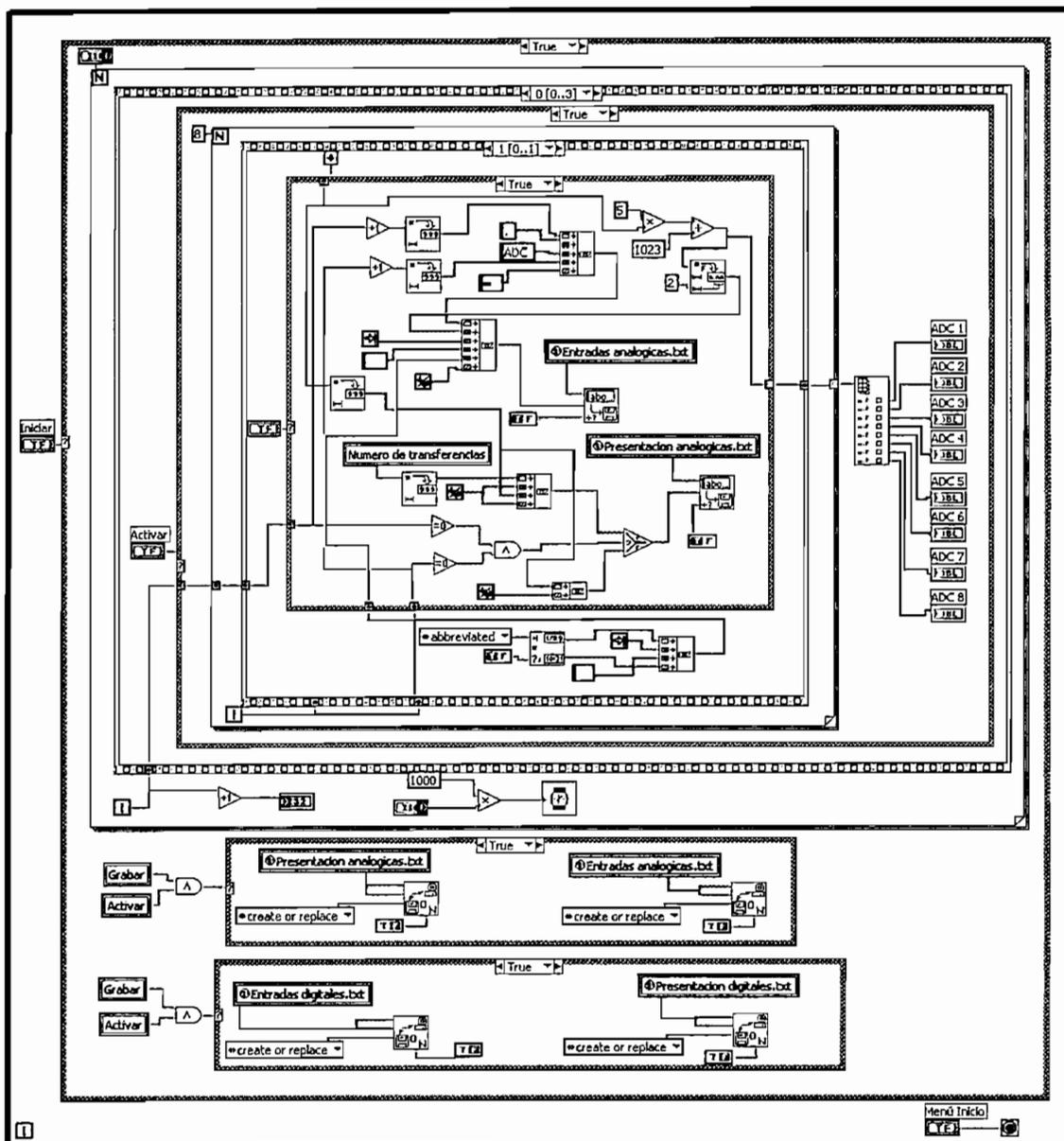


Figura 3.25 Diagrama de programación Transmisión y recepción de señales.

El diagrama de programación de la pantalla Transmisión y recepción de señales tiene cuatro secuencias, asociadas a las entradas analógicas y salidas analógicas y digitales. Estas secuencias de programación se basan en las mismas secuencias realizadas para la creación de cada una de las pantallas de los parámetros individuales. Como se indica en la figura 3.25, el reemplazo de los datos contenidos en los archivos de texto Entradas digitales.txt, Presentación

digitales.txt, Entradas analógicas.txt y Presentación analógicas.txt, solo se ejecuta cuando los botones activar y grabar de estas entradas están pulsados.

3.2.2.6 Lectura de Eeprom

La pantalla de lectura de eeprom contiene indicadores y controles numéricos, para presentación de mensajes y presentación de otras pantallas. En la figura 3.26 se presenta la pantalla de lectura de eeprom.

En el indicador de texto Datos recibidos se presenta los datos grabados en la memoria eeprom del módulo de adquisición de datos. Estos datos se presentan en el mismo orden en que fueron grabados en eeprom.

Los datos grabados en eeprom son el intervalo de tiempo de muestreo, los valores de las ocho entradas analógicas y de las ocho entradas digitales. Por lo tanto el primer dato recibido corresponde al tiempo, luego ocho datos de las entradas analógicas y por último un número entre cero y doscientos cincuenta y cinco que contiene el valor numérico de las ocho entradas digitales. La secuencia se repite, pero sin el dato del tiempo, así que se recibe en total doscientos cincuenta y tres datos agrupados en: Tiempo, veintiocho muestras de cada una de las entradas analógicas y veintiocho muestras del número que representa las ocho entradas digitales.

Cuando se activa el control leer eeprom, se inicia la adquisición de los datos grabados en la eeprom del módulo de adquisición de datos. Los datos que se reciben son grabados en los archivos de texto predeterminados Eeprom.txt y Presentación eeprom.txt. Estos archivos además de ser un historial, son utilizados para ordenar los datos recibidos, y realizar la representación numérica y gráfica de los valores de las entradas analógicas y digitales.

Se debe considerar que en cada adquisición de datos, se reemplaza el contenido de los archivos de texto, a menos que se seleccione previamente otros archivos de texto para grabar los datos en la pantalla configurar directorio.

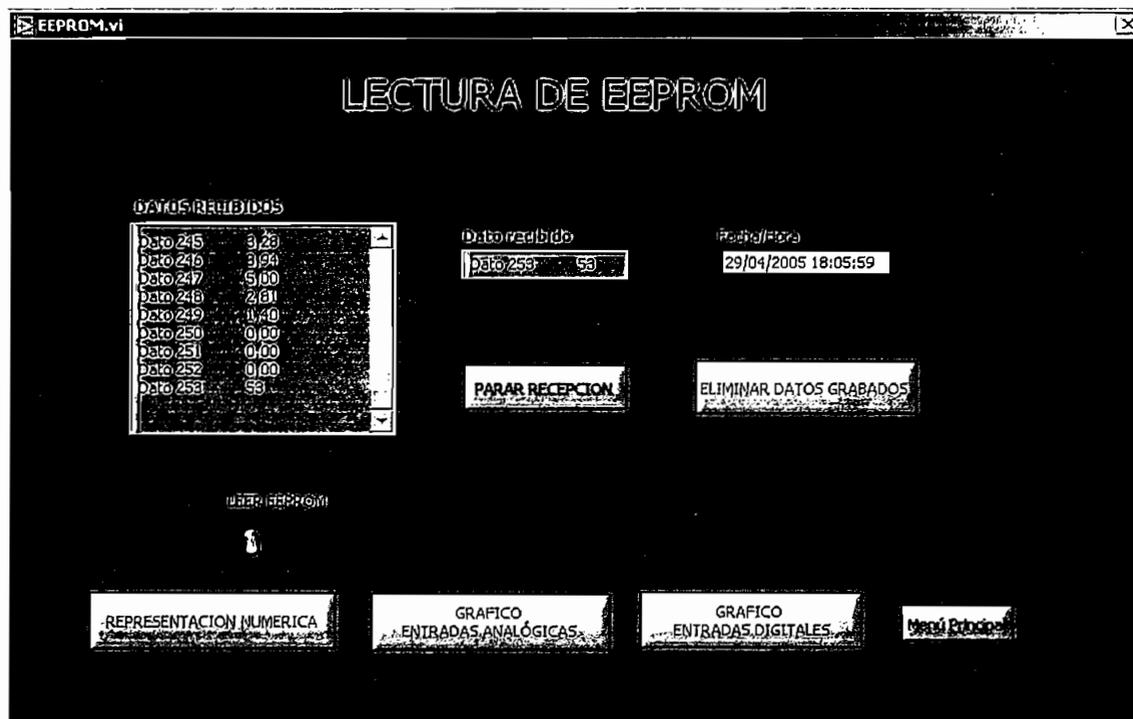


Figura 3.26 Pantalla de lectura de eeprom

El botón parar recepción es un control que permite detener la comunicación y por tanto la recepción de los datos.

El control Eliminar los datos grabados, borra el contenido de los archivos de texto Eeprom.txt y Presentación eeprom.txt después de la presentación de un mensaje que confirma la orden de eliminar.

El control representación numérica presenta la pantalla de la figura 3.27. Esta pantalla contiene la representación numérica de las ocho entradas analógicas, las ocho entradas digitales y del tiempo. Los datos leídos desde eeprom son ordenados y agrupados según la correspondiente entrada analógica, de igual manera se separa los datos de las entradas digitales en una representación numérica independiente. También se tiene un indicador que presenta el intervalo de tiempo de muestreo que empleó el módulo de adquisición de datos para el muestreo de los datos grabados en eeprom. La pantalla de representación numérica de los datos de eeprom dispone de un indicador de fecha y hora y de un botón regresar que presenta la pantalla anterior de lectura de eeprom.

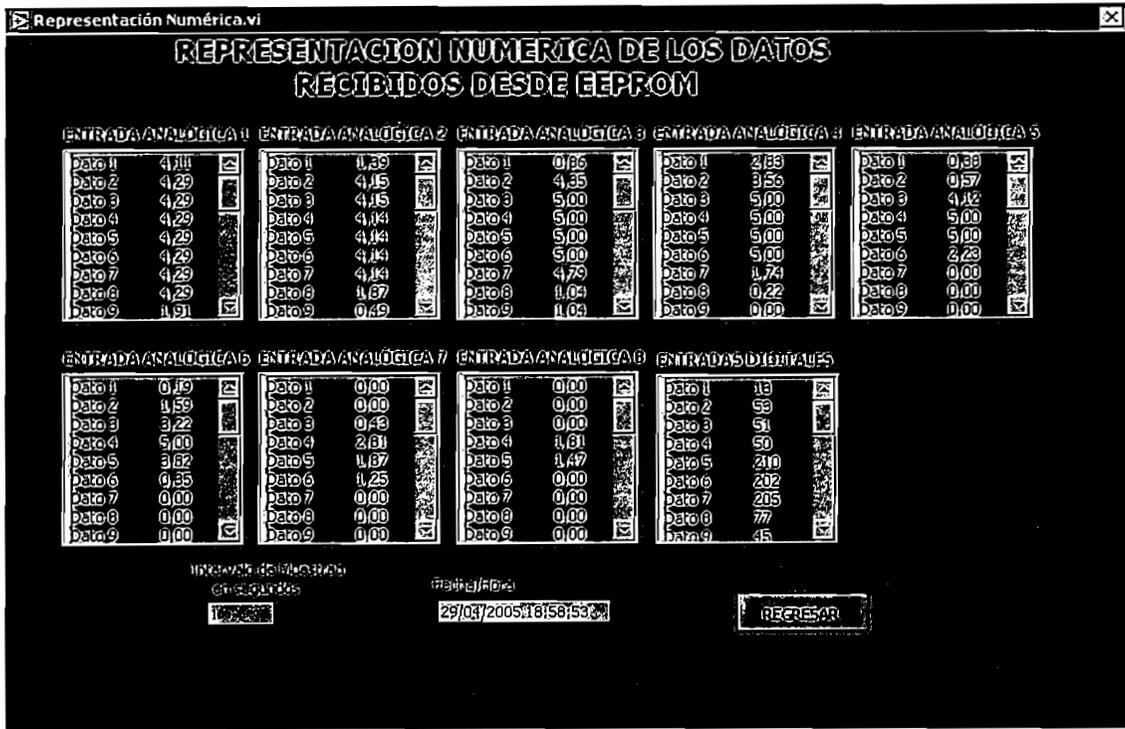


Figura 3.27 Pantalla Representación numérica de los datos de eeprom.

El control gráfico entradas analógicas presenta la pantalla de la figura 3.28. En esta pantalla se presenta los gráficos de los datos de las entradas analógicas grabados en el archivo de texto Eeprom.txt.

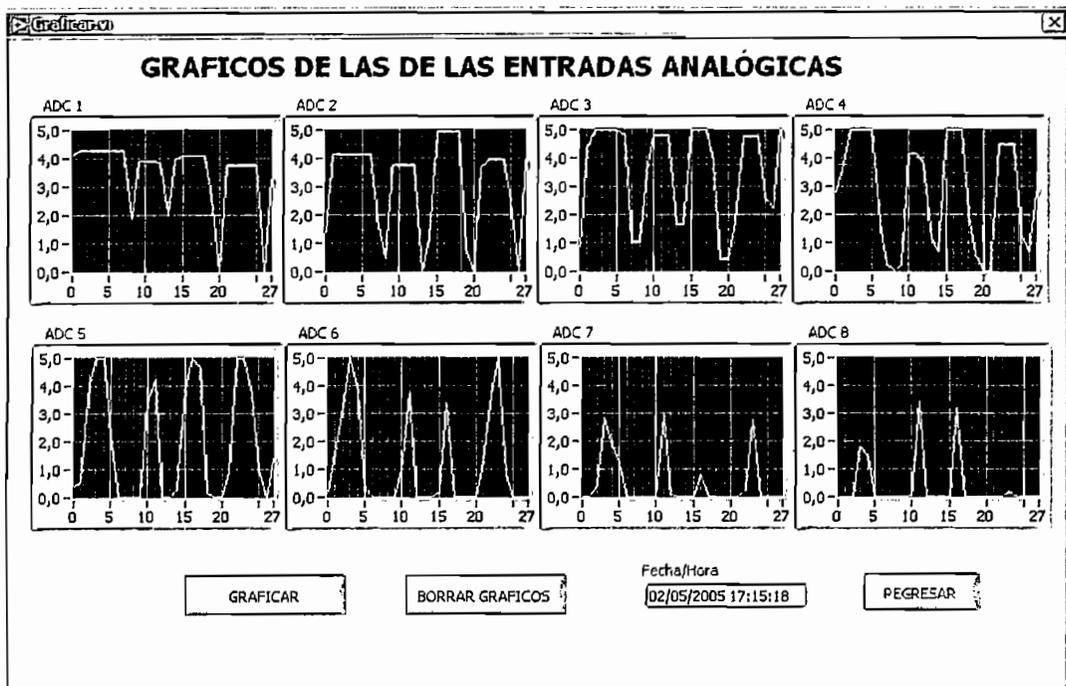


Figura 3.28 Pantalla Gráfico de las entradas analógicas.

Al pulsar el botón graficar en la pantalla de la figura 3.28, se presentan los gráficos de las entrada analógicas recibidos desde eeprom y al pulsar el botón borrar gráficos, se limpia las pantallas de los gráficos, pero los datos grabados en el archivo de texto Eeprom.txt, no se alteran, por lo tanto se puede reestablecer los gráficos nuevamente al pulsar el botón graficar. La pantalla dispone de un indicador de fecha y hora y de un botón regresar que presenta la pantalla anterior de lectura de eeprom.

El control gráfico entradas digitales de la pantalla lectura de eeprom de la figura 3.26 presenta la pantalla de la figura 3.29.

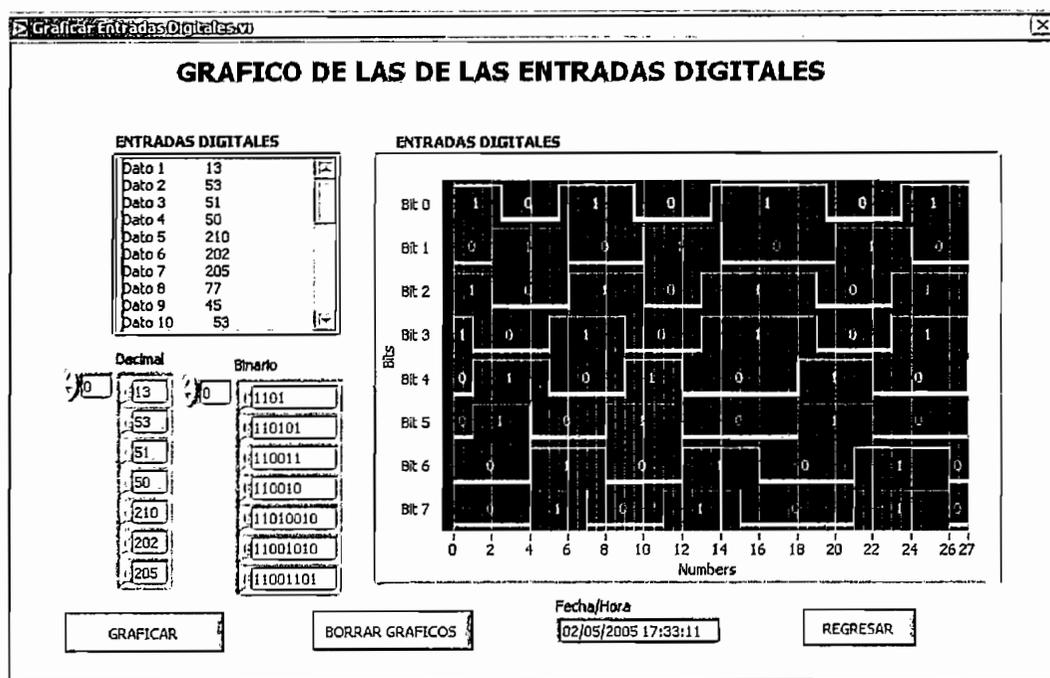


Figura 3.29 Pantalla gráfico de las entradas digitales grabadas en eeprom.

La pantalla de la figura 3.29 presenta tres indicadores numéricos y uno gráfico, que contienen las representaciones de las entradas digitales, y cuyos valores son presentados cuando se pulsa el botón graficar. El botón borrar gráficos, limpia la pantalla gráfica, pero se puede restablecer el gráfico, pulsando nuevamente el botón graficar. Los datos graficados son los que contiene el archivo de texto Eeprom.txt. Los valores de las entradas digitales se presentan en forma numérica, en formato decimal y binario, y en forma gráfica en un diagrama de tiempos que indica el estado de cada entrada digital.

La figura 3.30 presenta el diagrama de programación correspondiente a la pantalla lectura de eeprom de la figura 3.26.

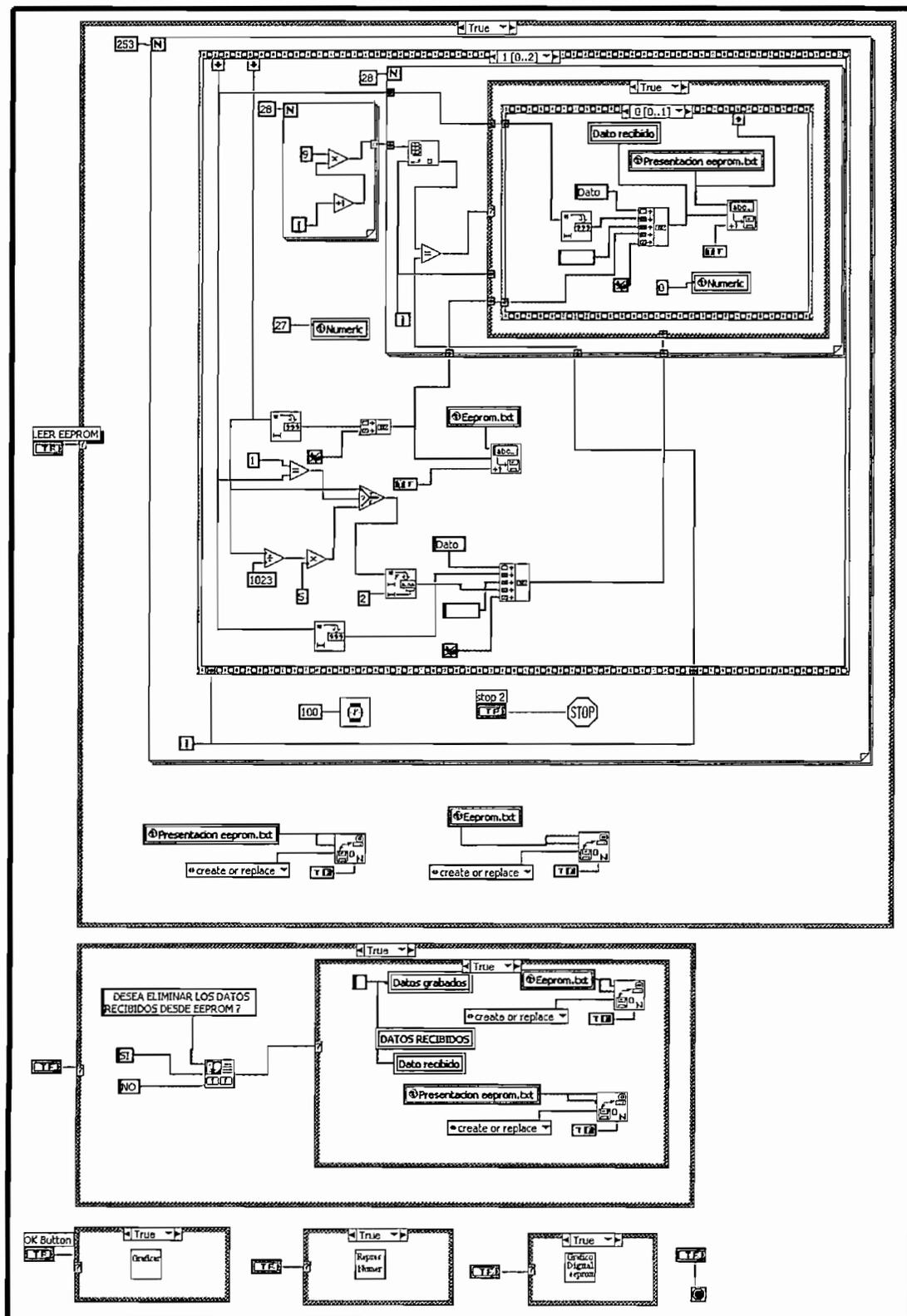


Figura 3.30 Diagrama correspondiente a la pantalla lectura de eeprom.

La función del diagrama de programación de la figura 3.30 es establecer la comunicación entre el computador y el módulo de adquisición de datos, leer los datos almacenados en eeprom, y grabarlos en los archivos de texto Eeprom.txt y Presentación eeprom.txt. El archivo Presentación eeprom.txt permite que los doscientos cincuenta y tres datos recibidos desde eeprom, sean presentados en pantalla mientras transcurre la recepción. Este diagrama contiene tres subVIs que presentan las tres pantallas correspondientes a la representación gráfica y numérica de las entradas digitales y analógicas grabadas en el archivo de texto Eeprom.txt.

En la figura 3.31 se presenta el diagrama de programación correspondiente a la pantalla representación numérica de los datos de eeprom de la figura 3.27.

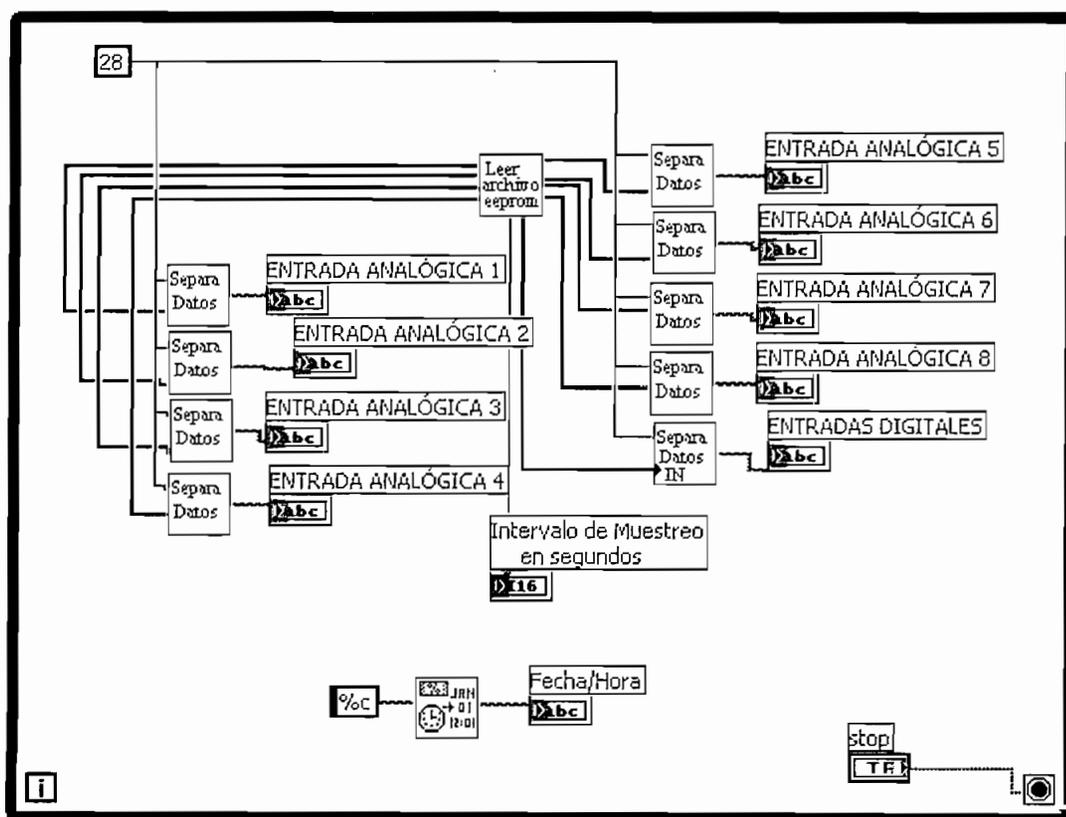


Figura 3.31 Diagrama correspondiente a la pantalla representación numérica de los datos grabados en eeprom.

Este diagrama tiene un subVI denominado leer archivo eeprom que realiza la lectura del archivo Eeprom.txt, separa los datos de intervalo de tiempo de

muestreo y de cada una de las entradas analógicas y entradas digitales; luego envía los datos ordenados a los subVIs denominados Separa Datos y Separa Datos IN. El subVI Separa Datos, convierte los datos de las entradas analógicas en un formato de texto listo para presentar en pantalla, igual función realiza el subVI Separa Datos IN, pero con las entradas digitales.

La figura 3.32 presenta el diagrama de programación correspondiente a la pantalla gráfico de las entradas analógicas de la figura 3.28. Este diagrama tiene la función de leer el archivo Eeprom.txt, separar los datos correspondientes a las entradas analógicas y graficarlos.

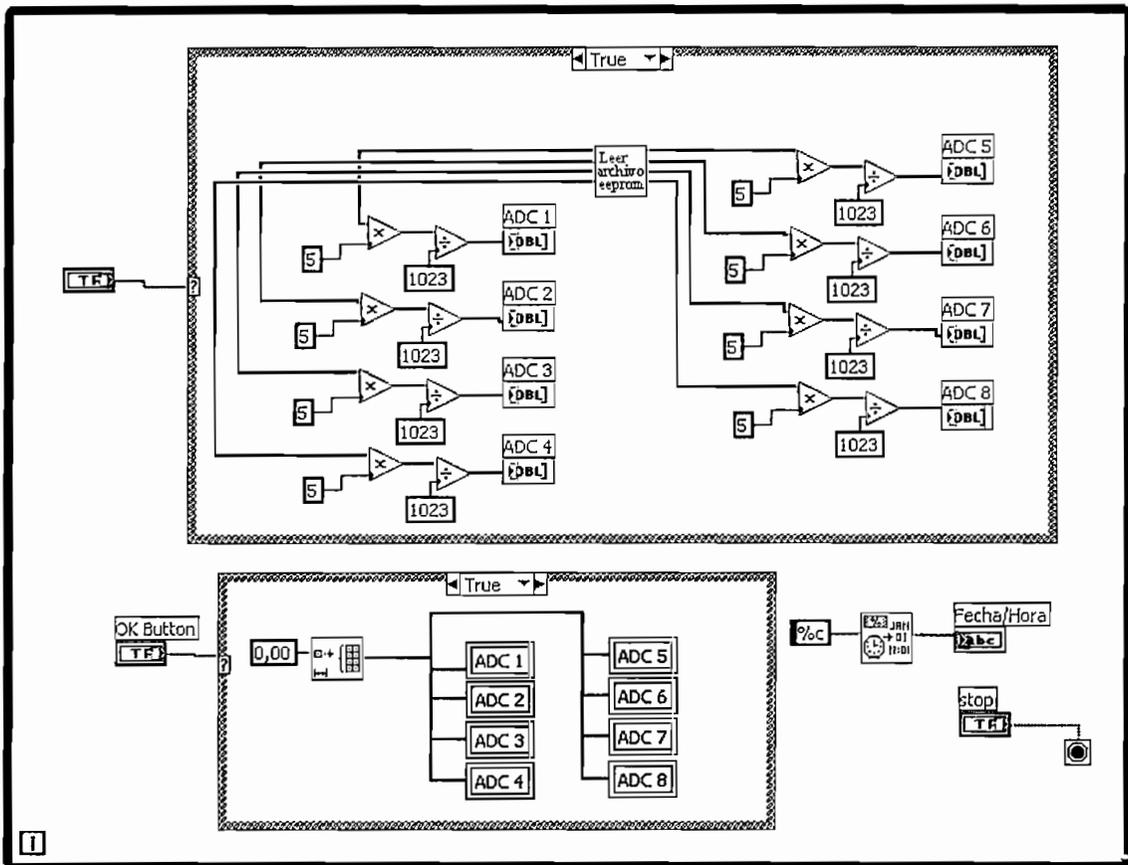


Figura 3.32 Diagrama correspondiente a la pantalla gráfico de las entradas analógicas grabadas en eeprom.

La figura 3.33 presenta el diagrama de programación correspondiente a la pantalla gráfico de las entradas digitales de la figura 3.29. La función de este

diagrama es leer el archivo de texto Eeprom.txt, separar los datos de las entradas digitales, y realizar las representaciones: Binaria, decimal, y gráfica de los datos.

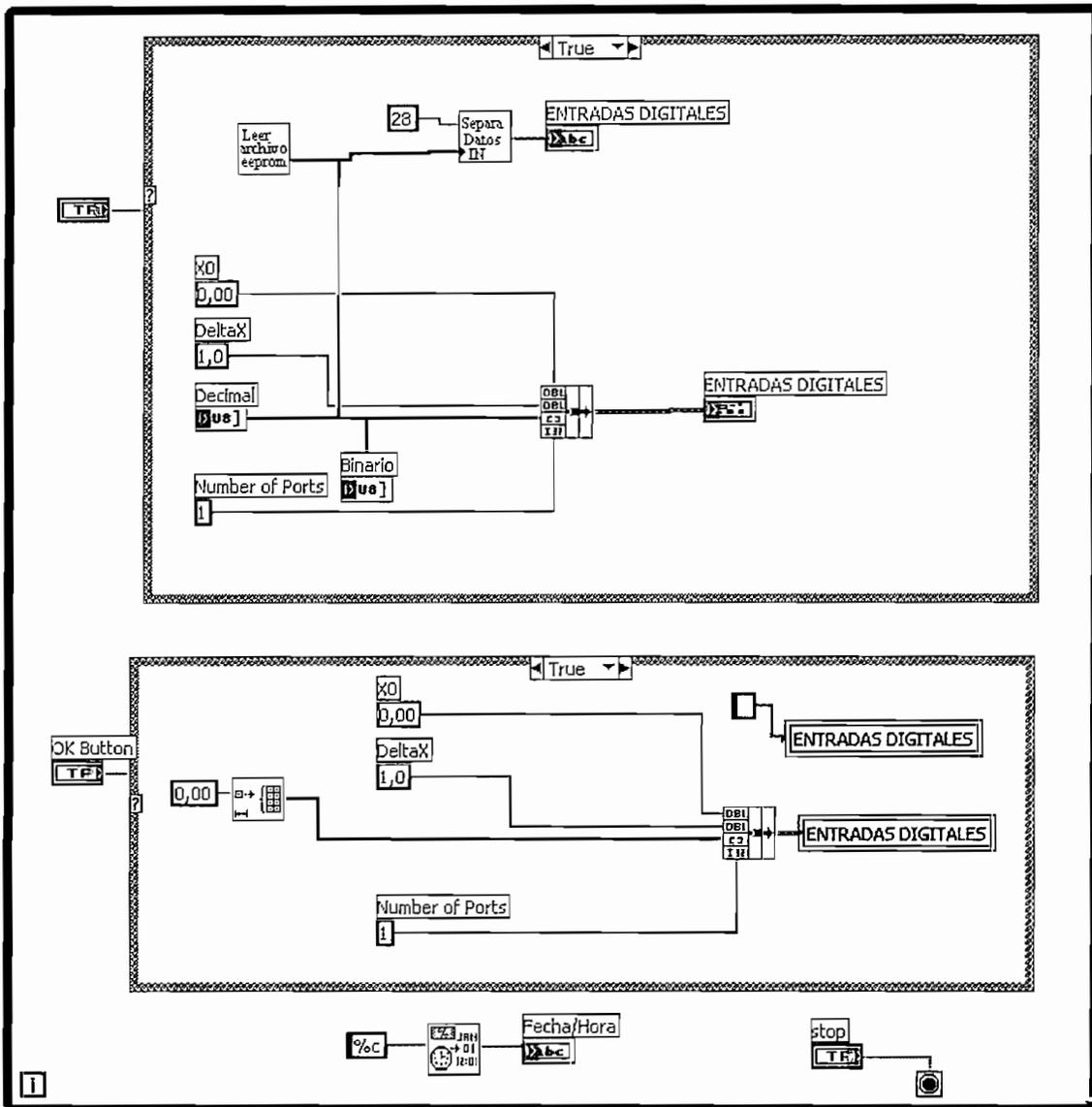


Figura 3.33 Diagrama correspondiente a la pantalla gráfico de las entradas digitales grabadas en eeprom.

3.2.2.7 Configurar Directorio

La pantalla configurar directorio contiene el árbol de directorio de los archivos de texto Entradas analógicas.txt, Presentación analógicas.txt, Entradas digitales.txt, Presentación digitales.txt, Eeprom.txt y Presentación eeprom.txt. Estos archivos de texto son utilizados por el software del sistema de adquisición de datos, para

grabar los datos provenientes de las entradas analógicas, entradas digitales y memoria eeprom del módulo de adquisición de datos. Además los archivos de texto son utilizados por el programa para realizar las representaciones numéricas y gráficas de los datos grabados.

El directorio predeterminado que contiene los seis archivos de texto es C:\Archivos de programa\Sistema de adquisicion de datos\data\. Los archivos de texto son creados en este directorio automáticamente al instalar el programa Sistema de adquisición de datos. La figura 3.34 presenta la pantalla que contiene los directorios de los archivos de texto.

En esta pantalla se puede realizar cambios en el directorio o en los archivos de texto, pero para utilizar diferente directorio o diferentes archivos de texto a los predeterminados se debe primero crear los archivos de texto a utilizar en un directorio de Windows que ya exista.

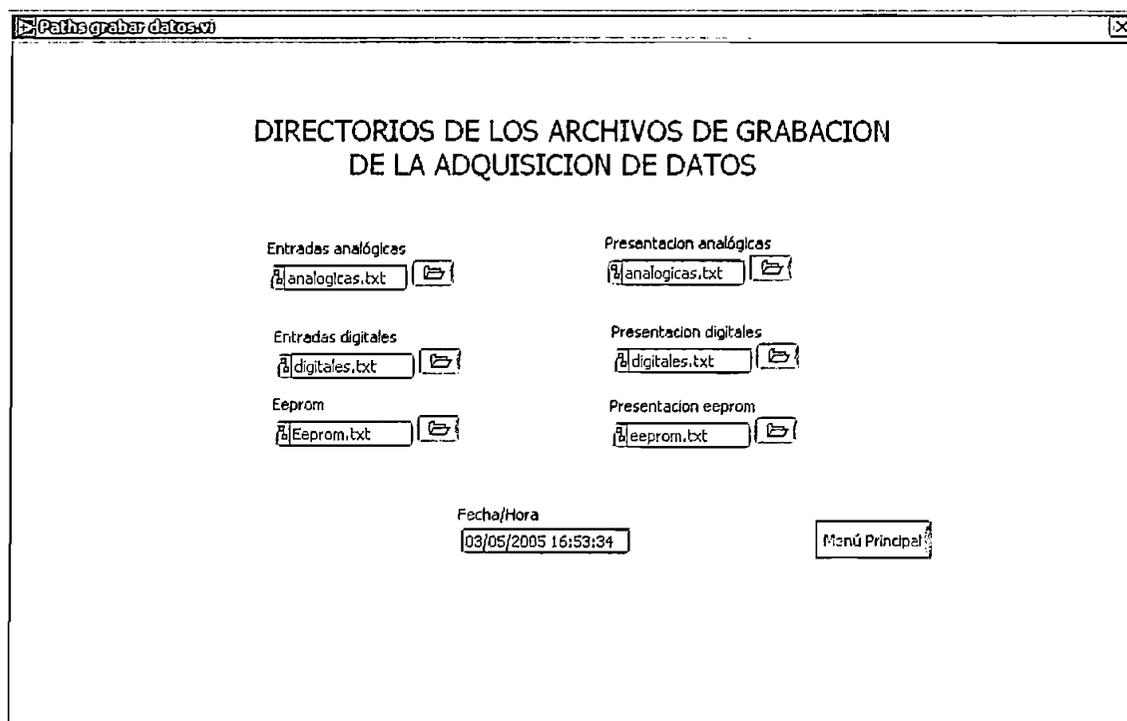


Figura 3.34 Pantalla que contiene los directorios de los archivos de texto

La figura 3.35 presenta el diagrama de programación asociado a la pantalla de los directorios de los archivos de texto. La función de este diagrama es cambiar la

ruta que apunta a un archivo de texto que ha sido creado previamente para la grabación de los datos del parámetro seleccionado. Este diagrama permite realizar los cambios sin pulsar controles de confirmación.

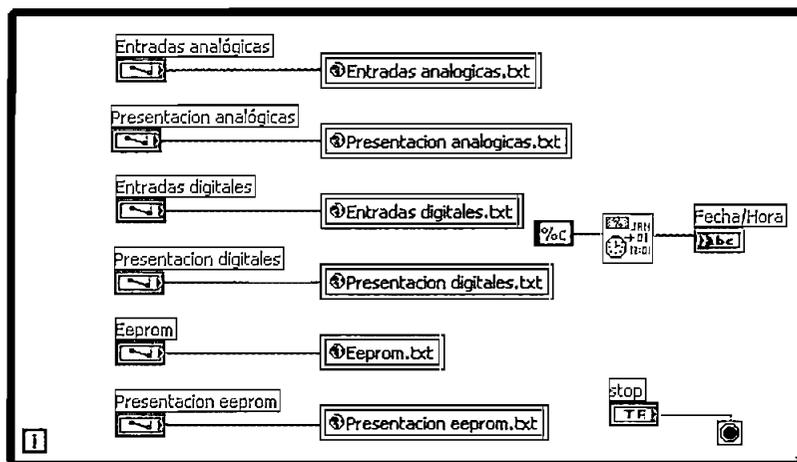


Figura 3.35 Diagrama de programación asociado a la pantalla de los directorios de los archivos de texto

3.2.2.8 Leer archivos

La figura 3.36 presenta la pantalla Leer archivos, la cual muestra el contenido de los archivos Entradas analógicas.txt, Presentación analógicas.txt, Entradas digitales.txt, Presentación digitales.txt, Eeprom.txt y Presentación eeprom.txt.

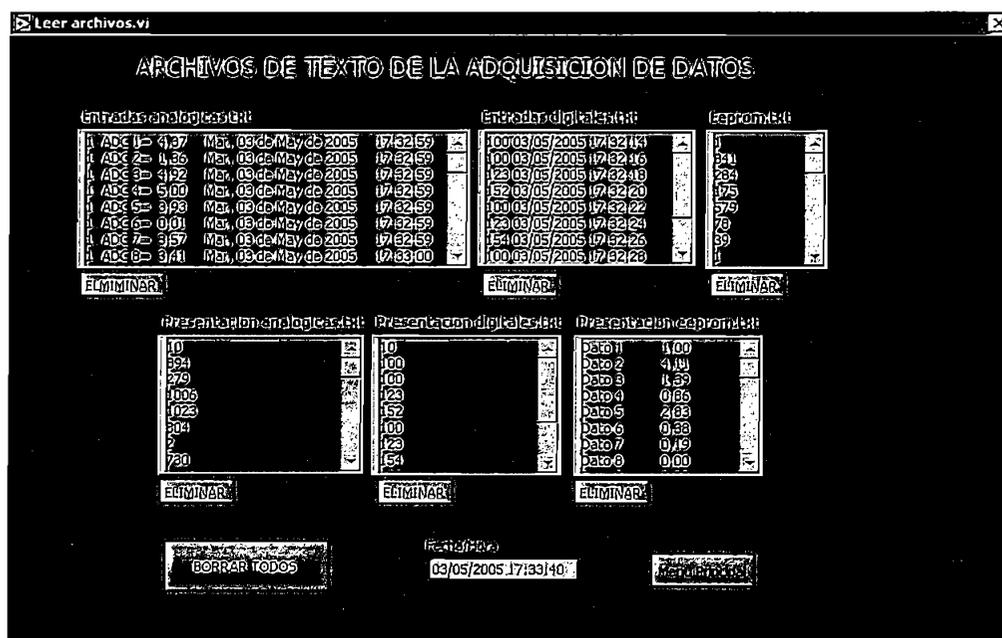


Figura 3.36 Pantalla Leer archivos

La figura 3.37 presenta el diagrama de programación correspondiente a la pantalla Leer archivos. La función de este diagrama es leer y presentar el contenido de los archivos de texto. Además permite borrar el contenido de cada uno de los archivos de texto luego de un mensaje de confirmación al pulsar los controles correspondientes en la pantalla de la figura 3.36

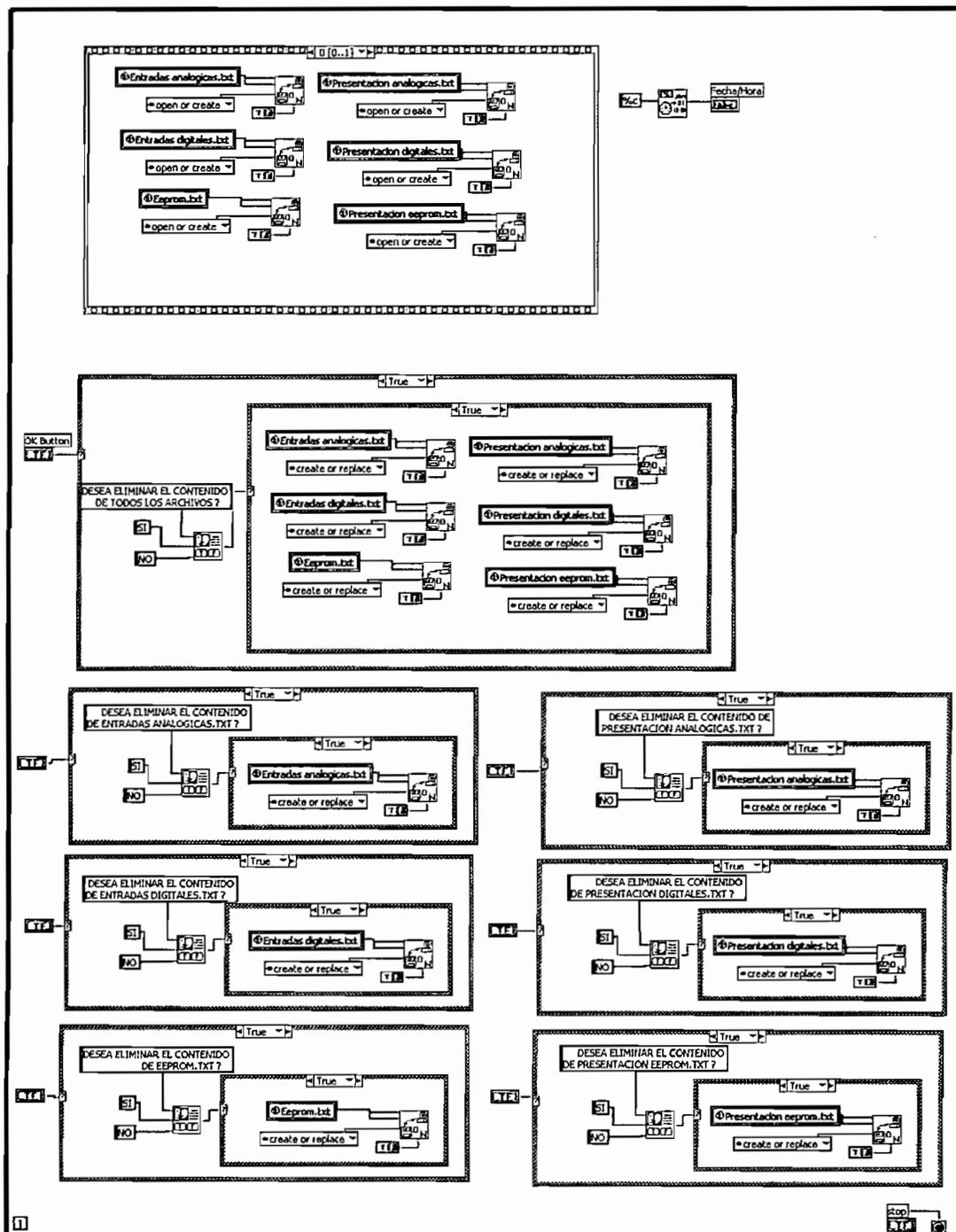


Figura 3.37 Diagrama correspondiente a la pantalla Leer archivos.

3.2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE PROGRAMACIÓN PARA LA COMUNICACIÓN SERIAL

La comunicación del computador con el módulo de adquisición de datos se realiza a través de un transceptor de infrarrojos conectado al puerto serial del computador. El software desarrollado en Labview establece la comunicación utilizando subVIs que transfieren datos a través del puerto serial.

Labview puede enviar por el puerto serial un solo carácter a la vez, en código ASCII, lo cual significa que no dispone de una herramienta de software que permita transmitir números de más de un dígito. Esto dificulta la comunicación con el módulo de adquisición de datos, puesto que los datos que se requiere transferir, tienen valores que van desde cero a mil veintitrés. Para transmitir estos datos se requiere separar los dígitos que conforman cada dato y enviarlos uno a la vez. Los caracteres utilizados por el software de adquisición de datos para la comunicación serial son los dígitos del cero al nueve y trece letras. Labview envía cada carácter independientemente, por ejemplo para enviar el número 392 tendría que enviar cada dígito por separado, primero el tres, luego el nueve y por último el dos. La tabla 3.1 contiene los códigos ASCII de los caracteres enviados por el puerto serial.

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Carácter | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ASCII | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 |
| Carácter | a | b | c | d | e | f | g | h | q | r |
| ASCII | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 113 | 114 |
| Carácter | s | t | u | | | | | | | |
| ASCII | 115 | 116 | 117 | | | | | | | |

Tabla 3.1 Códigos ASCII de los caracteres enviados por el puerto serial.

Cada caracter tiene asociado un número ASCII, el cual será enviado desde Labview al módulo de adquisición de datos. Por ejemplo si se envía el número 392, el microcontrolador recibirá el código ASCII de cada dígito, es decir recibirá

la secuencia de números: 51, 57 y 50. Estos números corresponden al código ASCII y tienen que ser transformados al valor numérico 392 en el microcontrolador.

Para que Labview reciba los datos provenientes del microcontrolador se debe especificar el número de caracteres que se espera recibir más dos *bytes*. Por ejemplo si el microcontrolador envía el número 1023, se realiza la lectura del búfer de entrada del puerto serial cuando éste contiene seis *bytes*. El dato recibido está en formato decimal y no se requiere conversiones.

La transmisión serial se realiza siguiendo la secuencia, abrir el puerto serial, enviar el dato y cerrar el puerto serial

Para recibir datos desde el puerto serial se abre el puerto, se espera a que se llene el buffer de entrada del puerto serial, se lee el buffer, y por último se cierra el puerto. En la figura 3.38 se presenta las funciones utilizadas para inicializar y para cerrar el puerto serial.

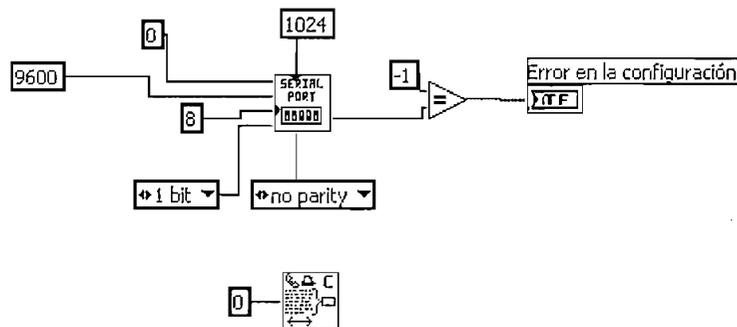


Figura 3.38 Diagramas utilizados para abrir y cerrar el puerto serial.

La comunicación serial se realiza a 9600 baudios, con ocho bits de datos, un bit de parada, sin bit de paridad, y con un tamaño de buffer de 1024 bytes. El puerto serial com1 corresponde al número de puerto cero.

Para realizar la comunicación serial, las funciones de escritura y lectura del puerto serial, siempre deben iniciar con la función inicializar el puerto serial y finalizar con la función cerrar el puerto serial.

3.2.3.1 Comunicación serial, datos enviados a las salidas analógicas

La figura 3.39 presenta el programa que transmite datos a las salidas analógicas. La secuencia de la figura 3.39 envía el código ASCII correspondiente a la letra q, este dato indica al microcontrolador que los datos corresponden a las salidas analógicas. Luego se envía una letra que puede ser: a, b, c, d, e, f, g, h. El microcontrolador recibe el código ASCII correspondiente a la letra enviada, y esto le indica a que canal analógico corresponde el siguiente dato que va a recibir. La secuencia número tres envía el dato correspondiente al valor analógico.

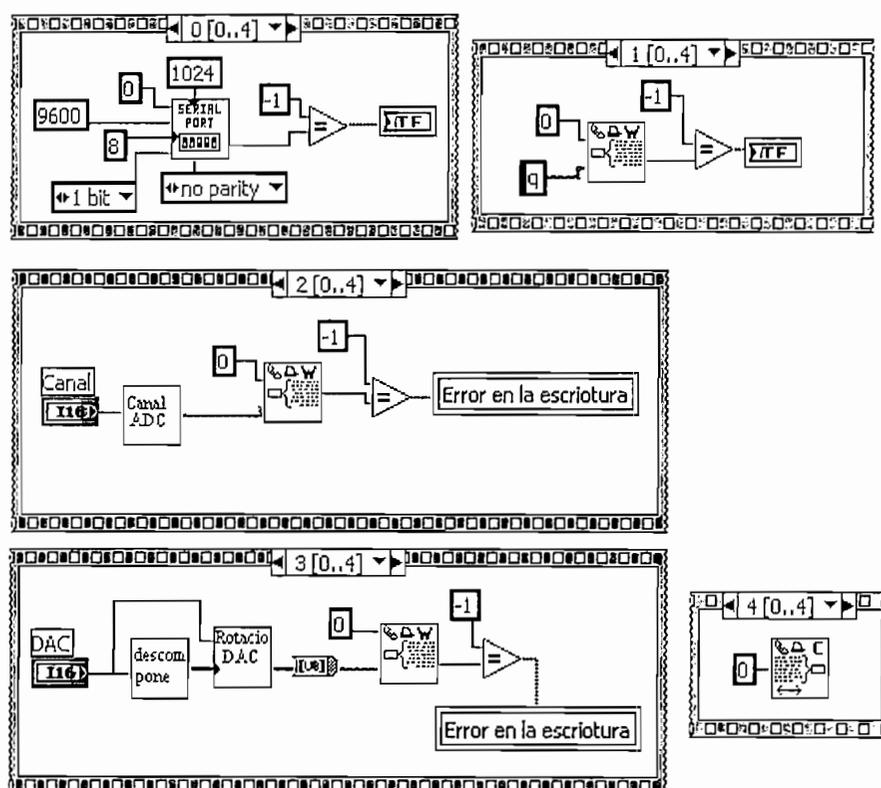


Figura 3.39 Secuencia de transmisión de datos a las salidas analógicas.

Para enviar el dato del valor analógico, primero se ejecuta el subVI Descompone, y el subVI Rotación DAC cuyos diagramas de programación se presentan en las figuras 3.40 y 3.41.

La función del subVI Descompone es convertir un dato numérico cuyo formato puede tener de uno a cuatro dígitos, en un formato de cuatro dígitos fijos, para esto se utiliza el código ASCII de cada dígito del dato numérico. Por ejemplo si el

número que entra a la función Descomponer es el 5, se tendrá como resultado a la salida de la función un arreglo con los datos 53, 48, 48, 48. Este mismo resultado se tendrá para los números 50 y 500, es decir un arreglo con los datos 53, 48, 48, 48. Para resolver este problema se utiliza el subVI denominado Rotación DAC, cuya función es ordenar el arreglo que contiene los cuatro dígitos que representan el dato del valor analógico. Este arreglo ordenado que contiene el valor analógico es convertido en una cadena de caracteres de cuatro dígitos que se transmiten por el puerto serial como se indica en la secuencia tres de la figura 3.39

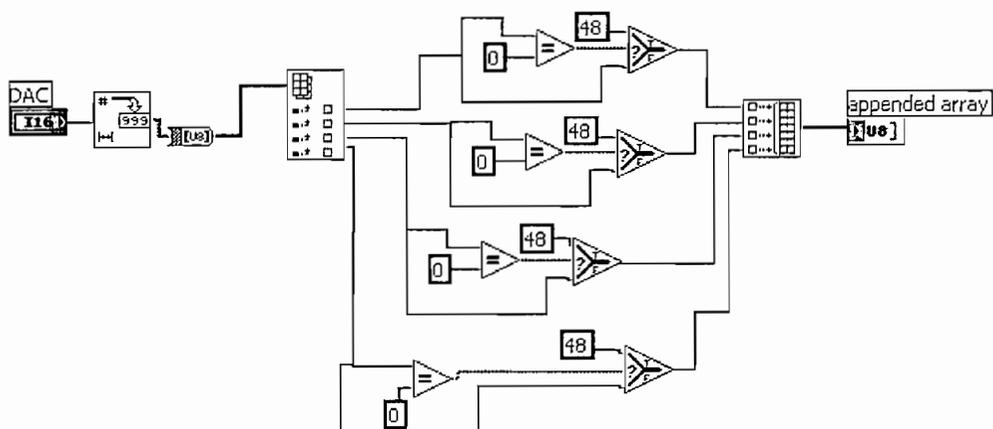


Figura 3.40 Diagrama de programación del subVI Descomponer

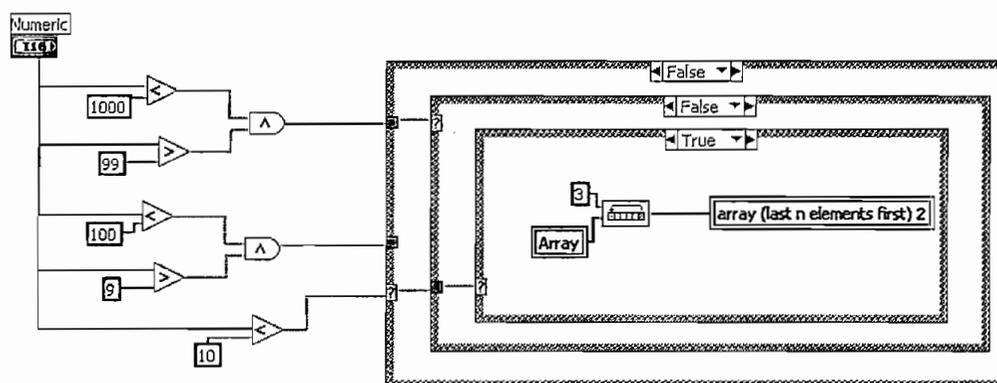


Figura 3.41 Diagrama de programación del subVI Rotación DAC.

Siguiendo con el ejemplo, para enviar el número 5, éste número se convierte en la cadena de caracteres 0005 de cuatro dígitos. El microcontrolador siempre espera recibir un dato de cuatro dígitos cuyo rango está entre 0 y 1023.

3.2.3.2 Comunicación serial, datos recibidos desde las entradas analógicas

La figura 3.42 presenta la secuencia utilizada para la recepción de los datos de las entradas analógicas. El primer dato enviado es la letra r, que indica al microcontrolador que debe enviar datos de las entradas analógicas. Luego se ejecuta el subVI canal ADC que al igual que para el caso de las salidas analógicas, indica al microcontrolador el canal analógico del cual se recibirá el dato. La secuencia número tres realiza la lectura del buffer de entrada serial una vez que tiene seis bytes acumulados en el buffer. Cuatro de los seis bytes acumulados en el búfer de entrada serial, corresponden al dato de la entrada analógica que envía el microcontrolador en un formato de cuatro dígitos, los otros dos bytes son utilizados por Labview, para delimitar una recepción serial completa. El dato recibido es una cadena de caracteres de cuatro dígitos, la cual se la convierte en un número decimal de cero a mil veintitrés. Por ejemplo el microcontrolador envía los dígitos 0, 0,25. Labview recibe los cuatro dígitos como una cadena de caracteres 0, 0, 2, 5, que es convertida en el valor decimal 25.

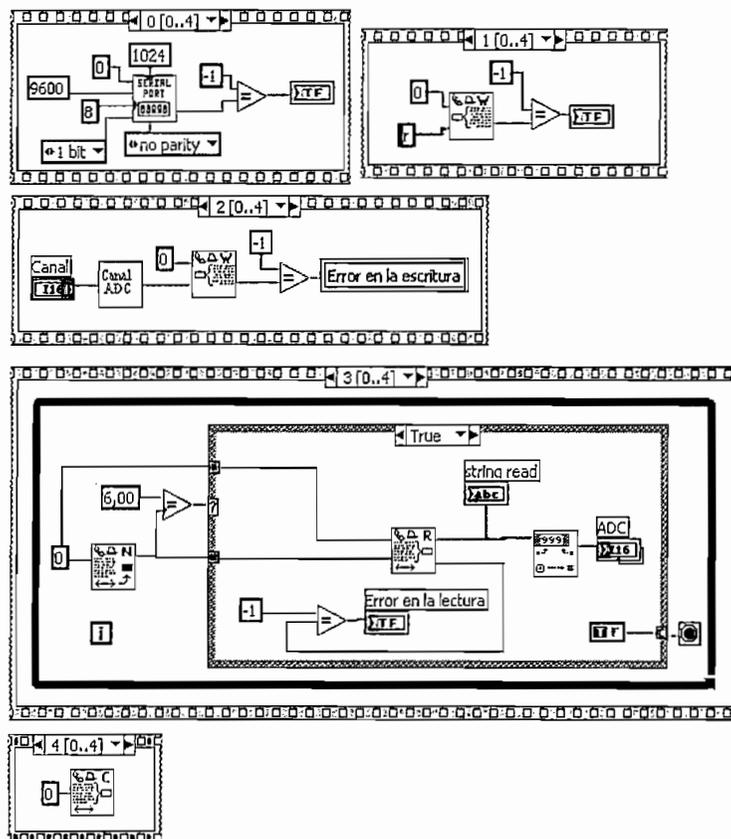


Figura 3.42 Secuencia de recepción de datos de las entradas analógicas.

3.2.3.3 Comunicación serial, datos transmitidos a las salidas analógicas

La figura 3.43 presenta la secuencia de programación para enviar datos a las salidas digitales del módulo de adquisición de datos. El primer byte que se envía es la letra s, lo cual indica al microcontrolador que va a recibir un dato para las salidas digitales. El valor numérico del dato digital, se envía en tres dígitos para lo cual se utiliza los subVIs *byte out* y Rotación Salida Digital cuyos diagramas de programación se presentan en las figuras 3.44 y 3.45.

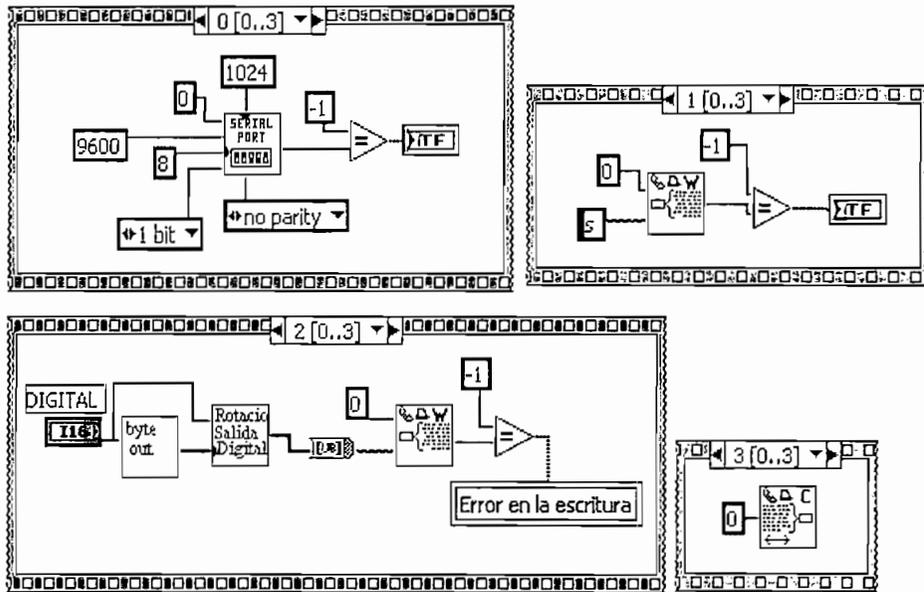


Figura 3.43 Secuencia de transmisión de datos a las salidas digitales.

La función del subVI *byte out* es similar a la función del subVI Descompone de la figura 3.40, pero la conversión del dato numérico tiene un formato de tres dígitos. De igual manera, la función del subVI Rotación Salida Digital es similar a la función del subVI Rotación DAC de la figura 3.41, con la diferencia de que el arreglo a ordenar es de tres dígitos.

El arreglo ordenado es convertido en una cadena de tres dígitos que se transmiten a través del puerto serie. Los tres dígitos corresponden a un número de ocho bits que contiene los estados lógicos de las ocho salidas digitales.

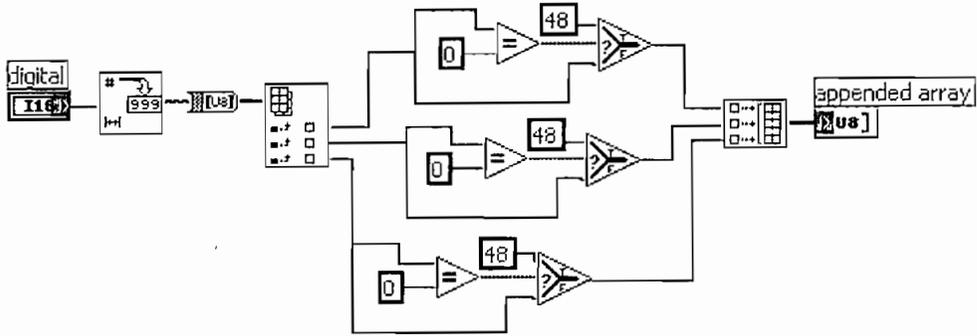


Figura 3.44 Diagrama de programación del subVI *byte out*

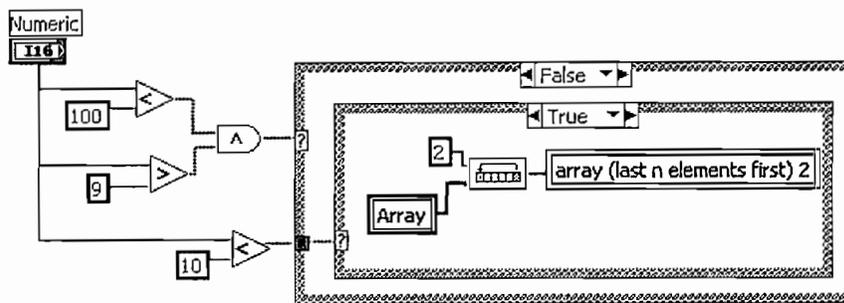


Figura 3.45 Diagrama de programación del subVI *Rotación Salida Digital*.

3.2.3.4 Comunicación serial, datos recibidos desde las entradas digitales

La figura 3.46 presenta la secuencia de recepción de datos de las entradas digitales. El primer byte enviado desde Labview es la letra *t*, que indica al microcontrolador que se va a recibir datos desde las entradas digitales. En la secuencia número dos se lee el buffer de entrada del puerto serial una vez que se tiene en el buffer cinco bytes acumulados. Tres de los cinco bytes corresponden al dato que contiene el estado de las ocho entradas digitales, mientras que los otros dos bytes son delimitadores que indican una recepción serial completa.

El valor recibido de las entradas digitales es una cadena de caracteres de tres dígitos, que es convertida a un valor decimal de cero a doscientos cincuenta y cinco que contiene el estado lógico de las ocho entradas digitales del módulo de adquisición de datos.

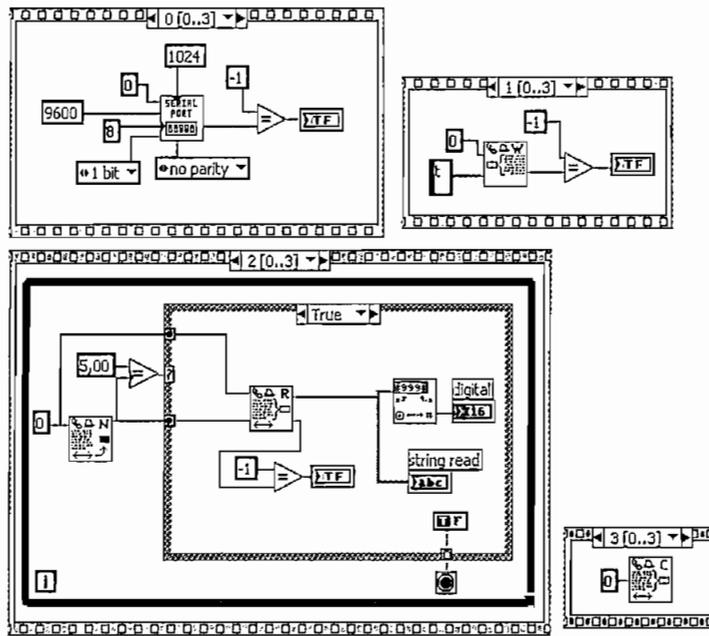


Figura 3.46 Secuencia de recepción de datos de las entradas digitales.

3.2.3.5 Comunicación serial, datos recibidos desde eeprom

La figura 3.47 presenta el diagrama de programación de la secuencia de recepción de datos grabados en eeprom. El primer byte enviado desde Labview es la letra u, lo cual indica al microcontrolador que se realizará la lectura de los datos grabados en eeprom. El segundo byte es un número entre 1 y 253, que le indica al microcontrolador la posición de memoria eeprom que debe leer. Para enviar este número se utiliza los subVIs *byte out* y Rotación Salida Digital, de igual forma que para la transmisión de datos a las salidas digitales. La secuencia número tres lee los datos del buffer de entrada del puerto serial una vez que se ha acumulado seis *bytes*. Cuatro de los seis *bytes* corresponden al dato recibido desde eeprom del módulo de adquisición de datos, los otros dos *bytes* son delimitadores que indican una recepción serial completa. Los datos grabados en eeprom son recibidos en un formato de cuatro dígitos, estos datos corresponden a los valores de las entradas analógicas, las entradas digitales y al intervalo de tiempo de muestreo en la grabación de la memoria eeprom. Para realizar la lectura de todos los datos grabados en eeprom, se debe ejecutar la secuencia de recepción de datos doscientas cincuenta y tres veces, variando el dato digital que indica la posición de memoria eeprom que se lee.

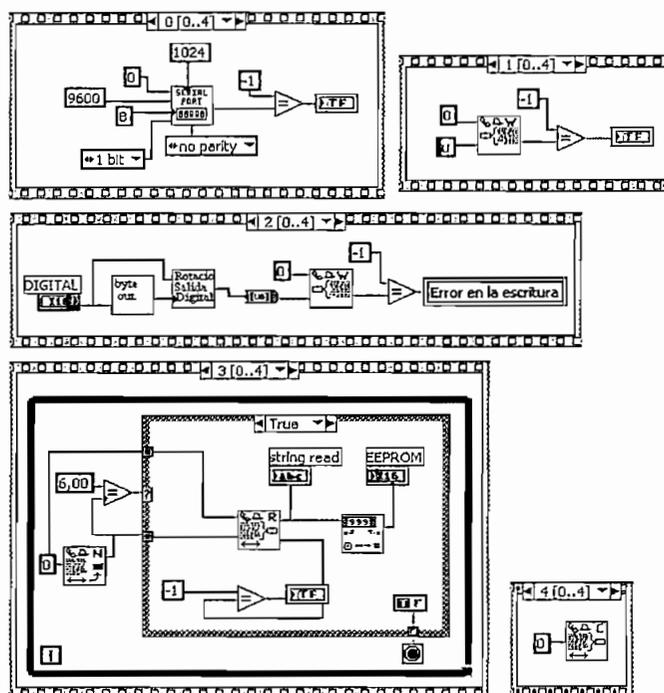


Figura 3.47 Secuencia de recepción de datos grabados en memoria eeprom.

3.2.4 CREACIÓN DE INSTALADORES CON LABVIEW

Labview tiene una herramienta de software denominada Build Application, mediante la cual se puede crear una aplicación .exe que equivale a todos los subVIs que comprende un programa y que se ejecuta solamente cuando se tiene instalado Labview Run-Time Engine en la computadora. Además del archivo ejecutable .exe, Labview puede crear instaladores para correr el software desarrollado en cualquier computador, que no disponga de Labview Run-Time Engine. Para crear ejecutables o instaladores se ingresa en el menú Tools del panel frontal de Labview, se selecciona Build Application or Shared Library (DLL), con lo cual aparece la pantalla de la figura 3.48. En la opción build target se elige aplicación, en el directorio de destino se escoge el directorio en el cual se crea el archivo ejecutable. En la opción Target file name, se escribe el nombre que tendrá el software del archivo ejecutable. Luego se cambia a la pantalla Source Files, que se indica en la figura 3.49. En esta pantalla se selecciona el archivo VI de mayor jerarquía, en el caso del software de adquisición de datos, este archivo es Adquisición_datos.vi. Además se añade mediante el botón add support file, todos los archivos que necesita el software para su funcionamiento.

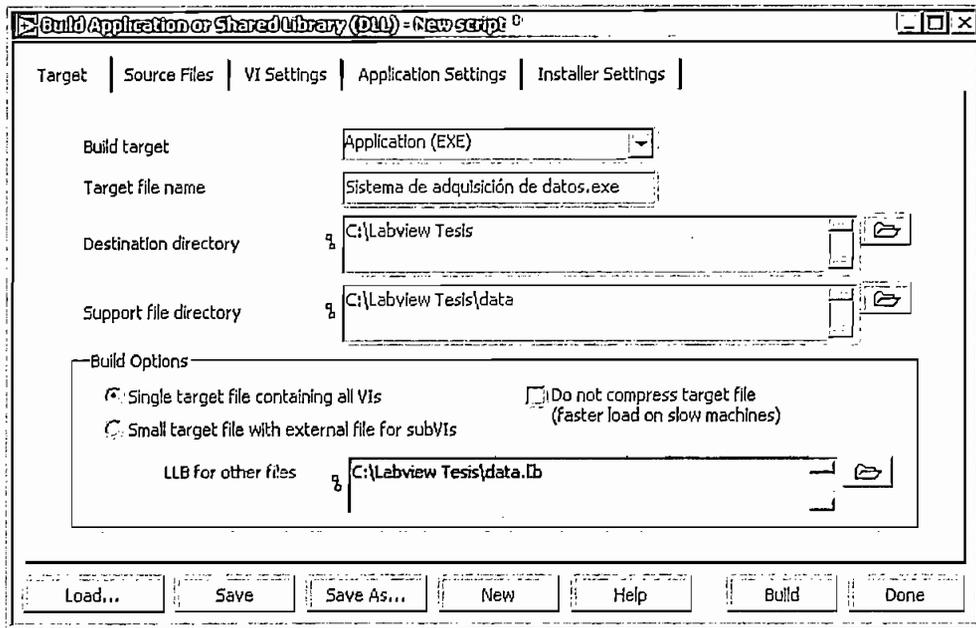


Figura 3.48 Pantalla para seleccionar el directorio de destino.

En el caso del software de adquisición de datos se añaden los archivos de texto Entradas analógicas.txt, Presentación analógicas.txt, Entradas digitales.txt, Presentación digitales.txt, Eeprom.txt y Presentación eeprom.txt, que se utilizan para la grabación de datos. Esto permite que los instaladores del programa puedan crear estos archivos de texto automáticamente, con lo cual el sistema queda listo para funcionar, sin necesidad de hacer cambios en el directorio de archivos al ingresar al software de adquisición de datos.

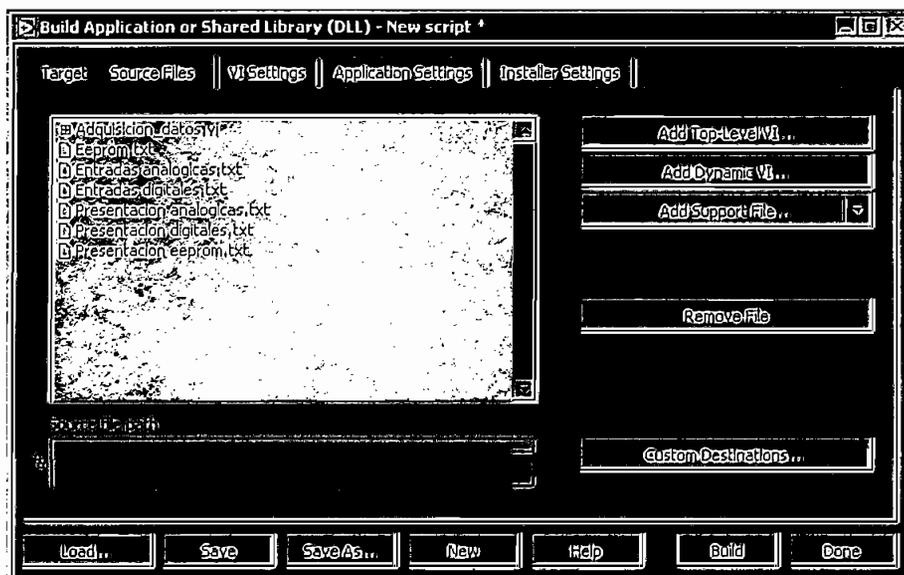


Figura 3.49 Pantalla para elegir los archivos fuente para crear instaladores.

La figura 3.50 presenta la pantalla de configuración del instalador. En esta pantalla se habilita la opción crear instalador, y se escribe el nombre de la instalación y el directorio en el cual se crea el instalador.

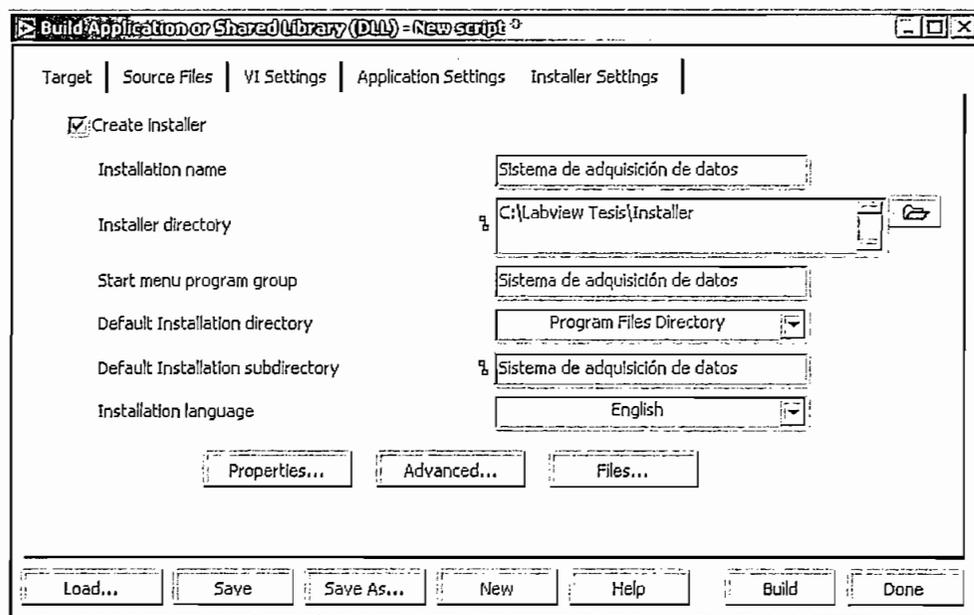


Figura 3.50 Pantalla para habilitar la creación de instaladores.

3.3 CONSIDERACIONES PARA DESARROLLAR EL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA16

El programa del microcontrolador es el encargado de controlar todos los recursos del módulo de adquisición de datos, entradas y salidas analógicas y digitales, memoria eeprom, comunicación serial infrarroja, mensajes en el LCD, control de pulsadores, estado de los leds. El módulo de adquisición de datos puede funcionar comunicándose con el computador, o en forma autónoma.

Cuando el módulo funciona en forma autónoma, los datos provenientes de las entradas analógicas y digitales se graban en la memoria eeprom del microcontrolador atmega16, y estos datos permanecen inalterables hasta que se realice una nueva adquisición de datos autónoma, o hasta que se de la orden de borrado. Para iniciar la adquisición de datos, previamente se debe configurar el

intervalo de tiempo de muestreo entre cada adquisición de datos, el cual podrá ser de uno a sesenta segundos.

Cuando el módulo funciona en comunicación con el computador, todas las operaciones que realiza el módulo de adquisición de datos son controladas desde el computador. El módulo de adquisición de datos realiza la lectura de las entradas analógicas y digitales cuando recibe la orden del software del computador. De igual forma para leer los datos grabados en eeprom, el computador es el que inicia la recepción de los datos grabados. Los valores que tienen las salidas analógicas y digitales son recibidos por el módulo de adquisición de datos desde el computador. Tanto en la adquisición de datos autónoma, como cuando el módulo funciona en interconexión con el computador, se dispondrá de mensajes en el LCD para visualizar el estado de funcionamiento del módulo de adquisición de datos. A continuación se indica los elementos que controla el programa del microcontrolador.

- Los circuitos integrados max5250 que contienen los convertidores analógico a digital se comunican con el microcontrolador, mediante el protocolo SPI (serial peripheral interfaz). Por lo tanto el microcontrolador dispondrá del software de control que establezca la comunicación con los dos max5250.
- E programa del microcontrolador debe establecer la comunicación entre el microcontrolador y los tres expansores de puerto PCF8574, por medio del protocolo de comunicación serial sincrónico I2C.
- La comunicación serial infrarroja se realiza a través del UART del microcontrolador, por lo tanto el programa del microcontrolador debe controlar la comunicación serial infrarroja con el computador.
- El programa del microcontrolador controla la lectura, escritura y borrado de la memoria eeprom interna, la cual será usada para la adquisición de datos, cuando el módulo funciona en forma independiente del computador.

- El software del microcontrolador controla los dos pulsadores que dispone el módulo de adquisición de datos, que tienen las funciones de cambiar los mensajes en el LCD alternando los parámetros visualizados, iniciar la adquisición de datos independiente, controlar la lectura de eeprom visualizando los datos en el LCD, borrar eeprom, calibrar el intervalo de tiempo de muestreo en la adquisición de datos independiente.

3.4 SOFTWARE DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA16

El programa del microcontrolador fue desarrollado en Bascom-avr. A continuación se realiza una descripción de las principales herramientas de programación de microcontroladores que dispone este programa.

3.4.1 BASCOM AVR

Bascom-avr es un compilador Basic para microcontroladores Atmel de la familia AVR, desarrollado por la empresa MCS Electronic. La programación de microcontroladores utilizando Basic ahorra mucho tiempo de desarrollo, comparado con la utilización de lenguaje ensamblador del microcontrolador. Las características de Bascom-avr son:

- BASIC estructurado con etiquetas.
- Programación estructurada: if-then-else-end, do-loop, while-wend, select- case
- Código de máquina compilado.
- Nombres de variables y etiquetas de hasta 32 caracteres de longitud.
- Declaración de variables Bit, Byte, Integer, Word, Long, Single y String.
- Los programas compilados trabajan con todos los microcontroladores AVR que tienen memoria RAM interna.
- Las instrucciones y comandos son en su mayoría son compatibles con Microsoft Visual Basic y Quick Basic.
- Permite mezclar lenguaje ensamblador y Basic en el mismo código fuente, con lo cual se tiene control total del microcontrolador.

- Puede generar librerías.
- Tiene comandos para escribir mensajes en pantallas LCD, y para comunicación serial asincrónica, I2C, SPI y 1WIRE.
- Comandos para control de hardware externo como por ejemplo teclado de computador, teclado matricial.
- Tiene comandos para recepción RC5 para realizar programas para controles remotos de aparatos electrónicos, como por ejemplo televisores.
- Variables locales, funciones de usuario, soporte de librería.
- Emulador de terminal integrado para realizar comunicación serial RS-232 entre el computador y el microcontrolador.
- Simulador integrado para pruebas.
- Soporta programadores de bajo costo como STK200 y STK300.
- Editor con resalte de las instrucciones.
- La versión DEMO compila 2KB de código. Adecuada para el AT2313.
- Manual de ayuda y documentada con ejemplos gráficos y demos.

Bascom-av tiene gran cantidad de funciones e instrucciones, a continuación se enumeran las principales:

- Estructuras y condicionales: if, then, else, elseif, end if, do, loop, while, wend, until, exit do, exit while, for, next, to, downto, step, exit for, on. goto, gosub, select case.
- Instrucciones de entrada y salida: print, input, inkey, print, inputhex, lcd, upperline, lowerline, cursor on/off/blink/noblink, home, locate, shiftlcd left/right, shiftcursor left/right, cls, deflcdchar, waitkey, inputbin, printbin, open, close, debounce, shiftin, shiftout, getatkbd.
- Funciones numéricas: and, or, xor, inc, dec, mod, not, abs, bcd, log, exp, sqr, sin,cos,tan,exp.
- Comunicación serial sincrónica: I2C: i2cstart, i2cstop, i2cwbyte, i2crbyte, i2csend and i2creceive.

- Comunicación 1wire: 1wwrite, 1wread, 1wreset, 1wirecount, 1wsearchfirst, 1wsearchnext.
- Comunicación serial sincrónica SPI: spiinit, spiin, spiout, spimove.
- Gestión de interrupciones: on int0/int1/timer0/timer1/serial, return, enable, disable, counterx, capturex, interrupts, config, start, load.
- Manipulación de bits: set, reset, rotate, shift, bitwait, toggle.
- Declaración de variables: dim, bit, byte, integer, word, long, single, string , defbit, defbyte, defint, defword.
- Varias: rem, swap, end, stop, const, delay, wait, waitms, goto, gosub, powerdown, idle, declare, call, sub, end sub, makedec, makebcd, inp,out, alias, dim , erase, data, read, restore, incr, decr, peek, poke, cpeek, function, readmagcard, spc.
- Directivas del compilador: \$include, \$baud and \$crystal, \$serialinput, \$serialoutput, \$ramsize, \$ramstart, \$default xram, \$asm-\$end asm, \$lcd, \$external, \$lib.
- manipulación de cadenas: string, space, left, right, mid, val, hexval, len, str, hex, ltrim, rtrim, trim, lcase, ucase, format, fusing, instr

El desarrollo del programa del microcontrolador se puede realizar en cualquier editor de texto de Windows, y luego ser copiado en el editor de texto de Bascom-avr, sin embargo es preferible escribir el programa con Bascom-avr, ya que este programa resalta con otro color los comandos e instrucciones de programación, con lo cual se dispone de una herramienta que permite verificar si una instrucción está bien escrita.

La figura 3.51 presenta el entorno de programación del software Bascom-avr

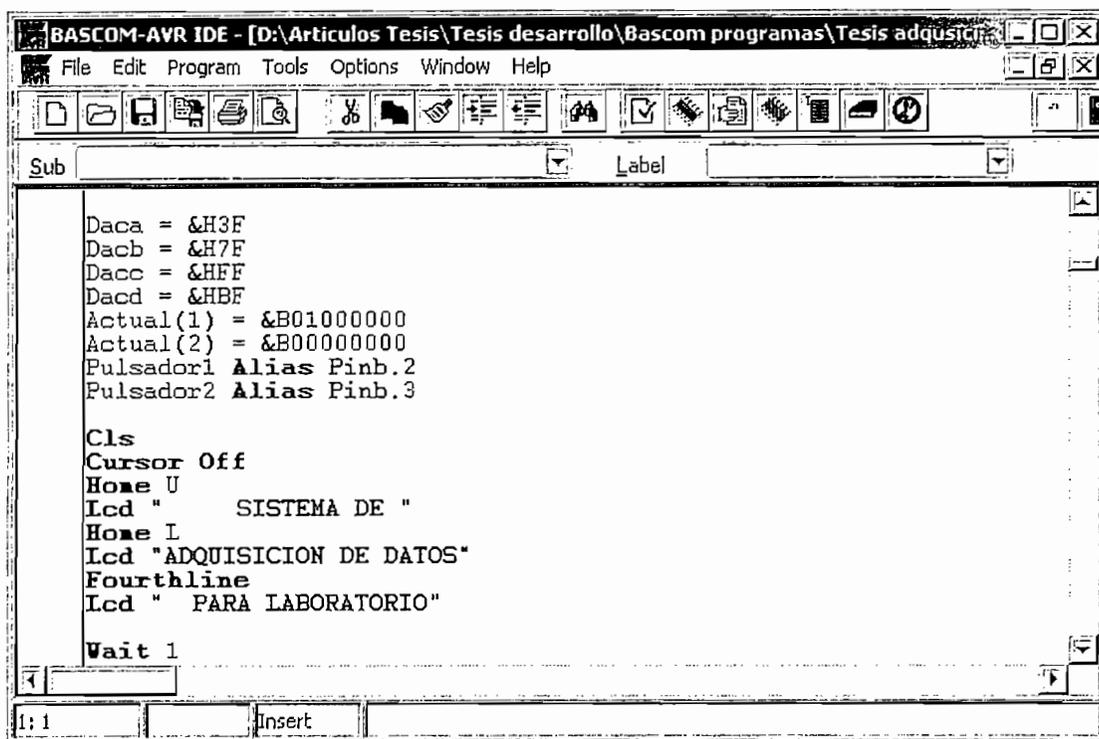


Figura 3.51 Entorno de programación de Bascom-avr

3.4.1.1 Programación con Bascom-avr

Para desarrollar una aplicación para un microcontrolador con Bascom-avr se debe seguir cuatro pasos:

1. Escribir el programa en un editor de texto, de preferencia el de Bascom-avr para disponer de las herramientas de ayuda del programa.
2. Realizar pruebas con el simulador.
3. Compilar el programa a código de máquina binario.
4. Programar el microcontrolador con uno de los programadores que tiene soporte Bascom-avr como el STK200/STK300.

El simulador de Bascom-avr permite ejecutar el programa paso a paso, modificar el estado de variables y registros, simular generación de interrupciones. Dispone de visualización registros de memoria SRAM, eeprom, registro internos del microcontrolador, terminal de Windows para comunicación serial RS-232. La figura 3.52 presenta al simulador de Bascom-avr.

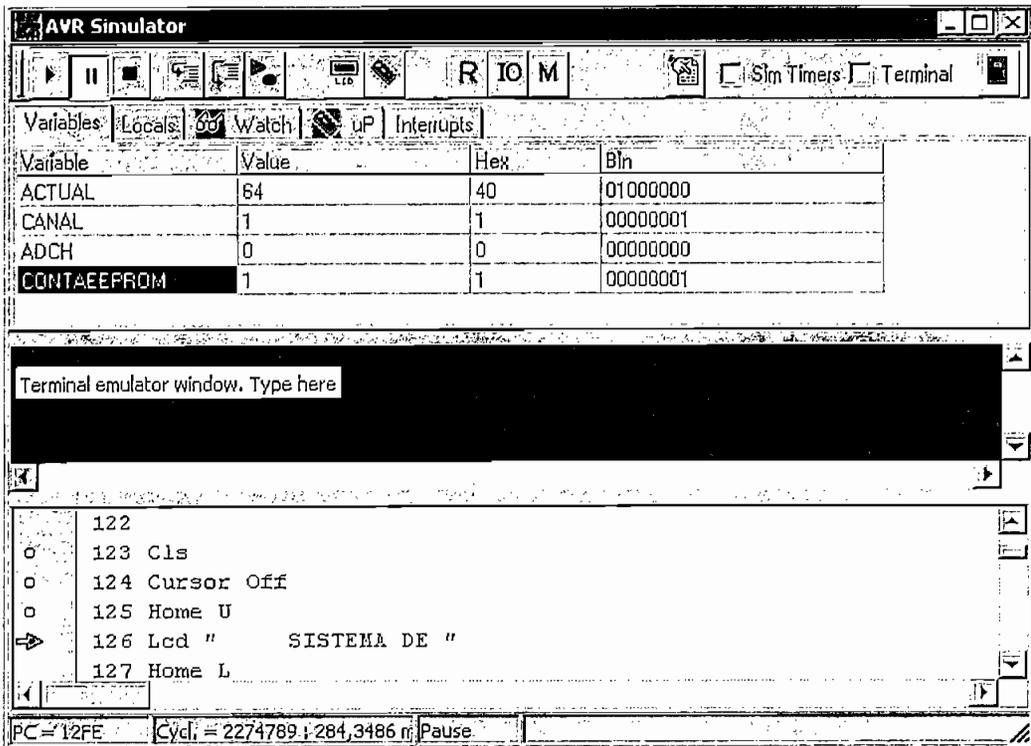


Figura 3.52 Simulador de Bascom-avr

El simulador de Bascom-avr permite simular las entradas analógicas del microcontrolador y elementos de hardware externo con visualización gráfica de los pines de entrada y salida de los puertos del microcontrolador. Dispone de simulación de teclado matricial y de pantalla LCD. La figura 3.53 presenta el simulador de hardware externo de Bascom-avr.



Figura 3.53 Simulador de hardware externo de Bascom-avr

Cuando el programa no genera errores de programación, y está compilado, se puede grabar en el microcontrolador, para lo cual se utiliza el programador de Bascom-avr, previamente configurando el tipo de programador que se va a utilizar. Bascom-avr identifica automáticamente el microcontrolador conectado al programador cuando se ingresa a la pantalla de programación. La figura 3.54 presenta la ventana de programación de Bascom-avr.

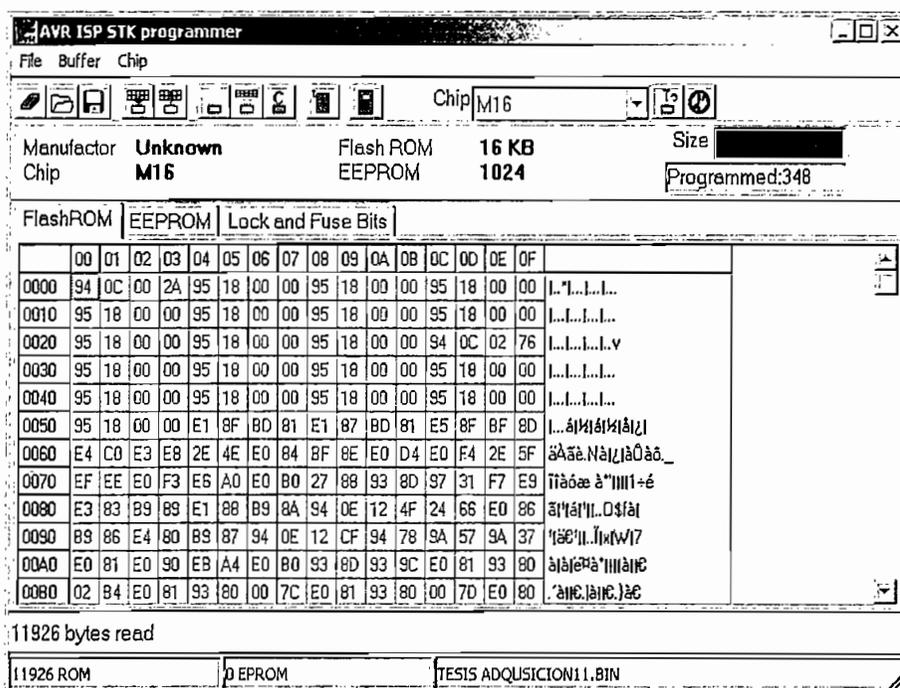


Figura 3.54 Software programador de Bascom-avr.

3.4.2 PROGRAMA PRINCIPAL

El programa del microcontrolador comprende un programa principal y veintisiete subrutinas. En las figuras 3.55, 3.56 y 3.57 se presentan los diagramas de flujo del programa principal, cuyas funciones son configurar los recursos internos del microcontrolador, como son: Conversores análogo a digital, comunicación serial asincrónica, SPI e I2C, tipo de LCD y pines asignados al microcontrolador para controlar el LCD, pines que se conectan a los pulsadores, habilitación de interrupción serial, declaración de variables como ram interna o eeprom interna del microcontrolador, asignación de valores iniciales para algunas variables declaradas, lectura del pulsador uno, lazos y condiciones de programa que contienen llamadas a subrutinas.

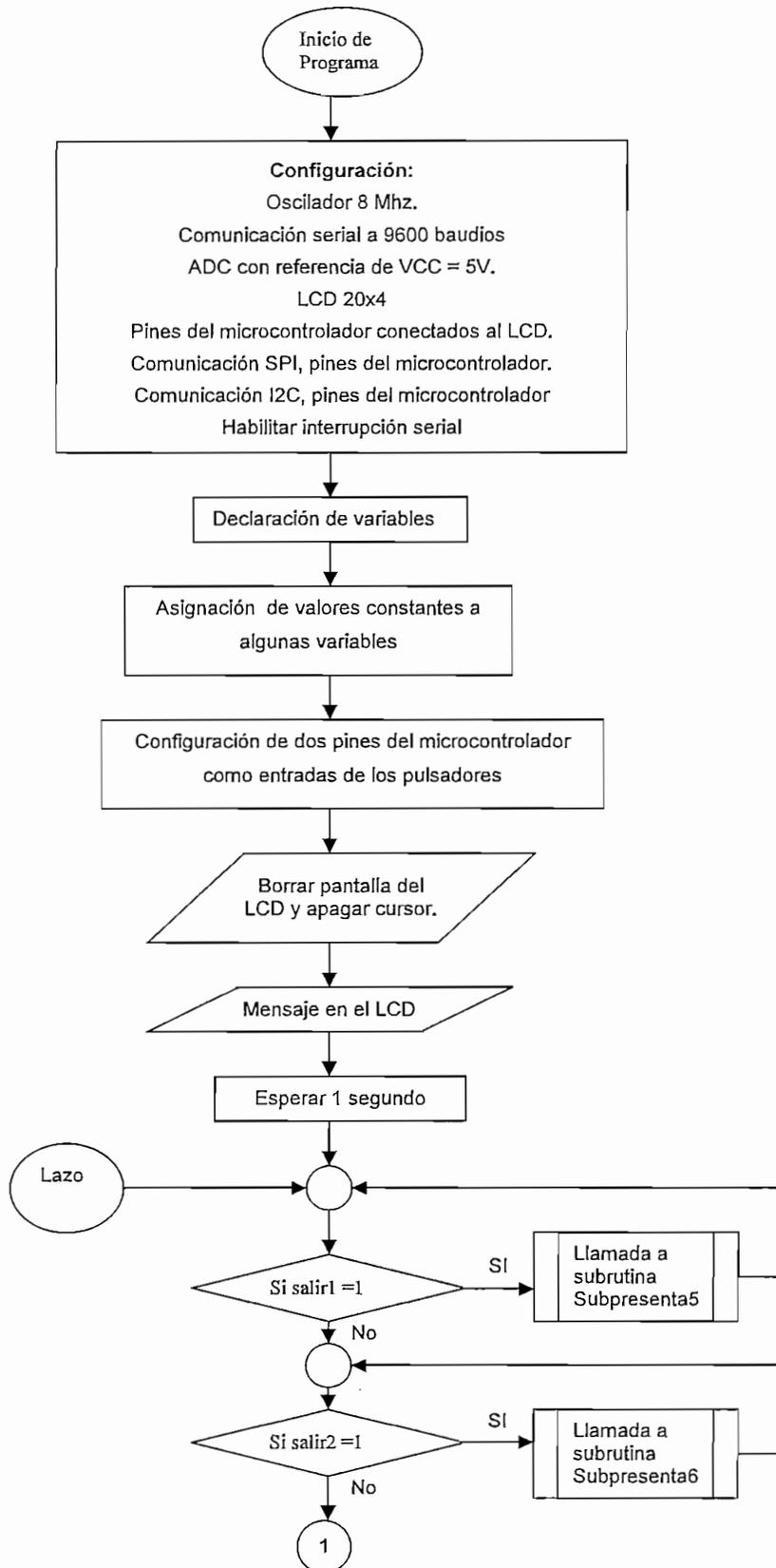


Figura 3.55 Diagrama de Flujo del programa principal del microcontrolador.

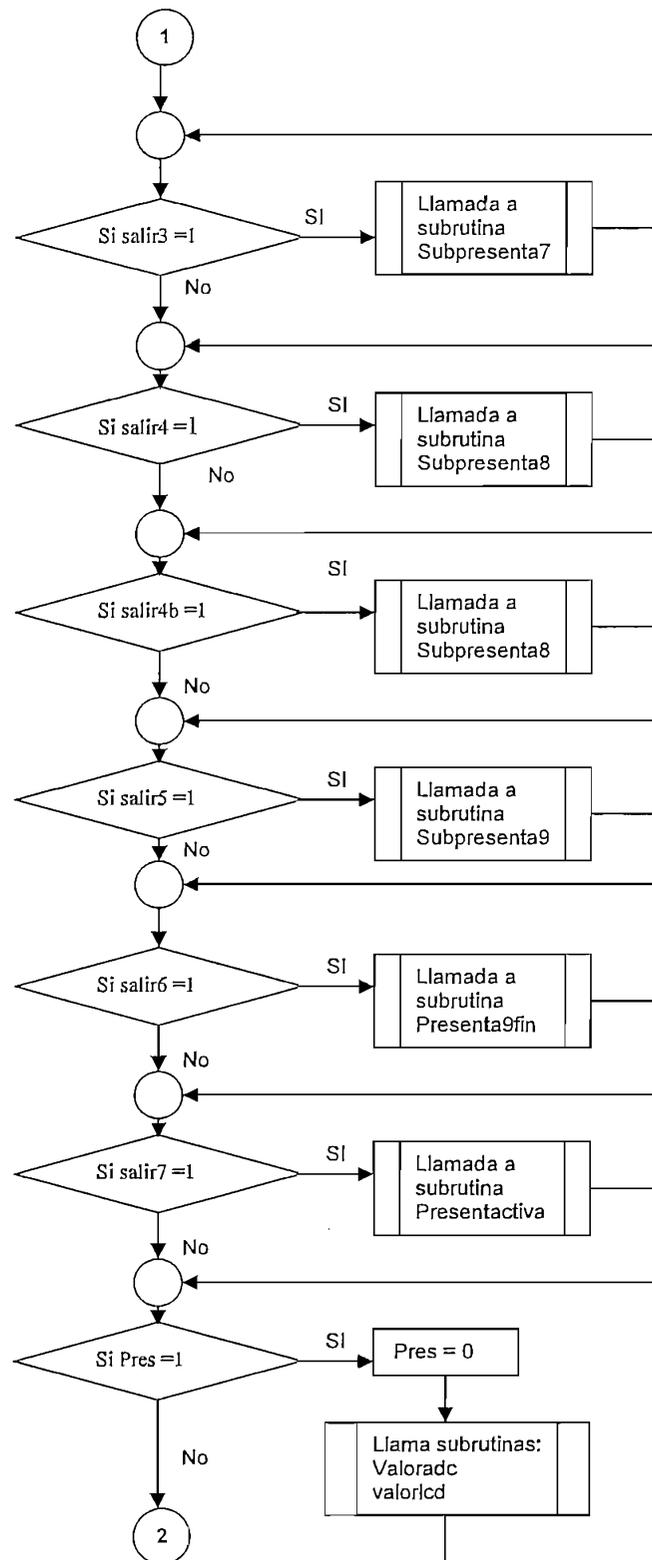


Figura 3.56 Diagrama de Flujo del programa principal del microcontrolador.

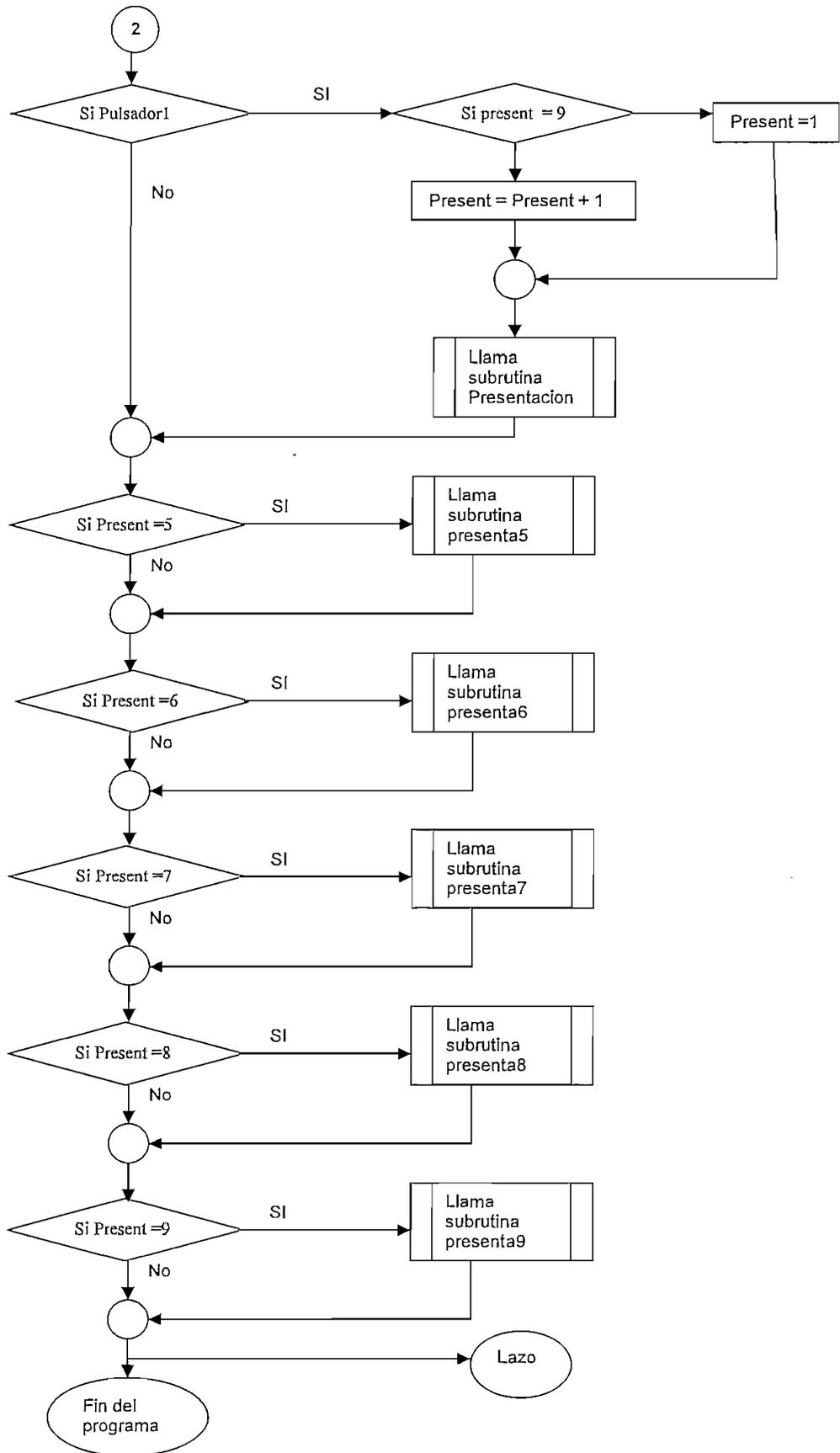


Figura 3.57 Diagrama de Flujo del programa principal del microcontrolador.

3.4.3 SUBROUTINA PRESENTACIÓN

La subrutina presentación se ejecuta cuando se presiona el pulsador uno del módulo de adquisición de datos, la función de esta subrutina es leer el estado de la variable *Present* y según el número que contiene presentar un mensaje diferente en el LCD. La variable *Present*, se incrementa mediante el pulsador uno. La subrutina Presentación, llama a las subrutinas *Valoradc*, *Valordac* y *Valorlcd*, para configurar los mensajes del LCD. En las figuras 3.58 y 3.59 se presenta los diagramas de flujo de la subrutina Presentación. Mediante el pulsador dos, se ejecuta el programa que indica el mensaje del LCD.

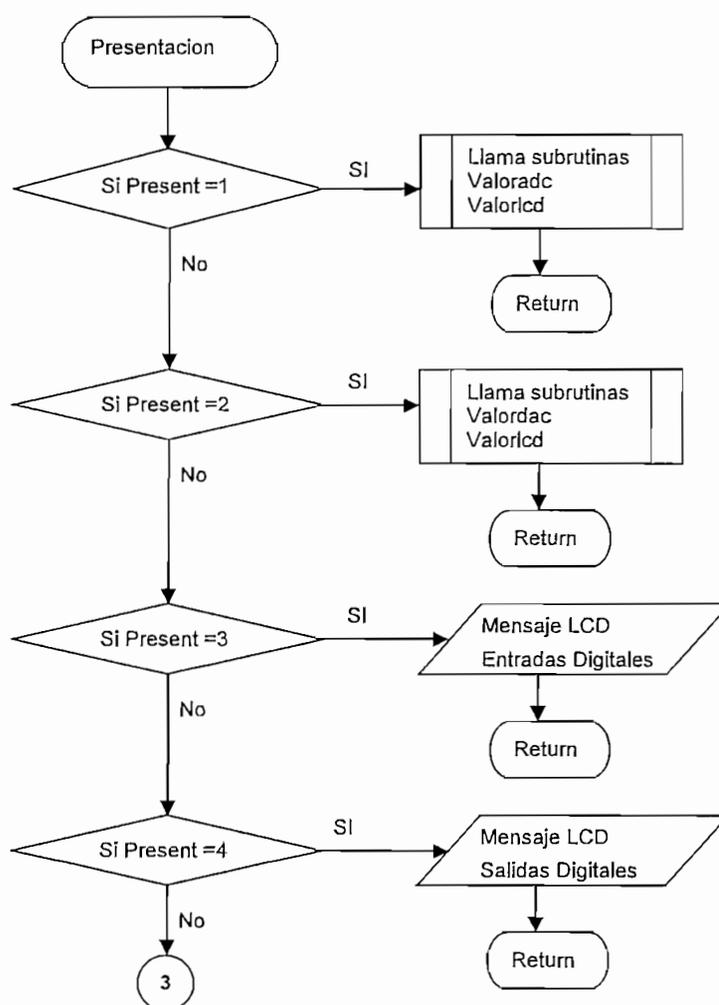


Figura 3.58 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presentacion.

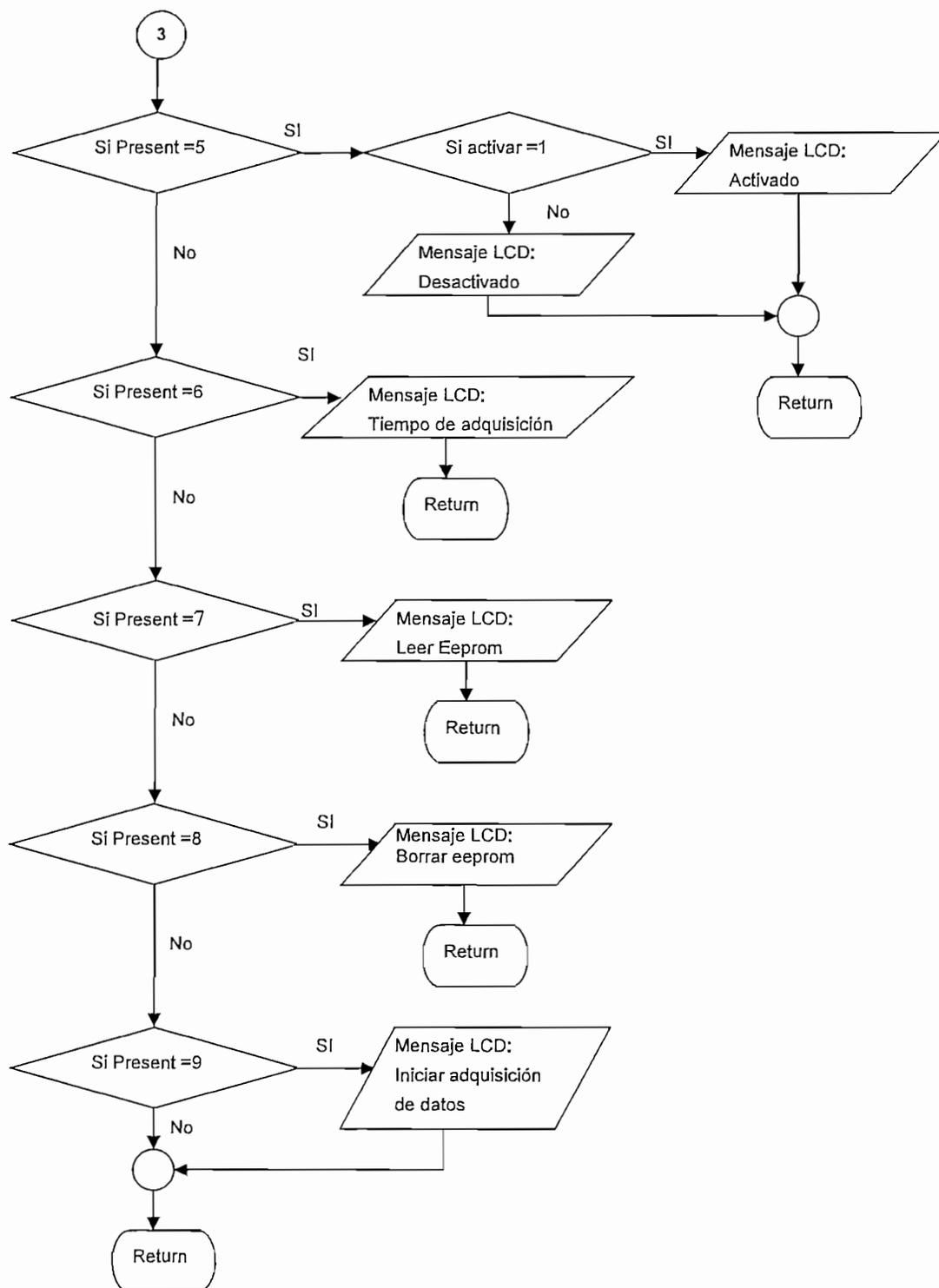


Figura 3.59 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presentacion.

3.4.4 SUBROUTINA SUBPRESENTA5

La subrutina subpresenta5 se ejecuta mientras la bandera *salir1* está activada. Con el pulsador dos se cambia el estado de la bandera activar, la cual permite

que se realice la adquisición de datos autónoma. El pulsador uno limpia la bandera *Salir1*, y asigna el valor cuatro a la variable *Present* con lo cual se sale del lazo del programa principal que ejecuta la subrutina *subpresenta5* y se tiene el mensaje en el LCD que corresponde a la variable *Present* igual a cuatro. La lectura del pulsador dos tiene un retardo de 250 milisegundos para evitar ruido por rebote en los contactos. Esta subrutina presenta mensajes, según el estado de la bandera *Activar*. En la figura 3.60 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina *Subpresenta5*.

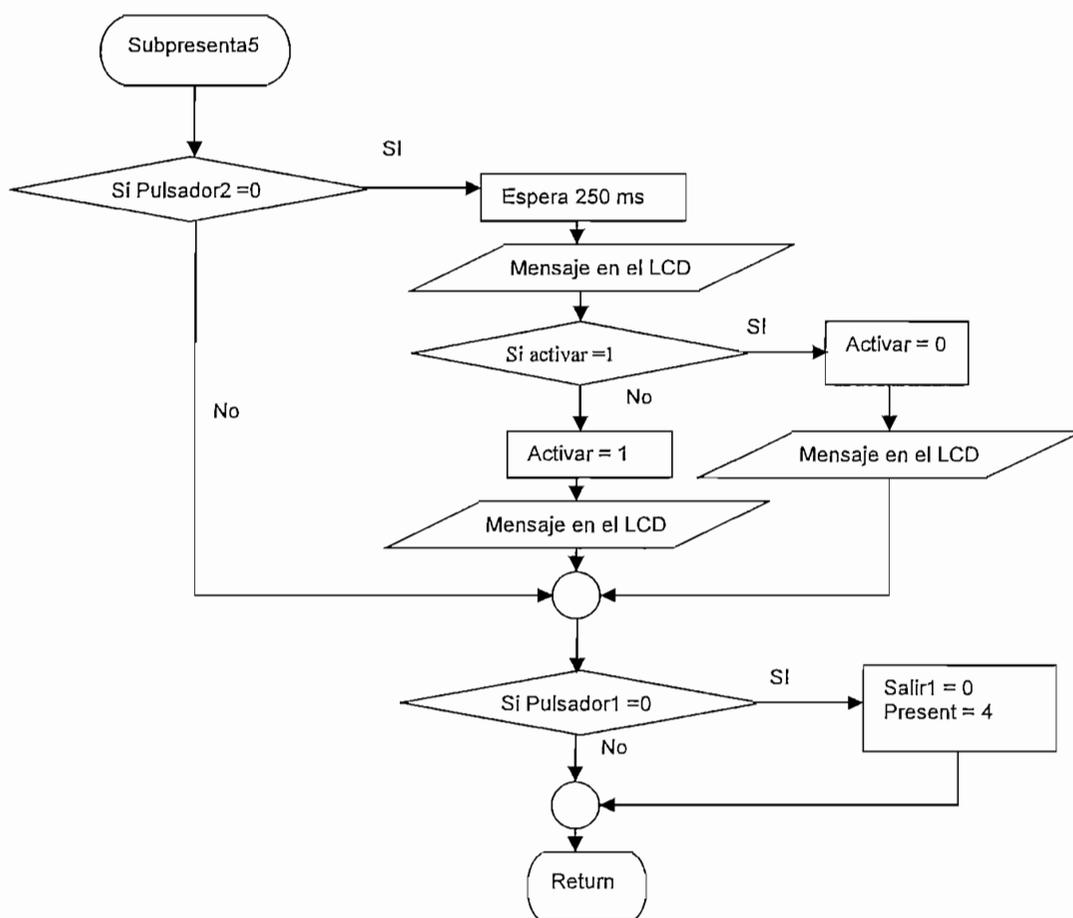


Figura 3.60 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subpresenta5.

3.4.5 SUBROUTINA SUBPRESENTA6

La subrutina *subpresenta6* se ejecuta mientras la bandera *salir2* está activada. Esta subrutina permite cambiar el valor del intervalo de tiempo de muestreo en un

rango de uno a sesenta segundos. Con el pulsador dos se incrementa el valor del tiempo. La lectura del pulsador dos tiene un retardo de 200 milisegundos, para evitar el rebote cuando el pulsador hace contacto. Con el pulsador uno se borra la bandera *salir2* y se asigna el número cinco a la variable *Present*, con lo cual el programa principal sale del lazo que llama a la subrutina *Subpresenta6*, y en el LCD se presenta el mensaje correspondiente a la variable *Present* igual a cinco. En la figura 3.61 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina *Subpresenta6*.

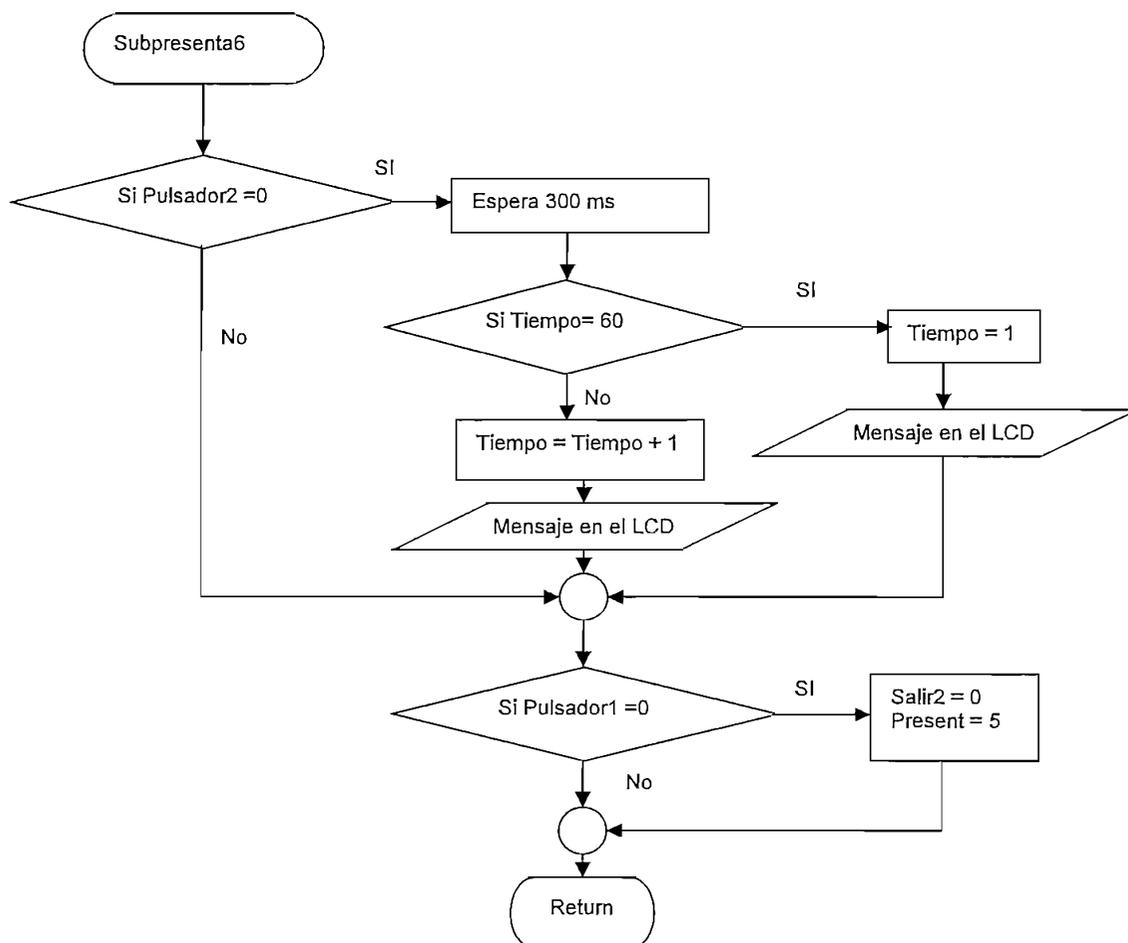


Figura 3.61 Diagrama de Flujo de la Subrutina *Subpresenta6*.

3.4.6 SUBRUTINA SUBPRESENTA7

La subrutina *Subpresenta7* realiza la lectura de eeprom y presenta los datos leídos en el LCD. Cada que se presiona el pulsador dos, se presenta en el LCD un dato de eeprom, direccionado por la variable *contaeeprom*. El primer dato leído de eeprom es el intervalo de tiempo de muestreo, luego los datos de las entadas

analógicas y digitales. El formato del mensaje en el LCD depende del tipo de dato que se lee, tiempo, entrada analógica, o entradas digitales. Cuando se presiona el pulsador uno se borra la bandera *salir3* y se asigna el número seis a la variable *Present*, con lo cual el programa principal no llama a la subrutina *Subpresenta7*, y en el LCD se presenta el mensaje correspondiente a la variable *Present* igual a seis. La figura 3.62 presenta el diagrama de flujo de la subrutina *Subpresenta7*.

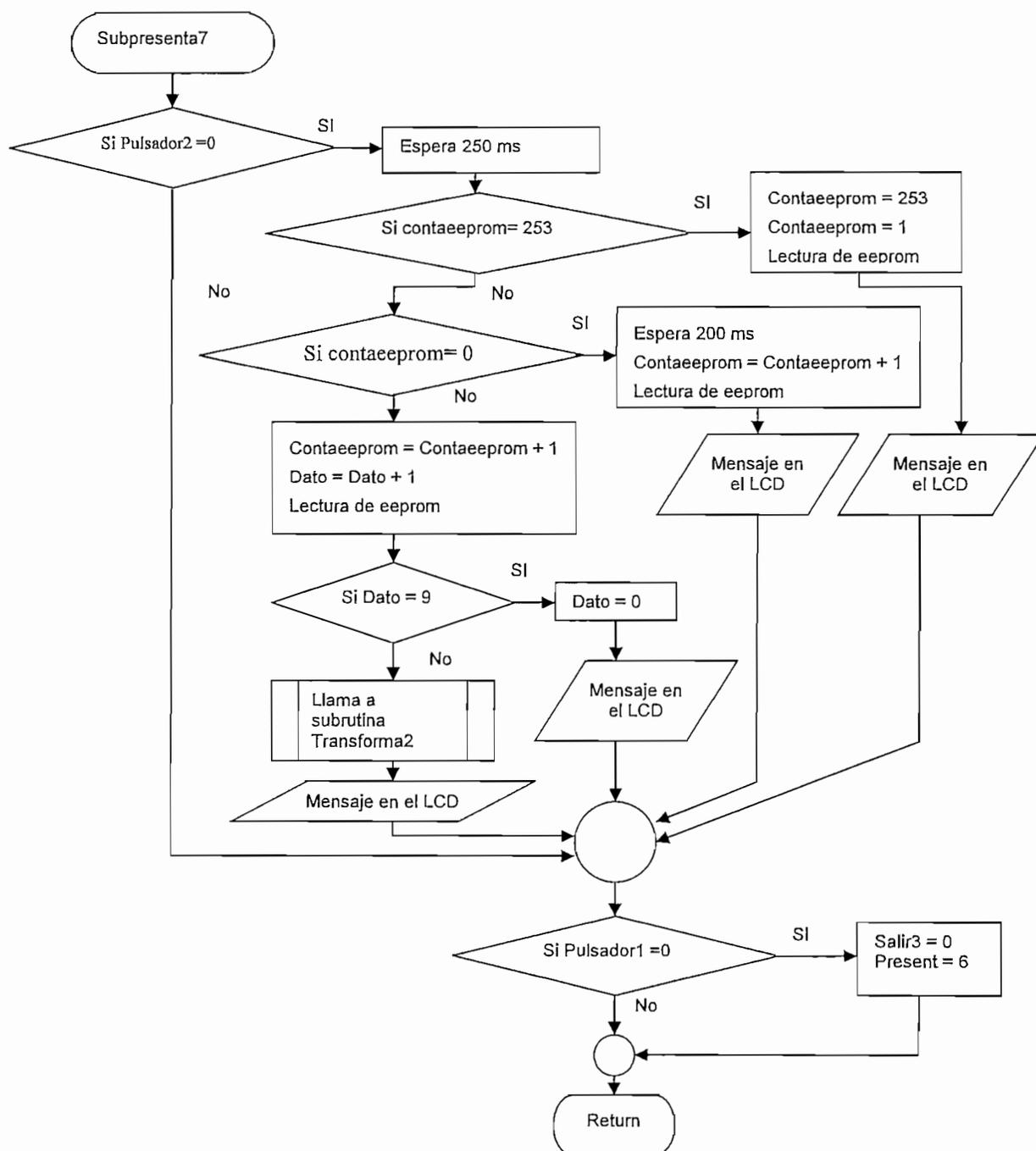


Figura 3.62 Diagrama de Flujo de la Subrutina *Subpresenta7*.

3.4.7 SUBROUTINA SUBPRESENTA8

La subrutina subpresenta8 se ejecuta mientras la bandera *salir4* está activada. Con el pulsador uno se desactiva la bandera *salir4*, y se asigna el número siete a la variable *Present*, con lo cual el programa principal no llama a esta subrutina, y se presenta en el LCD el mensaje asociado a la variable *Present* igual a siete. Cuando se presiona el pulsador dos mientras se ejecuta la subrutina Subpresenta8, se reemplaza los datos grabados en eeprom con el valor 0H, se borra la bandera *salir4* y se activa la bandera *salir4b*. En la figura 3.63 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Subpresenta8.

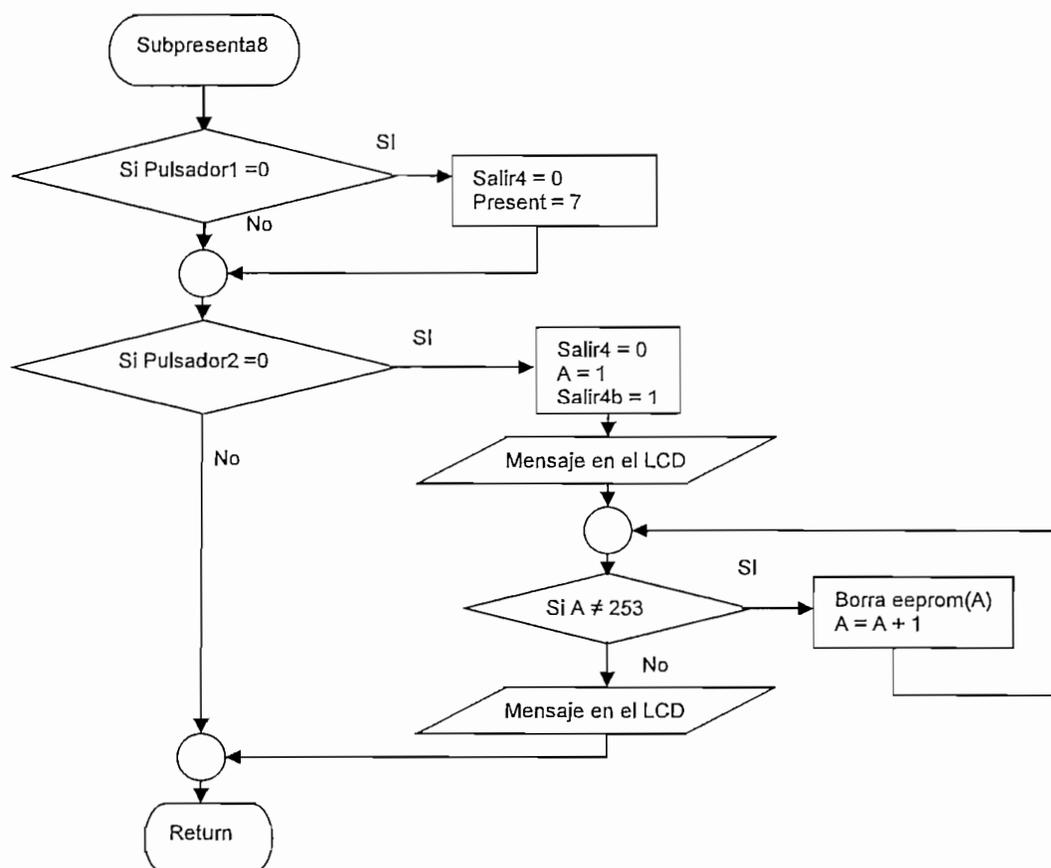


Figura 3.63 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subpresenta8.

3.4.8 SUBROUTINA SUBPRESENTA8B

La subrutina Subpresenta8b se ejecuta mientras la bandera *salir4b* está activada. Esta subrutina lee el estado del pulsador uno, y no realiza otra función, con lo cual

el programa está en espera de que el usuario presione el pulsador uno. Mientras se ejecuta esta subrutina el LCD tiene el mensaje previo, escrito en la subrutina subpresenta8. Cuando se presiona el pulsador uno, se borra la bandera *Salir4b* y se asigna el número siete a la variable *Present*, con lo cual el programa principal sale del lazo que llama a la subrutina subpresenta8b, y el LCD cambia de mensaje al que corresponde a la variable *Present* igual a siete. En la figura 3.64 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Subprsent8b.

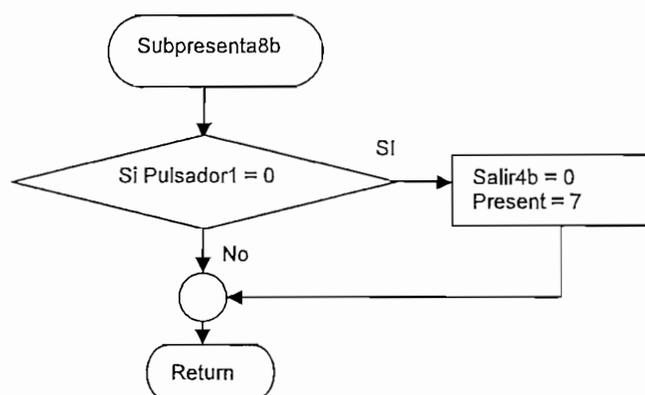


Figura 3.64 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subprsent8b.

3.4.9 SUBRUTINA SUBPRESENTA9

La subrutina Subpresenta9 se ejecuta cuando la bandera *salir5* está activada. Esta subrutina se encarga de realizar la adquisición de datos de las entradas analógicas y digitales, y de grabar los datos tomados, en memoria eeprom. Cada dato se graba en dos posiciones de memoria de ocho bits, debido a que los datos de las entradas analógicas tienen diez bits de resolución. Por lo tanto se requiere de dieciséis posiciones de memoria para las entradas analógicas, dos posiciones de memoria para las entradas digitales y dos para el tiempo. En memoria eeprom se graban un total de 253 datos. Cuando termina la adquisición de datos, se borra la bandera *salir5*, se activa la bandera *salir6* y se presenta un mensaje en el LCD, con lo cual el programa principal entra a la subrutina que correspondiente a la bandera *salir6*. Cuando se presiona el pulsador uno mientras se realiza la adquisición de datos, se borra la bandera *salir5* y se activa la bandera *salir6*, y se presenta un mensaje en el LCD que indica que la adquisición de datos ha sido

cancelada. En la figura 3.65 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina subpresenta9.

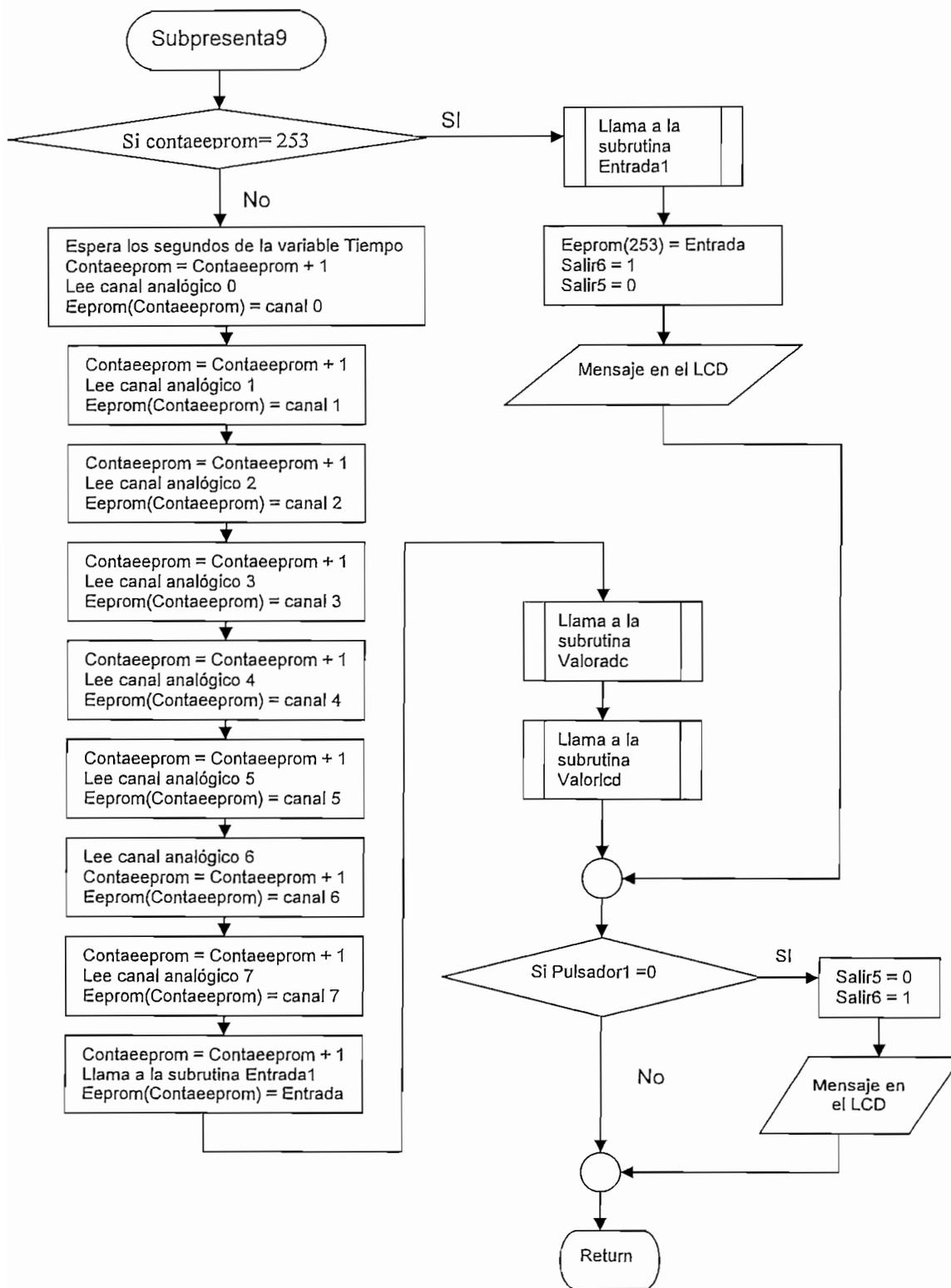


Figura 3.65 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subpresenta9.

3.4.10 SUBROUTINA PRESENTA9FIN

En la figura 3.66 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Presenta9fin, la cual se ejecuta mientras la bandera *salir6* está activada. El mensaje que se presenta en el LCD corresponde al programado por la subrutina subpresenta9, la cual activó la ejecución de la subrutina Presenta9fin. La subrutina Presenta9fin realiza la lectura del pulsador dos. Cuando el pulsador dos es presionado, se borra la bandera *salir6*, se activa la bandera *Pres*, y se asigna el número uno a la variable *Present*, con lo cual el programa principal sale del lazo que llama a la subrutina Presenta9fin, y presenta en el LCD la pantalla que corresponde a la variable *Present* = 1.

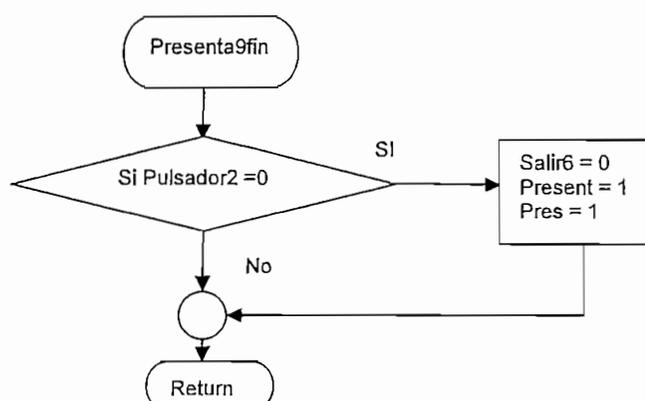


Figura 3.66 Diagrama de Flujo de la Subrutina Subpresenta9fin.

3.4.11 SUBROUTINA PRESENTACTIVAR

La subrutina Presentactivar se ejecuta mientras está activada la bandera *salir7*. La función de esta subrutina es leer el pulsador uno. Cuando se presiona el pulsador uno, se borra la bandera *salir7*, y se asigna el número cuatro a la variable *Present*, con lo cual el programa principal sale del lazo que ejecuta la subrutina Presentactivar y se presenta en el LCD el mensaje que corresponde a la variable *Present* = 4. La activación de la bandera para ejecutar la subrutina Presentactivar se realiza en la subrutina Presenta9, con lo cual mientras no se borre la bandera *salir7* dentro de la subrutina Presentactivar, se tiene en el LCD el mensaje programado en la subrutina Presenta9. En la figura 3.67 se presenta el diagrama de la subrutina Presentactivar.

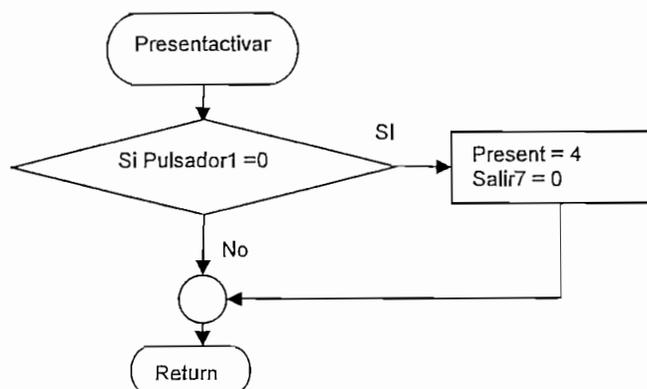


Figura 3.67 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presentactivar.

3.4.12 SUBROUTINA PRESENTA5

La subrutina Presenta5 se ejecuta cuando el programa principal lee la variable *Present* y su valor es igual a cinco. La función de la subrutina Presenta5 es leer el pulsador dos. Cuando se presiona el pulsador dos, se activa la bandera *salir1* que sirve para ejecutar la subrutina subpresenta5, y se presenta un mensaje en el LCD según el estado de la bandera *activar*. En la figura 3.68 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Presenta5.

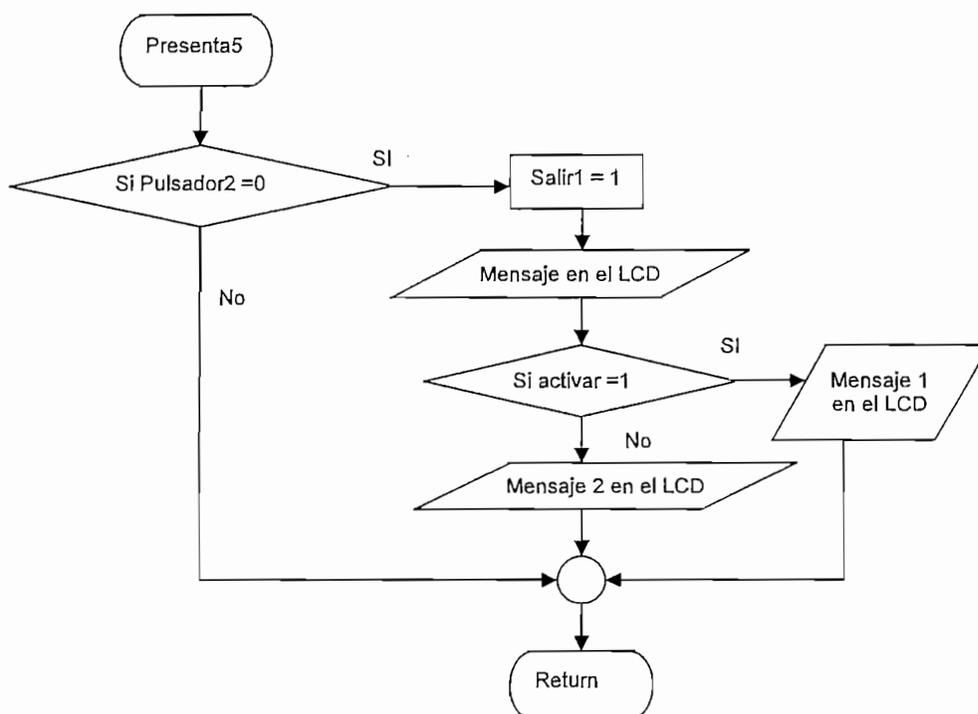


Figura 3.68 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presenta5.

3.4.13 SUBROUTINA PRESENTA6

La subrutina Presenta6 se ejecuta cuando el programa principal lee la variable *Present* y su valor es igual a seis. La función de la subrutina Presenta6 es leer el estado del pulsador dos. Cuando se presiona el pulsador2, se activa la bandera salir2 que sirve para ejecutar la subrutina subpresenta6 y se presenta un mensaje en el LCD. La figura 3.69 presenta el diagrama de flujo de la subrutina Presenta6.

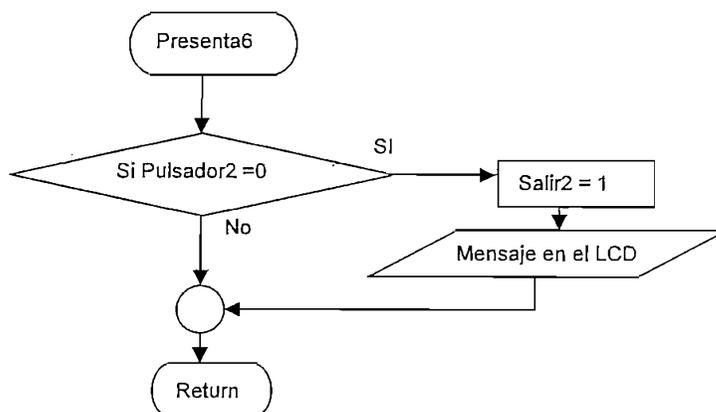


Figura 3.69 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presenta6.

3.4.14 SUBROUTINA PRESENTA7

La subrutina Presenta7 se ejecuta cuando el programa principal lee la variable *Present* y su valor es igual a siete. En la figura 3.70 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Presenta7.

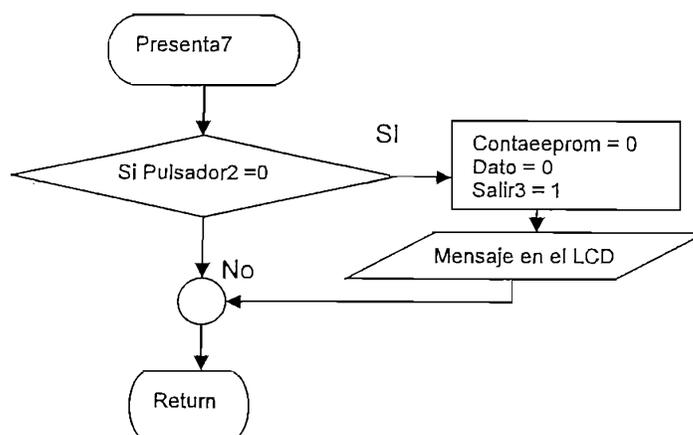


Figura 3.70 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presenta7.

La subrutina Presenta7 lee el estado del pulsador dos. Cuando se presiona el pulsador dos, se activa la bandera *salir3*, se presenta un mensaje en el LCD y se asigna el valor cero a las variables *contaeeprom* y *dato*. La bandera *salir3* permite que el programa principal ejecute la subrutina subpresenta7.

3.4.15 SUBRUTINA PRESENTA8

La subrutina Presenta8 se ejecuta cuando el programa principal lee la variable *Present* y su valor es igual a ocho. La función de la subrutina Presenta8 es leer el estado del pulsador dos. Cuando el pulsador dos es presionado, se activa la bandera *salir4* y se presenta un mensaje en el LCD. La bandera *salir4* permite que el programa principal ejecute la subrutina subpresenta8. En la figura 3.71 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Presenta8.

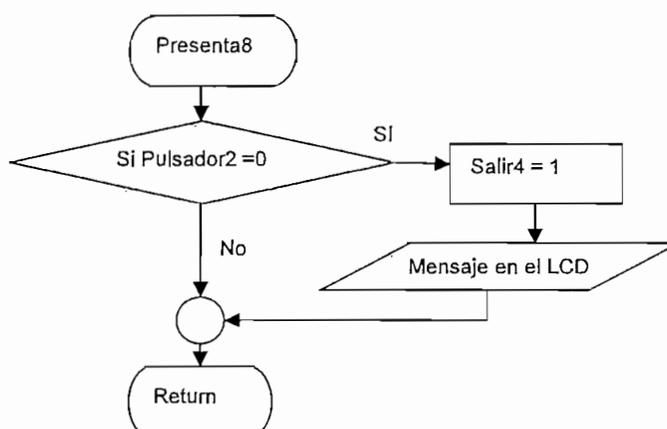


Figura 3.71 Diagrama de Flujo de la Subrutina Presenta8.

3.4.16 SUBRUTINA PRESENTA9

La subrutina Presenta9 se ejecuta cuando el programa principal lee la variable *Present* y su valor es igual a nueve. La función de la subrutina Presenta8 es leer el estado del pulsador dos. Cuando se presiona el pulsador dos, el programa decide entre dos acciones según el estado de la bandera *Activar*. Si la bandera *activar* es cero, se presenta el mensaje en el LCD "Debe activar adquisición de datos independiente" y se activa la bandera *salir7*, la cual ejecuta la subrutina *Presentactivar* cuando se regresa al programa principal. Si la bandera *Activar* es igual a uno, se inicializa contadores, se activa la bandera *Salir5*, se presenta un

mensaje en el LCD, y se graba el valor de la variable tiempo en memoria eeprom. La bandera *salir5* permite al programa principal ejecutar la subrutina *subpresenta9*. En la figura 3.72 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina *Presenta9*.

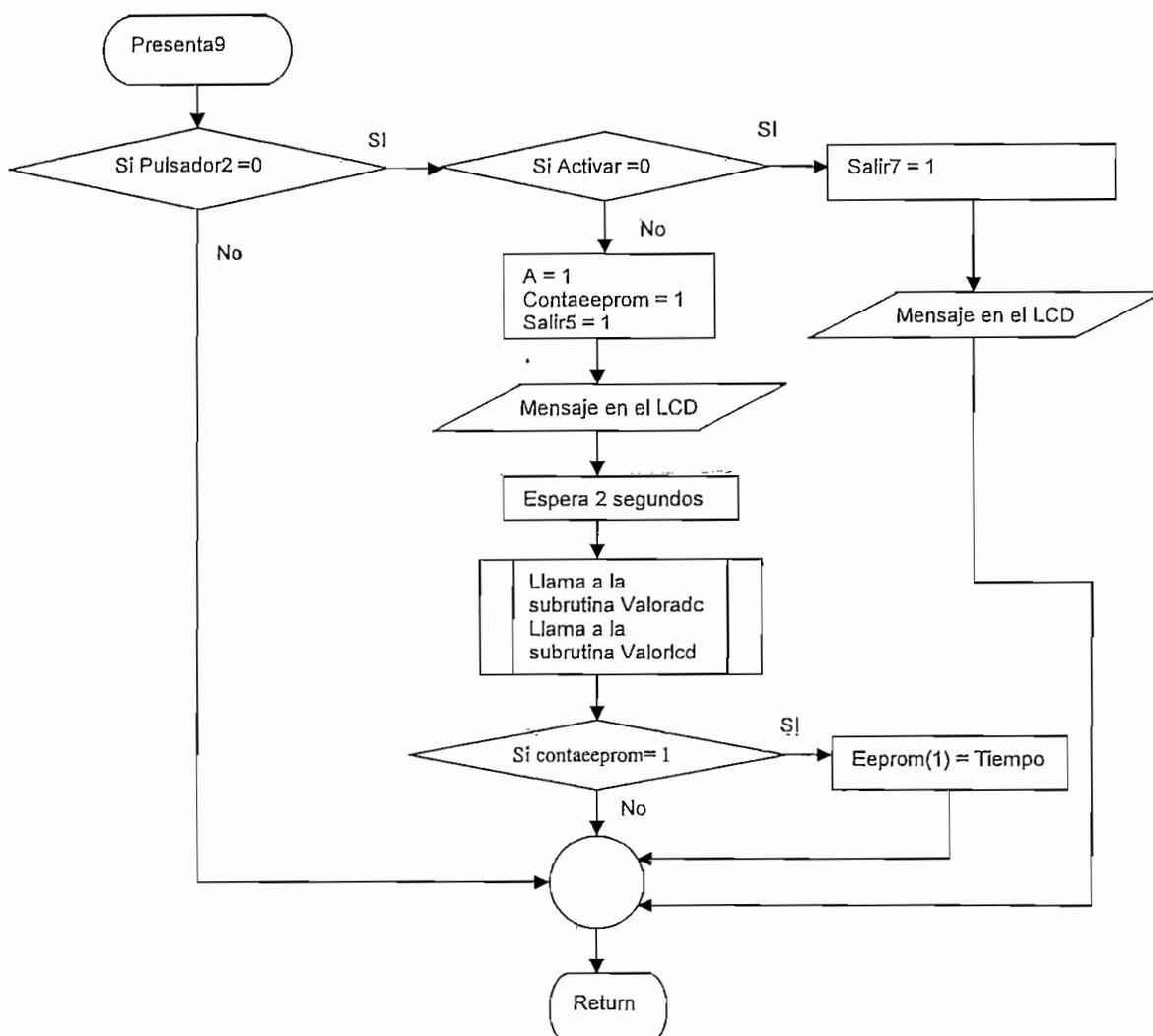


Figura 3.72 Diagrama de Flujo de la Subrutina *Presenta9*.

3.4.17 SUBROUTINA TRANSFORMA

La subrutina *Transforma*, establece el formato de la cadena de caracteres que representa los datos de las entradas y salidas analógicas. Los datos de las entradas y salidas son codificados en el microcontrolador como un número entre cero y mil veintitrés. La subrutina *Transforma* convierte los datos en un número decimal de cero a quinientos en el caso de las entradas analógicas y de cero a

496 en el caso de las salidas analógicas, sin decimales. Luego, este dato es comparado con los números 100, 200, 300, 400, 500 y dentro de cada centena con el número 10, con lo cual se obtiene por separado los valores de los tres dígitos que conforman el dato de cero a quinientos o de cero a 496. Estos tres dígitos son convertidos en una cadena de caracteres que representa un dato con dos dígitos decimales de cero a cinco o de cero a 4,96. Las figuras 3.73 y 3.74 presentan el diagrama de flujo de la subrutina Transforma.

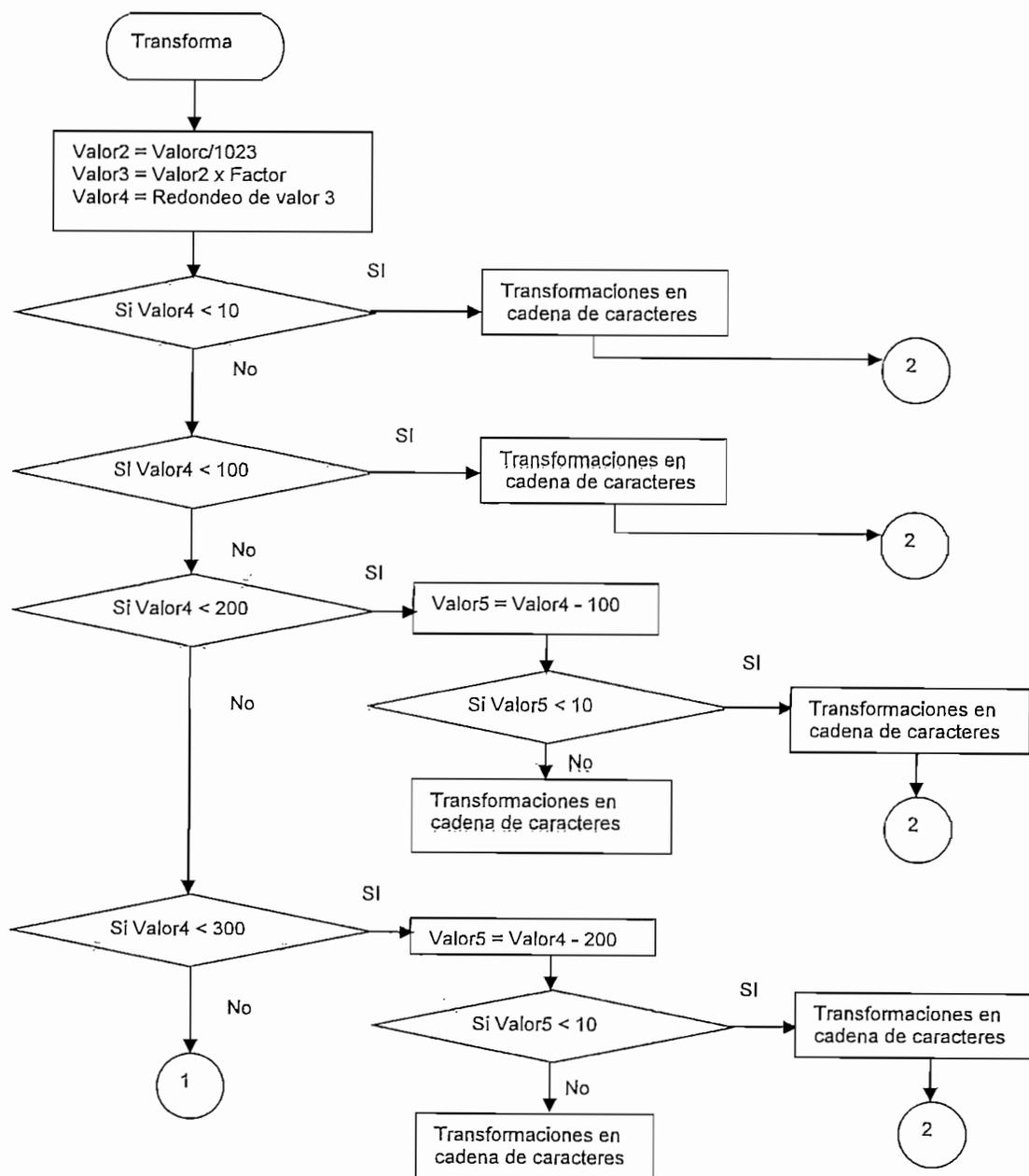


Figura 3.73 Diagrama de Flujo de la Subrutina Transforma.

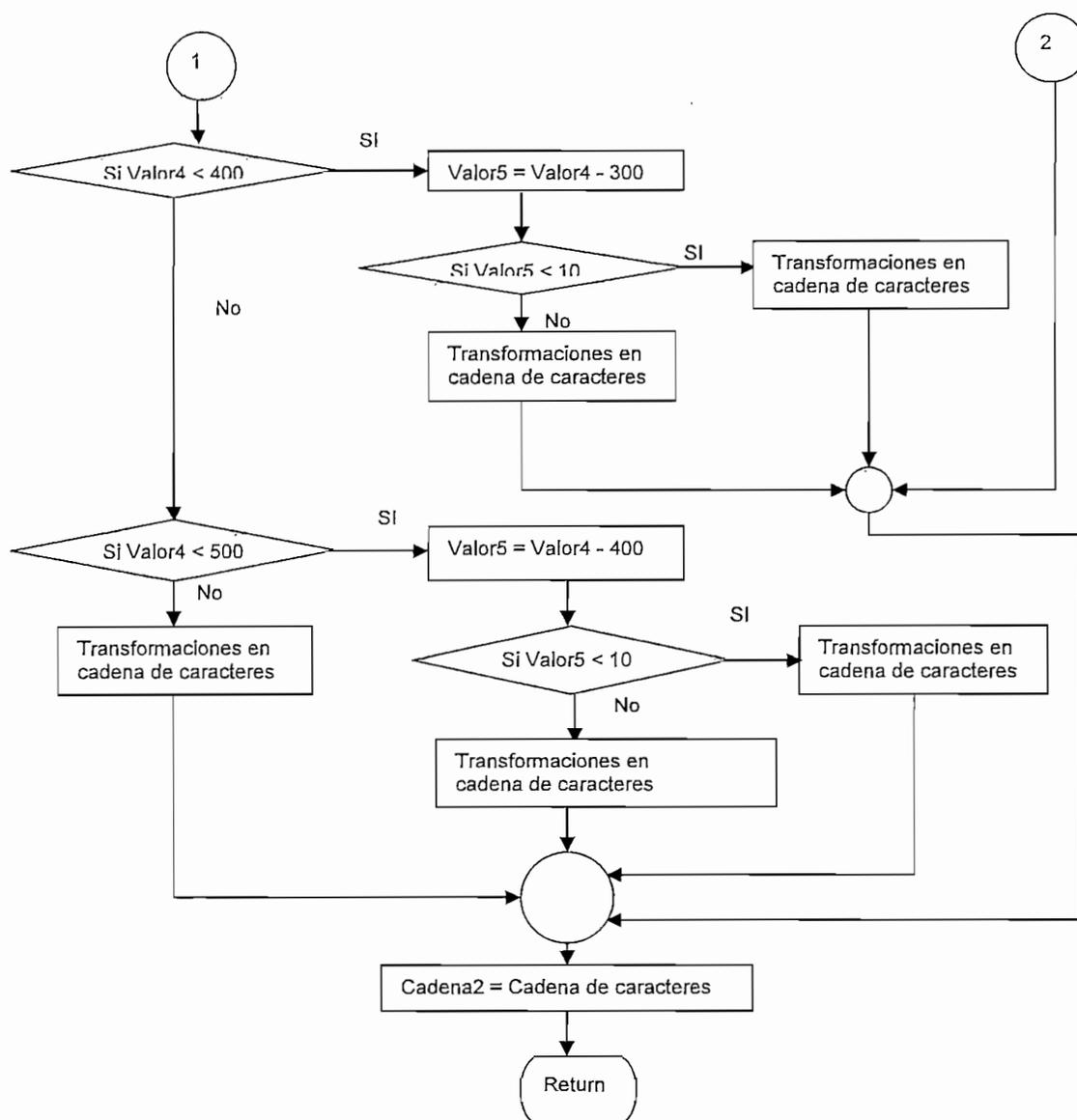


Figura 3.74 Diagrama de Flujo de la Subrutina Transforma.

3.4.18 SUBROUTINA VALORADC

La subrutina Valoradc tiene la función de convertir los datos tomados de las ocho entradas analógicas en ocho cadenas de caracteres. La subrutina Valoradc, asigna valores a las variables que serán usadas en la subrutina Transforma, la cual es llamada ocho veces, una por cada entrada analógica. La subrutina transforma regresa una cadena de caracteres almacenada en la variable *cadena2*, la cual es grabada en un vector de cadena de caracteres. En la figura 3.75 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Valoradc.

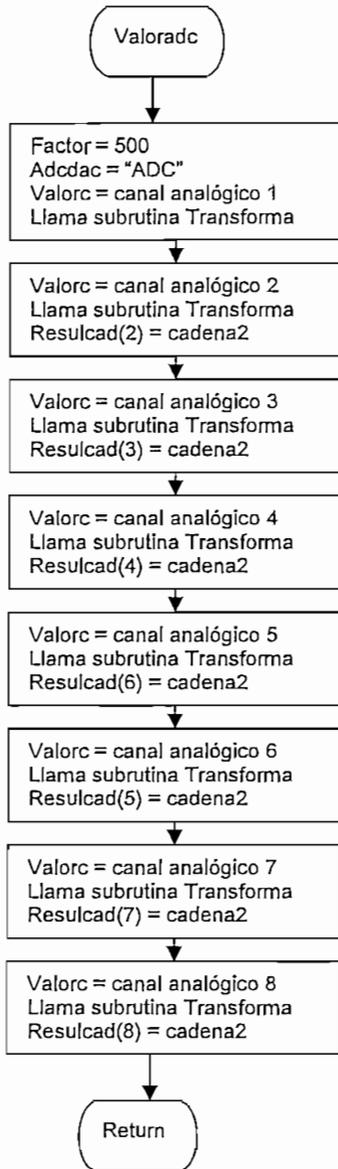


Figura 3.75 Diagrama de Flujo de la Subrutina Valordac

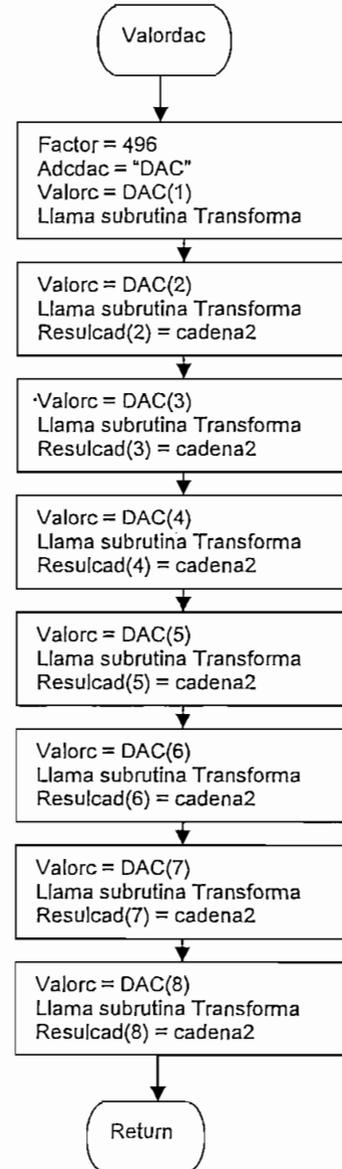


Figura 3.76 Diagrama de Flujo de la Subrutina Valordac

3.4.19 SUBROUTINA VALORDAC

La subrutina Valordac es similar a la subrutina Valordac, con la diferencia de que la asignación de valores a las variables, corresponden a los datos utilizados para la programación de las salidas analógicas. En la figura 3.76 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Valordac. El valor 496 asignado a la variable

Factor, se debe a que el valor máximo en una salida analógica del módulo de adquisición de datos es de 4,96 voltios.

3.4.20 SUBROUTINA VALORLCD

La función de la subrutina Valorlcd es agrupar los datos almacenados en el vector de caracteres Resultcad() y presentarlo en un mensaje en el LCD. Los datos almacenados en el vector Resultcad() corresponden a las entradas analógicas o a las salidas analógicas, dependiendo de si se ejecutó previamente la subrutina Valordac o Valordac. En la figura 3.77 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Valorlcd.

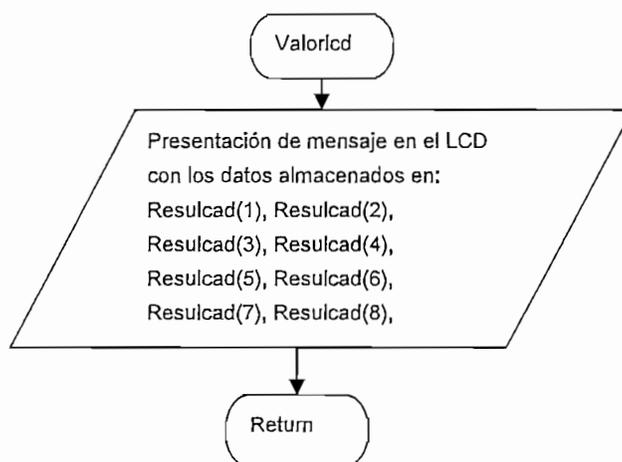


Figura 3.77 Diagrama de Flujo de la Subrutina Valorlcd.

3.4.21 SUBROUTINA RECIBIR

La subrutina Recibir se ejecuta por interrupción serial en recepción. La bandera RXC indica que hay un dato sin leer presente en el búfer de entrada serial. La subrutina Recibir, lee el estado de la bandera RXC para confirmar que hay un dato en el búfer de entrada serial, y cuando la bandera está activa, se lee el dato y se lo almacena en la variable Receptor. Cuando el dato ha sido leído, la bandera RXC se borra automáticamente por hardware. En el sistema de comunicación entre el módulo de adquisición de datos y el computador, el primer dato siempre lo envía el computador, y el microcontrolador lo recibe por interrupción serial. Luego del primer dato que recibe el microcontrolador, se

ejecuta la subrutina Funciones, la cual realiza recepciones y transmisiones seriales sin utilizar la interrupción serial. La subrutina Recibir lee el dato serial y le resta el número 112, pues el microcontrolador espera recibir como primer dato un número entre 113 y 117, de modo que la variable Funcion almacena un número entre 1 y 5, lo cual indica el parámetro de comunicación serial que se ejecuta en la subrutina Funciones. En la figura 3.78 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Recibir.

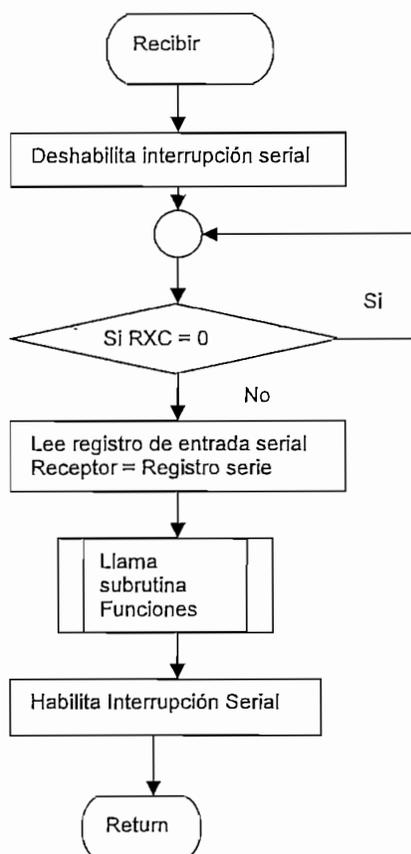


Figura 3.78 Diagrama de Flujo de la Subrutina Recibir.

3.4.22 SUBRUTINA FUNCIONES

La subrutina Funciones permite controlar desde el computador las entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales, salidas digitales, leds y lectura de la memoria eeprom del módulo de adquisición de datos. En las figuras 3.79, 3.80, 3.81 y 3.82 se presentan los diagramas de flujo de la subrutina Funciones. Cuando la variable Funcion es igual a uno, el programa entra en un lazo de espera, para recibir el dato del canal de salida analógico. Según el canal, se

asigna valores a las variables Salidadac y Valordac. Luego se llama a las subrutinas Dac, Configurar y Enviardaca para recibir los datos que se cargarán en los registros de los convertores analógicos a digitales.

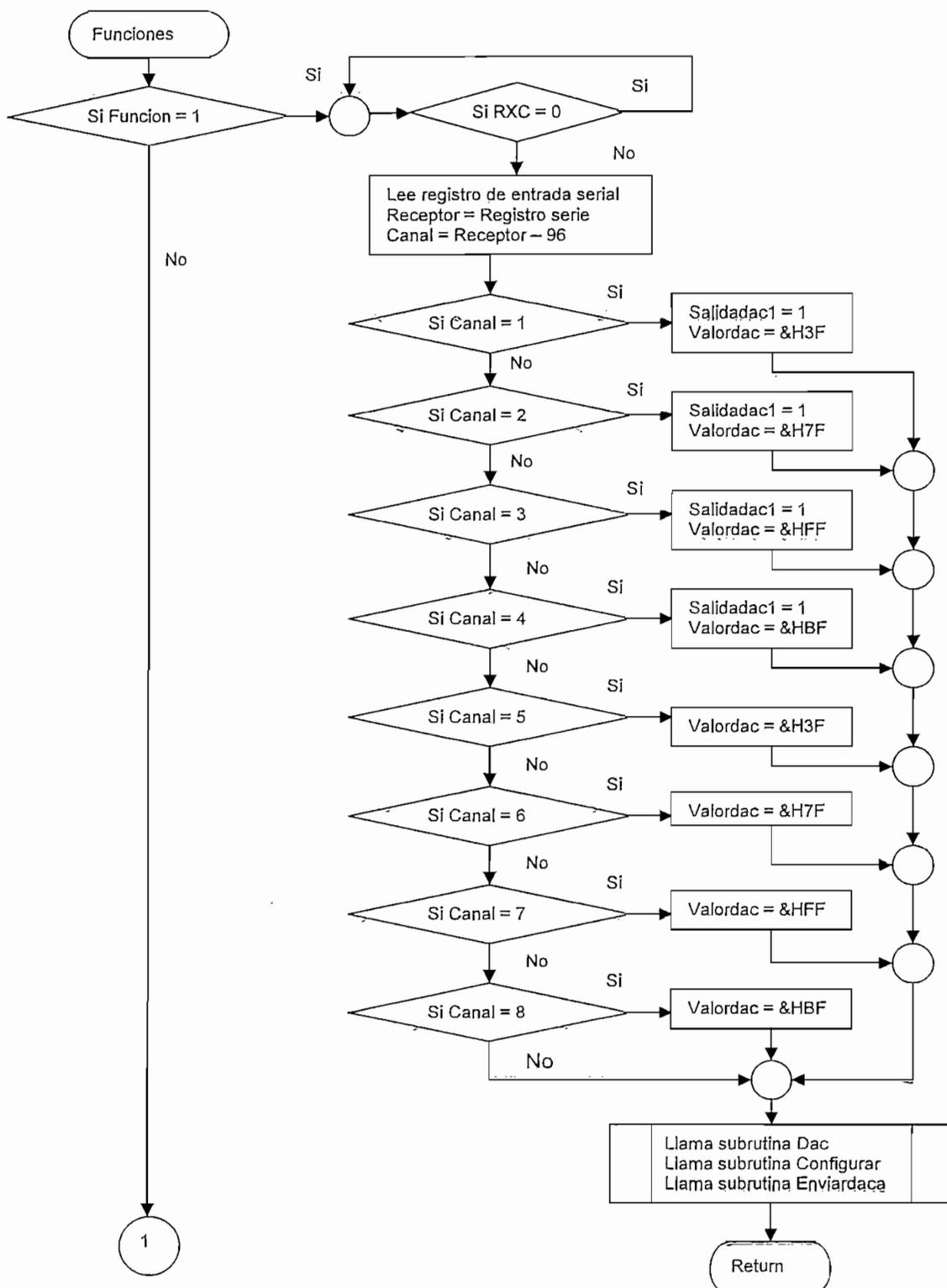


Figura 3.79 Diagrama de Flujo de la Subrutina Funciones.

Cuando la variable Funcion es igual a dos, el programa espera recibir desde el computador el dato del canal de las entradas analógicas. Luego se realiza la adquisición de un dato de la entrada analógica, según el canal indicado por el software del computador. El dato analógico es enviado al computador mediante un número de cuatro dígitos, que contiene un valor de cero a mil veintitrés. Cuando se toman las ocho muestras analógicas con los ocho canales analógicos, se realiza la llamada a las subrutinas Valoradc y Valorlcd para presentar los ocho datos de las entradas analógicas en el LCD.

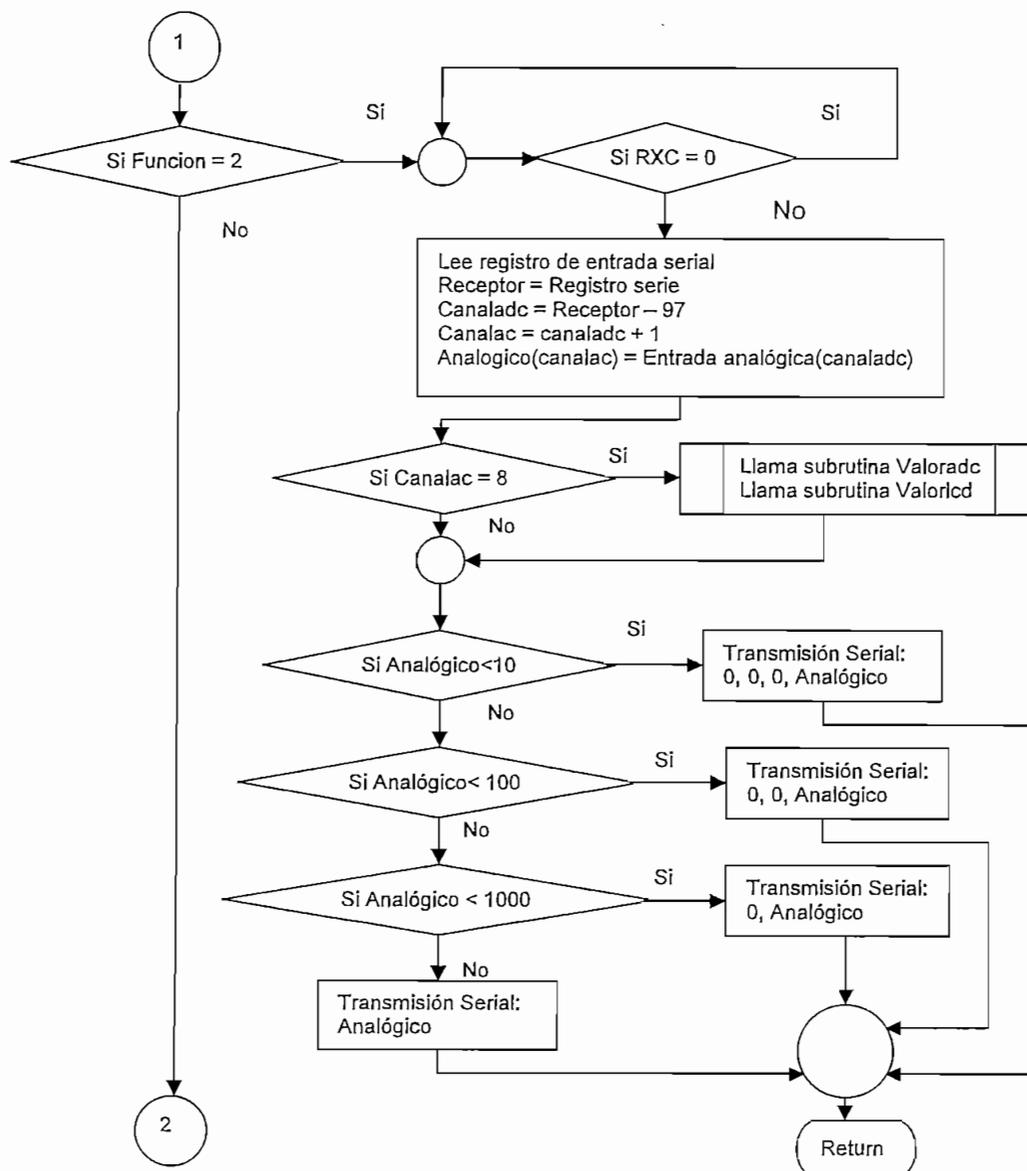


Figura 3.80 Diagrama de Flujo de la Subrutina Funciones.

Cuando la variable Funcion es igual a tres, se ejecuta la subrutina Digital, la cual recibe el dato de las salidas digitales, el cual es presentado en el LCD. Luego se asigna valores a las variables *Valordig* y *Valordig2* que serán utilizados por las subrutinas Salida1 y Salida2, las cuales se encargan de escribir el valor digital en las salidas digitales y en los leds.

Cuando la variable Funcion es igual a cuatro, la subrutina Funciones llama a la subrutina Entrada1, para leer el estado de las entradas digitales, presenta el valor de las entradas digitales en el LCD y transmite el dato de las ocho entradas digitales al computador en un formato de tres dígitos.

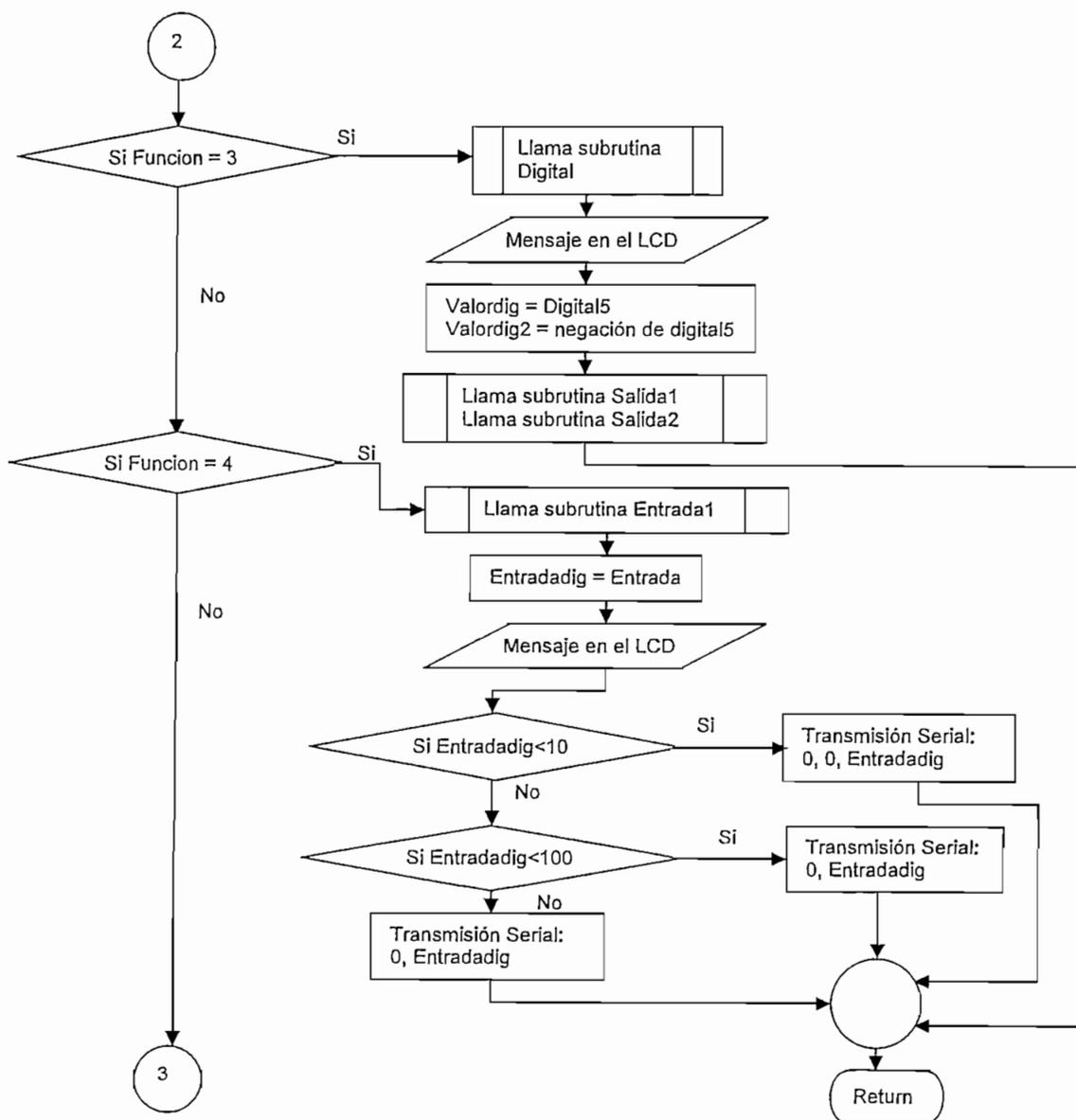


Figura 3.81 Diagrama de Flujo de la Subrutina Funciones.

Cuando la variable Funcion es igual a cinco, la subrutina Funciones presenta en el LCD un mensaje que indica que se está ejecutando la lectura de eeprom, luego llama a la subrutina Digital para tener el dato de la posición de memoria de eeprom de la cual se realizará la lectura. Con estos datos la subrutina Funciones realiza la lectura de eeprom y transmite al computador el dato leído en un formato de cuatro dígitos.

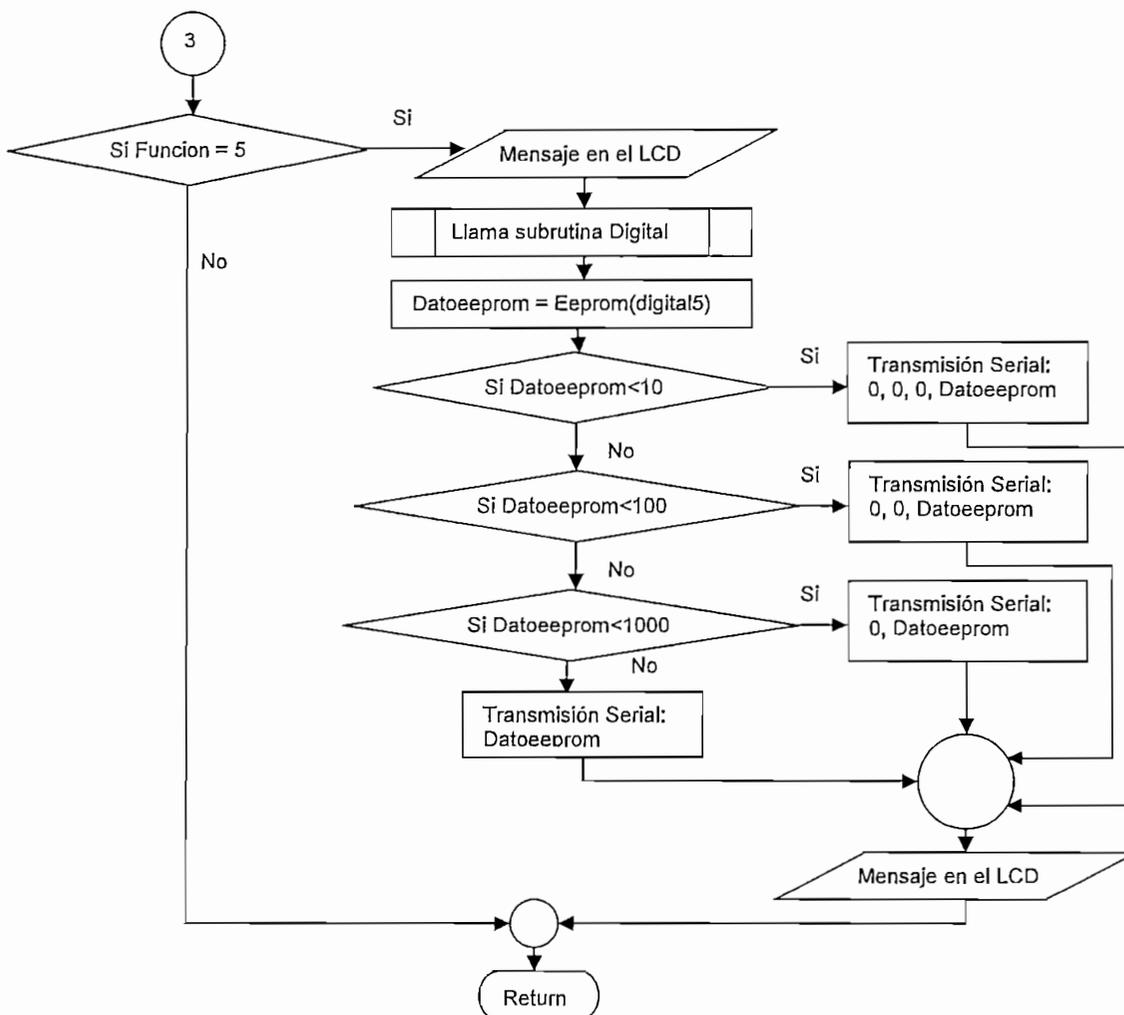


Figura 3.82 Diagrama de Flujo de la Subrutina Funciones.

3.4.23 SUBROUTINA DAC

La subrutina Dac realiza la lectura del búfer de entrada serial del microcontrolador cuatro veces, para recibir los cuatro dígitos que conforman el dato que se cargará en el registro del conversor analógico a digital. En la figura 3.83 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Dacs,

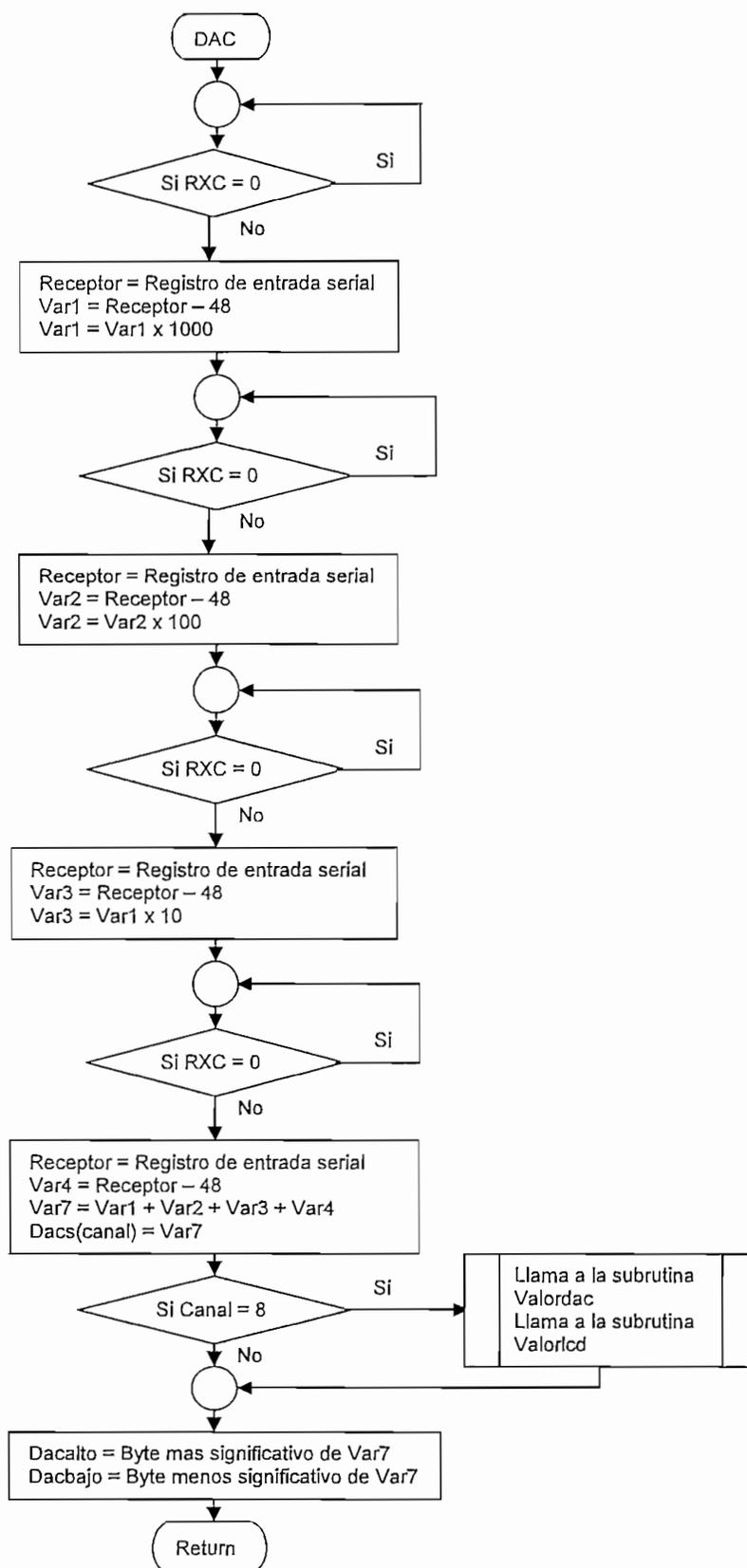


Figura 3.83 Diagrama de Flujo de la Subrutina Dac.

Cuando la variable Canal es igual a ocho, indica que se ha recibido los datos de los ocho convertidores analógicos a digitales, por lo tanto se realiza la presentación de los datos en el LCD mediante las subrutinas Valordac y Valorlcd. Los cuatro dígitos que se reciben desde el computador forman un número decimal de cero a mil veintitrés, este dato se lo graba en la variable *Var7* de 16 bits, y luego se lo divide en dos bytes, para cargarlo en los registros de los convertidores analógicos a digitales.

3.4.24 SUBROUTINA CONFIGURAR

La subrutina Configurar, toma el dato de la salida analógica y lo acondiciona para cargarlo en el registro del convertidor analógico a digital correspondiente. Para esto realiza dos rotaciones del dato, operaciones lógicas And y Or y luego lo almacena en las variables *Dac1(1)* y *Dac1(2)*. La variable *valordac* tiene almacenado un valor constante según la salida analógica, el cual se especifica en la hoja de datos del max5250. La teoría relativa a la configuración del max5250 se encuentra en el capítulo de hardware. En la figura 3.84 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Configurar.

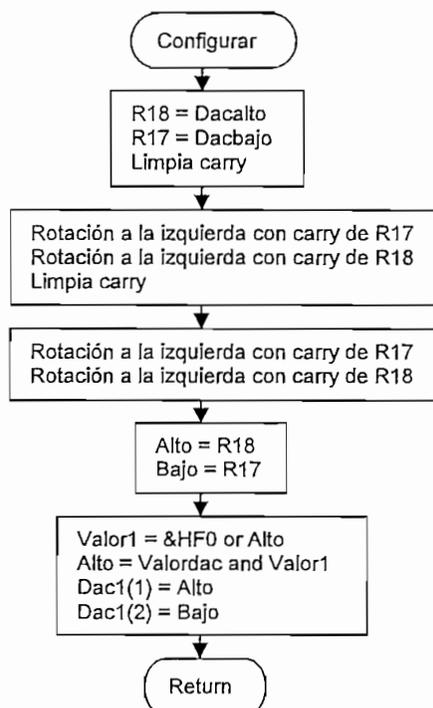


Figura 3.84 Diagrama de Flujo de la Subrutina Configurar.

3.4.25 SUBROUTINA ENVIARDACA

La subrutina *Enviardaca*, realiza la comunicación SPI entre el microcontrolador y los dos *max5250*. Los pines *portb.0* y *portb.1* del microcontrolador seleccionan como esclavos a los *max5250*. Cada *max5250* tiene cuatro salidas analógicas, y la bandera *Salidadac1* indica a la subrutina *Enviardaca* en cual de los dos *max5250* está la salida analógica a la cual corresponde el código a cargar. Las variables *Dac1(1)* y *Dac1(2)* contienen un código diferente para cada uno de los registros de las cuatro salidas analógicas. Las variables *Actual(1)* y *Actual(2)* contienen el comando que actualiza los registros de los DACs. En la figura 3.85 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina *Enviardaca*.

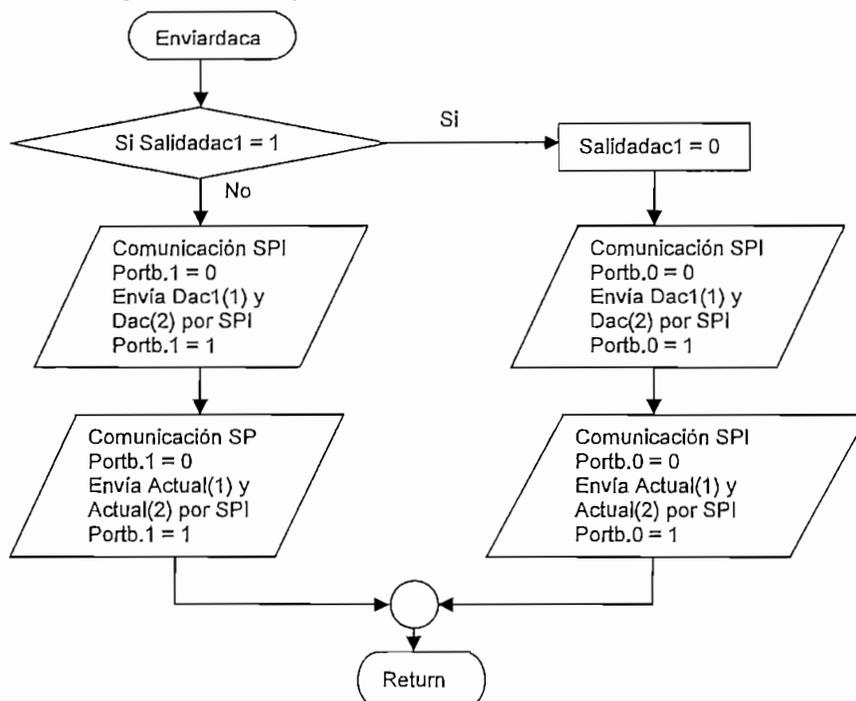


Figura 3.85 Diagrama de Flujo de la Subrutina *Enviardaca*.

3.4.26 SUBROUTINA DIGITAL

La subrutina *Digital* lee el búfer de entrada serial tres veces, para recibir los tres dígitos que conforman el dato que se cargará en las salidas digitales y en los leds del módulo de adquisición de datos. Los tres dígitos son multiplicados por su orden decimal, sumados y almacenados en la variable *Digital5*. En la figura 3.86 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina *Digital*.

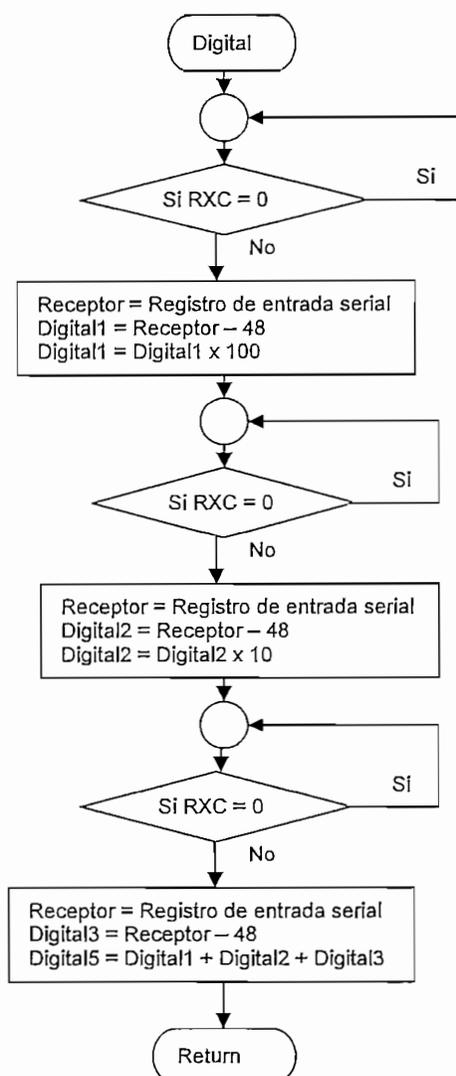


Figura 3.86 Diagrama de Flujo de la Subrutina Digital.

3.4.27 SUBROUTINA SALIDA1

La subrutina Salida1 realiza la comunicación I2C entre el microcontrolador y el PCF8574 que tiene conectado en sus salidas digitales los ocho leds. La variable *Adresw2* contiene la dirección de escritura de este dispositivo. La subrutina Salida1 inicia la comunicación generado una condición de inicio, que consiste en una transición de un nivel lógico alto a bajo en la línea de datos mientras la línea de reloj está en alto. Luego se envía la variable *Valordig2*, que corresponde al dato digital de ocho bits que activa los leds. La comunicación se termina, generado una condición de parada que consiste en una transición de un nivel

lógico bajo a alto en la línea de datos mientras la línea de reloj está en alto. En la figura 3.87 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Salida1.

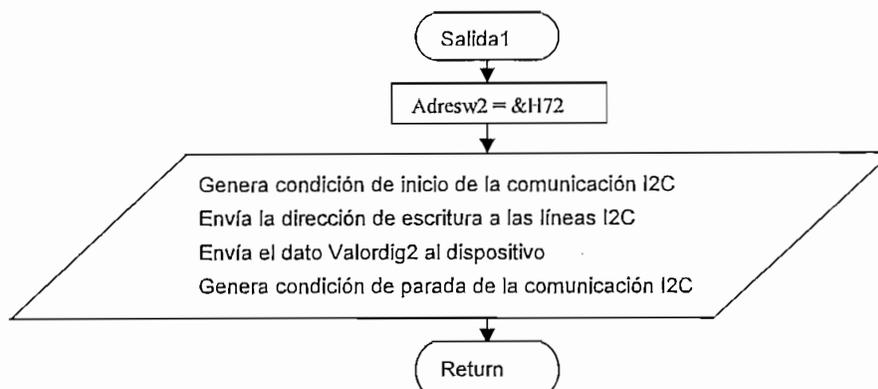


Figura 3.87 Diagrama de Flujo de la Subrutina Salida1.

3.4.28 SUBROUTINA SALIDA2

La subrutina Salida2 es similar a la subrutina Salida1, con la diferencia de la dirección de escritura y el dato digital que se envía al PCF8574. La subrutina Salida2 establece la comunicación I2C del microcontrolador con el PCF8574 que contiene las salidas digitales del módulo de adquisición de datos. En la figura 3.88 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Salida2.

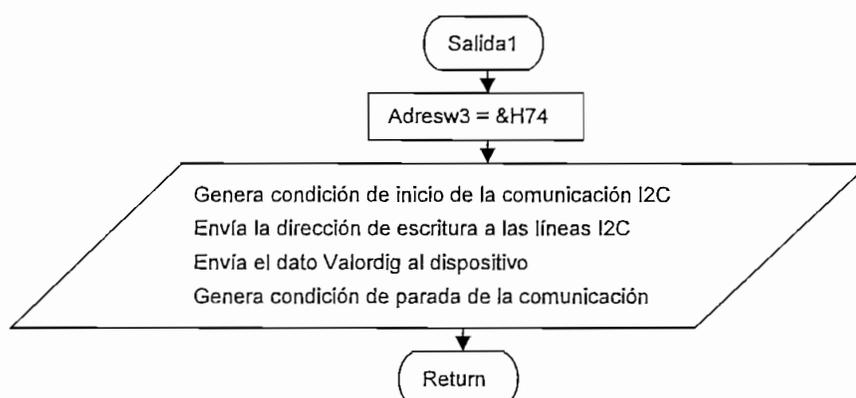


Figura 3.88 Diagrama de Flujo de la Subrutina Salida2.

Los leds son indicadores del estado lógico de las salidas digitales. Sin embargo el dato digital que se envía a los leds y a las salidas digitales es diferente, porque la conexión de los leds es ánodo común, mientras que las salidas digitales no tienen conexión.

3.4.29 SUBROUTINA ENTRADA1

La subrutina Entrada1, realiza la lectura de las entradas digitales del módulo de adquisición de datos. Por recomendación de un artículo^[1] del fabricante del PCF8574, cuando los pines del dispositivo funcionan como entradas digitales primero se escribe el número 255 y luego se realiza la lectura de las entradas digitales del PCF8574. El estado de las entradas digitales se almacena en la variable Entrada como un dato decimal de ocho bits. Las variables *Adresw1* y *Adresr1* almacenan las direcciones de escritura y de lectura del PCF8574. En la figura 3.89 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina Entrada1.

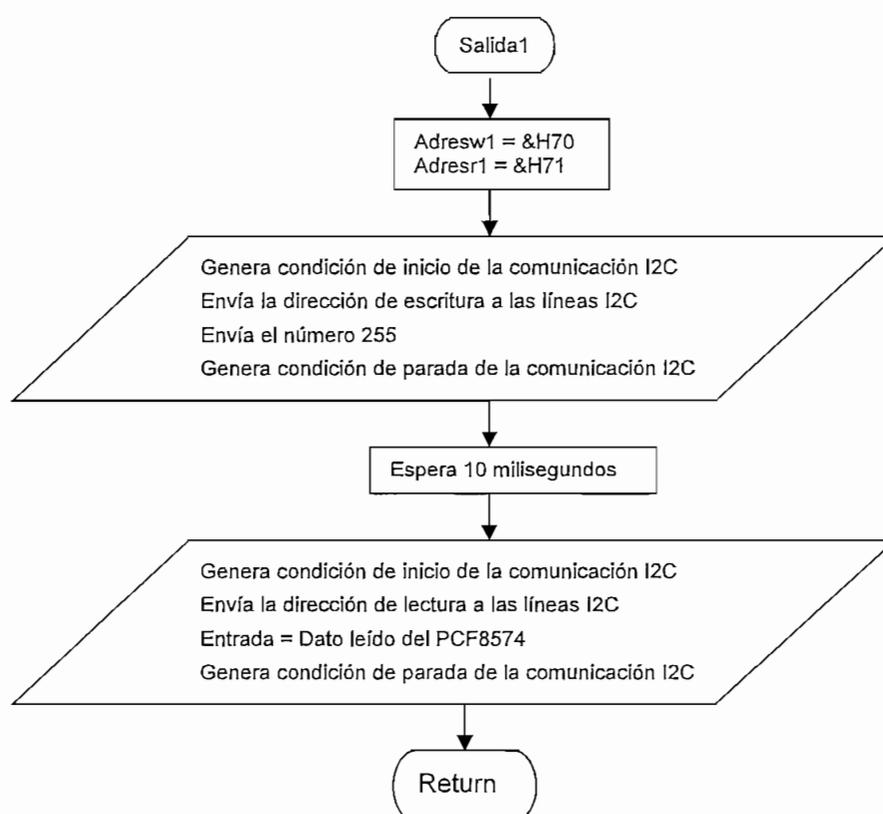


Figura 3.89 Diagrama de Flujo de la Subrutina Entrada1.

La asignación de las direcciones de lectura y de escritura de cada PCF8574 se establece por conexiones de hardware, y los detalles de funcionamiento se presentan en el capítulo dos.

^[1] TOMDIO NANA, Emmanuel. TEXAS INSTRUMENTS. Improving System Interrupt Management Using the PCF8574 and PCF8574A I/O Expanders for I2C Bus. 08/2001

3.5 MENSAJES EN EL LCD

Los mensajes del LCD del módulo de adquisición de datos permiten visualizar los parámetros del sistema y configurarlos para la adquisición de datos independiente. Cuando se enciende o luego de un reset, el módulo de adquisición de datos presenta el mensaje de la figura 3.90.

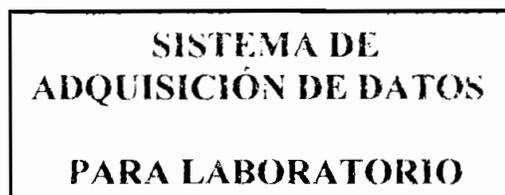


Figura 3.90 Mensaje de presentación en el LCD luego de un reset.

Con el pulsador uno se puede seleccionar entre nueve funciones diferentes del módulo de adquisición de datos, que tienen nueve mensajes principales. En la figura 3.91 se presentan los nueve mensajes del LCD. Las cuatro primeras pantallas son solo de visualización de mensajes, mientras que las pantallas cinco a nueve permiten ingresar a nuevas pantallas mediante los pulsadores.

Las pantallas uno, dos, tres y cuatro de la figura 3.91 indican el formato de presentación de mensajes en el LCD de las entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales y salidas digitales del módulo de adquisición de datos. Estas pantallas se presentan seleccionándolas con el pulsador uno, o mientras está en funcionamiento el parámetro correspondiente a la pantalla. Todas las variables de estas cuatro pantallas están almacenadas en memoria volátil del microcontrolador, por lo tanto, después de un reset las variables tendrán valor cero. Las pantallas cinco a nueve de la figura 3.91 sirven para configurar la adquisición de datos autónoma del módulo.

En el LCD se presentan los datos de las ocho entradas analógicas en un rango de cero a cinco y las ocho salidas analógicas en un rango de cero a 4.96. Las ocho entradas y las ocho salidas digitales se representan mediante un número decimal de cero a doscientos cincuenta y cinco.

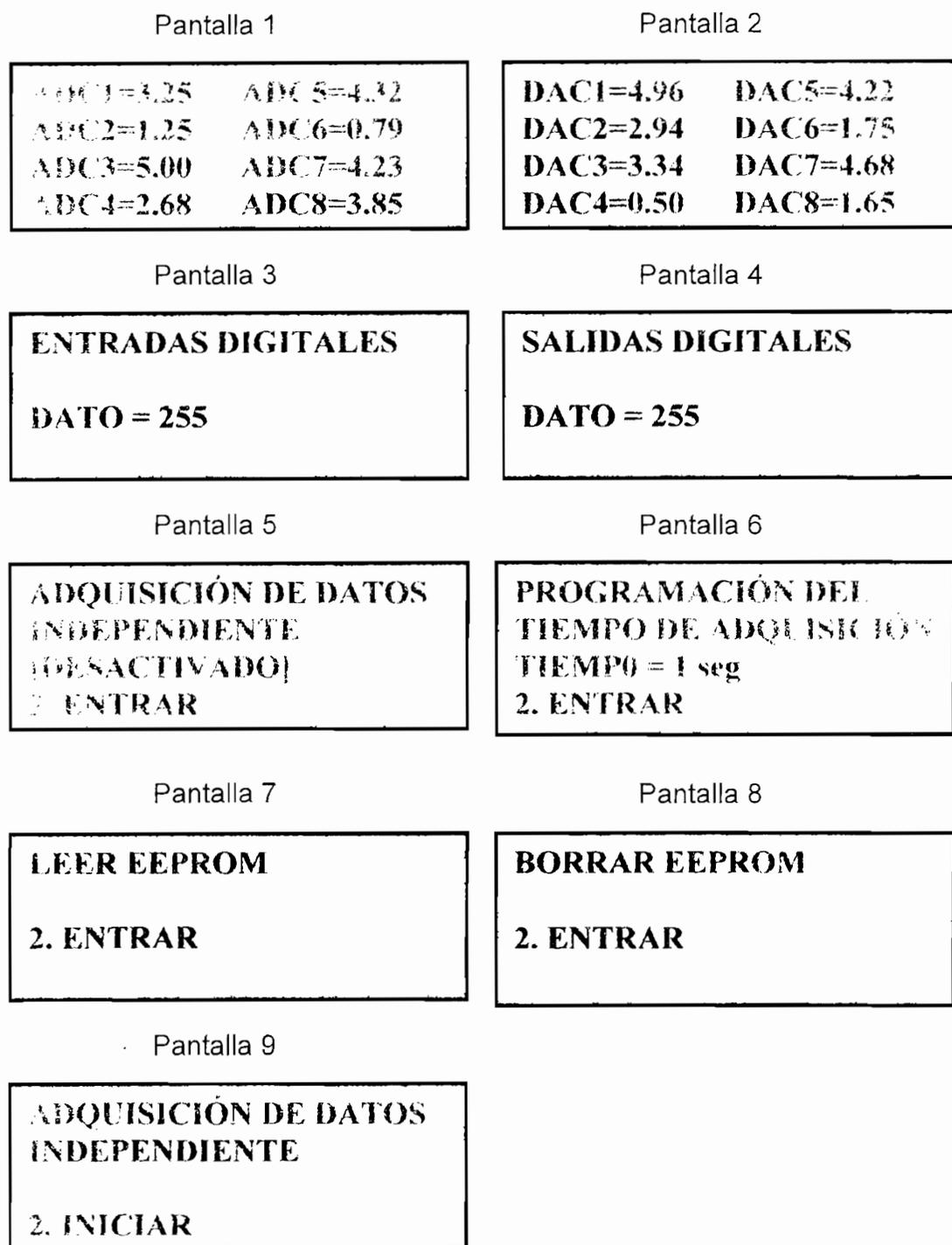


Figura 3.91 Menú principal de mensajes en el LCD.

La pantalla cinco de la figura 3.91 presenta un mensaje que indica si está o no, activada la adquisición de datos independiente. Mientras se tiene este mensaje en el LCD con el pulsador dos se ingresa a otra pantalla que presenta uno de los dos mensajes de la figura 3.92. Con el pulsador dos se alternan los dos mensajes de

la figura 3.92 y al mismo tiempo se activa o desactiva la adquisición de datos independiente. Con el pulsador uno se regresa al menú principal de mensajes en el LCD.

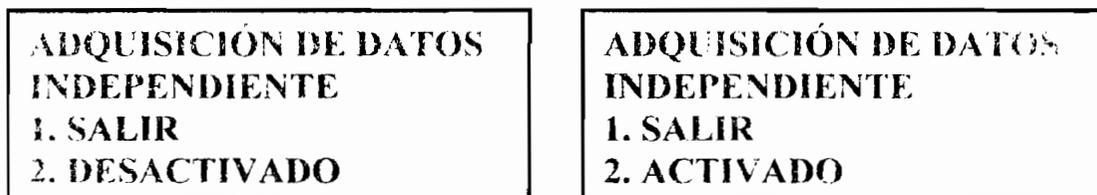


Figura 3.92 Activación de la adquisición de datos independiente.

La pantalla seis de la figura 3.91 indica el valor del intervalo de tiempo de muestreo para la adquisición de datos independiente. Al presionar el pulsador dos se ingresa a la pantalla de la figura 3.93.

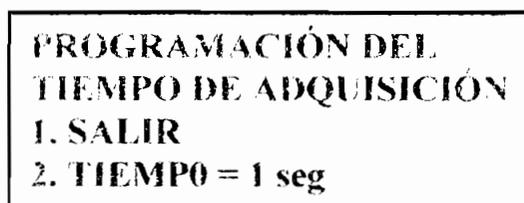


Figura 3.93 Programación del intervalo de tiempo de adquisición de datos.

El intervalo de tiempo de muestreo en la adquisición de datos, tiene un rango de uno a sesenta segundos, que se incrementa en pasos de un segundo cada que se presiona el pulsador dos. Con el pulsador uno se regresa al menú principal de mensajes de la figura 3.91.

La pantalla siete, es la entrada para la lectura de eeprom, al presionar el pulsador dos se ingresa a la pantalla de la figura 3.94, la cual contiene un mensaje de confirmación de lectura de eeprom, y al presionar nuevamente el pulsador dos se inicia la lectura de los datos grabados en eeprom.

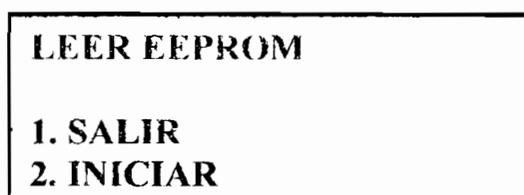


Figura 3.94 Pantalla de confirmación de la lectura de eeprom.

En la figura 3.95 se presenta los mensajes en el LCD cuando se realiza la lectura de las diez primeras posiciones de memoria eeprom. Cada mensaje indica el nombre del dato que tiene grabado, por ejemplo en la posición uno de la memoria eeprom está grabado el tiempo de muestreo, en las posiciones dos a nueve los datos de las entradas analógicas y en la posición diez los datos de las entradas digitales. La pantalla de lectura de eeprom presenta los 253 datos grabados en eeprom, de uno en uno, cada que se presiona el pulsador dos.

| | |
|---|--|
| LECTURA EEPROM: 1 TIEMPO = 1 1. SALIR 2. SIGUIENTE | LECTURA EEPROM: 2 ADC1=2.53 1. SALIR 2. SIGUIENTE |
| LECTURA EEPROM: 3 ADC2=4.35 1. SALIR 2. SIGUIENTE | LECTURA EEPROM: 4 ADC3=5.00 1. SALIR 2. SIGUIENTE |
| LECTURA EEPROM: 5 ADC4=4.19 1. SALIR 2. SIGUIENTE | LECTURA EEPROM: 6 ADC5=2.68 1. SALIR 2. SIGUIENTE |
| LECTURA EEPROM: 7 ADC6=2.19 1. SALIR 2. SIGUIENTE | LECTURA EEPROM: 8 ADC7=0.97 1. SALIR 2. SIGUIENTE |
| LECTURA EEPROM: 9 ADC8=2.01 1. SALIR 2. SIGUIENTE | LECTURA EEPROM: 10 ENTRADAS DIGIT = 233 1. SALIR 2. SIGUIENTE |

Figura 3.95 Pantallas de lectura de eeprom.

La pantalla ocho de la figura 3.91 es la entrada para borrar los datos grabados en memoria eeprom. Al presionar el pulsador dos se ingresa a una pantalla que contiene un mensaje de confirmación de borrado de eeprom. Cuando se presiona nuevamente el pulsador dos, se ejecuta el borrado de la memoria eeprom y se

presenta el mensaje "Borrando eeprom". Cuando finaliza el borrado de eeprom se presenta el mensaje "Borrado de eeprom completo". La figura 3.96 presenta los tres mensajes en el LCD cuando se ejecuta el borrado de eeprom.



Figura 3.96 Pantallas de borrado de eeprom.

La pantalla nueve de la figura 3.91 es la entrada para la adquisición de datos independiente. Antes de ingresar a esta pantalla, se debe activar la adquisición de datos independiente en la pantalla cinco, de lo contrario se presentará el mensaje que se indica en la figura 3.97. Esto se realiza como un paso de confirmación del grabado de eeprom, ya que los nuevos datos reemplazan cualquier adquisición de datos previa.

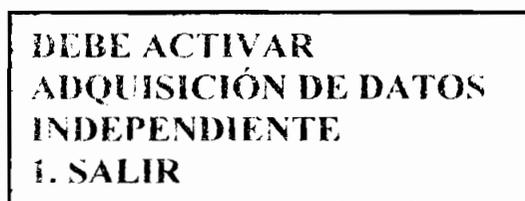


Figura 3.97 Aviso de activación de adquisición de datos independiente.

Cuando se inicia la adquisición de datos independiente se presenta un mensaje durante dos segundos, que indica que se puede cancelar la adquisición de datos presionando el pulsador uno. Si se mantiene presionado el pulsador uno se cancela la adquisición de datos y se presenta el mensaje "Adquisición de datos cancelada". La adquisición de datos también se cancela directamente con el pulsador reset sin la presentación de mensajes. Cuando finaliza la adquisición de datos se presenta el mensaje "Adquisición de datos completa". La figura 3.98 contiene los mensajes relativos al grabado de eeprom.

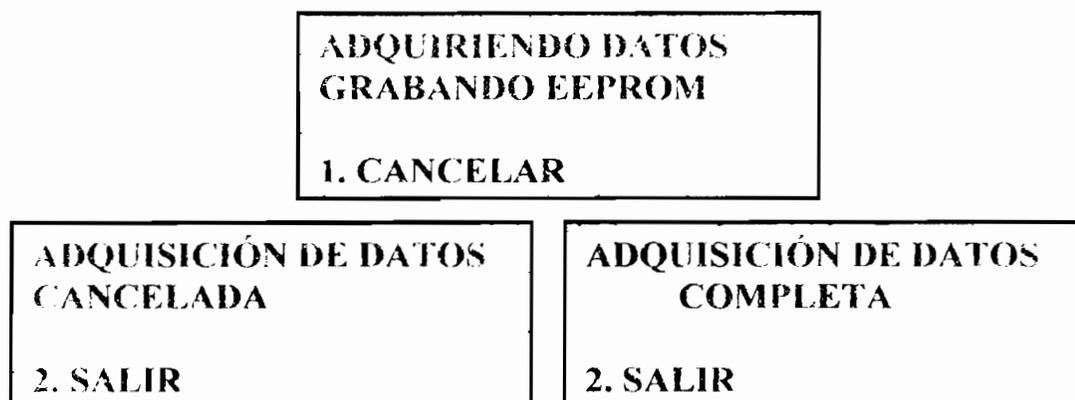


Figura 3.98 Mensajes en el LCD relativos al Grabado de eeprom.

Cuando el módulo de adquisición de datos se comunica con el computador se presenta en el LCD uno de los cinco mensajes de la figura 3.99, dependiendo del parámetro que controla el software de Labview.

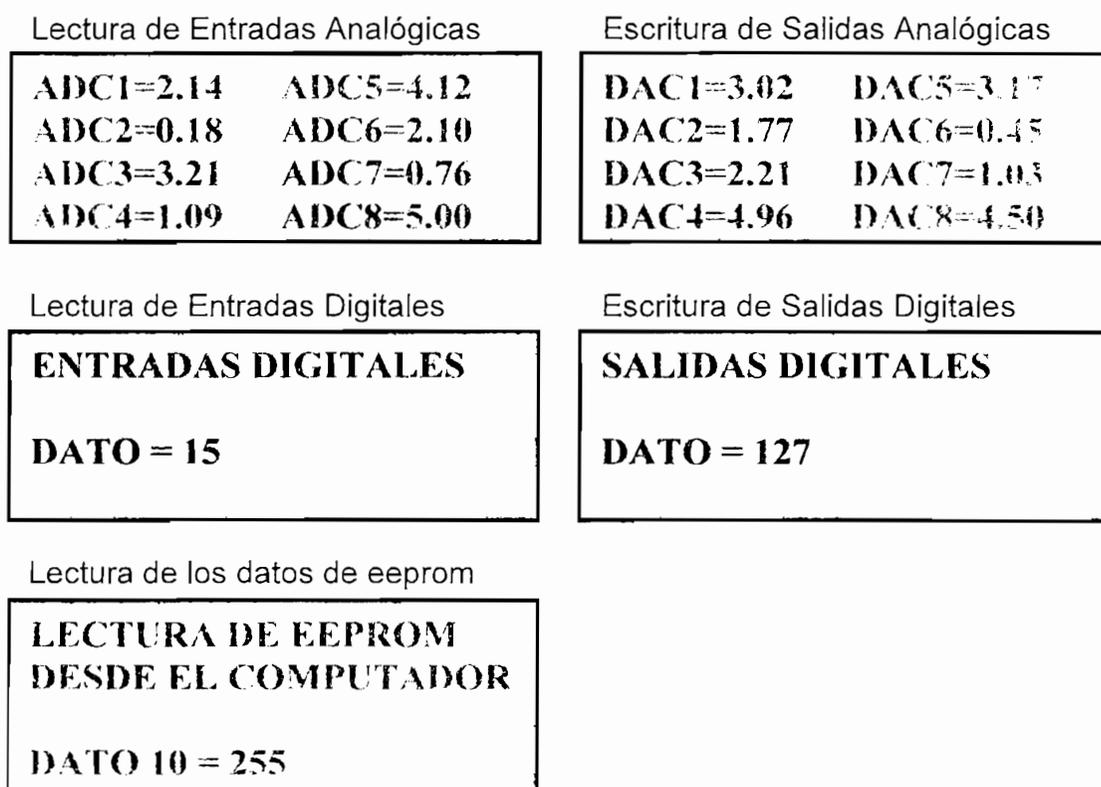


Figura 3.99 Mensajes en el LCD cuando el módulo de adquisición de datos se comunica con el computador.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y COSTO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y COSTO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Las pruebas de funcionamiento del sistema de adquisición de datos tienen por objeto determinar los parámetros de operación de todos los recursos de software y de hardware del sistema. El sistema de adquisición de datos consta de: módulo de adquisición de datos, módulo de señales analógicas y digitales, transceptor de infrarrojos para el PC y software de adquisición de datos desarrollado en Labview.

La figura 4.1 y 4.2 presentan las fotos del módulo de adquisición de datos y del transceptor de infrarrojos para el computador. Como se indica en la figura 4.1 el módulo de adquisición de datos tiene tres pulsadores: pulsador uno, pulsador dos y pulsador de reset; contados de izquierda a derecha.

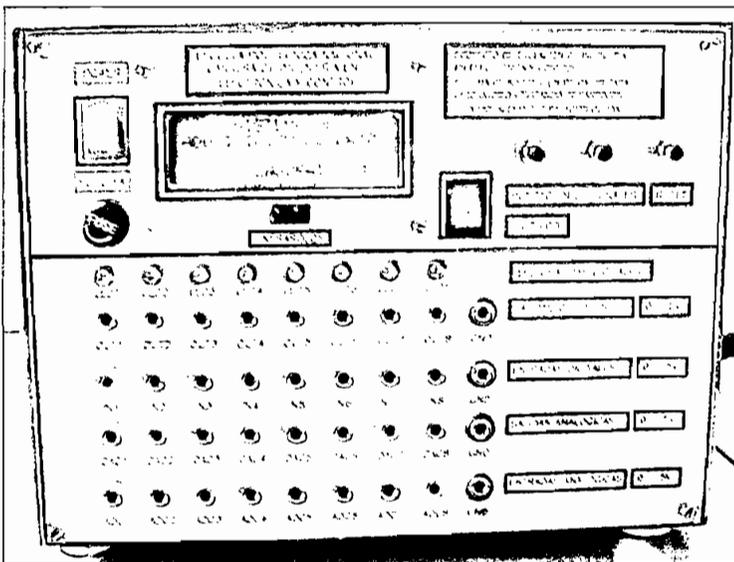


Figura 4.1 Módulo de adquisición de datos

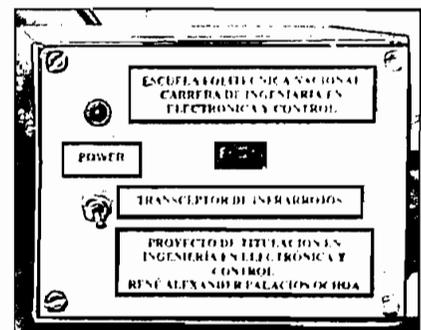


Figura 4.2 Transceptor de infrarrojos para el PC

La figura 4.3 presenta una foto del módulo de señales analógicas y digitales, el cual consta de ocho interruptores para el control de las salidas digitales y de ocho potenciómetros para el control de las salidas analógicas. El módulo de señales analógicas y digitales es utilizado para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema de adquisición de datos.

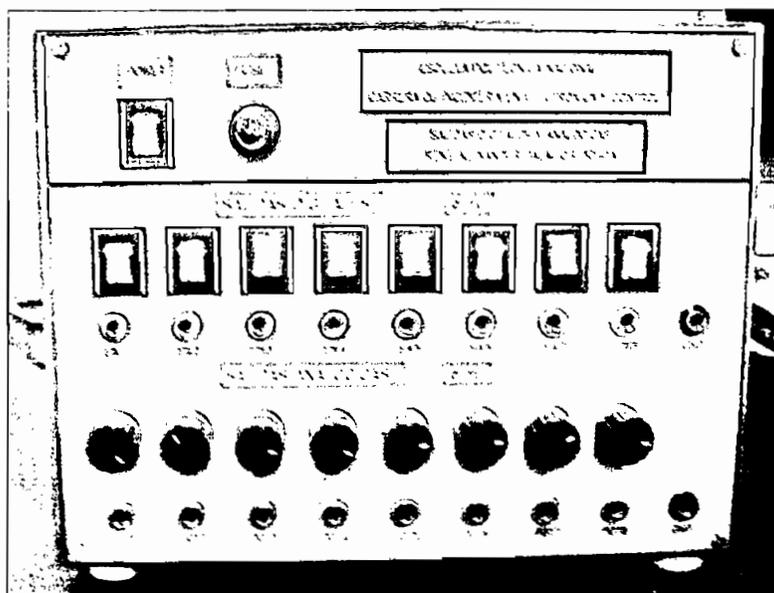


Figura 4.3 Módulo de señales analógicas y digitales.

El módulo señales analógicas y digitales proporciona ocho salidas analógicas y ocho salidas digitales de voltaje. La amplitud de voltaje de las señales analógicas tiene un rango de 0 a 5 voltios y las señales digitales tienen niveles de voltaje TTL, lo que asegura no causar daños al módulo de adquisición de datos. Las señales analógicas y digitales del módulo de señales tienen salidas al exterior mediante borneras para conectores banana.

Para determinar el costo del sistema de adquisición de datos se debe considerar: diseño del hardware, costo de materiales, construcción del hardware, desarrollo del software en el computador, y programación del microcontrolador. En este capítulo se realiza un análisis de costos del sistema de adquisición de datos de este proyecto.

4.1 PRUEBAS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El módulo de adquisición de datos puede funcionar en forma autónoma y en interconexión con el computador. La adquisición de datos en modo autónomo se realiza sin conectar el módulo de adquisición de datos al computador y consiste en adquirir datos a través de las entradas analógicas y digitales y grabarlos en la

memoria eeprom. Se han realizado pruebas del módulo de adquisición de datos en funcionamiento autónomo y en interconexión con el computador. En funcionamiento en modo autónomo se han realizado pruebas de: Presentación de mensajes en el LCD y configuración de parámetros; lectura, borrado, y escritura de la memoria eeprom del módulo de adquisición de datos. Cuando el módulo funciona en interconexión con el computador, se han realizado pruebas de: adquisición de datos a través de las entradas analógicas y digitales, transferencia de los datos grabados en memoria eeprom, y pruebas de funcionamiento de las salidas analógicas y digitales. La comunicación entre el módulo de adquisición de datos y el computador se establece mediante luz infrarroja, por lo cual se debe determinar los límites de funcionamiento en cuanto a distancia de separación y ángulo entre los transceptores de infrarrojos.

4.1.1 PRUEBA DE CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS AUTÓNOMA Y MENSAJES EN EL LCD

La prueba de configuración de parámetros para la adquisición de datos autónoma y mensajes en el LCD consiste en verificar el correcto funcionamiento de los parámetros: configuración de tiempo de muestreo y activación de la adquisición de datos independiente del computador. Además se verifica que cada uno de los mensajes que aparecen en el LCD cuando se presiona el pulsador uno y el pulsador dos del módulo de adquisición de datos correspondan a los mensajes programados. El módulo de adquisición de datos dispone de diez mensajes principales en el LCD, el primer mensaje identifica al equipo cuando se lo enciende, o luego de un reset. Los otros nueve mensajes son para visualizar y configurar la adquisición de datos.

Con el pulsador uno del módulo de adquisición de datos se alterna entre nueve mensajes del LCD, mediante los cuales se visualiza y configura parámetros para la adquisición de datos autónoma. Los mensajes que se han programado para que se presenten en el LCD son:

1. Mensaje en el LCD que presenta el estado de los últimos datos adquiridos por las ocho entradas analógicas, grabados temporalmente en memoria RAM. Cuando se enciende el módulo de adquisición de datos o después de un reset, los registros de las ocho entradas analógicas tienen valor cero.
2. Mensaje en el LCD que presenta el estado de los últimos datos cargados en los ocho convertidores digitales a analógicos, grabados temporalmente en memoria RAM. Luego del encendido o después de un reset, los registros de las ocho salidas analógicas tienen valor cero.
3. Mensaje en el LCD que presenta el estado del último dato adquirido por las entradas digitales, como un valor decimal, grabado temporalmente en memoria RAM. Luego del encendido o después de un reset, los registros de las ocho entradas digitales tienen valor cero
4. Mensaje en el LCD que presenta el estado del último dato cargado en las salidas digitales, grabado temporalmente en memoria RAM. Cuando se enciende el módulo de adquisición de datos o después de un reset, los registros de las ocho salidas digitales tienen valor cero.
5. Mensaje en el LCD que indica si está o no activada la adquisición de datos autónoma del módulo de adquisición de datos. Esta pantalla de presentación, permite el ingreso a otra pantalla en la cual se realiza el cambio de parámetro de activación. Mediante el pulsador dos, se alterna entre activar y desactivar la adquisición de datos autónoma del módulo. Para realizar la adquisición de datos en modo autónomo, el módulo debe tener el parámetro adquisición de datos independiente en estado activado, de lo contrario, se presenta un mensaje que indica que debe activarse, y no inicia la adquisición de datos. Cuando se enciende el módulo de adquisición de datos o después de un reset, la adquisición de datos independiente está desactivada.
6. Mensaje en el LCD que indica el parámetro intervalo de tiempo de muestreo con que se realizará la adquisición de datos. Luego de encender el módulo, o

después de un reset, el tiempo está predeterminado a 1 segundo. Para cambiar el tiempo se ingresa a otra pantalla mediante el pulsador dos, en la cual se puede aumentar el tiempo en pasos de un segundo, hasta 60 segundos. Después de llegar a los 60 segundos, si se presiona nuevamente el pulsador dos, se reinicia el intervalo de tiempo a un segundo.

7. Mensaje en el LCD para la lectura de la memoria eeprom del módulo de adquisición de datos. Desde esta pantalla se ingresa a otra pantalla, en la cual se inicia la lectura de los datos grabados en eeprom mediante el pulsador dos. Los 253 datos grabados en eeprom se presentan en el LCD, de uno en uno, con la indicación del parámetro que se lee. Los datos grabados en memoria eeprom son: El intervalo de tiempo al cual se realizó la adquisición de datos, el contenido de los registros de las ocho entradas analógicas y el dato decimal que contiene el valor lógico de las ocho entradas digitales.
8. Mensaje para borrar la memoria eeprom del módulo de adquisición de datos. A partir de esta pantalla se ingresa a otra pantalla que presenta un mensaje de confirmación de borrado de eeprom. Mediante el pulsador dos se inicia el borrado de eeprom, y cuando termina presenta un mensaje que indica que el borrado de la memoria eeprom se ha completado. Luego de realizar esta acción se pierden todos los datos grabados en eeprom.
9. Mensaje para iniciar la adquisición de datos autónoma. La adquisición de datos independiente se inicia solo si se encuentra activada. Mediante el pulsador dos se inicia la adquisición de datos autónoma. Para realizar la adquisición de datos autónoma se establece el intervalo de tiempo de muestreo. La lectura de las entradas analógicas y digitales se ejecuta 28 veces, los datos adquiridos se graban en la memoria eeprom del módulo.

Se realizaron pruebas de configuración de los parámetros del módulo de adquisición de datos mediante los dos pulsadores y el LCD y se obtuvo como resultado que todos los mensajes en el LCD programados para tareas de configuración se presentan siempre sin errores.

4.1.2 PRUEBA DE ADQUISICIÓN DE DATOS AUTÓNOMA

La adquisición de datos autónoma consiste en adquirir los datos de las entradas analógicas y digitales, grabarlos en memoria eeprom y presentar en el LCD el desarrollo de la adquisición de datos. Para realizar el grabado de eeprom, se debe activar la adquisición de datos independiente, programar el intervalo de muestreo y conectar el módulo de señales analógicas y digitales al módulo de adquisición de datos. En la figura 4.4 se presenta una fotografía de la interconexión de los dos módulos.

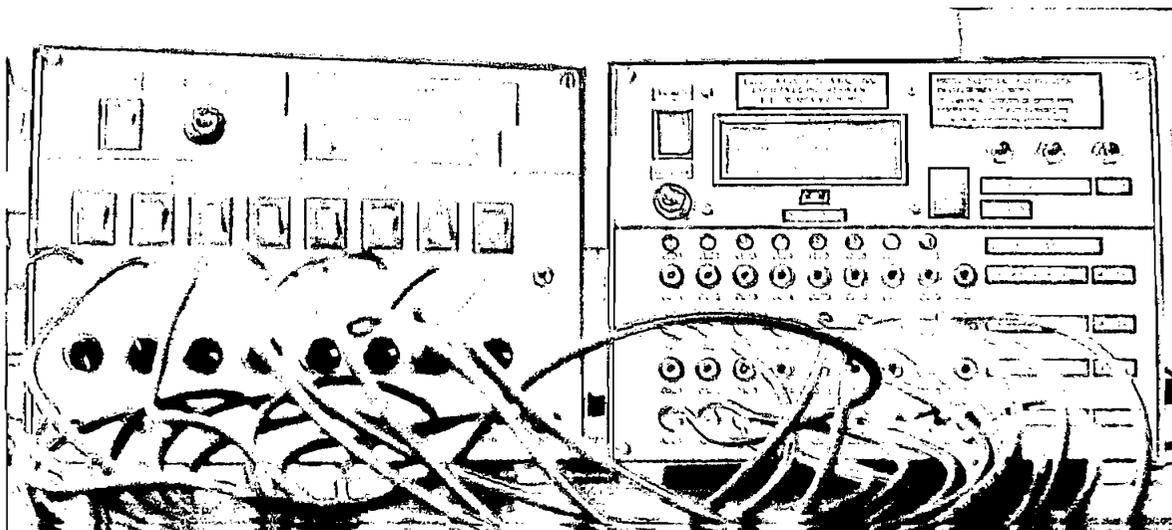


Figura 4.4 Conexión del módulo de señales analógicas y digitales con el módulo de adquisición de datos.

La memoria eeprom dispone de 253 posiciones de almacenamiento de dos bytes cada una, en las cuales se graban los datos correspondientes al intervalo de tiempo de muestreo de la adquisición de datos, los datos de cada entrada analógica, y los datos de las entradas digitales agrupadas en un solo valor decimal. Cada dato ha sido grabado en dos bytes de la memoria eeprom, debido a que el convertidor analógico a digital tiene una resolución de diez bits. Mientras se realiza la adquisición de datos y el grabado de memoria eeprom, el LCD presenta el valor medido por el digitalizador en las entradas analógicas. Este valor es presentado en un rango de 0 a 5, con lo cual se tiene una medición real del valor que ingresa en las entradas analógicas.

La prueba de adquisición de datos autónoma consiste en generar voltajes analógicos mediante el módulo de señales, e ingresarlos al módulo de adquisición de datos, mientras se realiza mediciones de voltaje con el multímetro. Para tener tiempo de realizar las mediciones con el multímetro y tomar los datos que se presentan en el LCD, se programa el intervalo de tiempo a 60 segundos. Se realizaron diez mediciones de voltaje, para cada una de las entradas analógicas, las cuales se presentan en las tablas 4.1 a 4.10. El porcentaje de error presentado en las tablas es la diferencia entre el valor de voltaje medido por el multímetro y el valor que se presenta en el LCD durante la adquisición de datos, dividido por el valor medido por el multímetro y multiplicado por un factor de cien.

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC1 | 2.34 | 2.42 | 3.4 |
| ADC2 | 4.17 | 4.25 | 1.9 |
| ADC3 | 0.28 | 0.29 | 3.6 |
| ADC4 | 3,76 | 3,82 | 1.6 |
| ADC5 | 3.49 | 3.57 | 2.3 |
| ADC6 | 1.21 | 1.25 | 3.3 |
| ADC7 | 4.99 | 5.00 | 0.2 |
| ADC8 | 4.36 | 4.45 | 2.1 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 2.3 |

Tabla 4.1 Prueba de adquisición de datos autónoma

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC1 | 0.52 | 0.54 | 3.8 |
| ADC2 | 4.14 | 4.21 | 1.7 |
| ADC3 | 1.38 | 1.42 | 2.9 |
| ADC4 | 2.84 | 2.88 | 1.4 |
| ADC5 | 2.57 | 2.62 | 1.9 |
| ADC6 | 3.67 | 3.74 | 1.9 |

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC7 | 2.69 | 2.74 | 1.9 |
| ADC8 | 4.46 | 4.53 | 1.6 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 2.1 |

Tabla 4.2 Prueba de adquisición de datos autónoma

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC1 | 3.44 | 3.48 | 1.2 |
| ADC2 | 2.25 | 2.29 | 1.8 |
| ADC3 | 4.15 | 4.21 | 1.4 |
| ADC4 | 0.96 | 0.99 | 3.1 |
| ADC5 | 0.52 | 0.53 | 1.9 |
| ADC6 | 2.00 | 2.04 | 2.0 |
| ADC7 | 0.86 | 0.87 | 1.2 |
| ADC8 | 2.90 | 2.95 | 1.7 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 1.8 |

Tabla 4.3 Prueba de adquisición de datos autónoma.

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC1 | 1.54 | 1.55 | 0.6 |
| ADC2 | 0.47 | 0.47 | 0.0 |
| ADC3 | 2.63 | 2.67 | 1.5 |
| ADC4 | 2.89 | 2.95 | 2.1 |
| ADC5 | 4.47 | 4.56 | 2.0 |
| ADC6 | 0.30 | 0.31 | 3.3 |
| ADC7 | 2.85 | 2.91 | 2.1 |
| ADC8 | 4.68 | 4.76 | 1.7 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 1.7 |

Tabla 4.4 Prueba de adquisición de datos autónoma.

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC1 | 4.13 | 4.21 | 1.9 |
| ADC2 | 1.42 | 1.45 | 2.1 |
| ADC3 | 2.54 | 2.58 | 1.6 |
| ADC4 | 4.26 | 4.35 | 2.1 |
| ADC5 | 1.41 | 1.43 | 1.4 |
| ADC6 | 2.50 | 2.55 | 2.0 |
| ADC7 | 5.00 | 5.00 | 0.0 |
| ADC8 | 1.55 | 1.58 | 1.9 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 1.6 |

Tabla 4.5 Prueba de adquisición de datos autónoma.

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC1 | 2.37 | 2.38 | 0.4 |
| ADC2 | 4.19 | 4.27 | 1.9 |
| ADC3 | 1.13 | 1.15 | 1.8 |
| ADC4 | 2.83 | 2.88 | 1.8 |
| ADC5 | 2.56 | 2.61 | 2.0 |
| ADC6 | 0.58 | 0.59 | 1.7 |
| ADC7 | 3.79 | 3.86 | 1.8 |
| ADC8 | 3.77 | 3.85 | 2.1 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 1.7 |

Tabla 4.6 Prueba de adquisición de datos autónoma.

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC1 | 4.00 | 4.09 | 2.3 |
| ADC2 | 4.42 | 4.51 | 2.0 |
| ADC3 | 3.31 | 3.37 | 1.8 |

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC4 | 0.56 | 0.58 | 3.6 |
| ADC5 | 4.87 | 4.97 | 2.1 |
| ADC6 | 2.40 | 2.45 | 2.1 |
| ADC7 | 1.72 | 1.75 | 1.7 |
| ADC8 | 3.27 | 3.34 | 2.1 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 2.2 |

Tabla 4.7 Prueba de adquisición de datos autónoma.

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC1 | 2.06 | 2.07 | 0.5 |
| ADC2 | 2.49 | 2.54 | 2.0 |
| ADC3 | 1.32 | 1.37 | 3.8 |
| ADC4 | 4.00 | 4.08 | 2.0 |
| ADC5 | 2.66 | 2.69 | 1.1 |
| ADC6 | 0.32 | 0.33 | 3.1 |
| ADC7 | 4.22 | 4.30 | 1.9 |
| ADC8 | 1.23 | 1.24 | 0.8 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 1.9 |

Tabla 4.8 Prueba de adquisición de datos autónoma.

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC1 | 2.30 | 2.34 | 1.7 |
| ADC2 | 2.70 | 2.75 | 1.9 |
| ADC3 | 4.38 | 4.46 | 1.8 |
| ADC4 | 0.63 | 0.65 | 3.2 |
| ADC5 | 4.29 | 4.36 | 1.6 |
| ADC6 | 2.25 | 2.30 | 2.2 |
| ADC7 | 0.78 | 0.80 | 2.6 |

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC8 | 4.77 | 4.86 | 1.9 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 2.1 |

Tabla 4.9 Prueba de adquisición de datos autónoma.

| Entrada analógica | Valor medido con multímetro | Valor que presenta el LCD | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| ADC1 | 4.58 | 4.66 | 1.7 |
| ADC2 | 4.71 | 4.80 | 1.9 |
| ADC3 | 0.76 | 0.78 | 2.6 |
| ADC4 | 2.87 | 2.93 | 2.1 |
| ADC5 | 1.95 | 1.99 | 2.1 |
| ADC6 | 3.53 | 3.59 | 1.7 |
| ADC7 | 3.64 | 3.71 | 1.9 |
| ADC8 | 2.62 | 2.67 | 1.9 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 2.0 |

Tabla 4.10 Prueba de adquisición de datos autónoma.

El número decimal que representa el estado de las ocho entradas digitales, se graba en memoria eeprom, pero no se presenta en el LCD mientras se realiza la adquisición de datos, debido a una limitación de espacio del LCD. Sin embargo se puede comprobar que los datos grabados en eeprom corresponden a las señales de las entradas digitales, realizando la lectura de la memoria eeprom. Además se puede revisar la última adquisición de datos de las entradas analógicas y de las entradas digitales, ya que estos datos han sido almacenados en memoria RAM.

El dato decimal que representa el estado lógico de las ocho entradas digitales tiene un rango de 0 a 255. El valor decimal de las entradas digitales es exacto, no hay errores en la grabación, y se almacena después de la octava entrada analógica. Los resultados de cálculo del porcentaje de error promedio, que se indican en las tablas 4.1 a 4.10, son menores al 2.3%.

4.1.3 PRUEBA DE LECTURA DE EEPROM

Los datos grabados en memoria eeprom, pueden ser visualizados en el LCD, realizando la lectura de la memoria eeprom. Cada dato grabado en eeprom, tiene un encabezado que identifica el tipo de dato grabado, su valor y el número de orden que ocupa en la memoria. Las medidas tomadas de las entradas analógicas son digitalizadas, lo cual significa que tienen una representación numérica. El módulo de adquisición de datos utiliza el convertidor analógico a digital de 10 bits de resolución del microcontrolador atmega16, por lo tanto el dato que se graba en memoria eeprom tiene un rango de 0 a 1023, pero para presentar los mensajes en el LCD se realiza conversiones numéricas y se tiene un rango de 0 a 5, que indican los valores de voltaje que se midieron en las entradas analógicas. Los valores de voltaje que se presentaron en el LCD durante la adquisición de datos y que se indican en las tablas 4.1 a 4.10 son los mismos que se visualizan en el LCD al realizar la lectura de eeprom. Por lo tanto con la lectura de eeprom se comprueba que los datos almacenados corresponden a las medidas tomadas con el multímetro en la prueba de grabado de eeprom. La figura 4.5 presenta la foto del módulo de adquisición de dato cuando se realiza la lectura de memoria eeprom.

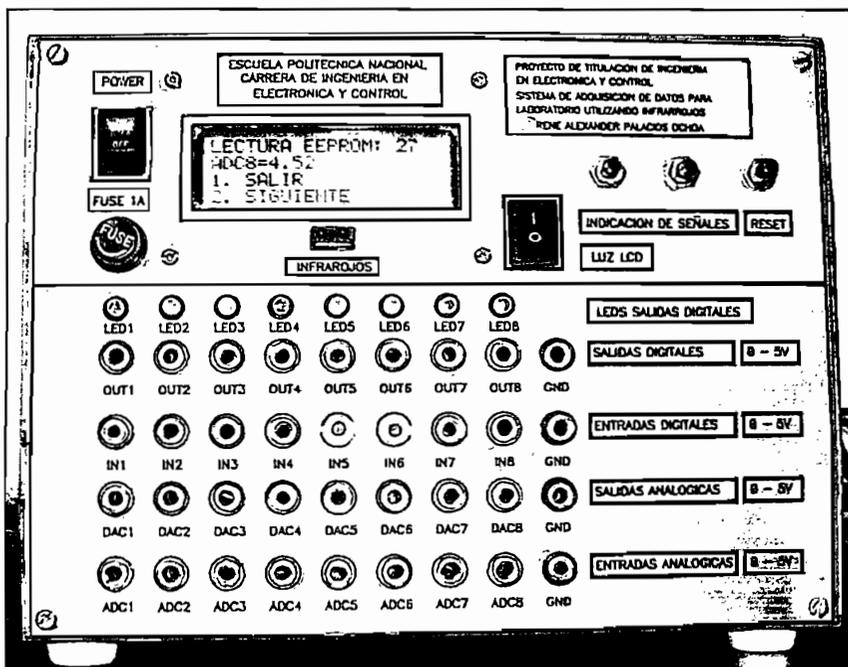


Figura 4.5 Prueba de lectura de la memoria eeprom.

La prueba de lectura de eeprom consiste en comprobar que los datos almacenados en eeprom sean los mismos que se presentaron en el LCD durante la adquisición de datos autónoma. La prueba se realizó comparando los datos de las tablas 4.1 a 4.10 y el resultado fue correcto para todos los valores almacenados.

4.1.4 PRUEBA DE BORRADO DE EEPROM

Para esta aplicación el borrado de eeprom consiste en asignar el valor cero, a las 253 posiciones de memoria destinadas para la adquisición de datos autónoma. La razón de asignar el número cero a las posiciones de memoria, en lugar de FFh que normalmente se hace cuando se borra eeprom mediante software es debido a que el computador tiene que leer la eeprom del módulo de adquisición de datos, y el protocolo de comunicación fue diseñado para realizar la lectura de datos que se encuentren en un rango de 0 a 1023, es decir un número de 10 bits. Por lo tanto si se utilizara el valor FFh para borrar eeprom, cuando se ejecuta la lectura desde el computador de la memoria eeprom borrada, la comunicación fallaría.

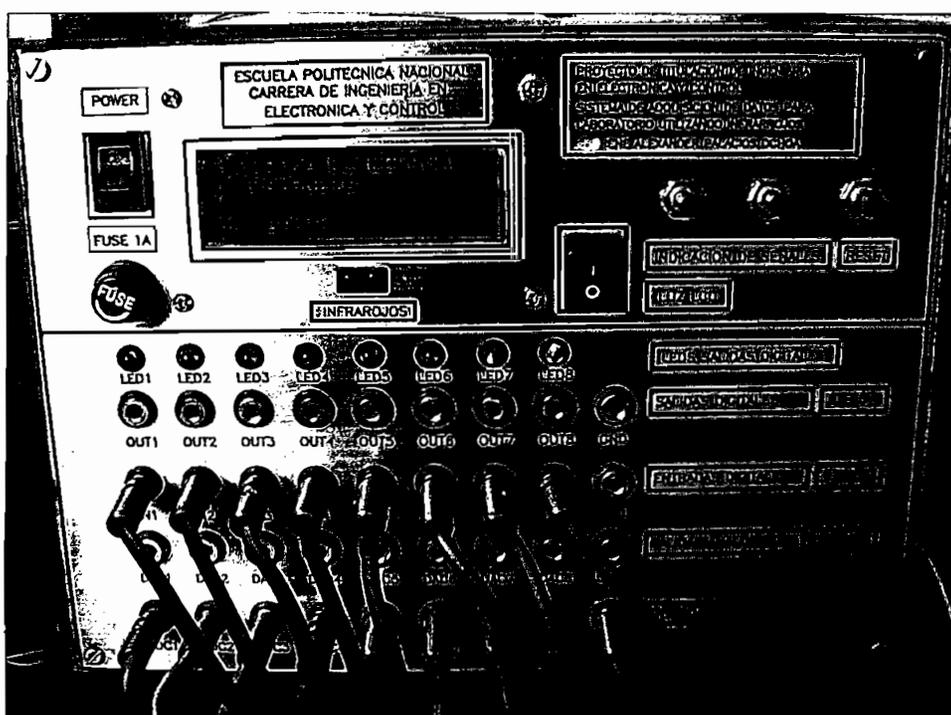


Figura 4.6 Prueba de borrado de la memoria eeprom.

La prueba de borrado de eeprom asignó correctamente el valor cero a todas las posiciones de memoria. No se generaron errores. La figura 4.6 presenta una foto con el mensaje en el LCD Borrado de eeprom completo, el cual indica que la función de borrado se ejecutó correctamente.

4.1.5 PRUEBA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS EN INTERCONEXIÓN CON EL COMPUTADOR

Para iniciar la adquisición de señales analógicas en interconexión del módulo de adquisición de datos y el computador, se debe configurar en el software del computador el intervalo de tiempo de muestreo y el número de muestras de las señales analógicas que se desea medir. La aplicación de software desarrollada en Labview inicia la adquisición de datos, luego de lo cual, el módulo de adquisición de datos ejecuta un barrido de los ocho canales analógicos, adquiere los datos, los digitaliza, los presenta en el LCD y los envía al computador. La figura 4.7 presenta una foto de la adquisición de señales analógicas en interconexión con el computador. Los voltajes analógicos son medidos con un multímetro digital.

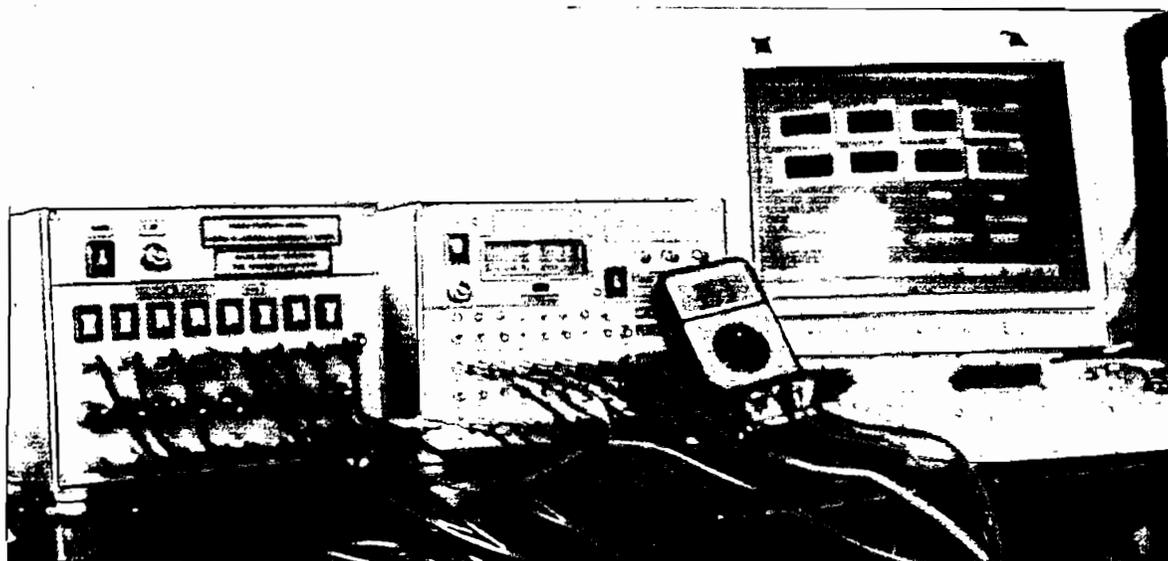


Figura 4.7 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC.

La prueba de adquisición de señales analógicas a través del computador consiste en tomar diez muestras de cada entrada analógica, compararla con el valor que se presenta en el LCD y con el valor que se graba en el computador. Las tablas 4.11 a 4.20 presentan los datos adquiridos de las señales analógicas y el porcentaje de error de la medida del sistema de adquisición de datos respecto al valor de voltaje medido con un multímetro digital.

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC1 | 1.05 | 1.07 | 1.07 | 1.9 |
| ADC2 | 4.27 | 4.36 | 4.36 | 2.1 |
| ADC3 | 2.94 | 3.00 | 3.00 | 2.0 |
| ADC4 | 3.29 | 3.35 | 3.35 | 1.8 |
| ADC5 | 2.88 | 2.94 | 2.94 | 2.1 |
| ADC6 | 1.80 | 1.84 | 1.84 | 2.2 |
| ADC7 | 3.79 | 3.87 | 3.87 | 2.1 |
| ADC8 | 1.28 | 1.31 | 1.31 | 2.3 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 2.1 |

Tabla 4.11 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC.

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC1 | 0.51 | 0.52 | 0.52 | 2.0 |
| ADC2 | 2.34 | 2.39 | 2.39 | 2.1 |
| ADC3 | 0.47 | 0.48 | 0.48 | 2.1 |
| ADC4 | 4.54 | 4.61 | 4.61 | 1.5 |
| ADC5 | 2.36 | 2.41 | 2.41 | 2.1 |
| ADC6 | 2.75 | 2.81 | 2.81 | 2.2 |
| ADC7 | 4.58 | 4.68 | 4.68 | 2.2 |
| ADC8 | 0.58 | 0.59 | 0.59 | 1.7 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 2.0 |

Tabla 4.12 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC.

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|---------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC1 | 2.62 | 2.67 | 2.67 | 1.9 |
| ADC2 | 4.11 | 4.19 | 4.19 | 1.9 |
| ADC3 | 2.20 | 2.25 | 2.25 | 2.3 |
| ADC4 | 3.75 | 3.84 | 3.84 | 2.4 |
| ADC5 | 1.06 | 1.08 | 1.08 | 1.9 |
| ADC6 | 3.06 | 3.12 | 3.12 | 2.0 |
| ADC7 | 4.15 | 4.22 | 4.22 | 1.7 |
| ADC8 | 1.04 | 1.07 | 1.07 | 2.9 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 2.1 |

Tabla 4.13 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC.

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|---------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC1 | 4.14 | 4.21 | 4.21 | 1.7 |
| ADC2 | 2.39 | 2.44 | 2.44 | 2.1 |
| ADC3 | 4.74 | 4.83 | 4.83 | 1.9 |
| ADC4 | 1.14 | 1.17 | 1.17 | 2.6 |
| ADC5 | 2.64 | 2.69 | 2.69 | 1.9 |
| ADC6 | 1.22 | 1.25 | 1.25 | 2.5 |
| ADC7 | 0.45 | 0.46 | 0.46 | 2.2 |
| ADC8 | 3.52 | 3.58 | 3.58 | 1.7 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 2.1 |

Tabla 4.14 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC.

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC1 | 0.86 | 0.88 | 0.88 | 2.3 |
| ADC2 | 2.44 | 2.49 | 2.49 | 2.0 |
| ADC3 | 3.27 | 3.34 | 3.34 | 2.1 |

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC4 | 4.42 | 4.50 | 4.50 | 1.8 |
| ADC5 | 0.90 | 0.92 | 0.92 | 2.2 |
| ADC6 | 2.86 | 2.92 | 2.92 | 2.1 |
| ADC7 | 3.50 | 3.57 | 3.57 | 2.0 |
| ADC8 | 1.27 | 1.31 | 1.31 | 3.1 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 2.2 |

Tabla 4.15 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC.

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC1 | 4.07 | 4.15 | 4.15 | 2.0 |
| ADC2 | 0.94 | 0.97 | 0.97 | 3.2 |
| ADC3 | 0.87 | 0.89 | 0.89 | 2.3 |
| ADC4 | 2.55 | 2.60 | 2.60 | 2.0 |
| ADC5 | 4.36 | 4.44 | 4.44 | 1.8 |
| ADC6 | 0.71 | 0.73 | 0.73 | 2.8 |
| ADC7 | 4.60 | 4.68 | 4.68 | 1.7 |
| ADC8 | 4.99 | 5.00 | 5.00 | 0.2 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 2.0 |

Tabla 4.16 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC.

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC1 | 2.82 | 2.88 | 2.88 | 2.1 |
| ADC2 | 3.80 | 3.89 | 3.89 | 2.4 |
| ADC3 | 3.50 | 3.57 | 3.57 | 2.0 |
| ADC4 | 1.45 | 1.49 | 1.49 | 2.8 |
| ADC5 | 2.94 | 2.99 | 2.99 | 1.7 |
| ADC6 | 3.15 | 3.21 | 3.21 | 1.9 |
| ADC7 | 2.99 | 3.04 | 3.04 | 1.7 |

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC8 | 3.78 | 3.86 | 3.86 | 2.1 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 2.1 |

Tabla 4.17 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC.

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC1 | 4.20 | 4.29 | 4.29 | 2.1 |
| ADC2 | 1.65 | 1.69 | 1.69 | 2.4 |
| ADC3 | 0.91 | 0.93 | 0.93 | 2.2 |
| ADC4 | 2.65 | 2.71 | 2.71 | 2.3 |
| ADC5 | 4.29 | 4.37 | 4.37 | 1.9 |
| ADC6 | 3.29 | 3.35 | 3.35 | 1.8 |
| ADC7 | 0.77 | 0.78 | 0.78 | 1.3 |
| ADC8 | 1.72 | 1.76 | 1.76 | 2.3 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 2.0 |

Tabla 4.18 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC.

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC1 | 0.53 | 0.54 | 0.54 | 1.9 |
| ADC2 | 3.87 | 3.95 | 3.95 | 2.1 |
| ADC3 | 2.06 | 2.11 | 2.11 | 2.4 |
| ADC4 | 4.27 | 4.35 | 4.35 | 1.9 |
| ADC5 | 1.77 | 1.80 | 1.80 | 1.7 |
| ADC6 | 3.39 | 3.47 | 3.47 | 2.4 |
| ADC7 | 3.67 | 3.74 | 3.74 | 1.9 |
| ADC8 | 0.78 | 0.80 | 0.80 | 2.6 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 2.1 |

Tabla 4.19 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC.

| Entrada analógica | multímetro | LCD | computador | % de error del PC respecto al multímetro |
|---------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| ADC1 | 1.49 | 1.52 | 1.52 | 2.0 |
| ADC2 | 2.94 | 3.00 | 3.00 | 2.0 |
| ADC3 | 3.01 | 3.07 | 3.07 | 2.0 |
| ADC4 | 1.53 | 1.57 | 1.57 | 2.6 |
| ADC5 | 3.44 | 3.51 | 3.51 | 2.0 |
| ADC6 | 1.36 | 1.39 | 1.39 | 2.2 |
| ADC7 | 0.57 | 0.59 | 0.59 | 3.5 |
| ADC8 | 3.87 | 3.95 | 3.95 | 2,1 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 2.3 |

Tabla 4.20 Prueba de adquisición de señales analógicas con el PC.

Los datos analógicos grabados en el computador, y medidos por el multímetro son comparados para obtener el porcentaje de error de las mediciones. El porcentaje de error promedio máximo de las medidas hechas por el módulo de adquisición de datos y grabadas en el computador, respecto al multímetro es menor al 2.3%, por lo tanto el hardware y software del módulo de adquisición de datos para la medición de las entradas analógicas funciona correctamente.

4.1.6 PRUEBA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES DIGITALES EN INTERCONEXIÓN CON EL COMPUTADOR

El módulo de adquisición de datos tiene ocho entradas digitales, las cuales son agrupadas en un número de ocho bits de 0 a 255, el cual es presentado en el LCD y enviado al computador. La prueba de adquisición de señales digitales en interconexión entre el módulo de adquisición de datos y el computador, consiste en generar señales digitales con el módulo de señales, y almacenarlas en el computador a través del módulo de adquisición de datos. La figura 4.8 presenta la foto de la adquisición de señales digitales en interconexión con el computador.

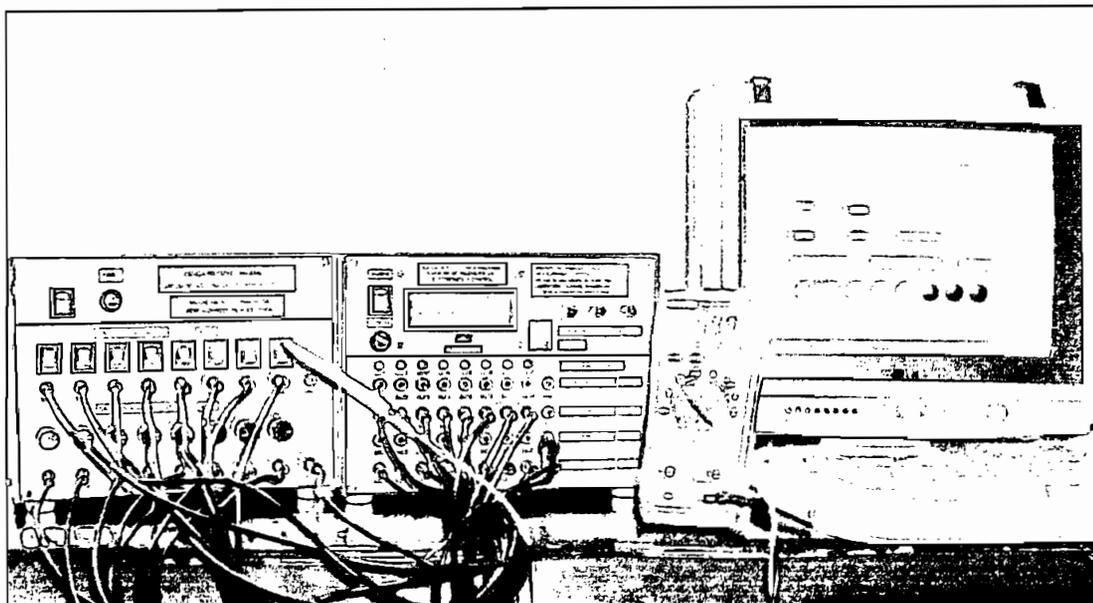


Figura 4.8 Prueba de adquisición de señales digitales con el PC.

Para realizar la adquisición de datos digitales a través del computador, se configura el número de datos digitales que se desea adquirir, y el intervalo de tiempo entre cada adquisición. La figura 4.9 presenta el diagrama de tiempos de las entradas digitales, realizado en Labview. Los datos utilizados en esta grafica son los estados lógicos de las ocho entradas digitales.

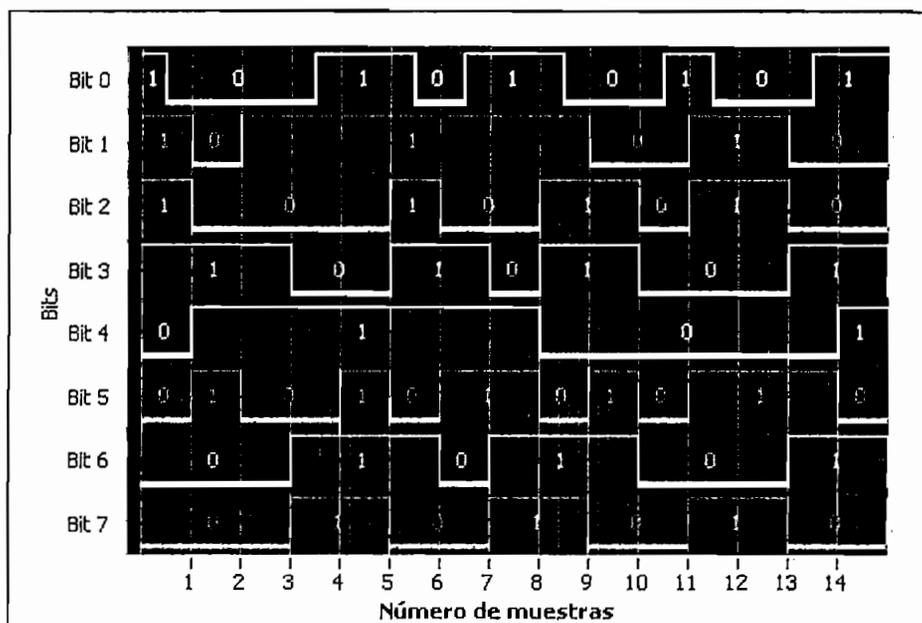


Figura 4.9 Diagrama de las señales digitales grabadas en el PC.

La gráfica de los canales digitales se encuentra en forma horizontal, por ejemplo la denominación bit0 corresponde a la primera entrada digital. La adquisición de señales digitales mediante el PC, no genera errores. La tabla 4.21 presenta los datos tomados de las entradas digitales, que corresponde a los del diagrama.

| Muestra | Decimal | BIT7 | BIT6 | BIT5 | BIT4 | BIT3 | BIT2 | BIT1 | BIT0 |
|---------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 56 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 26 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 210 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 4 | 243 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 5 | 95 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 58 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 7 | 243 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 8 | 207 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | 108 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 167 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | 166 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 13 | 104 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 89 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Tabla 4.21 Prueba de adquisición de señales digitales con el PC.

4.1.7 PRUEBA DE GENERACIÓN DE SEÑALES DE VOLTAJE ANALÓGICOS A TRAVÉS DEL COMPUTADOR

Las salidas analógicas tienen niveles de voltaje comprendidos entre 0 y 4.96 voltios. La prueba de generación de señales de voltaje analógicas a través del computador, consiste en cargar ocho valores en los controles del instrumento virtual de Labview que contiene las salidas analógicas y transmitirlos por comunicación serial infrarroja al módulo de adquisición de datos. La figura 4.10 presenta una foto de la generación de señales de voltaje analógicos a través del computador y la medición de voltajes con el multímetro.

Los valores de voltaje de las salidas analógicas son cargados en el computador y enviados al módulo de adquisición de datos, en el cual se realizan las conversiones numéricas necesarias para tener el formato de presentación en el LCD y para enviar los datos a los convertidores digitales a analógicos.

Las tablas 4.22 a 4.31 presentan los valores de voltaje que se cargaron en el computador, las medidas de voltaje de las salidas analógicas realizadas con el multímetro, el valor que se presenta en el LCD y el porcentaje de error del valor cargado en el computador con respecto a la medición del multímetro digital. El porcentaje de error promedio es calculado para cada generación de voltajes analógicos desde el computador.

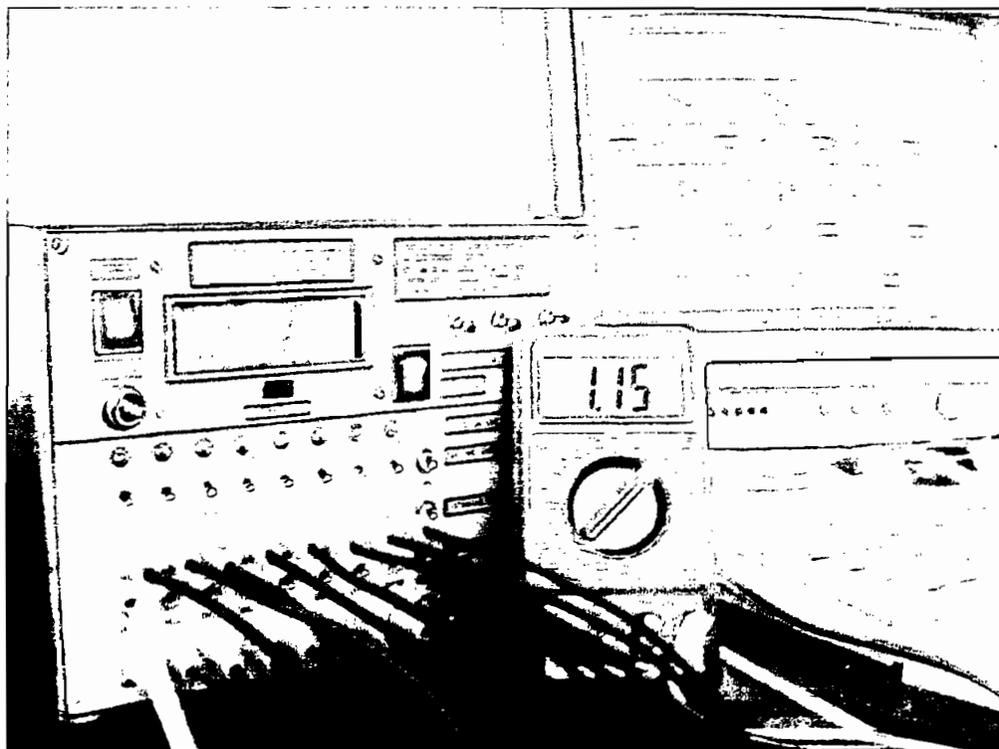


Figura 4.10 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC.

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|-------------------|------------|------------|------|--|
| DAC1 | 2.37 | 2.35 | 2.35 | 0.8 |
| DAC2 | 0.70 | 0.69 | 0.69 | 1.4 |
| DAC3 | 4.07 | 4.05 | 4.05 | 0.5 |

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC4 | 3.09 | 3.05 | 3.05 | 1.3 |
| DAC5 | 2.37 | 2.35 | 2.35 | 0.8 |
| DAC6 | 1.55 | 1.54 | 1.54 | 0.6 |
| DAC7 | 2.77 | 2.75 | 2.75 | 0.7 |
| DAC8 | 1.75 | 1.74 | 1.74 | 0.6 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 0.8 |

Tabla 4.22 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC.

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC1 | 3.54 | 3.52 | 3.52 | 0.6 |
| DAC2 | 1.82 | 1.81 | 1.81 | 0.5 |
| DAC3 | 1.75 | 1.74 | 1.74 | 0.6 |
| DAC4 | 0.84 | 0.83 | 0.83 | 1.2 |
| DAC5 | 3.80 | 3.77 | 3.77 | 0.8 |
| DAC6 | 2.54 | 2.52 | 2.52 | 0.8 |
| DAC7 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.0 |
| DAC8 | 4.34 | 4.32 | 4.32 | 0.5 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 0.6 |

Tabla 4.23 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC.

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC1 | 0.42 | 0.41 | 0.41 | 2.4 |
| DAC2 | 1.71 | 1.69 | 1.69 | 1.2 |
| DAC3 | 4.46 | 4.43 | 4.43 | 0.7 |
| DAC4 | 2.72 | 2.69 | 2.69 | 1.1 |
| DAC5 | 1.21 | 1.20 | 1.20 | 0.8 |
| DAC6 | 2.29 | 2.27 | 2.27 | 0.9 |
| DAC7 | 4.91 | 4.96 | 4.96 | 1.0 |

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC8 | 2.45 | 2.44 | 2.44 | 0.4 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 1.1 |

Tabla 4.24 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC.

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC1 | 3.10 | 3.08 | 3.08 | 0.6 |
| DAC2 | 4.09 | 4.06 | 4.06 | 0.7 |
| DAC3 | 2.14 | 2.13 | 2.13 | 0.5 |
| DAC4 | 4.60 | 4.55 | 4.55 | 1.1 |
| DAC5 | 2.71 | 2.69 | 2.69 | 0.7 |
| DAC6 | 0.58 | 0.57 | 0.57 | 1.7 |
| DAC7 | 1.73 | 1.71 | 1.71 | 1.2 |
| DAC8 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.0 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 0.8 |

Tabla 4.25 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC.

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC1 | 2.04 | 2.02 | 2.02 | 1.0 |
| DAC2 | 3.04 | 3.01 | 3.01 | 1.0 |
| DAC3 | 0.89 | 0.88 | 0.88 | 1.1 |
| DAC4 | 3.61 | 3.57 | 3.57 | 1.1 |
| DAC5 | 1.82 | 1.81 | 1.81 | 0.5 |
| DAC6 | 4.74 | 4.71 | 4.71 | 0.6 |
| DAC7 | 2.89 | 2.87 | 2.87 | 0.7 |
| DAC8 | 2.53 | 2.58 | 2.58 | 2.0 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 1.0 |

Tabla 4.26 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC.

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC1 | 4.91 | 4.96 | 4.96 | 1.0 |
| DAC2 | 1.20 | 1.19 | 1.19 | 0.8 |
| DAC3 | 1.98 | 1.97 | 1.97 | 0.5 |
| DAC4 | 2.62 | 2.59 | 2.59 | 1.1 |
| DAC5 | 4.69 | 4.66 | 4.66 | 0.6 |
| DAC6 | 2.36 | 2.34 | 2.34 | 0.8 |
| DAC7 | 0.96 | 0.95 | 0.95 | 1.0 |
| DAC8 | 3.19 | 3.17 | 3.17 | 0.6 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 0.8 |

Tabla 4.27 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC.

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC1 | 2.93 | 2.91 | 2.91 | 0.7 |
| DAC2 | 2.61 | 2.59 | 2.59 | 0.8 |
| DAC3 | 3.52 | 3.50 | 3.50 | 0.6 |
| DAC4 | 1.13 | 1.12 | 1.12 | 0.9 |
| DAC5 | 1.37 | 1.36 | 1.36 | 0.7 |
| DAC6 | 4.77 | 4.73 | 4.73 | 0.8 |
| DAC7 | 2.15 | 2.13 | 2.13 | 0.9 |
| DAC8 | 1.96 | 1.95 | 1.95 | 0.5 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 0.7 |

Tabla 4.28 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC.

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC1 | 2.01 | 2.00 | 2.00 | 0.5 |
| DAC2 | 3.03 | 3.00 | 3.00 | 1.0 |
| DAC3 | 3.49 | 3.47 | 3.47 | 0.6 |

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC4 | 4.30 | 4.25 | 4.25 | 1.2 |
| DAC5 | 1.37 | 1.36 | 1.36 | 0.7 |
| DAC6 | 1.78 | 1.77 | 1.77 | 0.6 |
| DAC7 | 0.76 | 0.75 | 0.75 | 1.3 |
| DAC8 | 4.91 | 4.90 | 4.90 | 0.2 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 0.8 |

Tabla 4.29 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC.

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC1 | 4.03 | 4.01 | 4.01 | 0.5 |
| DAC2 | 3.58 | 3.55 | 3.55 | 0.8 |
| DAC3 | 4.02 | 4.00 | 4.00 | 0.5 |
| DAC4 | 1.01 | 1.00 | 1.00 | 1.0 |
| DAC5 | 2.46 | 2.44 | 2.44 | 0.8 |
| DAC6 | 1.51 | 1.50 | 1.50 | 0.7 |
| DAC7 | 4.23 | 4.20 | 4.20 | 0.7 |
| DAC8 | 3.90 | 3.88 | 3.88 | 0.5 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 0.7 |

Tabla 4.30 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC.

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC1 | 2.21 | 2.19 | 2.19 | 0.9 |
| DAC2 | 1.73 | 1.71 | 1.71 | 1.2 |
| DAC3 | 3.13 | 3.11 | 3.11 | 0.6 |
| DAC4 | 3.37 | 3.33 | 3.33 | 1.2 |
| DAC5 | 2.72 | 2.70 | 2.70 | 0.7 |
| DAC6 | 3.53 | 3.50 | 3.50 | 0.8 |
| DAC7 | 4.86 | 4.82 | 4.82 | 0.8 |

| Entrada analógica | Multímetro | Computador | LCD | % de error del PC respecto al multímetro |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|---|
| DAC8 | 2.38 | 2.37 | 2.37 | 0.4 |
| Porcentaje de error promedio % | | | | 0.8 |

Tabla 4.31 Prueba de generación de voltajes analógicos con el PC.

Los conversores digitales a analógicos del módulo de adquisición de datos tienen una resolución de 10 bits, por lo tanto el código que se carga en los registros de los convertidores DAC tienen un rango de 0 a 1023. Sin embargo para representar en el LCD los valores de voltaje en las salidas analógicas, se ha realizado conversiones numéricas, de modo que la visualización tenga un rango de 0 a 4.96, que son los valores reales de voltaje en las salidas analógicas.

El porcentaje de error promedio máximo de los valores cargados en el computador con respecto a las medidas hechas por el multímetro es menor al 1.1 %, por lo tanto el hardware y el software del módulo de adquisición de datos para generación de voltajes analógicos funciona correctamente.

4.1.8 PRUEBA DE GENERACIÓN DE SEÑALES DE VOLTAJE DIGITALES A TRAVÉS DEL COMPUTADOR

El módulo de adquisición de datos dispone de ocho salidas digitales TTL, cuyo estado es visualizado a través de ocho leds, y representado en el LCD como un número decimal cuyo rango está entre 0 y 255. La prueba de generación de señales digitales de voltaje a través del computador, consiste en cargar los valores digitales en los controles del instrumento virtual de Labview y enviarlos al módulo de adquisición de datos por comunicación infrarroja. Los controles digitales son ocho leds gráficos, que se activan y se desactivan pulsando sobre estos con el mouse, como se indica en la figura 4.11.

Para transferir los datos digitales se debe configurar el número de transmisiones que se va a realizar y el intervalo de tiempo entre cada transmisión. En la prueba

de transmisión de señales digitales se envía diez paquetes de datos digitales cada cinco segundos. Se obtiene como resultado que los valores digitales que se miden en el módulo de adquisición de datos corresponden a los valores que se cargaron en el computador. No se produjeron errores en la generación de señales de voltaje digitales a través del computador.

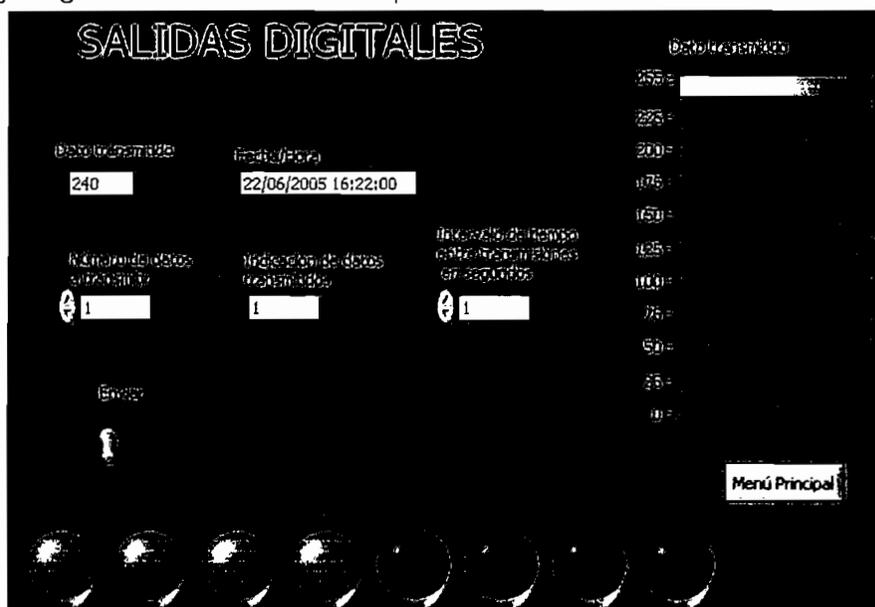


Figura 4.11 Instrumento virtual en Labview de las salidas digitales.

La figura 4.12 presenta una foto de la prueba de generación de voltajes digitales a través del PC.

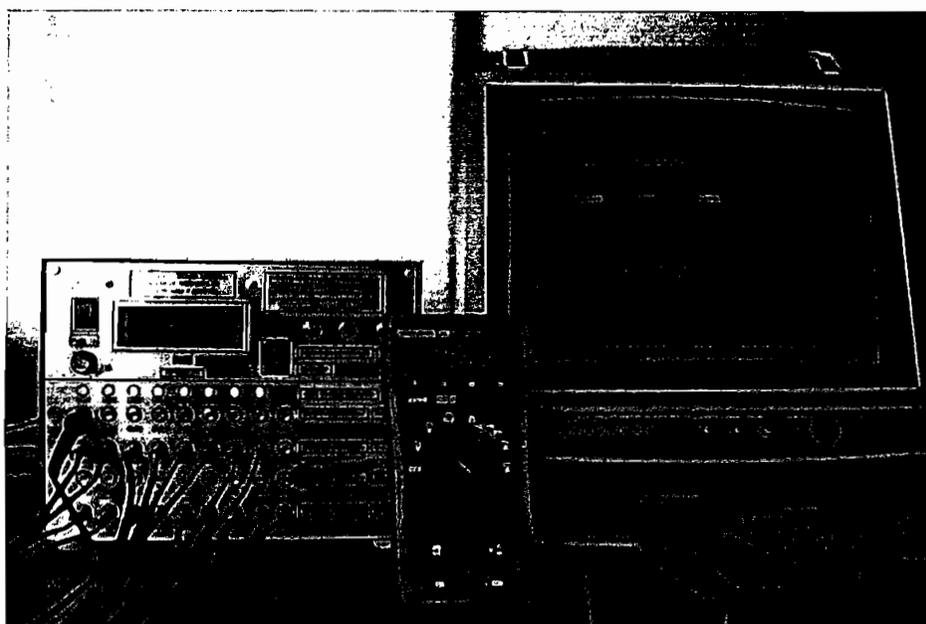


Figura 4.12 Prueba de generación de voltajes digitales a través del PC.

4.1.9 PRUEBA DE LECTURA DE LA MEMORIA EEPROM DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS A TRAVÉS DEL COMPUTADOR

Los datos almacenados en la memoria eeprom del módulo de adquisición de datos, fueron grabados cuando se realizó la adquisición de datos en modo autónomo. El computador envía los comandos de lectura de cada posición de memoria eeprom, por lo tanto para leer los 253 datos, el software de Labview, envía 253 comandos, uno por cada dato que espera recibir. Este proceso se realiza sin intervención del usuario, es decir que una vez iniciada la lectura de eeprom, se reciben los 253 datos automáticamente.

La prueba de lectura de la memoria eeprom del módulo de adquisición de datos a través del computador se la realiza simplemente pulsando el botón leer eeprom. Todos los datos son grabados en un archivo de texto y se los puede visualizar en forma numérica y gráfica, con separación de los datos digitales, analógicos y el dato del intervalo de tiempo de muestreo. La pantalla de lectura de eeprom permite visualizar los datos mientras se está realizando la recepción. La figura 4.13 presenta la pantalla de lectura de eeprom.

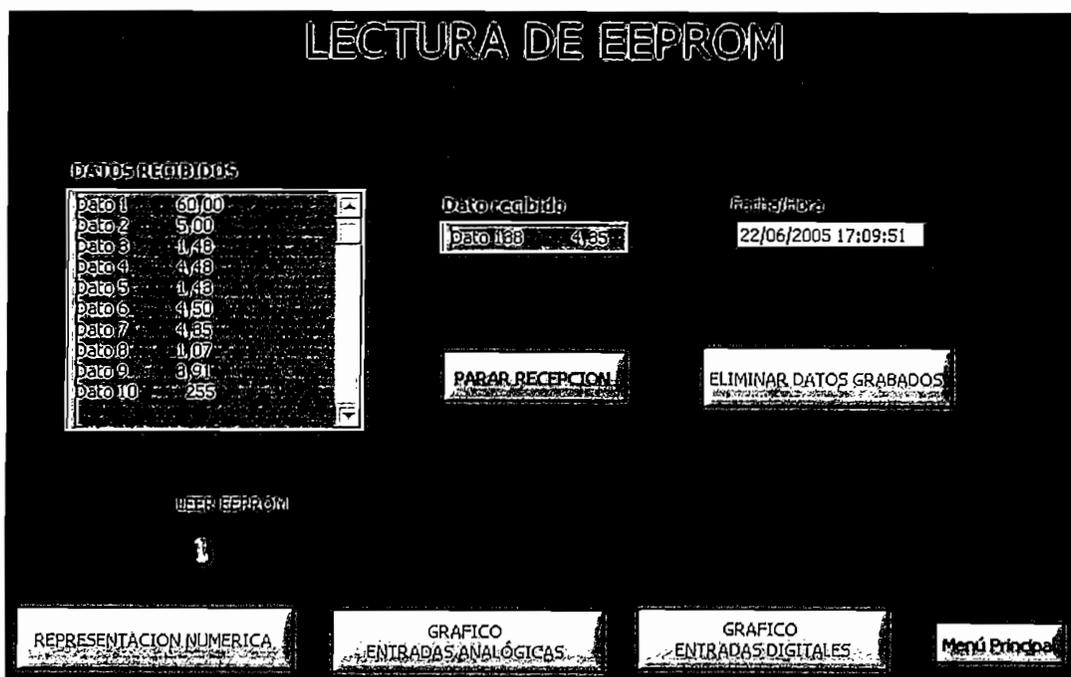


Figura 4.13 Pantalla de lectura de eeprom.

La lectura de la memoria eeprom a través del computador toma un tiempo aproximado de 45 segundos, en el cual se transmiten los 253 datos. En el LCD se puede visualizar el orden numérico de los datos transmitidos. La figura 4.14 se presenta una foto del sistema de adquisición de datos cuando se realiza la lectura de la memoria eeprom a través desde el computador.

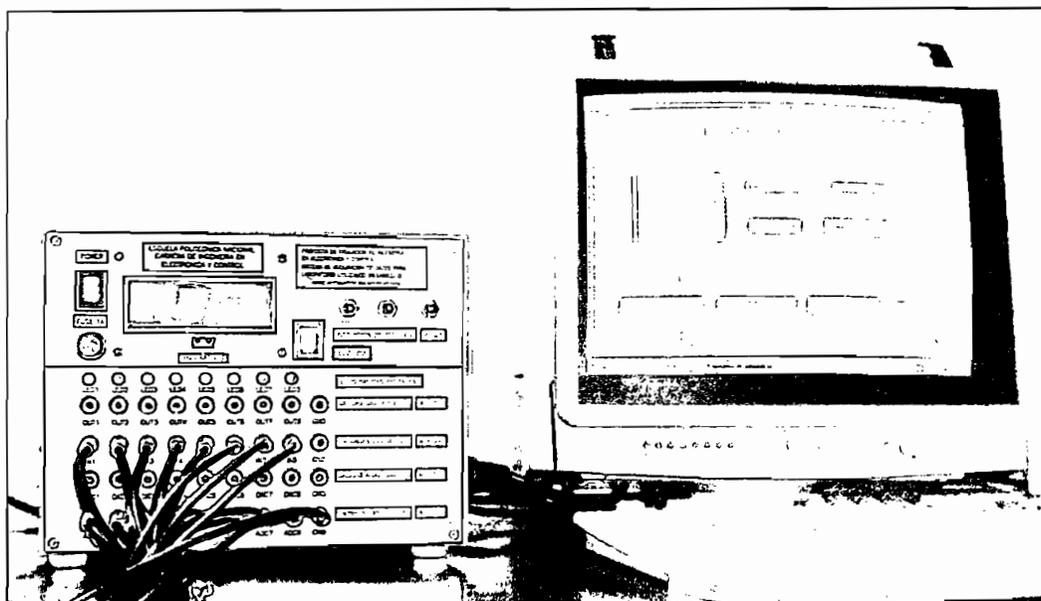


Figura 4.14 Prueba de lectura de la memoria eeprom a través del PC.

El resultado de esta prueba es correcto, no se generaron errores en la transmisión, ni en la grabación de los datos en el computador. Los datos grabados en eeprom corresponden a los valores que se almacenaron en el computador, lo cual se comprobó visualizando la representación numérica de los datos grabados en el computador y efectuando la lectura de eeprom del módulo de adquisición de datos funcionando en modo autónomo

4.1.10 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS Y DIGITALES

El instrumento virtual denominado transmisión y recepción de señales, es una interfaz de usuario desarrollada en Labview, que tiene el control de cuatro recursos del sistema de adquisición de datos, los cuales son: Entradas digitales,

entradas analógicas, salidas digitales y salidas analógicas. La figura 4.15 presenta la pantalla de Labview que controla los cuatro parámetros.

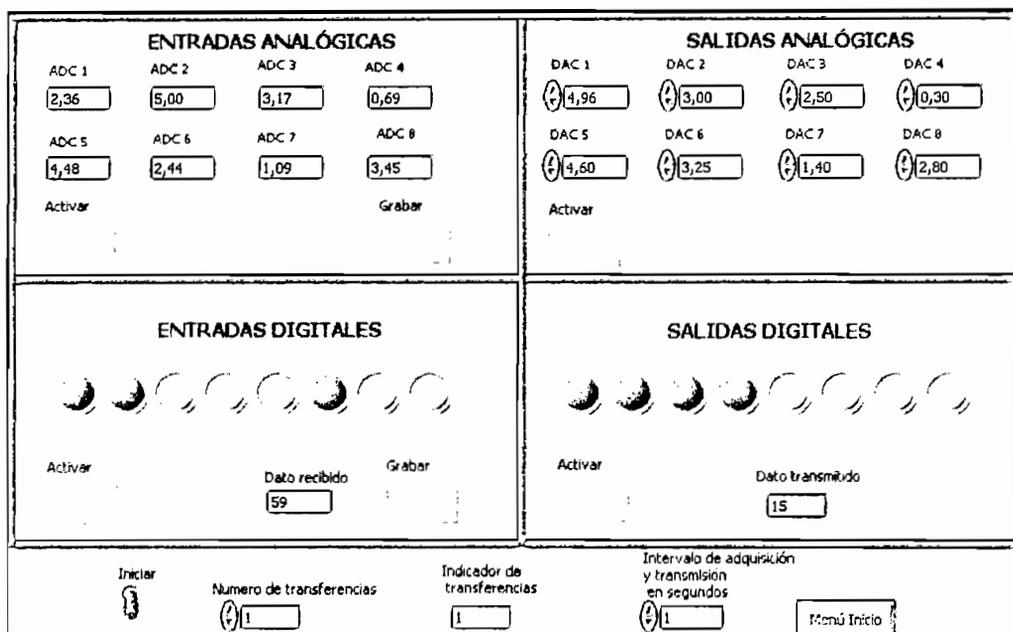


Figura 4.15 Pantalla de Labview que contiene cuatro parámetros.

La prueba de funcionamiento de los cuatro parámetros, se realiza activando la adquisición de señales analógicas y digitales y la generación de voltajes analógicos y digitales. Como se indica en la figura 4.15 se puede activar independientemente cada parámetro de control, además se dispone de dos botones para grabar los datos de las entradas analógicas y digitales. Las tablas 4.32 a 4.36 presentan las medidas de las entradas y salidas analógicas hechas con el multímetro, los valores recibidos en el computador desde las entradas analógicas, los valores cargados en el computador para las salidas analógicas y el porcentaje de error de los datos analógicos cargados en el computador respecto a los voltajes medidos con el multímetro.

| Canal analógico | Multímetro | Computador | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|-----------------|------------|------------|--|
| ADC1 | 4.51 | 4.59 | 1.8 |
| ADC2 | 0.83 | 0.85 | 2.4 |
| ADC3 | 2.71 | 2.77 | 2.2 |
| ADC4 | 3.47 | 3.54 | 2.0 |

| Canal analógico | Multímetro | Computador | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|---------------------------------------|------------|------------|--|
| ADC5 | 1.43 | 1.47 | 2.8 |
| ADC6 | 4.93 | 5.00 | 1.4 |
| ADC7 | 1.91 | 1.95 | 2.1 |
| ADC8 | 4.06 | 4.13 | 1.7 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 2.1 |
| DAC1 | 1.13 | 1.12 | 0.9 |
| DAC2 | 2.47 | 2.45 | 0.8 |
| DAC3 | 3.65 | 3.63 | 0.5 |
| DAC4 | 4.29 | 4.24 | 1.2 |
| DAC5 | 2.87 | 2.85 | 0.7 |
| DAC6 | 3.43 | 3.41 | 0.6 |
| DAC7 | 2.90 | 2.88 | 0.7 |
| DAC8 | 1.57 | 1.56 | 0.6 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 0.8 |

Tabla 4.32 Prueba de las entradas y salidas analógicas y digitales.

| Canal analógico | Multímetro | Computador | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|---------------------------------------|------------|------------|--|
| ADC1 | 2.91 | 2.96 | 1.7 |
| ADC2 | 4.37 | 4.45 | 1.8 |
| ADC3 | 0.69 | 0.71 | 2.9 |
| ADC4 | 1.37 | 1.40 | 2.2 |
| ADC5 | 2.49 | 2.55 | 2.4 |
| ADC6 | 0.49 | 0.50 | 2.0 |
| ADC7 | 3.83 | 3.91 | 2.1 |
| ADC8 | 4.99 | 5.00 | 0.2 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 1.9 |
| DAC1 | 3.27 | 3.25 | 0.6 |
| DAC2 | 1.49 | 1.48 | 0.7 |
| DAC3 | 2.58 | 2.56 | 0.8 |

| Canal analógico | Multímetro | Computador | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|---------------------------------------|------------|------------|--|
| DAC4 | 3.87 | 3.82 | 1.3 |
| DAC5 | 1.46 | 1.45 | 0.7 |
| DAC6 | 2.26 | 2.24 | 0.9 |
| DAC7 | 1.80 | 1.78 | 1.1 |
| DAC8 | 2.59 | 2.58 | 0.4 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 0.8 |

Tabla 4.33 Prueba de las entradas y salidas analógicas y digitales.

| Canal analógico | Multímetro | Computador | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|---------------------------------------|------------|------------|--|
| ADC1 | 0.48 | 0.49 | 2.1 |
| ADC2 | 3.54 | 3.62 | 2.3 |
| ADC3 | 1.39 | 1.42 | 2.2 |
| ADC4 | 3.43 | 3.50 | 2.0 |
| ADC5 | 1.76 | 1.79 | 1.7 |
| ADC6 | 0.57 | 0.58 | 1.8 |
| ADC7 | 3.22 | 3.27 | 1.6 |
| ADC8 | 0.68 | 0.70 | 2.9 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 2.1 |
| DAC1 | 2.13 | 2.12 | 0.5 |
| DAC2 | 4.22 | 4.19 | 0.7 |
| DAC3 | 3.89 | 3.87 | 0.5 |
| DAC4 | 1.37 | 1.36 | 0.7 |
| DAC5 | 2.80 | 2.78 | 0.7 |
| DAC6 | 4.42 | 4.39 | 0.7 |
| DAC7 | 3.74 | 3.71 | 0.8 |
| DAC8 | 3.12 | 3.11 | 0.3 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 0.6 |

Tabla 4.34 Prueba de las entradas y salidas analógicas y digitales.

| Canal analógico | Multímetro | Computador | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|---------------------------------------|------------|------------|--|
| ADC1 | 3.55 | 3.63 | 2.3 |
| ADC2 | 2.71 | 2.77 | 2.2 |
| ADC3 | 3.43 | 3.50 | 2.0 |
| ADC4 | 1.33 | 1.37 | 3.0 |
| ADC5 | 4.03 | 4.11 | 2.0 |
| ADC6 | 2.37 | 2.41 | 1.7 |
| ADC7 | 1.05 | 1.08 | 2.9 |
| ADC8 | 4.44 | 4.52 | 1.8 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 2.2 |
| DAC1 | 3.59 | 3.57 | 0.6 |
| DAC2 | 2.36 | 2.34 | 0.8 |
| DAC3 | 4.71 | 4.68 | 0.6 |
| DAC4 | 4.91 | 4.91 | 0.0 |
| DAC5 | 1.20 | 1.21 | 0.8 |
| DAC6 | 2.91 | 2.89 | 0.7 |
| DAC7 | 3.48 | 3.45 | 0.9 |
| DAC8 | 4.23 | 4.21 | 0.5 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 0.6 |

Tabla 4.35 Prueba de las entradas y salidas analógicas y digitales.

| Canal analógico | Multímetro | Computador | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|-----------------|------------|------------|--|
| ADC1 | 4.27 | 4.35 | 1.9 |
| ADC2 | 2.63 | 2.68 | 1.9 |
| ADC3 | 1.43 | 1.47 | 2.8 |
| ADC4 | 3.43 | 3.49 | 1.7 |
| ADC5 | 1.13 | 1.16 | 2.7 |
| ADC6 | 3.55 | 3.63 | 2.3 |
| ADC7 | 4.64 | 4.74 | 2.2 |
| ADC8 | 3.34 | 3.41 | 2.1 |

| Canal analógico | Multímetro | Computador | Porcentaje de error con respecto al multímetro |
|---------------------------------------|------------|------------|--|
| Porcentaje de error promedio % | | | 2.2 |
| DAC1 | 4.69 | 4.66 | 0.6 |
| DAC2 | 2.90 | 2.88 | 0.7 |
| DAC3 | 3.61 | 3.59 | 0.6 |
| DAC4 | 1.25 | 1.23 | 1.6 |
| DAC5 | 4.35 | 4.32 | 0.7 |
| DAC6 | 3.45 | 3.43 | 0.6 |
| DAC7 | 2.01 | 2.00 | 0.5 |
| DAC8 | 4.02 | 4.00 | 0.5 |
| Porcentaje de error promedio % | | | 0.7 |

Tabla 4.36 Prueba de las entradas y salidas analógicas y digitales.

El porcentaje de error promedio máximo para las entradas analógicas es del 2.1%, mientras que para las salidas analógicas es de 0.8%. Los resultados de funcionamiento de los cuatro parámetros controlados desde la misma pantalla tienen muy poca diferencia con los resultados obtenidos en las pruebas individuales, en los cuales se obtuvo 2.3% de porcentaje de error máximo en las entradas analógicas y 1.1 % en las salidas analógicas.

El funcionamiento de las entradas y salidas digitales controladas desde la pantalla denominada todos los parámetros, es correcto. No se genera errores en el control de las salidas digitales, ni en la adquisición de datos digitales.

4.1.11 PRUEBA DE DISTANCIAS Y ÁNGULOS DE LOS INFRARROJOS

Las pruebas de adquisición de datos realizadas en interconexión con el computador, indican un funcionamiento correcto de los transceptores de infrarrojos, tanto para transmisión como para recepción de datos seriales infrarrojos. Las pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos determinan la distancia mínima y máxima de comunicación infrarroja y el ángulo máximo entre los transceptores de infrarrojos. Para determinar los datos de los parámetros de

distancia y grado angular, se ha realizado comunicación infrarroja a distancias de hasta tres metros sesenta centímetros y con ángulos mitad^[1] de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 grados. En cada caso se indica si funciona o no la comunicación.

Para variar el ángulo y la distancia entre los dispositivos infrarrojos, el módulo de adquisición de datos se fija en una posición, y el transceptor de infrarrojos para el computador se lo mueve en distancia y ángulo. Luego de medir los ángulos y distancias de prueba, se fija las posiciones del transceptor de infrarrojos del computador y del módulo de adquisición de datos, no se debe mover los transceptores ópticos mientras se establece la comunicación, de lo contrario pueden ocurrir fallas. Después de que el transceptor de infrarrojos y el módulo de adquisición de datos están en posiciones fijas y se tiene las medidas de distancia y ángulo, se inicia la comunicación, realizando pruebas de transmisión y recepción. Las tablas 4.37 a 4.45 presentan los resultados de la prueba de distancias y ángulos entre los transceptores infrarrojos.

La figura 4.16 presenta una foto del módulo de adquisición de datos y de la tarjeta transceptor de infrarrojos para el PC.

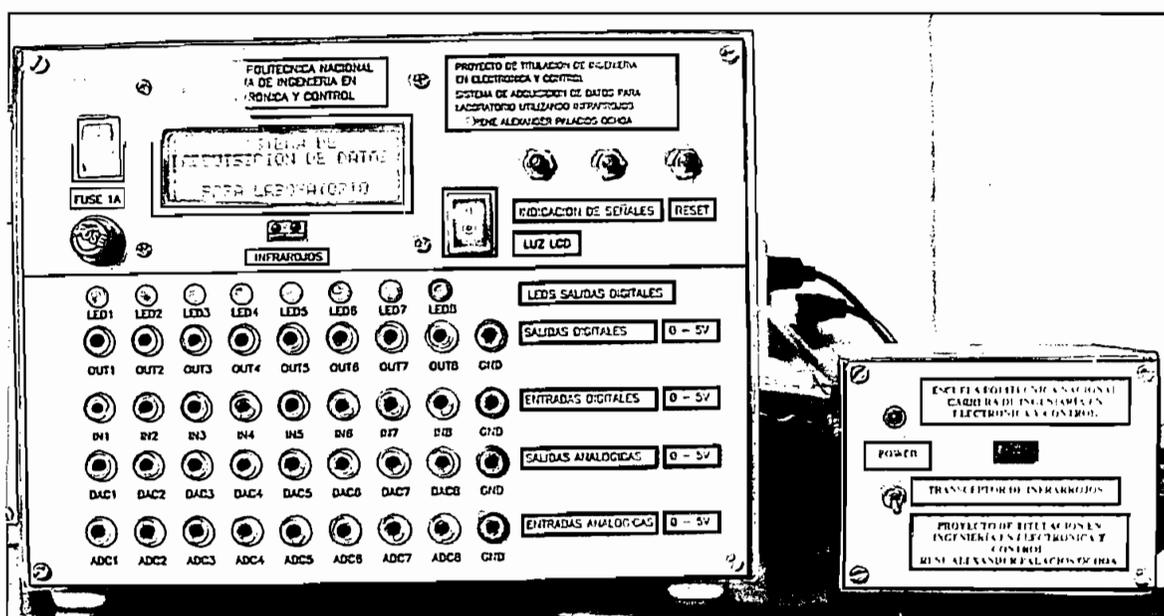


Figura 4.16 Módulo de adquisición de datos y transceptor de infrarrojos para PC.

^[1] El Angulo mitad se define como la mitad del ángulo del cono cuya cúspide está en el centro del puerto óptico y cuyo eje es normal a la superficie del puerto.

Tanto en el módulo de adquisición de datos como en la tarjeta de infrarrojos para el PC, los transceptores ópticos de infrarrojos han sido colocados en el panel frontal, dejando descubierta la superficie del puerto óptico, de modo que no se limite el ángulo de cobertura.

| Angulo entre transceptores de infrarrojos de 0 grados | | | | | | | | | | | |
|--|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Distancia (m) | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.40 | 1.60 |
| Funciona | no | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si |
| Distancia (m) | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.20 | 3.40 | 3.50 | 3.60 |
| Funciona | si | si | si | si | si | si | si | si | si | no | no |

Tabla 4.37 Prueba de distancias y ángulos de los infrarrojos.

| Angulo entre transceptores de infrarrojos de 5 grados | | | | | | | | | | | |
|--|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Distancia (m) | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.40 | 1.60 |
| Funciona | no | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si |
| Distancia (m) | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.20 | 3.40 | 3.50 | 3.60 |
| Funciona | si | si | si | si | si | si | si | si | no | no | no |

Tabla 4.38 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos.

| Angulo entre transceptores de infrarrojos de 10 grados | | | | | | | | | | | |
|---|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Distancia (m) | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.40 | 1.60 |
| Funciona | no | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si |
| Distancia (m) | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.20 | 3.40 | 3.50 | 3.60 |
| Funciona | si | si | si | si | si | si | si | no | no | no | no |

Tabla 4.39 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos.

| Angulo entre transceptores de infrarrojos de 15 grados | | | | | | | | | | | |
|---|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Distancia (m) | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.40 | 1.60 |
| Funciona | no | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si |
| Distancia (m) | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.20 | 3.40 | 3.50 | 3.60 |
| Funciona | si | si | si | si | si | si | si | no | no | no | no |

Tabla 4.40 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos.

| Angulo entre transeptores de infrarrojos de 20 grados | | | | | | | | | | | |
|--|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Distancia (m) | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.40 | 1.60 |
| Funciona | no | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si |
| Distancia (m) | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.20 | 3.40 | 3.50 | 3.60 |
| Funciona | si | si | si | si | si | no | no | no | no | no | no |

Tabla 4.41 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos.

| Angulo entre transeptores de infrarrojos de 25 grados | | | | | | | | | | | |
|--|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Distancia (m) | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.40 | 1.60 |
| Funciona | no | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si |
| Distancia (m) | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.20 | 3.40 | 3.50 | 3.60 |
| Funciona | si | no | no | no | no | no | no | no | no | no | no |

Tabla 4.42 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos.

| Angulo entre transeptores de infrarrojos de 30 grados | | | | | | | | | | | |
|--|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Distancia (m) | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.40 | 1.60 |
| Funciona | no | si | si | si | si | si | si | si | si | no | no |
| Distancia (m) | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.20 | 3.40 | 3.50 | 3.60 |
| Funciona | no | no | no | no | no | no | no | no | no | no | no |

Tabla 4.43 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos.

| Angulo entre transeptores de infrarrojos de 35 grados | | | | | | | | | | | |
|--|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Distancia (m) | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.40 | 1.60 |
| Funciona | no | si | si | si | si | si | si | no | no | no | no |
| Distancia (m) | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.20 | 3.40 | 3.50 | 3.60 |
| Funciona | no | no | no | no | no | no | no | no | no | no | no |

Tabla 4.44 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos.

| Angulo entre transeptores de infrarrojos de 40 grados | | | | | | | | | | | |
|--|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Distancia (m) | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.40 | 1.60 |
| Funciona | no | no | si | si | si | si | no | no | no | no | no |

| Angulo entre transeptores de infrarrojos de 40 grados | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Distancia (m) | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.20 | 3.40 | 3.50 | 3.60 |
| Funciona | no | no | no | no |

Tabla 4.45 Pruebas de distancias y ángulos de los infrarrojos.

La norma de comunicación infrarroja IrDA SIR, establece que la comunicación infrarroja debe funcionar correctamente a una distancia máxima entre los transeptores ópticos de por lo menos un metro, y para un ángulo mitad de mínimo 15 grados. El resultado obtenido de las pruebas establece que la distancia de comunicación tiene un rango de cinco centímetros a 3 metros, para un ángulo mitad de 0 a 15 grados. Por lo tanto cumple las especificaciones de ángulo mitad y de distancia máxima de la norma IrDA serial.

Los resultados obtenidos indican que a medida que se aumenta la distancia entre los transeptores ópticos, el ángulo mitad debe disminuirse para que la comunicación infrarroja funcione. La condición de mayor ángulo en la que aún funciona el sistema cumpliendo con la norma IrDA es de 25 grados a una distancia de un metro veinte centímetros. Los infrarrojos no pueden atravesar objetos, por lo que si un objeto bloquea la línea de comunicación infrarroja, se corta la comunicación. En este caso es necesario reiniciar la comunicación desde el computador y reiniciar el módulo de adquisición de datos, para asegurar las condiciones iniciales configuradas para el funcionamiento del sistema de adquisición de datos.

4.1.12 LIMITACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

En base a las pruebas de funcionamiento del sistema de adquisición de datos, a los elementos de hardware y al software de desarrollo utilizados para este proyecto, se establece las siguientes limitaciones y requerimientos del sistema:

- El software del sistema de adquisición de datos funciona en los sistemas operativos de Microsoft Windows (Win98se, WinMe, WinXP), los

requerimientos de hardware son los mismos que el sistema operativo requiere para ser instalado. Por lo tanto el software del sistema de adquisición de datos puede instalarse en cualquier computador que funcione con uno de los sistemas operativos indicados.

- Para conectar el transceptor de infrarrojos al computador se requiere que el computador disponga de un puerto serial con una UART estándar.
- El límite de funcionamiento del sistema de adquisición de datos es de 3 metros de distancia a 15 grados de ángulo mitad, y en cuanto a la limitación por ángulo, el enlace infrarrojo puede funcionar con un ángulo mitad de 25 grados a 1 metro veinte centímetros de distancia.
- Todas las señales que se ingrese al módulo de adquisición de datos deben ser previamente acondicionadas en un rango de 0 a 5 voltios para entradas analógicas y niveles de voltaje TTL para las entradas digitales. De igual forma las salidas digitales tienen niveles TTL y las salidas analógicas tiene un rango de 0 a 5 voltios, por lo tanto para utilizar estas señales en cualquier aplicación de control se deben tomar las medidas de seguridad correspondientes
- El tiempo mínimo de muestreo es de un segundo, por lo tanto el sistema está diseñado para aplicaciones de baja velocidad. La tasa de transferencia de datos en la comunicación serial infrarroja es de 9.6 KB/s.
- Puede almacenar 253 datos en memoria eeprom, la cual contiene los valores digitalizados de las entradas analógicas, entradas digitales y el intervalo de tiempo de muestreo. La memoria eeprom tiene un tiempo de vida de cien mil ciclos de escritura borrado.
- El software de adquisición desarrollado en Labview para el control del módulo de adquisición de datos, tiene recursos fijos para configuración del sistema. Para realizar modificaciones o añadir funciones al sistema, se debe disponer de los diagramas de bloque de Labview, que equivalen al código fuente.

4.2 COSTO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El cálculo del costo para el diseño y construcción del sistema de adquisición de datos incluye costos de: elementos electrónicos, construcción de tarjetas, cajas, elementos en los paneles de las cajas, desarrollo del software, programador de microcontroladores y transporte de los elementos electrónicos importados.

4.2.1 COSTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y DEL TRANSEPTOR PARA EL COMPUTADOR

| Número | Materiales | Costo unitario en dólares | Costo total en dólares |
|--------|--|---------------------------|------------------------|
| 1 | Microcontrolador atmega16 | 12.0 | 12 |
| 2 | Decodificador de infrarrojos MCP2120 | 3.0 | 6 |
| 2 | Transceptores de infrarrojos TFDS4500 | 8.0 | 16 |
| 2 | Convertidores digitales a analógicos max5250 | 18.0 | 36 |
| 2 | Referencias de voltaje de 2.5V max6225 | 8.20 | 16.4 |
| 2 | Convertidor TTL/RS232 max232 | 4.30 | 8.6 |
| 1 | LCD alfanumérico 4x20 | 39 | 39 |
| 3 | Expansores de puertos PCF8574 | 2.40 | 7.2 |
| 2 | LM7805 | 0.80 | 1.6 |
| 2 | Puentes de diodos | 0.60 | 1.2 |
| 2 | Cristales de 7.3728 Mhz | 1.30 | 2.6 |
| 22 | Capacitores de poliéster 0.1 uF | 0.30 | 6.6 |
| 5 | Capacitores electrolíticos 1 uF | 0.20 | 1 |
| 4 | Capacitores cerámicos 18 pF | 0.20 | 0.8 |
| 2 | Capacitores electrolíticos 22 uF | 0.20 | 0.4 |
| 2 | Capacitores electrolíticos 2.2 uF | 0.20 | 0.4 |

| Número | Materiales | Costo unitario en dólares | Costo total en dólares |
|--------|--|---------------------------|------------------------|
| 2 | Capacitores electrolíticos 1000uF | 0.60 | 1.2 |
| 2 | Capacitores electrolíticos 4.7 uF | 0.20 | 0.4 |
| 2 | Capacitores electrolíticos 10 uF | 0.20 | 0.4 |
| 45 | Resistencias de 10K, 1K, 330, 100, 13, 47 ohmios | 0.04 | 1.8 |
| 10 | Diodos leds | 0.10 | 1 |
| 1 | Batería de 9V | 2.80 | 2.8 |
| 36 | Borneras para conectores plug | 0.30 | 10.8 |
| 12 | Borneras de tres conexiones | 0.60 | 7.2 |
| 3 | interruptores | 0.40 | 1.2 |
| 3 | pulsadores | 0.20 | 0.6 |
| 2 | Fusibles y portafusibles | 0.30 | 0.6 |
| 2 | Cables de poder | 1.00 | 2 |
| 2 | Conectores para cable de poder | 0.50 | 1 |
| 1 | Conector DB9 | 0.60 | 0.60 |
| 1 | Transformador | 12V, 0.5A | 3 |
| 1 | Transformador 12 V, 2 A | 5 | 5 |
| 1 | Bus de datos | 2 | 2 |
| 1 | Hilera de 40 pines | 1 | 1 |
| 11 | Zócalos circuitos integrados | 0.3 | 3.3 |
| TOTAL | | | 201.7 |

Tabla 4.46 Costo de materiales para la construcción del módulo de adquisición de datos y del transceptor de infrarrojos para el computador.

4.2.2 COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE TARJETAS Y CAJAS

| Número | Descripción | Costo total en dólares |
|--------|--|------------------------|
| 1 | Tarjeta principal de circuito impreso del módulo de adquisición de datos | 40 |

| Número | Descripción | Costo total en dólares |
|---------------|---|-------------------------------|
| 1 | Tarjeta de circuito impreso para el transceptor de infrarrojos del computador | 15 |
| 1 | Panel para el módulo de adquisición de datos | 40 |
| 1 | Panel para el transceptor de infrarrojos del PC | 5 |
| 1 | Caja para la tarjeta principal. | 35 |
| 1 | Caja para la tarjeta del transceptor de infrarrojos del PC | 15 |
| TOTAL | | 150 |

Tabla 4.47 Costo de construcción de tarjetas y cajas

4.2.3 COSTO DE ELEMENTOS ADICIONALES

El programador de microcontroladores no es parte del diseño del sistema de adquisición de datos, sin embargo es indispensable, para el desarrollo del módulo de adquisición de datos. Se utiliza 17 cables con conectores plug banana para interconectar el módulo de adquisición de datos con el módulo de señales, y un cable con conectores DB9 para conectar el módulo de adquisición de datos con el PC. La tabla 4.48 presenta una lista de elementos adicionales.

| Número | Descripción | Costo unitario en dólares | Costo unitario en dólares |
|---------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Programador de microcontroladores AVR | 40 | 40 |
| 32 | Conectores plug banana | 0.20 | 6.4 |
| 2 | Conectores DB9 | 0.60 | 1.20 |
| 5 | Cable UTP | 0.35 | 1.75 |
| 14 | Cable en metros | 0.5 | 7.0 |
| TOTAL | | | 56.35 |

Tabla 4.48 Costo de elementos adicionales

4.2.4 COSTO DEL MODULO DE SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES

El módulo de señales analógicas y digitales, fue construido para realizar pruebas de funcionamiento del módulo de adquisición de datos. La caja del módulo de señales y el panel frontal constituyen el 65% del valor total del módulo de señales. La tabla 4.49 enumera la lista de materiales utilizados con sus respectivos costos.

| Número | Descripción | Costo unitario en dólares | Costo total en dólares |
|--------|------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1 | LM7805 | 0.80 | 0.80 |
| 10 | Borneras de dos puntos de conexión | 0.60 | 6.0 |
| 1 | Tarjeta de circuito impreso | 10.0 | 10.0 |
| 1 | Panel para el módulo de señales | 40 | 40 |
| 1 | Caja para la tarjeta electrónica | 35 | 35 |
| 1 | Transformador de 9 V, 2 A | 5.0 | 5.0 |
| 1 | Puente de diodos | 0.60 | 0.60 |
| 8 | Resistencias 10K | 0.04 | 0.4 |
| 1 | Capacitor electrolíticos 10 uF | 0.20 | 0.20 |
| 1 | Capacitor electrolíticos 1000 uF | 0.60 | 0.60 |
| 10 | Capacitores cerámicos 0.1 uF | 0.1 | 1.0 |
| 1 | Porta-fusible y fusible | 0.3 | 0.3 |
| 18 | Bornera para conectores plug | 0.3 | 5.4 |
| 8 | Interruptores | 0.4 | 3.2 |
| 8 | Conectores para potenciómetros | 0.3 | 2.4 |
| 8 | Potenciómetros | 0.4 | 3.2 |
| TOTAL | | | 114.1 |

Tabla 4.49 Costo de materiales del módulo de señales analógicas y digitales.

4.2.5 COSTO DE IMPORTACIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

La mayoría de elementos electrónicos utilizados en la construcción del hardware del sistema de adquisición de datos, fueron importados. El costo de impuestos en la compra de los elementos está incluido en el valor unitario. El transceptor óptico

de infrarrojos tiene un valor de 8 dólares, y el costo de envío internacional tiene un costo de 70 dólares. La tabla 4.50 presenta los costos de transporte de los elementos electrónicos.

| Descripción | Costo en dólares |
|---|------------------|
| Costo de transporte y envío transceptor de infrarrojos TFDS4500 desde España | 70 |
| Costo de transporte y envío max5250, max6225, mcp2120, pcf8574, atmega16, cristales, LCD de EEUU. | 60 |
| TOTAL | 130 |

Tabla 4.50 Costo de importación de elementos electrónicos.

4.2.6 COSTO TOTAL DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La tabla 4.51 presenta los costos totales de construcción del hardware del sistema de adquisición de datos. Se tiene dos costos totales separados, el primero no incluye el costo del módulo de señales analógicas y digitales, y el segundo si lo incluye.

| Descripción | Costo en dólares |
|--|------------------|
| Costo de materiales para la construcción del modulo de adquisición de datos y del transceptor para el computador | 201.7 |
| Costo de construcción de tarjetas y cajas | 150 |
| Costo de elementos adicionales | 56.35 |
| Costo modulo de señales analógicas y digitales | 114.1 |
| Costo de importación de elementos electrónicos | 130 |
| Costo total sin incluir el módulo de señales | 538.05 |
| Costo total con el módulo de señales | 652.15 |

Tabla 4.51 Costo total del hardware del sistema de adquisición de datos.

4.2.7 COSTO DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El costo de diseño e implementación del sistema de adquisición de datos incluye tiempo empleado en investigación, selección de los componentes adecuados, diseño, construcción del hardware del sistema de adquisición de datos, estudio del funcionamiento de los dispositivos programables, desarrollo de la aplicación de software en Labview y la programación del microcontrolador atmega16 en Bascom-avr. La tabla 4.52 presenta una lista de costos por diseño e implementación del sistema de adquisición de datos.

| Descripción | Costo en dólares |
|--|------------------|
| Diseño y construcción del hardware del sistema de adquisición de datos | 200 |
| Diseño de algoritmos y programación del microcontrolador atmega16 | 200 |
| Desarrollo del software en Labview | 300 |
| TOTAL | 700 |

Tabla 4.52 Costo de diseño e implementación del sistema de adquisición de datos

4.2.8 COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El costo total del sistema de adquisición de datos para laboratorio utilizando infrarrojos está conformado por dos partes que son el costo de diseño, programación e implementación y el costo total del hardware del sistema. La tabla 4.53 presenta el costo total del sistema incluyendo el módulo de señales analógicas y digitales, y la tabla 4.54 no incluye el módulo de señales.

| Descripción | Costo en dólares |
|--|------------------|
| Diseño y construcción del hardware del sistema de adquisición de datos | 538.05 |
| Costo de diseño e implementación del sistema de adquisición de datos | 700 |
| Total | 1238.05 |

Tabla 4.53 Costo total del sistema de adquisición de datos.

| Descripción | Costo en dólares |
|--|------------------|
| Diseño y construcción del hardware del sistema de adquisición de datos | 538.05 |
| Costo modulo de señales analógicas y digitales | 114.1 |
| Costo de diseño e implementación del sistema de adquisición de datos | 700 |
| Total | 1352.15 |

Tabla 4.54 Costo total del sistema de adquisición de datos, incluye el módulo de señales analógicas y digitales.

4.2.9 COSTO DEL SOFTWARE PARA DESARROLLO

El software utilizado para la programación del microcontrolador atmega16 es Bascom-avr, y para el desarrollo del programa en el computador es Labview. El costo de estos dos paquetes de software no se incluye en el costo total del sistema de adquisición de datos, ya que el sistema no requiere tener instalado estos dos programas para funcionar, estos paquetes de software fueron utilizados solo para desarrollo de la aplicación. La tabla 4.55 presenta los precios de Labview 7.1 de National Instruments y de Bascom-avr de MCS electronic.

| Descripción | Costo en dólares |
|-------------------------|------------------|
| BASCOM AVR | 105 |
| Labview 7.1 Base | 1195 |
| Labview 7.1 Full | 2395 |
| Labview 7.1 Profesional | 4095 |

Tabla 4.55 Costo del software para desarrollo.

4.2.10 PRECIOS DE DATA LOGGERS Y TARJETAS DAQ COMERCIALES

La tabla 4.56 presenta una lista de precios de algunas tarjetas de adquisición de datos y de data loggers comerciales cuya descripción de las características técnicas se realizó en el capítulo uno.

| Data logger, tarjeta de adquisición de datos | Precio en dólares |
|---|--------------------------|
| Data logger NI-USB-9211 de National Instruments | 395 |
| Data logger NI-USB-4350 de National Instruments | 1095 |
| High-Accuracy M Series Devices, NI PCI-6284 (32 Analog Inputs, 48 Digital I/O) de National Instruments | 1495 |
| NI PCI-7041 Real-Time Multifunction Board with 6040E series E de National Instruments | 2995 |
| NI PXI-6123 (32M SAMPLES) S SERIES MULTIFUNCTION DAQ DEVICE de National Instruments | 2695 |
| NI PCI-6013 Basic Multifunction I/O & NI DAQ seires B de bajo costo de National Instruments | 395 |
| NI PXI-6704 DC Analog Output Bd and NI-DAQ Software | 1395 |
| Data logger de temperatura HI141JH de Hanna Instruments con transmisor para infrarrojos y software para Windows | 552 |
| Data Logger GL500 de Western Graphtec | 3300 |
| Data Logger GL400 de Western Graphtec | 2700 |
| Data Logger GL350 de Western Graphtec | 2200 |

Tabla 4.56 Costo de data loggers y DAQs comerciales.

Los precios de los sistemas de adquisición de datos comerciales, están en un rango comprendido entre los cientos de dólares hasta los miles de dólares. Los precios varían según los recursos del sistema de adquisición de datos como son el número de canales analógicos y digitales, pantallas LCD para visualización, la precisión, y la velocidad de los digitalizadores.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto, esto es el diseño y construcción del sistema de adquisición de datos con comunicación infrarroja, y el desarrollo del software de control en el computador ha sido cumplido en su totalidad. El transceptor de infrarrojos para la tarjeta de adquisición de datos se ha incluido en un solo módulo con todos los recursos de hardware del sistema. La tarjeta transceptor de infrarrojos para el PC se conecta con éste a través del puerto serial.

El sistema de adquisición de datos implementado dispone de características similares a los data loggers comerciales al realizar almacenamiento de datos en forma autónoma mediante memoria eeprom integrada al sistema. Además se puede grabar los datos digitalizados en el disco duro del computador utilizando un archivo de texto, y realizar gráficas de las tendencias de los datos registrados.

Actualmente se están fabricando dispositivos electrónicos que disponen de comunicación infrarroja, como son los celulares, calculadoras científicas, PDAs, teclados, etc., y en este proyecto se ha construido un módulo de adquisición de datos con comunicación infrarroja, para continuar con esta tendencia creciente.

El sistema de adquisición de datos funciona en los sistemas operativos de Microsoft Windows (Win98se, WinMe, WinXP) como se indicó en el planteamiento de este proyecto. El computador debe tener un puerto serial para conectar el transceptor de infrarrojos, y si dispone de uno de los sistemas operativos antes mencionados, el software del sistema de adquisición de datos puede ser instalado y funcionar correctamente.

El hardware del sistema de adquisición de datos tiene todos los elementos planteados para el proyecto. Dispone de entradas analógicas, entrada digitales,

salidas analógicas, salidas digitales y una pantalla LCD para visualización del estado de todos los parámetros del sistema. Además de estos recursos se le ha añadido memoria eeprom para funcionamiento autónomo.

El sistema de adquisición de datos tiene un costo relativamente económico comparado con las tarjetas de adquisición de datos y *data loggers* comerciales, los cuales tienen precios en el orden de los miles de dólares. Las tarjetas de adquisición de datos de mayor costo son las que tienen digitalizadores de mayor resolución, y de más alta velocidad, mientras que los *data loggers* más costosos disponen de pantallas LCD a color y dispositivos de almacenamiento extraíbles como memorias flash. El sistema de adquisición de datos que se ha construido también dispone de un LCD, para presentar el estado y configuración de los parámetros de adquisición de datos y de memoria para funcionar en forma autónoma, pero en este sistema se ha optimiza costos en los convertidores DAC y ADC, los cuales son de 10 bits, y en memoria eeprom al utilizar la del microcontrolador. Esta aplicación no requiere de una resolución superior a 10 bits, ni tampoco grandes cantidades de memoria, ya que el sistema será utilizado en laboratorio, y no en adquisición de datos continua como en las industrias para monitoreo.

El sistema de adquisición de datos ha sido desarrollado con tecnología de infrarrojos IrDA SIR, por lo tanto la tasa de transferencia de información digital entre la tarjeta de adquisición de datos y el computador es de baja velocidad, en el orden de los kbits por segundo. La implementación del hardware y del software se ha desarrollado con una tasa de transferencia de 9.6 Kb/s. Esta velocidad es suficiente para señales de control, y para señales analógicas de fenómenos físicos que varían lentamente con el tiempo, como la temperatura.

El estándar de comunicación infrarroja IrDA SIR especifica que los equipos con enlace infrarrojo deben funcionar a distancias entre el transmisor y el receptor de infrarrojos de 1 metro y dentro de un ángulo mitad de hasta 15 grados. El límite de funcionamiento del sistema de adquisición de datos implementado es de 3 metros de distancia a 15 grados de ángulo mitad, y en cuanto a limitación por ángulo,

puede funcionar con un ángulo mitad de 25 grados a 1 metro veinte centímetros de distancia. Por lo tanto el sistema está dentro de las especificaciones de la norma IrDA-SIR de enlace infrarrojo.

Antes de iniciar la comunicación infrarroja se debe fijar la posición del módulo de adquisición de datos y del transceptor de infrarrojos. No se debe mover los dos módulos para evitar errores en la transferencia de datos. Por otra parte la comunicación debe realizarse en línea de vista, lo que significa que no deben existir objetos entre los transceptores de infrarrojos. Esta característica de la luz infrarroja no permite que se realice instalaciones de equipo con comunicación infrarroja en medios externos descubiertos, ya que en ambientes de lluvia la comunicación infrarroja se bloquea con las gotas de agua.

El sistema de adquisición de datos puede funcionar en modo autónomo, en el cual primero se realiza la adquisición de datos y luego se transfiere los datos adquiridos al computador. Esta característica del sistema de adquisición de datos es similar a los *data loggers* comerciales. El sistema de adquisición de datos es desarrollado para ser usado en Laboratorio, por lo tanto se ha implementado con tiempos de muestreo comprendidos entre 1 segundo y 60 segundos en funcionamiento autónomo, lo cual establece un tiempo total de adquisición de datos adecuado para pruebas de laboratorio.

Cuando el sistema funciona en interconexión con el computador tiene un retardo de tiempo en la comunicación de 1 segundo como mínimo, con el fin de no saturar el buffer de comunicación serial y asegurar la integridad de los datos recibidos, además el sistema se ha diseñado con características de tiempo de muestreo mayores a un segundo, debido al medio de comunicación, y a los objetivos de registro de datos de señales de baja velocidad.

Existen *data loggers* comerciales diseñados para operar con cualquier señal acondicionada con las especificaciones del equipo, y también *data loggers* que son fabricados para funcionar con un tipo de sensor en particular. El sistema de adquisición de datos que se ha desarrollado en este proyecto puede funcionar con

cualquier señal acondicionada y con una variación lenta de la señal, mayor a un segundo, el cual es mínimo tiempo de muestreo.

La interfaz de usuario del hardware del sistema de adquisición de datos comprende un LCD de cuatro filas y dos pulsadores para configuración. Los mensajes en el LCD guían al usuario en la configuración de parámetros operativos del sistema de adquisición de datos en funcionamiento autónomo y presentan el estado de los recursos de hardware del módulo de adquisición de datos cuando funciona en interconexión con el computador. Por lo tanto la interfaz de usuario permite que el operador aprenda rápidamente a utilizar el sistema.

5.2 RECOMENDACIONES

La comunicación infrarroja del sistema de adquisición de datos se ha realizado en base al estándar IrDA-SIR, lo cual limita la transferencia de datos a bajas velocidades. Para aplicaciones en las que se requiera de sistemas de más alta velocidad de comunicación infrarroja se podría utilizar dispositivos electrónicos como codificadores, decodificadores y transceptores ópticos que cumplan el estándar IrDA-FIR que determina tasas de transferencia de hasta 4 MB/s. Se puede construir un módulo de adquisición de datos con tecnología de alta velocidad con el estándar de enlace infrarrojo IrDA-FIR, para que el sistema tenga aplicaciones en las que se requiera tasas de transferencia de datos de hasta 4 MB/s como por ejemplo sonido y video.

El sistema de adquisición de datos utiliza la memoria eeprom interna del microcontrolador atmega16 de Atmel, la cual es de 512 bytes, que son suficientes para esta aplicación. Se puede construir un sistema similar de adquisición de datos con mayor capacidad de memoria, y con más puertos de entrada y salida utilizando los mismos convertidores DAC, expansores de puerto, pantalla LCD, y los ADCs incorporados en el microcontrolador. Con muy pocos cambios en el software de programación, se puede utilizar el microcontrolador atmega128 de Atmel, el cual dispone de 4 KBytes de memoria eeprom y 53 pines de entrada-

salida, que ahorran los expansores de puerto. Sin embargo el microcontrolador atmega128 tiene un encapsulado de dimensiones muy pequeñas y es de montaje superficial, lo cual dificulta la construcción de las tarjetas de circuito impreso y el mantenimiento electrónico.

Para implementar nuevas funciones en el tratamiento de datos o en la generación de señales, se puede añadir al sistema desarrollado en Labview otros SubVIs, utilizando el protocolo de comunicación que se ha diseñado y sin necesidad de realizar cambios de hardware del sistema de adquisición de datos. Por otra parte la estructura del software del microcontrolador se ha diseñado mediante subrutinas en Basic, que una vez estudiadas pueden ser utilizadas para ampliar las características del sistema.

Es recomendable utilizar software de desarrollo como Labview e Intouch para aplicaciones de control ya que disponen de controladores para manejar dispositivos de hardware, tarjetas de adquisición de datos, puerto serial, puerto paralelo, etc., además disponen de gran cantidad de funciones aritméticas, lógicas, cadenas de caracteres, gráficos, alarmas que facilitan el desarrollo de aplicaciones de control y monitoreo. Los programas para el desarrollo de interfaces hombre-máquina HMI, pueden comunicarse con equipos electrónicos para control, como los PLCs, únicamente configurando las herramientas de comunicación que vienen incorporadas con el programa. Por lo tanto para ingeniería en electrónica y control esta categoría de software es la mejor opción.

Para reducir tiempos de desarrollo en la programación de microcontroladores es recomendable utilizar lenguajes como Basic o C, que permiten desarrollar aplicaciones complejas en menor tiempo que cuando se utiliza el lenguaje ensamblador del microcontrolador. Para este proyecto se utiliza el software de programación de microcontroladores Bascom-avr, el cual dispone de decenas de instrucciones en Basic y permite mezclar los comandos de Basic y de lenguaje ensamblador dentro de un mismo programa. Por lo tanto con este programa se tiene control total del microcontrolador y se dispone de funciones de Basic que reducen el tiempo de programación.

Para iniciar un proyecto de construcción de un equipo electrónico se debe considerar la disponibilidad de los componentes electrónicos en empresas locales, o la facilidad para adquirirlos, ya que varias empresas que presentan sus productos en la Internet, no venden dispositivos electrónicos por unidades, o se puede demorar mucho tiempo en adquirirlos, y el transporte, impuestos de aduanas y demora de la compra constituyen costos adicionales que deberían evitarse. Este es el caso de la compra de los transceptores ópticos de infrarrojos, que son difíciles de encontrar por unidades y que al final se realizó la compra en España con un costo de transporte de alrededor de diez veces el costo del dispositivo, además de mucho tiempo de búsqueda de una empresa que comercialice este producto por unidades.

La elección del microcontrolador adecuado para una aplicación se debe basar en los requerimientos de la aplicación y en la complejidad del desarrollo. Es recomendable que el microcontrolador seleccionado tenga incorporado recursos internos, que eviten tener que añadirles demasiados periféricos. Por ejemplo los microcontroladores AVR de Atmel como el atmega16 y atmega128, tienen gran cantidad de memoria para programación, alta velocidad y hardware incorporado que combinado con un software de desarrollo adecuado permiten optimizar todos los recursos en una aplicación de hardware, sin que el programador tenga que preocuparse por la capacidad de memoria, ya que el atmega16 tiene 16KB y el atmega128 dispone 128KB para desarrollar un programa.

Es recomendable utilizar microcontroladores con memoria flash como memoria de programa, ya que son fáciles de programar, la grabación de un programa toma pocos segundos, además este tipo de microcontroladores generalmente son diseñados con programación *In-system*, lo cual significa que la programación se la puede realizar conectando un programador a la tarjeta del proyecto construida, sin necesidad de sacar el microcontrolador del zócalo cada que se realiza cambios en el programa. Se puede construir o adquirir un programador de microcontroladores de bajo costo, por ejemplo el atmega16 utilizado en este proyecto dispone de programación *In-system* y se programa mediante Bascom-avr.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INFRARED DATA ASSOCIATION. Serial Infrared Physical Layer Link Specification. Versión 1.2. 1997
- VISHAY SEMICONDUCTORS. IrDA-Compatible Data Transmission. 2003
- MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. Fundamentals of the Infrared Physical Layer. 2004
- MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. Selecting an MCP21XX Device for IrDA® Applications. 2004
- MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. Wireless Communication Using the IrDA® Standard Protocol. 2003
- NATIONAL INSTRUMENTS. User Manual. 2001
- ATMEL CORPORATION. User Manual ATmega16. 2004
- MCS ELECTRONICS. User Manual Bascom-avr. 2003
- LÓPEZ HERRANZ, José; QUERO CATALINAS, Enrique. Fundamentos de Programación. Segunda edición. Paraninfo Thomson. España. 2000
- MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. IrDA and RS-232: A Match Made in Silicon 2004.
- MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. Circuit Enables PCs to Communicate via IrDA. 2004
- TOMDIO NANA, Emmanuel, TEXAS INSTRUMENTS. Improving System Interrupt Management Using the PCF8574 and PCF8574A I/O Expanders for the I2C Bus. 2001

- VISHAY SEMICONDUCTOR. Data sheer TFDS4500. 1998
- MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. Data sheet MCP2120. 2001
- MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. Data sheet max5250. 2002
- MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. Data sheet max6225. 2002
- TEXAS INSTRUMENTS. Data sheet PCF8574. 2004
- OPTREX CORPORATION. LCD Module Specification, DMC20481NY-LY-AGE. 1999
- <http://www.irda.org>
- <http://www.ni.com>
- <http://www.atmel.com>
- <http://www.microchip.com>
- <http://www.mcselec.com>
- <http://http://www.vishay.com>
- <http://www.maxim-ic.com>
- <http://www.semiconductors.philips.com>
- <http://www.wonderware.com>

ANEXO A

IrDA-COMPATIBLE DATA TRANSMISSION VISHAY SEMICONDUCTORS



IrDA-Compatible Data Transmission

What is IrDA ?

IrDA is the abbreviation for the Infrared Data Association, a non-profit organization for setting standards in IR serial computer connections. The following is an original excerpt from the IrDA Web site (<http://www.irda.org>).

Executive Summary

IrDA was established in 1993 to set and support hardware and software standards which create infrared communications links. The Association's charter is to create an interoperable, low-cost, low-power, half-duplex, serial data interconnection standard that supports a walk-up, point-to-point user model that is adaptable to a wide range of applications and devices. IrDA standards support a broad range of computing, communications, and consumer devices. International in scope, IrDA is a non-profit corporation headquartered in Walnut Creek, California, and led by a Board of Directors which represents voting membership worldwide. As a leading high technology standards association, IrDA is committed to developing and promoting infrared standards for the hardware, software, systems, components, peripherals, communications, and consumer markets.

Industry Overview

Infrared (IR) communications is based on technology which is similar to the remote control devices such as TV and entertainment remote controls used in most homes today. IR offers a convenient, inexpensive and reliable way to connect computer and peripheral devices without the use of cables. IrDA connectivity is being incorporated into most notebook PCs to bring the most cost-effective and easy to use support available for wireless technologies.

There are few US, European or other international regulatory constraints.

Manufacturers can ship IrDA-enabled products globally without any constraints, and IrDA functional devices can be used by international travellers wherever they are, and interference problems are minimal. Standards for IR communications have been developed by IrDA. In September 1993, IrDA determined the basis for the IrDA SIR Data Link Standards. In June 1994, IrDA published the IrDA standards which includes Serial Infrared (SIR) Link specification, Link Access Protocol (IrLAP) specification, and Link Management Protocol (IrLMP) specification. IrDA

released extensions to SIR standard including 4 Mbit/s in October 1995. The IrDA Standard Specification has been expanded to include high speed extensions of 1.152 Mbit/s and 4.0 Mbit/s. This extension will require an add-in card to retrofit existing PCs with high speed IR, and a synchronous communications controller or equivalent.

In 1995, several market leaders announced or released products with IR features based on IrDA standards. These products include components, adapters, printers, PCs, PDAs, notebook computers, LAN access, and software applications. In November 1995, the Microsoft Corporation announced it had added support for IrDA connectivity to the Microsoft Windows 95 operating system, enabling low-cost wireless connectivity between Windows 95 based PCs and peripheral devices.

IrDA's interoperable infrared serial data link features low power consumption with data speeds up to 4 Mbit/s, allowing a cordless 'walk-up-to' data transfer in a simple, yet compelling way. Applications are in both consumer and commercial markets with a universal data connection relevant in the use of docking and input units, printers, telephones, desktop/ laptop PCs, network nodes, ATMs, and handheld mobile peers (PDA meets PDA). Yesterday's systems with IR capabilities such as Newton, Omnibook, Wizard and Zoomer are not easily compatible with each other or other complementary devices. IrDA is the response in which many segments of the industry have committed themselves to realizing the opportunity of a general standard providing data links which are non-interfering and interoperable.

The IrDA - Standard

The current IrDA physical layer standard is the version 1.4 and includes all changes and add-ons up to VFIR with 16 Mbit/s. The version 1.4 replaced version 1.3 which is obsolete as all former versions from 1.0 to 1.2. Referring to these versions currently can describe only historical steps of the IrDA - development.

How IrDA Transmission Works

The transmission in an IrDA-compatible mode (sometimes called SIR for serial IR) uses, in the simplest case, the RS232 port, a built-in standard of all compatible PCs. With a simple interface, shortening the bit length to a maximum of 3/16 of its original length

for power-saving requirements, an infrared emitting diode is driven to transmit an optical signal to the receiver.

This type of transmission covers the data range up to 115.2 kbit/s which is the maximum data rate supported by standard UARTs (see figure 1). The minimum demand for transmission speed for IrDA is only 9600 bit/s. All transmissions must be started at this frequency to enable compatibility. Higher speeds are a matter of negotiation of the ports after establishing the links.

Higher speeds require special interfaces which operate at 1.152 Mbit/s and use a similar pulse-shortening process as in the RS232-related mode, but with a pulse reduction to 1/4 of the original pulse length. The fastest data rate supported by IrDA is 4.0 Mbit/s (often called FIR), operating with 125-ns pulses in a 4-PPM (PPM = Pulse-Position Modulation) mode. The typical interfaces for the various modes are shown in figure 2. In the following chapter "IrDA Standard - Physical Layer", the definitions of the IrDA standard are given.

Optical output power and receiver sensitivity are set to a level where a point-and-shoot activity ($\pm 15^\circ$) is sufficient for point-to-point communication, but prevents the pollution of the ambient by straying needless power. Transmission over a distance of at least 1 m is ensured. The detector front end receives the transmitted signal, re-shapes the signal and feeds it to the port. The system works in a half-duplex mode that allows only one transmission direction to be active at any given time.

For frequencies up to 115.2 kbit/s, the minimum output intensity is defined with 40 mW/sr. For higher speeds, a higher output intensity of 100 W/sr minimum is used. The sensitivity thresholds are 40 mW/m² and 100 mW/m² for SIR and FIR respectively.

The wavelength chosen for the standard is between 850 nm and 900 nm.

An additional IrDA standard was generated in 1997 (voted Feb. 1998) for Control applications, the so-called IrControl standard.

This standard is using the IEC1603-1 sub carrier frequency allocation with a carrier at 1500 kHz. The transmission capacity is 72 kbit/s. This system has still some compatibility problems with the SIR/FIR IrDA Standard. One of the disadvantages is that the detector circuitry is different from the other, base-band system. Therefore, integrating both into one application is expensive. Using IrControl and SIR/FIR in one application would imply that two IR hardware channels must be built-in. The Very Fast IR (VFIR, min. 16 Mbit/s transfer rate over more than 1 m) established in 1999.

What do I need to enable IrDA Transmission ?

The simplest way of optical interfacing in the SIR mode is shown in figure 1. For pulse shaping and recovery, the Vishay Semiconductors device TOIM4232 is recommended. The front end including transmitter and receiver should be realized for example by the integrated transceiver module TFDU4100 or other devices of the 4000 series. The TFDU4100 can also be directly connected to Super I/Os[®].

A transimpedance amplifier is used in the receiver for input amplification. Its output signal is fed to the comparator input, whose reference level is adjusted to efficiently suppress noise and interferences from the ambient.

Additionally, the digital pulse-shaping circuit must be inserted for shortening the pulse to be emitted to 1.6 μ s (i.e., 3/16 of the bit length at 115 kbit/s) and pulse recovery of the detected signal to comply with the IrDA standard. Only the active low bits (0) are transmitted.

For the high-speed mode, the TFDU6102 or other devices from the 6000 series are recommended to be operated with e.g NSC's or SMC's IrDA-compatible Super I/O circuits. Circuit proposals for the various modes can be found in our application section. A block diagram is shown in Figure 2.

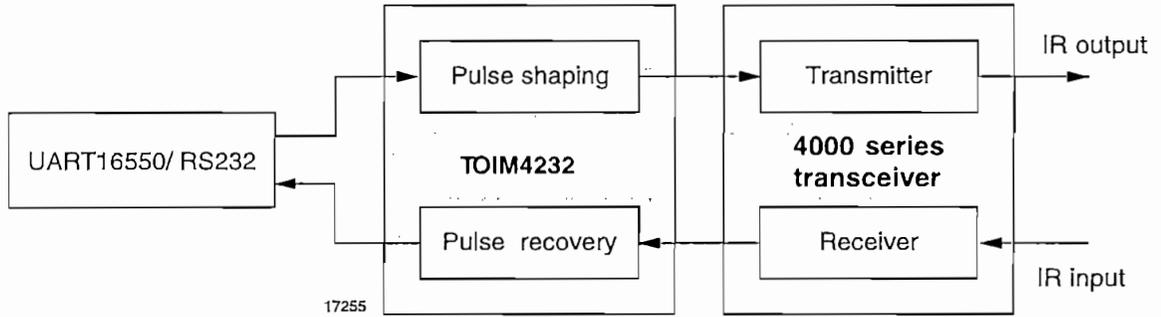


Figure 1. Block diagram of one end of the overall SIR link

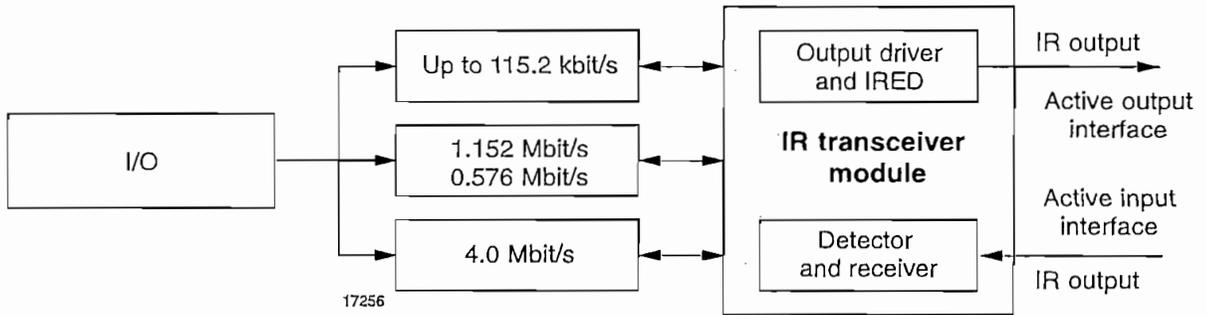


Figure 2. Block diagram of one end of the link for signaling rates up to 4.0 Mbit/s

The IrDA standard documentation can be found on the IrDA web site <http://www.irda.org>. The documents which are public and can be downloaded are shown on the next page.

The physical layer is responsible for the definition of hardware transceivers for the data transmission. The physical layer is therefore discussed in the following chapters which define the properties of the front end devices manufactured by Vishay Semiconductors.



Standards available for public access and download on www.irda.org

Standards, specifications and guidelines are available under the addresses

<http://www.irda.org/standards/standards.asp>

<http://www.irda.org/standards/guidelines.asp>

<http://www.irda.org/standards/specifications.asp>

The following documents describe the IrDA® Standards

IrDA SIR Data Specification

(<http://www.irda.org/standards/pubs/IrData.zip>)

containing

IrDA Serial Infrared Physical Layer Link Specification

IrPHY 1.4

(http://www.irda.org/standards/pubs/IrPHY_1p4.pdf)

IrDA Serial Infrared Link Access Protocol (IrLAP)

IrDA Serial Infrared Link Management Protocol (IrLMP)

IrDA Tiny TP (1,331 KB)

IrDA Point and Shoot Profile

Test Specification

Other available documents

IrDA Financial Messaging (IrFM™)Point and Pay Specification

IrDA Financial Messaging (IrFM™)Test Specification

IrDA IrLAPFast Connect Application Note

IrDA Adapter Application Profile and Test Specification

IrDA Control Specification

IrDA Infrared Communications Protocol (IrCOMM 1,0)

IrDA Infrared Tiny Transport Protocol (82 KB). IrTinyTP 1.1

IrDA Infrared LAN Access Extensions for Link Management Protocol (92 KB). IrLAN 1.0

IrDA Object Exchange Protocol (OBEX™)Ver.1.3

IrDA Object Exchange Protocol (OBEX™) Test Specification Ver.1.0.1.

IrDA Minimal IrDA Protocol Implementation (110KB).

IrLite

IrDA Plug & Play Extensions to IrLMP 1.0 (80 KB).

IrDA Infrared Mobile Communications (1,020 KB)

IrMC

IrDA Infrared Transfer Picture Specifications (240 KB).

IrTranP

IrDA Dongle Interface specifications (85 KB).

IrDA Infrared for Wrist Watches specification IrWW Serial Port Profile, IrModem Profile and Test Specs Serial Interface for Transceivers

IrDA Point and Shoot

IrDA Point and Shoot Application Profile.

IrDA Point and Shoot Test Specification.

IrDA-Standard - Physical Layer

Specification

In SIR mode, the data is represented by optical pulses between 1.6 μ s and 3/16 of the bit length of the RS232 data pulse in SIR mode. Pulse-length reduction is also applied in the higher frequency modes. The limits of the standards are shown in tables 1 and 3. The optical radiant intensity and detector sensitivity are adjusted to guarantee a point-to-point transmission in a cone of $\pm 15^\circ$ over a distance of at least 1 m. The radiant intensity and the sensitivity of the front end can be increased to ensure a transmission over 3 m (see figure 3). Data from the optical interface standard are documented in tables 2 to 4.

Media Interface Specification

Overall Links

There are two different sets of transmitter/ receiver specifications. The first, referred to as Standard, is for a link which operates from 0 to at least 1 meter. The second, referred to as the Low Power Option, has a shorter operating range, and is only defined up to 115.2 kbit/s. There are three possible links (see Table 1 below): Low Power Option to Low Power Option, Standard to Low Power Option; Standard to Standard. The distance is measured between the optical reference surfaces. The **Bit Error Ratio (BER)** shall

be no greater than 10^{-8} . The link shall operate and meet the BER specification over its range.

Signaling Rate and Pulse Duration: An IrDA serial infrared interface must operate at 9.6 kbit/s. Additional allowable rates listed below are optional. Signaling rate and pulse duration specifications are shown in table 2.

For all signaling rates up to and including 115.2 kbit/s the minimum pulse duration is the same (the specification allows both a 3/16 of bit duration pulse and a minimum pulse duration for the 115.2 kbit/s signal (1.63 μ s minus the 0.22 μ s tolerance). The maximum pulse duration is 3/16 of the bit duration, plus the greater of the tolerance of 2.5 % of the bit duration, or 0.60 μ s.

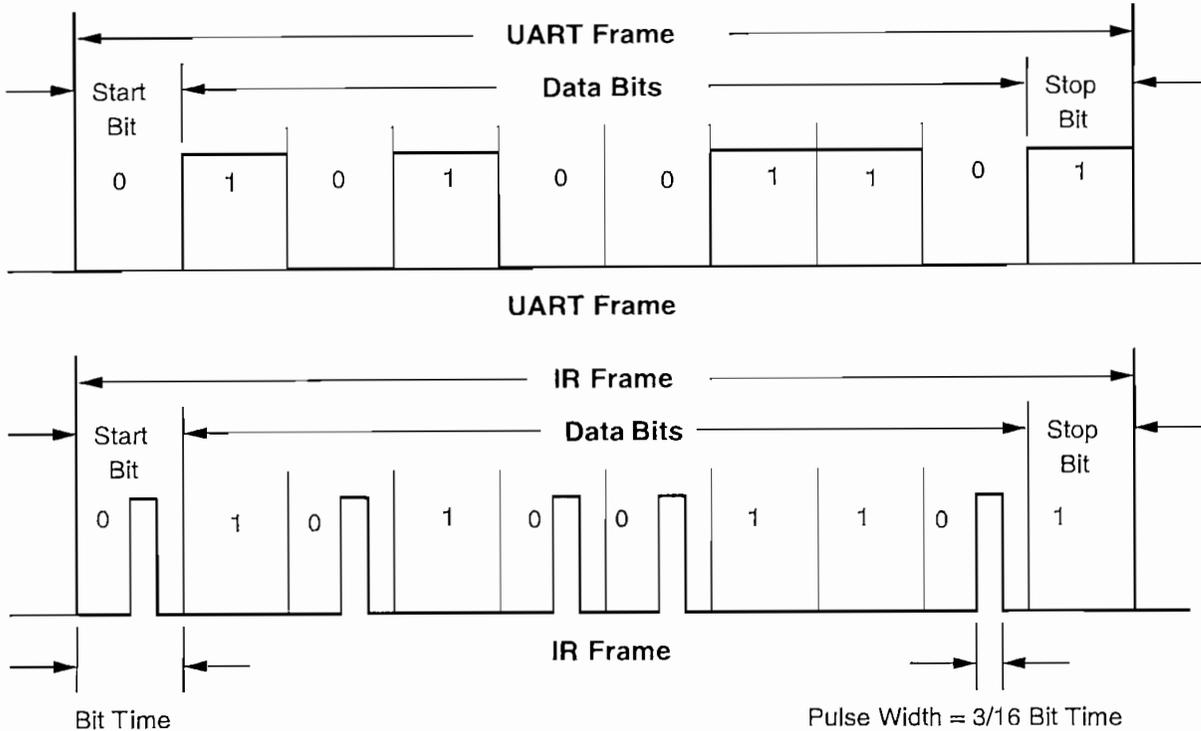
For 0.576 Mbit/s and 1.152 Mbit/s, the maximum and minimum pulse durations are the nominal 25 % of the bit duration plus 5 % (tolerance) and minus 8 % (tolerance) of the bit duration.

For 4.0 Mbit/s, the maximum and minimum single pulse durations are the nominal 25 % of the symbol duration plus and minus a tolerance of 2 % of the symbol duration. For 4.0 Mbit/s, the maximum and minimum double pulse durations are 50 % of the symbol plus and minus a tolerance of 2 % of the symbol duration. Double pulses may occur whenever two adjacent chips require a pulse.

The link must meet the BER specification over the link length range and meet the optical pulse constraints.

| | Low Power - Low Power | Standard - Low Power | Standard - Standard |
|---|-----------------------|----------------------|---------------------|
| Link Distance Lower Limit, meters | 0 | 0 | 0 |
| Minimum Link Distance Upper Limit, meters | 0.2 | 0.3 | 1.0 |

Table 1: Link Distance Specifications

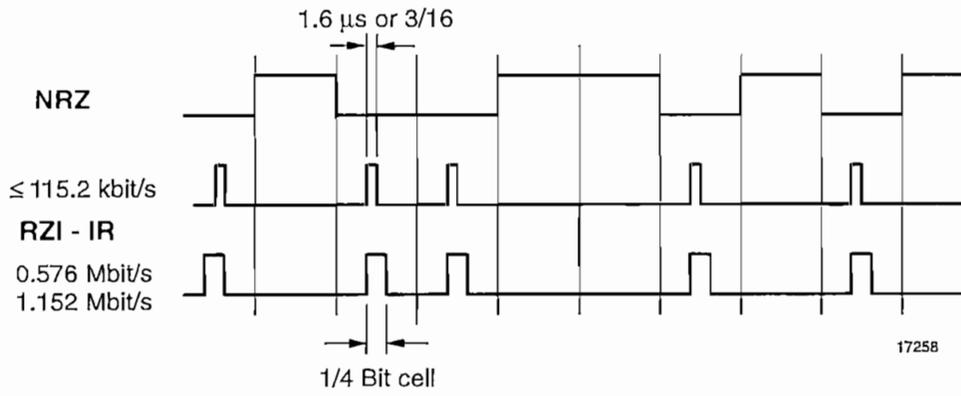


17257

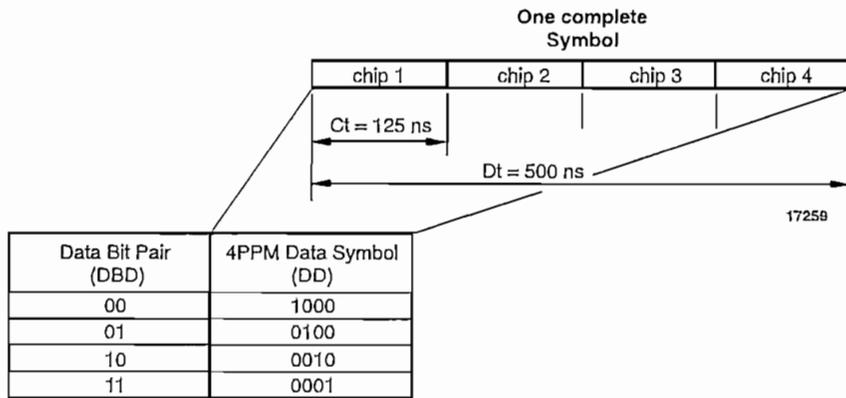
| Signaling Rate | Modulation | Rate Tolerance % of Rate | Pulse Duration Minimum | Pulse Duration Nominal | Pulse Duration Maximal |
|----------------|-------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 2.4 kbit/s | RZI ^{*)} | ±0.87 | 1.41 μs | 78.13 μs | 88.55 μs |
| 9.6 kbit/s | RZI ^{*)} | ±0.87 | 1.41 μs | 19.53 μs | 22.13 μs |
| 19.2 kbit/s | RZI ^{*)} | ±0.87 | 1.41 μs | 9.77 μs | 11.07 μs |
| 38.4 kbit/s | RZI ^{*)} | ±0.87 | 1.41 μs | 4.88 μs | 5.96 μs |
| 57.6 kbit/s | RZI ^{*)} | ±0.87 | 1.41 μs | 3.26 μs | 4.34 μs |
| 115.2 kbit/s | RZI ^{*)} | ±0.87 | 1.41 μs | 1.63 μs | 2.23 μs |
| 0.576 Mbit/s | RZI ^{*)} | ±0.1 | 295.2 ns | 434.0 ns | 520.8 ns |
| 1.152 Mbit/s | RZI ^{*)} | ±0.1 | 147.6 ns | 217.0 ns | 260.4 ns |
| 4.0 Mbit/s | 4 PPM | ±0.01 | 115.0 ns | 125.0 ns | 135.0 ns |
| Single pulse | 4 PPM | ±0.01 | 240.0 ns | 250.0 ns | 260.0 ns |
| Double pulse | HHH (1.13) | ±0.01 | 38.3 ns | 41.7 ns | 45.0 ns |

Table 2: Signaling rate and pulse-duration specification

^{*)} RZI = Return to Zero Inverted



4.0 Mbit/s



ANEXO B

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Infrared Encoder/Decoder

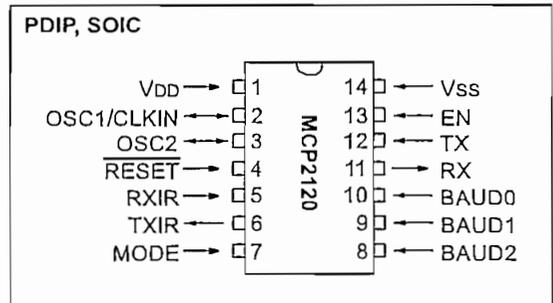
FEATURES

- Supports with IrDA[®] Physical Layer Specification (version 1.3)
- UART to IR Encoder/Decoder
 - Interfaces with IrDA Compliant Transceivers
 - Used with any UART, including standard 16550 UART and microcontroller UART
- Transmit/Receive formats supported:
 - 1.63 μ s
- Hardware or Software Baud rate selection
 - Up to IrDA standard 115.2 kbaud operation
 - Up to 312.5 kbaud operation (at 20 MHz)
 - Low power mode

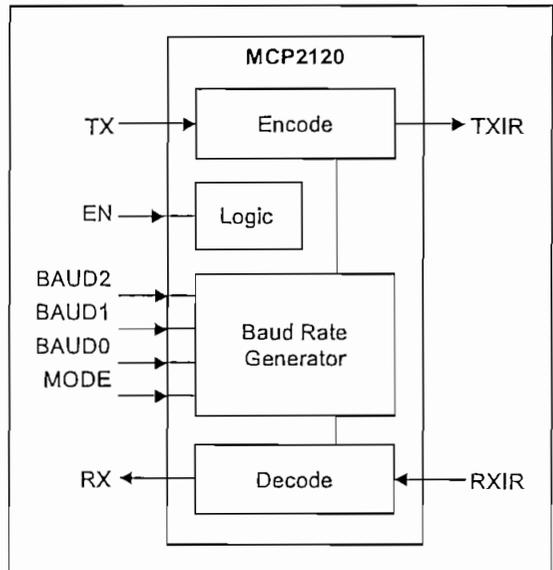
CMOS TECHNOLOGY

- Low-power, high-speed CMOS technology
- Fully static design
- Low voltage operation
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low power consumption
 - < 1 mA @ 3.3V, 8 MHz (typical)
 - 3 μ A typical @ 5.0V when disabled

PIN DIAGRAMS



BLOCK DIAGRAM



IrDA is a registered trademark of the Infrared Data Association.

MCP2120

NOTES:

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information for the following device:

- MCP2120

This device is a low-cost, high-performance, fully-static infrared encoder/decoder. This device sits between a UART and an infrared (IR) optical transceiver.

The data received from a standard UART is encoded (modulated), and output as electrical pulses to the IR Transceiver. The IR Transceiver also receives data which it outputs as electrical pulses. The MCP2120 decodes (demodulates) these electrical pulses and then the data is transmitted by the MCP2120 UART. This modulation and demodulation method is performed in accordance with the IrDA standard.

Typically a microcontroller interfaces to the IR encoder/decoder.

Infrared communication is a wireless two-way data connection using infrared light generated by low-cost transceiver signaling technology. This provides reliable communication between two devices.

Infrared technology offers:

- Universal standard for connecting portable computing devices
- Easy, effortless implementation
- Economical alternative to other connectivity solutions
- Reliable, high speed connection
- Safe to use in any environment; can even be used during air travel
- Eliminates the hassle of cables
- Allows PC's and non-PC's to communicate to each other
- Enhances mobility by allowing users to easily connect

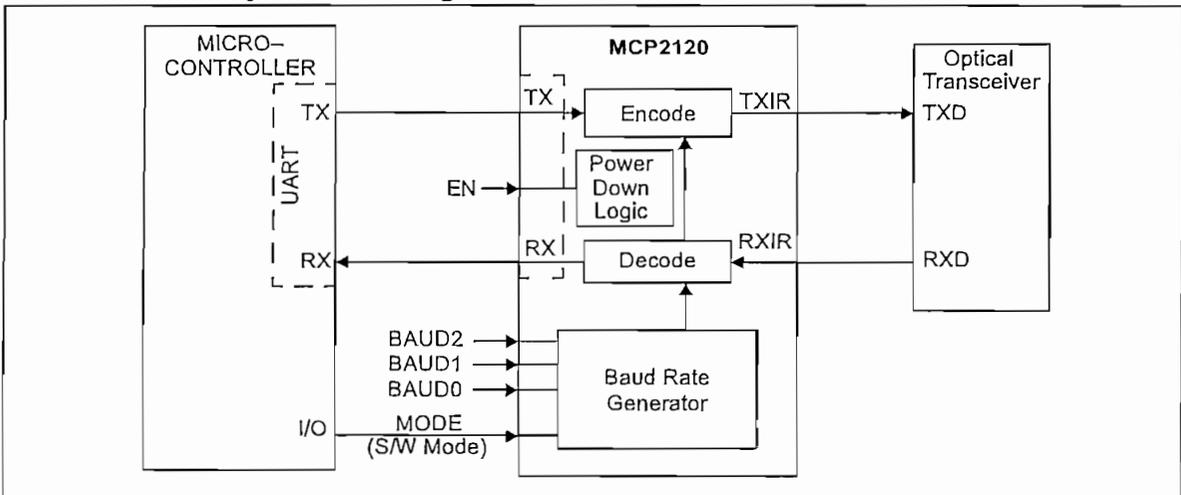
1.1 Applications

The MCP2120 is a stand-alone IrDA Encoder/Decoder product. Figure 1-1 shows a typical application block diagram. Table 1-2 shows the pin definitions in the user (normal) mode of operation.

TABLE 1-1: MCP2120 FEATURES OVERVIEW

| Features | MCP2120 |
|------------------------|---------------------------|
| Serial Communications: | UART, IR |
| Baud Rate Selection: | Hardware/Software |
| Low Power Mode: | Yes |
| Resets: (and Delays) | Wake-up (DRT) |
| Packages: | 14-pin DIP 14-pin SOIC |

FIGURE 1-1: System Block Diagram



MCP2120

TABLE 1-2: PIN DESCRIPTION USER MODE

| Pin Name | Pin Number | | Pin Type | Buffer Type | Description |
|----------------|------------|------|----------|-------------|--|
| | PDIP | SOIC | | | |
| VDD | 1 | 1 | — | P | Positive supply for logic and I/O pins |
| OSC1/ CLKIN | 2 | 2 | I | CMOS | Oscillator crystal input/external clock source input |
| OSC2 | 3 | 3 | O | — | Oscillator crystal Output |
| RESET | 4 | 4 | I | ST | Resets the Device |
| RXIR | 5 | 5 | I | ST | Asynchronous receive from infrared transceiver |
| TXIR | 6 | 6 | O | — | Asynchronous transmit to infrared transceiver |
| MODE | 7 | 7 | I | TTL | Selects the device mode (Data/Command) for Software Baud Rate operation. For more information see Section 2.4.1.2. |
| BAUD2 | 8 | 8 | I | TTL | BAUD2:BAUD0 specify the Baud rate of the device, or if the device operates in Software Baud Rate mode. For more information see Section 2.4.1. |
| BAUD1 | 9 | 9 | I | TTL | |
| BAUD0 | 10 | 10 | I | TTL | |
| RX | 11 | 11 | O | — | Asynchronous transmit to controller UART |
| TX | 12 | 12 | I | TTL | Asynchronous receive from controller UART |
| EN | 13 | 13 | I | — | Device Enable. |
| Vss | 14 | 14 | — | P | Ground reference for logic and I/O pins |

Legend: TTL = TTL compatible input
 I = Input
 P = Power

ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
 O = Output
 CMOS = CMOS compatible input

2.0 DEVICE OPERATION

The MCP2120 is a low cost infrared Encoder/Decoder. The baud rate is user selectable to standard IrDA baud rates between 9600 baud to 115.2 kbaud. The maximum baud rate is 312.5 kbaud.

2.1 Power-up

Any time that the device is powered up, the Device Reset Timer delay (parameter 32) must occur before any communication with the device is initiated. This is from both the infrared transceiver side as well as the controller UART interface.

2.2 Device Reset

The MCP2120 is forced into the reset state when the RESET pin is in the low state. After the RESET pin is brought to a high state, the Device Reset Timer occurs. Once the DRT times out, normal operation occurs.

2.3 Bit Clock

The device crystal is used to derive the communication bit clock (BITCLK). There are 16 BITCLKs for each bit time. The BITCLKs are used for the generation of the Start bit and the eight data bits. The Stop bit uses the BITCLK when the data is transmitted (not for reception).

This clock is a fixed frequency, and has minimal variation in frequency (specified by crystal manufacturer).

2.4 UART Interface

The UART interface communicates with the "controller". This interface is a Half duplex interface, meaning that the system is either transmitting or receiving, but not both at the same time.

2.4.1 BAUD RATE

The baud rate for the MCP2120 can be configured either by the state of three hardware pins (BAUD2, BAUD1, and BAUD0) or through software selection.

2.4.1.1 Hardware Selection

Three device pins are used to select the baud rate that the MCP2120 will transmit and receive data. These pins are called BAUD2, BAUD1, and BAUD0. There is one pin state (device mode) where the application software can specify the baud rate. Table 2-1 shows the baud rate configurations.

TABLE 2-1: HARDWARE BAUD RATE SELECTION VS. FREQUENCY

| BAUD2:BAUD0 | Frequency (MHz) | | | | | | | Bit Rate |
|-------------|-----------------------|-------|--------|--------|--------|------------------------|-----------------------|------------|
| | 0.6144 ⁽¹⁾ | 2.000 | 3.6864 | 4.9152 | 7.3728 | 14.7456 ⁽²⁾ | 20.000 ⁽²⁾ | |
| 000 | 800 | 2604 | 4800 | 6400 | 9600 | 19200 | 26042 | Fosc / 768 |
| 001 | 1600 | 5208 | 9600 | 12800 | 19200 | 38400 | 52083 | Fosc / 384 |
| 010 | 3200 | 10417 | 19200 | 25600 | 38400 | 78600 | 104167 | Fosc / 192 |
| 011 | 4800 | 15625 | 28800 | 38400 | 57600 | 115200 | 156250 | Fosc / 128 |
| 100 | 9600 | 31250 | 57600 | 78600 | 115200 | 230400 | 312500 | Fosc / 64 |

Note 1: An external clock is recommended for frequencies below 2 MHz.

2: For frequencies above 7.5 MHz, the TXIR pulse width (parameter IR121) will be shorter than the minimum pulse width of 1.6 μ s in the IrDA standard specification.

MCP2120

2.4.1.2 Software Selection

When the BAUD2:BAUD0 pins are configured as '111' the MCP2120 defaults to a baud rate of $F_{osc} / 768$.

To place the MCP2120 into Command Mode, the MODE pin must be at a low level. When in this mode, any data that is received by the MCP2120's UART is "echoed" back to the controller and no encoding/decoding occurs. The echoed data will be skewed less than 1 bit time (see parameter IR141). When the MODE pin goes high, the device is returned to Data Mode where the encoder/decoder is in operation.

Table 2-2 shows the software hex commands to configure the MCP2120's baud rate.

The MCP2120 receives data bytes at the existing baud rate. When the change baud rate command (0x11) is received, the last valid baud rate value received becomes the new baud rate. The new baud rate is effective after the stop bit of the echoed data. Figure 2-2 shows this sequence.

2.4.2 TRANSMITTING

When the controller sends serial data to the MCP2120, the baud rates are required to match.

There will be some jitter on the detection of the high to low edge of the start bit. This jitter will affect the placement of the encoded start bit. All subsequent bits will be 16 BITCLK times later.

2.4.3 RECEIVING

When the controller receives serial data from the MCP2120, the baud rates are required to match.

There will be some jitter on the detection of the high to low edge of the start bit. This jitter will affect the placement of the decoded Start bit. All subsequent bits will be 16 BITCLK times later.

FIGURE 2-1: Data/Command Mode Flow

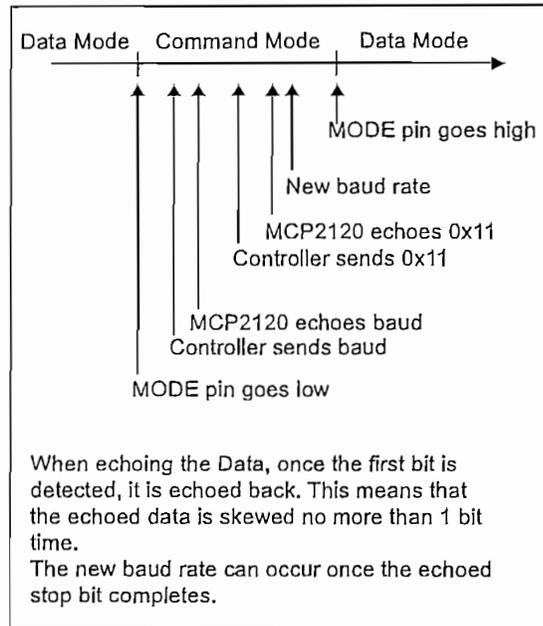


TABLE 2-2: SOFTWARE BAUD RATE SELECTION VS. FREQUENCY

| Hex Command (3, 4) | Frequency (MHz) | | | | | | | Bit Rate |
|--------------------|-----------------|-------|--------|--------|--------|-------------|------------|-----------------|
| | 0.6144 (1) | 2.000 | 3.6864 | 4.9152 | 7.3728 | 14.7456 (2) | 20.000 (2) | |
| 0x87 | 800 | 2604 | 4800 | 6400 | 9600 | 19200 | 26042 | $F_{osc} / 768$ |
| 0x8B | 1600 | 5208 | 9600 | 12800 | 19200 | 38400 | 52083 | $F_{osc} / 384$ |
| 0x85 | 3200 | 10417 | 19200 | 25600 | 38400 | 78600 | 104167 | $F_{osc} / 192$ |
| 0x83 | 4800 | 15625 | 28800 | 38400 | 57600 | 115200 | 156250 | $F_{osc} / 128$ |
| 0x81 | 9600 | 31250 | 57600 | 78600 | 115200 | 230400 | 312500 | $F_{osc} / 64$ |

Note 1: An external clock is recommended for frequencies below 2 MHz.

2: For frequencies above 7.3728 MHz, the TXIR pulse width (parameter IR121) will be shorter than the 1.6 μ s IrDA standard specification.

3: Command 0x11 is used to change to the new baud rate.

4: All other command codes are reserved for possible future use.

2.5 Modulation

When the UART receives data to be transmitted, the data needs to be modulated. This modulated signal drives the IR transceiver module. Figure 2-2 shows the encoding of the modulated signal.

Each bit time is comprised of 16-bit clocks. If the value to be transmitted (as determined by the TX pin) is a logic low, then the TXIR pin will output a low level for 7-bit clock cycles, a logic high level for 3-bit clock cycles, and then the remaining 6-bit clock cycles will be low. If the value to transmit is a logic high, then the TXIR pin will output a low level for the entire 16-bit clock cycles.

2.6 Demodulation

The modulated signal from the IR transceiver module needs to be demodulated to form the received data. As demodulation occurs, the bit value is placed on the RX pin in UART format. Figure 2-3 shows the decoding of the modulated signal.

Each bit time is comprised of 16 bit clocks. If the value to be received is a logic low, then the RXIR pin will be a low level for the first 3-bit clock cycles, and then the remaining 13-bit clock cycles will be high. If the value to be received is a logic high, then the RXIR pin will be a high level for the entire 16-bit clock cycles. The level on the RX pin will be in the appropriate state for the entire 16 clock cycles.

FIGURE 2-2: Encoding

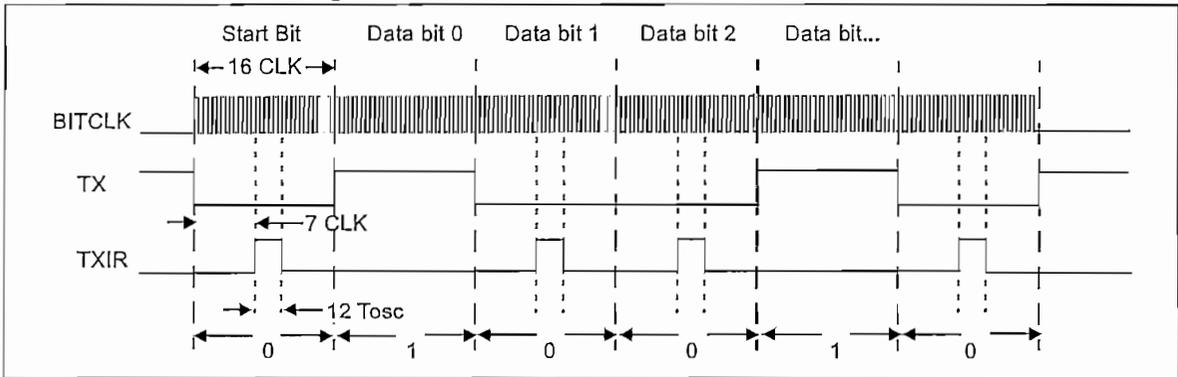
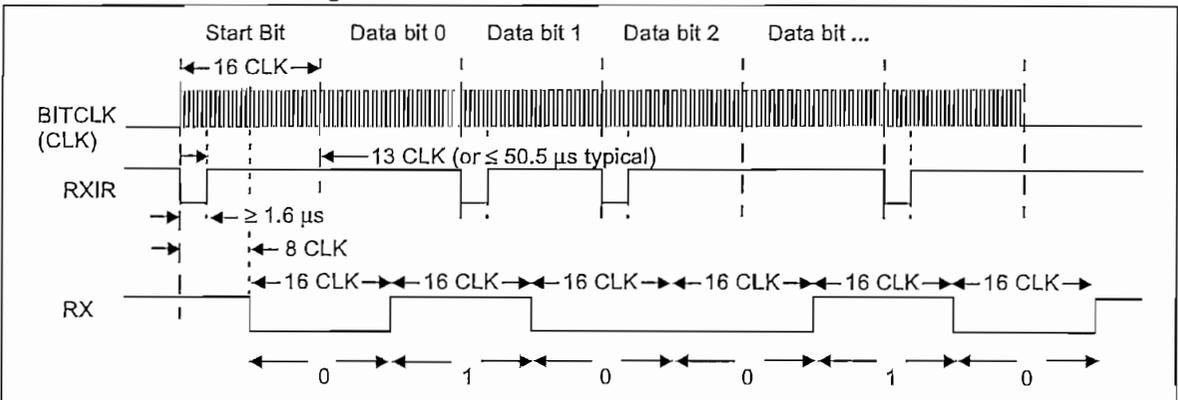


FIGURE 2-3: Decoding



MCP2120

2.7 Encoding/Decoding Jitter and Offset

Figure 2-4 shows the jitter and offset that is possible on the RX pin and the TXIR pin.

Jitter is the possible variation of the desired edge.

Offset is the propagation delay of the input signal (RXIR or TX) to the output signal (RX or TXIR).

The first bit on the output pin (on RX or TXIR) will show jitter compared to the input pin (RXIR or TX), but all remaining bits will be a constant distance.

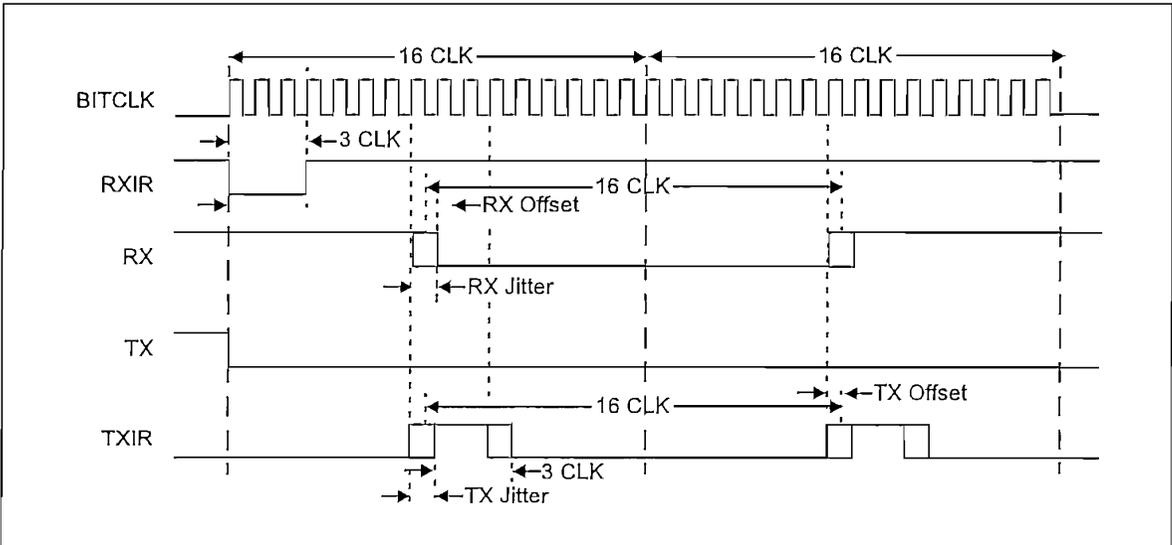
2.8 Minimizing Power

The device can be placed in a low power mode by disabling the device (holding the EN pin at the low state). The internal state machine is monitoring this pin for a low level, and once this is detected the device is disabled and enters into a low power state.

2.8.1 RETURNING TO OPERATION

When the device is disabled, the device is in a low power state. When the EN pin is brought to a high level, the device will return to the operating mode. The device requires a delay of 1000 T_{osc} before data may be transmitted or received.

FIGURE 2-4: Effects of Jitter and Offset



2.7 V to 5.5 V Serial Infrared Transceiver Module Family (SIR, 115.2 kbit/s)



Description

The TFDU4100, TFDS4500, and TFDT4500 are a family of low-power infrared transceiver modules compliant to the IrDA 1.2 standard for serial infrared (SIR) data communication, supporting IrDA speeds up to 115.2 kbit/s. Integrated within the transceiver modules are a photo PIN diode, infrared emitter (IRED), and a low-power analog control IC to provide a total front-end solution in a single package. Telefunken's SIR transceivers are available in three package options, including our BabyFace package (TFDU4100), the smallest SIR transceiver available

on the market. This wide selection provides flexibility for a variety of applications and space constraints. The transceivers are capable of directly interfacing with a wide variety of I/O chips which perform the pulse-width modulation/demodulation function, including Telefunken's TOIM3000/ TOIM3232. At a minimum, a current-limiting resistor in series with the infrared emitter and a V_{CC} bypass capacitor are the only external components required to implement a complete solution.

Features

- Compliant to IrDA 1.2 (Up to 115.2 kbit/s)
- 2.7 to 5.5 V Wide Operating Voltage Range
- Low-Power Consumption (1.3 mA Supply Current)
- Power Sleep Mode Through V_{CC1} /SD Pin (5 nA Sleep Current)
- Long Range (Up to 3.0 m at 115.2 kbit/s)
- Three Surface Mount Package Options
 - Universal (9.7 × 4.7 × 4.0 mm)
 - Side View (13.0 × 5.95 × 5.3 mm)
 - Top View (13.0 × 7.6 × 5.95 mm)
- BabyFace (Universal) Package Capable of Surface Mount Solderability to Side and Top View Orientation
- Directly Interfaces with Various Super I/O and Controller Devices and Telefunken's TOIM3000 and TOIM3232 I/Os
- Built-In EMI Protection – No External Shielding Necessary
- Few External Components Required
- Backward Compatible to all Telefunken SIR Infrared Transceivers

Applications

- Notebook Computers, Desktop PCs, Palmtop Computers (Win CE, Palm PC), PDAs
- Digital Still and Video Cameras
- Printers, Fax Machines, Photocopiers, Screen Projectors
- Telecommunication Products (Cellular Phones, Pagers)
- Internet TV Boxes, Video Conferencing Systems
- External Infrared Adapters (Dongles)
- Medical and Industrial Data Collection Devices

Package Options

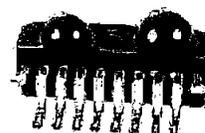
TFDU4100
Baby Face (Universal)



TFDS4500
Side View



TFDT4500
Top View



Ordering Information

| Part Number | Qty / Reel | Description |
|--------------|------------|---|
| TFDU4100-TR3 | 1000 pcs | Oriented in carrier tape for side view surface mounting |
| TFDU4100-TT3 | 1000 pcs | Oriented in carrier tape for top view surface mounting |
| TFDS4500-TR3 | 750 pcs | |
| TFDT4500-TR3 | 750 pcs | |

Functional Block Diagram

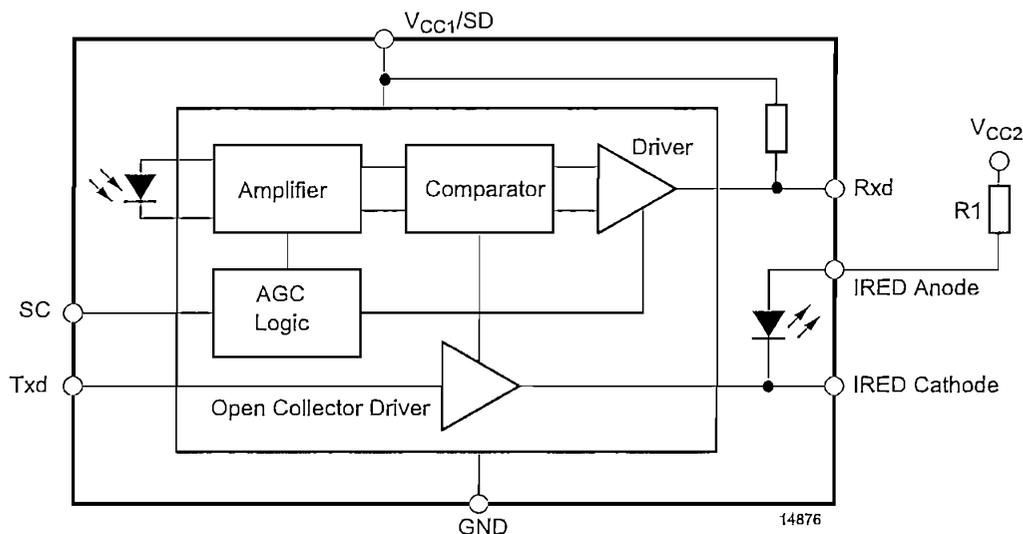
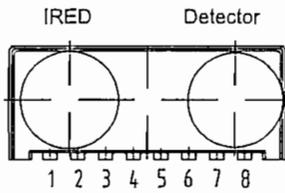


Figure 1. Functional Block Diagram

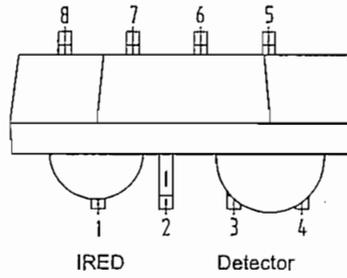
Pin Description

| Pin Number | | Function | Description | I/O | Active |
|--------------------|------------|----------------|---|-----|--------|
| "U" and "T" Option | "S" Option | | | | |
| 1 | 8 | IRED Anode | IRED anode, should be externally connected to V_{CC2} through a current control resistor | | |
| 2 | 1 | IRED Cathode | IRED cathode, internally connected to driver transistor | | |
| 3 | 7 | Txd | Transmit Data Input | I | HIGH |
| 4 | 2 | Rxd | Received Data Output, open collector. No external pull-up or pull-down resistor is required (20 k Ω resistor internal to device). Pin is inactive during transmission. | O | LOW |
| 5 | 6 | NC | Do not connect | | |
| 6 | 3 | V_{CC1} / SD | Supply Voltage / Shutdown | | |
| 7 | 5 | SC | Sensitivity control | I | HIGH |
| 8 | 4 | GND | Ground | | |

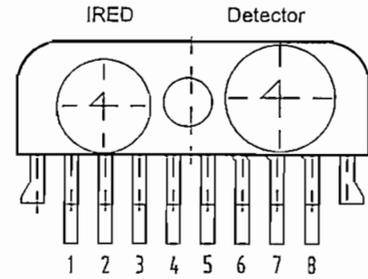
“U” Option BabyFace (Universal)



“S” Option Side View



“T” Option Top View



14885

Figure 2. Pinnings

Absolute Maximum Ratings

Reference point Pin GND unless otherwise noted.

Typical values are for DESIGN AID ONLY, not guaranteed nor subject to production testing.

| Parameters | Test Conditions | Symbol | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|--|---|-----------------|------|------|---------------|-------|
| Supply Voltage Range | $0\text{ V} \leq V_{CC2} \leq 6\text{ V}$ | V_{CC1} | -0.5 | | 6 | V |
| | $0\text{ V} \leq V_{CC1} \leq 6\text{ V}$ | V_{CC2} | -0.5 | | 6 | V |
| Input Currents | For all Pins, except IRED Anode Pin | | | | 10 | mA |
| Output Sink Current | | | | | 25 | mA |
| Power Dissipation | See Derating Curve | P_D | | | 200 | mW |
| Junction Temperature | | T_J | | | 125 | °C |
| Ambient Temperature Range (Operating) | | T_{amb} | -25 | | +85 | °C |
| Storage Temperature Range | | T_{stg} | -25 | | +85 | °C |
| Soldering Temperature | See Recommended Solder Profile | | | 215 | 240 | °C |
| Average IRED Current | | $I_{IRED (DC)}$ | | | 100 | mA |
| Repetitive Pulsed IRED Current | $t < 90\ \mu\text{s}$, $t_{on} < 20\%$ | $I_{IRED (RP)}$ | | | 500 | mA |
| IRED Anode Voltage | | $V_{IRED A}$ | -0.5 | | 6 | V |
| Transmitter Data Input Voltage | | V_{Txd} | -0.5 | | $V_{CC1}+0.5$ | V |
| Receiver Data Output Voltage | | V_{Rxd} | -0.5 | | $V_{CC1}+0.5$ | V |
| Virtual Source Size | Method: (1-1/e) encircled energy | d | 2.5 | 2.8 | | mm |
| Maximum Intensity for Class 1 Operation of IEC825-1 or EN60825-1 (worst case IrDA SIR pulse pattern *) | EN60825, 1997 | | | | 400 | mW/sr |

*** Note:**

Transmitted data: continuously transmitted “0”. In normal data transfer operation “0” and “1” will be transmitted with the same probability. Therefore, for that case, about a factor of two of safety margin is included. However, for worst case thermal stress testing such data pattern are often used and for this case the 400 mW/sr value has to be taken.

Electrical Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = 2.7\text{ V}$ to 5.5 V unless otherwise noted.

Typical values are for DESIGN AID ONLY, not guaranteed nor subject to production testing.

| Parameters | Test Conditions / Pins | Symbol | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---|--|----------------------|------------|------------|------------|---------------|
| Transceiver | | | | | | |
| Supply Voltage | Receive Mode Transmit Mode, $R_2 = 47\ \Omega$ (see Recommended Application Circuit) | V_{CC1} | 2.7 2.0 | | 5.5 5.5 | V V |
| Supply Current Pin V_{CC1} (Receive Mode) | $V_{CC1} = 5.5\text{ V}$ $V_{CC1} = 2.7\text{ V}$ | $I_{CC1}(\text{Rx})$ | | 1.3 1.0 | 2.5 1.5 | mA mA |
| Supply Current Pin V_{CC1} (avg) (Transmit Mode) | $I_{\text{IRED}} = 210\text{ mA}$ (at IRED Anode Pin) $V_{CC1} = 5.5\text{ V}$ $V_{CC1} = 2.7\text{ V}$ | $I_{CC1}(\text{Tx})$ | | 5.0 3.5 | 5.5 4.5 | mA mA |
| Leakage Current of IR Emitter, IRED Anode Pin | $V_{CC1} = \text{OFF}$, $T_{XD} = \text{LOW}$, $V_{CC2} = 6\text{ V}$, $T = 25$ to 85°C | $I_L(\text{IREDA})$ | | 0.005 | 0.5 | μA |
| Transceiver Power On Settling Time | | T_{PON} | | 50 | | μs |

Optoelectronic Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = 2.7\text{ V}$ to 5.5 V unless otherwise noted.

Typical values are for DESIGN AID ONLY, not guaranteed nor subject to production testing.

| Parameters | Test Conditions | Symbol | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---|--|-------------------|---------------|------|------|------------------------|
| Receiver | | | | | | |
| Minimum Detection Threshold Irradiance | BER = 10^{-8} (IrDA Specification) | | | | | |
| | $\alpha = \pm 15^{\circ}$, SIR Mode, SC = LOW | E_e | | 20 | 35 | mW/m^2 |
| | $\alpha = \pm 15^{\circ}$, SIR Mode, SC = HIGH | E_e | 6 | 10 | 15 | mW/m^2 |
| Maximum Detection Threshold Irradiance | $\alpha = \pm 90^{\circ}$, SIR Mode, $V_{CC1} = 5\text{ V}$ | E_e | 3.3 | 5 | | kW/m^2 |
| | $\alpha = \pm 90^{\circ}$, SIR Mode, $V_{CC1} = 3\text{ V}$ | E_e | 8 | 15 | | kW/m^2 |
| Logic LOW Receiver Input Irradiance | SC = HIGH or LOW | E_e | | | 4 | mW/m^2 |
| Output Voltage – Rxd | Active, C = 15 pF, R = 2.2 k Ω | V_{OL} | | 0.5 | 0.8 | V |
| | Non-active, C = 15 pF, R = 2.2 k Ω | V_{OH} | $V_{CC1}-0.5$ | | | V |
| Output Current – Rxd | $V_{OL} < 0.8\text{ V}$ | I_{OL} | | 4 | | mA |
| Rise Time – Rxd | C = 15 pF, R = 2.2 k Ω | $t_r(\text{Rxd})$ | 20 | | 1400 | ns |
| Fall Time – Rxd | C = 15 pF, R = 2.2 k Ω | $t_f(\text{Rxd})$ | 20 | | 200 | ns |
| Pulse Width – Rxd Output | Input pulse width = 1.6 μs , 115.2 kbit/s | t_{PW} | 1.41 | | 8 | μs |
| Jitter, Leading Edge of Output Signal | Over a Period of 10 bit, 115.2 kbit/s | t_j | | | 2 | μs |
| Latency | | t_L | | 100 | 500 | μs |

Optoelectronic Characteristics

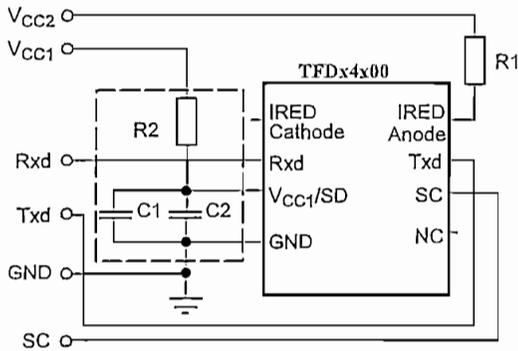
$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = 2.7\text{ V}$ to 5.5 V unless otherwise noted.

Typical values are for DESIGN AID ONLY, not guaranteed nor subject to production testing.

| Parameters | Test Conditions | Symbol | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---|--|----------------------------|------|----------|---------------|---------------|
| Transmitter | | | | | | |
| IRED Operating Current | IRED Operating Current can be adjusted by Variation of R1. Current Limiting Resistor is in Series to IRED: $R1 = 14\ \Omega$, $V_{CC2} = 5.0\text{ V}$ | I_{IRED} | | 0.2 | 0.28 | A |
| Logic LOW Transmitter Input Voltage | | $V_{IL}(\text{Txd})$ | 0 | | 0.8 | V |
| Logic HIGH Transmitter Input Voltage | | $V_{IH}(\text{Txd})$ | 2.4 | | $V_{CC1}+0.5$ | V |
| Output Radiant Intensity | In Agreement with IEC825 Eye Safety Limit, if Current Limiting Resistor is in Series to IRED: $R1 = 14\ \Omega$, $V_{CC2} = 5.0\text{ V}$, $\alpha = \pm 15^{\circ}$ | I_e | 45 | 140 | 200 | mW/sr |
| | Txd Logic LOW Level | I_e | | | 0.04 | mW/sr |
| Angle of Half Intensity | | a | | ± 24 | | $^{\circ}$ |
| Peak Wavelength of Emission | | λ_p | 880 | | 900 | nm |
| Half-Width of Emission Spectrum | | | | 60 | | nm |
| Optical Rise Time, Fall Time | | t_{ropt} , t_{fopt} | | 200 | 600 | ns |
| Optical Overshoot | | | | | 25 | % |
| Rising Edge Peak-to-Peak Jitter of Optical Output Pulse | Over a Period of 10 bits, Independent of Information content | | | | 0.2 | μs |

Recommended Circuit Diagram

The only required components for designing an IrDA 1.2 compatible design using Telefunken SIR transceivers are a current limiting resistor to the IRED. However, depending on the entire system design and board layout, additional components may be required (see figure 3). It is recommended that the capacitors C1 and C2 are positioned as near as possible to the transceiver power supply pins. A tantalum capacitor should be used for C1, while a ceramic capacitor should be used for C2 to suppress RF noise. Also, when connecting the described circuit to the power supply, low impedance wiring should be used.



Note: Outlined components are optional depending on the quality of the power supply. 14877

Figure 3. Recommended Application Circuit

R1 is used for controlling the current through the IR emitter. For increasing the output power of the IRED, the value of the resistor should be reduced. Similarly, to reduce the output power of the IRED, the value of the resistor should be increased. For typical values of R1 (see figures 4 and 5), e.g. for IrDA compliant operation ($V_{CC2} = 5\text{ V} \pm 5\%$), a current control resistor of $14\ \Omega$ is recommended. The upper drive current limitation is dependent on the duty cycle and is given by the absolute maximum ratings on the data sheet and the eye safety limitations given by IEC825-1.

R2, C1 and C2 are optional and dependent on the quality of the supply voltage V_{CC1} and injected noise. An unstable power supply with dropping voltage during transmission may reduce sensitivity (and transmission range) of the transceiver.

Table 1. Recommended Application Circuit Components

| Component | Recommended Value | Vishay Part Number |
|-----------|---|----------------------|
| C1 | 4.7 μF , Tantalum | 293D 475X9 016B 2T |
| C2 | 0.1 μF , Ceramic | VJ 1206 Y 104 J XXMT |
| R1 | 14 Ω , 0.25 W (recommended using two 7 Ω , 0.125 W resistors in series) | CRCW-1206-7R00-F-RT1 |
| R2 | 47 Ω , 0.125 W | CRCW-1206-47R0-F-RT1 |

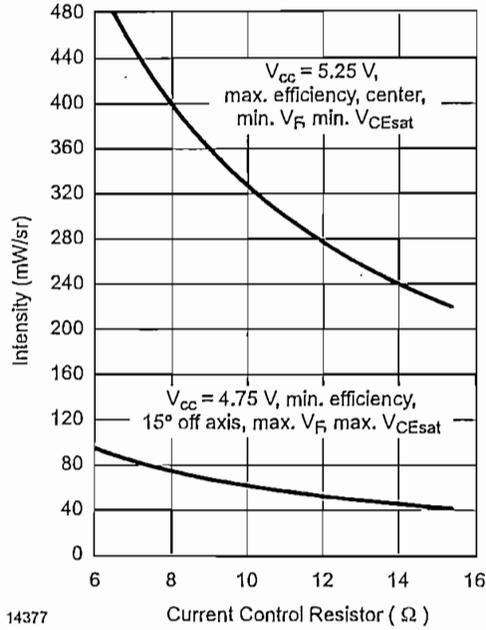


Figure 4. I_e vs. R1

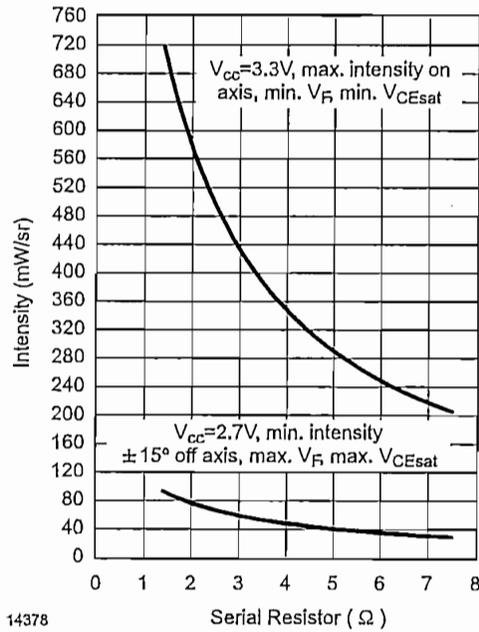


Figure 5. I_e vs. R1

The sensitivity control (SC) pin allows the minimum detection irradiance threshold of the transceiver to be lowered when set to a logic HIGH. Lowering the irradiance threshold increases the sensitivity to infrared signals and increases transmission range up to 3 meters. However, setting the Pin SC to logic HIGH also makes the transceiver more susceptible to transmission errors due to an increased sensitivity to fluorescent light disturbances. It is recommended to set the Pin SC to logic LOW or left open if the increased range is not required or if the system will be operating in bright ambient light.

The guide pins on the side-view and top-view packages are internally connected to ground but should not be connected to the system ground to avoid ground loops. They should be used for mechanical purposes only and should be left floating.

Shutdown

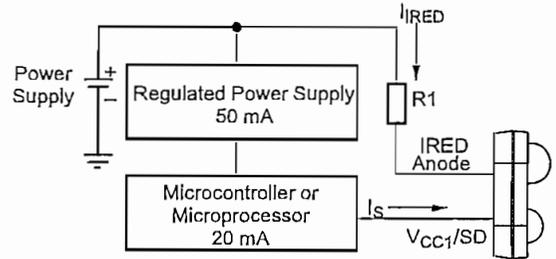
The internal switch for the IRED in Telefunken SIR transceivers is designed to be operated like an open collector driver. Thus, the V_{CC2} source can be an unregulated power supply while only a well regulated power source with a supply current of 1.3 mA connected to V_{CC1}/SD is needed to provide power to the remainder of the transceiver circuitry in receive mode. In transmit mode, this current is slightly higher (approximately 4 mA average at 3 V supply current) and the voltage is not required to be kept as stable as in receive mode. A voltage drop of V_{CC1} is acceptable down to about 2.0 V when buffering the voltage directly from the Pin V_{CC1} to GND (see figure 3).

This configuration minimizes the influence of high current surges from the IRED on the internal analog control circuitry of the transceiver and the application circuit. Also board space and cost savings can be achieved by eliminating the additional linear regulator normally needed for the IRED's high current requirements.

The transceiver can be very efficiently shutdown by keeping the IRED connected to the power supply V_{CC2} but switching off V_{CC1}/SD . The power source to V_{CC1}/SD can be provided directly from a microcontroller (see figure 6). In shutdown, current loss is realized only as leakage current through the current limiting resistor to the IRED (typically 5 nA). The settling time after switching V_{CC1}/SD on again is

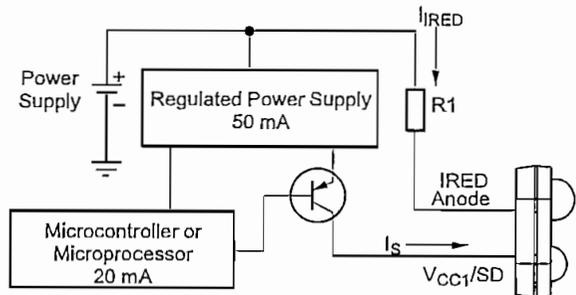
approximately 50 μ s. Telefunken's TOIM3232 interface circuit is designed for this shutdown feature. The V_{CC_SD} , S0 or S1 outputs on the TOIM3232 can be used to power the transceiver with the necessary supply current.

If the microcontroller or the microprocessor is unable to drive the supply current required by the transceiver, a low-cost SOT23 pnp transistor can be used to switch voltage on and off from the regulated power supply (see figure 7). The additional component cost is minimal and saves the system designer additional power supply costs.



TFDU4100 (Note: Typical Values Listed)
 Receive Mode
 @ 5 V: $I_{IRED} = 210$ mA, $I_S = 1.3$ mA
 @ 2.7 V: $I_{IRED} = 210$ mA, $I_S = 1.0$ mA
 Transmit Mode
 @ 5 V: $I_{IRED} = 210$ mA, $I_S = 5$ mA (Avg.)
 @ 2.7 V: $I_{IRED} = 210$ mA, $I_S = 3.5$ mA (Avg.) 14878

Figure 6.



TFDU4100 (Note: Typical Values Listed)
 Receive Mode
 @ 5 V: $I_{IRED} = 210$ mA, $I_S = 1.3$ mA
 @ 2.7 V: $I_{IRED} = 210$ mA, $I_S = 1.0$ mA
 Transmit Mode
 @ 5 V: $I_{IRED} = 210$ mA, $I_S = 5$ mA (Avg.)
 @ 2.7 V: $I_{IRED} = 210$ mA, $I_S = 3.5$ mA (Avg.) 14879

Figure 7.

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

General Description

The +5V MAX5250 combines four low-power, voltage-output, 10-bit digital-to-analog converters (DACs) and four precision output amplifiers in a space-saving, 20-pin package. In addition to the four voltage outputs, each amplifier's negative input is also available to the user. This facilitates specific gain configurations, remote sensing, and high output drive capacity, making the MAX5250 ideal for industrial-process-control applications. Other features include software shutdown, hardware shutdown lockout, an active-low reset that clears all registers and DACs to zero, a user-programmable logic output, and a serial-data output.

Each DAC has a double-buffered input organized as an input register followed by a DAC register. A 16-bit serial word loads data into each input/DAC register. The 3-wire serial interface is compatible with SPI™/QSPI™ and MICROWIRE™. It allows the input and DAC registers to be updated independently or simultaneously with a single software command. All logic inputs are TTL/CMOS-logic compatible.

Applications

Digital Offset and Gain Adjustment
 Microprocessor-Controlled Systems
 Industrial Process Controls
 Automatic Test Equipment
 Remote Industrial Controls
 Motion Control

Features

- ◆ Four 10-Bit DACs with Configurable Output Amplifiers
- ◆ +5V Single-Supply Operation
- ◆ Low Supply Current: 0.85mA Normal Operation
10µA Shutdown Mode
- ◆ Available in 20-Pin SSOP and DIP Packages
- ◆ Power-On Reset Clears all Registers and DACs to Zero
- ◆ SPI/QSPI and MICROWIRE Compatible
- ◆ Simultaneous or Independent Control of DACs through 3-Wire Serial Interface
- ◆ User-Programmable Digital Output
- ◆ Schmitt-Trigger Inputs for Direct Optocoupler Interface
- ◆ 12-Bit Upgrade Available: MAX525

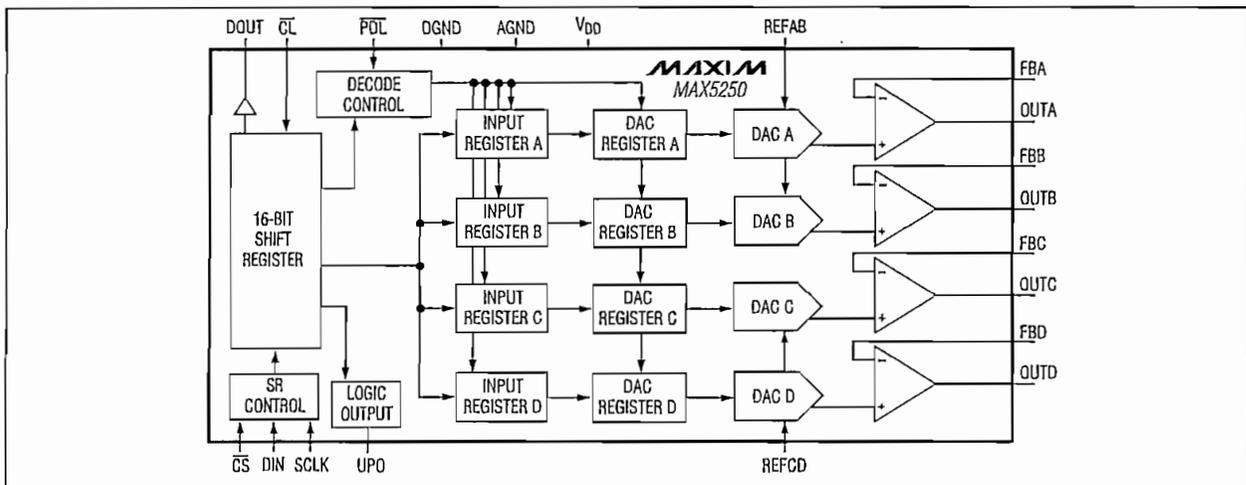
Ordering Information

| PART | TEMP RANGE | PIN-PACKAGE | INL (LSB) |
|-------------|--------------|----------------|-----------|
| MAX5250ACPP | 0°C to +70°C | 20 Plastic DIP | ±1/2 |
| MAX5250BCPP | 0°C to +70°C | 20 Plastic DIP | ±1 |
| MAX5250ACAP | 0°C to +70°C | 20 SSOP | ±1/2 |
| MAX5250BCAP | 0°C to +70°C | 20 SSOP | ±1 |

Ordering Information continued on last page.

Pin Configuration appears at end of data sheet.

Functional Diagram



SPI and QSPI are trademarks of Motorola, Inc. MICROWIRE is a trademark of National Semiconductor Corp.

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| | |
|--|-----------------------------------|
| V _{DD} to AGND | -0.3V to +6V |
| V _{DD} to DGND | -0.3V to +6V |
| AGND to DGND | ±0.3V |
| REFAB, REFCD to AGND | -0.3V to (V _{DD} + 0.3V) |
| OUT ₋ , FB ₋ to AGND | -0.3V to (V _{DD} + 0.3V) |
| Digital Inputs to DGND | -0.3V to +6V |
| DO _{UT} , UPO to DGND | -0.3V to (V _{DD} + 0.3V) |
| Continuous Current into Any Pin | ±20mA |

| | |
|---|-----------------|
| Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C) | |
| Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C) | 640mW |
| SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C) | 640mW |
| CERDIP (derate 11.11mW/°C above +70°C) | 889mW |
| Operating Temperature Ranges | |
| MAX5250_C_P | 0°C to +70°C |
| MAX5250_E_P | -40°C to +85°C |
| MAX5250BMJP | -55°C to +125°C |
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |
| Lead Temperature (soldering, 10s) | +300°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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{DD} = +5V ±10%, AGND = DGND = 0V, REFAB = REFCD = 2.5V, R_L = 5kΩ, C_L = 100pF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C. Output buffer connected in unity-gain configuration (Figure 9).)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|------------------|---|-----|-----------------------|------|--------|
| STATIC PERFORMANCE—ANALOG SECTION | | | | | | |
| Resolution | N | | 10 | | | Bits |
| Integral Nonlinearity (Note 1) | INL | MAX5250A | | ±0.25 | ±0.5 | LSB |
| | | MAX5250B | | | ±1.0 | |
| Differential Nonlinearity | DNL | Guaranteed monotonic | | | ±1.0 | LSB |
| Offset Error | V _{OS} | | | | ±6.0 | mV |
| Offset-Error Tempco | | | | 6 | | ppm/°C |
| Gain Error | GE | (Note 1) | | | ±1.0 | LSB |
| Gain-Error Tempco | | | | 1 | | ppm/°C |
| Power-Supply Rejection Ratio | PSRR | 4.5V ≤ V _{DD} ≤ 5.5V | | 100 | 800 | μV/V |
| REFERENCE INPUT | | | | | | |
| Reference Input Range | V _{REF} | | 0 | V _{DD} - 1.4 | | V |
| Reference Input Resistance | R _{REF} | Code dependent, minimum at code 554 hex | 8 | | | kΩ |
| MULTIPLYING-MODE PERFORMANCE | | | | | | |
| Reference -3dB Bandwidth | | V _{REF} = 0.67V _{p-p} | | 650 | | kHz |
| Reference Feedthrough | | Input code = all 0s, V _{REF} = 3.6V _{p-p} at 1kHz | | -84 | | dB |
| Signal-to-Noise Plus Distortion Ratio | SINAD | V _{REF} = 1V _{p-p} at 25kHz, code = full scale | | 72 | | dB |

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_{DD} = +5V \pm 10\%$, $AGND = DGND = 0V$, $REFAB = REFCD = 2.5V$, $R_L = 5k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. Output buffer connected in unity-gain configuration (Figure 9).)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|----------|---|----------------|---------------|-----------|------------|
| DIGITAL INPUTS | | | | | | |
| Input High Voltage | V_{IH} | | 2.4 | | | V |
| Input Low Voltage | V_{IL} | | | | 0.8 | V |
| Input Leakage Current | I_{IN} | $V_{IN} = 0V$ or V_{DD} | | 0.01 | ± 1.0 | μA |
| Input Capacitance | C_{IN} | | | 8 | | pF |
| DIGITAL OUTPUTS | | | | | | |
| Output High Voltage | V_{OH} | $I_{SOURCE} = 2mA$ | $V_{DD} - 0.5$ | | | V |
| Output Low Voltage | V_{OL} | $I_{SINK} = 2mA$ | | 0.13 | 0.4 | V |
| DYNAMIC PERFORMANCE | | | | | | |
| Voltage Output Slew Rate | SR | | | 0.6 | | V/ μs |
| Output Settling Time | | $T_o \pm 1/2LSB$, $V_{STEP} = 2.5V$ | | 10 | | μs |
| Output Voltage Swing | | Rail-to-Rail® (Note 2) | | 0 to V_{DD} | | V |
| Current into FB ₋ | | | | 0 | 0.1 | μA |
| OUT ₋ Leakage Current in Shutdown | | $R_L = \infty$ | | 0.01 | ± 1 | μA |
| Start-Up Time Exiting Shutdown Mode | | | | 15 | | μs |
| Digital Feedthrough | | $\overline{CS} = V_{DD}$, $DIN = 100kHz$ | | 5 | | nV-s |
| Digital Crosstalk | | | | 5 | | nV-s |
| POWER SUPPLIES | | | | | | |
| Supply Voltage | V_{DD} | | 4.5 | | 5.5 | V |
| Supply Current | I_{DD} | (Note 3) | | 0.85 | 0.98 | mA |
| Supply Current in Shutdown | | (Note 3) | | 10 | 20 | μA |
| Reference Current in Shutdown | | | | 0.01 | ± 1 | μA |

Note 1: Guaranteed from code 3 to code 1023 in unity-gain configuration.

Note 2: Accuracy is better than 1LSB for $V_{OUT} = 6mV$ to $V_{DD} - 60mV$, guaranteed by a power-supply rejection test at the end points.

Note 3: $R_L = \infty$, digital inputs at DGND or V_{DD} .

Rail-to-Rail is a registered trademark of Nippon Motorola, Inc.

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

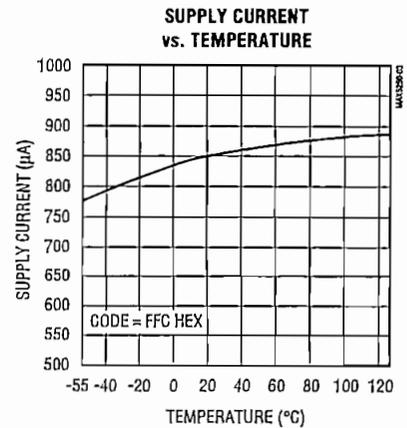
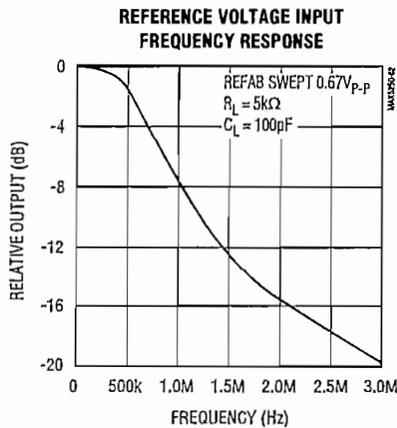
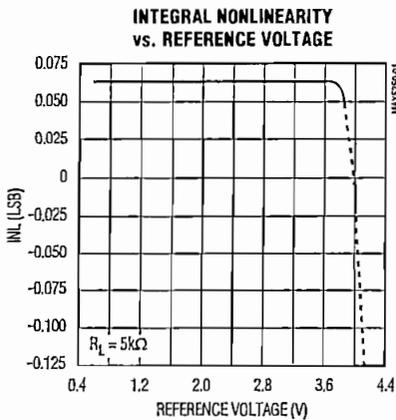
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_{DD} = +5V \pm 10\%$, $AGND = DGND = 0V$, $REFAB = REFCD = 2.5V$, $R_L = 5k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$. Output buffer connected in unity-gain configuration (Figure 9).)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|-----------|--------------------|-----|-----|-----|-------|
| TIMING CHARACTERISTICS (Figure 6) | | | | | | |
| SCLK Clock Period | t_{CP} | | 100 | | | ns |
| SCLK Pulse Width High | t_{CH} | | 40 | | | ns |
| SCLK Pulse Width Low | t_{CL} | | 40 | | | ns |
| \overline{CS} Fall to SCLK Rise Setup Time | t_{CSS} | | 40 | | | ns |
| SCLK Raise to \overline{CS} Rise Hold Time | t_{CSH} | | 0 | | | ns |
| DIN Setup Time | t_{DS} | | 40 | | | ns |
| DIN Hold Time | t_{DH} | | 0 | | | ns |
| SCLK Rise to DOUT Valid Propagation Delay | t_{D01} | $C_{LOAD} = 200pF$ | | | 80 | ns |
| SCLK Fall to DOUT Valid Propagation Delay | t_{D02} | $C_{LOAD} = 200pF$ | | | 80 | ns |
| SCLK Rise to \overline{CS} Fall Delay | t_{CS0} | | 40 | | | ns |
| \overline{CS} Rise to SCLK Rise Hold Time | t_{CS1} | | 40 | | | ns |
| \overline{CS} Pulse Width High | t_{CSW} | | 100 | | | ns |

Typical Operating Characteristics

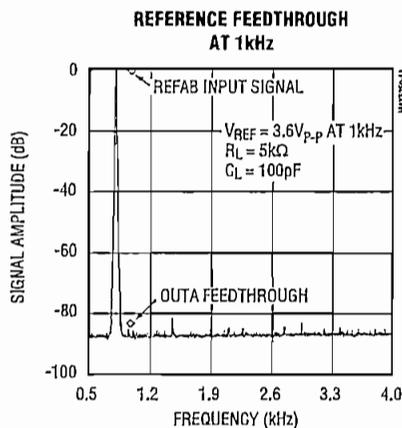
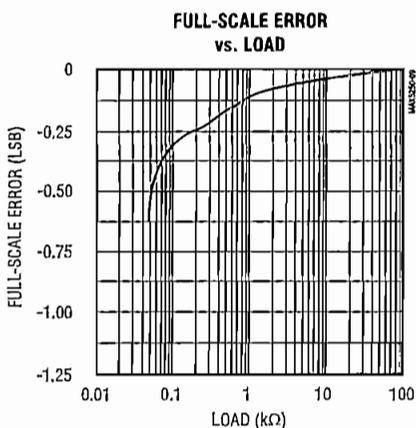
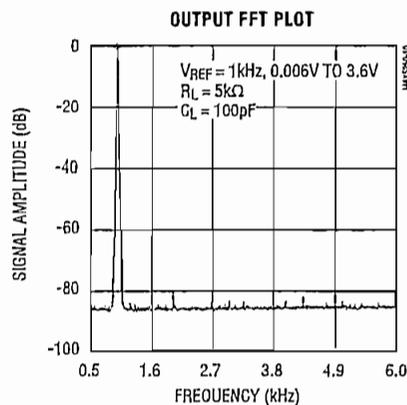
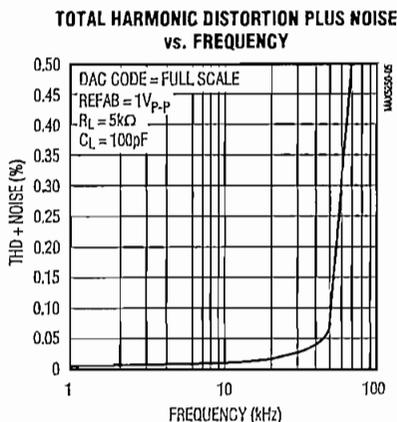
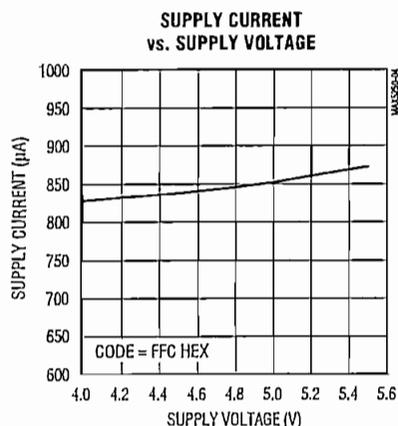
($V_{DD} = +5V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)



Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

Typical Operating Characteristics (continued)

($V_{DD} = +5V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)

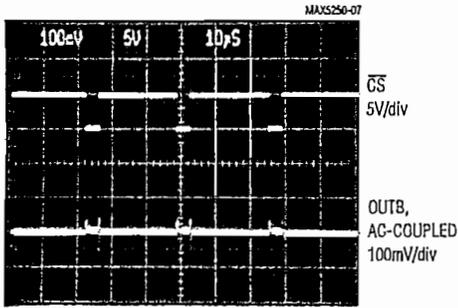


Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

Typical Operating Characteristics (continued)

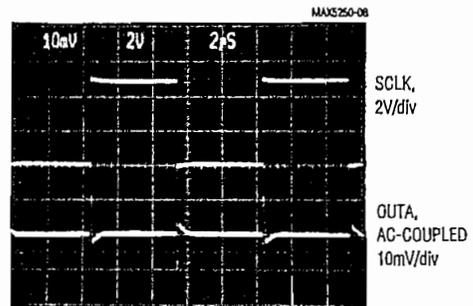
($V_{DD} = +5V$, $V_{REF} = 2.5V$, $R_L = 5k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)

MAJOR-CARRY TRANSITION



10µs/div

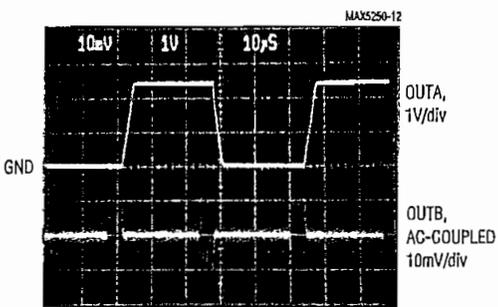
DIGITAL FEEDTHROUGH (SCLK = 100kHz)



2µs/div

$\overline{CS} = \overline{PDL} = \overline{CL} = 5V$, $DIN = 0V$
DAC A CODE SET TO 800 HEX

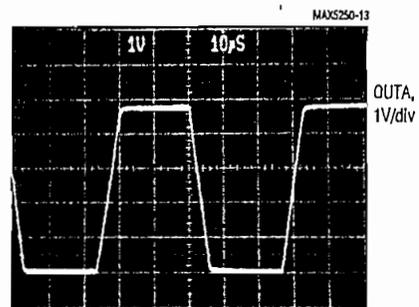
ANALOG CROSSTALK



10µs/div

DAC A CODE SWITCHING FROM 00C HEX TO FFC HEX
DAC B CODE SET TO 800 HEX

DYNAMIC RESPONSE



10µs/div

SWITCHING FROM CODE 000 HEX TO FB4 HEX
OUTPUT AMPLIFIER GAIN = +2

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

Pin Description

MAX5250

| PIN | NAME | FUNCTION |
|-----|------------------|--|
| 1 | AGND | Analog Ground |
| 2 | FBA | DAC A Output Amplifier Feedback |
| 3 | OUTA | DAC A Output Voltage |
| 4 | OUTB | DAC B Output Voltage |
| 5 | FBB | DAC B Output Amplifier Feedback |
| 6 | REFAB | Reference Voltage Input for DAC A and DAC B |
| 7 | \overline{CL} | Clear All DACs and Registers. Resets all outputs (OUT_, UPO, DOUT) to 0, active low. |
| 8 | \overline{CS} | Chip-Select Input. Active low. |
| 9 | DIN | Serial-Data Input |
| 10 | SCLK | Serial-Clock Input |
| 11 | DGND | Digital Ground |
| 12 | DOUT | Serial-Data Output |
| 13 | UPO | User-Programmable Logic Output |
| 14 | \overline{PDL} | Power-Down Lockout. Active low. Locks out software shutdown if low. |
| 15 | REFCD | Reference Voltage Input for DAC C and DAC D |
| 16 | FBC | DAC C Output Amplifier Feedback |
| 17 | OUTC | DAC C Output Voltage |
| 18 | OUTD | DAC D Output Voltage |
| 19 | FBD | DAC D Output Amplifier Feedback |
| 20 | VDD | Positive Power Supply |

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

MAX5250

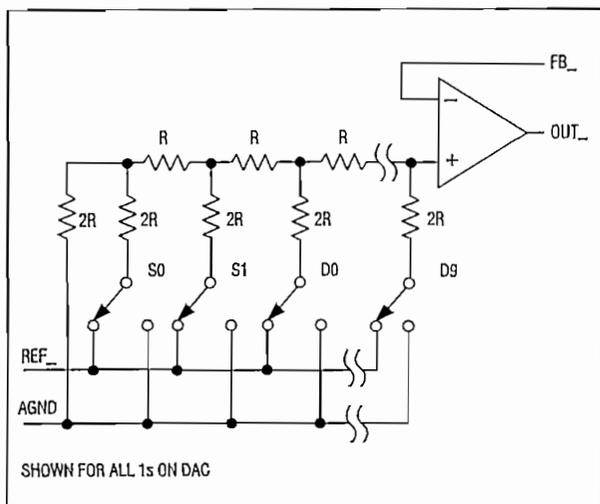


Figure 1. Simplified DAC Circuit Diagram

Detailed Description

The MAX5250 contains four 10-bit, voltage-output digital-to-analog converters (DACs) that are easily addressed using a simple 3-wire serial interface. It includes a 16-bit data-in/data-out shift register, and each DAC has a doubled-buffered input composed of an input register and a DAC register (see *Functional Diagram*). In addition to the four voltage outputs, each amplifier's negative input is available to the user.

The DACs are inverted R-2R ladder networks that convert a digital input (10 data bits plus 2 sub-bits) into equivalent analog output voltages in proportion to the applied reference voltage inputs. DACs A and B share the REFAB reference input, while DACs C and D share the REFCB reference input. The two reference inputs allow different full-scale output voltage ranges for each pair of DACs. Figure 1 shows a simplified circuit diagram of one of the four DACs.

Reference Inputs

The two reference inputs accept positive DC and AC signals. The voltage at each reference input sets the full-scale output voltage for its two corresponding DACs. The reference input voltage range is 0V to ($V_{DD} - 1.4V$). The output voltages ($V_{OUT_}$) are represented by a digitally programmable voltage source as:

$$V_{OUT_} = (V_{REF} \times NB / 1024) \times \text{Gain}$$

where NB is the numeric value of the DAC's binary input code (0 to 1023), V_{REF} is the reference voltage, and Gain is the externally set voltage gain.

The impedance at each reference input is code dependent, ranging from a low value of 10kΩ when both DACs connected to the reference have an input code of 554 hex, to a high value exceeding several giga ohms (leakage currents) with an input code of 000 hex. Because the input impedance at the reference pins is code dependent, load regulation of the reference source is important.

The REFAB and REFCB reference inputs have a 10kΩ guaranteed minimum input impedance. When the two reference inputs are driven from the same source, the effective minimum impedance is 5kΩ. A voltage reference with a load regulation of 6ppm/mA, such as the MAX873, would typically deviate by 0.006LSB (0.015LSB worst case) when driving both MAX5250 reference inputs simultaneously at 2.5V. Driving the REFAB and REFCB pins separately improves reference accuracy.

In shutdown mode, the MAX5250's REFAB and REFCB inputs enter a high-impedance state with a typical input leakage current of 0.01μA.

The reference input capacitance is also code dependent and typically ranges from 20pF with an input code of all 0s to 100pF at full scale.

Output Amplifiers

All MAX5250 DAC outputs are internally buffered by precision amplifiers with a typical slew rate of 0.6V/μs. Access to each output amplifier's inverting input provides the user greater flexibility in output gain setting/signal conditioning (see the *Applications Information* section).

With a full-scale transition at the MAX5250 output, the typical settling time to $\pm 1/2\text{LSB}$ is 10μs when loaded with 5kΩ in parallel with 100pF (loads less than 2kΩ degrade performance).

The MAX5250 output amplifier's output dynamic responses and settling performances are shown in the *Typical Operating Characteristics*.

Power-Down Mode

The MAX5250 features a software-programmable shutdown that reduces supply current to a typical value of 10μA. The power-down lockout pin (PDL) must be high to enable shutdown mode. Writing 1100XXXXXXXXXXXX as the input-control word puts the MAX5250 in power-down mode (Table 1).

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

MAX5250

In power-down mode, the MAX5250 output amplifiers and the reference inputs enter a high-impedance state. The serial interface remains active. Data in the input registers is retained in power-down, allowing the MAX5250 to recall the output states prior to entering shutdown. Start up from power-down either by recalling the previous configuration or by updating the DACs with new data. When powering up the device or bringing it out of shutdown, allow 15µs for the outputs to stabilize.

Serial-Interface Configurations

The MAX5250's 3-wire serial interface is compatible with both MICROWIRE (Figure 2) and SPI/QSPI (Figure 3). The serial input word consists of two address bits and two control bits followed by 10+2 data bits (MSB first), as shown in Figure 4. The 4-bit address/control code determines the MAX5250's response outlined in Table 1. The connection between DOUT and the serial-interface port is not necessary, but may be used for data echo. Data held in the MAX5250's shift register can be shifted out of DOUT and returned to the microprocessor (µP) for data verification.

The MAX5250's digital inputs are double buffered. Depending on the command issued through the serial interface, the input register(s) can be loaded without affecting the DAC register(s), the DAC register(s) can be loaded directly, or all four DAC registers can be updated simultaneously from the input registers (Table 1).

Serial-Interface Description

The MAX5250 requires 16 bits of serial data. Table 1 lists the serial-interface programming commands. For certain commands, the 10+2 data bits are "don't cares." Data is sent MSB first and can be sent in two 8-bit packets or one 16-bit word (\overline{CS} must remain low until 16 bits are transferred). The serial data is composed of two DAC address bits (A1, A0) and two control bits (C1, C0), followed by the 10+2 data bits D9...D0, S1, S0 (Figure 4). Set both sub-bits (S1, S0) to zero. The 4-bit address/control code determines:

- The register(s) to be updated
- The clock edge on which data is to be clocked out through the serial-data output (DOUT)
- The state of the user-programmable logic output (UPO)
- If the part is to go into shutdown mode (assuming PDL is high)
- How the part is configured when coming out of shutdown mode.

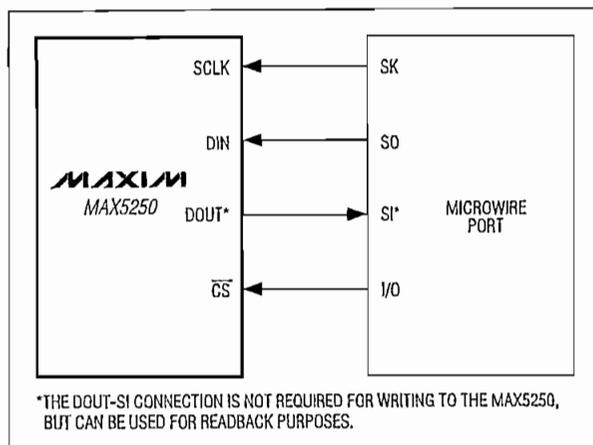


Figure 2. Connections for Microwire

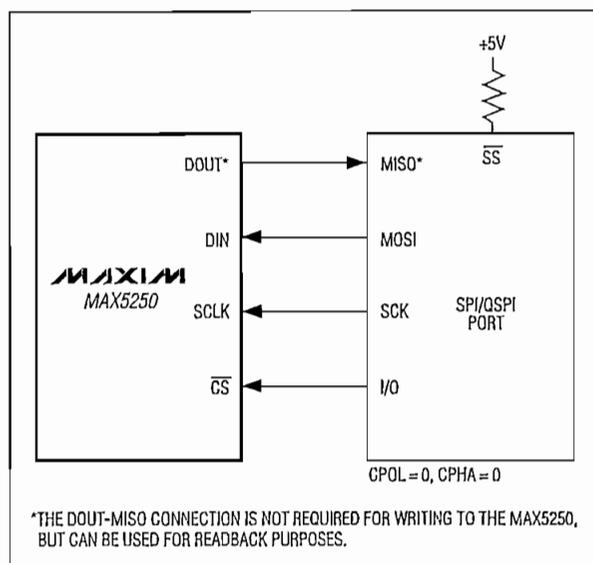


Figure 3. Connections for SPI/QSPI

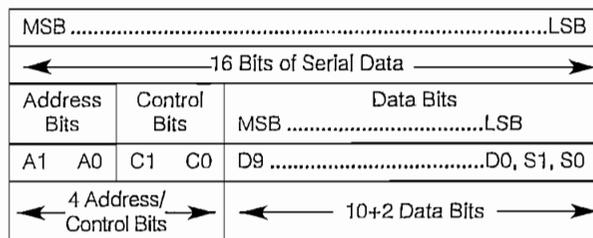


Figure 4. Serial-Data Format

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

Table 1. Serial-Interface Programming Commands

| 16-BIT SERIAL WORD | | | | | | FUNCTION |
|--------------------|----|----|----|--------------------------|-------|---|
| A1 | A0 | C1 | C0 | D9.....D0 MSB.....LSB | S1 S0 | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 10-bit DAC data | 0 0 | Load input register A; DAC registers unchanged. |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 10-bit DAC data | 0 0 | Load input register B; DAC registers unchanged. |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 10-bit DAC data | 0 0 | Load input register C; DAC registers unchanged. |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 10-bit DAC data | 0 0 | Load input register D; DAC registers unchanged. |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 10-bit DAC data | 0 0 | Load input register A; all DAC registers updated. |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 10-bit DAC data | 0 0 | Load input register B; all DAC registers updated. |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 10-bit DAC data | 0 0 | Load input register C; all DAC registers updated. |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 10-bit DAC data | 0 0 | Load input register D; all DAC registers updated. |
| 0 | 1 | 0 | 0 | XXXXXXXXXX | X X | Update all DAC registers from their respective input registers (also exit shutdown mode). |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 10-bit DAC data | 0 0 | Load all DAC registers from shift register (also exit shutdown mode). |
| 1 | 1 | 0 | 0 | XXXXXXXXXX | X X | Enter shutdown mode (provided $\overline{PDL} = 1$). |
| 0 | 0 | 1 | 0 | XXXXXXXXXX | X X | UPO goes low (default). |
| 0 | 1 | 1 | 0 | XXXXXXXXXX | X X | UPO goes high. |
| 0 | 0 | 0 | 0 | XXXXXXXXXX | X X | No operation (NOP) to DAC registers |
| 1 | 1 | 1 | 0 | XXXXXXXXXX | X X | Mode 1, DOUT clocked out on SCLK's rising edge. All DAC registers updated. |
| 1 | 0 | 1 | 0 | XXXXXXXXXX | X X | Mode 0, DOUT clocked out on SCLK's falling edge. All DAC registers updated (default). |

"X" = Don't care

Figure 5 shows the serial-interface timing requirements. The chip-select pin (\overline{CS}) must be low to enable the DAC's serial interface. When \overline{CS} is high, the interface control circuitry is disabled. \overline{CS} must go low at least t_{CSS} before the rising serial clock (SCLK) edge to properly clock in the first bit. When \overline{CS} is low, data is clocked into the internal shift register through the serial-data input pin (DIN) on SCLK's rising edge. The maximum guaranteed clock frequency is 10MHz. Data is latched into the appropriate MAX5250 input/DAC registers on \overline{CS} 's rising edge.

The programming command Load-All-DACs-From-Shift-Register allows all input and DAC registers to be simultaneously loaded with the same digital code from the input shift register. The no operation (NOP) command leaves the register contents unaffected and is useful when the MAX5250 is configured in a daisy chain (see the *Daisy Chaining Devices* section). The command to

change the clock edge on which serial data is shifted out of DOUT also loads data from all input registers to their respective DAC registers.

Serial-Data Output (DOUT)

The serial-data output, DOUT, is the internal shift register's output. The MAX5250 can be programmed so that data is clocked out of DOUT on SCLK's rising edge (Mode 1) or falling edge (Mode 0). In Mode 0, output data at DOUT lags input data at DIN by 16.5 clock cycles, maintaining compatibility with MICROWIRE, SPI/QSPI, and other serial interfaces. In Mode 1, output data lags input data by 16 clock cycles. On power-up, DOUT defaults to Mode 0 timing.

User-Programmable Logic Output (UPO)

The user-programmable logic output, UPO, allows an external device to be controlled through the MAX5250 serial interface (Table 1).

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

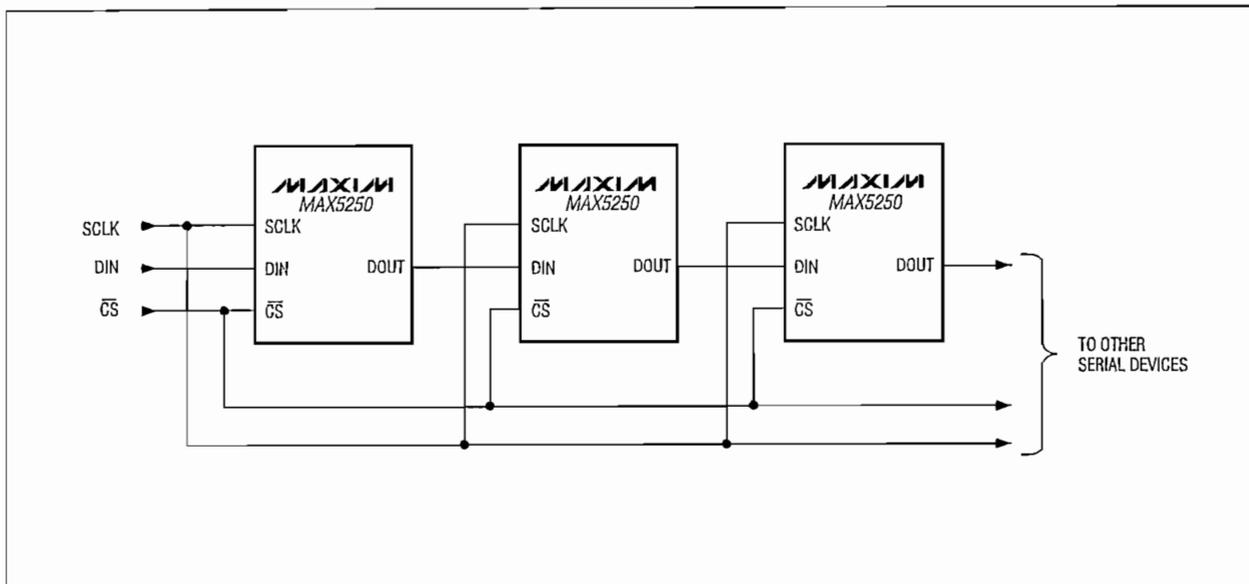


Figure 7. Daisy-Chaining MAX5250s

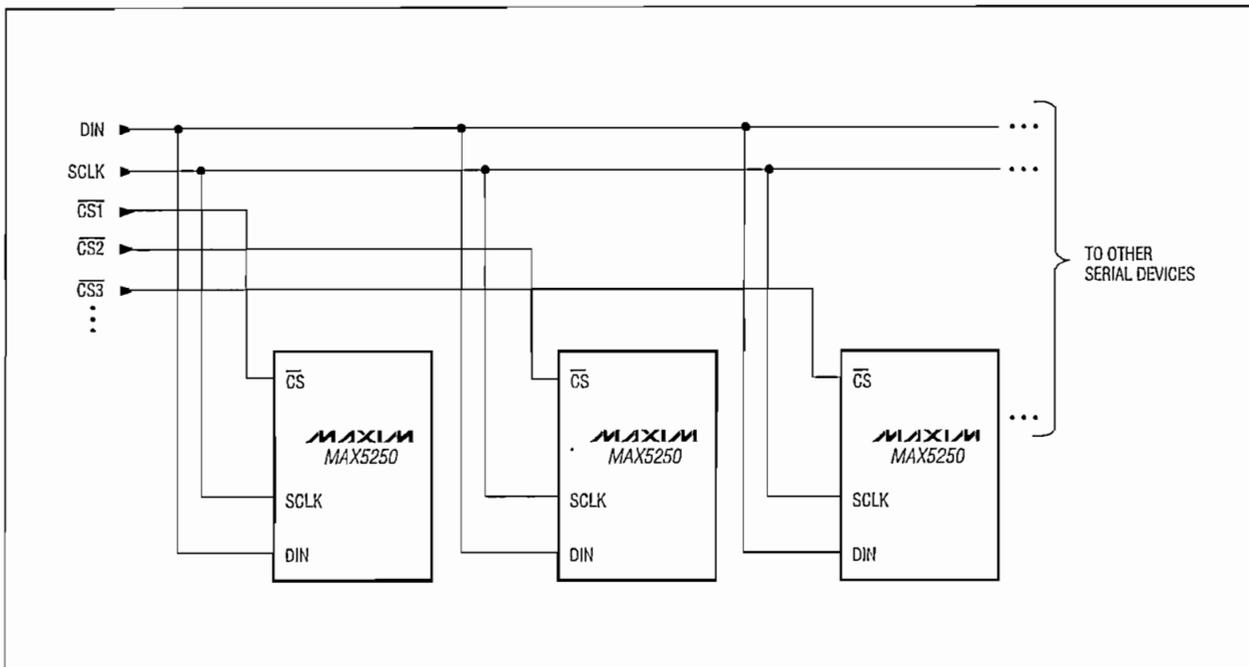


Figure 8. Multiple MAX5250s Sharing a Common DIN Line

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

Applications Information

Unipolar Output

For a unipolar output, the output voltages and the reference inputs have the same polarity. Figure 9 shows the MAX5250 unipolar output circuit, which is also the typical operating circuit. Table 2 lists the unipolar output codes.

For rail-to-rail outputs, see Figure 10. This circuit shows the MAX5250 with the output amplifiers configured with a closed-loop gain of +2 to provide 0V to 5V full-scale range when a 2.5V reference is used.

Table 2. Unipolar Code Table

| DAC CONTENTS | | | ANALOG OUTPUT |
|--------------|------|--------|---|
| MSB | LSB | | |
| 1111 | 1111 | 11(00) | $+V_{REF} \left(\frac{1023}{1024} \right)$ |
| 1000 | 0000 | 01(00) | $+V_{REF} \left(\frac{513}{1024} \right)$ |
| 1000 | 0000 | 00(00) | $+V_{REF} \left(\frac{512}{1024} \right) = \frac{+V_{REF}}{2}$ |
| 0111 | 1111 | 11(00) | $+V_{REF} \left(\frac{511}{1024} \right)$ |
| 0000 | 0000 | 01(00) | $+V_{REF} \left(\frac{1}{1024} \right)$ |
| 0000 | 0000 | 00(00) | 0V |

Table 3. Bipolar Code Table

| DAC CONTENTS | | | ANALOG OUTPUT |
|--------------|------|--------|--|
| MSB | LSB | | |
| 1111 | 1111 | 11(00) | $+V_{REF} \left(\frac{511}{512} \right)$ |
| 1000 | 0000 | 01(00) | $+V_{REF} \left(\frac{1}{512} \right)$ |
| 1000 | 0000 | 00(00) | 0V |
| 0111 | 1111 | 11(00) | $-V_{REF} \left(\frac{1}{512} \right)$ |
| 0000 | 0000 | 01(00) | $-V_{REF} \left(\frac{511}{512} \right)$ |
| 0000 | 0000 | 00(00) | $-V_{REF} \left(\frac{512}{512} \right) = -V_{REF}$ |

() Sub-bits

Bipolar Output

The MAX5250 outputs can be configured for bipolar operation using Figure 11's circuit:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left[\left(\frac{2NB}{1024} \right) - 1 \right]$$

where NB is the numeric value of the DAC's binary input code. Table 3 shows digital codes (offset binary) and corresponding output voltages for Figure 11's circuit.

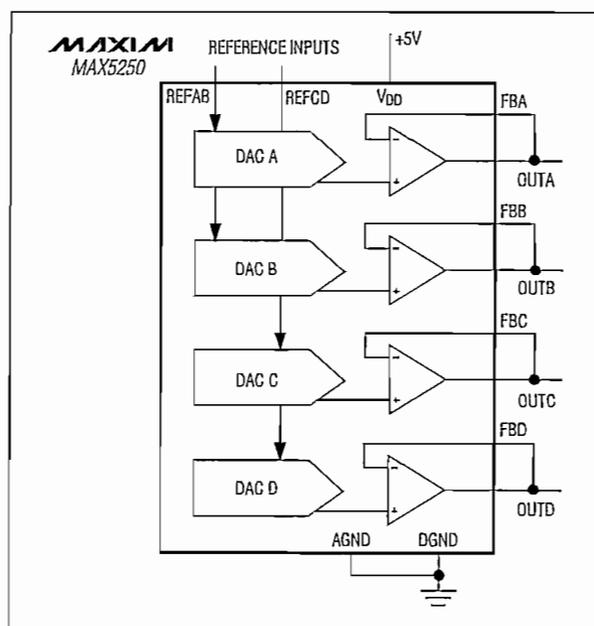


Figure 9. Unipolar Output Circuit

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

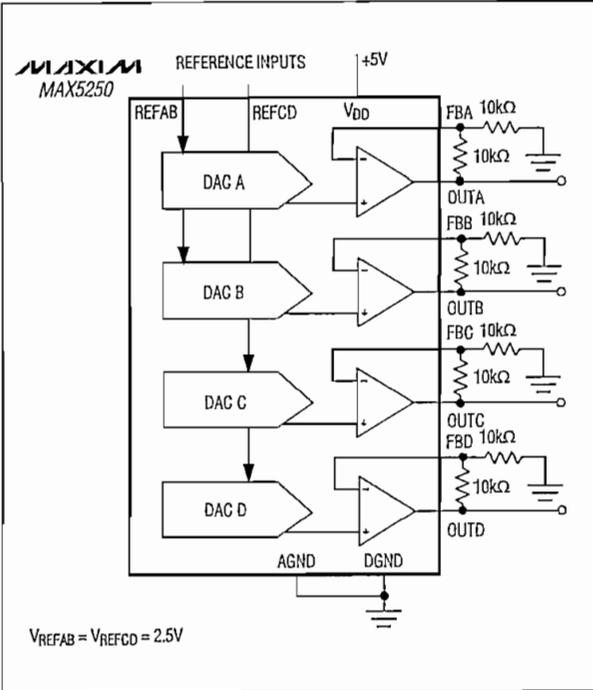


Figure 10. Unipolar Rail-to-Rail Output Circuit

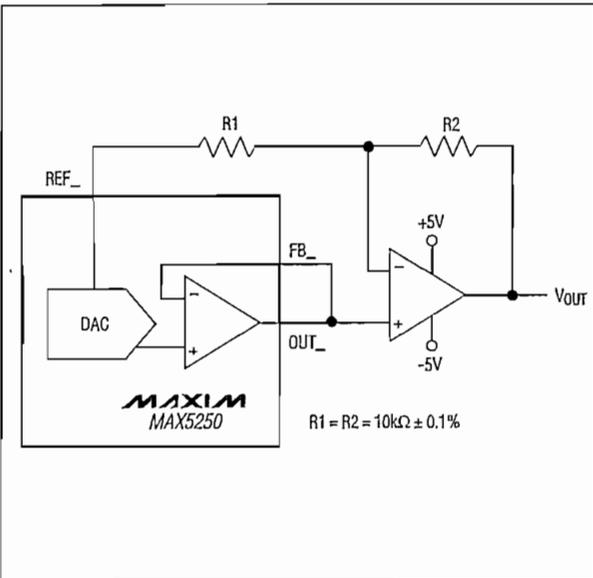


Figure 11. Bipolar Output Circuit

Using an AC Reference

In applications where the reference has AC signal components, the MAX5250 has multiplying capability within the reference input range specifications. Figure 12 shows a technique for applying a sine-wave signal to the reference input where the AC signal is offset before being applied to REFAB/REFCO. The reference voltage must never be more negative than DGND.

The MAX5250's total harmonic distortion plus noise (THD + N) is typically less than -72dB (full-scale code), given a 1VP-P signal swing and input frequencies up to 25kHz. The typical -3dB frequency is 650kHz, as shown in the *Typical Operating Characteristics* graphs.

Digitally Programmable Current Source

The circuit of Figure 13 places an NPN transistor (2N3904 or similar) within the op-amp feedback loop to implement a digitally programmable, unidirectional current source. This circuit can be used to drive 4–20mA current loops, which are commonly used in industrial-control applications. The output current is calculated with the following equation:

$$I_{OUT} = (V_{REF} / R) \times (NB / 1024)$$

where NB is the numeric value of the DAC's binary input code and R is the sense resistor shown in Figure 13.

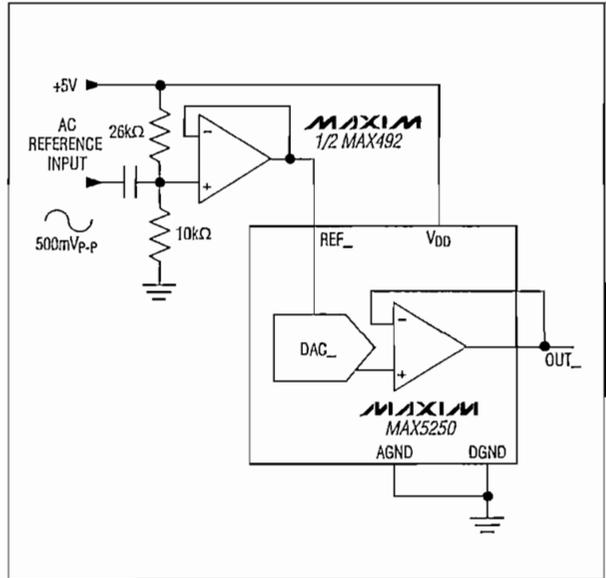


Figure 12. AC Reference Input Circuit

Low-Power, Quad, 10-Bit Voltage-Output DAC with Serial Interface

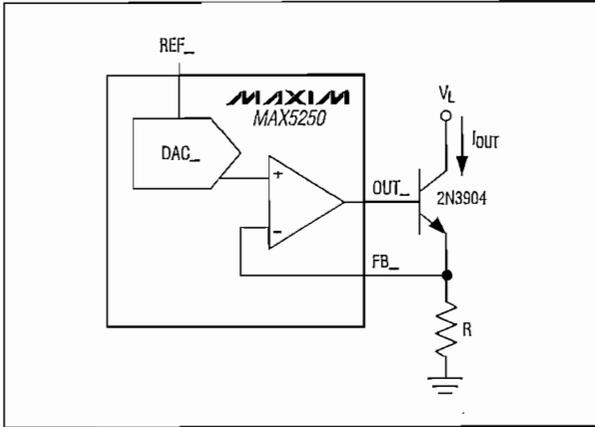


Figure 13. Digitally Programmable Current Source

Power-Supply Considerations

On power-up, all input and DAC registers are cleared (set to zero code) and DOUT is in Mode 0 (serial data is shifted out of DOUT on the clock's falling edge).

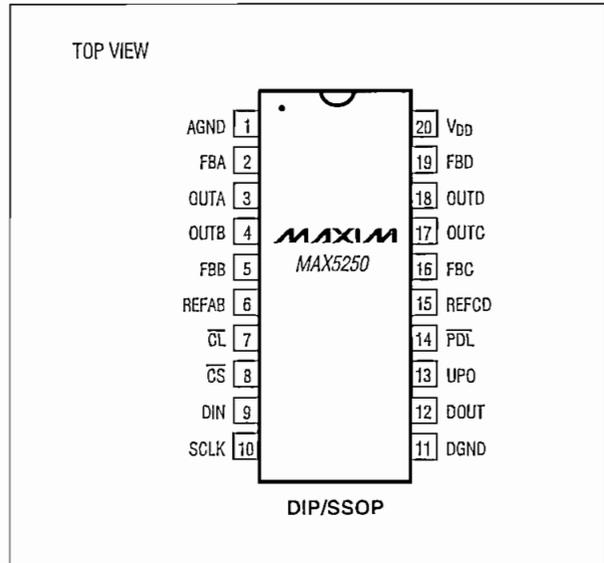
For rated MAX5250 performance, limit REFAB/REFCD to less than 1.4V below V_{DD} . Bypass V_{DD} with a 4.7 μ F capacitor in parallel with a 0.1 μ F capacitor to AGND. Use short lead lengths and place the bypass capacitors as close to the supply pins as possible.

Grounding and Layout Considerations

Digital or AC transient signals between AGND and DGND can create noise at the analog outputs. Tie AGND and DGND together at the DAC, then tie this point to the highest-quality ground available.

Good printed circuit board ground layout minimizes crosstalk between DAC outputs, reference inputs, and digital inputs. Reduce crosstalk by keeping analog lines away from digital lines. Wire-wrapped boards are not recommended.

Pin Configuration

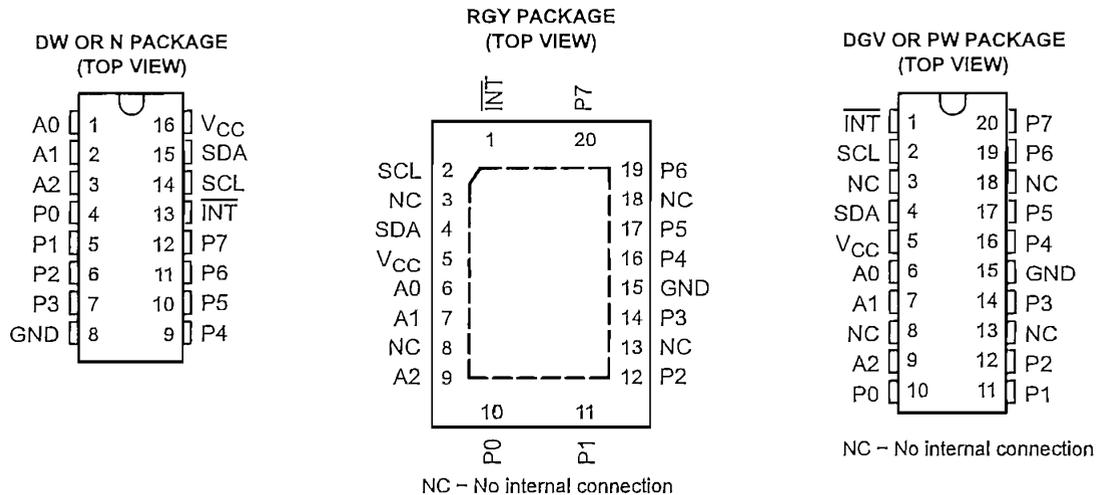


MAX5250

PCF8574A REMOTE 8-BIT I/O EXPANDER FOR I²C BUS

SCPS069B – JULY 2001 – REVISED JANUARY 2004

- Low Standby-Current Consumption of 10 μ A Maximum
- I²C to Parallel-Port Expander
- Open-Drain Interrupt Output
- Compatible With Most Microcontrollers
- Latched Outputs With High-Current Drive Capability for Directly Driving LEDs
- Latch-Up Performance Exceeds 100 mA Per JESD 78, Class II



description/ordering information

This 8-bit input/output (I/O) expander for the two-line bidirectional bus (I²C) is designed for 2.5-V to 6-V V_{CC} operation.

The PCF8574A provides general-purpose remote I/O expansion for most microcontroller families via the I²C interface [serial clock (SCL), serial data (SDA)].

The device features an 8-bit quasi-bidirectional I/O port (P0–P7), including latched outputs with high-current drive capability for directly driving LEDs. Each quasi-bidirectional I/O can be used as an input or output without the use of a data-direction control signal. At power on, the I/Os are high. In this mode, only a current source to V_{CC} is active. An additional strong pullup to V_{CC} allows fast rising edges into heavily loaded outputs. This device turns on when an output is written high and is switched off by the negative edge of SCL. The I/Os should be high before being used as inputs.

ORDERING INFORMATION

| T _A | PACKAGE† | | ORDERABLE PART NUMBER | TOP-SIDE MARKING |
|----------------|-------------|---------------|-----------------------|------------------|
| –40°C to 85°C | QFN – RGY | Tape and reel | PCF8574ARGYR | PF574A |
| | PDIP – N | Tube | PCF8574AN | PCF8574AN |
| | SOIC – DW | Tube | PCF8574ADW | PCF8574A |
| | | Tape and reel | PCF8574ADWR | |
| | TSSOP – PW | Tape and reel | PCF8574APWR | PF574A |
| | TVSOP – DGV | Tape and reel | PCF8574ADGVR | PF574A |

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

PCF8574A

REMOTE 8-BIT I/O EXPANDER FOR I²C BUS

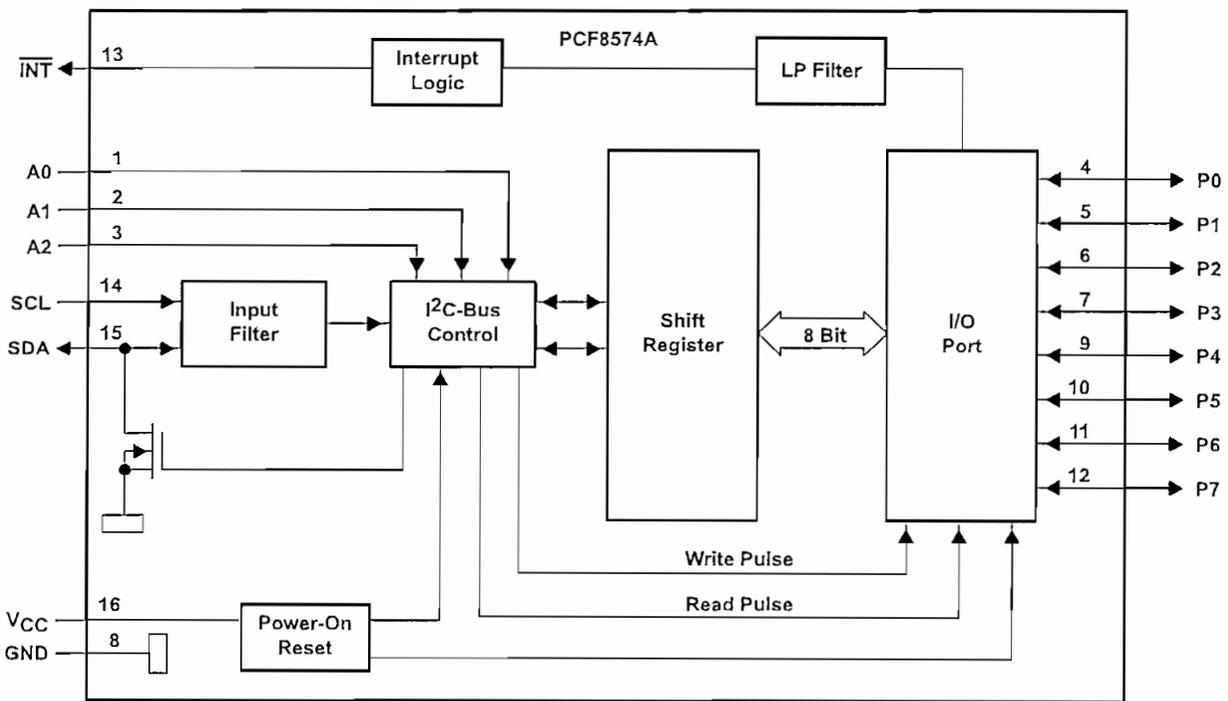
SCPS069B – JULY 2001 – REVISED JANUARY 2004

description/ordering information (continued)

The PCF8574A provides an open-drain output ($\overline{\text{INT}}$), which can be connected to the interrupt input of a microcontroller. An interrupt is generated by any rising or falling edge of the port inputs in the input mode. After time t_{IV} , the signal $\overline{\text{INT}}$ is valid. Resetting and reactivating the interrupt circuit is achieved when data on the port is changed to the original setting or data is read from or written to the port that generated the interrupt. Resetting occurs in the read mode at the acknowledge bit after the rising edge of the SCL signal or in the write mode at the acknowledge bit after the high-to-low transition of the SCL signal. Interrupts that occur during the acknowledge clock pulse can be lost (or be very short) due to the resetting of the interrupt during this pulse. Each change of the I/Os after resetting is detected and, after the next rising clock edge, is transmitted as $\overline{\text{INT}}$. Reading from or writing to another device does not affect the interrupt circuit.

By sending an interrupt signal on this line, the remote I/O can inform the microcontroller if there is incoming data on its ports without having to communicate via the I²C bus. Thus, the PCF8574A can remain a simple slave device.

logic diagram (positive logic)



Pin numbers shown are for the DW and N packages.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

PCF8574A

REMOTE 8-BIT I/O EXPANDER FOR I²C BUS

SCPS069B – JULY 2001 – REVISED JANUARY 2004

ADDRESS REFERENCE TABLE

| INPUTS | | | I ² C-BUS SLAVE ADDRESS |
|--------|----|----|------------------------------------|
| A2 | A1 | A0 | |
| L | L | L | 56 (decimal), 38 (hexadecimal) |
| L | L | H | 57 (decimal), 39 (hexadecimal) |
| L | H | L | 58 (decimal), 3A (hexadecimal) |
| L | H | H | 59 (decimal), 3B (hexadecimal) |
| H | L | L | 60 (decimal), 3C (hexadecimal) |
| H | L | H | 61 (decimal), 3D (hexadecimal) |
| H | H | L | 62 (decimal), 3E (hexadecimal) |
| H | H | H | 63 (decimal), 3F (hexadecimal) |

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

| | |
|--|----------------------------|
| Supply voltage range, V_{CC} | -0.5 V to 7 V |
| Input voltage range, V_I (see Note 1) | -0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V |
| Output voltage range, V_O (see Note 1) | -0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V |
| Input clamp current, I_{IK} ($V_I < 0$) | -20 mA |
| Output clamp current, I_{OK} ($V_O < 0$) | -20 mA |
| Input/Output clamp current, I_{OK} ($V_O < 0$ or $V_O > V_{CC}$) | ± 400 μ A |
| Continuous output low current, I_{OL} ($V_O = 0$ to V_{CC}) | 50 mA |
| Continuous output high current, I_{OH} ($V_O = 0$ to V_{CC}) | -4 mA |
| Continuous current through V_{CC} or GND | ± 100 mA |
| Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): DGV package | 92°C/W |
| (see Note 2): DW package | 57°C/W |
| (see Note 2): N package | 67°C/W |
| (see Note 2): PW package | 83°C/W |
| (see Note 3): RGY package | 37°C/W |
| 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. The input negative-voltage and output voltage ratings may be exceeded if the input and output current ratings are observed.
 2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
 3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-5.

recommended operating conditions

| | MIN | MAX | UNIT |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------|------|
| V_{CC} Supply voltage | 2.5 | 6 | V |
| V_{IH} High-level input voltage | $0.7 \times V_{CC}$ | $V_{CC} + 0.5$ | V |
| V_{IL} Low-level input voltage | -0.5 | $0.3 \times V_{CC}$ | V |
| I_{OH} High-level output current | | -25 | mA |
| I_{OL} Low-level output current | | 25 | mA |
| T_A Operating free-air temperature | -40 | 85 | °C |



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

PCF8574A REMOTE 8-BIT I/O EXPANDER FOR I²C BUS

SCPS069B – JULY 2001 – REVISED JANUARY 2004

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

| PARAMETER | | TEST CONDITIONS | V _{CC} | MIN | TYP† | MAX | UNIT |
|-------------------|---------------------------------|---|-----------------|------|------|------|------|
| V _{I(K)} | Input diode clamp voltage | I _I = -18 mA | 2.5 V to 6 V | -1.2 | | | V |
| V _{POR} | Power-on reset voltage‡ | V _I = V _{CC} or GND, I _O = 0 | 6 V | | 1.3 | 2.4 | V |
| I _{OH} | P port | V _O = GND | 2.5 V to 6 V | 30 | | 300 | μA |
| I _{OHT} | P-port transient pullup current | High during acknowledge V _{OH} = GND | 2.5 V | | -1 | | mA |
| I _{OL} | SDA | V _O = 0.4 V | 2.5 V to 6 V | 3 | | | mA |
| | P port | V _O = 1 V | 5 V | 10 | 25 | | |
| | INT ⁻ | V _O = 0.4 V | 2.5 V to 6 V | 1.6 | | | |
| I _I | SCL, SDA | V _I = V _{CC} or GND | 2.5 V to 6 V | | | ±5 | μA |
| | INT ⁻ | | | | | ±5 | |
| | A0, A1, A2 | | | | | ±5 | |
| I _{IHL} | P port | V _I ≥ V _{CC} or V _I ≤ GND | 2.5 V to 6 V | | | ±400 | μA |
| I _{CC} | Operating mode | V _I = V _{CC} or GND, I _O = 0, f _{SCL} = 100 kHz | 6 V | | 40 | 100 | μA |
| | Standby mode | V _I = V _{CC} or GND, I _O = 0 | | | 2.5 | 10 | |
| C _i | SCL | V _I = V _{CC} or GND | 2.5 V to 6 V | | 1.5 | 7 | pF |
| C _{io} | SDA | V _{IO} = V _{CC} or GND | 2.5 V to 6 V | | 3 | 7 | pF |
| | P port | | | | 4 | 10 | |

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The power-on reset circuit resets the I²C-bus logic with V_{CC} < V_{POR} and sets all I/Os to logic high (with current source to V_{CC}).

I²C interface timing requirements over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted) (see Figure 1)

| | | MIN | MAX | UNIT |
|------------------|--|-----------------------------|-----|------|
| f _{scl} | I ² C clock frequency | | 100 | kHz |
| t _{sch} | I ² C clock high time | 4 | | μs |
| t _{scl} | I ² C clock low time | 4.7 | | μs |
| t _{sp} | I ² C spike time | | 100 | ns |
| t _{sds} | I ² C serial-data setup time | 250 | | ns |
| t _{sdh} | I ² C serial-data hold time | 0 | 900 | ns |
| t _{icr} | I ² C input rise time | | 1 | μs |
| t _{icf} | I ² C input fall time | | 0.3 | μs |
| t _{ocf} | I ² C output fall time (10-pF to 400-pF bus) | | 300 | ns |
| t _{buf} | I ² C-bus free time between stop and start | 4.7 | | μs |
| t _{sts} | I ² C start or repeated start condition setup | 4.7 | | μs |
| t _{sth} | I ² C start or repeated start condition hold | 4 | | μs |
| t _{sps} | I ² C stop-condition setup | 4 | | μs |
| t _{vd} | Valid-data time | SCL low to SDA output valid | | 3.4 |
| C _b | I ² C-bus capacitive load | | 400 | pF |



PCF8574A

REMOTE 8-BIT I/O EXPANDER FOR I²C BUS

SCPS069B – JULY 2001 – REVISED JANUARY 2004

switching characteristics over recommended operating free-air temperature range, $C_L \leq 100$ pF (unless otherwise noted) (see Figure 2)

| PARAMETER | FROM (INPUT) | TO (OUTPUT) | MIN | MAX | UNIT |
|-------------------------------------|--------------|------------------|-----|-----|---------|
| t_{pV} Output data valid | SCL | P port | | 4 | μs |
| t_{sU} Input data setup time | P port | SCL | 0 | | μs |
| t_h Input data hold time | P port | SCL | 4 | | μs |
| t_{iV} Interrupt valid time | P port | \overline{INT} | | 4 | μs |
| t_{iR} Interrupt reset delay time | SCL | \overline{INT} | | 4 | μs |



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265