

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO  
ELECTRÓNICO DE ENTRADAS/SALIDAS DISCRETAS Y  
ANALÓGICAS PARA LA GESTIÓN REMOTA DE PROCESOS  
SOBRE LA RED GPRS.**

**EFRÉN ANDRÉS ESTRELLA TERNEUX**

**SANGOLQUÍ-ECUADOR**

**2008**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente proyecto de grado fue realizado por el Sr. Efrén Andrés Estrella Terneux bajo nuestra dirección.

---

Ing. Rodrigo Silva  
DIRECTOR

---

Ing. Hugo Ortiz  
CODIRECTOR

## **RESUMEN**

La red GPRS ofrece la posibilidad de transmitir datos desde unidades móviles hacia un centro de gestión remoto. El presente proyecto plantea un método para la transmisión de datos bidireccional de telemetría desde la unidad móvil hacia una red privada o INTERNET. Se utiliza un MODEM M2M GPRS de localización vehicular para integrar el sistema a una plataforma existente de administración de flotas de vehículos GEOSKY-SAF basado en GPS, y se desarrolla un dispositivo electrónico de entradas/salidas discretas y analógicas con comunicación serial RS-232 para adquisición de datos. El dispositivo electrónico posee 3 salidas discretas a relé, 1 salida analógica de 4-20 mA, 4 entradas analógicas de 4-20 mA y 5 entradas discretas 12/24 VDC. La arquitectura de red sobre la que se integra el prototipo es la misma sobre la que funciona el sistema GEOSKY-SAF existente y permite funcionar a los dos sistemas en conjunto o independientemente. El software de administración se desarrolló con Visual Basic 2005 y Measurement Studio 8.0 de National Instruments, y funciona como aplicación independiente de la localización GPS a través de una conexión TCP/IP con el servidor dedicado. El sistema se implementa basado en un servidor central que actúa como interfaz entre los dispositivos móviles y la aplicación remota de gestión y administración. Además, se describe el protocolo GEOSKYBUS desarrollado para permitir la comunicación aplicación-aplicación. Y se finaliza con una etapa de pruebas que caracterizan al sistema desarrollado.

## **DEDICATORIA**

El proyecto se lo dedico a mis padres por su apoyo y paciencia para llevar a feliz termino los objetivos planteados. Además, al Ing. Leonardo Eguez por su desinteresado y valioso apoyo al compartir su conocimiento y experiencia dentro del campo del desarrollo de aplicaciones sobre la red GPRS.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a las personas que con su apoyo desinteresado han colaborado para la exitosa culminación del presente proyecto entre las que puedo mencionar: Ing. Karla Rosero, Ing.

Luis Recalde, Ing. Rodrigo Silva, Ing. Hugo Ortiz, Ing. Leonardo Eguez, Paúl Herrera, Pablo Valencia, Cesar Padilla, Darío Benavides, Diego Guerrero, Gabriela Cabezas, entre otros cuyos nombres ahora escapan de la memoria.

## PRÓLOGO

La industria y el comercio que utilizan flotas de distribución en su negocio han venido sufriendo importantes pérdidas económicas debidas principalmente al robo y a condiciones adversas de transporte no detectadas como: fugas de fluido, variación de temperatura de almacenamiento, entre otras. Tal es el caso de Danec S.A., Pacifpetrol, Cattering Services S.A., Acero de los Andes y el Ministerio de Energía y Minas a quienes les urge una solución. Es por esto, que a través de una aplicación electrónica se va a ofrecer una herramienta que permitirá la supervisión y optimización de los diferentes procesos inherentes a cada empresa para reducir pérdidas y mejorar sus operaciones. Entonces, se justifica el diseño e implementación de un módulo electrónico de entradas/salidas discretas y analógicas para la gestión remota de procesos sobre la red GPRS. El indicador principal del proyecto es la utilidad de conectar al módulo sensores o actuadores que cumplan el estándar industrial 4-20mA, ofrecer conectividad con el dispositivo GV-310 y permitir el monitoreo y control de las variables desde una estación remota.

El sector productivo ecuatoriano será el principal beneficiario del módulo anexo al sistema GEOSKY-SAF. Primero, reducirá pérdidas por robo, fugas de fluido, variaciones de temperatura, etc. El módulo estará en capacidad de reemplazar sistemas obsoletos de seguridad y alerta superando ampliamente su desempeño. El gasto inicial entonces se convierte en una inversión. Segundo, gozará de una poderosa herramienta de planificación y análisis. En base al estudio del registro histórico de los datos sensados, se puede optimizar los procesos involucrados, y planear las operaciones a futuro. En conclusión, existirán grandes beneficios para el sector productivo e industrial del país, que de contar con el módulo propuesto serán capaces de mejorar sus operaciones y negocios beneficiando a la comunidad.

El proyecto esta dividido en 6 capítulos donde se discute en primer lugar las razones por las cuales se decidió desarrollar un sistema de gestión remota sobre la red GPRS así

como las implicaciones que tendría en el mercado nacional un sistema de tales características. Se sigue con un análisis del sistema actual de administración de flotas de vehículos GEOSKY-SAF y las posibilidades de evolución que ofrece. A continuación se detalla los procedimientos de diseño e implementación del dispositivo electrónico y los requerimientos de comunicación que se requieren para su puesta en práctica. Se finaliza con un capítulo dedicado a la evaluación de resultados y conclusiones y recomendaciones.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.1.1. Desarrollo de Sistemas de Telemetría .....	2
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.2.1. General .....	2
1.2.2. Específicos.....	3
1.3. INFORMACIÓN REFERENCIAL.....	3
1.3.1. <i>General Packet Radio Service</i> o GPRS.....	3
. Arquitectura .....	3
1.3.2. Microcontrolador PIC16F877 .....	4
. Dispositivos periféricos: .....	5
<b>CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DEL SISTEMA GEOSKY-SAF .....</b>	<b>7</b>
2.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA .....	7
2.2. FUNCIONALIDADES INSTALADAS .....	8
2.3. EL DISPOSITIVO GV-310 .....	8
2.3.1. Especificaciones Técnicas .....	9
2.3.2. Características.....	9
2.4. SOFTWARE DE ADMINISTRACION ADM .....	9
2.5. API ( <i>APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE</i> ) <i>UTILITY</i> .....	10
2.6. SERVIDOR GGS ( <i>GPRS GATEWAY SERVER</i> ) .....	11
2.7. ARQUITECTURA DE CONFIGURACIÓN.....	12
<b>CAPÍTULO 3 DISEÑO.....</b>	<b>13</b>
3.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	13
3.2. DISEÑO DEL INTERFAZ .....	14
3.2.1. Diagrama de Bloques .....	14
3.2.2. Entradas Discretas .....	14

. Explicación del Circuito .....	14
3.2.3. Entradas Analógicas .....	15
. Explicación del Circuito .....	16
3.2.4. Salida Analógica.....	16
. Explicación del Circuito .....	16
3.2.5. Salidas Discretas.....	18
. Explicación del Circuito .....	18
3.2.6. Fuente de Poder .....	18
3.2.7. Comunicaciones .....	19
3.2.8. Microcontrolador PIC16F877A.....	19
3.3. PROTOCOLO DE APLICACIÓN GEOSKYBUS.....	21
3.3.1. Descripción del Protocolo .....	21
3.3.2. Modelo de Datos GEOSKYBUS.....	22
3.3.3. Modelo de Direccionamiento GEOSKYBUS .....	23
. Entradas Discretas .....	24
. Salidas Discretas.....	24
. Entradas Analógicas .....	25
. Salida Analógica.....	25
3.3.4. Transacción GEOSKYBUS.....	26
3.3.5. Códigos de Función GEOSKYBUS .....	26
.2 (0x2) Leer Entradas Discretas .....	27
.3 (0x3) Leer Salidas Discretas.....	28
.4 (0x4) Escribir Salida Discreta.....	29
.5 (0x5) Leer Registros .....	29
.6 (0x6) Escribir Salida Analógica .....	30
.1 (0x1) Reset.....	31
3.4. PROTOCOLO GEOSKYBUS SERIAL .....	32
3.4.1. Principio del Protocolo GEOSKYBUS Maestro/Esclavos.....	32
3.4.2. Reglas de Direccionamiento GEOSKYBUS.....	32
3.4.3. Descripción de la Trama GEOSKYBUS.....	32
3.4.5. Modo de Transmisión ASCII .....	33
. Encapsulado ASCII .....	33
3.5. INTEGRACIÓN CON EL SISTEMA GEOSKY-SAF .....	35

3.5.1 Comunicación Aplicación Cliente – Módulo para Gestión Remota de Procesos	35
3.6. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877A	36
3.6.1. Diagrama de Flujo	36
3.6.2. Código en Lenguaje C	40
3.7. SOFTWARE DE PRUEBA EN VISUAL BASIC	41
3.7.1 Código en lenguaje BASIC	41
3.8 Diagrama del Circuito Total	41
<b>CAPÍTULO 4 IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>42</b>
4.1 CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO	42
4.1.1 Circuito Impreso	42
4.1.2 Lista de Componentes	45
4.1.3 Carcasa	48
4.2 PANEL	50
4.3 ANALISIS DE COSTOS	52
4.3.1 Hardware	52
4.3.2 Transmisión de Datos	53
4.3.3 Infraestructura de Servidores	53
<b>CAPÍTULO 5 EVALUACIÓN</b>	<b>54</b>
5.1 Consideraciones Generales para Pruebas	54
5.2 Evaluación Salidas Discretas	55
5.2.1 Tiempo Hardware	55
.Resultados	55
5.2.2 Tiempo Software	56
.Resultados	58
5.2.3 Tiempo Microcontrolador	58
5.2.4 Resultados Evaluación Tiempos de Conmutación Salidas Discretas	58
5.3 Evaluación Entradas Discretas	58
5.3.1 Tiempo Hardware	59
.Resultados	59
5.3.2 Tiempo Software	60
5.3.3 Tiempo Hardware y Software	61

5.3.4 Rango.....	61
5.4 Evaluación Entradas Analógicas .....	61
5.4.1 Tiempo de Conversión ADC .....	61
5.4.2 Rangos .....	62
5.4.3 Resolución .....	64
5.4.4 Precisión .....	64
5.4.5 Impedancia IN .....	64
5.5 Evaluación Salida Analógica.....	64
5.5.1 Tiempo de conversión .....	64
5.5.2 Rangos .....	65
5.5.3 Resolución .....	66
5.5.4 Impedancia de salida y Carga.....	66
5.6 Evaluación Comunicación RS-232.....	66
5.6.1 Velocidad.....	66
5.6.2 Distancia .....	66
5.6.3 Confiabilidad .....	66
5.7 Evaluación en Aplicación Real .....	67
5.7.1 Software Visualización.....	68
5.7.2 Funcionamiento .....	69
5.7.3 Resultados.....	69
5.8 Memoria Fotográfica .....	72
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>
Conclusiones.....	74
Recomendaciones .....	75
<b>ANEXO 1 CODIFICACIÓN DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877A .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO 2 CODIFICACIÓN DE LA APLICACIÓN PARA PRUEBAS EN VISUAL     BASIC .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 3 HOJAS TÉCNICAS.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO 4 ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO.....</b>	<b>188</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>189</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

## CAPÍTULO 1

Tabla. 1.1. Características PIC16F877-----	5
--	---

## CAPÍTULO 3

Tabla. 3.1. Distribución de los Puertos del Microcontrolador-----	20
Tabla. 3.2. Tablas primarias del modelo de datos GEOSKYBUS-----	22
Tabla. 3.3. Códigos de Función GEOSKYBUS-----	27
Tabla. 3.4. Solicitud y Respuesta de la Transacción Leer Entradas Discretas-----	27
Tabla. 3.5. Ejemplo de una solicitud para leer Entradas Discretas-----	28
Tabla. 3.6. Solicitud y Respuesta de la Transacción Leer Salidas Discretas-----	28
Tabla. 3.7. Ejemplo de una solicitud para leer Entradas Discretas-----	28
Tabla. 3.8. Solicitud y Respuesta de la Transacción Escribir Entrada Discreta-----	29
Tabla. 3.9. Ejemplo de una solicitud para Escribir Salidas Discretas-----	29
Tabla. 3.10. Solicitud y Respuesta de la Transacción Escribir Entrada Discreta-----	30
Tabla. 3.11. Ejemplo de una solicitud para Escribir Salidas Discretas-----	30
Tabla. 3.12. Solicitud y Respuesta de la Transacción Escribir Salida Analógica-----	31
Tabla. 3.13. Ejemplo de una solicitud para Escribir en la Salida Analógica-----	31
Tabla. 3.14. Solicitud y Respuesta de la Transacción de Reset-----	31

## CAPÍTULO 4

Tabla. 4.1. Componentes L-----	45
Tabla. 4.2. Componentes X-----	46
Tabla. 4.3. Componentes Q-----	46
Tabla. 4.4. Componentes J-----	46
Tabla. 4.5. Componentes D-----	46
Tabla. 4.6. Componentes U-----	47
Tabla. 4.7. Componentes C-----	47
Tabla. 4.8. Componentes R-----	48
Tabla. 4.9. Descripción Panel Frontal-----	51
Tabla. 4.10. Descripción Panel Trasero-----	51
Tabla. 4.11. Costos de los materiales-----	52

## CAPÍTULO 5

Tabla 5.1 Rango de Activación Entradas Discretas-----	61
Tabla 5.2 Datos Experimentales ADC-----	62
Tabla 5.3 Estadísticas de la regresión-----	63
Tabla 5.4 Datos Experimentales DAC-----	65
Tabla 5.5 Estadísticas de la regresión lineal de datos DAC-----	65

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO 1

Figura. 1.1. Arquitectura del Sistema GPRS-----	4
---	---

## CAPÍTULO 2

Figura. 2.1. Arquitectura del Sistema GEOSKY-SAF-----	7
Figura. 2.2. Dispositivo GV-310-----	8
Figura. 2.3. El software de administración ADM-----	10
Figura. 2.4. Arquitectura de protocolos API-GDT-----	11
Figura. 2.5. GPRS Gateway Server-----	11
Figura. 2.6. Arquitectura de Configuración-----	12

## CAPÍTULO 3

Figura. 3.1. Diagrama de Bloques del Módulo Electrónico-----	15
Figura. 3.2. Esquemático de una entrada discreta-----	15
Figura. 3.3. Esquemático de una entrada analógica-----	16
Figura. 3.4. Esquemático de la salida analógica-----	17
Figura. 3.5. Esquemático de una salida discreta-----	18
Figura. 3.6. Esquemático de la fuente de poder-----	19
Figura. 3.7. Esquemático del circuito de comunicación serial RS-232-----	20
Figura. 3.8. Trama GEOSKYBUS-----	21
Figura. 3.9. Transacción GEOSKYBUS-----	22
Figura. 3.10. Modelo de Datos GEOSKYBUS del Módulo de Gestión Remota de Procesos-----	23
Figura. 3.11. Direccionamiento Entradas Discretas GEOSKYBUS-----	24
Figura. 3.12. Direccionamiento Salidas Discretas GEOSKYBUS-----	24
Figura. 3.13. Direccionamiento GEOSKYBUS Entradas Analógicas-----	25
Figura. 3.14. Mapeo salida analógica GEOSKYBUS-----	25
Figura. 3.15. Diagrama de flujo de una transacción GEOSKYBUS-----	26
Figura. 3.16. Codificación GEOSKYBUS de las entradas discretas para transmisión-----	27
Figura. 3.17. Codificación GEOSKYBUS de las entradas analógicas para transmisión-----	30
Figura. 3.18. Escritura en el Registro de Retención-----	31

Figura. 3.19. PDU GEOSKYBUS serial-----	33
Figura. 3.20. Trama ASCII-----	34
Figura. 3.21. Diagrama de estado del modo de transmisión ASCII-----	34
Figura. 3.22. Arquitectura del Sistema Integrado-----	35
Figura. 3.23. Comunicación Aplicación de control – Modulo-----	36
Figura. 3.24. Diagrama de Flujo del Programa en el Microcontrolador-----	37

## **CAPÍTULO 4**

Figura. 4.1. Serigrafía de la parte superior-----	43
Figura. 4.2. Placa de circuito impreso (Parte inferior)-----	44
Figura. 4.3. Placa de circuito impreso (Parte Superior)-----	45
Figura. 4.4. Tapa Frontal Carcasa-----	49
Figura. 4.5. Tapa superior e inferior carcasa-----	50
Figura. 4.6. Tapa Posterior Carcasa-----	48
Figura. 4.7. Distribución Panel Frontal-----	50
Figura. 4.8. Distribución Panel Trasero-----	50

## **CAPÍTULO 5**

Figura. 5.1. Circuito de pruebas salidas discretas-----	55
Figura. 5.2 Resultado de pruebas salidas discretas OFF/ON-----	56
Figura. 5.3 Resultado de pruebas salidas discretas ON/OFF-----	56
Figura. 5.4 Inicio de evaluación de tiempo de ejecución-----	57
Figura. 5.5 Fin de evaluación de tiempo de ejecución-----	57
Figura. 5.6 Circuito de prueba para evaluación entradas discretas-----	59
Figura. 5.7 Resultado prueba activación entradas discretas-----	59
Figura. 5.8 Resultado prueba desactivación entradas discretas-----	60
Figura. 5.9 Curva de regresión lineal de los datos experimentales ADC-----	63
Figura. 5.10. Diagrama funcional-----	67
Figura. 5.11. Diagrama de Instalación -----	67
Figura. 5.12. Consola de Pruebas -----	68
Figura. 5.13. Comportamiento Temperatura-----	69
Figura. 5.14. Instalación de Planta Simulada para Pruebas-----	72
Figura. 5.15. Módulo Electrónico-----	72
Figura. 5.16. Pantalla de Operación-----	73
Figura. 5.17. Pantalla de Ingeniería -----	73

## ÍNDICE DE HOJAS TÉCNICAS

PIC16F87XA-----	110
DAC0808 8-Bit D/A Converter-----	127
LM2576/LM2576HV Series Simple Switcher 3A Step-Down Voltage Regulator-----	132
LM324 Low Power Quad Operational Amplifier-----	140
MAX232 RS-232 Driver/Receiver-----	145
PC817 Series Optocoupler-----	149
LM555 Timer-----	153
LM358 Low Power Dual Operational Amplifier-----	158
43P101 Spectrol Multi-Turn Cermet Trimmer-----	165
NT73-2 Relay-----	167
P6KE6V8 – P6KE440 Transient Voltage Suppressors-----	169
NTE2V014 Metal Oxide Varistor-----	171
2N3904 NPN General Purpose Amplifier-----	174
LM7906 Linear Voltage Regulator-----	177
1N4001 1A General Purpose Rectifier-----	179
2SB795 PNP Silicon Darlington Power Transistor-----	181
1N5822 Low Drop Power Schottky Rectifier-----	183
Nprobe GV-310 GPRS+GPS Vehicule Communicator-----	185

## **GLOSARIO**

**ADC**

*Analog-Digital Converter*

**ADM**

*Administration Manager* Software de administración del MODEM GV-310 de NXN

**ADU**

*Application Data Unit*

**API**

*Application Programming Interface*

**ASCII**

*American Standard Code for Information Interchange*

**AVL**

*Automatic Vehicule Locator*

**BJT**

*Bipolar Junction Transistor*

**CISC**

*Complex Instruction Set Computer*

**CRLF**

Combinación de caracteres *Carriage Return* y *Line Feed*

**DAC**

*Digital-Analog Converter*

**GDT**

*GPRS Data Terminal*

**GEOSKYBUS**

Protocolo de Comunicaciones usado en el modulo electrónico para gestión remota de procesos

**GEOSKY-SAF**

Sistema de Administración de Flotas de Vehículos de la empresa GEOSKY S.A.

**GGS**

*GPRS Gateway Server*

**GPRS**

*General Packet Radio Service*

**GPS**

*Global Positioning System*

**GSM**

*Global System for Mobile communications*

**HMI**

*Human-Machine Interface*

**MODBUS**

Protocolo de comunicaciones serial publicado por Modicon para uso con PLC's

**MODEM**

Modulador-Demodulador

**MPLAB IDE**

*MPLAB Integrated Development Environment* entorno de desarrollo para microcontroladores PIC

**NXN**

Fabricante de los MODEMS GV-310

**OSI**

*Open Systems Interconnection*

**OTA**

*Over-the-Air Programming*

**PDU**

*Protocol Data Unit*

**PICC**

Compilador de lenguaje C para microcontroladores

**PLC**

*Programmable Logic Controller*

**PWM**

*Pulse-Width Modulation*

**RISC**

*Reduced instruction set computer*

**RS-232**

*Recommended Standard 232* Estándar para comunicación serial

**RTC**

*Real-Time Clock*

**RTU**

*Remote Terminal Unit*

**SOCKET**

Punto final en la comunicación bidireccional entre dos procesos sobre una red basada en Protocolo Internet

**TCP/IP**

*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*

**TDMA**

*Time Division Multiple Access*

**ULTIROUTE**

Software para diseño de Circuitos Impresos de *National Instruments*

**USART**

Universal asynchronous receiver/transmitter

**VPN**

*Virtual Private Network*

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

El desarrollo de los sistemas de telecomunicaciones en los últimos años, especialmente en lo que ha comunicaciones inalámbricas se refiere, ha abierto la puerta a aplicaciones de carácter móvil muy diversas. Una de las más conocidas es la localización vehicular en tiempo real. Este sistema utiliza la tecnología GPS y transmite los datos desde el móvil a un servidor fijo a través de la red GPRS del estándar GSM de telefonía móvil. De esta manera el dispositivo móvil puede enviar los datos de GPS desde cualquier lugar que tenga cobertura celular.

GEOSKY ECUADOR S.A. es una compañía dedicada a las comunicaciones inalámbricas y a la prestación de servicios de localización, telemetría y telemática en el Ecuador. Actualmente, esta introduciendo un sistema de monitoreo, control y administración de flotas de vehículos a través de un localizador automático de vehículos (AVL – *Automatic Vehicle Locator*). Dicho sistema combina la capacidad de Posicionamiento Global (GPS), tecnología celular de tercera generación conocida como GSM (*Global System for Mobile Communications*) usando el estándar GPRS (*General Packet Radio Service*) y visualización a través de un portal Web que funciona sobre la plataforma *Google Earth*. El sistema es llamado GEOSKY – SAF y esta conformado por un centro de control, una portadora de datos inalámbrica y un dispositivo GV-310 M2M (MODEM GPRS) en el sitio remoto. Actualmente brinda las siguientes funcionalidades:

- Grafica en un mapa el itinerario realizado por los vehículos en cualquier día y cualquier hora.
- Provee una estadística diaria indicando la distancia recorrida, el máximo de velocidad registrado y el número de paradas.
- Acceso por servidor y un portal Web.

En función del potencial de desarrollo de aplicaciones que ofrece el contar con un canal de comunicación de datos desde terminales móviles a un servidor fijo, el presente proyecto delinea el desarrollo de un modulo para el control de procesos sobre la red GPRS. El modulo funciona integrado al sistema GEOSKY-SAF y permite la gestión remota de procesos. Contará con 5(entradas)/3(salidas) discretas, 4 entradas análogas y 1 salida análoga. El módulo se comunicará con el dispositivo GV-310 con el protocolo RS-232, y con el centro de gestión utilizando la red GPRS.

### **1.1.1. Desarrollo de Sistemas de Telemetría**

La telemetría, como tecnología emergente, nace a raíz de la necesidad de medir magnitudes físicas remotamente y enviar la información a un centro de gestión<sup>1</sup>. La telemetría no es algo nuevo, pero su uso no ha sido extendido a aplicaciones móviles debido a la cantidad de recursos que requiere. Los sistemas de telemetría inalámbrica se han usado, por ejemplo, en las misiones espaciales que deben enviar datos de sensores a través de distancias muy grandes. Un sistema de este tipo utiliza grandes transmisores y codificaciones cuyo desarrollo y operación son muy costosos. Su campo de aplicación se limita también ya que el tránsito industrial que ha superado la frontera espacial es casi nulo. Para aplicaciones en tierra se ha utilizado tecnología de transmisión de datos satelital que requiere también altas inversiones. El advenimiento de la telefonía celular y su estándar GPRS han cambiado sustancialmente la forma en que un dispositivo móvil puede enviar datos, razón por la cual la telemetría inalámbrica es ahora más accesible para el consumidor. La telemetría inalámbrica como tecnología emergente proporciona una ventaja competitiva a las empresas que la usan, y la convergencia actual de factores como el bajo costo de las tecnologías por sensores y móvil bi-direccional han hecho que sea el momento de adoptarlas en masa.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. General**

- Diseñar e implementar un módulo electrónico de entradas/salidas discretas y analógicas para la gestión remota de procesos a través de la red GPRS y el sistema GEOSKY-SAF.

---

1. Telemetría, <http://www.satellitaltracking.net/archives/telemetria/index.html>

### 1.2.2. Específicos

- Recopilar la información técnica necesaria para el desarrollo del proyecto.
- Analizar el funcionamiento y la arquitectura del sistema GEOSKY-SAF.
- Realizar un estudio sobre el estándar industrial 4-20 mA en sensores y actuadores, el microcontrolador PIC 16F877 y acondicionadores de señal.
- Diseñar el módulo electrónico con 5(entradas)/3(salidas) discretas, 4 entradas analógicas y 1 salida analógica con el estándar industrial 4-20 mA utilizando un microcontrolador PIC16F877 y acondicionadores de señal. El módulo se comunicará de forma bi-direccional con el dispositivo GV-310 usando el estándar serial RS-232.
- Codificar software en Visual Basic 6.0 que permita las pruebas del sistema.
- Implementar el prototipo del sistema.
- Realizar pruebas de campo y evaluación de resultados.
- Documentar el proyecto.

## 1.3. INFORMACIÓN REFERENCIAL

### 1.3.1. *General Packet Radio Service* o GPRS

“GPRS es una tecnología digital de conmutación de paquetes basada en GSM. Reemplazó a la conmutación de circuitos ya que utiliza los recursos de radio y red únicamente cuando es necesario transmitir datos entre el usuario GPRS móvil y la red. Los datos se dividen en paquetes y se transmiten vía radio y el núcleo de la red GPRS. Ofrece velocidades de hasta 115kbps dependiendo de la disponibilidad de la red, codificación de canal y capacidad del terminal. El aumento en la velocidad de transmisión respecto a GSM se consigue utilizando más de un *timeslot* de la estructura TDMA a la vez.

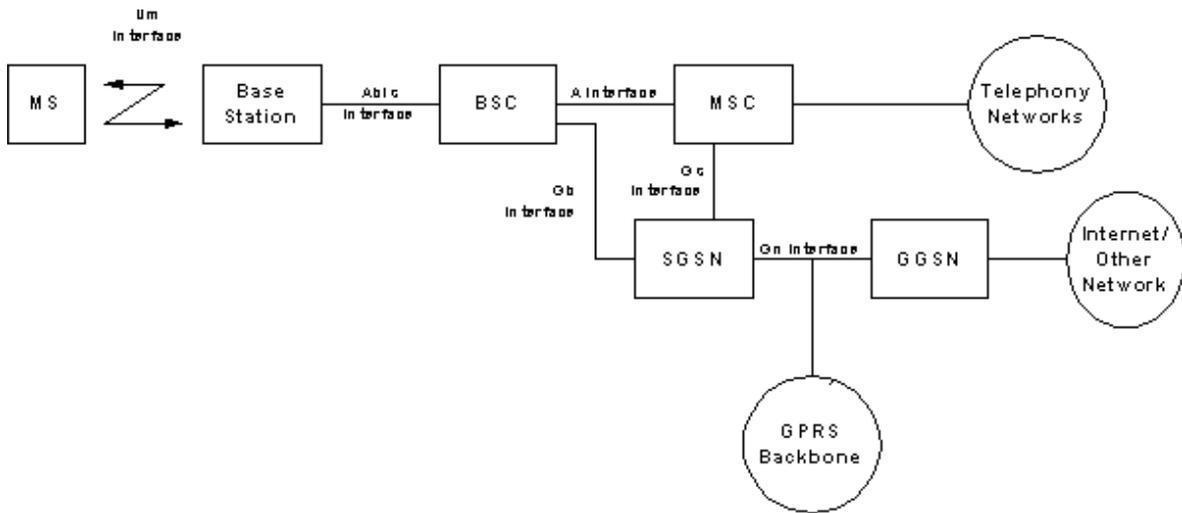
GPRS es un servicio de valor agregado que permite que la información sea enviada y recibida a través de la red de telefonía móvil. Es un complemento al servicio de mensajes escritos y la conmutación de circuitos.”<sup>2</sup>

### . **Arquitectura**

La arquitectura de la red GPRS se muestra en la figura 1.1.

---

2. GPRS, [http://www.vocal.com/data\\_sheets/gprs1.html](http://www.vocal.com/data_sheets/gprs1.html), 30/07/2007



**Figura. 1.1. Arquitectura del Sistema GPRS**

### 1.3.2. Microcontrolador PIC16F877

“Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado.

Es un dispositivo especializado cuyo tamaño varía de acuerdo a la aplicación a la que esta destinado llegando en ocasiones a ser más pequeño que un sello postal ya que forman parte del dispositivo que controlan.

Un microcontrolador difiere de una CPU normal, debido a que es más fácil convertirlo en una computadora en funcionamiento, con un mínimo de chips externos de apoyo. La idea es que el chip se coloque en el dispositivo, enganchado a la fuente de energía y de la información que necesite, y eso es todo. Un microprocesador tradicional no permite hacer esto, ya que espera que todas estas tareas sean manejadas por otros chips.”<sup>3</sup>

“Los microcontroladores poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del microcontrolador.”<sup>4</sup>

3. Microcontrolador, <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>, 30/07/2007

4. Hernandez, Anibal, PIC16F877, <http://www.monografias.com/trabajos18/descripcion-pic/descripcion-pic.shtml>, 30/07/2007

“Los microcontroladores se programan en *Assembler* y existen compiladores diseñados para facilitar la programación en lenguajes de alto nivel como C o BASIC. Cada microcontrolador varía su conjunto de instrucciones de acuerdo a su fabricante y modelo. De acuerdo al número de instrucciones que el microcontrolador maneja se le denomina de arquitectura RISC (reducido) o CISC (complejo).”<sup>5</sup>

Para el desarrollo del Modulo para Control de Procesos se utilizo el microcontrolador PIC16F877A de *Microchip S.A.* Sus características principales se muestran en la tabla 1.1.

**Tabla. 1.1. Características PIC16F877**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>16F877</b>
Frecuencia máxima	DX-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones RAM de datos	368
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Líneas de entrada de CAD de 10 bits	8
Juego de instrucciones	35 Instrucciones
Longitud de la instrucción	14 bits
Arquitectura	Harvard
CPU	Risc
Canales Pwm	2
Pila Harware	-
Ejecución En 1 Ciclo Máquina	-

### . Dispositivos periféricos:

- Timer0: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler de 8 bits.

- 
- Timer1: Temporizador-contador de 16 bits con *preescaler* que puede incrementarse en modo *sleep* de forma externa por un cristal/*clock*.
  - Timer2: Temporizador-contador de 8 bits con *preescaler* y *postescaler*.
  - Dos módulos de Captura, Comparación, PWM (Modulación de Anchura de Impulsos).
  - Conversor A/D de 10 bits.
  - Puerto Serie Síncrono Master (MSSP) con SPI e I2C (*Master/Slave*).
  - USART/SCI (*Universal Syncheronus Asynchronous Receiver Transmitter*) con 9 bits.
  - Puerto Paralelo Esclavo (PSP).

## CAPÍTULO 2

### ANÁLISIS DEL SISTEMA GEOSKY-SAF

#### 2.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

El sistema GEOSKY-SAF es una plataforma integrada de hardware y software con el objetivo de proveer una administración de flotas de vehículos utilizando información del sistema de posicionamiento global GPS. Esta conformado por un dispositivo M2M GV-310 de NXN y aplicaciones de software en un servidor que se encarga de administrar los dispositivos conectados y almacenar la información proveniente de cada uno. Utiliza como canal de comunicaciones la red GPRS del estándar GSM y el Internet. La arquitectura se muestra en la figura 2.1.

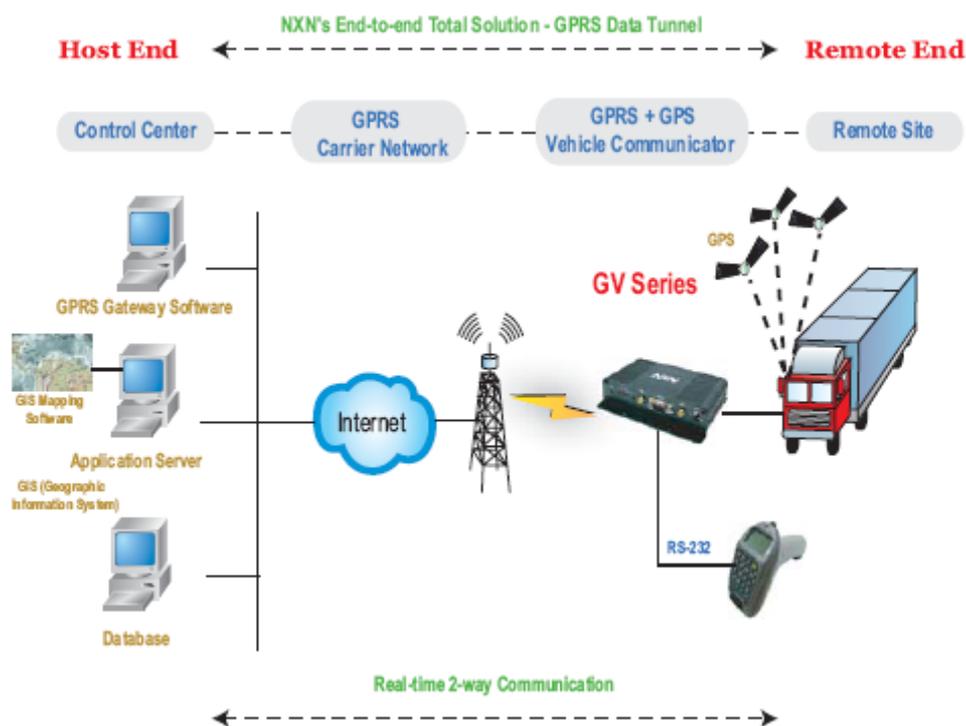


Figura. 2.1. Arquitectura del Sistema GEOSKY-SAF

## 2.2 FUNCIONALIDADES INSTALADAS

El sistema actualmente cuenta con las siguientes funcionalidades:

- Toma datos de posición GPS del móvil cada 3 minutos y muestra la ubicación en una fotografía digital satelital a través del software *Google Earth* con información de ciudad, dirección y velocidad.
- Almacena un registro histórico de los recorridos realizados por el móvil ofreciendo trazabilidad y una herramienta de optimización de recorridos.
- Administración de flotas a través de una pagina WEB que proporciona información de distancia recorrida, velocidades, paradas, alertas a e-mail, geo-cercas, puntos de control, creación de rutas, y horarios para uso de vehículos.

## 2.3 EL DISPOSITIVO GV-310

El comunicador vehicular GV-310, figura 2.2, es un dispositivo de comunicación bi-direccional para localización automática de vehículos y aplicaciones de rastreo GPS en tiempo real muy efectivo y de bajo costo. Combina GPS y la tecnología WM2M de NXN proporcionando comunicación GSM/GPRS confiable con operación a cuatro bandas para cobertura internacional. Integra un receptor GPS, un sistema de comunicaciones GSM/GPRS confiable, 1 puerto serial RS-232, *data logger*, carcasa y diseño industrial. El dispositivo funciona en conjunto con el software *GPRS Gateway* de NXN para ofrecer un “túnel” de datos GPRS que permite a periféricos con protocolos I/O o serial comunicarse de forma transparente sobre la red GSM/GPRS. Además, el dispositivo cuenta con un API de fácil uso, *GPRS Gateway Software (GGS)*, *Administration Manager (ADM)* basado en *Windows* y una utilidad de consola, facilitando la integración de sistemas.<sup>1</sup>



Figura. 2.2. Dispositivo GV-310

### 2.3.1. Especificaciones Técnicas

Se presentan en el anexo 3 hoja técnica *Nprobe GV-310 GPRS+GPS Vehicule Communicator*.

### 2.3.2. Características

El dispositivo GV-310 tiene las siguientes características:

- Cuatro bandas opcional GSM/GPRS 850/900/1800/1900MHz.
- 1 puerto serial RS-232.
- Administración continua y automática de una VPN GPRS (*GPRS Data Tunnel*).
- *Administration Manager* con Interfaz Gráfica.
- Diseño industrial con protección de sobrecarga.
- API de fácil manejo.
- *Real-time Clock* (RTC).
- Watch Dog incorporado.
- 2MB *Data Logger* incorporado.
- Receptor GPS para 16 canales incorporado.
- Configuración remota y *over the air* (OTA).
- Actualización de *firmware over the air* (OTA).

## 2.4. SOFTWARE DE ADMINISTRACION ADM

El ADM es una interfaz gráfica (Figura. 2.3.) que sirve para administrar grandes cantidades de GDTs<sup>2</sup> a través del servidor GGS. El ADM actúa como un supervisor con control total sobre la arquitectura cliente/servidor. El administrador puede configurar el servidor GGS así como un GDT específico o grupos de GDTs con la ayuda del software ADM.

El ADM permite realizar las siguientes actividades:

- Mantener grupos de GDTs separados en un mismo servidor GGS para una eficaz organización y administración de los dispositivos conectados.
- Visualizar el estado de conexión de los GDTs.
- Realizar configuración *over the air* de los GDTs así como actualizar el *firmware*.
- Agregar o eliminar GDTs al servidor GGS.

---

2. GDT. GPRS Data Terminal, en este caso el GV-310 es referido como GDT.

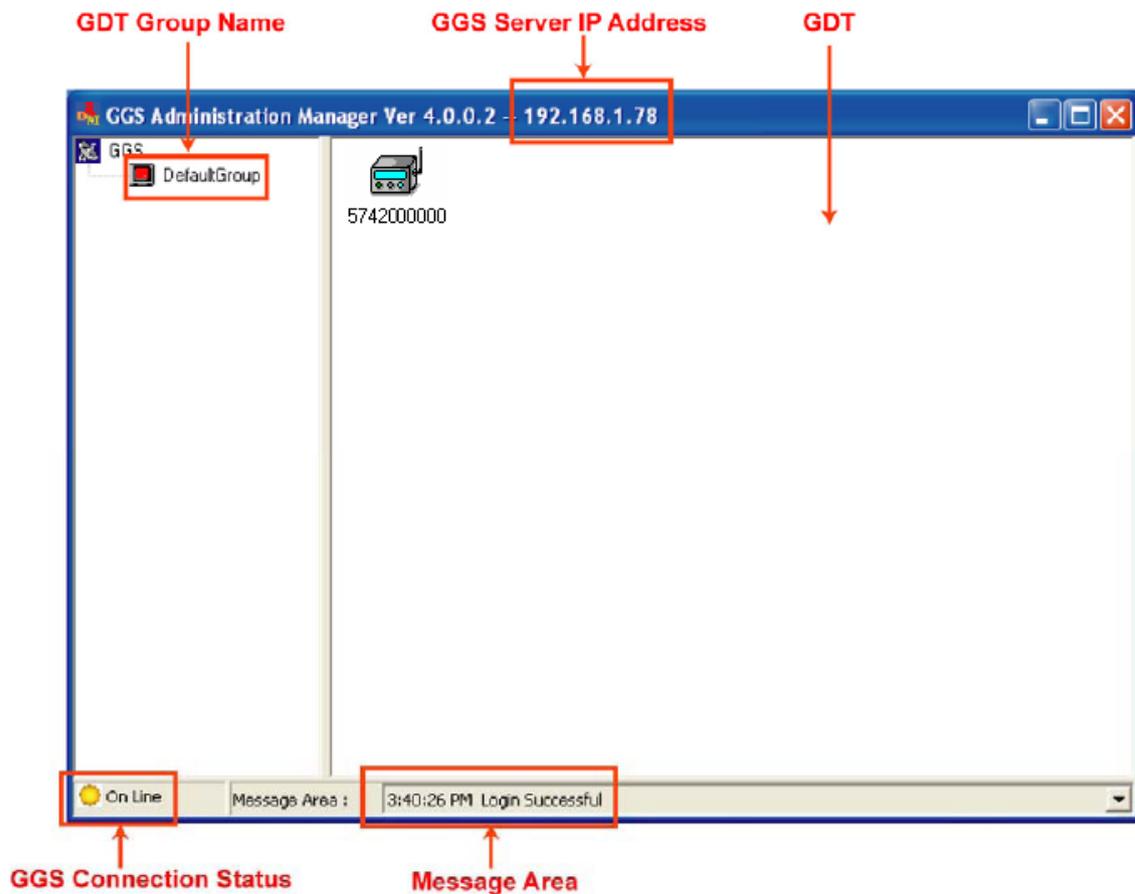


Figura. 2.3. El software de administración ADM

## 2.5. API (APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE) UTILITY

API Utility es una herramienta usada en el servidor de aplicación para comunicarse con el GDT. Es utilizada principalmente para desarrollar aplicaciones en conjunto con los GDTs. El GGS y el GDT tienen protocolos propietarios para comunicarse entre sí. Con el software GGS API, los diseñadores pueden controlar el GDT sin cambiar las aplicaciones existentes desde sus propios programas. Además, provee la facilidad de comunicación de datos con el GDT sin lidiar con protocolos GPRS/GSM y TCP/IP.

La arquitectura de protocolos se puede observar en la Figura. 2.4.

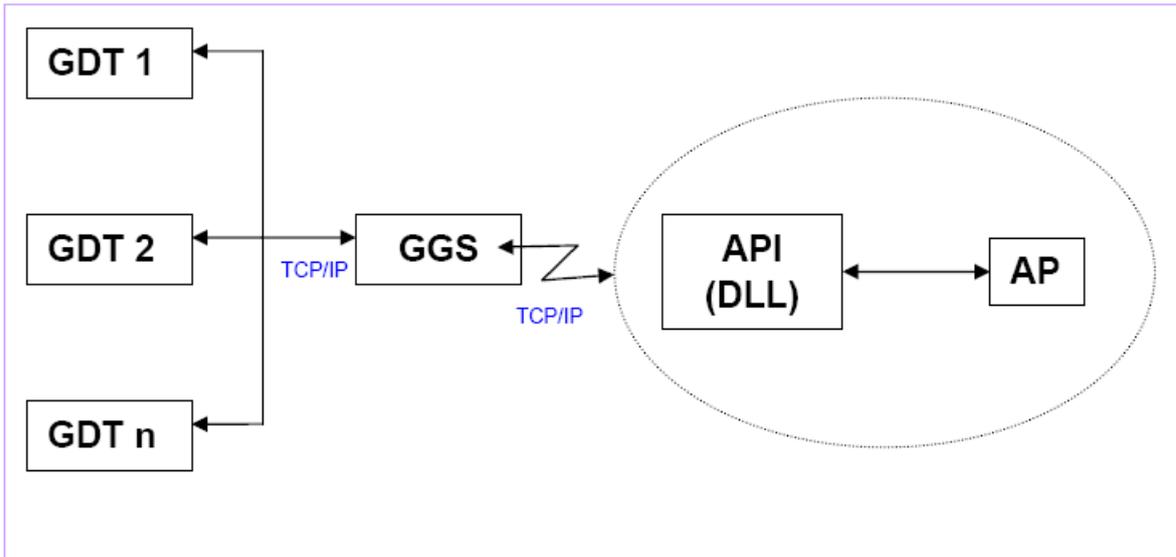


Figura. 2.4. Arquitectura de protocolos API-GDT.

## 2.6. SERVIDOR GGS (GPRS GATEWAY SERVER)

El servidor GGS es una computadora autónoma en una red TCP/IP que aloja el software GGS y funciona como *middleware*<sup>3</sup> para administrar y mantener grandes cantidades de GDTs en línea.

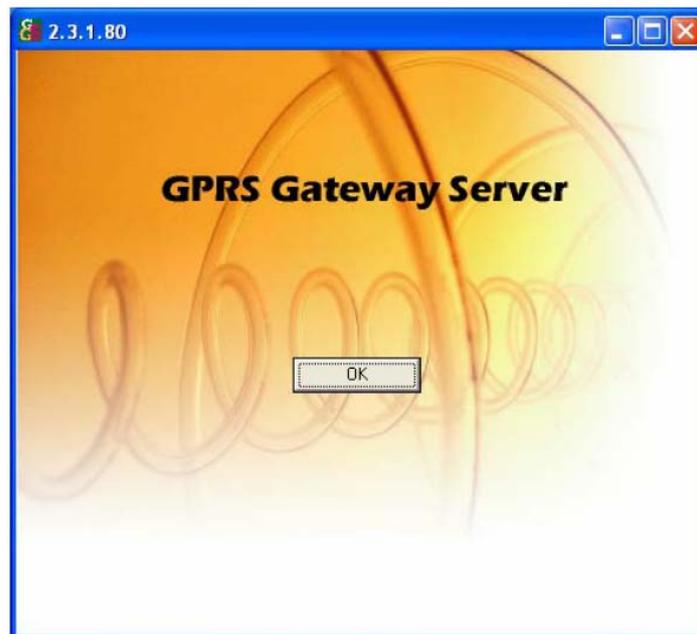


Figura. 2.5. GPRS Gateway Server.

3. El Middleware es un software de conectividad que ofrece un conjunto de servicios que hacen posible el funcionamiento de aplicaciones distribuidas sobre plataformas heterogéneas.

## 2.7. ARQUITECTURA DE CONFIGURACIÓN

En la Figura 2.6. se muestra la arquitectura de configuración y como se debe instalar el software para que el sistema funcione correctamente.

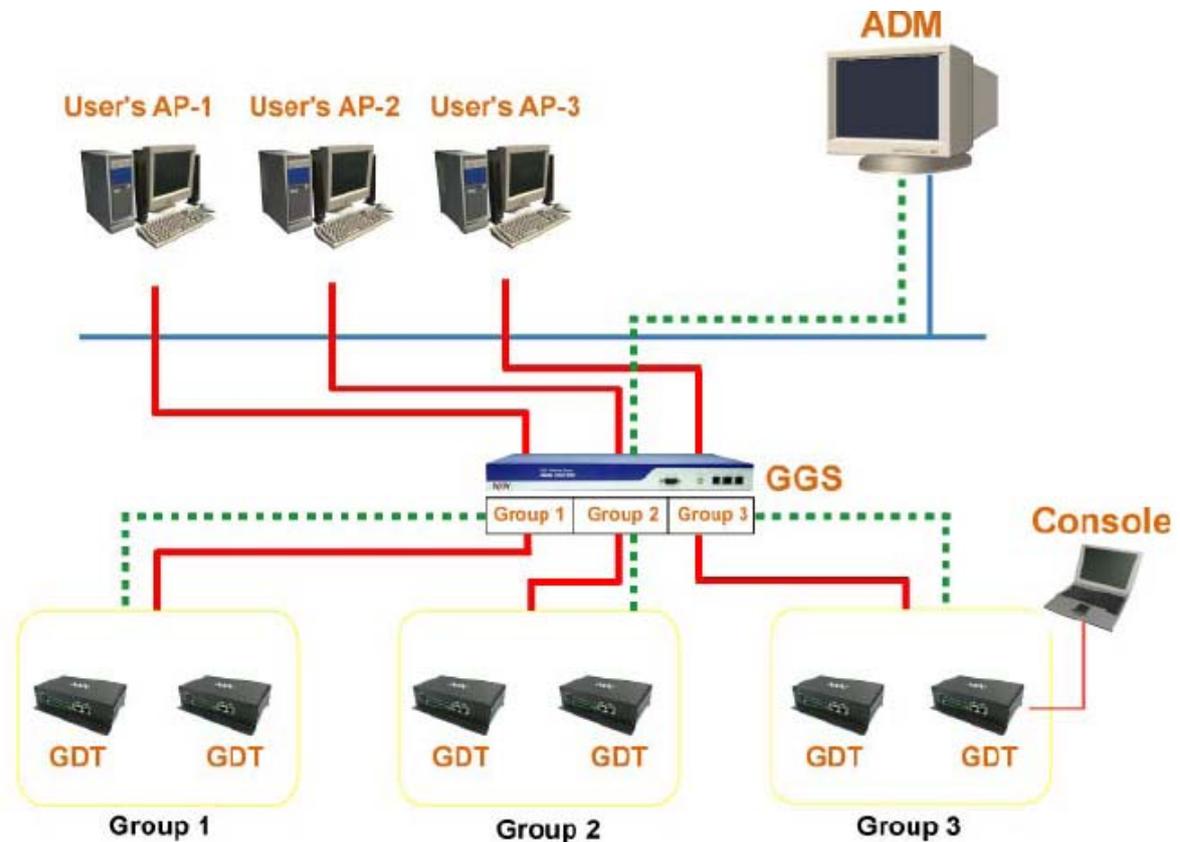


Figura. 2.6. Arquitectura de Configuración.

El sistema GEOSKY-SAF se vale de la arquitectura expuesta para integrar un software propietario que, en conjunto con el *Google Earth*, brindan los servicios expuestos en la sección 2.2. La red además tiene la posibilidad de integrar hardware externo a través de un puerto RS-232 lo que brinda apertura al desarrollo de aplicaciones como el Módulo para Control de Procesos cuyo diseño se discute en el siguiente capítulo.

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DEL PROTOTIPO

Se presenta el prototipo de un módulo electrónico para control de procesos sobre la red GPRS. Primeramente, se describen los principales aspectos considerados en el diseño e implementación siguiendo con el diseño del prototipo por bloques. Se detalla las aplicaciones de software desarrolladas, así como el protocolo de comunicaciones en capa aplicación y de enlace de datos utilizado.

#### 3.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

En el control de procesos se utiliza sensores y actuadores que se comunican con el controlador a través de entradas y salidas discretas y analógicas. Se busca un dispositivo que sirva de interfaz entre sensores y actuadores en una planta móvil y un centro de control fijo utilizando comunicación de datos sobre la red GPRS.

Los requerimientos primarios de diseño para el dispositivo expuesto incluyen:

- 1. Construcción de bajo costo.** En buena medida, esto se logra con materiales y componentes disponibles en el mercado nacional. Consecuentemente, se busca manufactura de la placa impresa y la carcasa en talleres locales.
- 2. Fiabilidad.** El dispositivo debe funcionar adecuadamente instalado en unidades móviles como automóviles, camiones, barcos, etc. Se debe tomar en cuenta las características de vibración, fuente de alimentación a baterías 12-24 VDC, transitorios, entre otros.
- 3. Protocolo de comunicación robusto.** Los datos deben comunicarse a través de un protocolo fiable y robusto que evite pérdida de información. Se cuenta con RS-232 para

comunicación con el MODEM M2M GV-310 de NXN, y se debe buscar una alternativa en protocolo a nivel aplicación.

**4. Estándares industriales.** El dispositivo debe manejar estándares industriales en comunicación de sensores y actuadores para ofrecer un sistema confiable, escalable y de fácil integración.

**5. Tamaño.** El tamaño del dispositivo debe ser tal que permita su instalación en espacios reducidos en las unidades móviles con el objetivo de dejarlo fuera de la vista y manipulación del chofer u operarios.

## **3.2. DISEÑO DEL INTERFAZ**

### **3.2.1. Diagrama de Bloques**

Ver figura 3.1.

### **3.2.2. Entradas Discretas**

En el control de procesos existen variables que pueden tomar únicamente dos valores discriminantes entre si, algunos ejemplos son: abierto-cerrado, encendido-apagado, llenovació, entre otros. Se decide utilizar 5 entradas discretas con alimentación externa a niveles de voltaje 12-24 VDC. El circuito escogido se muestra en la figura 3.2.

#### **. Explicación del Circuito**

Se utiliza un optoacoplador PC817 para proteger el circuito digital de sobrevoltaje en el lado del sensor. Además, una resistencia limitadora de corriente  $4.7k [\Omega] \frac{1}{4} [W]$  en serie con el LED mantiene la corriente de entrada dentro de los límites recomendados por el fabricante del PC817 (Ver Datasheet Anexo 3). Un diodo 1N4001 es utilizado como protección de polarización invertida. La salida a 5 VDC con lógica invertida ingresa directamente al puerto I/O del microcontrolador.

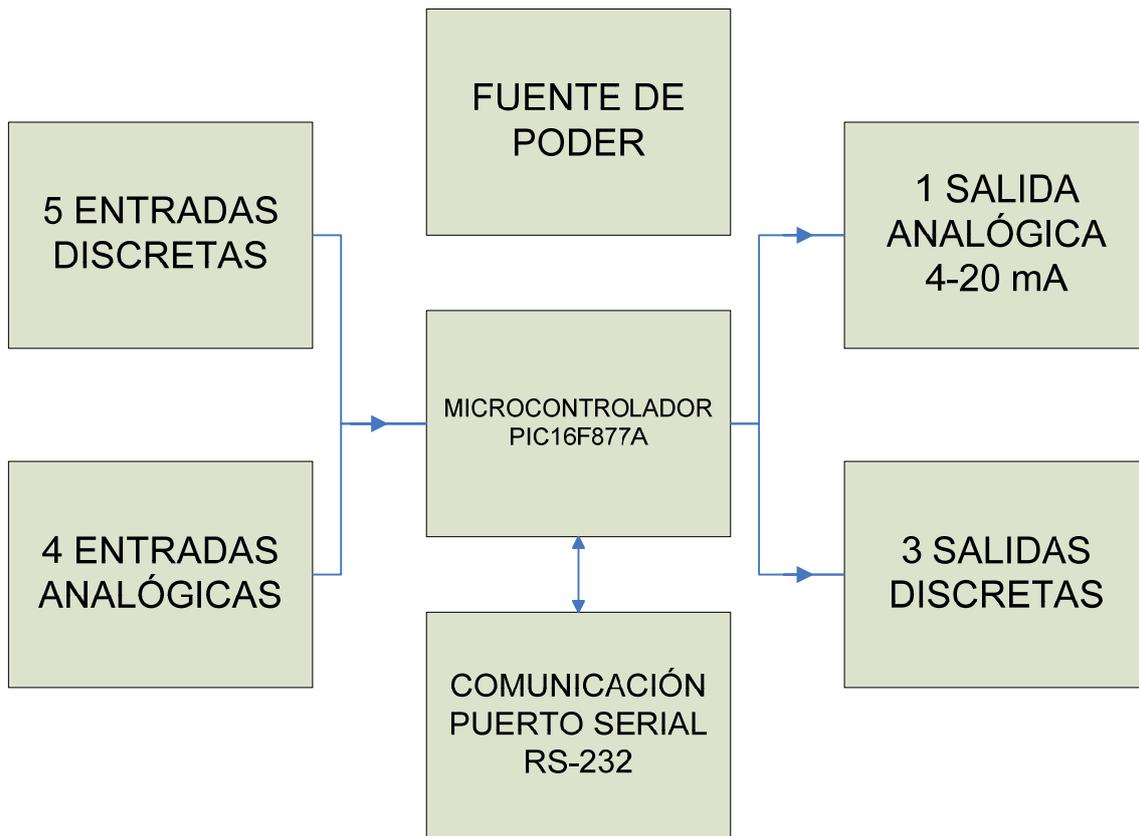


Figura. 3.1. Diagrama de Bloques del Módulo Electrónico

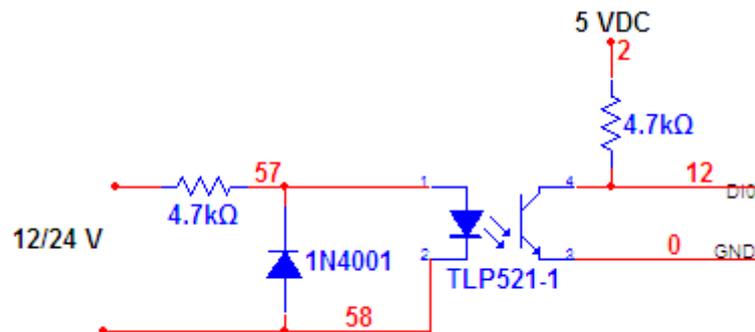


Figura. 3.2. Esquemático de una entrada discreta

### 3.2.3. Entradas Analógicas

Existen fenómenos físicos a medir cuya variación se da de forma continua como por ejemplo la temperatura, el volumen, el caudal, entre otros. Para el diseño del módulo electrónico se ha escogido trabajar con entradas de 4-20 mA y 10 bits de resolución. El circuito se muestra en la figura 3.3.

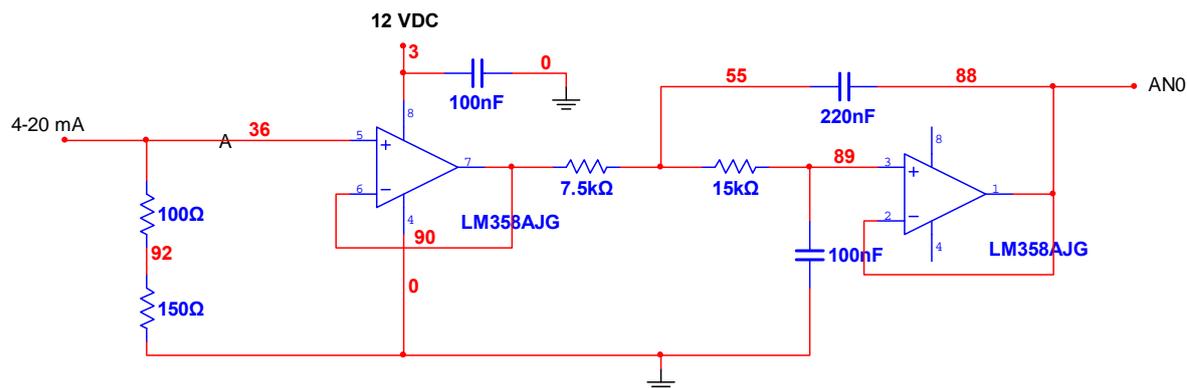


Figura. 3.3. Esquemático de una entrada analógica

### .Explicación del Circuito

Dado que se va a utilizar el conversor ADC del microcontrolador PIC16F877A es necesario convertir los 4-20 mA a 0-5 VDC que es el rango de entrada del ADC. Para este fin, se utiliza una resistencia de 250 [ $\Omega$ ] en serie con el lazo de corriente para que la caída de voltaje sea 1-5 VDC. A continuación, se coloca un seguidor de voltaje y un filtro pasabajos antialiasing arquitectura Sallen-Key con el fin de eliminar componentes de alta frecuencia que puedan introducir errores en la conversión ADC y acoplar impedancias.

### 3.2.4. Salida Analógica

Existen aplicaciones de control donde a más de activar un actuador se requiere hacerlo en cierto porcentaje de su capacidad total de acuerdo a la aplicación. En el presente diseño se utiliza una salida analógica 4-20 mA con resolución de 8 bits. El circuito implementado<sup>1</sup> se muestra en la figura 3.4.

### .Explicación del Circuito

La teoría de operación está detallada en la *Application Note AN-21 4-20 mA Digital to Process Current Transmitter* publicación de *Analog Devices* que se la encuentra en el anexo X. Para la implementación del prototipo se debieron realizar cambios en el diseño debido a la imposibilidad de encontrar en el mercado ecuatoriano los circuitos integrados DAC08-CQ, REF-01CJ, OP-221, y a las dificultades de importación unitaria de dichos componentes.

1. Circuito modificado del propuesto en la publicación 4-20 mA Digital to Process Current Transmitter AN-21 de Analog Devices.

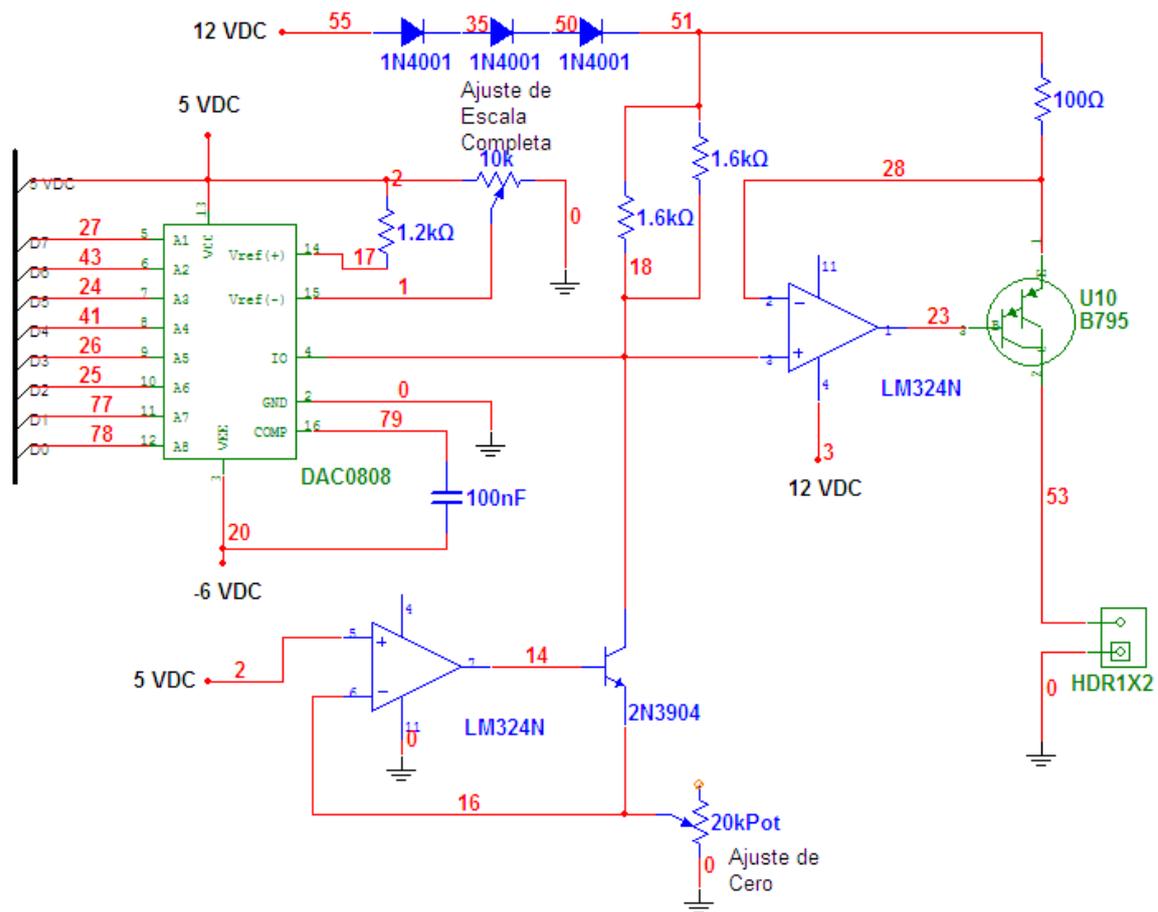


Figura. 3.4. Esquemático de la salida analógica

La referencia de voltaje de precisión a 10 VDC REF-01CJ, utilizada para ajuste de cero y escala completa en el circuito original, es reemplazada por una referencia de voltaje a 5 VDC tomada de la salida regulada de la fuente de poder basada en el regulador de voltaje conmutado LM2576. Se recomienda utilizar una referencia de voltaje de precisión de llevar el presente prototipo a la etapa de producción. El ajuste de cero se lo hace a través de la un potenciómetro de precisión de 20k  $\Omega$  en la configuración mostrada en la figura 3.4. que controla la cantidad de corriente adicionada a la salida del DAC0808 que es la responsable de mostrar los 4 mA a la salida del circuito.

El DAC08-CQ es reemplazado por el DAC0808 de similares características fabricado por *National Semiconductors* y el OP-221, amplificador operacional doble, se lo

reemplaza por un LM324, amplificador operacional cuádruple, que cumple la misma función.

### 3.2.5. Salidas Discretas

En un control de procesos es necesario encender o apagar actuadores conforme lo requiera la aplicación. Para el presente diseño se escoge utilizar salidas discretas a relé. El circuito se muestra en la figura 3.5.

#### .Explicación del Circuito

Se utiliza un transistor 2N3904 en configuración de *switch* para amplificar la corriente que brinda el puerto I/O del microcontrolador y activar el relé NT73-2C10 que requiere 70 mA en la bobina.

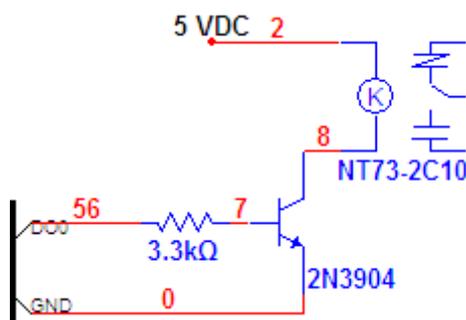


Figura. 3.5. Esquemático de una salida discreta

### 3.2.6. Fuente de Poder

El diseño requiere voltajes de 5 VDC, 12-24 VDC y -6 VDC. Es necesario obtener estos voltajes de una batería de 12/24 VDC. El circuito implementado se muestra en la figura 3.6.

Para obtener 5 VDC, se escoge un tipo de regulador de voltaje conmutado de alta eficiencia, el CI LM2576T-5 de *National Semiconductor*. (Ver el *datasheet* en el anexo 2). El voltaje de -6 VDC se obtiene utilizando un circuito inversor de voltaje basado en el LM555 tal como lo ilustra la figura 3.6. Un regulador lineal LM7906 a la salida entrega un voltaje fijo en -6 VDC.

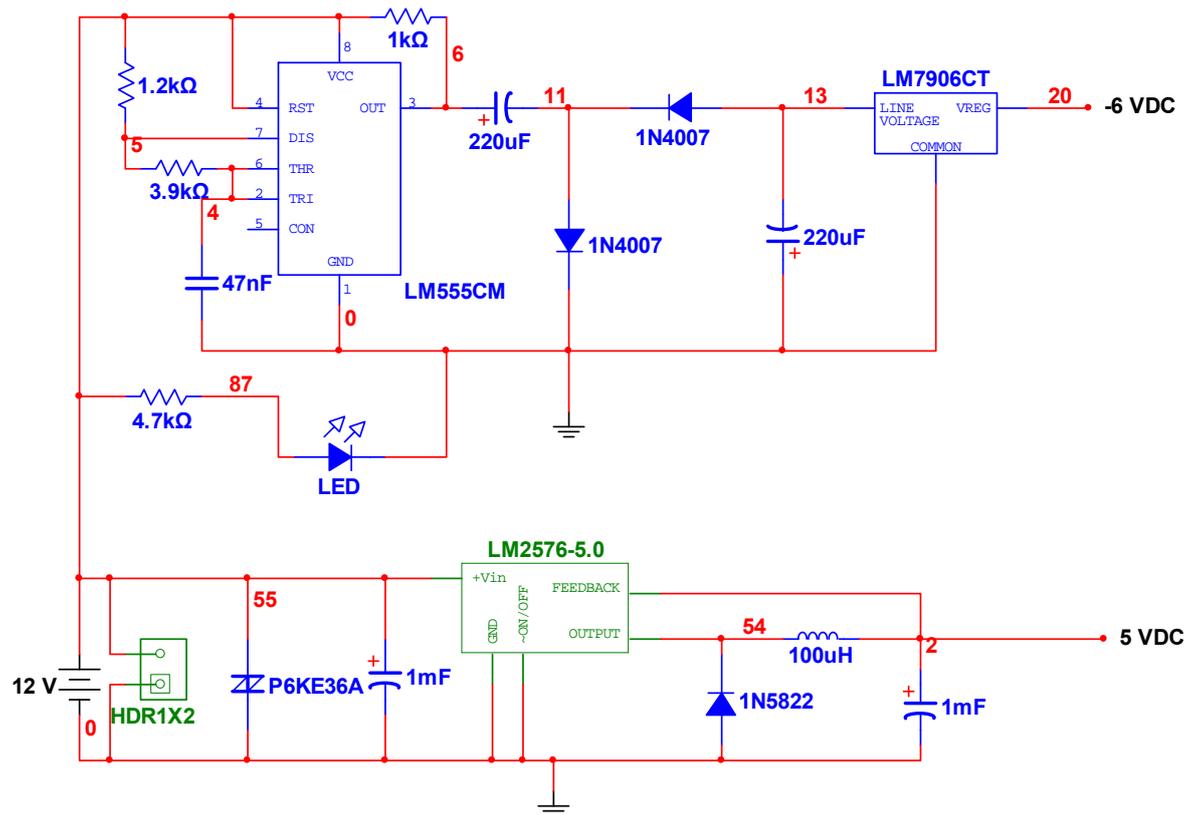


Figura. 3.6. Esquemático de la fuente de poder

El voltaje de 12-24 VDC requerido puede variar dentro del rango desde 12 hasta 24 VDC, así que se toman directamente de la batería. Un TVS P6KE36A protege al circuito de transitorios de alto voltaje que puedan destruir al dispositivo y un condensador de 1 mF se encarga de eliminar el rizado que pudiera presentarse en la entrada.

### 3.2.7. Comunicaciones

Se realiza comunicación serial asíncrona RS-232 a través de un circuito basado en el integrado MAX232CPE fabricado por Maxim. El esquemático se puede observar en la figura 3.7. La implementación es del circuito típico recomendado por el fabricante del integrado MAX232CPE.

### 3.2.8. Microcontrolador PIC16F877A

El microcontrolador PIC16F877A es utilizado como el controlador del módulo. En la tabla 3.1. se muestra la distribución de los puertos E/S que se ha escogido para el diseño.

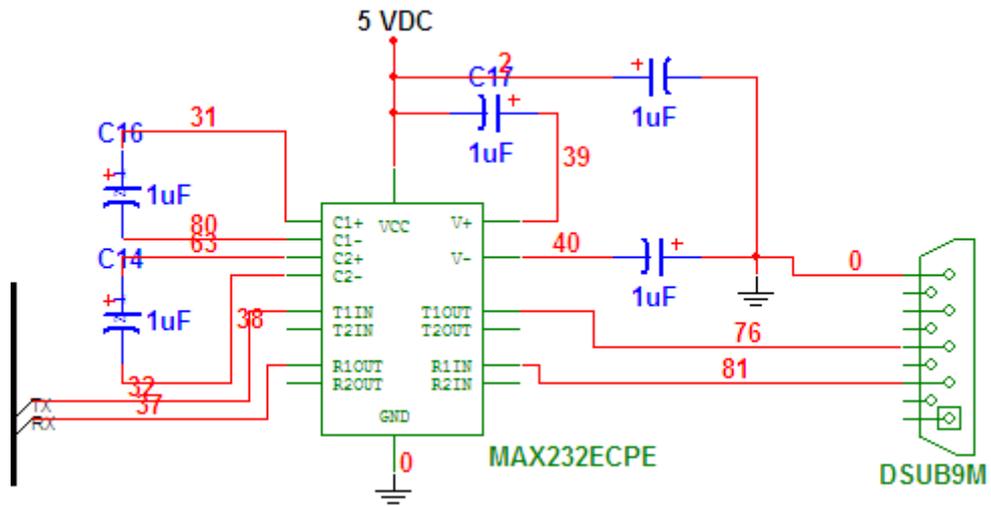


Figura. 3.7. Esquemático del circuito de comunicación serial RS-232

Tabla. 3.1. Distribución de los Puertos del Microcontrolador

PUERTO A	RA0	Entrada Analógica 1
	RA1	Entrada Analógica 2
	RA2	Entrada Analógica 3
	RA3	Entrada Analógica 4
	RA4	NC
PUERTO B	RB0	Entrada Discreta 1
	RB1	Entrada Discreta 2
	RB2	Entrada Discreta 3
	RB3	Entrada Discreta 4
	RB4	Entrada Discreta 5
	RB5	NC
	RB6	NC
	RB7	NC
PTO. E	RE0	Salida Discreta 1
	RE1	Salida Discreta 2
	RE2	Salida Discreta 3
PUERTO D	RD0	Salida Analógica Bit 0
	RD1	Salida Analógica Bit 1
	RD2	Salida Analógica Bit 2
	RD3	Salida Analógica Bit 3
	RD4	Salida Analógica Bit 4
	RD5	Salida Analógica Bit 5
	RD6	Salida Analógica Bit 6
	RD7	Salida Analógica Bit 7

Se utiliza un oscilador a cristal de 20 Mhz.

### 3.3. PROTOCOLO DE APLICACIÓN GEOSKYBUS

Para la comunicación con el módulo electrónico para la gestión remota de procesos, se ha desarrollado un protocolo de nivel aplicación, capa 7 del modelo OSI. Se ha tomado como modelo el protocolo MODBUS<sup>2</sup>, pero ajustando sus particularidades a requerimientos específicos y únicos del desarrollo en cuestión. Es un protocolo para comunicación cliente/servidor entre dispositivos conectados en diferentes redes. El protocolo será llamado GEOSKYBUS.

#### 3.3.1. Descripción del Protocolo

El protocolo GEOSKYBUS define un PDU (*Protocol Data Unit*) independiente de las capas de comunicación inferiores. La vinculación del protocolo GEOSKYBUS en buses o redes específicas introduce campos adicionales para formar el ADU (*Application Data Unit*). La estructura se muestra en la figura 3.8.

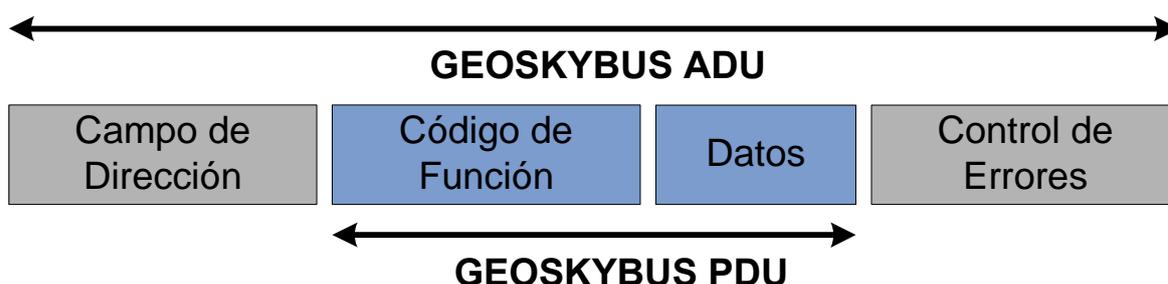


Figura. 3.8. Trama GEOSKYBUS

El ADU es construido por el cliente que inicia la transacción GEOSKYBUS. La función indica al servidor que acción realizar. El protocolo de aplicación GEOSKYBUS establece el formato de la solicitud iniciada por el cliente. El campo de función de la unidad de datos GEOSKYBUS es codificado en un *nibble*. Los códigos validos están en el rango de 0...15 decimal. Cuando un mensaje es enviado desde el cliente al dispositivo servidor el campo del código de función indica al servidor que acción realizar.

El campo de datos de los mensajes enviados desde el cliente al dispositivo servidor contiene información adicional que el servidor usa para realizar la acción definida por el código de función. Puede incluir ítems como direcciones de salidas discretas o analógicas,

2. MODBUS es un protocolo de comunicaciones serial publicado por Modicon para uso con PLC's.

y el valor a escribir en un registro o bit. El campo de datos puede estar vacío en ciertos tipos de solicitud donde el servidor no requiere información adicional para realizar la acción pedida.

En la respuesta del servidor a una función GEOSKYBUS solicitada, el campo de datos contiene los datos pedidos. Por ejemplo, un cliente puede leer el estado ON/OFF de las salidas o entradas discretas, o leer/escribir los datos de registros asociados a entradas o salidas analógicas. Cuando el servidor responde al cliente envía el código de función de la solicitud. No se han implementado códigos de error. La figura 3.9 muestra la transacción descrita.

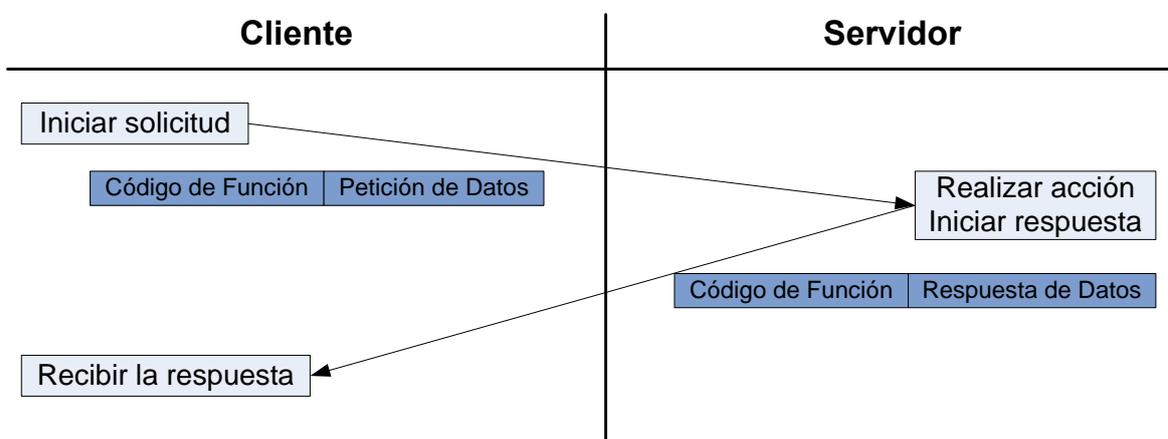


Figura. 3.9. Transacción GEOSKYBUS

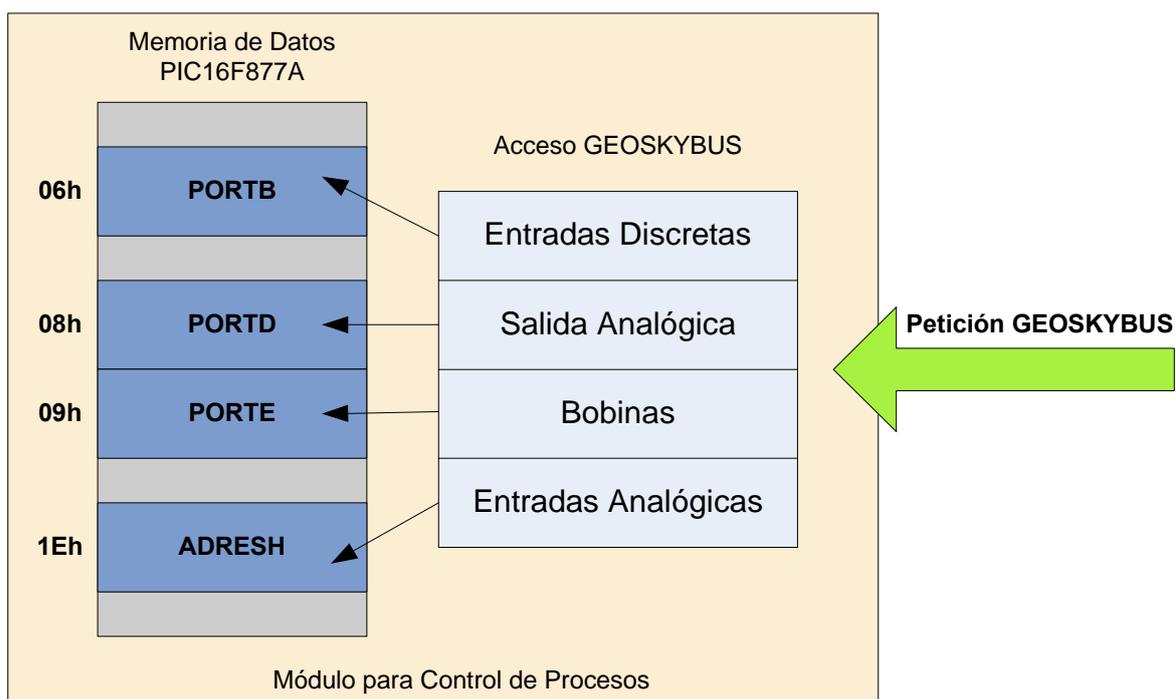
### 3.3.2. Modelo de Datos GEOSKYBUS

El protocolo basa su modelo de datos en las cuatro tablas primarias mostradas en la tabla 3.2.

Tabla. 3.2. Tablas primarias del modelo de datos GEOSKYBUS

Tablas Primarias	Tamaño	Tipo	Comentarios
Entradas Discretas	1-bit	Solo Lectura	Sistema I/O
Salidas Discretas	1-bit	Lectura-Escritura	Alterable por programa
Entradas Analógicas	8-bit byte	Solo Lectura	Sistema I/O
Salida Analógica	8-bit byte	Lectura-Escritura	Alterable por programa

Los datos manejados a través de GEOSKYBUS (bits, registros) deben estar localizados en la memoria de aplicación del dispositivo. Pero las direcciones físicas no se deben confundir con la referencia de datos. Se debe vincular la referencia de datos con la dirección física. Los números de referencia lógica de GEOSKYBUS que se utilizan en las funciones son índices enteros sin signo empezando en cero. En la figura 3.10 se observa que cada bloque esta separado uno de otro ya que los datos de diferentes bloques no tienen correlación.



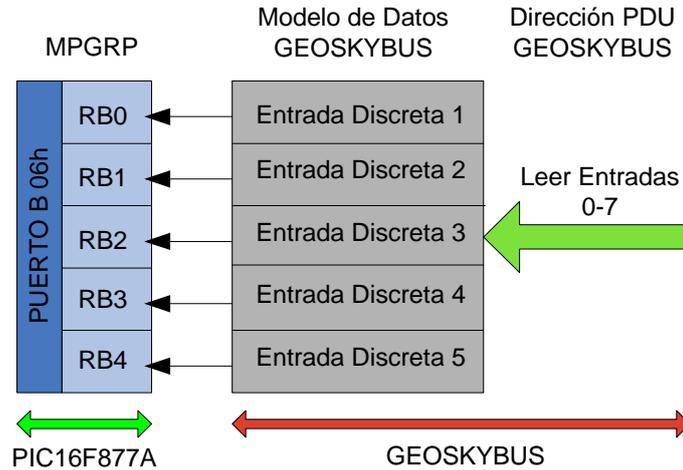
**Figura. 3.10. Modelo de Datos GEOSKYBUS del Módulo de Gestión Remota de Procesos**

### 3.3.3. Modelo de Direccionamiento GEOSKYBUS

En el protocolo de aplicación GEOSKYBUS cada dato tiene una dirección desde 0 hasta 15 dentro de cada bloque; esa dirección se usa en el PDU. Se define claramente el modelo de datos dividido en 4 bloques dentro de los cuales cada elemento se enumera desde 1 hasta n. En general, cada elemento X del modelo de datos tiene como dirección X-1 en el PDU GEOSKYBUS.

**.Entradas Discretas**

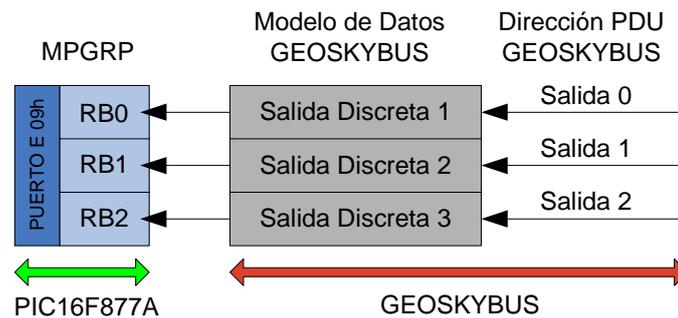
Se configura el PUERTO B del PIC16F877A como entradas digitales y los pines RB0-RB4 son las entradas discretas 1-5 respectivamente, con direcciones de 0-4 en el PDU. La figura 3.11 ilustra el mapeo.



**Figura. 3.11. Direccionamiento Entradas Discretas GEOSKYBUS**

**.Salidas Discretas**

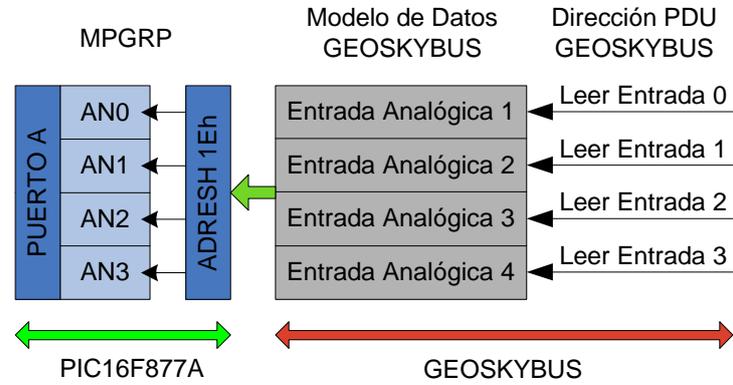
Se configura el PUERTO E del microcontrolador como salidas digitales y los pines RE0-RE2 son las salidas discretas 1-3 respectivamente, direccionadas de 0-2.



**Figura. 3.12. Direccionamiento Salidas Discretas GEOSKYBUS**

**.Entradas Analógicas**

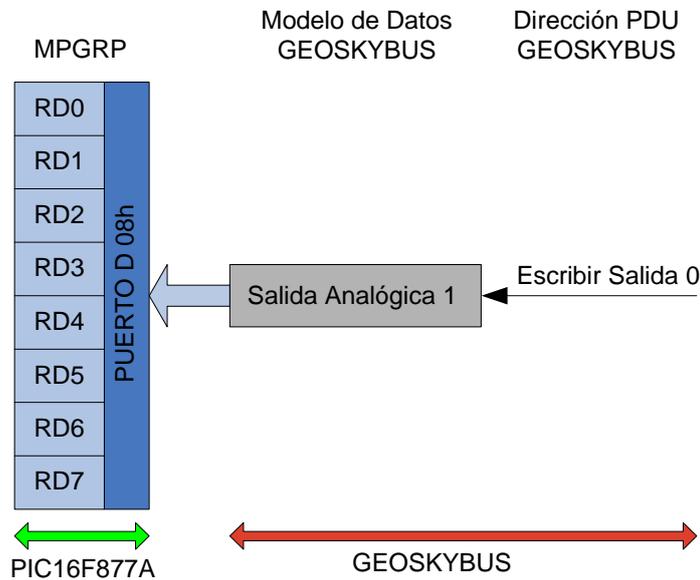
Se configura el PUERTO A como entradas analógicas y los pines AN0-AN3 son las entradas analógicas 1-4, identificadas de 0-3 respectivamente.



**Figura. 3.13. Direccionamiento GEOSKYBUS Entradas Analógicas**

**.Salida Analógica**

Se configura el PUERTO D como salidas digitales y los pines RD0-RD7 se conectan a un convertor DAC.



**Figura. 3.14. Mapeo salida analógica GEOSKYBUS**

### 3.3.4. Transacción GEOSKYBUS

El diagrama de la figura 3.15 muestra una transacción típica de GEOSKYBUS en el dispositivo servidor. Una vez que se procesa la solicitud en el servidor, la respuesta GEOSKYBUS es enviada al cliente.

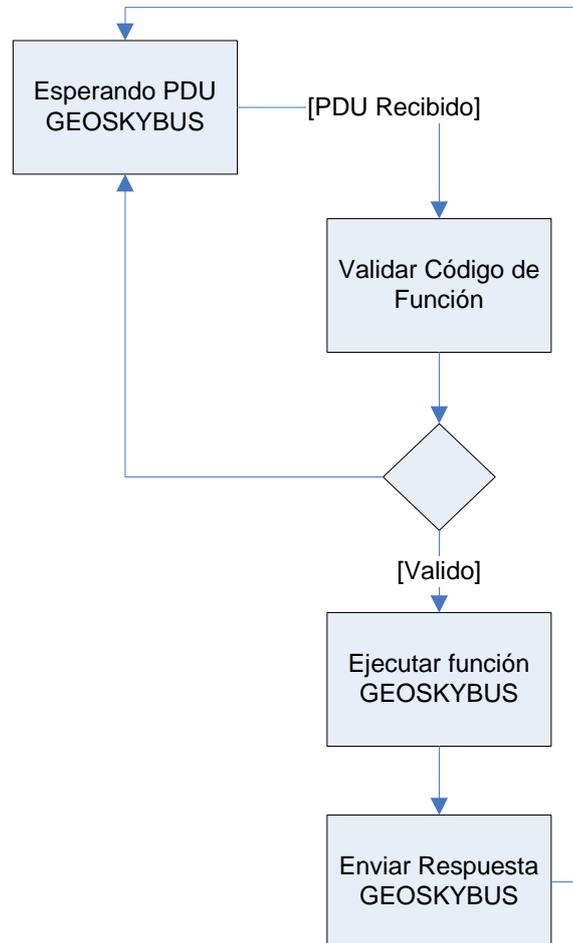


Figura. 3.15. Diagrama de flujo de una transacción GEOSKYBUS

### 3.3.5. Códigos de Función GEOSKYBUS

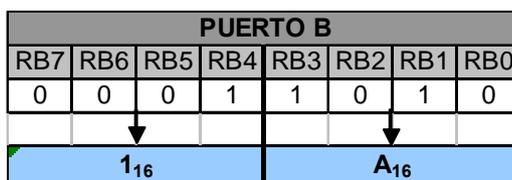
Los códigos de función implementados se muestran en la tabla 3.3. Se identifica 6 diferentes códigos con una funcionalidad específica que se detalla en la siguiente sección. De ser necesario, se puede agregar hasta 15 códigos de función en total dado que el campo de función de el protocolo GEOSKYBUS así lo permite.

**Tabla. 3.3. Códigos de Función GEOSKYBUS**

			Código	(hex)	
Acceso a Datos	Acceso a bits	Salidas Discretas	Leer Salida Discreta	3	3
			Escribir Salida Discreta	4	4
	Acceso a bytes	Salida Analógica	Leer Registro	5	5
			Escribir Salida Analógica	6	6
		Entradas Analógicas	Leer Registro	5	5
			Entradas Discretas	Leer Entradas Discretas	2
	Otros		Reset	1	1

**.2 (0x2) Leer Entradas Discretas**

Este código de función se usa para leer el estado de hasta 8 entradas discretas en el dispositivo remoto. El PDU de la solicitud contiene solamente el código de función. En el PDU de respuesta las 8 entradas se empaquetan en un *byte* (Ver figura 3.16.) siendo cada bit el estado de una entrada discreta. Las entradas se organizan en el *byte* siendo la 1 el LSB y la 8 el MSB. El estado se indica como 0=ON; 1=OFF. En el módulo electrónico para gestión remota de procesos se implementan únicamente 5 entradas por lo que los 3 bits de orden mayor del *byte* se llenan con ceros.



**Figura. 3.16. Codificación GEOSKYBUS de las entradas discretas para transmisión**

**Tabla. 3.4. Solicitud y Respuesta de la Transacción Leer Entradas Discretas**

Petición			Respuesta		
Código de Función	1 nibble	0x2	Código de Función	1 nibble	0x2
			Estado de las Entradas	1 byte	

Tabla. 3.5. Ejemplo de una solicitud para leer Entradas Discretas

Solicitud		Respuesta	
Nombre	(Hex)	Nombre	(Hex)
Función	2	Función	2
		Estado de Entradas	1E

El estado de las entradas discretas 1 a 5 se muestra en el valor 1E hex o binario 00011110.

### .3 (0x3) Leer Salidas Discretas

Este código de función se usa para leer el estado de hasta 8 salidas discretas en el dispositivo servidor. El PDU de la solicitud contiene solamente el código de función. En el PDU de respuesta las 8 entradas se empaquetan en un *byte* siendo cada bit el estado de una salida discreta. Las entradas se organizan en el *byte* siendo la 1 el LSB y la 8 el MSB. El estado se indica como 1=ON; 0=OFF. En el módulo electrónico para gestión remota de procesos se implementan únicamente 3 salidas por lo que los 5 bits de orden mayor del *byte* se llenan con ceros.

Tabla. 3.6. Solicitud y Respuesta de la Transacción Leer Salidas Discretas

Solicitud			Respuesta		
Código de Función	1 byte	0x3	Código de Función	1 byte	0x3
			Estado de las Entradas	1 byte	

Tabla. 3.7. Ejemplo de una solicitud para leer Entradas Discretas

Solicitud		Respuesta	
Nombre	(Hex)	Nombre	(Hex)
Función	3	Función	3
		Estado de Entradas	07

El estado de las salidas discretas 1 a 3 se muestra en el valor 07 hex o binario 00000111.

#### .4 (0x4) Escribir Salida Discreta

Este código de función es usado para cambiar el estado de una salida discreta a ON ó OFF en el dispositivo servidor. El PDU de solicitud especifica la dirección de la salida discreta. Las salidas se direccionan empezando en 0. Entonces, la salida 1 tiene la dirección 0. El estado ON/OFF es especificado por una constante en el campo de datos del PDU de solicitud. Un valor de 0x1 pone en ON la salida y el de 0x0 pone en OFF la salida.

La respuesta devuelve una replica de la solicitud enviada luego de que la salida ha cambiado de estado.

**Tabla. 3.8. Solicitud y Respuesta de la Transacción Escribir Entrada Discreta**

Solicitud			Respuesta		
Código de Función	1 nibble	0x4	Código de Función	1 nibble	0x4
Dirección	1 nibble	0x0 a 0x2	Dirección	1 nibble	0x0 a 0x2
Estado	1 nibble	0x0 ó 0x1	Estado	1 nibble	0x0 ó 0x1

**Tabla. 3.9. Ejemplo de una solicitud para Escribir Salidas Discretas**

Solicitud		Respuesta	
Nombre	(Hex)	Nombre	(Hex)
Función	4	Función	4
Dirección	0	Dirección	0
Estado	1	Estado	1

#### .5 (0x5) Leer Registros

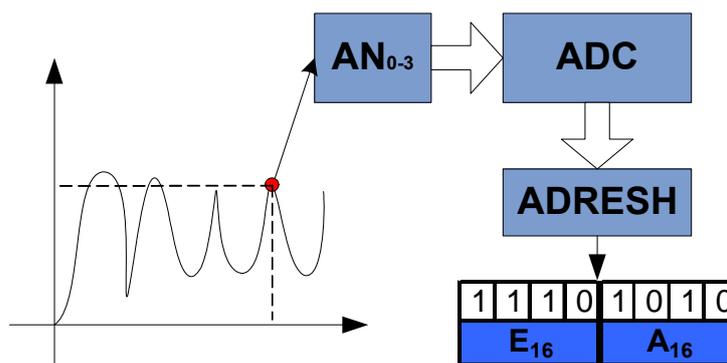
Este código de función se utiliza para leer el valor de hasta 16 registros, sean entradas analógicas (Registros de Entrada) o el valor de salidas analógicas (Registros de retención). El PDU de solicitud especifica la dirección. En el PDU las entradas se direccionan comenzando en 0. Entonces, la entrada 1 tiene la dirección 0. Los 8 bits del registro se envían como 1 *byte* en la respuesta. (Ver figura 3.17) En el módulo para gestión remota de procesos se implementan 4 entradas analógicas, con direcciones de 0 a 3. Para leer el valor de la salida analógica se utiliza la dirección 4.

**Tabla. 3.10. Solicitud y Respuesta de la Transacción Escribir Entrada Discreta**

Solicitud			Respuesta		
Código de Función	1 nibble	0x5	Código de Función	1 nibble	0x5
Dirección	1 nibble	0x0 a 0x4	Dirección	1 nibble	0x0 a 0x4
			Valor	1 byte	

**Tabla. 3.11. Ejemplo de una solicitud para Escribir Salidas Discretas**

Solicitud		Respuesta	
Nombre	(Hex)	Nombre	(Hex)
Función	5	Función	5
Dirección	0	Dirección	0
		Valor	FF



**Figura. 3.17. Codificación GEOSKYBUS de las entradas analógicas para transmisión**

**.6 (0x6) Escribir Salida Analógica**

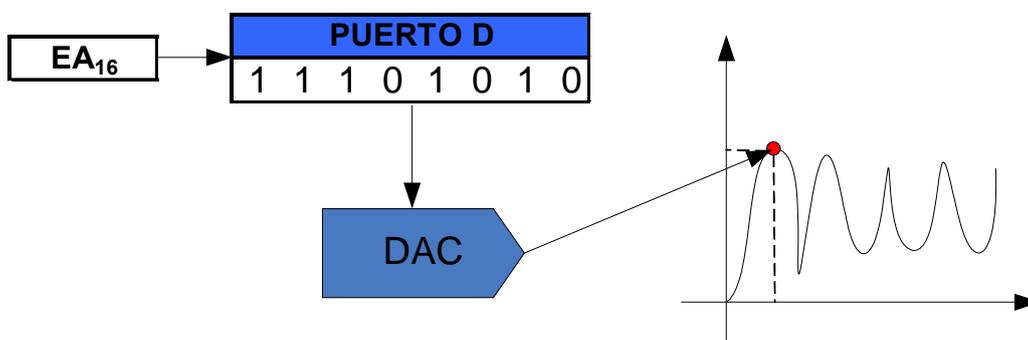
Este código de función es usado para escribir en un registro de retención en el dispositivo servidor. No maneja direcciones ya que en el módulo para gestión remota de procesos solo se ha implementado una salida analógica. El PDU de la solicitud envía un *byte* en el campo de datos que contiene el valor que se quiere escribir en el registro. El PDU de respuesta envía el código de función 0x6 luego de que la salida ha cambiado su valor.

**Tabla. 3.12. Solicitud y Respuesta de la Transacción Escribir Salida Analógica**

Solicitud			Respuesta		
Código de Función	1 nibble	0x6	Código de Función	1 nibble	0x6
Valor	1 byte				

**Tabla. 3.13. Ejemplo de una solicitud para Escribir en la Salida Analógica**

Solicitud		Respuesta	
Nombre	(Hex)	Nombre	(Hex)
Función	6	Función	6
Valor	FE		



**Figura. 3.18. Escritura en el Registro de Retención**

**.1 (0x1) Reset**

Este código de función se envía para conocer si el dispositivo servidor se encuentra en línea o activo. También puede enviarlo el dispositivo remoto sin solicitud previa para indicar que ha entrado en línea.

**Tabla. 3.14. Solicitud y Respuesta de la Transacción de Reset**

Petición			Respuesta		
Código de Función	1 nibble	0x1	Código de Función	1 nibble	0x1

### 3.4. PROTOCOLO GEOSKYBUS SERIAL

La comunicación entre el dispositivo GV-310 y el módulo para gestión remota de procesos se hace por serial RS232. Por lo tanto, es necesario vincular el protocolo de aplicación GEOSKYBUS descrito en la sección 3.3., al bus serial. GEOSKYBUS serial es un protocolo de tipo maestro/esclavo y se debe especificar en capa de enlace de datos, capa 2 del modelo OSI.

#### 3.4.1. Principio del Protocolo GEOSKYBUS Maestro/Esclavos

Solo un maestro (al mismo tiempo) esta conectado al bus, y uno o varios (15 máximo) nodos esclavos conectados al mismo bus serial. El maestro inicia la comunicación GEOSKYBUS. Los nodos esclavos típicamente no transmiten datos sin una petición del maestro, pero en el presente diseño se hicieron necesarias dos excepciones que se detallan mas adelante. Los nodos esclavos no se comunican entre si.

El nodo maestro envía una petición GEOSKYBUS a los nodos esclavos en modo *unicast*, es decir que el maestro se dirige únicamente a un esclavo. Después de recibir y procesar la petición, el esclavo retorna un mensaje de respuesta al maestro. La transacción GEOSKYBUS consiste de dos mensajes, una solicitud y una respuesta. Cada esclavo tiene una dirección única por lo que puede ser solicitado independientemente de otros nodos.

#### 3.4.2. Reglas de Direccionamiento GEOSKYBUS

El espacio de direcciones GEOSKYBUS comprende 15 direcciones diferentes. La dirección 0 no esta definida. El rango de direcciones va desde 1 hasta F hexadecimal. El nodo maestro no tiene una dirección especifica, solo los esclavos deben tener una dirección única.

#### 3.4.3. Descripción de la Trama GEOSKYBUS

La vinculación del protocolo GEOSKYBUS en un bus serial introduce un campo extra al PDU con la dirección del dispositivo esclavo hacia el que va dirigida la trama<sup>1</sup>. El campo para control de errores no se ha implementado en GEOSKYBUS.

---

1. Para una descripción detallada de los campos de función y datos referirse a la seccion 3.3.1.

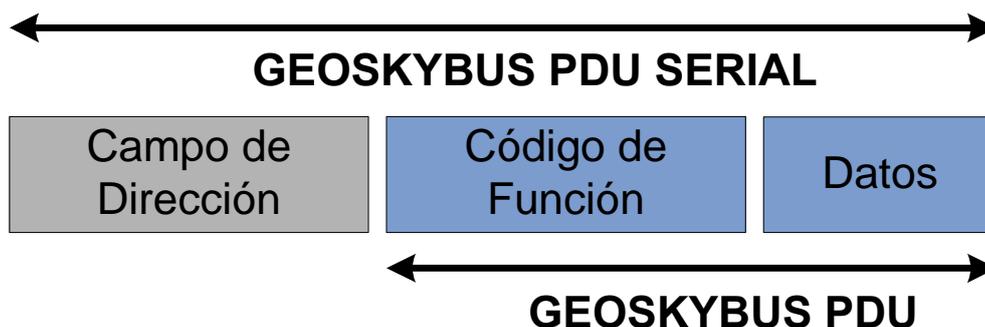


Figura. 3.19. PDU GEOSKYBUS serial

El campo de dirección contiene únicamente la dirección del esclavo. Las direcciones validas van de 0 a 15 decimal, y a los dispositivos se les asigna direcciones en el rango de 1 -15. El maestro se dirige a un esclavo colocando la dirección del esclavo en el campo de dirección del mensaje. Cuando el esclavo responde, coloca su propia dirección en el campo de dirección para informar al master cual esclavo ha respondido.

### 3.4.5. Modo de Transmisión ASCII

En el modo de transmisión ASCII cada byte de 8 bits del mensaje es enviado como dos caracteres ASCII. Es menos eficiente que el modo de transmisión RTU (*Remote Terminal Unit*), pero las características del sistema GEOSKY-SAF hacen que el manejo de *timers*, que rigen la comunicación en el modo RTU, no sea posible. Por ejemplo, el byte 0x5B es codificado como 2 caracteres: 0x35='5' y 0x42='B' en ASCII.

El formato de cada byte (10 bits) en modo ASCII es:

- Sistema de codificación:** Hexadecimal, caracteres ASCII 0-9, A-F.  
Cada carácter hexadecimal contiene 4 bits de datos.
- Bits por Byte:**  
1 bit de inicio  
8 bits de datos, LSB enviado primero  
1 bit de parada

### .Encapsulado ASCII

El mensaje GESOSKYBUS es colocado por el dispositivo transmisor en una trama con inicio y final conocido. Esto permite al receptor saber cuando inicia y termina una

trama. El mensaje tiene caracteres especiales conocidos como inicio de trama y final de trama. El mensaje debe empezar con el carácter dos puntos (:) (ASCII 3A hex), y terminar con el par 'carriage return-line feed' (CrLf) (ASCII 0D y 0A hex). Ver figura 3.20.

Los caracteres permitidos para los demás campos son hexadecimales 0-9, A-F codificados en ASCII. El dispositivo monitorea el Bus constantemente por el carácter dos puntos. Cuando es recibido, decodifica el siguiente carácter hasta que llega el carácter de final de trama. En el Modulo para Gestión Remota de Procesos, intervalos de hasta 32 ms pueden pasar entre caracteres de una trama antes de declararla incompleta y desecharla.

Inicio	Dirección	Función	Datos	Final
1 char :	1 char	1 char	0 hasta 4 chars	2 chars CR,LF

Figura. 3.20. Trama ASCII

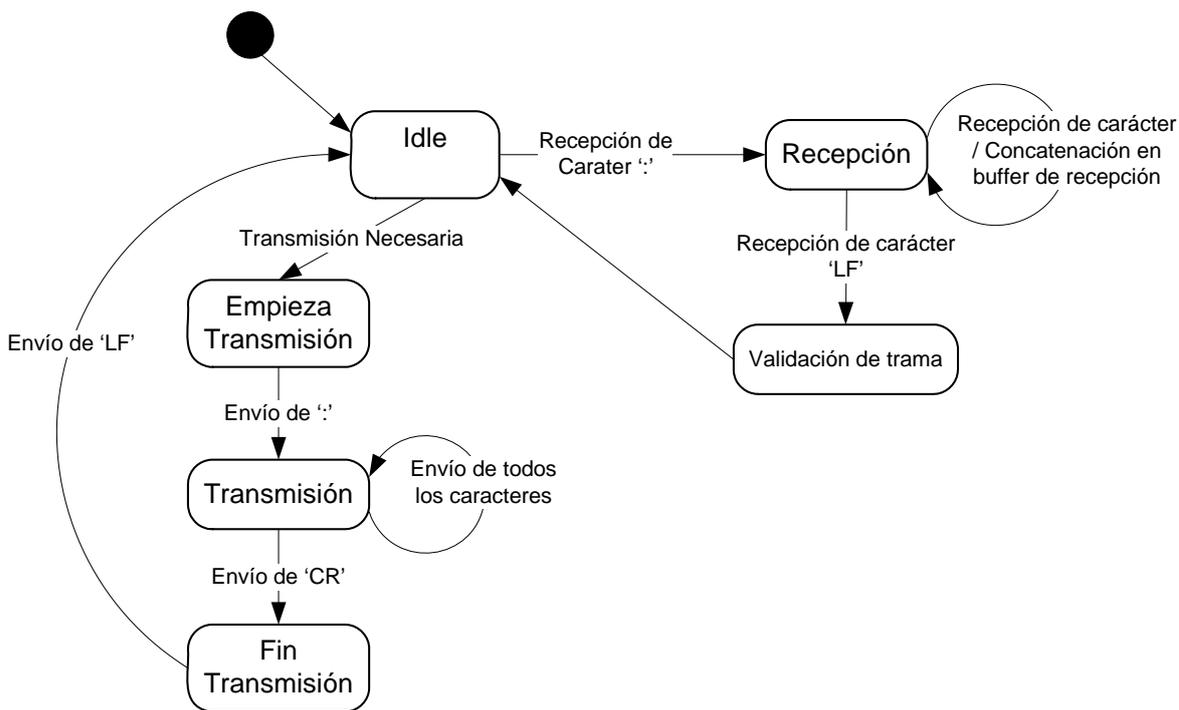


Figura. 3.21. Diagrama de estado del modo de transmisión ASCII

La figura 3.21 muestra en diagrama de estados del modo de transmisión ASCII. Idle es el estado normal cuando no esta activa la recepción ni transmisión.

### 3.5. INTEGRACIÓN CON EL SISTEMA GEOSKY-SAF

El sistema GEOSKY-SAF utiliza las funciones del API *Utility* para comunicar una aplicación cliente, a través de una red de conmutación de paquetes, con el dispositivo GV-310 remoto. El GV-310 posee un puerto serial RS-232 al cual va conectado el módulo para gestión remota de procesos. El API *utility* posee una función que permite enviar cadenas de caracteres ASCII hacia el puerto serial RS-232 del GV-310, y así mismo una función que permite leer cadenas de caracteres enviados por el puerto serial RS-232 desde el GV-310. Es esa funcionalidad la que constituye la base de la comunicación entre el módulo para gestión remota de procesos y la aplicación cliente. La figura 3.22 muestra la arquitectura del sistema.

#### 3.5.1 Comunicación Aplicación Cliente – Módulo para Gestión Remota de Procesos

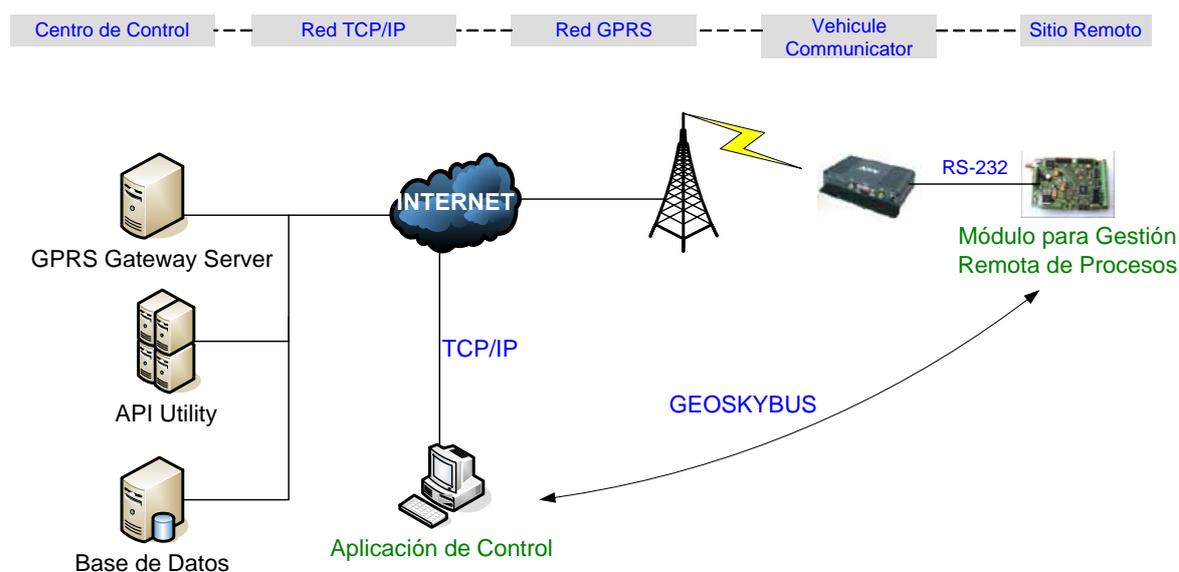
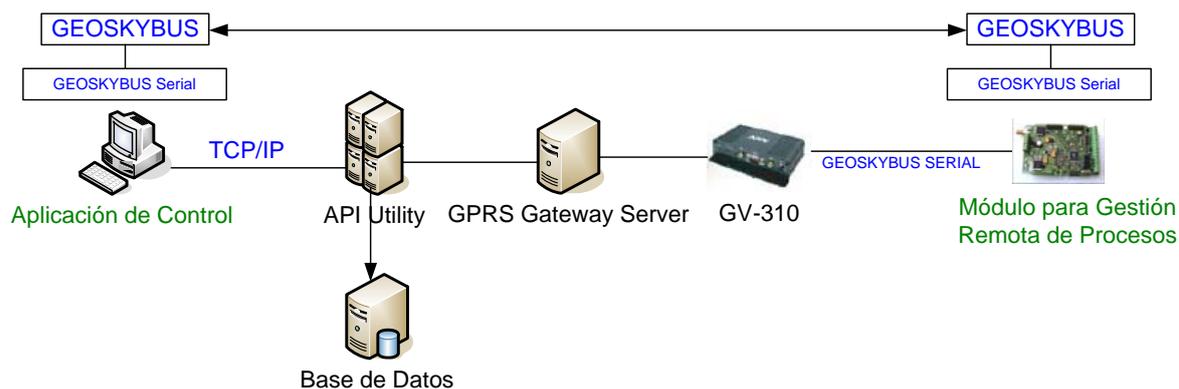


Figura. 3.22. Arquitectura del Sistema Integrado

La aplicación de control se comunica con el API Utility para enviar y recibir mensajes GEOSKYBUS al GV-310 a través de un *Socket*. El API está configurado como servidor TCP en espera de una conexión cliente por el puerto 30000



**Figura. 3.23. Comunicación Aplicación de control – Módulo**

. Una vez establecida la conexión TCP con la aplicación de control, empieza la comunicación bidireccional de mensajes GEOSKYBUS. El API se comunica con el GGS para enviar los mensajes GEOSKYBUS hacia el puerto serial del GV-310 y hacia el módulo para gestión remota de procesos.

Los mensajes GEOSKYBUS que envía el módulo para gestión remota de procesos por puerto serial los recibe el GGS como cadena de caracteres. Cada 4 ms el API consulta al GGS y recupera los mensajes para inmediatamente almacenarlos en una base de datos SQL Server en orden de llegada, y si esta abierta una conexión con la aplicación cliente, enviar los mensajes a la aplicación para su correspondiente procesamiento y ejecución.

### 3.6. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877A

El microcontrolador PIC se programa utilizando lenguaje C y el compilador PICC lite de HT-PIC. El algoritmo se muestra en el diagrama de flujo mostrado en la figura 3.24.

#### 3.6.1. Diagrama de Flujo

El programa es de tipo *super-loop*, es decir, un loop infinito dentro del cual se ejecutan las tareas en forma secuencial. A pesar de las limitaciones que presenta esta estructura de programa en cuanto a multitarea comparado con una maquina de estados o un sistema operativo en tiempo real, se escoge por su relativa simplicidad de estructura.

El programa inicia ejecutando rutinas de configuración e inicialización de los módulos USART, ADC y TIMER. A continuación envía el código de función 1 GEOSKYBUS para indicar al servidor que ha iniciado operación y está en línea.

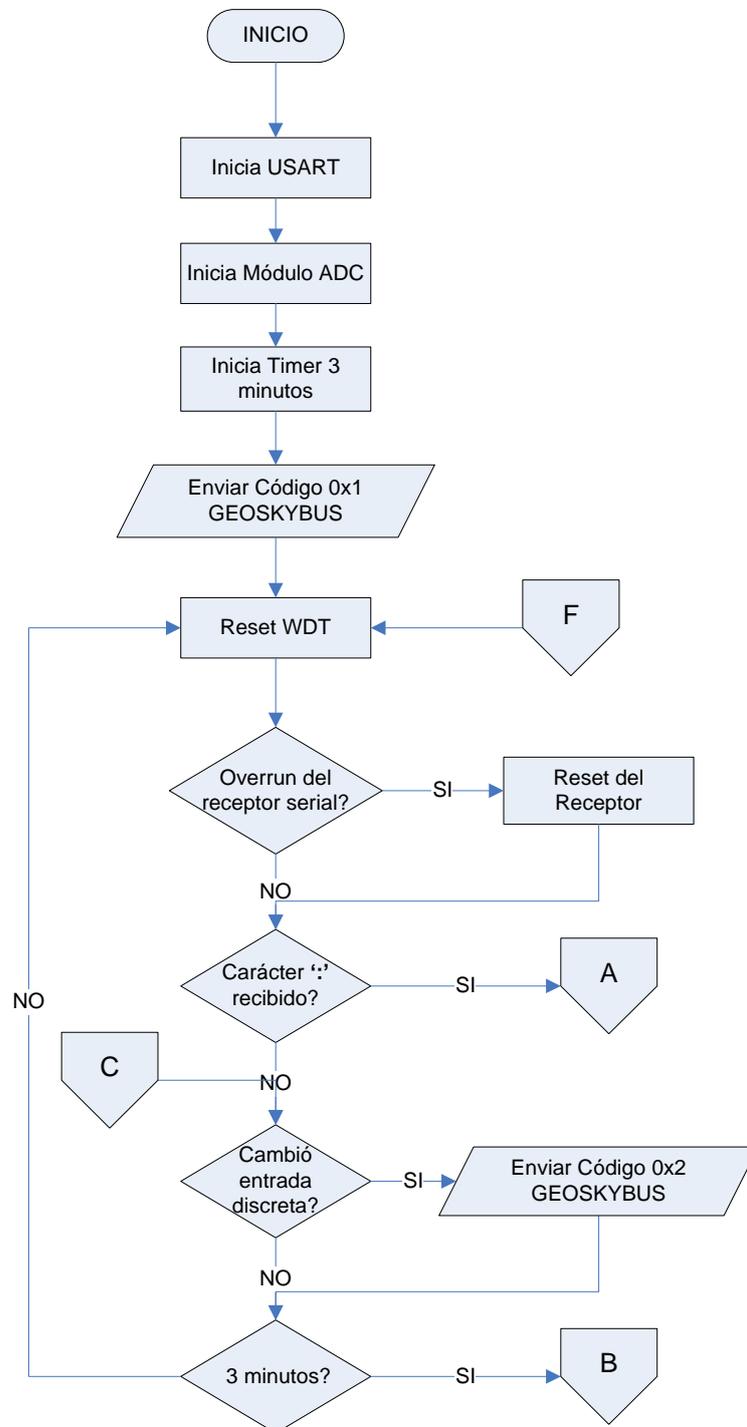


Figura. 3.24. Diagrama de Flujo del Programa en el Microcontrolador

Ingresa en el loop infinito y ejecuta tareas en el siguiente orden: verifica si hay dato recibido por el USART, cambio de estado de entrada discreta y overrun de timer a 3 minutos.

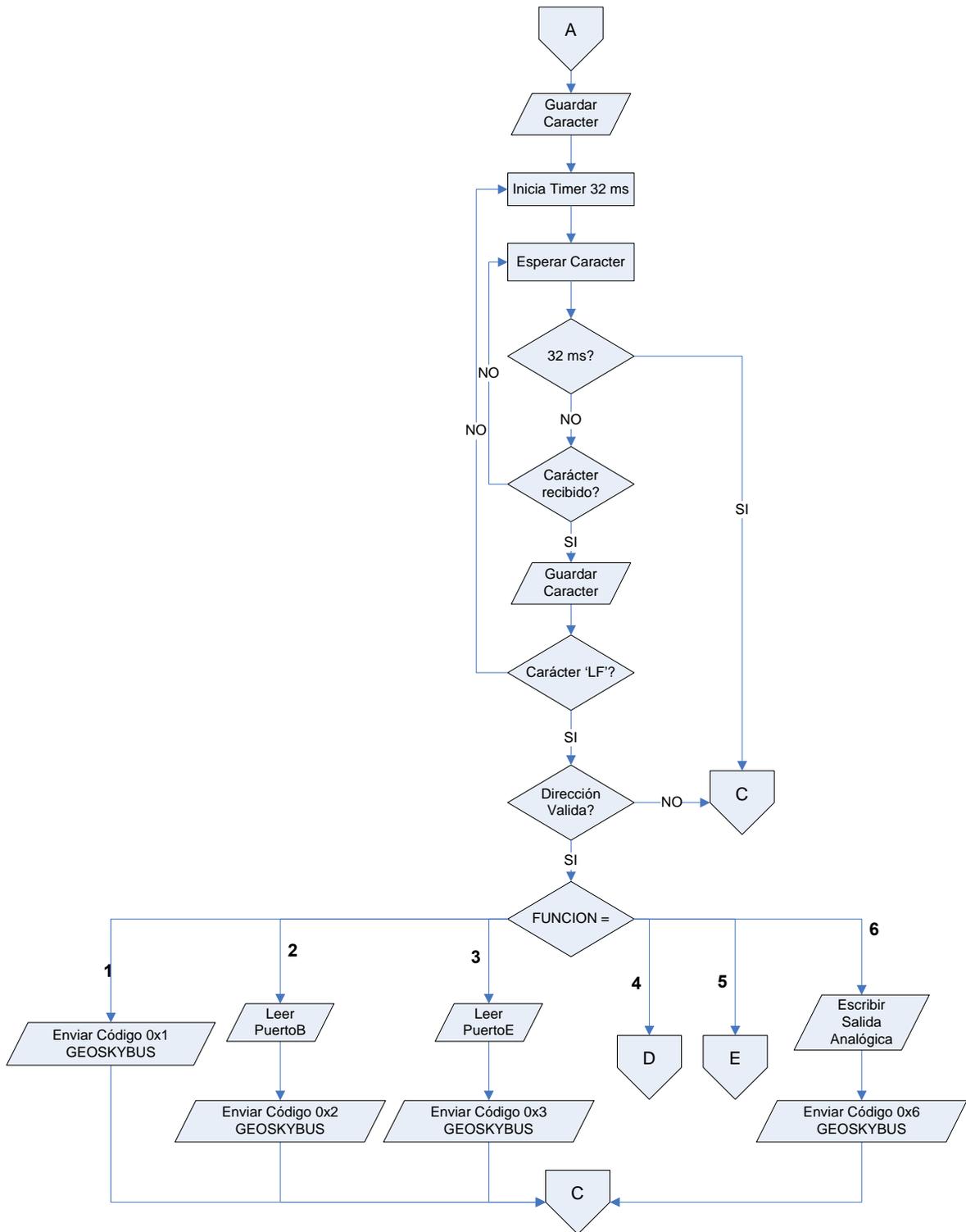


Figura. 3.24. Diagrama de Flujo del Programa en el Microcontrolador (Continuación)

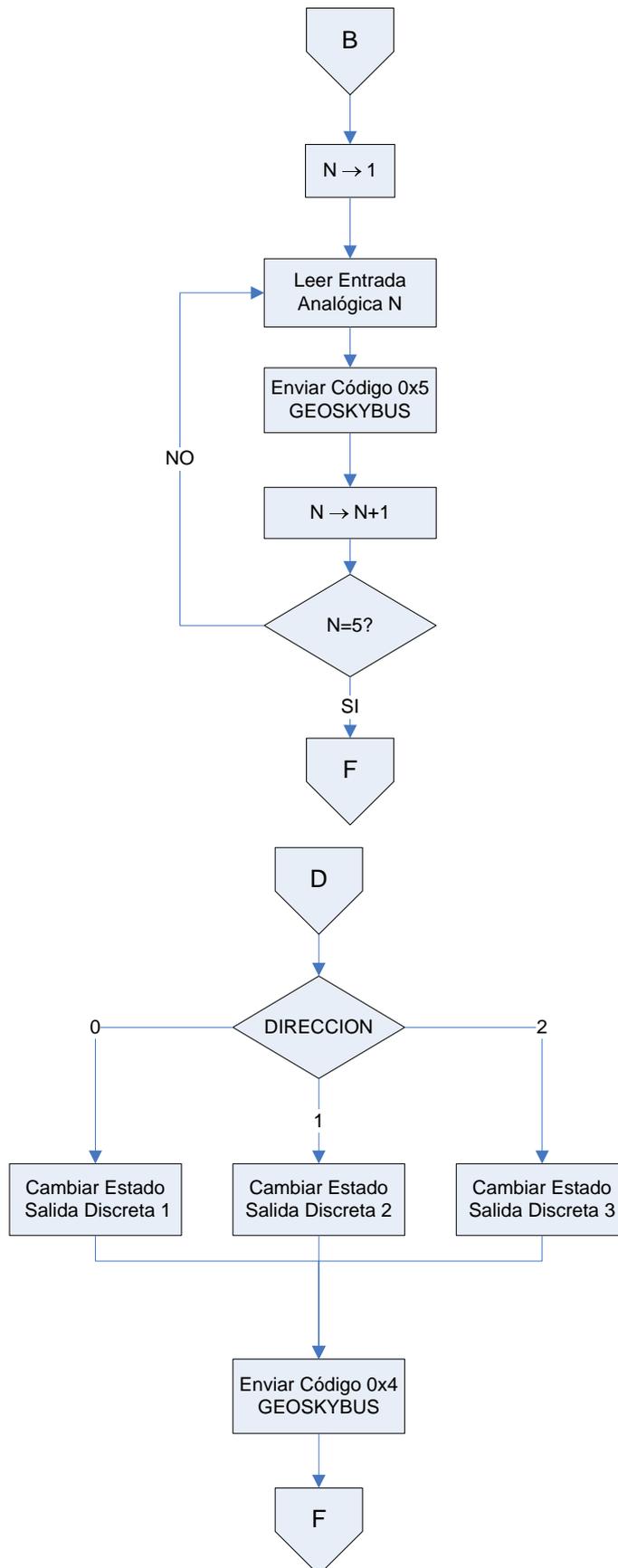
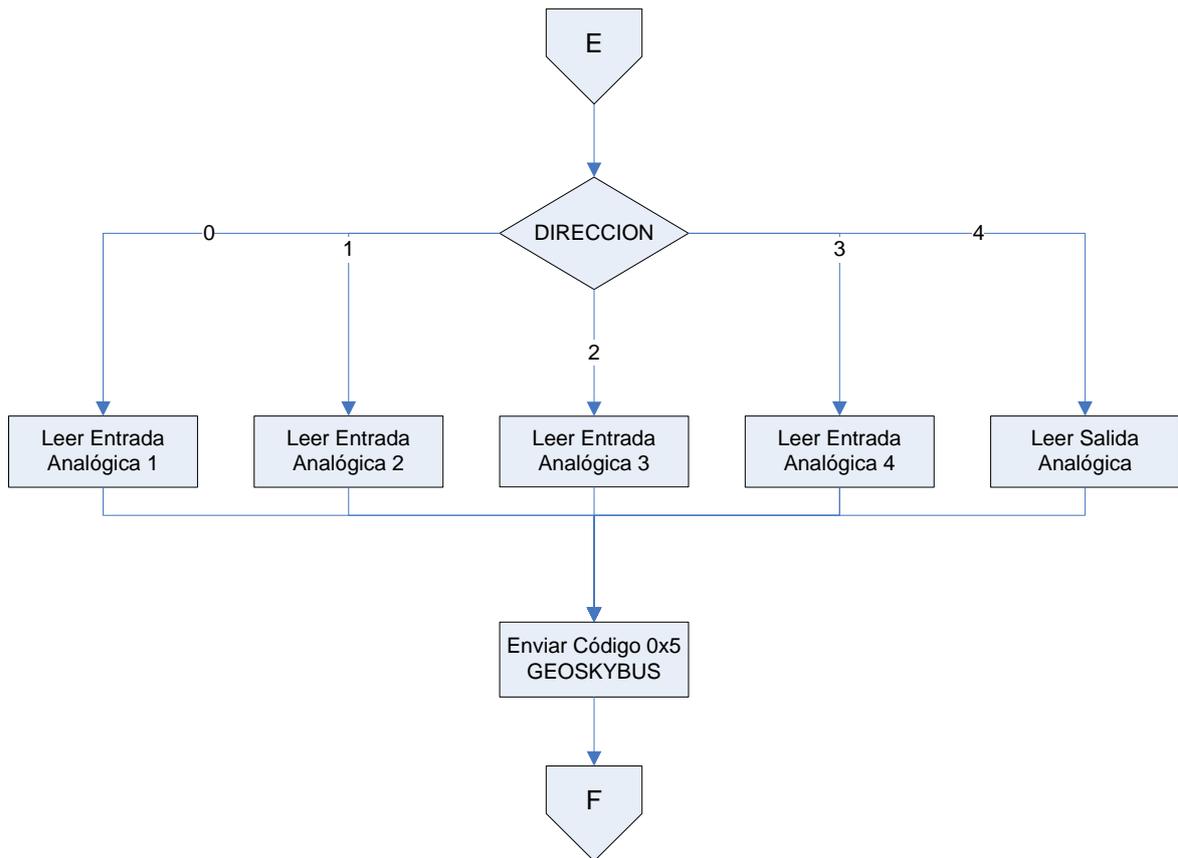


Figura. 3.24. Diagrama de Flujo del Programa en el Microcontrolador (Continuación)



**Figura. 3.24. Diagrama de Flujo del Programa en el Microcontrolador (Continuación)**

De encontrarse activa la bandera correspondiente a cada tarea, el programa ejecuta el código asociado hasta el final y a continuación sigue en el loop infinito. La tarea de recepción serial por USART valida el código de función recibido y deriva la ejecución del programa hacia una etapa de decisión donde se ejecuta la función especificada en el mensaje. La tarea de cambio de estado de entrada discreta se encuentra monitoreando el estado de las entradas discretas y, de detectar un cambio de estado, deriva la ejecución del programa a una rutina donde se formatea y envía el mensaje GEOSKYBUS asociado. El timer a 3 minutos envía información del valor de las 4 entradas analógicas cada 3 minutos al servidor.

### 3.6.2. Código en Lenguaje C

Se presenta en el anexo 1.

### **3.7. SOFTWARE DE PRUEBA EN VISUAL BASIC**

Para realizar las pruebas del módulo para gestión remota de procesos se codificó software en Visual Basic. La aplicación de control funciona en un ordenador conectado a una red privada o Internet.

#### **3.7.1 Código en lenguaje BASIC**

Se presenta en el anexo 2.

#### **3.8 Diagrama del Circuito Total**

Se presenta en el anexo 4.

## **CAPÍTULO 4**

### **IMPLEMENTACIÓN**

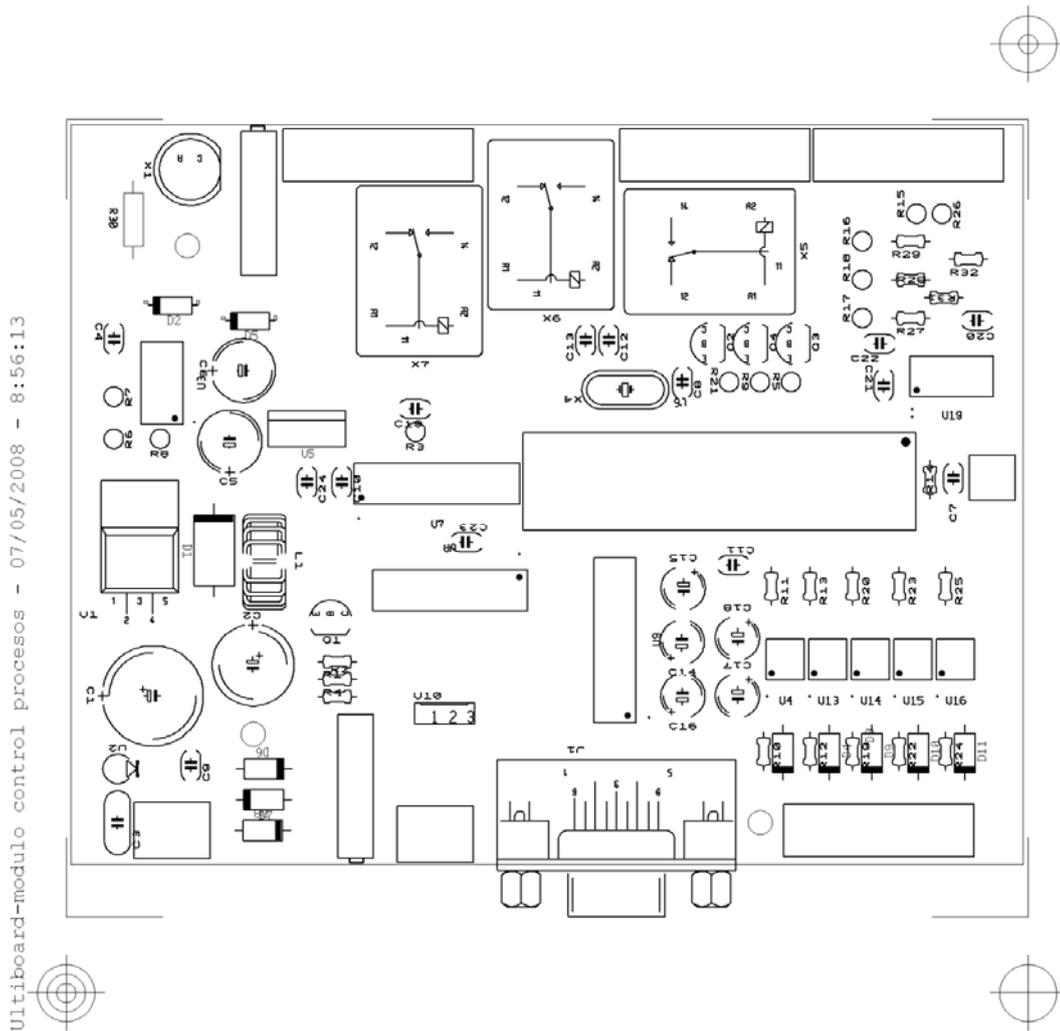
Este capítulo describe las técnicas usadas para la implementación de módulo para gestión remota de procesos. Se muestra el circuito impreso, y la distribución de los componentes para tener un prototipo funcional y de construcción robusta. Se finaliza con un análisis de costos.

#### **4.1 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO**

##### **4.1.1 Circuito Impreso**

Para el desarrollo del circuito impreso se utilizó el programa ULTIROUTE 10 de *National Instruments*. La placa se muestra en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3. La distribución de los componentes se hizo para ofrecer funcionalidad al prototipo en el menor espacio posible, y optimizar el espacio de instalación del sistema. El tamaño de la placa impresa se define en 98 x 125 mm. y es a doble lado con plano de tierra.

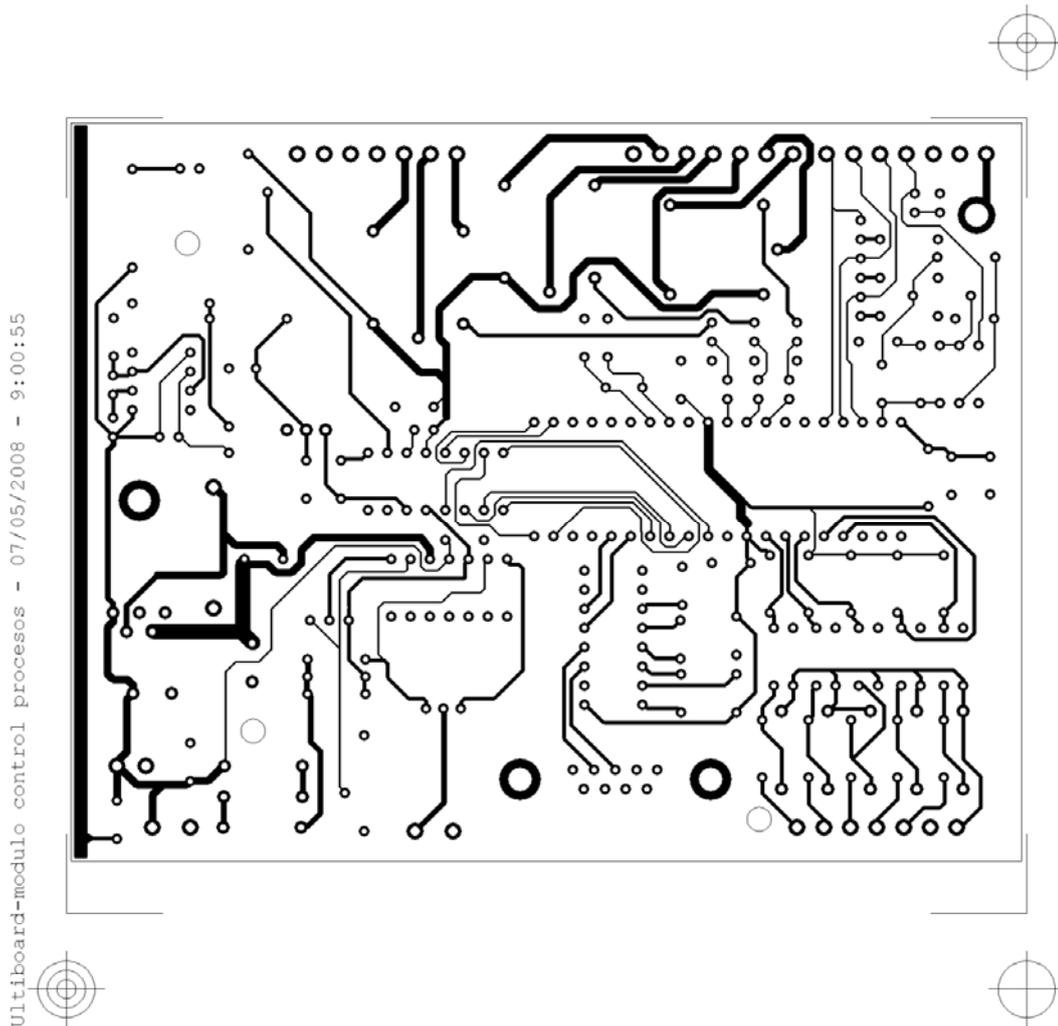
Los componentes se ubican en 6 bloques que son: Fuente de Poder, Microcontrolador, Comunicacion Serial RS-232, Salidas Discretas, Salida Analógica y Salidas discretas. Cada uno con un espacio definido dentro de la placa con el objetivo de llevar un orden adecuado en el ruteado y restringir las corrientes de retorno de cada bloque a un solo sector del plano de tierra. De esta forma se limita el ruido que se pudiera introducir en un bloque proveniente de la conmutacion en otro bloque.



**Figura. 4.1. Serigrafía de la parte superior.**

Se usa un plano de tierra como referencia a todos los bloques en la parte superior de la placa. El ruteado inicial se realiza utilizando la herramienta de ruteado automático del programa *Ultroute*. Con base en el resultado, se realizan cambios a mano para optimizar el resultado final. Se considera la corriente máxima que circulará por cada ruta de cobre, y se establece el ancho necesario. En general, el ancho mínimo de cada ruta de cobre es de 12 mil y la distancia entre rutas de 13 mil. Esto tomando en cuenta las especificaciones dadas por el fabricante de placas impresas local.

El ancho de los agujeros se establece en 35 mil, 42 mil, 52 mil y 125 mil de acuerdo al tamaño de cada componente y a los estándares de taladros usados por el fabricante.



**Figura. 4.2. Placa de circuito impreso (Parte inferior).**

El tamaño de los *pads* está fijado al 80% del tamaño de los agujeros para cada componente y su forma es redonda. Los agujeros son metalizados.

El plano de tierra se separa en el sector que une a las salidas discretas y las entradas analógicas para maximizar el aislamiento de las corrientes de retorno y de modo común del bloque de reles con las pequeñas corrientes analógicas. De esta forma se evita componentes de ruido que pudieran ingresar en el conversor ADC y comprometer las mediciones.

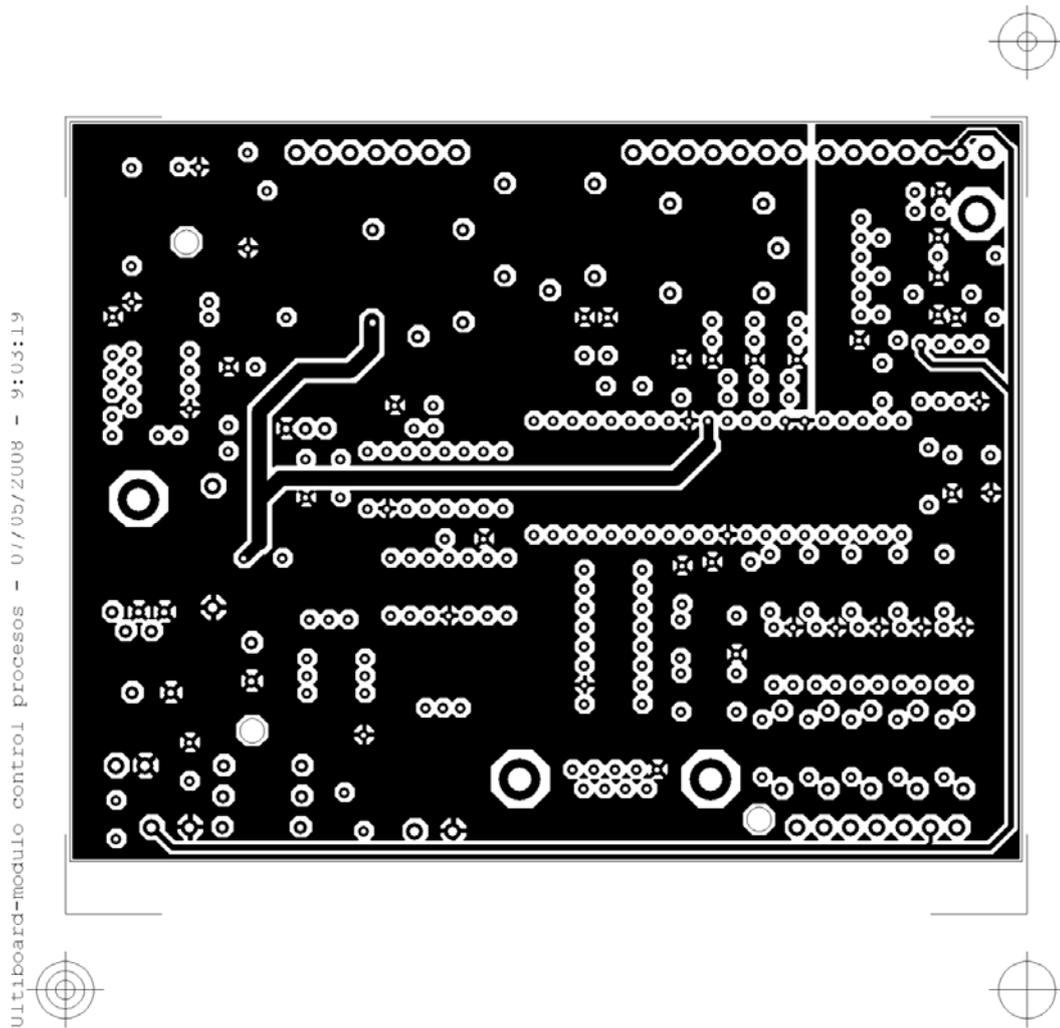


Figura. 4.3. Placa de circuito impreso (Parte Superior).

#### 4.1.2 Lista de Componentes

En las tablas 4.1 a 4.8 se enumera los componentes que forman parte del prototipo clasificados de acuerdo a su código de referencia en el diagrama del circuito.

Tabla. 4.1. Componentes L

Ref	Descripción	Valor
L1	Inductancia	100uH

Tabla. 4.2. Componentes X

Ref	Descripción	Numero de Parte
X7	Relé Bajo Consumo	NT73-2C10
X6	Relé Bajo Consumo	NT73-2C10
X5	Relé Bajo Consumo	NT73-2C10
X4	Cristal	4MHz
X1	Diodo LED	

Tabla. 4.3. Componentes Q

Ref	Descripción	Número de Parte	Encapsulado
Q4	Transistor BJT	2N3904	TO92
Q3	Transistor BJT	2N3904	TO92
Q2	Transistor BJT	2N3904	TO92
Q1	Transistor BJT	2N3904	TO92

Tabla. 4.4. Componentes J

Ref	Descripción
J7	Bornera 2 Tomas
J6	Bornera 2 Tomas
J5	Bornera 7 Tomas
J4	Bornera 7 Tomas
J3	Bornera 7 Tomas
J2	Bornera 7 Tomas
J1	Conector DB9 Macho para PCB

Tabla. 4.5. Componentes D

Ref	Descripción	Número de Parte	Encapsulado
D11	Diodo Semiconductor	1N4001	DO-41
D10	Diodo Semiconductor	1N4001	DO-41
D9	Diodo Semiconductor	1N4001	DO-41
D8	Diodo Semiconductor	1N4001	DO-41
D7	Diodo Semiconductor	1N4001	DO-41
D6	Diodo Semiconductor	1N4001	DO-41
D5	Diodo Semiconductor	1N4007	DO-41
D4	Diodo Semiconductor	1N4001	DO-41
D3	Diodo Semiconductor	1N4001	DO-41
D2	Diodo Semiconductor	1N4007	DO-41
D1	Rectificador de Barrera SCHOTTKY	1N5822	DO-201AD

Tabla. 4.6. Componentes U

Ref	Descripción	Numero de Parte	Valor	Encapsulado
U17	Pulsador			
U16	Optoacoplador	TLP521-1	-	DIP4
U15	Optoacoplador	TLP521-1	-	DIP4
U14	Optoacoplador	TLP521-1	-	DIP4
U13	Optoacoplador	TLP521-1	-	DIP4
U12	Trimmer Multivuelta	43P102	20k $\diamond$	
U11	Trimmer Multivuelta	43P102	10k $\diamond$	
U10	Transistor Darlington	B795	-	TO126
U9	Receptor/Transmisor dual RIA-232	MAX232ECPE	-	DIP16
U8	Amplificador Operacional Cuadruple	LM324N	-	DIP14
U7	Convertor Digital Analogo	DAC0808	-	DIP16
U6	Microcontrolador PIC	16F877A	-	DIP40
U5	Regulador de Voltaje -5 VCD	LM7905CT	-	TO220
U4	Optoacoplador	TLP521-1	-	DIP4
U3	Temporizador	LM555CM	-	DIP8
U2	Supresor de Transitorios de Voltaje	P6KE36A	-	DIO4R4
U1	Regulador de Voltaje Conmutado	LM2576-5.0	-	TO220_5H

Tabla. 4.7. Componentes C

Ref	Descripción	Valor
C18	Condensador Electrolitico	1uF
C17	Condensador Electrolitico	1uF
C16	Condensador Electrolitico	1uF
C15	Condensador Electrolitico	1uF
C14	Condensador Electrolitico	1uF
C13	Condensador Ceramico	15pF
C12	Condensador Ceramico	15pF
C10	Condensador Ceramico	100nF
C8	Condensador Ceramico	100nF
C7	Condensador Ceramico	100nF
C6	Condensador Electrolitico	220uF
C5	Condensador Electrolitico	220uF
C4	Condensador Ceramico	47nF
C3	Condensador Ceramico	100nF
C2	Condensador Electrolitico	1mF
C1	Condensador Electrolitico	1mF

Tabla. 4.8. Componentes R

Ref	Descripción	Valor	Tolerancia	Potencia (W)
R30	Resistencia	4.7k	5%	1/4
R29	Resistencia	100	5%	1/4
R28	Resistencia	100	5%	1/4
R27	Resistencia	100	5%	1/4
R26	Resistencia	100	5%	1/4
R25	Resistencia	4.7k	5%	1/4
R24	Resistencia	4.7k	5%	1/4
R23	Resistencia	4.7k	5%	1/4
R22	Resistencia	4.7k	5%	1/4
R21	Resistencia	1k	5%	1/4
R20	Resistencia	4.7k	5%	1/4
R19	Resistencia	4.7k	5%	1/4
R18	Resistencia	150	5%	1/4
R17	Resistencia	150	5%	1/4
R16	Resistencia	150	5%	1/4
R15	Resistencia	150	1%	1/4
R14	Resistencia	1k	5%	1/4
R13	Resistencia	4.7k	5%	1/4
R12	Resistencia	4.7k	5%	1/4
R11	Resistencia	4.7k	5%	1/4
R10	Resistencia	4.7k	5%	1/4
R9	Resistencia	1k	5%	1/4
R8	Resistencia	1k	5%	1/4
R7	Resistencia	3.9k	5%	1/4
R6	Resistencia	1.2k	5%	1/4
R5	Resistencia	1k	5%	1/4
R4	Resistencia	1.6k	1%	1/4
R3	Resistencia	1.2k	5%	1/4
R2	Resistencia	1.6k	1%	1/4
R1	Resistencia	100	1%	1/4

### 4.1.3 Carcasa

Para la construcción de la carcasa se optó por el material acrílico de 2 mm. de espesor transparente debido a la facilidad para trabajarlo. No obstante, el modelo para producción debe tener carcasa resistente en aluminio. Las figuras 4.4-4.6 muestran las dimensiones en milímetros y la forma.

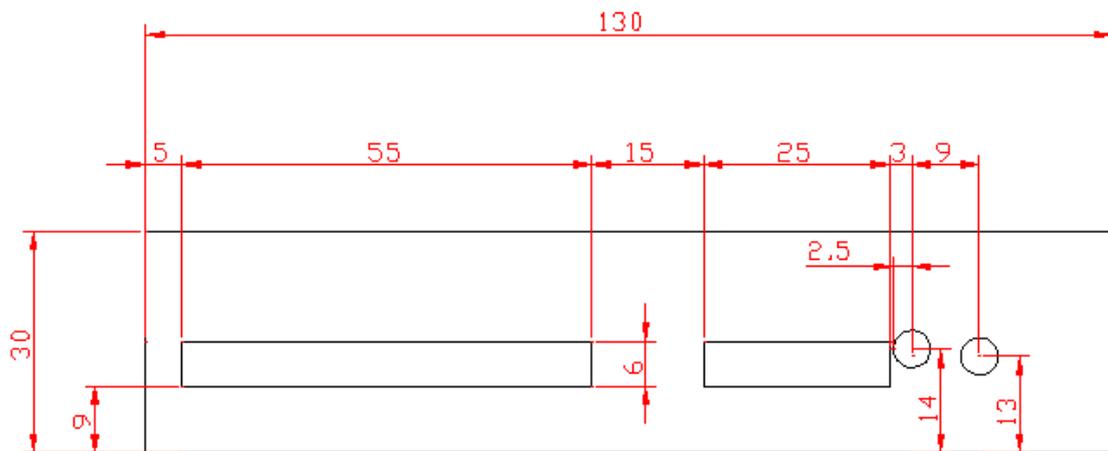


Figura. 4.4. Tapa Frontal Carcasa

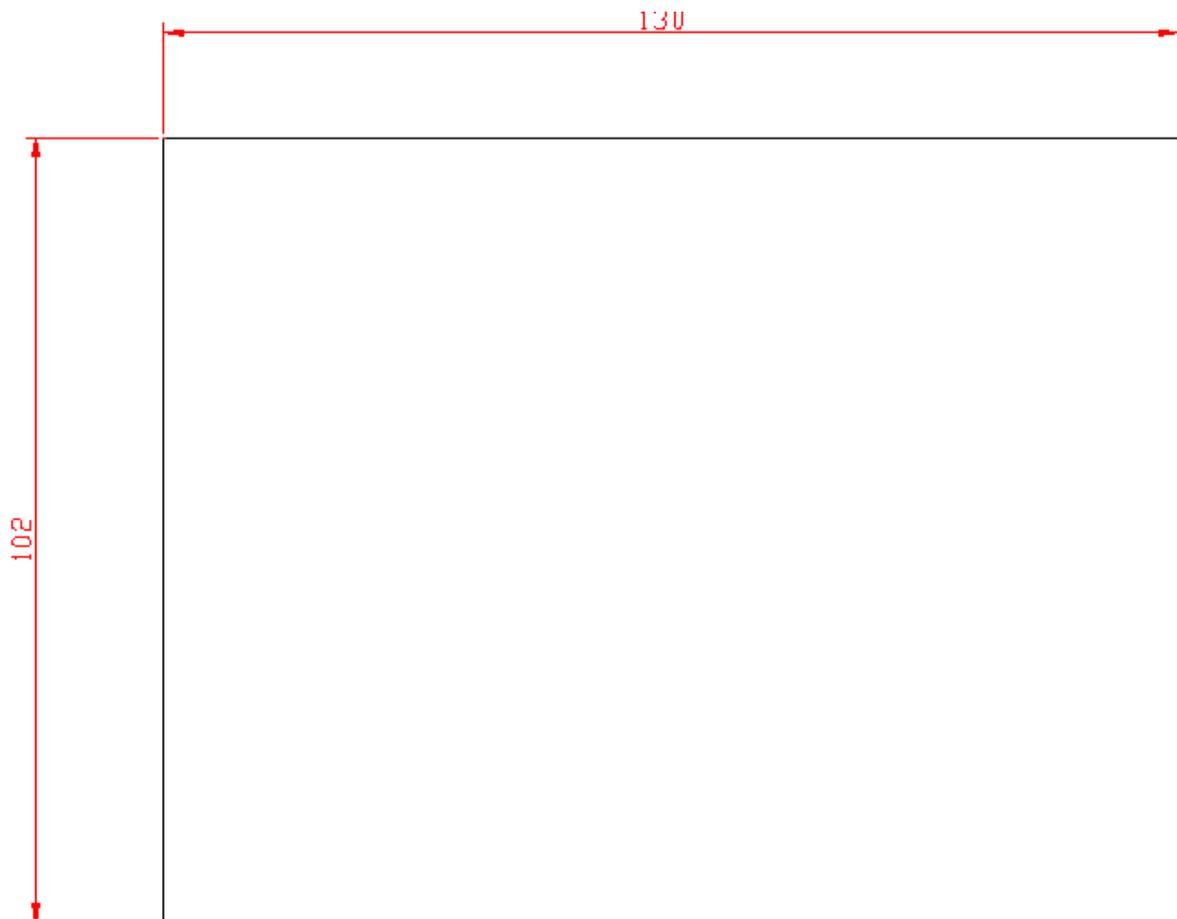


Figura. 4.5. Tapa superior e inferior carcasa

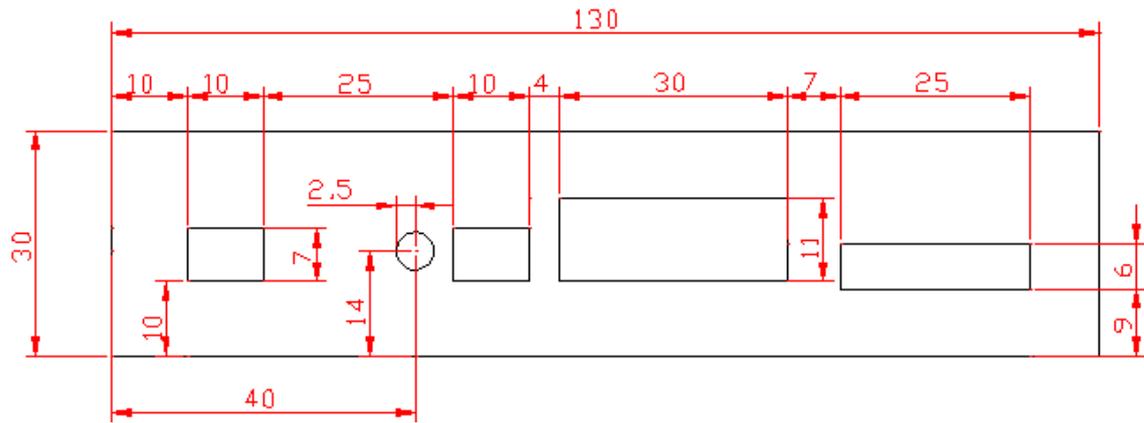


Figura. 4.6. Tapa Posterior Carcasa

4.2 PANEL

La figura 4.7 muestra la distribución del panel frontal y la figura 4.8. la distribución del panel posterior.

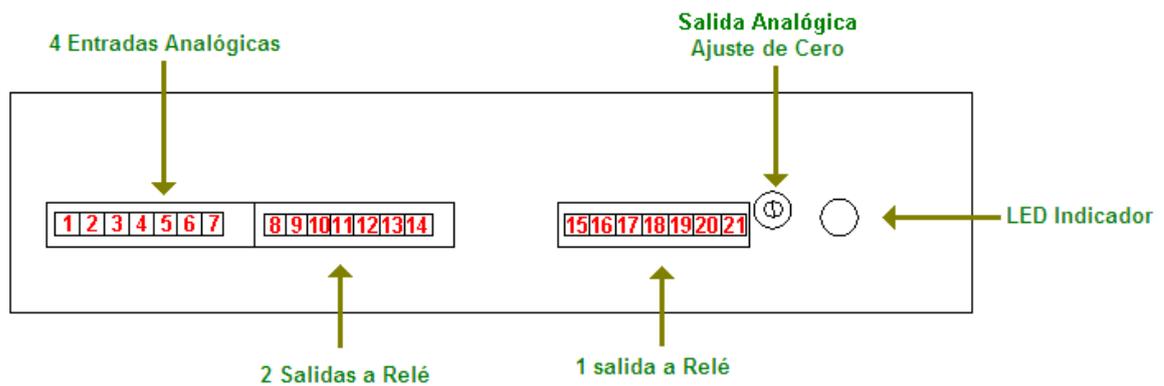


Figura. 4.7. Distribución Panel Frontal

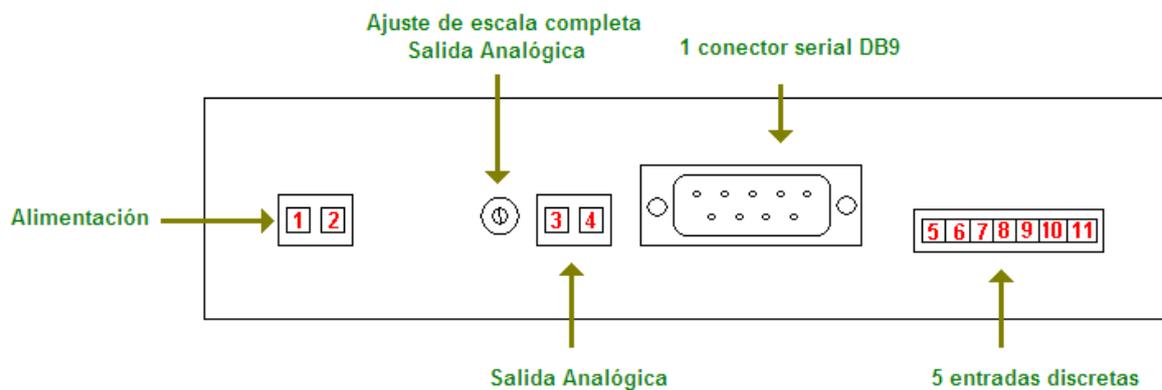


Figura. 4.8. Distribución Panel Trasero

**Tabla. 4.9. Descripción Panel Frontal**

Panel Frontal	Descripción
1	Tierra Carcaza
2	VDC
3	VDC
4	Entrada Analógica 1
5	Entrada Analógica 2
6	Entrada Analógica 3
7	Entrada Analógica 4
8	Salida Relé 1 NO
9	Salida Rele 1 COM
10	Salida Relé 1 NC
11	Salida Relé 2 NO
12	Salida Rele 2 COM
13	Salida Relé 2 NC
14	Sin Conexión
15	Salida Relé 3 NO
16	Salida Rele 3 COM
17	Salida Relé 3 NC
18	Sin Conexión
19	Sin Conexión
20	Sin Conexión
21	Sin Conexión

**Tabla. 4.10. Descripción Panel Trasero**

Panel Posterior	Descripción
1	GNG
2	VDC + 12-24
3	Salida Analógica (+)
4	Salida Analogica (GND)
5	Entrada Discreta 1
6	Entrada Discreta 2
7	Entrada Discreta 3
8	Entrada Discreta 4
9	Entrada Discreta 5
10	VDC + 12-24
11	Entradas Discretas COM

Las tablas 4.9 y 4.10 muestran la descripción de los paneles frontal y posterior respectivamente.

### 4.3 ANALISIS DE COSTOS

#### 4.3.1 Hardware

Tabla. 4.11. Costos de los materiales

Parte	Cant.	Valor Unitario	Valor Total
Relé Bajo Consumo NT73-2C-10	3	0,8	2,4
Cristal 4Mhz	1	0,6	0,6
Diodo LED rojo	1	0,08	0,08
Pulsador	1	0,15	0,15
Optoacoplador PC817	5	0,35	1,75
Potenciómetro Precision Spectrol 10k y 20k	2	1,5	3
Transistor Darlington B795	1	1	1
Receptor/Transmisor dual RIA-232 MAX232	1	1,8	1,8
Amplificador Operacional Cuadruple LM324	1	0,4	0,4
Convertor Digital Analogo DAC0808	1	5,7	5,7
Microcontrolador PIC 16F877A	1	6,75	6,75
Regulador de Voltaje LM7905	1	0,5	0,5
Temporizador LM555	1	0,3	0,3
Supresor de Transitorios de Voltaje P6KE36A	1	0,5	0,5
Regulador de Voltaje Conmutado LM2576-5.0	1	2,5	2,5
Resistencia 4.7k 1/4 W 5%	10	0,02	0,2
Resistencia 1k 1/4 W 5%	5	0,02	0,1
Resistencia 150 1/4 W 5%	4	0,02	0,08
Resistencia 3.9k 1/4 W 5%	1	0,02	0,02
Resistencia 1.2k 1/4 W 5%	2	0,02	0,04
Resistencia 1.6k 1/4 W 1%	2	0,02	0,04
Resistencia 100 1/4 W 1%	1	0,02	0,02
Transistor BJT 2N3904	4	0,08	0,32
Inductancia 100 mH	1	0,5	0,5
Bornera 2 Tomas	2	0,45	0,9
Bornera 7 Tomas	4	0,55	2,2
Conector DB9 Macho para PCB	1	0,4	0,4
Diodo Semiconductor 1N4001	10	0,06	0,6
Rectificador de Barrera SCHOTTKY 1N5822	1	0,8	0,8
Condensador Electrolitico 1uF 50V	5	0,06	0,3
Condensador Electrolitico 220uF 16V	2	0,08	0,16
Condensador Electrolitico 1000 uF 16V	2	0,13	0,26
Condensador Ceramico 33 pF	2	0,12	0,24
Condensador Ceramico 0.1 uF	4	0,06	0,24
Condensador Ceramico 47 nF	1	0,1	0,1
Circuito Impreso	1	32	32
Carcasa Acrilico Transparente	1	10	10
Tornillo	4	0,05	0,2
Tuerca	12	0,03	0,36
		<b>TOTAL</b>	<b>77,51USD</b>

### 4.3.2 Transmisión de Datos

Para el funcionamiento del sistema integrado es necesario tener contratado un plan de transmisión de datos sobre GPRS con una operadora celular. A continuación se detalla un análisis de costos para transmisión de datos con la tarifa actual cobrada por CONECEL S.A. El precio por MB para un plan empresarial es de 0.90 ctvs. + imp. Se facturan datos tanto salientes como entrantes. El análisis se realiza para pagos mensuales.

Como punto de partida se puede considerar el módulo funcionando sin interacción con la aplicación de control, y tomar en cuenta solamente los datos de las entradas analógicas que se envían automáticamente cada 9 minutos al servidor. Un mensaje GEOSKYBUS Serial con función 0x05 contiene 9 bytes y se envían 4 seguidos, es decir 36 bytes. El encapsulado del sistema GEOSKY-SAF aumenta 30 bytes al mensaje, y el encapsulado TCP/IP otros 40 bytes. En total entonces se transmiten 106 bytes cada 540 seg. Cada 30 días entonces son 508800 bytes transmitidos. Si no se toma en cuenta el overhead GPRS que pudiera facturar la operadora, y si el MB se factura a 0.90 ctvs + imp. El valor del sistema base estaría en 0.50 ctvs + imp mensual. Este valor es aditivo a la tarifa establecida por GEOSKY S.A. para el sistema GEOSKY-SAF.

A continuación, se debe tomar en cuenta la interacción que tendrá la aplicación de control con el módulo para gestión remota de procesos. Dependiendo de las funcionalidades requeridas y la aplicación en cuestión, se debe realizar una valoración para cada caso si se desea establecer tarifas fijas. Es entonces recomendado que partiendo del costo base, se cobre por comando utilizado por el operario o supervisor del sistema en el lado del cliente. Adaptándose así al sistema de facturación utilizado por la operadora de la red GPRS.

### 4.3.3 Infraestructura de Servidores

El sistema integrado para gestión remota de procesos se alojará y funcionará sobre la infraestructura existente de servidores de GEOSKY-SAF en una etapa inicial. A futuro es recomendable adquirir un servidor dedicado exclusivamente a gestión de procesos y facturación del sistema. Una alternativa podría ser el HP PROLIANT ML150 G3 cotizado actualmente en 1700 dólares en el mercado nacional.

## **CAPÍTULO 5**

### **EVALUACIÓN**

Este capítulo recoge el desarrollo de las pruebas de campo del sistema integrado y los resultados obtenidos a partir de la implementación.

#### **5.1 Consideraciones Generales para Pruebas**

Tomando en cuenta la naturaleza de la comunicación entre la aplicación de control y el dispositivo electrónico, donde la información debe recorrer sobre redes TCP/IP, el stack de GPRS y RS-232 antes de llegar a su destino, se considera un retardo como parte intrínseca del sistema.

El dispositivo electrónico posee salidas discretas a relé y entradas discretas optoacopladas. Es necesario realizar pruebas de tiempo de conmutación ON/OFF y OFF/ON, además de rangos de trabajo de las mismas.

En cuanto a las entradas analógicas, es necesario evaluar tiempo de conversión A/D, rangos tomando en cuenta linealidad y proporcionalidad, resolución, precisión e impedancia de entrada.

Para la salida analógica se deberá evaluar los siguientes puntos: tiempo de conversión D/A, rangos tomando en cuenta linealidad y proporcionalidad, resolución, precisión e impedancia de salida.

Como escenario final de evaluación, se escoge realizar control de temperatura ON/OFF que no exige mayor velocidad de respuesta y representa un escenario real donde el módulo sería aplicado.

## 5.2 Evaluación Salidas Discretas

Se debe evaluar el tiempo de conmutación de las salidas como parámetro característico. El resultado será la suma de las contribuciones en hardware, tiempo de ejecución en programa y tiempo de conmutación del microcontrolador.

### 5.2.1 Tiempo Hardware

Se prepara el circuito mostrado en la figura 5.1 para evaluar tiempos de conmutación. Puntas de prueba de osciloscopio se colocan en los puntos A y B con la finalidad de evaluar el tiempo de respuesta del hardware. Se activa la salida discreta desde el programa y se mide el tiempo que toma en activar la carga a la salida.

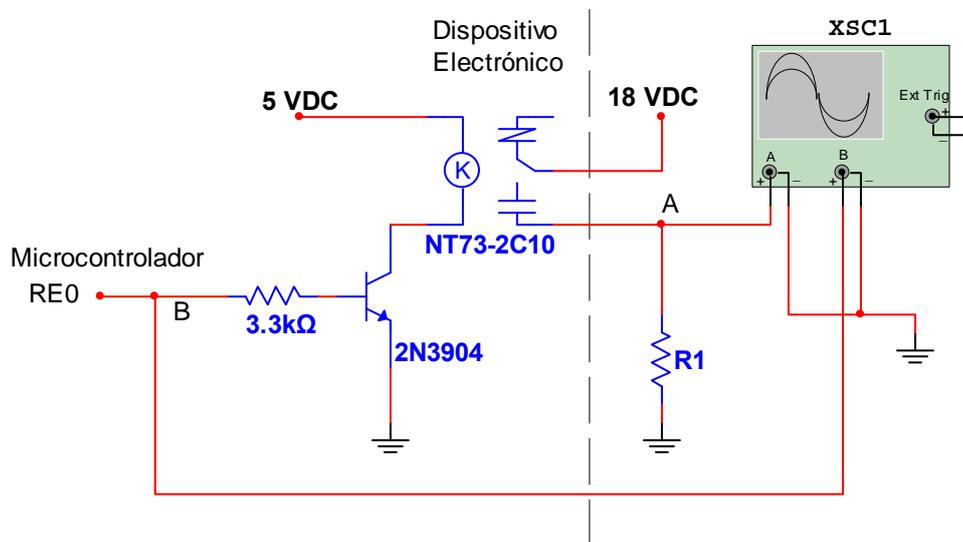


Figura. 5.1. Circuito de pruebas salidas discretas

## .Resultados

Los resultados de las pruebas en hardware se muestran en las figuras 5.2 y 5.3. Se puede apreciar que el tiempo de subida bordea los 6 ms y el tiempo de bajada los 430 us.

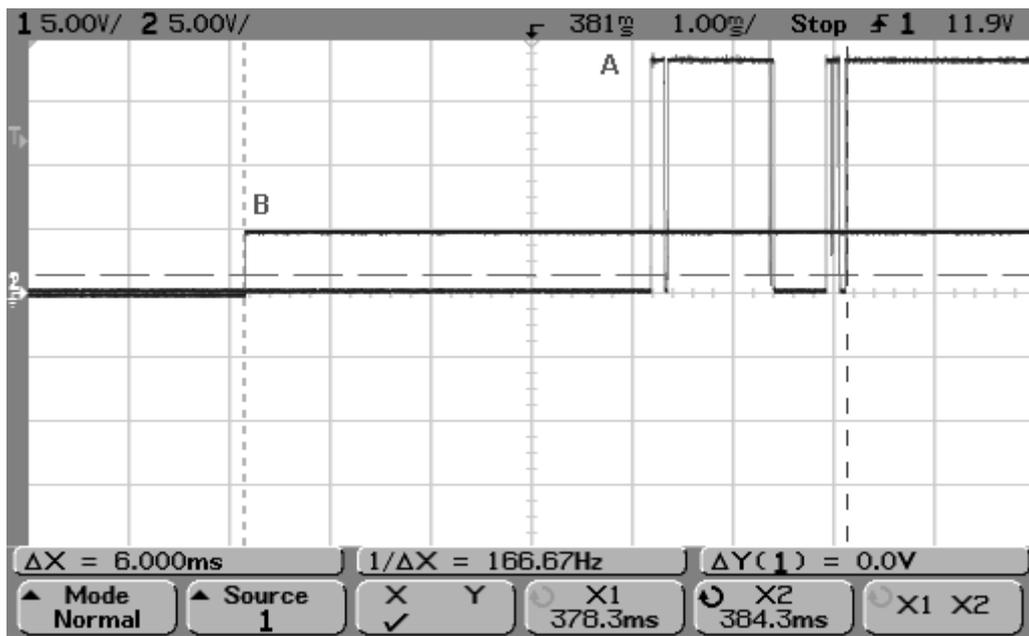


Figura. 5.2 Resultado de pruebas salidas discretas OFF/ON

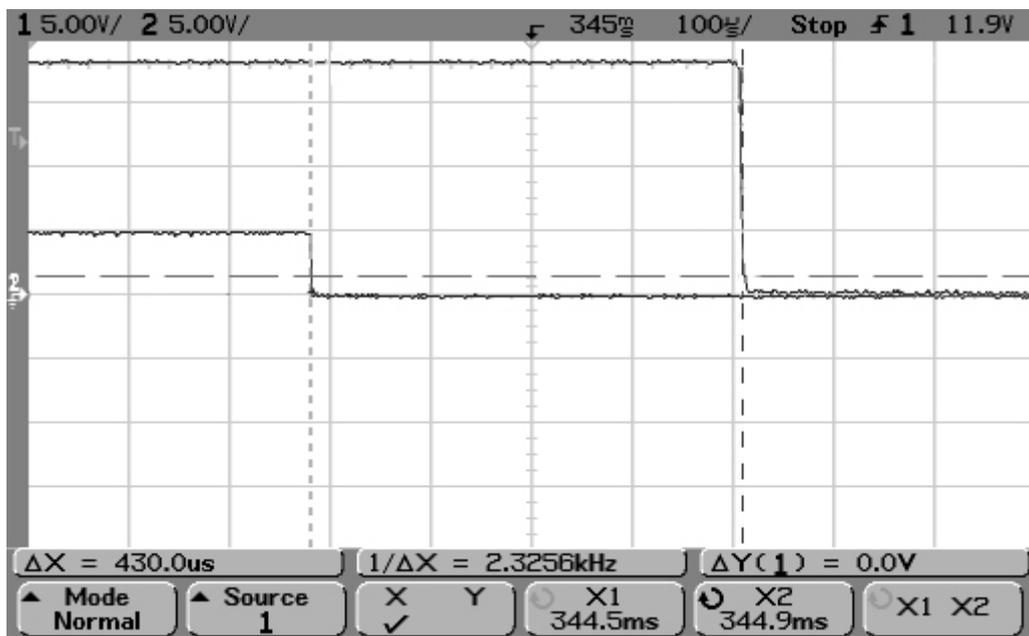


Figura. 5.3 Resultado de pruebas salidas discretas ON/OFF

### 5.2.2 Tiempo Software

Para evaluar el tiempo de procesamiento que demora el microcontrolador en cambiar de estado la salida discreta desde que ha recibido el comando, se hace un análisis de las

instrucciones ejecutadas por el programa utilizando la herramienta Stopwatch que viene como parte del entorno de desarrollo de MPLAB IDE 7.5.

Se coloca un *breakpoint* en el programa inmediatamente después de recibido el comando “:1400” y se realiza un conteo de la cantidad de instrucciones ejecutadas, y el tiempo que toma dicha ejecución antes de desactivar la salida discreta. Las figura 5.3 y 5.4 muestran el procedimiento seguido.

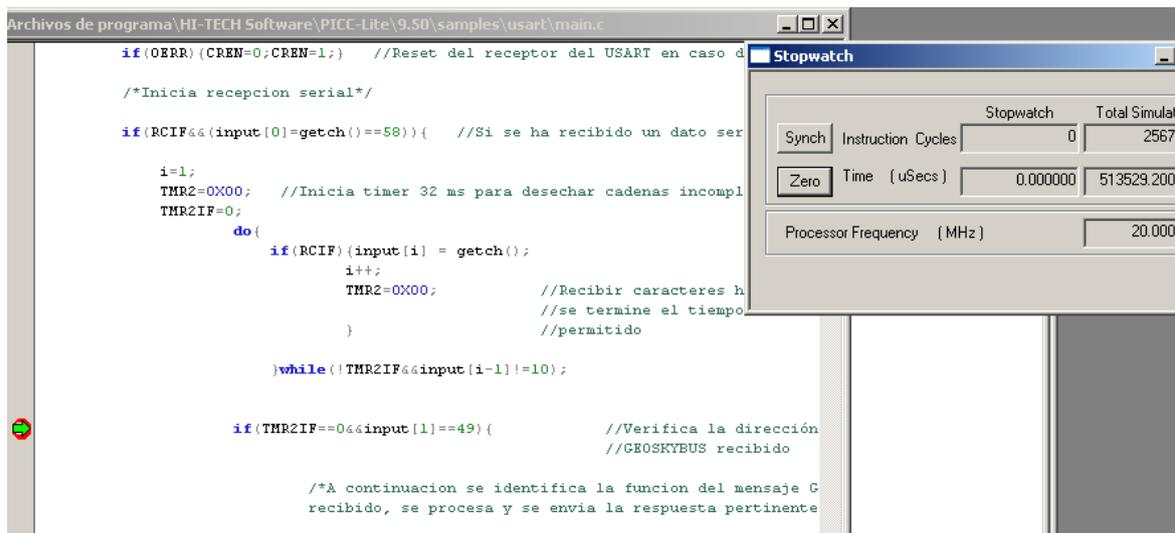


Figura. 5.4 Inicio de evaluación de tiempo de ejecución

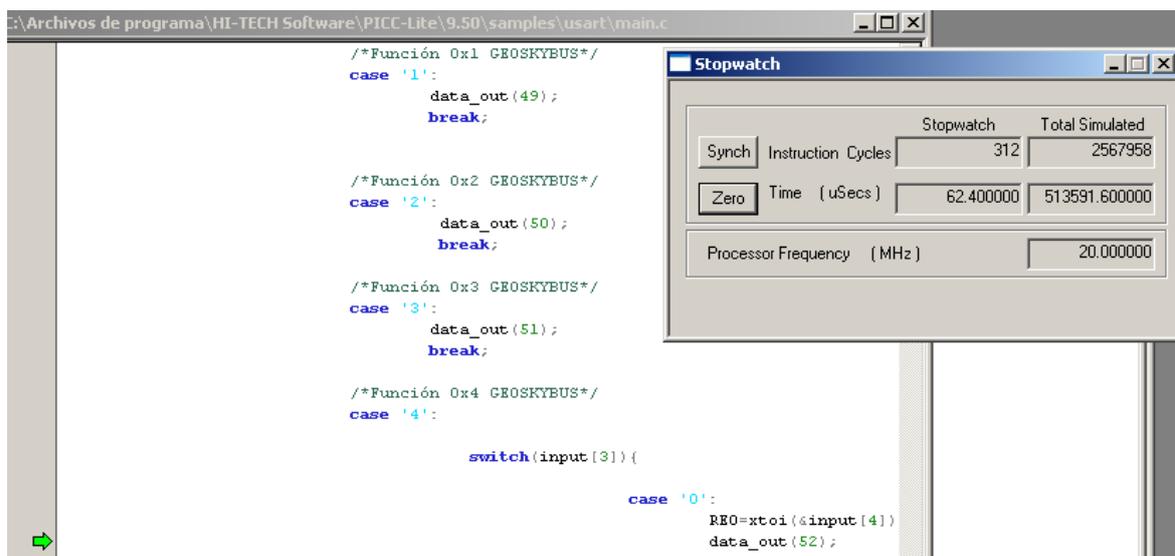


Figura. 5.5 Fin de evaluación de tiempo de ejecución

## **.Resultados**

Se puede observar que se han ejecutado 312 instrucciones desde que fue recibido el comando hasta que efectivamente se desactivo la salida discreta. El tiempo de ejecución es de 62.4 us. Para el tiempo de activación se realiza el mismo procedimiento y se obtiene 313 instrucciones que se ejecutan en 62.6 us.

### **5.2.3 Tiempo Microcontrolador**

El microcontrolador ofrece en su documentación técnica tiempos de subida y bajada para las salidas digitales. La tabla 17.4 *CLKO AND I/O TIMING REQUIREMENTS* establece tiempo de subida y bajada típico en 10 ns.

### **5.2.4 Resultados Evaluación Tiempos de Conmutación Salidas Discretas**

Para obtener los tiempos de conmutación efectivos se debe sumar las contribuciones de los tiempos por hardware, software y microcontrolador.

$$T_S = T_{SH} + T_{SS} + T_{SM} = 6ms + 62.6us + 10ns = 6.06261 ms$$

$$T_S = 6.06241 ms$$

$$T_B = T_{BH} + T_{BS} + T_{BM} = 430us + 62.4us + 10ns = 492.41 us$$

$$T_B = 492.41 us$$

$T_S$ : Tiempo de subida

$T_{SH}$ : Tiempo de subida en hardware

$T_{SS}$ : Tiempo de subida en software

$T_{SM}$ : Tiempo de subida del microcontrolador

$T_B$ : Tiempo de bajada

$T_{BH}$ : Tiempo de bajada en hardware

$T_{BS}$ : Tiempo de bajada en software

$T_{BM}$ : Tiempo de bajada del microcontrolador

### **5.3 Evaluación Entradas Discretas**

Se debe evaluar el tiempo que toma al dispositivo electrónico reconocer un cambio de estado en las entradas discretas así como los rangos de activación y desactivación.

### 5.3.1 Tiempo Hardware

Se prepara el circuito de prueba mostrado en la figura 5.5.

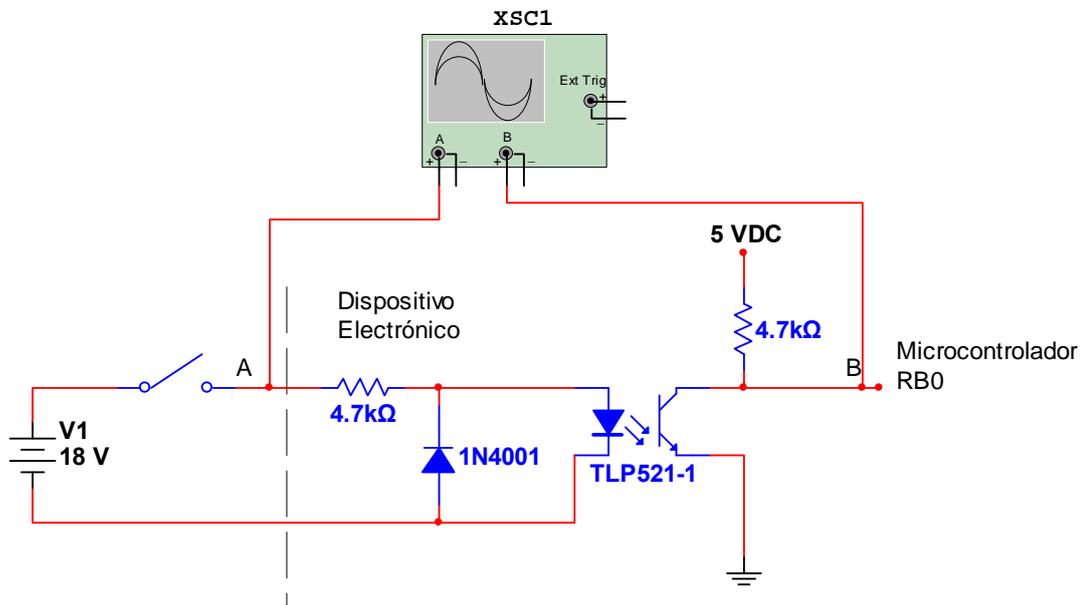


Figura. 5.6 Circuito de prueba para evaluación entradas discretas

### .Resultados

Se obtienen los resultados mostrados en las figuras 5.6 y 5.7.

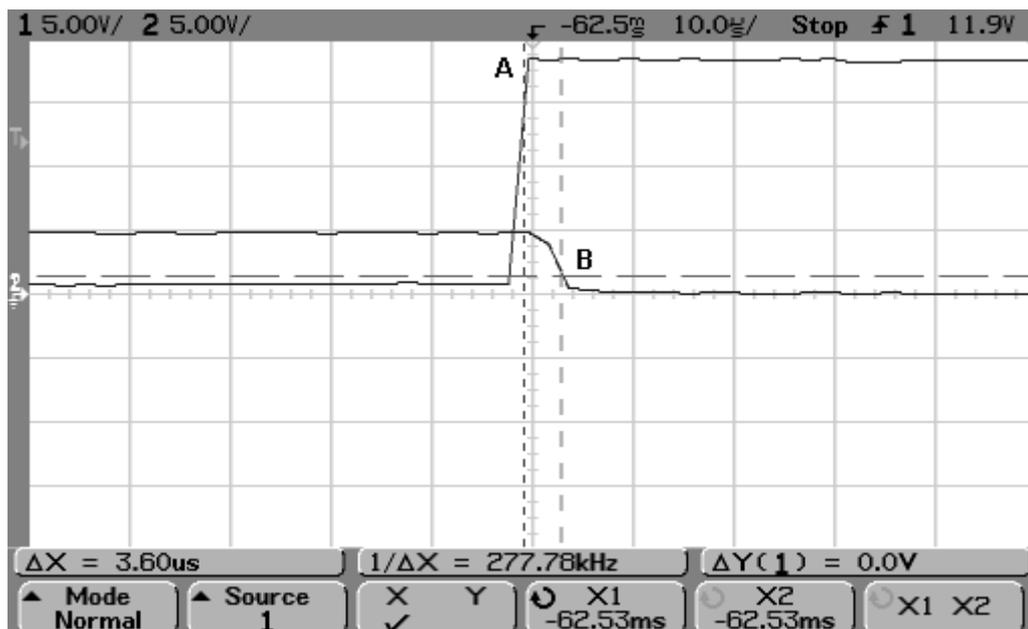


Figura. 5.7 Resultado prueba activación entradas discretas

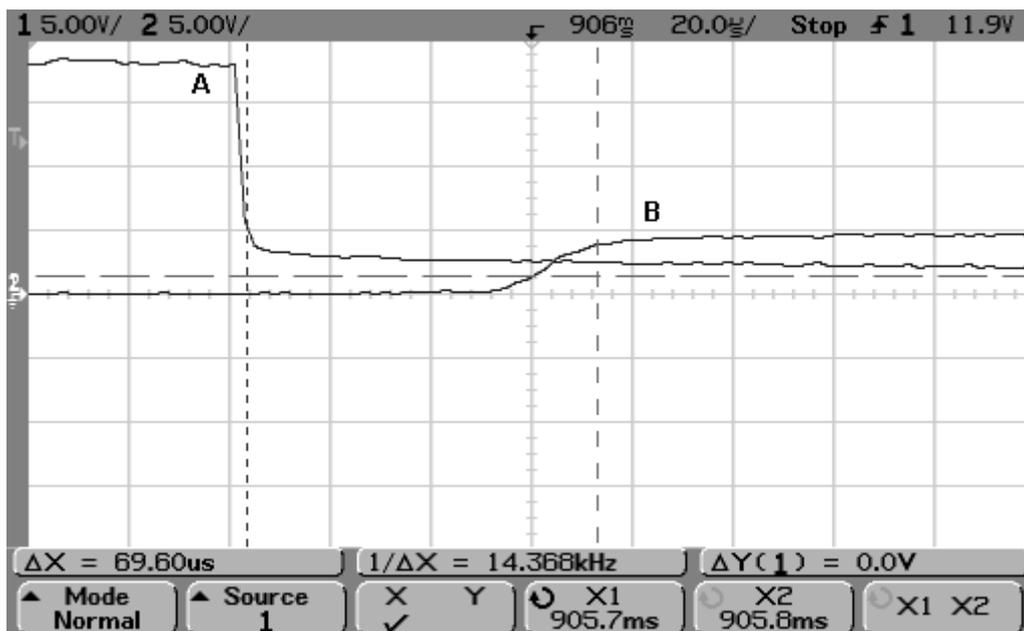


Figura. 5.8 Resultado prueba desactivación entradas discretas

Se observa que el tiempo que toma el hardware en responder a los cambios de estado es de 3.6 us para activación y 69.6 us para desactivación.

### 5.3.2 Tiempo Software

El programa realiza un ciclo sin fin dentro del cual evalúa el valor actual de la entrada contra un valor previamente guardado cada 3.8 us en estado estable. Referirse a la sección 3.6.1 para detalles del ciclo descrito. El valor de 3.8 us se obtiene a través de la herramienta Stopwatch del entorno de desarrollo y simulación MPLAB IDE 7.5 usando un método análogo al usado para determinar el tiempo de conmutación en software de la sección 5.2.2. Se puede entonces deducir que la entrada discreta debe permanecer por lo menos 3.8 us en cambio de estado para que sea detectado efectivamente por el programa del microcontrolador en estado estable del ciclo. No obstante, si el microcontrolador se encuentra procesando alguna función, y ocurre un cambio de estado, será necesario que se mantenga durante un tiempo mayor dicho cambio para ser detectado. Por ejemplo se ha evaluado el momento mas crítico que seria un cambio de estado cuando se ingresa a la función de lectura de entrada analógica donde el tiempo que debe permanecer activo el cambio de estado se establece en 21.27 ms antes de ser detectado efectivamente.

### 5.3.3 Tiempo Hardware y Software

Tomando en cuenta el tiempo que toma el hardware en reaccionar a un cambio de estado y el tiempo que toma al software reconocer dicho cambio en un escenario crítico, se establece el tiempo mínimo que debe permanecer el cambio de estado para ser detectado por el dispositivo electrónico en cualquier circunstancia.

$$T_{ON} \geq 21.27 \text{ ms} + 69.6 \text{ us} = 21.34 \text{ ms}$$

$$T_{ON} \geq 21.34 \text{ ms}$$

$T_{ON}$ : Tiempo de cambio de estado para su detección efectiva en cualquier escenario.

### 5.3.4 Rango

La tabla 5.1 muestra los rangos de activación de las entradas discretas.

**Tabla 5.1 Rango de Activación Entradas Discretas**

Entradas Discretas			
OFF-ON		ON-OFF	
VDC	ESTADO	VDC	ESTADO
0-6.08	OFF	24-6.03	ON
6.08-24	ON	6.03-0	OFF

## 5.4 Evaluación Entradas Analógicas

La evaluación de las entradas analógicas comprende los siguientes puntos: tiempo de conversión ADC, rangos (linealidad y proporcionalidad), resolución, precisión e impedancia de entrada.

### 5.4.1 Tiempo de Conversión ADC

El tiempo que le toma al dispositivo electrónico realizar una conversión ADC esta definido por software tomando en consideración los requerimientos propios del conversor ADC del microcontrolador. Se realiza la evaluación utilizando la herramienta Stopwatch del entorno de desarrollo MPLAB 7.5 IDE. Por software se toma 64 muestras y se calcula la media aritmética. El tiempo necesario es de 8.7448 ms por cada conversión ADC.

### 5.4.2 Rangos

Para determinar la linealidad y proporcionalidad del conversor ADC se realiza una prueba ingresando valores patrón a la entrada y comparando con la salida del conversor. La tabla 5.2 detalla los datos experimentales.

**Tabla 5.2 Datos Experimentales ADC**

Valores Patrón		Lectura en el Módulo	
mV	mA	Hex Desplazado	Decimal
1,0040E+03	4	32c	203
1,1320E+03	4,5	38c	227
1,2570E+03	5	3f4	253
1,3890E+03	5,5	45c	279
1,5030E+03	6	4c0	304
1,6000E+03	6,5	524	329
1,7210E+03	7	588	354
1,8440E+03	7,5	5f4	381
1,9620E+03	8	654	405
2,1360E+03	8,5	6bc	431
2,2550E+03	9	720	456
2,3820E+03	9,5	788	482
2,5070E+03	10	7ec	507
2,6310E+03	10,5	850	532
2,7740E+03	11	8b4	557
2,8840E+03	11,5	91c	583
3,0100E+03	12	980	608
3,1480E+03	12,5	9e4	633
3,2650E+03	13	a4c	659
3,3910E+03	13,5	ab0	684
3,5230E+03	14	b14	709
3,6480E+03	14,5	b7c	735
3,7760E+03	15	be0	760
3,9000E+03	15,5	c48	786
4,0150E+03	16	cac	811
4,1380E+03	16,5	d10	836
4,2700E+03	17	d74	861
4,3880E+03	17,5	ddc	887
4,5090E+03	18	e40	912
4,6530E+03	18,5	ea8	938
4,7600E+03	19	f0c	963
4,8880E+03	19,5	f70	988
5,0250E+03	20	fd8	1014

Se realiza una regresión lineal de los datos y se obtienen los coeficientes mostrados en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Estadísticas de la regresión

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,999998618
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,999997236
R <sup>2</sup> ajustado	0,999997147

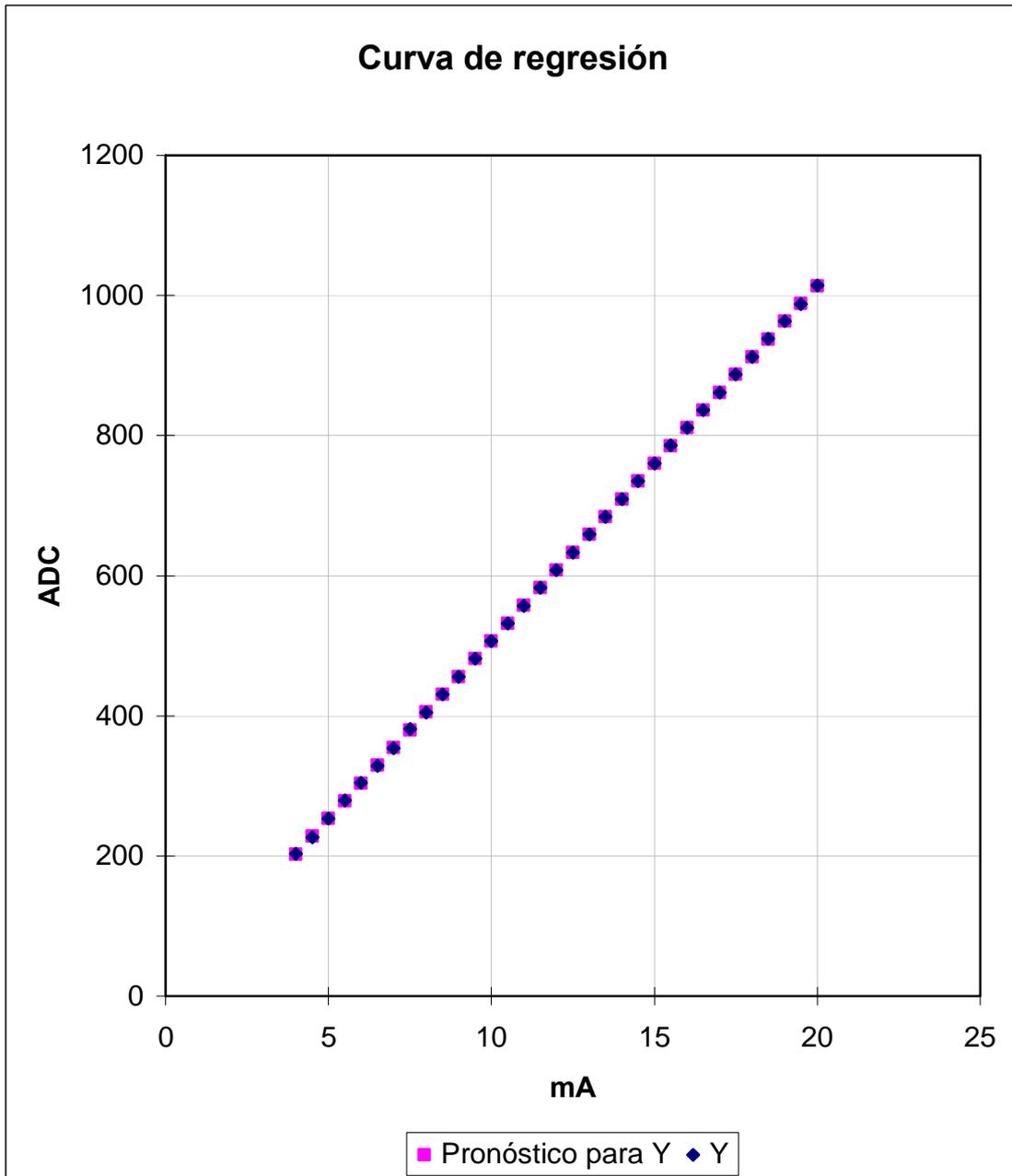


Figura. 5.9 Curva de regresión lineal de los datos experimentales ADC

El coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación múltiple muestran un valor casi igual a uno lo que indica un ajuste casi perfecto de los datos a una línea recta. Del resultado se puede concluir que existe linealidad y proporcionalidad con un error típico de 0,413969767 en relación a la curva ajustada lo que representa un error de  $\frac{1}{2}$  LSB en la conversión.

#### **5.4.3 Resolución**

La resolución del conversor ADC se ha fijado en 10 bits, y de las pruebas se concluye que cada bit corresponde a 0,01972387 mA en la entrada.

#### **5.4.4 Precisión**

El conversor ADC toma 64 muestras sucesivas y calcula la media aritmética de la suma. Con un valor fijo en la entrada y tomando 50 muestras no se ha detectado cambio alguno en los valores, por lo que se concluye que el error de precisión se encuentra debajo de  $\frac{1}{2}$  LSB.

#### **5.4.5 Impedancia IN**

El cálculo de la impedancia de entrada se realiza tomando como base los valores experimentales medidos para caracterizar el ADC (Tabla 5.2) y se obtiene  $Z_{in} = 250.5 \Omega$ .

### **5.5 Evaluación Salida Analógica**

La salida analógica deberá caracterizarse de acuerdo a los siguientes parámetros: Tiempo de conversión DAC, Rangos y Resolución.

#### **5.5.1 Tiempo de conversión**

El tiempo de conversión esta especificado por el fabricante del DAC0808 y se fija en 150 ns. Además, el tiempo que toma el microcontrolador en colocar a la salida el valor solicitado es de 82.6 us. El tiempo total de conversión DAC es entonces 82.75 us.

### 5.5.2 Rangos

Se realiza una medición experimental de la corriente en la salida analógica con una carga de  $250 \Omega$  dentro del rango de posibles valores digitales. Los datos se muestran en la tabla 5.3.

**Tabla 5.4 Datos Experimentales DAC**

Valor Digital	Corriente mA
0	4
8	4,496
16	4,997
24	5,496
32	6
40	6,5001
48	7
56	7,5
64	8,021
72	8,519
80	9,02
88	9,52
96	10,025
104	10,524
112	11,025
120	11,525
128	12,041
136	12,54
144	13,04
152	13,538
160	14,044
168	14,542
176	15,043
184	15,542
192	16,06
200	16,558
208	17,06
216	17,559
224	18,063
232	18,563
240	19,063
248	19,563
255	20

**Tabla 5.5 Estadísticas de la regresión lineal de datos DAC**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,999999472
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,999998943

---

R <sup>2</sup> ajustado	0,999998909
Error típico	0,005070714

Se observa en la tabla 5.4 una fuerte tendencia de los coeficientes de correlación múltiple y de determinación a uno lo que indica linealidad y proporcionalidad en los datos con un error de 0.005 en relación a la curva ajustada.

### 5.5.3 Resolución

La resolución de la salida analógica es de 8 bits donde cada bit representa un paso de 62.5 uA a la salida.

### 5.5.4 Impedancia de salida y Carga

La impedancia de salida es de 100  $\Omega$  y la carga que se puede aplicar a la salida sin comprometer el correcto funcionamiento debe ser menor a 670  $\Omega$ .

## 5.6 Evaluación Comunicación RS-232

### 5.6.1 Velocidad

Se realizan pruebas variando la velocidad de comunicación y se establece el punto de trabajo óptimo en 9600 bps. No obstante, el dispositivo puede trabajar a velocidades de hasta 56600 bps sin que se haya detectado errores en los datos recibidos o tramas no reconocidas.

### 5.6.2 Distancia

El estándar RS-232 establece que utilizando cables de baja capacitancia se puede alcanzar distancias de hasta 15 mts. sin comprometer la velocidad ni la confiabilidad de la comunicación.

### 5.6.3 Confiabilidad

Se realiza la evaluación de confiabilidad de la comunicación en una muestra de 1000 tramas GEOSKYBUS recibidas y 4000 enviadas a 9600 bps donde no se ha detectado fallos ni inconsistencia de los datos. Se concluye entonces que la confiabilidad es mayor al 99,9% en condiciones de trabajo óptimas.

### 5.7 Evaluación en Aplicación Real

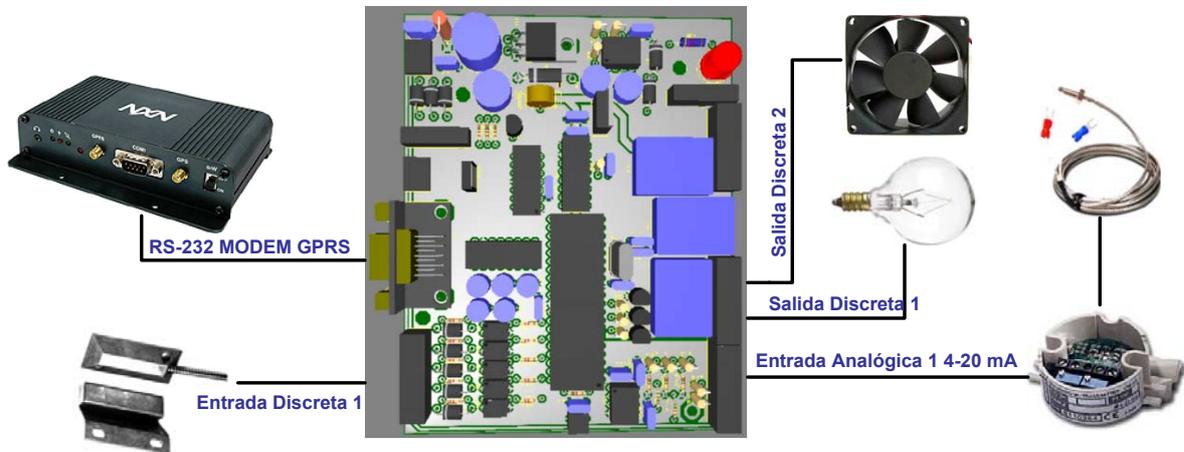


Figura. 5.10. Diagrama funcional

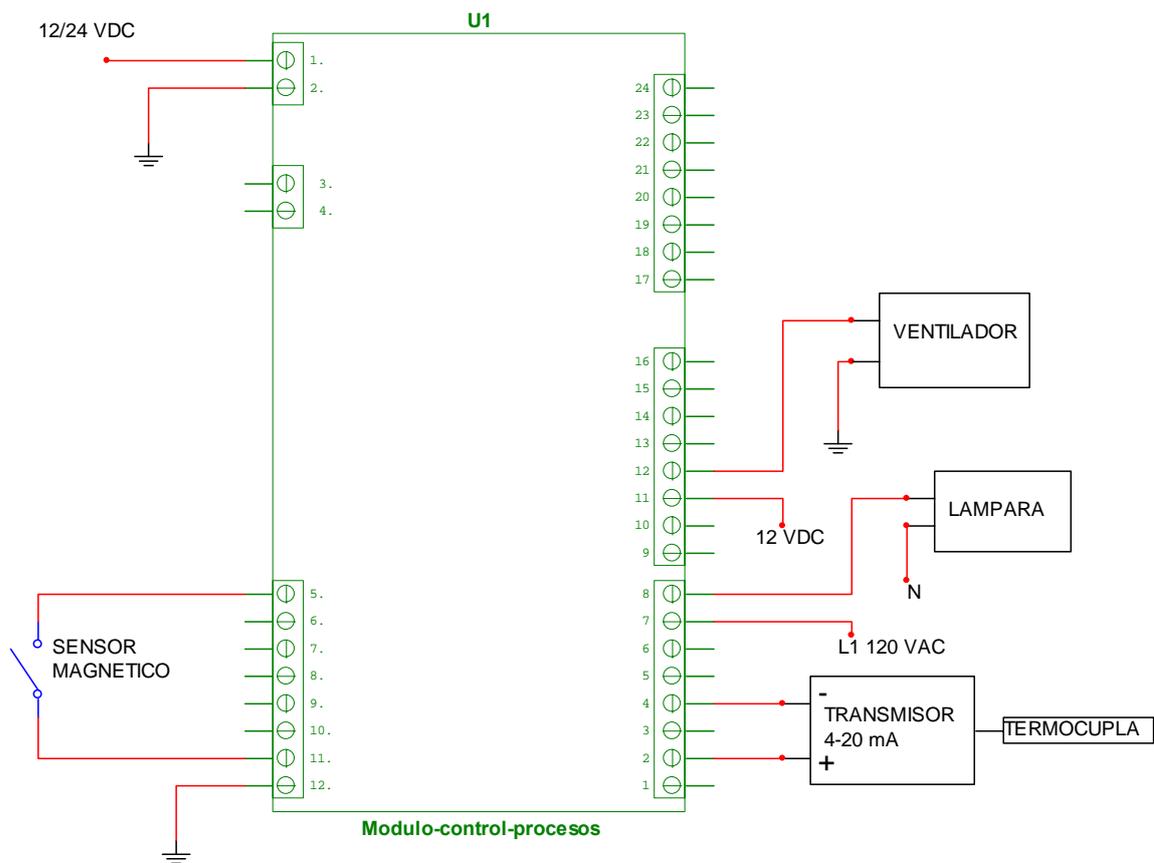


Figura. 5.11. Diagrama de Instalación

Se prepara una plataforma de prueba utilizando una planta que requiere control de temperatura ON-OFF y supervisión de compuertas. Para la evaluación se utiliza una termocupla tipo J conectada a un transmisor 4-20 mA en una entrada analógica. Un sensor magnético en una entrada discreta. Un ventilador operado con corriente continua a una salida discreta y una lámpara operada a 120 VAC en una salida discreta como fuente de calor. La figura 5.9 muestra el diagrama funcional y la figura 5.10 el diagrama de instalación.

### 5.7.1 Software Visualización

Se desarrolla un programa de prueba que contiene la lógica de control ON-OFF y permite visualizar el estado de los sensores y actuadores, la comunicación a través del protocolo GEOSKYBUS y el comportamiento de la temperatura en una grafica °C vs. Segundos. El muestreo de temperatura se realiza cada 5 segundos. La consola se muestra en la figura 5.12.

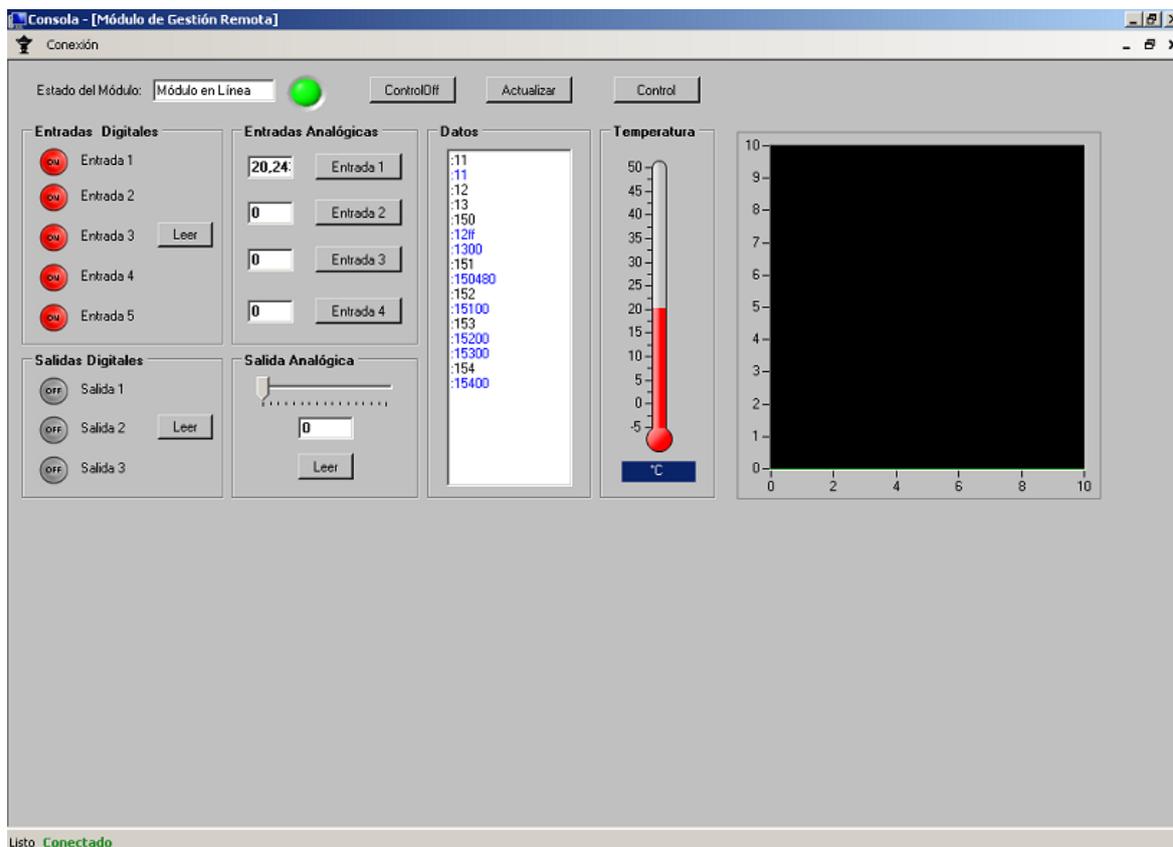


Figura. 5.12. Consola de Pruebas

### 5.7.2 Funcionamiento

Una vez instalado el sistema y en estado estable se corre el programa de control configurado para mantener la temperatura entre 35 °C y 40 °C.

### 5.7.3 Resultados

Se observan los siguientes resultados después de 1300 segundos en la variable controlada. Figura 5.12

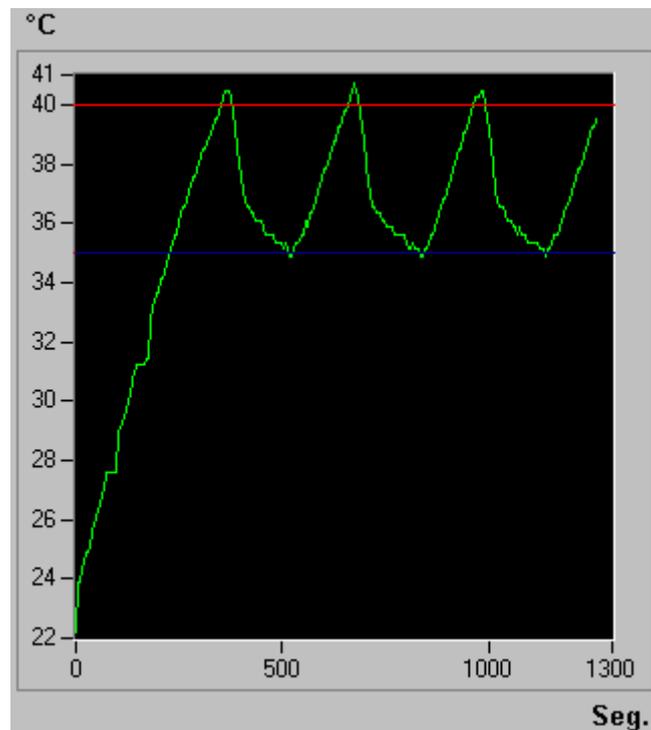


Figura. 5.13. Comportamiento Temperatura

Realizando un análisis a nivel del protocolo TCP por el puerto 30002 donde se envían y reciben los mensajes GEOSKYBUS encapsulados desde el servidor, se obtiene el siguiente reporte:

```
07/05/2008 19:49:23.531; Local Port (30002) opened
07/05/2008 19:49:23.531; Waiting for connections
07/05/2008 19:49:58.734; 280: Client connected; 200.25.197.67:19170
07/05/2008 19:49:58.734; 280: Connecting to Server
07/05/2008 19:49:58.750; 280: Connected to Server
```

```

07/05/2008 19:50:00.328; 280: Client to Server (305 bytes)
0000 02 04 03 24 01 36 00 00 00 00 24 35 37 4A 30 48 ...$.6....$57J0H
0010 30 30 30 30 30 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00000.....
0020 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 31 39 30 2E 31 35 34 .....190.154
0030 2E 31 31 35 2E 30 32 33 00 00 00 00 00 00 00 00 .115.023.....
0040 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 67 65 6F 73 6B 79 31 .....geosky1
0050 2E 70 6F 72 74 61 2E 63 6F 6D 2E 65 63 00 00 00 .porta.com.ec...
0060 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 32 30 30 2E 30 36 33 .....200.063
0070 2E 32 31 32 2E 31 31 30 00 00 00 00 00 00 00 00 .212.110.....
0080 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 2A 39 39 23 00 00 00 .....*99#...
0090 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
00A0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
00B0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
00C0 30 30 30 30 00 00 00 00 00 00 00 00 FF 47 02 00 00 0000.....G...
00D0 00 00 30 00 47 56 2D 33 31 30 00 00 00 00 00 00 ..0.GV-310.....
00E0 00 00 4E 00 23 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ..N.#.....
00F0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
0100 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
0110 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
0120 00 00 00 00 00 34 2E 32 2E 30 2E 33 00 00 00 FF ....4.2.0.3....
0130 03
07/05/2008 19:50:00.328; 280: Server to Client (13 bytes)
0000 02 03 04 00 00 00 00 36 00 00 61 52 03 .....6..aR.
07/05/2008 19:50:00.531; 280: Server to Client (40 bytes)
0000 02 03 05 1B 00 00 00 00 00 00 CA 35 37 4A 30 48 .....57J0H
0010 30 30 30 30 30 32 30 38 31 31 30 38 30 35 30 38 0000020811080508
0020 30 30 35 30 30 32 ED 03 005002..
07/05/2008 20:06:00.406; 280: Server to Client (35 bytes)
0000 02 08 04 16 00 00 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 01 00 30 30 33 31 31 3A 31 31 0D 00000..00311:11.
0020 0A 2C 03
07/05/2008 20:06:04.546; 280: Client to Server (35 bytes)
0000 02 04 08 16 00 37 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....7....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 2C 00 30 30 33 31 31 3A 31 31 0D 00000..00311:11.
0020 0A 36 03
07/05/2008 20:06:04.640; 280: Server to Client (35 bytes)
0000 02 08 04 16 00 00 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 01 00 30 30 33 31 31 3A 31 32 0D 00000..00311:12.
0020 0A 2F 03
07/05/2008 20:06:04.781; 280: Server to Client (35 bytes)
0000 02 08 04 16 00 00 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 01 00 30 30 33 31 31 3A 31 33 0D 00000..00311:13.
0020 0A 2E 03
07/05/2008 20:06:07.640; 280: Server to Client (36 bytes)
0000 02 08 04 17 00 00 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 01 00 30 30 33 31 31 3A 31 35 30 00000..00311:150
0020 0D 0A 19 03
07/05/2008 20:06:09.078; 280: Client to Server (44 bytes)
0000 02 04 08 1F 00 38 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....8....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 2D 00 30 30 33 31 31 3A 31 32 66 00000-.00311:12f
0020 66 0D 0A 3A 31 33 30 31 0D 0A 0C 03 f..1301....
07/05/2008 20:06:10.640; 280: Server to Client (36 bytes)
0000 02 08 04 17 00 00 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 01 00 30 30 33 31 31 3A 31 35 31 00000..00311:151
0020 0D 0A 18 03
07/05/2008 20:06:12.187; 280: Client to Server (39 bytes)
0000 02 04 08 1A 00 39 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....9....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 2E 00 30 30 33 31 31 3A 31 35 30 00000..00311:150
0020 34 62 63 0D 0A 37 03 4bc..7.
07/05/2008 20:06:13.640; 280: Server to Client (36 bytes)

```

```

0000 02 08 04 17 00 00 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 01 00 30 30 33 31 31 3A 31 35 32 00000..00311:152
0020 0D 0A 1B 03
.....
07/05/2008 20:06:15.921; 280: Client to Server (46 bytes)
0000 02 04 08 21 00 3A 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 ...!;.....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 2F 00 30 30 33 31 31 3A 31 35 31 00000/.00311:151
0020 30 30 0D 0A 3A 31 35 32 30 30 0D 0A 31 03 00..:15200..1.
07/05/2008 20:06:16.640; 280: Server to Client (36 bytes)
0000 02 08 04 17 00 00 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 01 00 30 30 33 31 31 3A 31 35 33 00000..00311:153
0020 0D 0A 1A 03
.....
07/05/2008 20:06:19.640; 280: Server to Client (36 bytes)
0000 02 08 04 17 00 00 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 01 00 30 30 33 31 31 3A 31 35 34 00000..00311:154
0020 0D 0A 1D 03
.....
07/05/2008 20:06:21.046; 280: Client to Server (38 bytes)
0000 02 04 08 19 00 3B 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....;.....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 30 00 30 30 33 31 31 3A 31 35 33 000000.00311:153
0020 30 30 0D 0A 1E 03 00....
07/05/2008 20:06:24.265; 280: Client to Server (38 bytes)
0000 02 04 08 19 00 3C 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....<.....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 31 00 30 30 33 31 31 3A 31 35 34 000001.00311:154
0020 61 37 0D 0A 49 03 a7..l.
07/05/2008 20:06:38.265; 280: Server to Client (36 bytes)
0000 02 08 04 17 00 00 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 01 00 30 30 33 31 31 3A 31 35 30 00000..00311:150
0020 0D 0A 19 03
.....
07/05/2008 20:06:43.078; 280: Client to Server (39 bytes)
0000 02 04 08 1A 00 3D 00 00 00 00 3B 35 37 4A 30 48 .....=.....;57J0H
0010 30 30 30 30 30 32 00 30 30 33 31 31 3A 31 35 30 000002.00311:150
0020 34 62 63 0D 0A 2F 03 4bc../.

```

Se observa que el tiempo de respuesta del sistema se mantiene en un promedio de 4.140 segundos. Este retardo en la comunicación es significativo y es una suma de los siguientes factores.

- Retardo de la red GPRS.
- Retardo producido por la conmutación de paquetes.
- Retardo de procesamiento en el MODEM M2M de NXN.
- Retardo de procesamiento en el modulo electrónico para gestión remota de procesos.
- Retardo sujeto a la velocidad de transmisión por RS232 configurada en 9600 bps.
- 4 ms que es la velocidad en que se realiza el muestreo de datos recibidos desde la aplicación API al GGS.

## 5.8 Memoria Fotográfica

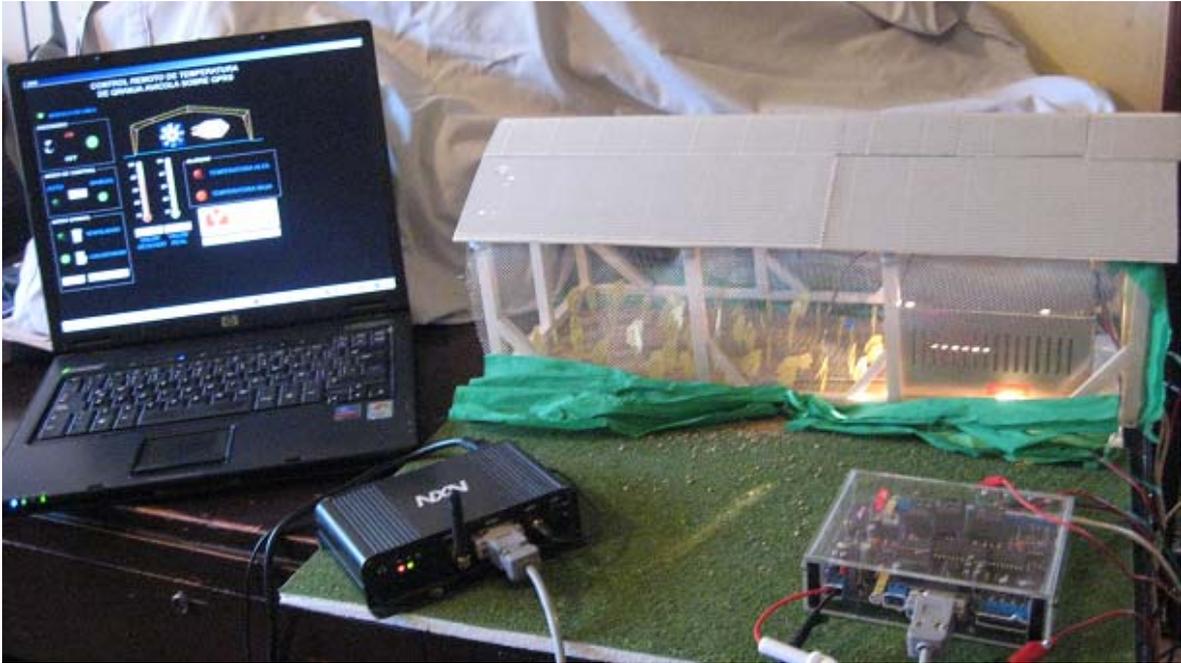


Figura. 5.14. Instalación de Planta Simulada para Pruebas

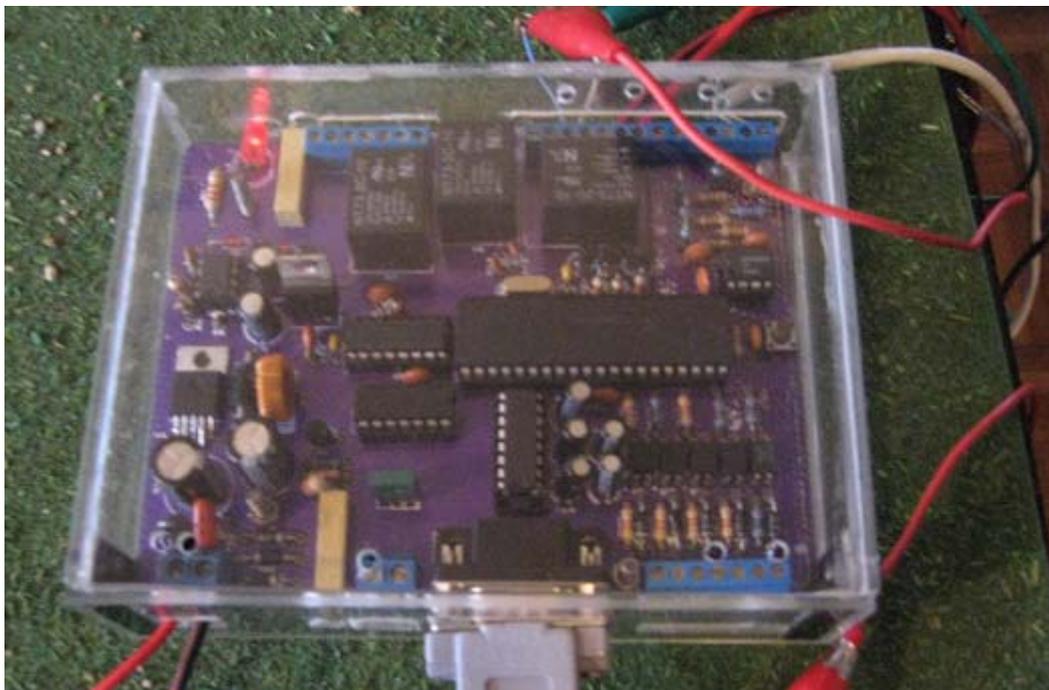


Figura. 5.15. Módulo Electrónico

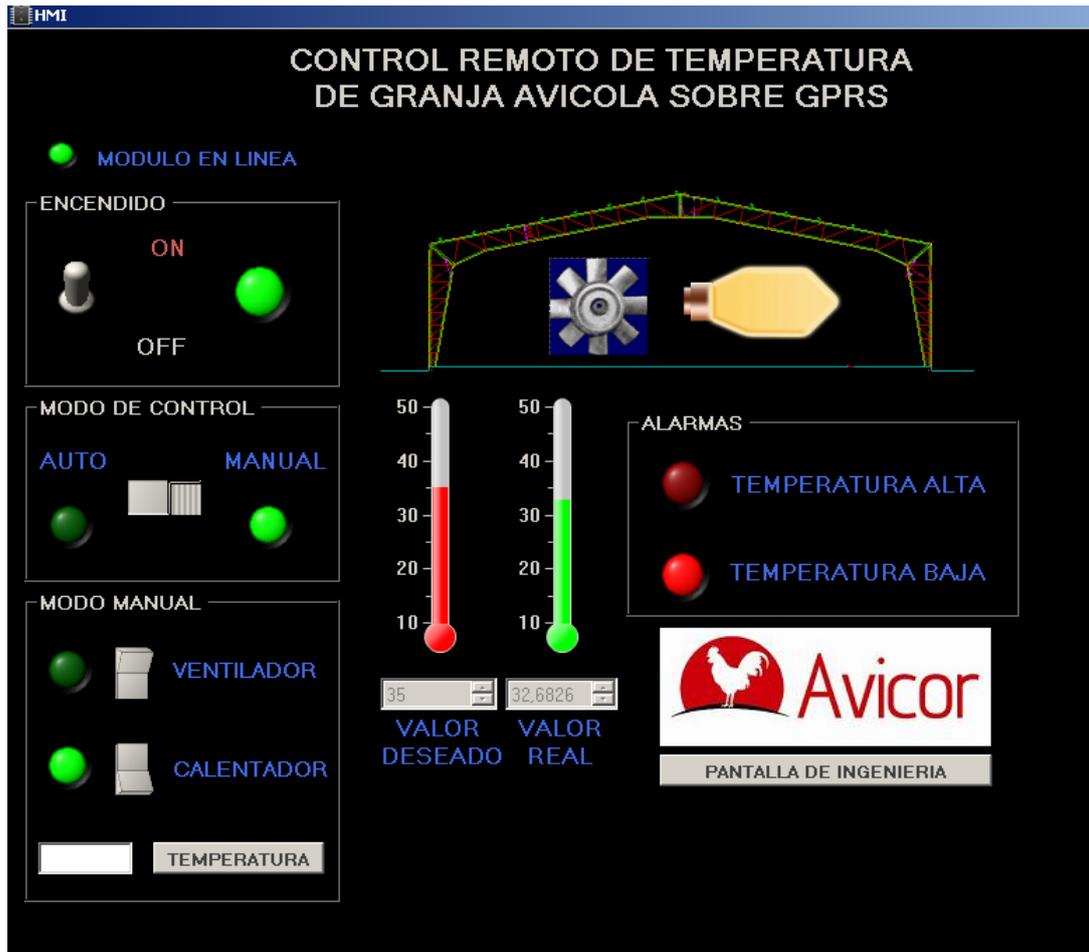


Figura. 5.16. Pantalla de Operación

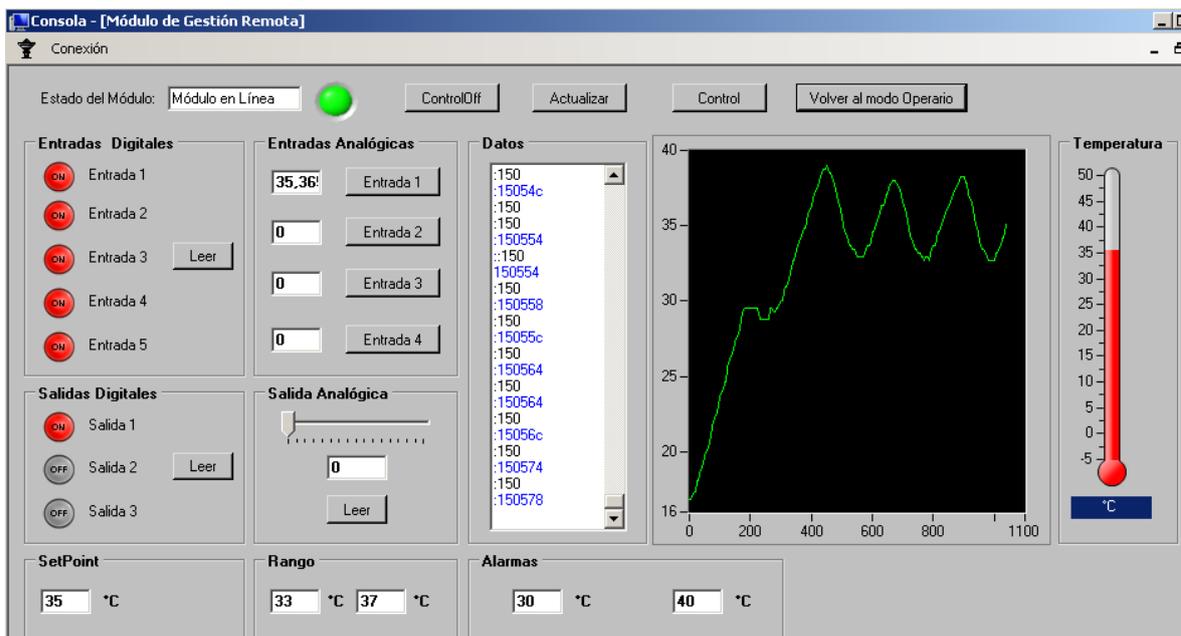


Figura. 5.17. Pantalla de Ingeniería

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

De los puntos propuestos en el objetivo inicial de este trabajo, resaltan las siguientes consideraciones:

- El prototipo ha demostrado un funcionamiento estable y confiable en una aplicación real, a pesar del retardo intrínseco que la comunicación a través de conmutación de paquetes sobre la red GPRS introduce al sistema. Los resultados de la evaluación son satisfactorios en cuanto a gestión remota de procesos se refiere.
- El uso de estándares industriales para comunicación de sensores y datos abre un amplio espectro de posibilidades en variables a medir, siendo limitado únicamente por la disponibilidad de los sensores y la velocidad de cambio de la variable a medir debido al retardo en la comunicación.
- El protocolo de comunicación a nivel aplicación GEOSKYBUS ha adicionado valor en cuanto a confiabilidad se refiere gracias a su estructura maestro-esclavo y fácil encapsulación sobre capas subyacentes de transmisión de datos, lo que abre las puertas al sistema a funcionar sobre cualquier plataforma de comunicaciones y no solamente la proporcionada por el sistema GEOSKY-SAF.
- El dispositivo tiene un comportamiento adecuado de acuerdo a los alcances del proyecto para locaciones remotas fijas y móviles. Sin embargo, el retardo en la comunicación limita la aplicación a variables de cambio lento como temperatura. La integración del modulo con un MODEM GPRS dedicado a comunicación de datos mejoraría ostensiblemente la capacidad del modulo para gestionar variables de cambio rápido como flujo al reducir el retardo.

- La cobertura de red del sistema esta supeditada a la cobertura de la operadora celular que presta el servicio de transmisión de datos. Por lo que el sistema podría funcionar en cualquier lugar donde exista cobertura celular GPRS y la gestión remota se puede realizar desde cualquier punto a nivel mundial donde exista conexión al Internet.
- Los costos operativos y de infraestructura son relativamente bajos por lo que la inversión requerida para la puesta en marcha y la operación del sistema es muy baja tomando en cuenta el beneficio que se obtendría de la prestación del servicio a terceros.

### **Recomendaciones**

Dado que del desarrollo de este trabajo surgen cuestionamientos sobre mejorar la velocidad de comunicación entre el dispositivo electrónico y la aplicación de control, colocar la aplicación de control como una pagina WEB y mejorar la construcción del dispositivo electrónico para ofrecer una armazón robusta, se requieren desarrollar trabajos futuros que ataquen estas situaciones. Por ello, se comenta lo siguiente:

- Se identifica que la velocidad de transmisión de datos entre el modulo electrónico y la aplicación de control es de vital importancia para gestionar variables de cambio rápido y ampliar así el espectro de aplicaciones. Por esto se recomienda la utilización de un MODEM GPRS dedicado a comunicación de datos y montar una plataforma paralela a la usada para localización GPS actualmente por el sistema GEOSKY-SAF integrando los sistemas al nivel de visualización de datos por el usuario.
- La aplicación de control como aplicación Desktop limita el campo de acción a lugares de gestión dedicados o que cuenten con una instalación previa del software. A través de la implementación de una página WEB para gestión remota se abre las posibilidades de visualización desde cualquier computadora conectada al Internet sin necesidad de ningún software instalado localmente. Se debe proteger el acceso a la página WEB con un nombre de usuario y contraseña por usuario.

- 
- Dadas las exigencias a las que será sometido el dispositivo electrónico al estar ubicado en camiones de transporte o entornos con alta vibración se recomienda desarrollar una protección en forma de carcasa de aluminio para proteger las partes sensibles del circuito impreso y alargar así su vida útil.
  - Se recomienda instalar un servidor dedicado únicamente a gestión de procesos y no mixto con localización GPS para evitar conflictos que pudieran presentarse que afectarían el desempeño del sistema integrado.
  - Todo el cableado y conexiones de sensores deberán instalarse de acuerdo a estándares industriales para asegurar la integridad del sistema.

## **ANEXO 1**

### **CODIFICACIÓN DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877A**

**Main.c**

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pic.h>
#include "usart.h"

void data_out(unsigned char a);
void itoa(unsigned char *buf, int i, unsigned char base);
void init_a2d(void);
void read_a2d(unsigned char channel);

volatile char puertobcomp=0; //Variable global que almacena el valor del PUERTOB para
comparación

void main(void){ //Inicio

char buff[3]; //Almacenamiento temporal de un valor Hexadecimal en codigo ASCII
char input[20]; //Almacena Cadena Recibida por USART
volatile char puertob; //Almacena Valor del puertoB de entradas discretas
long clock=0; //Contador del timer a 3 minutos
int i; //Contador de proposito general

    INTCON=0; //Desactivar interrupciones
    TRISA=0X0F; //4 bits LSB del puertoA como entradas(entradas analógicas)
    TRISB=0x1F; //5 bits LSB del puertoB como entradas(Entradas Discretas)
    TRISC=0X00;
    TRISD=0X00; //PuertoD como salidas (Salida Analógica)
    TRISE=0X00; //PuertoE como salidas (Salidas Discretas)
    PORTE=0X00; //Inicializar Salidas Discretas desactivadas

    PORTD=0x00; //Inicializa salida analogica en cero

    init_comms(); //set up the USART - settings defined in usart.h
    init_a2d(); //set the ADC module

    puertob=PORTB; //Toma el valor inicial de las entradas discretas.
```

```

PR2=0x7D; //reset de timer2 en 125
T2CON=0X7E; //Inicia y configura timer2.

data_out(49); //Envío de Mensaje GEOSKYBUS función 0x1

/*A continuación inicia el bucle de muestreo de arribo de caracter serial,
cambio en entradas analógicas y timer a 3 minutos*/

for(;;){
    CLRWDT(); // Limpiar WDT(watchdog timer)

    if(OERR){CREN=0;CREN=1;} //Reset del receptor del USART en caso de Overrun
del buffer

    /*Inicia recepcion serial*/

    if(RCIF&&(input[0]=getch()==58)){ //Si se ha recibido un dato serial, lo guarda y
valida

        i=1;
        TMR2=0X00; //Inicia timer 32 ms para desechar cadenas incompletas
        TMR2IF=0;
        do{
            if(RCIF){input[i] = getch();
                i++;
                TMR2=0X00; //Recibir
caracteres hasta que llegue CrLf o
                //se termine el tiempo
                //se termine el tiempo
            }
            //permitido
        }while(!TMR2IF&&input[i-1]!=10);

        if(TMR2IF==0&&input[1]==49){ //Verifica la dirección
del mensaje

```

```
//GEOSKYBUS recibido

/*A continuacion se identifica la funcion del mensaje
recibido, se procesa y se envia la respuesta
pertinente*/

switch(input[2]){

/*Función 0x1
GEOSKYBUS*/
case '1':
    data_out(49);
    break;

/*Función 0x2
GEOSKYBUS*/
case '2':
    data_out(50);
    break;

/*Función 0x3
GEOSKYBUS*/
case '3':
    data_out(51);
    break;

/*Función 0x4
GEOSKYBUS*/
case '4':

switch(input[3]){

case '0':
```

```
        RE0=xtoi(&input[4]);

        data_out(52);

        break;

    case '1':

        RE1=xtoi(&input[4]);

        data_out(59);

        break;

    case '2':

        RE2=xtoi(&input[4]);

        data_out(60);

        break;

};

                                                    break;

/*Función 0x5

GEOSKYBUS*/

    case '5':

                                                    switch(input[3]){

    case '0':

        read_a2d(input[3]);
```

```
        data_out(53);

        break;

    case '1':

        read_a2d(input[3]);

        data_out(54);

        break;

    case '2':

        read_a2d(input[3]);

        data_out(55);

        break;

    case '3':

        read_a2d(input[3]);

        data_out(56);

        break;

    case '4':

        data_out(57);

        break;

};

break;

/*Leer salida analogica-----

>*/

/*Función 0x6

GEOSKYBUS*/
```

```

                                case '6':
                                    buff[0]=input[3];
                                    buff[1]=input[4];

PORTD=xtoi(buff);

                                data_out(58);
                                break;

                                };

                                }

                                TMR2IF=0;

                                }

```

*/\*Compara el valor actual de entradas discretas con uno guardado, y si ha habido un cambio envía la notificación al dispositivo cliente\*/*

```

puertobcomp=PORTB;
    if(puertob!=puertobcomp)
    {
        data_out(50);
        puertob=puertobcomp;
    }

```

*/\*Verifica si el timer a 3 minutos se ha cumplido, y envía los datos de las 4 entradas analógicas en caso afirmativo\*/*

```

    if(TMR2IF==1)
    {
        TMR2IF=0;
        clock++;
        if(clock==84375){

                                read_a2d('0');
                                data_out(53);

                                read_a2d('1');
                                data_out(54);

```

```

        read_a2d('2');
        data_out(55);

        read_a2d('3');
        data_out(56);

        clock=0;
    }

}
}
}

```

/\*Esta función se encarga de formatear y enviar los mensajes GEOSKYBUS serial de acuerdo a un parametro para seleccion enviado según la necesidad\*/

```

void data_out(unsigned char a)
{

char output[9]; //almacena el mensaje GEOSKYBUS de salida
int j;
char pin[2]; //almacena temporalmente el valor de un byte en codificacion ASCII

    switch(a){
        /*Formatea el mensaje de codigo de funcion GEOSKYBUS 0x1*/
        case 49:
            output[2]='1';
                output[3]=13;
                output[4]=10;
            break;
        /*Formatea el mensaje de codigo de funcion GEOSKYBUS 0x2*/
        case 50:
            itoa(pin,puertobcomp,16);
            output[2]='2';
            output[3]=pin[0];
            output[4]=pin[1];

```

```
        output[5]=13;
        output[6]=10;
        break;
/*Formatea el mensaje de codigo de funcion GEOSKYBUS 0x3*/
case 51:
        itoa(pin,PORTE,16);
        output[2]='3';
        output[3]=pin[0];
        output[4]=pin[1];
        output[5]=13;
        output[6]=10;
        break;
/*Formatea el mensaje de codigo de funcion GEOSKYBUS 0x4*/

case 52:
        output[2]='4';
        output[3]='0';
        output[4]=RE0+48;
        //if(RE0==0)output[4]='0';
        //else output[4]='1';

        output[5]=13;
        output[6]=10;
        break;
/*Formatea el mensaje de codigo de funcion GEOSKYBUS 0x5
entrada analogica 1*/
case 53:
        itoa(pin,ADRESH,16);
        output[2]='5';
        output[3]='0';
        output[4]=pin[0];
        output[5]=pin[1];
        itoa(pin,ADRESL,16);
        output[6]=pin[0];
        output[7]=13;
        output[8]=10;
        break;
/*Formatea el mensaje de codigo de funcion GEOSKYBUS 0x5
entrada analogica 2*/
case 54:
```

```
        itoa(pin,ADRESH,16);
        output[2]='5';
        output[3]='1';
        output[4]=pin[0];
        output[5]=pin[1];
        output[6]=13;
        output[7]=10;
        break;
/*Formatea el mensaje de codigo de funcion GEOSKYBUS 0x5
entrada analogica 3*/
case 55:
        itoa(pin,ADRESH,16);
        output[2]='5';
        output[3]='2';
        output[4]=pin[0];
        output[5]=pin[1];
        output[6]=13;
        output[7]=10;
        break;
/*Formatea el mensaje de codigo de funcion GEOSKYBUS 0x5
entrada analogica 4*/
case 56:
        itoa(pin,ADRESH,16);
        output[2]='5';
        output[3]='3';
        output[4]=pin[0];
        output[5]=pin[1];
        output[6]=13;
        output[7]=10;
        break;
/*Formatea el mensaje de codigo de funcion GEOSKYBUS 0x5
salida analogica*/
case 57:
        itoa(pin,PORTD,16);
        output[2]='5';
        output[3]='4';
        output[4]=pin[0];
        output[5]=pin[1];
        output[6]=13;
        output[7]=10;
```

```
                break;
/*Formatea el mensaje de codigo de funcion GEOSKYBUS 0x6*/
case 58:
    output[2]='6';
    output[3]=13;
    output[4]=10;
    break;

case 59:
    output[2]='4';
    output[3]='1';
    output[4]=RE1+48;
    output[5]=13;
    output[6]=10;
    break;

case 60:
    output[2]='4';
    output[3]='2';
    output[4]=RE2+48;
    output[5]=13;
    output[6]=10;
    break;

};

output[0]=':';
output[1]='1';

for(j=0;output[j-1]!=10;j++)putch(output[j]); //Enviar mensaje GEOSKYBUS serial
}
```

### **Adc.c**

```
#include <pic.h>
#include "delay.h"

#define samples 64
```

```
void init_a2d(void){
    ADCON0=0x80; // select Fosc/32
    ADCON1=0x02; // select left justify result. A/D port configuration 0
    ADON=1;      // turn on the A2D conversion module
}

/* Return an 8 bit result */
void read_a2d(unsigned char channel){

    int i;
    int buffer = 0;
    unsigned long int valorAdc = 0;

    channel&=0x07; // truncate channel to 3 bits
    ADCON0&=0xC5; // clear current channel select
    ADCON0|=(channel<<3); // apply the new channel select

    for(i=0;i<samples;i++){
    {
        DelayUs(50);
        ADGO=1; // initiate conversion on the selected channel
        while(ADGO)continue;
        DelayUs(4);
        buffer=ADRESH;
        buffer=buffer<<2;
        buffer|=(ADRESL>>6;
        valorAdc=valorAdc+buffer;
    }

        valorAdc=valorAdc/samples;
        ADRESH=valorAdc>>2;
        ADRESL=valorAdc<<6;
    }
}
```

## **ANEXO 2**

### **CODIFICACIÒN DEL FORMULARIO PRINCIPAL DE LA APLICACION PARA PRUEBAS EN VISUAL BASIC**

```
Imports System.Data.SqlClient
```

```
Imports System.Net.Sockets
```

```
Imports System.Net
```

```
Imports System.Text
```

```
Imports System.Windows.Forms
```

```
Delegate Sub modulodelegate(ByVal dato As String)
```

```
Public Class RemoteForm1
```

```
    "" <summary>
```

```
    "" 'hora' almacena el valor de la fecha y hora del ultimo registro en la base de datos
```

```
    "" 'direccionIP' Almacena la dirección IP del servidor como cadena de caracteres
```

```
    "" 'Modulo Activo' Bandera que indica el estado del módulo electrónico
```

```
    "" 'Control Salidas' bandera usada para evitar cambio de estado de salida discreta
```

```
    "" cuando se lee su estado
```

```
    "" 'salidas_flag' utilizado para identificar que salida discreta ha cambiado
```

```
    "" </summary>
```

```
    "" <remarks>Variables Globales</remarks>
```

```
    Public hora As DateTime
```

```
    Public direccionIP As String
```

```
    Dim ModuloActivo As Boolean = True
```

```
    Dim ControlSalidas As Boolean
```

```
    Dim salidas_flag As Integer
```

```
    Dim id_analogica As Integer
```

```
    Public tcp As IQPSocket
```

```
    Dim VariablesdeControl As New VariablesdeControl
```

```
    Private Sub RemoteForm1_Disposed(ByVal sender As Object, ByVal e As System.EventArgs)
```

```
Handles Me.Disposed
```

```
        Consola.RemotaToolStripMenuItem.Enabled = True
```

```
    End Sub
```

```
    "" <summary>
```

```
    "" Rutina de inicialización de banderas para control de salidas y modulo activo
```

```
    "" </summary>
```

```
    "" <param name="sender"></param>
```

```
    "" <param name="e"></param>
```

```
    "" <remarks></remarks>
```

```
    Private Sub RemoteForm1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
```

```
Me.ShowIcon = True
```

```
ControlSalidas = False
```

```
ModuloActivo = False
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Formatea y envía una cadena de caracteres hacia el API en el servidor para que
```

```
''' sea enviada hacia el puerto serial del GV-310. Utiliza protocolo TCP y un socket
```

```
''' para la conexión remota.
```

```
''' </summary>
```

```
''' <param name="dato">La cadena de caracteres que se desea enviar</param>
```

```
''' <remarks>
```

```
''' Se utiliza para enviar los mensajes GEOSKYBUS desde la aplicación de control al módulo  
electró-
```

```
''' para gestión remota de procesos.
```

```
''' </remarks>
```

```
Public Sub enviardato(ByVal dato As String)
```

```
    tcp.enviardato(dato)
```

```
    Me.txtDataReceived.AppendText(dato)
```

```
    txtDataReceived.ScrollToCaret()
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Timer utilizado para control de conexión con el servidor remoto
```

```
''' </summary>
```

```
''' <param name="sender"></param>
```

```
''' <param name="e"></param>
```

```
''' <remarks>Configurado a 0.5 seg.
```

```
''' </remarks>
```

```
Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
```

```
Handles Timer1.Tick
```

```
    If Not tcp.estado Then
```

```
    Consola.ToolStripStatusLabel1.ForeColor = Color.Red
```

```
    Consola.ToolStripStatusLabel1.Text = "No Conectado"
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Envía el mensaje GEOSKYBUS 0x2 para leer entradas discretas
```

```
''' </summary>
```

```
''' <param name="sender"></param>
```

```
''' <param name="e"></param>
```

```
''' <remarks></remarks>
```

```
Private Sub LeerEntradas_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As  
System.EventArgs) Handles LeerEntradas.Click
```

```
    enviardato(":12" + ControlChars.CrLf)
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Envía el mensaje GEOSKYBUS 0x3 para leer salidas discretas
```

```
''' </summary>
```

```
''' <param name="sender"></param>
```

```
''' <param name="e"></param>
```

```
''' <remarks></remarks>
```

```
Private Sub LeerSalidas_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)  
Handles LeerSalidas.Click
```

```
    enviardato(":13" + ControlChars.CrLf)
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Envía el mensaje GEOSKYBUS 0x5 para leer entrada analógica 1
```

```
''' </summary>
```

```
''' <param name="sender"></param>
```

```
''' <param name="e"></param>
```

```
''' <remarks></remarks>
```

```
Private Sub LeerAD0_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)  
Handles LeerAD0.Click
```

```
    enviardato(":150" + ControlChars.CrLf)
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Envía el mensaje GEOSKYBUS 0x5 para leer entrada analógica 2
```

```
''' </summary>
```

```
''' <param name="sender"></param>
```

```
''' <param name="e"></param>
```

```
''' <remarks></remarks>
```

```
Private Sub LeerAD1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
```

```
Handles LeerAD1.Click
```

```
    enviardato(":151" + ControlChars.CrLf)
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Envía el mensaje GEOSKYBUS 0x5 para leer entrada analógica 3
```

```
''' </summary>
```

```
''' <param name="sender"></param>
```

```
''' <param name="e"></param>
```

```
''' <remarks></remarks>
```

```
Private Sub LeerAD2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
```

```
Handles LeerAD2.Click
```

```
    enviardato(":152" + ControlChars.CrLf)
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Envía el mensaje GEOSKYBUS 0x5 para leer entrada analógica 4
```

```
''' </summary>
```

```
''' <param name="sender"></param>
```

```
''' <param name="e"></param>
```

```
''' <remarks></remarks>
```

```
Private Sub LeerAD3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
```

```
Handles LeerAD3.Click
```

```
    enviardato(":153" + ControlChars.CrLf)
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Convierte un valor decimal en binario y retorna un objeto del tipo puerto
''' con el valor binario
''' </summary>
''' <param name="dato">Valor decimal a convertir en binario</param>
''' <returns></returns>
''' <remarks></remarks>
Private Function dectobin(ByVal dato As Integer) As puerto

    Dim objpuerto As puerto
    Dim q As Integer
    Dim puertotmp(7) As Boolean

    For i As Integer = 0 To 7
        q = dato \ 2
        puertotmp(i) = dato - q * 2
        dato = q
    Next

    With objpuerto

        .D0 = puertotmp(0)
        .D1 = puertotmp(1)
        .D2 = puertotmp(2)
        .D3 = puertotmp(3)
        .D4 = puertotmp(4)
        .D5 = puertotmp(5)
        .D6 = puertotmp(6)
        .D7 = puertotmp(7)

    End With

    Return objpuerto

End Function
''' <summary>
''' Cuando se desea cambiar el estado de salida discreta 1, detecta el estado solicitado
''' y envia el mensaje GEOSKYBUS 0x4 correspondiente.
''' </summary>
```

```
"" <param name="sender"></param>
```

```
"" <param name="e"></param>
```

```
"" <remarks></remarks>
```

```
Private Sub SalidaDis0_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles SalidaDis0.CheckedChanged
```

```
    If SalidaDis0.CheckState = 1 Then
```

```
        SalidaDis0.BackgroundImage = My.Resources.rojo
```

```
        SalidaDis0.Text = "ON"
```

```
    Else
```

```
        SalidaDis0.Text = "OFF"
```

```
        SalidaDis0.BackgroundImage = My.Resources.gris
```

```
    End If
```

```
    If ControlSalidas = False Then
```

```
        salidas_flag = 0
```

```
        If SalidaDis0.Checked = True Then
```

```
            enviardato(":1401" + ControlChars.CrLf)
```

```
        Else
```

```
            enviardato(":1400" + ControlChars.CrLf)
```

```
        End If
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
"" <summary>
```

```
"" Cuando se desea cambiar el estado de salida discreta 2, detecta el estado solicitado
```

```
"" y envia el mensaje GEOSKYBUS 0x4 correspondiente.
```

```
"" </summary>
```

```
"" <param name="sender"></param>
```

```
"" <param name="e"></param>
```

```
"" <remarks></remarks>
```

```
Private Sub SalidaDis1_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles SalidaDis1.CheckedChanged
```

```
    If SalidaDis1.CheckState = 1 Then
```

```
        SalidaDis1.BackgroundImage = My.Resources.rojo
```

```
        SalidaDis1.Text = "ON"
    Else
        SalidaDis1.Text = "OFF"
        SalidaDis1.BackgroundImage = My.Resources.gris
    End If

    If ControlSalidas = False Then

        salidas_flag = 1
        If SalidaDis1.Checked = True Then
            enviardato(":1411" + ControlChars.CrLf)
        Else
            enviardato(":1410" + ControlChars.CrLf)
        End If
    End If

End Sub
''' <summary>
''' Cuando se desea cambiar el estado de salida discreta 3, detecta el estado solicitado
''' y envía el mensaje GEOSKYBUS 0x4 correspondiente.
''' </summary>
''' <param name="sender"></param>
''' <param name="e"></param>
''' <remarks></remarks>
Private Sub SalidaDis2_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles SalidaDis2.CheckedChanged

    If SalidaDis2.CheckState = 1 Then

        SalidaDis2.BackgroundImage = My.Resources.rojo
        SalidaDis2.Text = "ON"
    Else
        SalidaDis2.Text = "OFF"
        SalidaDis2.BackgroundImage = My.Resources.gris
    End If

    If ControlSalidas = False Then

        salidas_flag = 2
        If SalidaDis2.Checked = True Then
```

```
        enviardato(":1421" + ControlChars.CrLf)
    Else
        enviardato(":1420" + ControlChars.CrLf)
    End If
End If

End Sub

''' <summary>
''' Cuando se desea cambiar el valor de la salida analógica, formatea el valor solicitado
''' en hexadecimal y envia el mensaje GEOSKYBUS 0x6 correspondiente.
''' </summary>
''' <param name="sender"></param>
''' <param name="e"></param>
''' <remarks>Cuando se hace el cambio utilizando el mouse</remarks>
Private Sub SalidaAnalogica_MouseUp(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles SalidaAnalogica.MouseUp

    Dim objTrama As Trama
    Dim Trama As String

    With objTrama

        .Init = ":"
        .Direccion = "1"
        .Funcion = "6"
        If SalidaAnalogica.Value > 15 Then
            .Datos = Convert.ToString(SalidaAnalogica.Value, 16)
        Else
            .Datos = "0" & Convert.ToString(SalidaAnalogica.Value, 16)
        End If

    End With

    Trama = objTrama.Init & objTrama.Direccion & objTrama.Funcion & objTrama.Datos & vbCrLf

    enviardato(Trama)

End Sub
```

```
Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Button1.Click
```

```
    enviardato(":11" + ControlChars.CrLf)
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' MAneja el cambio de gráfico para indicar el estado de la entrada discreta 1
```

```
''' </summary>
```

```
''' <param name="sender"></param>
```

```
''' <param name="e"></param>
```

```
''' <remarks></remarks>
```

```
Private Sub CheckBox1_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles CheckBox1.CheckedChanged
```

```
    If CheckBox1.CheckState = 1 Then
```

```
        CheckBox1.BackgroundImage = My.Resources.rojo
```

```
        CheckBox1.Text = "ON"
```

```
    Else
```

```
        CheckBox1.BackgroundImage = My.Resources.gris
```

```
        CheckBox1.Text = "OFF"
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CheckBox2_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles CheckBox2.CheckedChanged
```

```
    If CheckBox2.CheckState = 1 Then
```

```
        CheckBox2.BackgroundImage = My.Resources.rojo
```

```
        CheckBox2.Text = "ON"
```

Else

    CheckBox2.BackgroundImage = My.Resources.gris

    CheckBox2.Text = "OFF"

End If

End Sub

Private Sub CheckBox3\_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles CheckBox3.CheckedChanged

    If CheckBox3.CheckState = 1 Then

        CheckBox3.BackgroundImage = My.Resources.rojo

        CheckBox3.Text = "ON"

    Else

        CheckBox3.BackgroundImage = My.Resources.gris

        CheckBox3.Text = "OFF"

    End If

End Sub

Private Sub CheckBox4\_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles CheckBox4.CheckedChanged

    If CheckBox4.CheckState = 1 Then

        CheckBox4.BackgroundImage = My.Resources.rojo

        CheckBox4.Text = "ON"

    Else

        CheckBox4.BackgroundImage = My.Resources.gris

        CheckBox4.Text = "OFF"

    End If

End Sub

Private Sub CheckBox5\_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles CheckBox5.CheckedChanged

```
If CheckBox5.CheckState = 1 Then
```

```
    CheckBox5.BackgroundImage = My.Resources.rojo
```

```
    CheckBox5.Text = "ON"
```

```
Else
```

```
    CheckBox5.BackgroundImage = My.Resources.gris
```

```
    CheckBox5.Text = "OFF"
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Lee el valor de la salida analógica enviando el mensaje GEOSKYBUS 0x5 correspondiente
```

```
''' </summary>
```

```
''' <param name="sender"></param>
```

```
''' <param name="e"></param>
```

```
''' <remarks></remarks>
```

```
Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
```

```
Handles Button2.Click
```

```
    enviardato(":154" + vbCrLf)
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Coloca el valor del slider de la salida analógica en un textbox
```

```
''' </summary>
```

```
''' <param name="sender"></param>
```

```
''' <param name="e"></param>
```

```
''' <remarks></remarks>
```

```
Private Sub SalidaAnalogica_ValueChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles SalidaAnalogica.ValueChanged
```

```
    ValorSalida.Text = SalidaAnalogica.Value.ToString
```

```
End Sub
```

```
''' <summary>
```

```
''' Cuando se desea cambiar el valor de la salida analógica, formatea el valor solicitado
```

```
''' en hexadecimal y envía el mensaje GEOSKYBUS 0x6 correspondiente.
```

```
"" </summary>
"" <param name="sender"></param>
"" <param name="e"></param>
"" <remarks>Cuando se hace el cambio utilizando las flechas del teclado</remarks>
Private Sub SalidaAnalogica_KeyUp(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.KeyEventArgs) Handles SalidaAnalogica.KeyUp

    Dim objTrama As Trama
    Dim Trama As String

    With objTrama

        .Init = ":"
        .Direccion = "1"
        .Funcion = "6"
        If SalidaAnalogica.Value > 15 Then
            .Datos = Convert.ToString(SalidaAnalogica.Value, 16)
        Else
            .Datos = "0" & Convert.ToString(SalidaAnalogica.Value, 16)
        End If

    End With

    Trama = objTrama.Init & objTrama.Direccion & objTrama.Funcion & objTrama.Datos & vbCrLf

    enviardato(Trama)

End Sub
"" <summary>
"" Timer 2 utilizado para enviar la solicitud de valores de entradas analogicas con un intervalo
entre
"" cada una que evite perdida de datos en el receptor
"" </summary>
"" <param name="sender"></param>
"" <param name="e"></param>
"" <remarks></remarks>
Private Sub Timer2_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Timer2.Tick
```

```
If id_analogica < 5 Then
    enviardato(":15" + id_analogica.ToString + ControlChars.CrLf)
    id_analogica += 1
Else
    Timer2.Enabled = False
End If

End Sub

''' <summary>
''' Metodo utilizado para validar los mensajes recibidos desde el módulo para gestión remota y
realizar
''' la o las acciones respectivas
''' </summary>
''' <param name="dato">uno o varios mensajes GEOSKYBUS en una cadena de
caracteres</param>
''' <remarks></remarks>
Public Sub escribirencarret(ByVal dato As String)

    If txtDataReceived.InvokeRequired Then
        Dim d As New modulodelegate(AddressOf escribirencarret)
        Me.Invoke(d, New Object() {dato})

    Else

        Dim objTrama As Trama
        Dim datos As String
        Dim objPuerto As puerto
        Dim temp1 As Integer

        txtDataReceived.SelectionColor = Color.Blue
        txtDataReceived.AppendText(dato)
        txtDataReceived.ScrollToCaret()
        txtDataReceived.SelectionColor = Color.Black
```

```
Dim sCadenaCompleta As String = dato
sCadenaCompleta = sCadenaCompleta.TrimEnd(ControlChars.Lf)
Dim sCadenas() As String = sCadenaCompleta.Split(ControlChars.Lf)
```

```
For Each sCadena As String In sCadenas
```

```
    If sCadena(0) = ":" And sCadena(sCadena.Length - 1) = ControlChars.Cr Then
```

```
        objTrama.Init = sCadena(0).ToString()
        objTrama.Direccion = sCadena(1).ToString()
        objTrama.Funcion = sCadena(2).ToString()
```

```
        Select Case Convert.ToChar(objTrama.Funcion)
```

```
            Case "1"
```

```
                TextBox1.Text = "Módulo en Línea"
                Led1.Value = True
                ModuloActivo = True
                TextBox1.ForeColor = Color.Black
                CheckBox1.Enabled = True
                CheckBox2.Enabled = True
                CheckBox3.Enabled = True
                CheckBox4.Enabled = True
                CheckBox5.Enabled = True
                LeerEntradas.Enabled = True
                SalidaDis0.Enabled = True
                SalidaDis1.Enabled = True
                SalidaDis2.Enabled = True
                LeerSalidas.Enabled = True
                LeerAD0.Enabled = True
                LeerAD1.Enabled = True
                LeerAD2.Enabled = True
                LeerAD3.Enabled = True
                SalidaAnalogica.Enabled = True
                Button2.Enabled = True
                Thermometer1.Enabled = True
```

```
enviardato(":12" + ControlChars.CrLf)
enviardato(":13" + ControlChars.CrLf)
id_analogica = 0
Timer2.Enabled = True
```

#### Case "2"

```
objTrama.Datos = sCadena.Substring(3, 2)

datos = Convert.ToInt32(objTrama.Datos, 16)
objPuerto = dectobin(datos)
```

```
CheckBox1.Checked = objPuerto.D0
CheckBox2.Checked = objPuerto.D1
CheckBox3.Checked = objPuerto.D2
CheckBox4.Checked = objPuerto.D3
CheckBox5.Checked = objPuerto.D4
```

```
VariablesdeControl.EntradaDiscreta0 = objPuerto.D0
VariablesdeControl.EntradaDiscreta1 = objPuerto.D1
VariablesdeControl.EntradaDiscreta2 = objPuerto.D2
VariablesdeControl.EntradaDiscreta3 = objPuerto.D3
VariablesdeControl.EntradaDiscreta4 = objPuerto.D4
```

#### Case "3"

```
objTrama.Datos = sCadena.Substring(3, 2)

datos = Convert.ToInt32(objTrama.Datos, 16)
objPuerto = dectobin(datos)
```

```
ControlSalidas = True
SalidaDis0.Checked = objPuerto.D0
SalidaDis1.Checked = objPuerto.D1
SalidaDis2.Checked = objPuerto.D2
```

```
ControlSalidas = False
```

```
VariablesdeControl.SalidaDiscreta0 = objPuerto.D0
```

```
VariablesdeControl.SalidaDiscreta1 = objPuerto.D1
```

```
VariablesdeControl.SalidaDiscreta2 = objPuerto.D2
```

```
Case "4"
```

```
Select Case sCadena(3)
```

```
Case "0"
```

```
VariablesdeControl.SalidaDiscreta0 =  
Convert.ToInt32(sCadena(4).ToString)
```

```
Case "1"
```

```
VariablesdeControl.SalidaDiscreta1 =  
Convert.ToInt32(sCadena(4).ToString)
```

```
Case "2"
```

```
VariablesdeControl.SalidaDiscreta2 =  
Convert.ToInt32(sCadena(4).ToString)
```

```
End Select
```

```
' If salidas_flag = 0 Then
```

```
'TextBox1.Text = "Cambio D0 Exitoso"
```

```
'End If
```

```
'If salidas_flag = 1 Then
```

```
'TextBox1.Text = "Cambio D1 Exitoso"
```

```
'End If
```

```
'If salidas_flag = 2 Then
```

```
'TextBox1.Text = "Cambio D2 Exitoso"
```

```
'End If
```

```
Case "5"
```

```
objTrama.Registro = sCadena.Substring(3, 1)
```

```
objTrama.Datos = sCadena.Substring(4, 2)
```

```
datos = Convert.ToInt32(objTrama.Datos, 16)
```

```
Select Case Convert.ToChar(objTrama.Registro)
```

```
Case "0"
```

```
objTrama.Datos = sCadena.Substring(4, 3)
```

```
temp1 = Convert.ToInt32(objTrama.Datos.Substring(2, 1), 16)
```

```
temp1 = temp1 / 4
```

```
temp1 = temp1 Or Convert.ToInt32(objTrama.Datos.Substring(0, 2), 16) * 4
```

```
datos = temp1 Or ((Convert.ToInt32(objTrama.Datos.Substring(0, 1), 16)
```

```
And 12) * 64)
```

```
datos = (datos - 205) * 0.2439
```

```
Thermometer1.Value = datos
```

```
AD0.Text = datos.ToString()
```

```
VariablesdeControl.EntradaAnalogica0 = datos
```

```
Case "1"
```

```
AD1.Text = datos.ToString()  
VariablesdeControl.EntradaAnalogica1 = datos
```

```
Case "2"
```

```
AD2.Text = datos.ToString()  
VariablesdeControl.EntradaAnalogica2 = datos
```

```
Case "3"
```

```
AD3.Text = datos.ToString()  
VariablesdeControl.EntradaAnalogica3 = datos
```

```
Case "4"
```

```
SalidaAnalogica.Value = datos.ToString()  
VariablesdeControl.SalidaAnalogica = datos
```

```
End Select
```

```
Case "6"
```

```
TextBox1.Text = "Registro Escrito"
```

```
End Select
```

```
End If  
Next sCadena
```

```
End If
```

End Sub

''' <summary>

''' Metodo utilizado para conexión al servidor remoto

''' </summary>

''' <remarks></remarks>

Public Sub crearconexcion()

    tcp = New IQPSocket(direccionIP, 30000, Me)

End Sub

## **ANEXO 3**

### **HOJAS TÉCNICAS**

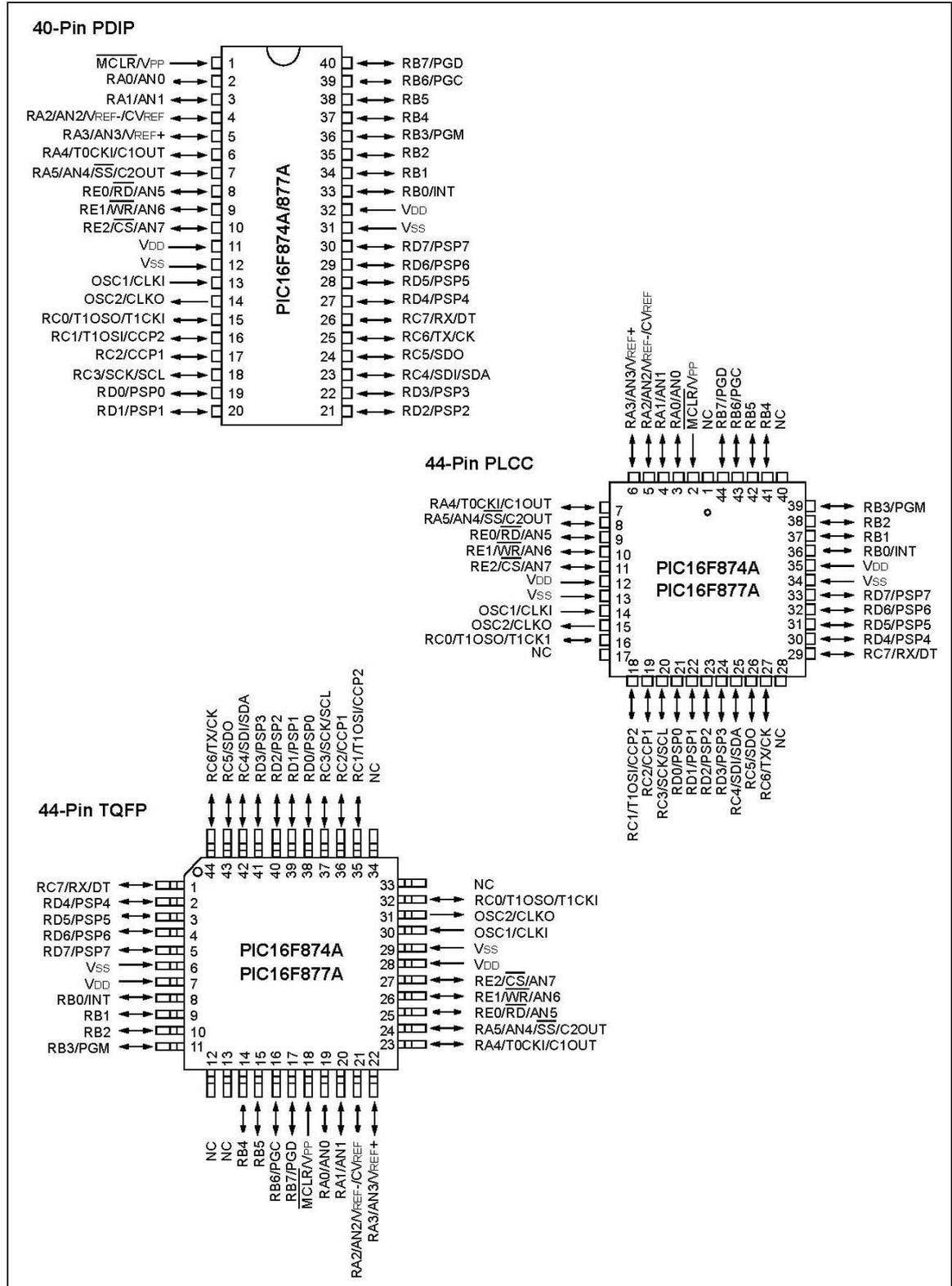


**PIC16F87XA**  
**Data Sheet**

28/40/44-Pin Enhanced Flash  
Microcontrollers

# PIC16F87XA

## Pin Diagrams (Continued)



# PIC16F87XA

## 1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

PIC16F873A/876A devices are available only in 28-pin packages, while PIC16F874A/877A devices are available in 40-pin and 44-pin packages. All devices in the PIC16F87XA family share common architecture with the following differences:

- The PIC16F873A and PIC16F874A have one-half of the total on-chip memory of the PIC16F876A and PIC16F877A
- The 28-pin devices have three I/O ports, while the 40/44-pin devices have five
- The 28-pin devices have fourteen interrupts, while the 40/44-pin devices have fifteen
- The 28-pin devices have five A/D input channels, while the 40/44-pin devices have eight
- The Parallel Slave Port is implemented only on the 40/44-pin devices

The available features are summarized in Table 1-1. Block diagrams of the PIC16F873A/876A and PIC16F874A/877A devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

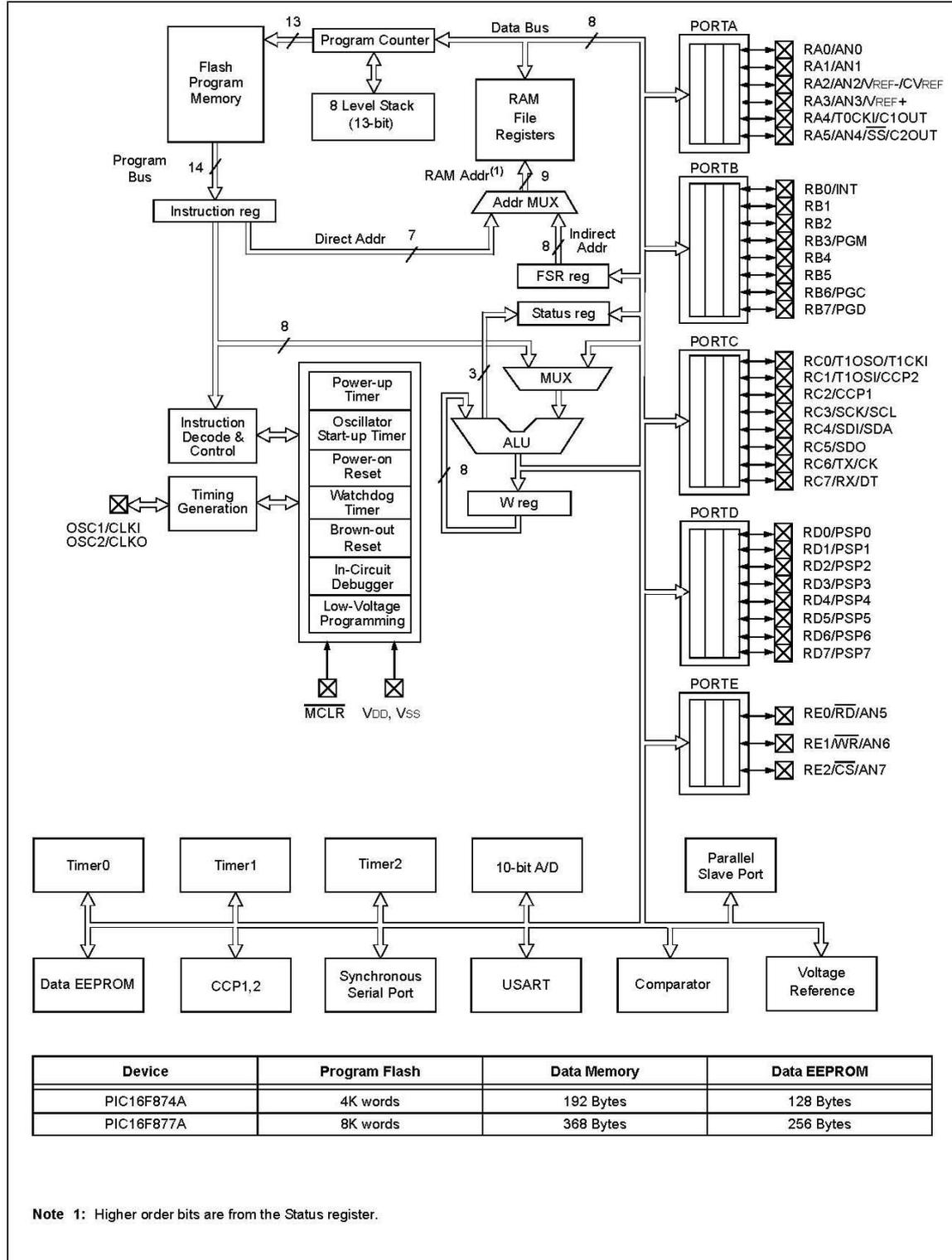
Additional information may be found in the PICmicro® Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

**TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES**

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz			
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

# PIC16F87XA

**FIGURE 1-2: PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM**



# PIC16F87XA

**FIGURE 2-3: PIC16F876A/877A REGISTER FILE MAP**

File Address		File Address		File Address		File Address	
Indirect addr. <sup>(*)</sup>	00h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	80h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	100h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	180h
TMRO	01h	OPTION_REG	81h	TMRO	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h		107h		187h
PORTD <sup>(1)</sup>	08h	TRISD <sup>(1)</sup>	88h		108h		188h
PORTE <sup>(1)</sup>	09h	TRISE <sup>(1)</sup>	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reserved <sup>(2)</sup>	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	Reserved <sup>(2)</sup>	18Fh
T1CON	10h		90h		110h		190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h		111h		191h
T2CON	12h	PR2	92h		112h		192h
SSPBUF	13h	SSPADD	93h		113h		193h
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h		114h		194h
CCPR1L	15h		95h		115h		195h
CCPR1H	16h		96h		116h		196h
CCP1CON	17h		97h	General Purpose Register 16 Bytes	117h	General Purpose Register 16 Bytes	197h
RCSTA	18h	TXSTA	98h		118h		198h
TXREG	19h	SPBRG	99h		119h		199h
RCREG	1Ah		9Ah		11Ah		19Ah
CCPR2L	1Bh		9Bh		11Bh		19Bh
CCPR2H	1Ch	CMCON	9Ch		11Ch		19Ch
CCP2CON	1Dh	CVRCON	9Dh		11Dh		19Dh
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh		11Eh		19Eh
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh		11Fh		19Fh
	20h		A0h		120h		1A0h
General Purpose Register 96 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes	
	7Fh	accesses 70h-7Fh	EFh F0h	accesses 70h-7Fh	16Fh 170h	accesses 70h - 7Fh	1EFh 1F0h
Bank 0		Bank 1	FFh	Bank 2	17Fh	Bank 3	1FFh

Unimplemented data memory locations, read as '0'.  
 \* Not a physical register.

**Note 1:** These registers are not implemented on the PIC16F876A.  
**Note 2:** These registers are reserved; maintain these registers clear.

# PIC16F87XA

## 11.0 ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER (A/D) MODULE

The Analog-to-Digital (A/D) Converter module has five inputs for the 28-pin devices and eight for the 40/44-pin devices.

The conversion of an analog input signal results in a corresponding 10-bit digital number. The A/D module has high and low-voltage reference input that is software selectable to some combination of VDD, VSS, RA2 or RA3.

The A/D converter has a unique feature of being able to operate while the device is in Sleep mode. To operate in Sleep, the A/D clock must be derived from the A/D's internal RC oscillator.

The A/D module has four registers. These registers are:

- A/D Result High Register (ADRESH)
- A/D Result Low Register (ADRESL)
- A/D Control Register 0 (ADCON0)
- A/D Control Register 1 (ADCON1)

The ADCON0 register, shown in Register 11-1, controls the operation of the A/D module. The ADCON1 register, shown in Register 11-2, configures the functions of the port pins. The port pins can be configured as analog inputs (RA3 can also be the voltage reference) or as digital I/O.

Additional information on using the A/D module can be found in the PICmicro® Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023).

### REGISTER 11-1: ADCON0 REGISTER (ADDRESS 1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
						bit 7	bit 0

bit 7-6 **ADCS1:ADCS0**: A/D Conversion Clock Select bits (ADCON0 bits in **bold**)

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion
0	00	Fosc/2
0	01	Fosc/8
0	10	Fosc/32
0	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)
1	00	Fosc/4
1	01	Fosc/16
1	10	Fosc/64
1	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

bit 5-3 **CHS2:CHS0**: Analog Channel Select bits

000 = Channel 0 (AN0)  
 001 = Channel 1 (AN1)  
 010 = Channel 2 (AN2)  
 011 = Channel 3 (AN3)  
 100 = Channel 4 (AN4)  
 101 = Channel 5 (AN5)  
 110 = Channel 6 (AN6)  
 111 = Channel 7 (AN7)

**Note:** The PIC16F873A/876A devices only implement A/D channels 0 through 4; the unimplemented selections are reserved. Do not select any unimplemented channels with these devices.

bit 2 **GO/DONE**: A/D Conversion Status bit

When ADON = 1:

1 = A/D conversion in progress (setting this bit starts the A/D conversion which is automatically cleared by hardware when the A/D conversion is complete)  
 0 = A/D conversion not in progress

bit 1 **Unimplemented**: Read as '0'

bit 0 **ADON**: A/D On bit

1 = A/D converter module is powered up  
 0 = A/D converter module is shut-off and consumes no operating current

#### Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared    x = Bit is unknown

# PIC16F87XA

## 11.1 A/D Acquisition Requirements

For the A/D converter to meet its specified accuracy, the charge holding capacitor (CHOLD) must be allowed to fully charge to the input channel voltage level. The analog input model is shown in Figure 11-2. The source impedance (RS) and the internal sampling switch impedance (RSS) directly affect the time required to charge the capacitor CHOLD. The sampling switch (RSS) impedance varies over the device voltage (VDD); see Figure 11-2. **The maximum recommended impedance for analog sources is 2.5 kΩ.** As the impedance is decreased, the acquisition time may be

decreased. After the analog input channel is selected (changed), this acquisition must be done before the conversion can be started.

To calculate the minimum acquisition time, Equation 11-1 may be used. This equation assumes that 1/2 LSB error is used (1024 steps for the A/D). The 1/2 LSB error is the maximum error allowed for the A/D to meet its specified resolution.

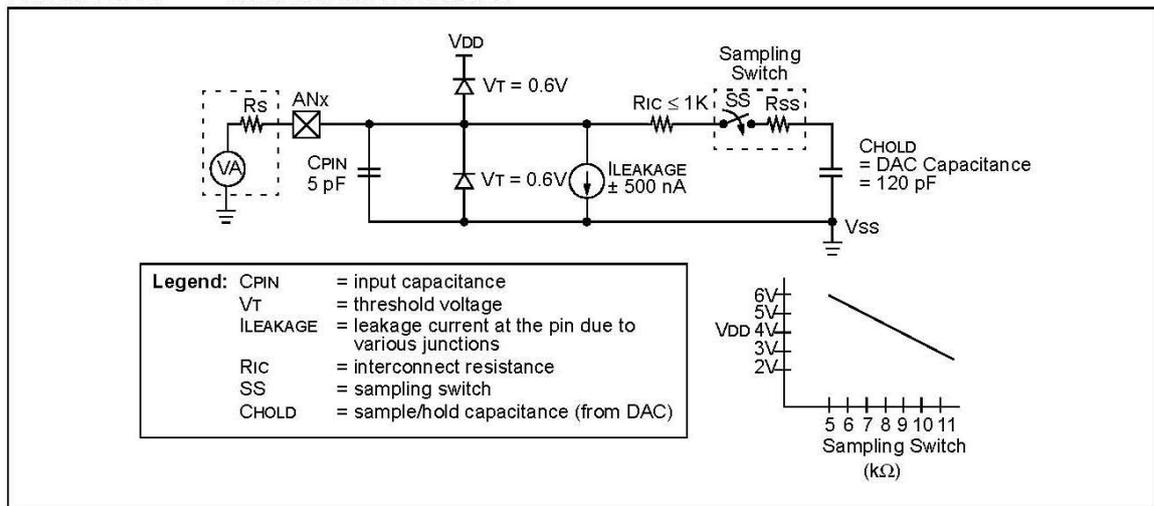
To calculate the minimum acquisition time, TACQ, see the PICmicro® Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023).

### EQUATION 11-1: ACQUISITION TIME

$$\begin{aligned}
 T_{ACQ} &= \text{Amplifier Settling Time} + \text{Hold Capacitor Charging Time} + \text{Temperature Coefficient} \\
 &= T_{AMP} + T_C + T_{COFF} \\
 &= 2 \mu s + T_C + [(Temperature - 25^\circ C)(0.05 \mu s/^\circ C)] \\
 T_C &= CHOLD (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \ln(1/2047) \\
 &= -120 \text{ pF} (1 \text{ k}\Omega + 7 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega) \ln(0.0004885) \\
 &= 16.47 \mu s \\
 T_{ACQ} &= 2 \mu s + 16.47 \mu s + [(50^\circ C - 25^\circ C)(0.05 \mu s/^\circ C)] \\
 &= 19.72 \mu s
 \end{aligned}$$

- Note 1:** The reference voltage (VREF) has no effect on the equation since it cancels itself out.
- 2:** The charge holding capacitor (CHOLD) is not discharged after each conversion.
- 3:** The maximum recommended impedance for analog sources is 2.5 kΩ. This is required to meet the pin leakage specification.

FIGURE 11-2: ANALOG INPUT MODEL



# PIC16F87XA

## 17.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### Absolute Maximum Ratings †

Ambient temperature under bias.....	-55 to +125°C
Storage temperature .....	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to VSS (except VDD, $\overline{\text{MCLR}}$ and RA4) .....	-0.3V to (VDD + 0.3V)
Voltage on VDD with respect to VSS .....	-0.3 to +7.5V
Voltage on $\overline{\text{MCLR}}$ with respect to VSS ( <b>Note 2</b> ) .....	0 to +14V
Voltage on RA4 with respect to VSS.....	0 to +8.5V
Total power dissipation ( <b>Note 1</b> ) .....	1.0W
Maximum current out of VSS pin .....	300 mA
Maximum current into VDD pin .....	250 mA
Input clamp current, I <sub>IK</sub> (V <sub>I</sub> < 0 or V <sub>I</sub> > VDD).....	± 20 mA
Output clamp current, I <sub>OK</sub> (V <sub>O</sub> < 0 or V <sub>O</sub> > VDD).....	± 20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin.....	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin .....	25 mA
Maximum current sunk by PORTA, PORTB and PORTE (combined) ( <b>Note 3</b> ).....	200 mA
Maximum current sourced by PORTA, PORTB and PORTE (combined) ( <b>Note 3</b> ).....	200 mA
Maximum current sunk by PORTC and PORTD (combined) ( <b>Note 3</b> ) .....	200 mA
Maximum current sourced by PORTC and PORTD (combined) ( <b>Note 3</b> ) .....	200 mA

- Note 1:** Power dissipation is calculated as follows:  $P_{dis} = V_{DD} \times \{I_{DD} - \sum I_{OH}\} + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$
- 2:** Voltage spikes below VSS at the  $\overline{\text{MCLR}}$  pin, inducing currents greater than 80 mA, may cause latch-up. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a "low" level to the  $\overline{\text{MCLR}}$  pin rather than pulling this pin directly to VSS.
- 3:** PORTD and PORTE are not implemented on PIC16F873A/876A devices.

† NOTICE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

# PIC16F87XA

## 17.1 DC Characteristics: PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended) PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial)

PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial					
PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ for extended					
Param No.	Symbol	Characteristic/ Device	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
D001	VDD	<b>Supply Voltage</b>					
		16LF87XA	2.0	—	5.5	V	All configurations (DC to 10 MHz)
D001 D001A		16F87XA	4.0	—	5.5	V	All configurations
		VBOR			5.5	V	BOR enabled, FMAX = 14 MHz <sup>(7)</sup>
D002	VDR	<b>RAM Data Retention Voltage<sup>(1)</sup></b>	—	1.5	—	V	
D003	VPOR	<b>VDD Start Voltage</b> to ensure internal Power-on Reset signal	—	VSS	—	V	See Section 14.5 “Power-on Reset (POR)” for details
D004	SVDD	<b>VDD Rise Rate</b> to ensure internal Power-on Reset signal	0.05	—	—	V/ms	See Section 14.5 “Power-on Reset (POR)” for details
D005	VBOR	<b>Brown-out Reset Voltage</b>	3.65	4.0	4.35	V	BODEN bit in configuration word enabled

**Legend:** Rows with standard voltage device data only are shaded for improved readability.

† Data in “Typ” column is at 5V, 25°C, unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

**Note 1:** This is the limit to which VDD can be lowered without losing RAM data.

**2:** The supply current is mainly a function of the operating voltage and frequency. Other factors, such as I/O pin loading, switching rate, oscillator type, internal code execution pattern and temperature, also have an impact on the current consumption.

The test conditions for all IDD measurements in active operation mode are:

OSC1 = external square wave, from rail-to-rail; all I/O pins tri-stated, pulled to VDD;

MCLR = VDD; WDT enabled/disabled as specified.

**3:** The power-down current in Sleep mode does not depend on the oscillator type. Power-down current is measured with the part in Sleep mode, with all I/O pins in high-impedance state and tied to VDD and VSS.

**4:** For RC osc configuration, current through REXT is not included. The current through the resistor can be estimated by the formula  $I_r = VDD/2REXT$  (mA) with REXT in kΩ.

**5:** Timer1 oscillator (when enabled) adds approximately 20 μA to the specification. This value is from characterization and is for design guidance only. This is not tested.

**6:** The Δ current is the additional current consumed when this peripheral is enabled. This current should be added to the base IDD or IPD measurement.

**7:** When BOR is enabled, the device will operate correctly until the VBOR voltage trip point is reached.

# PIC16F87XA

## 17.1 DC Characteristics: PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended) PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial) (Continued)

PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial					
PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ for extended					
Param No.	Symbol	Characteristic/ Device	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
D010	IDD	Supply Current <sup>(2,5)</sup>					
		16LF87XA	—	0.6	2.0	mA	XT, RC osc configurations, Fosc = 4 MHz, VDD = 3.0V
D010		16F87XA	—	1.6	4	mA	XT, RC osc configurations, Fosc = 4 MHz, VDD = 5.5V
D010A		16LF87XA	—	20	35	μA	LP osc configuration, Fosc = 32 kHz, VDD = 3.0V, WDT disabled
D013		16F87XA	—	7	15	mA	HS osc configuration, Fosc = 20 MHz, VDD = 5.5V
D015	ΔIBOR	Brown-out Reset Current <sup>(6)</sup>	—	85	200	μA	BOR enabled, VDD = 5.0V

**Legend:** Rows with standard voltage device data only are shaded for improved readability.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C, unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

**Note 1:** This is the limit to which VDD can be lowered without losing RAM data.

**2:** The supply current is mainly a function of the operating voltage and frequency. Other factors, such as I/O pin loading, switching rate, oscillator type, internal code execution pattern and temperature, also have an impact on the current consumption.

The test conditions for all IDD measurements in active operation mode are:

OSC1 = external square wave, from rail-to-rail; all I/O pins tri-stated, pulled to VDD;

MCLR = VDD; WDT enabled/disabled as specified.

**3:** The power-down current in Sleep mode does not depend on the oscillator type. Power-down current is measured with the part in Sleep mode, with all I/O pins in high-impedance state and tied to VDD and VSS.

**4:** For RC osc configuration, current through REXT is not included. The current through the resistor can be estimated by the formula  $I_r = VDD/2REXT$  (mA) with REXT in kΩ.

**5:** Timer1 oscillator (when enabled) adds approximately 20 μA to the specification. This value is from characterization and is for design guidance only. This is not tested.

**6:** The Δ current is the additional current consumed when this peripheral is enabled. This current should be added to the base IDD or IPD measurement.

**7:** When BOR is enabled, the device will operate correctly until the VBOR voltage trip point is reached.

# PIC16F87XA

## 17.1 DC Characteristics: PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended) PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial) (Continued)

PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial					
PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ for extended					
Param No.	Symbol	Characteristic/ Device	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
D020	IPD	<b>Power-down Current<sup>(3,5)</sup></b>					
		16LF87XA	—	7.5	30	$\mu\text{A}$	$V_{DD} = 3.0\text{V}$ , WDT enabled, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
D020		16F87XA	—	10.5	42	$\mu\text{A}$	$V_{DD} = 4.0\text{V}$ , WDT enabled, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
					60	$\mu\text{A}$	$V_{DD} = 4.0\text{V}$ , WDT enabled, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$ (extended)
D021		16LF87XA	—	0.9	5	$\mu\text{A}$	$V_{DD} = 3.0\text{V}$ , WDT disabled, $0^{\circ}\text{C}$ to $+70^{\circ}\text{C}$
D021		16F87XA	—	1.5	16	$\mu\text{A}$	$V_{DD} = 4.0\text{V}$ , WDT disabled, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
					20	$\mu\text{A}$	$V_{DD} = 4.0\text{V}$ , WDT disabled, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$ (extended)
D021A		16LF87XA		0.9	5	$\mu\text{A}$	$V_{DD} = 3.0\text{V}$ , WDT disabled, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
D021A		16F87XA		1.5	19	$\mu\text{A}$	$V_{DD} = 4.0\text{V}$ , WDT disabled, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
D023	$\Delta\text{IBOR}$	<b>Brown-out Reset Current<sup>(6)</sup></b>	—	85	200	$\mu\text{A}$	BOR enabled, $V_{DD} = 5.0\text{V}$

**Legend:** Rows with standard voltage device data only are shaded for improved readability.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C, unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

**Note 1:** This is the limit to which  $V_{DD}$  can be lowered without losing RAM data.

**2:** The supply current is mainly a function of the operating voltage and frequency. Other factors, such as I/O pin loading, switching rate, oscillator type, internal code execution pattern and temperature, also have an impact on the current consumption.

The test conditions for all  $I_{DD}$  measurements in active operation mode are:

$\text{OSC1} =$  external square wave, from rail-to-rail; all I/O pins tri-stated, pulled to  $V_{DD}$ ;

$\text{MCLR} = V_{DD}$ ; WDT enabled/disabled as specified.

**3:** The power-down current in Sleep mode does not depend on the oscillator type. Power-down current is measured with the part in Sleep mode, with all I/O pins in high-impedance state and tied to  $V_{DD}$  and  $V_{SS}$ .

**4:** For RC osc configuration, current through REXT is not included. The current through the resistor can be estimated by the formula  $I_r = V_{DD}/2R_{EXT}$  (mA) with  $R_{EXT}$  in  $k\Omega$ .

**5:** Timer1 oscillator (when enabled) adds approximately 20  $\mu\text{A}$  to the specification. This value is from characterization and is for design guidance only. This is not tested.

**6:** The  $\Delta$  current is the additional current consumed when this peripheral is enabled. This current should be added to the base  $I_{DD}$  or  $I_{PD}$  measurement.

**7:** When BOR is enabled, the device will operate correctly until the  $V_{BOR}$  voltage trip point is reached.

# PIC16F87XA

## 17.2 DC Characteristics: PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended) PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial)

DC CHARACTERISTICS			Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ for extended Operating voltage $V_{DD}$ range as described in DC specification (Section 17.1)				
Param No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
	$V_{IL}$	<b>Input Low Voltage</b>					
D030		I/O ports: with TTL buffer	$V_{SS}$	—	$0.15 V_{DD}$	V	For entire $V_{DD}$ range
D030A			$V_{SS}$	—	0.8V	V	$4.5V \leq V_{DD} \leq 5.5V$
D031		with Schmitt Trigger buffer	$V_{SS}$	—	$0.2 V_{DD}$	V	
D032		$\overline{\text{MCLR}}$ , OSC1 (in RC mode)	$V_{SS}$	—	$0.2 V_{DD}$	V	
D033		OSC1 (in XT and LP modes)	$V_{SS}$	—	0.3V	V	(Note 1)
		OSC1 (in HS mode)	$V_{SS}$	—	$0.3 V_{DD}$	V	
D034		Ports RC3 and RC4: with Schmitt Trigger buffer	$V_{SS}$	—	$0.3 V_{DD}$	V	For entire $V_{DD}$ range
D034A		with SMBus	-0.5	—	0.6	V	For $V_{DD} = 4.5$ to $5.5V$
	$V_{IH}$	<b>Input High Voltage</b>					
D040		I/O ports: with TTL buffer	2.0	—	$V_{DD}$	V	$4.5V \leq V_{DD} \leq 5.5V$
D040A			$0.25 V_{DD} + 0.8V$	—	$V_{DD}$	V	For entire $V_{DD}$ range
D041		with Schmitt Trigger buffer	$0.8 V_{DD}$	—	$V_{DD}$	V	For entire $V_{DD}$ range
D042		$\overline{\text{MCLR}}$	$0.8 V_{DD}$	—	$V_{DD}$	V	
D042A		OSC1 (in XT and LP modes)	1.6V	—	$V_{DD}$	V	(Note 1)
		OSC1 (in HS mode)	$0.7 V_{DD}$	—	$V_{DD}$	V	
D043		OSC1 (in RC mode)	$0.9 V_{DD}$	—	$V_{DD}$	V	
D044		Ports RC3 and RC4: with Schmitt Trigger buffer	$0.7 V_{DD}$	—	$V_{DD}$	V	For entire $V_{DD}$ range
D044A		with SMBus	1.4	—	5.5	V	For $V_{DD} = 4.5$ to $5.5V$
D070	IPURB	<b>PORTB Weak Pull-up Current</b>	50	250	400	$\mu\text{A}$	$V_{DD} = 5V$ , $V_{PIN} = V_{SS}$ , $-40^{\circ}\text{C}$ TO $+85^{\circ}\text{C}$
	$I_{IL}$	<b>Input Leakage Current<sup>(2, 3)</sup></b>					
D060		I/O ports	—	—	$\pm 1$	$\mu\text{A}$	$V_{SS} \leq V_{PIN} \leq V_{DD}$ , pin at high-impedance
D061		$\overline{\text{MCLR}}$ , RA4/T0CKI	—	—	$\pm 5$	$\mu\text{A}$	$V_{SS} \leq V_{PIN} \leq V_{DD}$
D063		OSC1	—	—	$\pm 5$	$\mu\text{A}$	$V_{SS} \leq V_{PIN} \leq V_{DD}$ , XT, HS and LP osc configuration

\* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

**Note 1:** In RC oscillator configuration, the OSC1/CLKI pin is a Schmitt Trigger input. It is not recommended that the PIC16F87XA be driven with external clock in RC mode.

**Note 2:** The leakage current on the  $\overline{\text{MCLR}}$  pin is strongly dependent on the applied voltage level. The specified levels represent normal operating conditions. Higher leakage current may be measured at different input voltages.

**Note 3:** Negative current is defined as current sourced by the pin.

# PIC16F87XA

## 17.2 DC Characteristics: PIC16F873A/874A/876A/877A (Industrial, Extended) PIC16LF873A/874A/876A/877A (Industrial) (Continued)

DC CHARACTERISTICS			Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$ for extended Operating voltage VDD range as described in DC specification (Section 17.1)					
Param No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions	
D080	VOL	<b>Output Low Voltage</b>						
		I/O ports	—	—	0.6	V	I <sub>OL</sub> = 8.5 mA, VDD = 4.5V, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$	
D083		OSC2/CLKO (RC osc config)	—	—	0.6	V	I <sub>OL</sub> = 1.6 mA, VDD = 4.5V, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$	
D090	VOH	<b>Output High Voltage</b>						
		I/O ports <sup>(3)</sup>	VDD - 0.7	—	—	V	I <sub>OH</sub> = -3.0 mA, VDD = 4.5V, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$	
D092		OSC2/CLKO (RC osc config)	VDD - 0.7	—	—	V	I <sub>OH</sub> = -1.3 mA, VDD = 4.5V, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$	
D150*	VOD	<b>Open-Drain High Voltage</b>	—	—	8.5	V	RA4 pin	
D100	Cosc2	<b>Capacitive Loading Specs on Output Pins</b>						
		OSC2 pin	—	—	15	pF	In XT, HS and LP modes when external clock is used to drive OSC1	
		All I/O pins and OSC2 (RC mode)	—	—	50	pF		
D101	Cio	All I/O pins and OSC2 (RC mode)	—	—	50	pF		
D102	CB	SCL, SDA (I <sup>2</sup> C mode)	—	—	400	pF		
D120	Ed	<b>Data EEPROM Memory</b>						
		Endurance	100K	1M	—	E/W	$-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$	
		VDRW	VDD for read/write	V <sub>MIN</sub>	—	5.5	V	Using EECON to read/write, V <sub>MIN</sub> = min. operating voltage
D122	TDEW	Erase/write cycle time	—	4	8	ms		
D130	EP	<b>Program Flash Memory</b>						
		Endurance	10K	100K	—	E/W	$-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$	
		VPR	VDD for read	V <sub>MIN</sub>	—	5.5	V	V <sub>MIN</sub> = min. operating voltage
		D132A	VDD for erase/write	V <sub>MIN</sub>	—	5.5	V	Using EECON to read/write, V <sub>MIN</sub> = min. operating voltage
D133	TPEW	Erase/Write cycle time	—	4	8	ms		

\* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

- Note 1:** In RC oscillator configuration, the OSC1/CLKI pin is a Schmitt Trigger input. It is not recommended that the PIC16F87XA be driven with external clock in RC mode.
- Note 2:** The leakage current on the MCLR pin is strongly dependent on the applied voltage level. The specified levels represent normal operating conditions. Higher leakage current may be measured at different input voltages.
- Note 3:** Negative current is defined as current sourced by the pin.

# PIC16F87XA

**TABLE 17-14: A/D CONVERTER CHARACTERISTICS: PIC16F873A/874A/876A/877A (INDUSTRIAL)  
PIC16LF873A/874A/876A/877A (INDUSTRIAL)**

Param No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions	
A01	NR	Resolution	—	—	10-bits	bit	$V_{REF} = V_{DD} = 5.12V$ , $V_{SS} \leq V_{AIN} \leq V_{REF}$	
A03	EIL	Integral Linearity Error	—	—	$< \pm 1$	LSb	$V_{REF} = V_{DD} = 5.12V$ , $V_{SS} \leq V_{AIN} \leq V_{REF}$	
A04	EDL	Differential Linearity Error	—	—	$< \pm 1$	LSb	$V_{REF} = V_{DD} = 5.12V$ , $V_{SS} \leq V_{AIN} \leq V_{REF}$	
A06	E0FF	Offset Error	—	—	$< \pm 2$	LSb	$V_{REF} = V_{DD} = 5.12V$ , $V_{SS} \leq V_{AIN} \leq V_{REF}$	
A07	EGN	Gain Error	—	—	$< \pm 1$	LSb	$V_{REF} = V_{DD} = 5.12V$ , $V_{SS} \leq V_{AIN} \leq V_{REF}$	
A10	—	Monotonicity	—	guaranteed <sup>(3)</sup>	—	—	$V_{SS} \leq V_{AIN} \leq V_{REF}$	
A20	VREF	Reference Voltage ( $V_{REF+} - V_{REF-}$ )	2.0	—	$V_{DD} + 0.3$	V		
A21	VREF+	Reference Voltage High	$AV_{DD} - 2.5V$	—	$AV_{DD} + 0.3V$	V		
A22	VREF-	Reference Voltage Low	$AV_{SS} - 0.3V$	—	$V_{REF+} - 2.0V$	V		
A25	VAIN	Analog Input Voltage	$V_{SS} - 0.3V$	—	$V_{REF} + 0.3V$	V		
A30	ZAIN	Recommended Impedance of Analog Voltage Source	—	—	2.5	k $\Omega$	(Note 4)	
A40	IAD	A/D Conversion Current ( $V_{DD}$ )	PIC16F87XA	—	220	—	$\mu A$	Average current consumption when A/D is on (Note 1)
			PIC16LF87XA	—	90	—	$\mu A$	
A50	IREF	VREF Input Current (Note 2)	—	—	5	$\mu A$	During VAIN acquisition. Based on differential of $V_{HOLD}$ to VAIN to charge $CHOLD$ , see Section 11.1 "A/D Acquisition Requirements".	
			—	—	150	$\mu A$	During A/D conversion cycle	

\* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

**Note 1:** When A/D is off, it will not consume any current other than minor leakage current. The power-down current spec includes any such leakage from the A/D module.

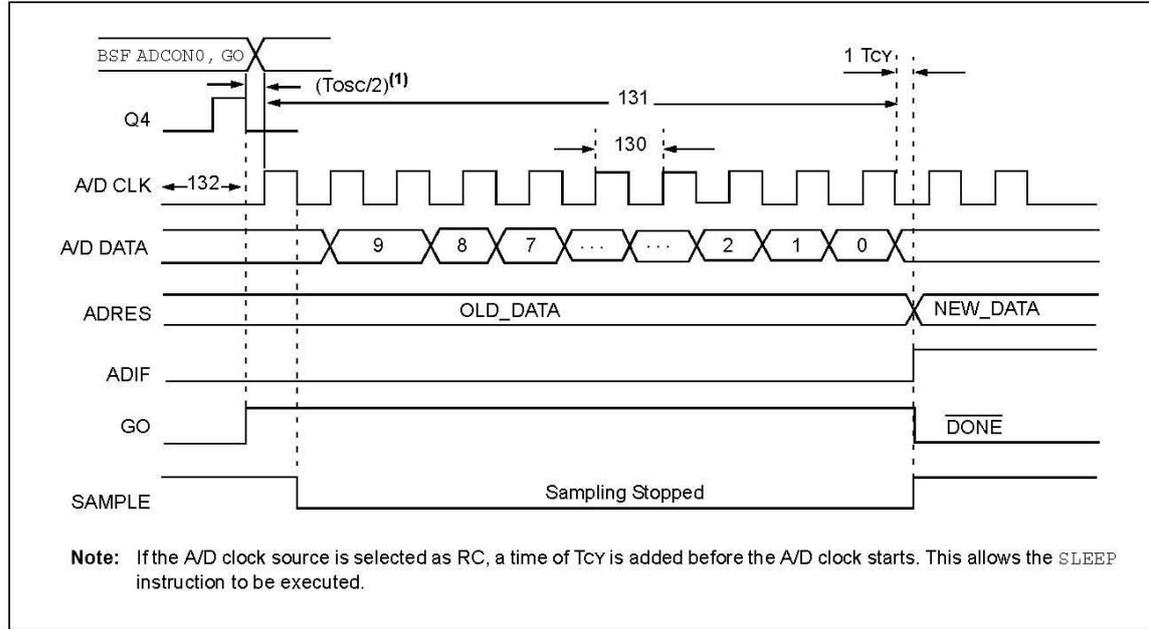
**Note 2:** VREF current is from RA3 pin or VDD pin, whichever is selected as reference input.

**Note 3:** The A/D conversion result never decreases with an increase in the input voltage and has no missing codes.

**Note 4:** Maximum allowed impedance for analog voltage source is 10 k $\Omega$ . This requires higher acquisition time.

# PIC16F87XA

**FIGURE 17-19: A/D CONVERSION TIMING**



**TABLE 17-15: A/D CONVERSION REQUIREMENTS**

Param No.	Symbol	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions	
130	TAD	A/D Clock Period	PIC16F87XA	1.6	—	—	μs	Tosc based, $V_{REF} \geq 3.0V$
			PIC16LF87XA	3.0	—	—	μs	Tosc based, $V_{REF} \geq 2.0V$
			PIC16F87XA	2.0	4.0	6.0	μs	A/D RC mode
			PIC16LF87XA	3.0	6.0	9.0	μs	A/D RC mode
131	Tcnv	Conversion Time (not including S/H time) (Note 1)		—	12	TAD		
132	TAcq	Acquisition Time	(Note 2)	40	—	μs	The minimum time is the amplifier settling time. This may be used if the "new" input voltage has not changed by more than 1 LSB (i.e., 20.0 mV @ 5.12V) from the last sampled voltage (as stated on CHOLD).	
			10*	—	—	μs		
134	Tgo	Q4 to A/D Clock Start	—	$T_{osc}/2$ §	—	—	If the A/D clock source is selected as RC, a time of $T_{cy}$ is added before the A/D clock starts. This allows the <code>SLEEP</code> instruction to be executed.	

\* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

§ This specification ensured by design.

**Note 1:** ADRES register may be read on the following  $T_{cy}$  cycle.

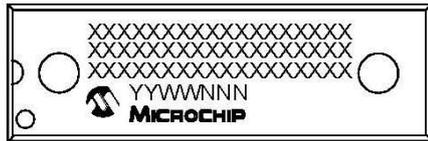
**Note 2:** See Section 11.1 "A/D Acquisition Requirements" for minimum conditions.

# PIC16F87XA

## 19.0 PACKAGING INFORMATION

### 19.1 Package Marking Information

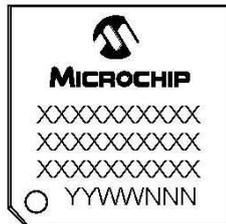
40-Lead PDIP



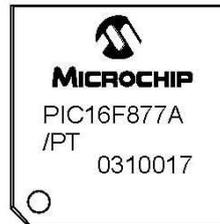
Example



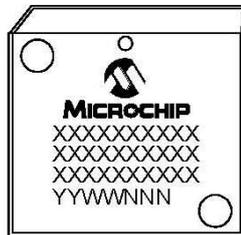
44-Lead TQFP



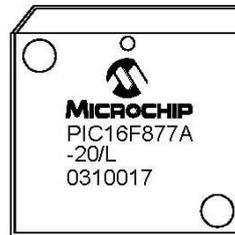
Example



44-Lead PLCC



Example

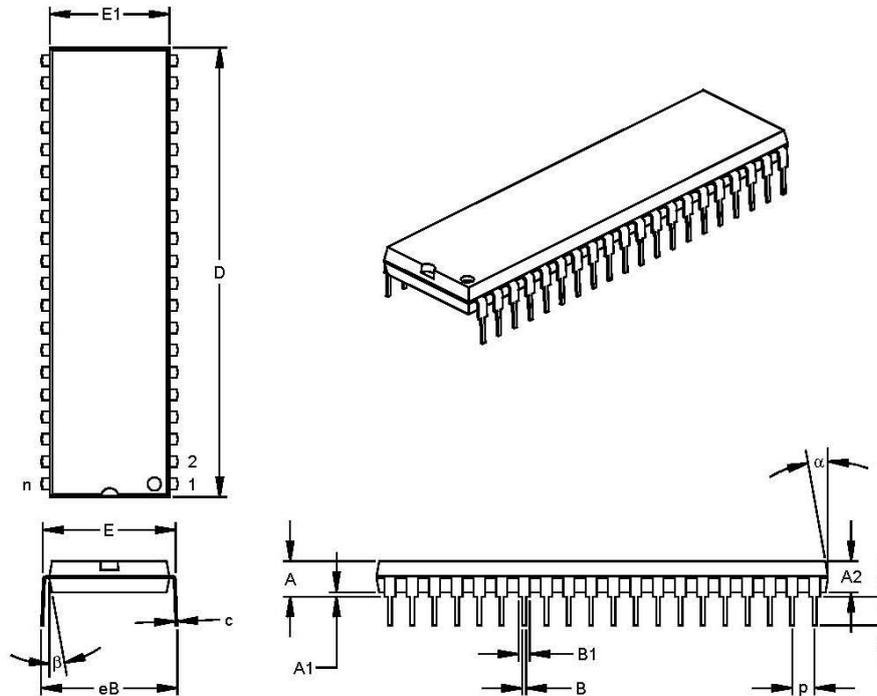


<b>Legend:</b>	XX...X	Customer specific information*
	Y	Year code (last digit of calendar year)
	YY	Year code (last 2 digits of calendar year)
	WW	Week code (week of January 1 is week '01')
	NNN	Alphanumeric traceability code
<b>Note:</b> In the event the full Microchip part number cannot be marked on one line, it will be carried over to the next line thus limiting the number of available characters for customer specific information.		

\* Standard PICmicro device marking consists of Microchip part number, year code, week code, and traceability code. For PICmicro device marking beyond this, certain price adders apply. Please check with your Microchip Sales Office. For QTP devices, any special marking adders are included in QTP price.

# PIC16F87XA

## 40-Lead Plastic Dual In-line (P) – 600 mil (PDIP)



Dimension Limits	Units	INCHES*			MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
Number of Pins	n		40			40	
Pitch	P		.100			2.54	
Top to Seating Plane	A	.160	.175	.190	4.06	4.45	4.83
Molded Package Thickness	A2	.140	.150	.160	3.56	3.81	4.06
Base to Seating Plane	A1	.015			0.38		
Shoulder to Shoulder Width	E	.595	.600	.625	15.11	15.24	15.88
Molded Package Width	E1	.530	.545	.560	13.46	13.84	14.22
Overall Length	D	2.045	2.058	2.065	51.94	52.26	52.45
Tip to Seating Plane	L	.120	.130	.135	3.05	3.30	3.43
Lead Thickness	c	.008	.012	.015	0.20	0.29	0.38
Upper Lead Width	B1	.030	.050	.070	0.76	1.27	1.78
Lower Lead Width	B	.014	.018	.022	0.36	0.46	0.56
Overall Row Spacing	§ eB	.620	.650	.680	15.75	16.51	17.27
Mold Draft Angle Top	α	5	10	15	5	10	15
Mold Draft Angle Bottom	β	5	10	15	5	10	15

\* Controlling Parameter  
 § Significant Characteristic

Notes:

Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" (0.254mm) per side.

JEDEC Equivalent: MO-011

Drawing No. C04-016



May 1999

# DAC0808 8-Bit D/A Converter

## General Description

The DAC0808 is an 8-bit monolithic digital-to-analog converter (DAC) featuring a full scale output current settling time of 150 ns while dissipating only 33 mW with  $\pm 5V$  supplies. No reference current ( $I_{REF}$ ) trimming is required for most applications since the full scale output current is typically  $\pm 1$  LSB of  $255 I_{REF}/256$ . Relative accuracies of better than  $\pm 0.19\%$  assure 8-bit monotonicity and linearity while zero level output current of less than  $4 \mu A$  provides 8-bit zero accuracy for  $I_{REF} \geq 2$  mA. The power supply currents of the DAC0808 is independent of bit codes, and exhibits essentially constant device characteristics over the entire supply voltage range.

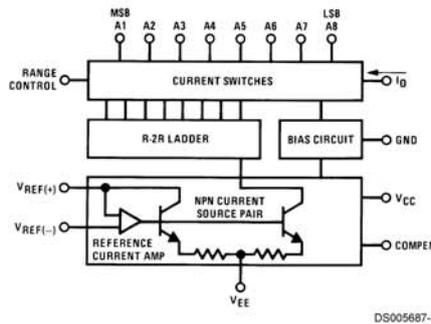
The DAC0808 will interface directly with popular TTL, DTL or CMOS logic levels, and is a direct replacement for the MC1508/MC1408. For higher speed applications, see DAC0800 data sheet.

## Features

- Relative accuracy:  $\pm 0.19\%$  error maximum
- Full scale current match:  $\pm 1$  LSB typ
- Fast settling time: 150 ns typ
- Noninverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
- High speed multiplying input slew rate: 8 mA/ $\mu s$
- Power supply voltage range:  $\pm 4.5V$  to  $\pm 18V$
- Low power consumption: 33 mW @  $\pm 5V$

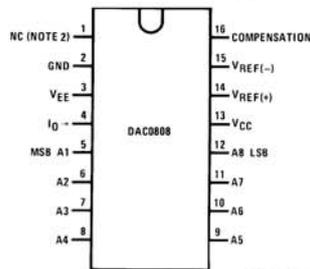
DAC0808 8-Bit D/A Converter

## Block and Connection Diagrams



DS005687-1

### Dual-In-Line Package

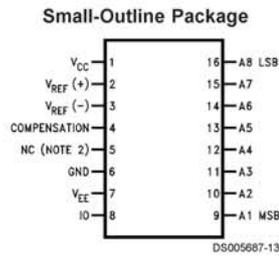


DS005687-2

Top View  
Order Number DAC0808  
See NS Package M16A or N16A

DAC0808

**Block and Connection Diagrams** (Continued)



**Ordering Information**

ACCURACY	OPERATING TEMPERATURE RANGE	N PACKAGE (N16A) (Note 1)		SO PACKAGE (M16A)
		DAC0808LCN	MC1408P8	DAC0808LCM
8-bit	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +75°C			

Note 1: Devices may be ordered by using either order number.

DAC0808

<b>Absolute Maximum Ratings</b> (Note 2)		Storage Temperature Range	-65°C to +150°C			
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.		Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	Dual-In-Line Package (Plastic) 260°C Dual-In-Line Package (Ceramic) 300°C			
Power Supply Voltage		Surface Mount Package	Vapor Phase (60 seconds) 215°C Infrared (15 seconds) 220°C			
$V_{CC}$	+18 V <sub>DC</sub>	<b>Operating Ratings</b>				
$V_{EE}$	-18 V <sub>DC</sub>	Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ 0 ≤ T <sub>A</sub> ≤ +75°C			
Digital Input Voltage, V5-V12	-10 V <sub>DC</sub> to +18 V <sub>DC</sub>	DAC0808				
Applied Output Voltage, V <sub>O</sub>	-11 V <sub>DC</sub> to +18 V <sub>DC</sub>					
Reference Current, I <sub>R14</sub>	5 mA					
Reference Amplifier Inputs, V14, V15	V <sub>CC</sub> , V <sub>EE</sub>					
Power Dissipation (Note 4)	1000 mW					
ESD Susceptibility (Note 5)	TBD					
<b>Electrical Characteristics</b>						
(V <sub>CC</sub> = 5V, V <sub>EE</sub> = -15 V <sub>DC</sub> , V <sub>REF</sub> /R14 = 2 mA, and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
E <sub>r</sub>	Relative Accuracy (Error Relative to Full Scale I <sub>O</sub> )	(Figure 4)				%
	DAC0808LC (LM1408-8)				±0.19	%
	Settling Time to Within ½ LSB (Includes t <sub>PLH</sub> )	T <sub>A</sub> = 25°C (Note 7), (Figure 5)		150		ns
t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay Time	T <sub>A</sub> = 25°C, (Figure 5)		30	100	ns
TCI <sub>O</sub>	Output Full Scale Current Drift			±20		ppm/°C
MSB	Digital Input Logic Levels	(Figure 3)				
V <sub>IH</sub>	High Level, Logic "1"		2			V <sub>DC</sub>
V <sub>IL</sub>	Low Level, Logic "0"				0.8	V <sub>DC</sub>
MSB	Digital Input Current	(Figure 3)				
	High Level	V <sub>IH</sub> = 5V		0	0.040	mA
	Low Level	V <sub>IL</sub> = 0.8V		-0.003	-0.8	mA
I <sub>I5</sub>	Reference Input Bias Current	(Figure 3)		-1	-3	µA
	Output Current Range	(Figure 3)				
		V <sub>EE</sub> = -5V	0	2.0	2.1	mA
		V <sub>EE</sub> = -15V, T <sub>A</sub> = 25°C	0	2.0	4.2	mA
I <sub>O</sub>	Output Current	V <sub>REF</sub> = 2.000V, R14 = 1000Ω, (Figure 3)	1.9	1.99	2.1	mA
	Output Current, All Bits Low	(Figure 3)		0	4	µA
	Output Voltage Compliance (Note 3)	E <sub>r</sub> ≤ 0.19%, T <sub>A</sub> = 25°C				
		V <sub>EE</sub> = -5V, I <sub>REF</sub> = 1 mA			-0.55, +0.4	V <sub>DC</sub>
		V <sub>EE</sub> Below -10V			-5.0, +0.4	V <sub>DC</sub>
SRI <sub>REF</sub>	Reference Current Slew Rate	(Figure 6)	4	8		mA/µs
	Output Current Power Supply Sensitivity	-5V ≤ V <sub>EE</sub> ≤ -16.5V		0.05	2.7	µA/V
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current (All Bits Low)	(Figure 3)		2.3	22	mA
I <sub>EE</sub>				-4.3	-13	mA
V <sub>CC</sub>	Power Supply Voltage Range	T <sub>A</sub> = 25°C, (Figure 3)	4.5	5.0	5.5	V <sub>DC</sub>
V <sub>EE</sub>			-4.5	-15	-16.5	V <sub>DC</sub>
	Power Dissipation					

DAC0808

### Electrical Characteristics (Continued)

( $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{EE} = -15V$ ,  $V_{DC}$ ,  $V_{REF}/R_{14} = 2\text{ mA}$ , and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	All Bits Low	$V_{CC} = 5V$ , $V_{EE} = -5V$		33	170	mW
		$V_{CC} = 5V$ , $V_{EE} = -15V$		106	305	mW
	All Bits High	$V_{CC} = 15V$ , $V_{EE} = -5V$		90		mW
		$V_{CC} = 15V$ , $V_{EE} = -15V$		160		mW

**Note 2:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

**Note 3:** Range control is not required.

**Note 4:** The maximum power dissipation must be derated at elevated temperatures and is dictated by  $T_{JMAX}$ ,  $\theta_{JA}$ , and the ambient temperature,  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any temperature is  $P_D = (T_{JMAX} - T_A)/\theta_{JA}$  or the number given in the Absolute Maximum Ratings, whichever is lower. For this device,  $T_{JMAX} = 125^\circ\text{C}$ , and the typical junction-to-ambient thermal resistance of the dual-in-line J package when the board mounted is  $100^\circ\text{C/W}$ . For the dual-in-line N package, this number increases to  $175^\circ\text{C/W}$  and for the small outline M package this number is  $100^\circ\text{C/W}$ .

**Note 5:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

**Note 6:** All current switches are tested to guarantee at least 50% of rated current.

**Note 7:** All bits switched.

**Note 8:** Pin-out numbers for the DAL080X represent the dual-in-line package. The small outline package pinout differs from the dual-in-line package.

### Typical Application

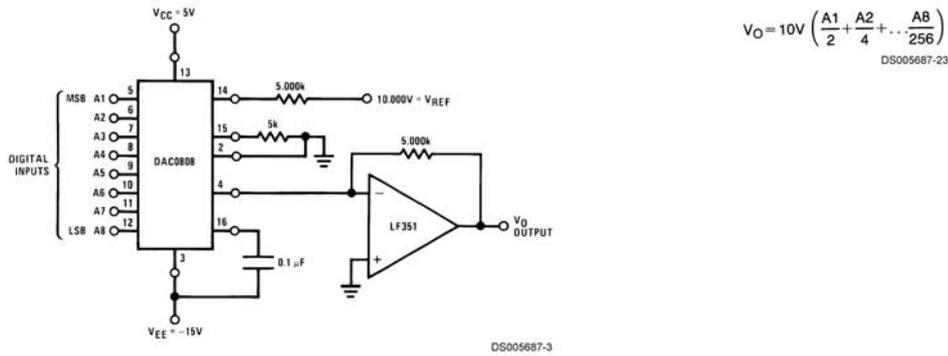
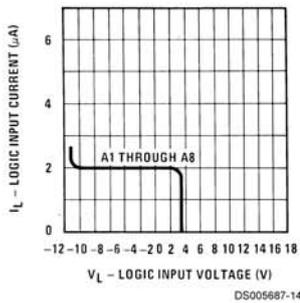


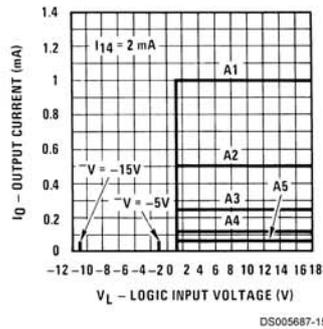
FIGURE 1. +10V Output Digital to Analog Converter (Note 8)

### Typical Performance Characteristics $V_{CC} = 5V$ , $V_{EE} = -15V$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted

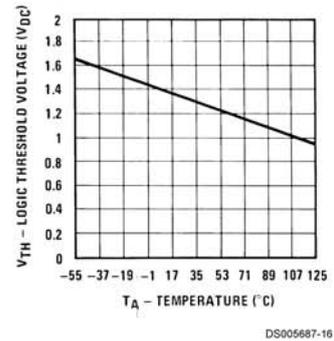
Logic Input Current vs Input Voltage



Bit Transfer Characteristics

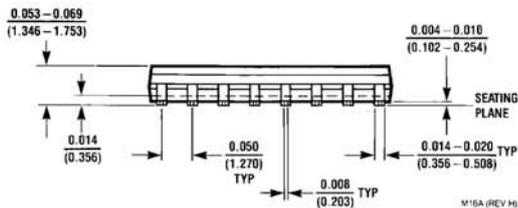
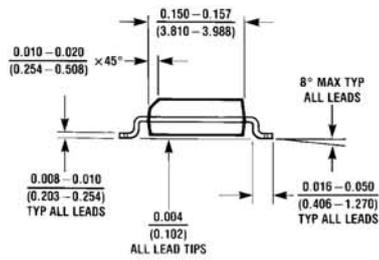
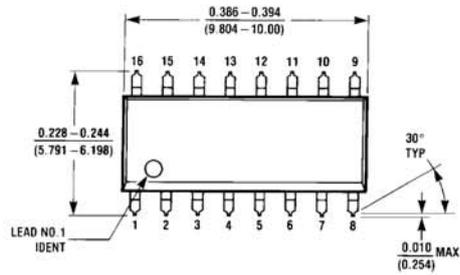


Logic Threshold Voltage vs Temperature

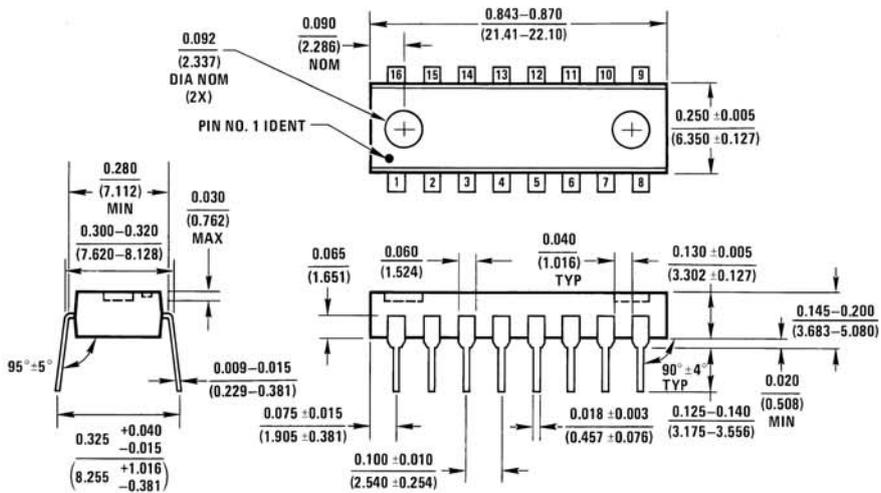


DAC0808

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted



**Small Outline Package**  
**Order Number DAC0808LCM**  
**NS Package Number M16A**



**Dual-In-Line Package**  
**Order Number DAC0808**  
**NS Package Number N16A**



August 2004

## LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER® 3A Step-Down Voltage Regulator

### General Description

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The LM2576 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in some cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed  $\pm 4\%$  tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and  $\pm 10\%$  on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50  $\mu\text{A}$  (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

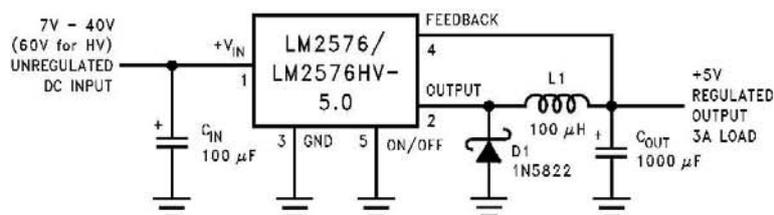
### Features

- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.23V to 37V (57V for HV version)  $\pm 4\%$  max over line and load conditions
- Guaranteed 3A output current
- Wide input voltage range, 40V up to 60V for HV version
- Requires only 4 external components
- 52 kHz fixed frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability, low power standby mode
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection
- P+ Product Enhancement tested

### Applications

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- Efficient pre-regulator for linear regulators
- On-card switching regulators
- Positive to negative converter (Buck-Boost)

### Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)



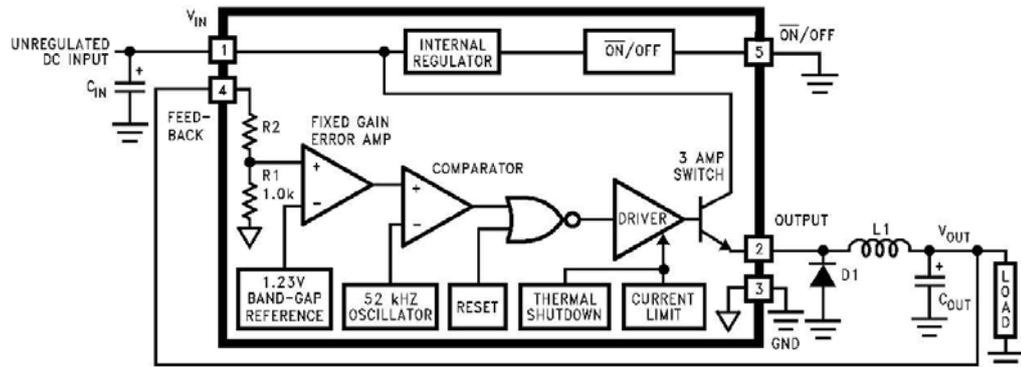
01147601

FIGURE 1.

SIMPLE SWITCHER® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

LM2576/LM2576HV

**Block Diagram**



3.3V, R2 = 1.7k  
 5V, R2 = 3.1k  
 12V, R2 = 8.84k  
 15V, R2 = 11.3k  
 For ADJ. Version  
 R1 = Open, R2 = 0Ω  
 Patent Pending

**Ordering Information**

Temperature Range	Output Voltage					NS Package Number	Package Type
	3.3	5.0	12	15	ADJ		
-40°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ 125°C	LM2576HVS-3.3	LM2576HVS-5.0	LM2576HVS-12	LM2576HVS-15	LM2576HVS-ADJ	TS5B	TO-263
	LM2576S-3.3	LM2576S-5.0	LM2576S-12	LM2576S-15	LM2576S-ADJ		
	LM2576HVSX-3.3	LM2576HVSX-5.0	LM2576HVSX-12	LM2576HVSX-15	LM2576HVSX-ADJ	TS5B	TO-220
	LM2576SX-3.3	LM2576SX-5.0	LM2576SX-12	LM2576SX-15	LM2576SX-ADJ	Tape & Reel	
	LM2576HVT-3.3	LM2576HVT-5.0	LM2576HVT-12	LM2576HVT-15	LM2576HVT-ADJ	T05A	
	LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ		
	LM2576HVT-3.3	LM2576HVT-5.0	LM2576HVT-12	LM2576HVT-15	LM2576HVT-ADJ	T05D	
	LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ		
Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03			
LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ			
Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03			

Absolute Maximum Ratings (Note 1)		Minimum ESD Rating			
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.		(C = 100 pF, R = 1.5 kΩ)	2 kV		
Maximum Supply Voltage		Lead Temperature (Soldering, 10 Seconds)	260°C		
LM2576	45V	<b>Operating Ratings</b>			
LM2576HV	63V	Temperature Range	LM2576/LM2576HV $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$		
$\overline{\text{ON}}$ /OFF Pin Input Voltage	$-0.3\text{V} \leq V \leq +V_{\text{IN}}$	Supply Voltage	LM2576 40V		
Output Voltage to Ground (Steady State)	-1V	LM2576HV	60V		
Power Dissipation	Internally Limited				
Storage Temperature Range	$-65^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$				
Maximum Junction Temperature	150°C				
<b>LM2576-3.3, LM2576HV-3.3</b>					
<b>Electrical Characteristics</b>					
Specifications with standard type face are for $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ , and those with <b>boldface type</b> apply over full Operating Temperature Range.					
Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-3.3 LM2576HV-3.3		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2</b>					
$V_{\text{OUT}}$	Output Voltage	$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$ , $I_{\text{LOAD}} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 2	3.3	3.234 3.366	V V(Min) V(Max)
$V_{\text{OUT}}$	Output Voltage LM2576	$6\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 40\text{V}$ , $0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$ Circuit of Figure 2	3.3	3.168/ <b>3.135</b> 3.432/ <b>3.465</b>	V V(Min) V(Max)
$V_{\text{OUT}}$	Output Voltage LM2576HV	$6\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 60\text{V}$ , $0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$ Circuit of Figure 2	3.3	3.168/ <b>3.135</b> 3.450/ <b>3.482</b>	V V(Min) V(Max)
$\eta$	Efficiency	$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$ , $I_{\text{LOAD}} = 3\text{A}$	75		%
<b>LM2576-5.0, LM2576HV-5.0</b>					
<b>Electrical Characteristics</b>					
Specifications with standard type face are for $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ , and those with <b>Figure 2 boldface type</b> apply over full Operating Temperature Range.					
Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-5.0 LM2576HV-5.0		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2</b>					
$V_{\text{OUT}}$	Output Voltage	$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$ , $I_{\text{LOAD}} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 2	5.0	4.900 5.100	V V(Min) V(Max)
$V_{\text{OUT}}$	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$ , $8\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 2	5.0	4.800/ <b>4.750</b> 5.200/ <b>5.250</b>	V V(Min) V(Max)
$V_{\text{OUT}}$	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$ , $8\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 2	5.0	4.800/ <b>4.750</b> 5.225/ <b>5.275</b>	V V(Min) V(Max)

LM2576/LM2576HV

**LM2576-5.0, LM2576HV-5.0****Electrical Characteristics** (Continued)

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with *Figure 2 boldface type* apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-5.0 LM2576HV-5.0		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	

**SYSTEM PARAMETERS** (Note 3) Test Circuit *Figure 2*

$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$ , $I_{LOAD} = 3\text{A}$	77		%
--------	------------	--	----	--	---

**LM2576-12, LM2576HV-12****Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-12 LM2576HV-12		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	

**SYSTEM PARAMETERS** (Note 3) Test Circuit *Figure 2*

$V_{OUT}$	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}$ , $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	12	11.76 12.24	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ , $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	12	11.52/ <b>11.40</b> 12.48/ <b>12.60</b>	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ , $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	12	11.52/ <b>11.40</b> 12.54/ <b>12.66</b>	V V(Min) V(Max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 15\text{V}$ , $I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

**LM2576-15, LM2576HV-15****Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-15 LM2576HV-15		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	

**SYSTEM PARAMETERS** (Note 3) Test Circuit *Figure 2*

$V_{OUT}$	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}$ , $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	15	14.70 15.30	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ , $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	15	14.40/ <b>14.25</b> 15.60/ <b>15.75</b>	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ , $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	15	14.40/ <b>14.25</b> 15.68/ <b>15.83</b>	V V(Min) V(Max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 18\text{V}$ , $I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

<b>LM2576-ADJ, LM2576HV-ADJ</b>					
<b>Electrical Characteristics</b>					
Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with <b>boldface type</b> apply over full Operating Temperature Range.					
Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-ADJ LM2576HV-ADJ		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2</b>					
$V_{OUT}$	Feedback Voltage	$V_{IN} = 12\text{V}$ , $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$ , Circuit of Figure 2	1.230	1.217 1.243	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Feedback Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ , $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$ , Circuit of Figure 2	1.230	1.193/ <b>1.180</b> 1.267/ <b>1.280</b>	V V(Min) V(Max)
$V_{OUT}$	Feedback Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ , $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$ , Circuit of Figure 2	1.230	1.193/ <b>1.180</b> 1.273/ <b>1.286</b>	V V(Min) V(Max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$ , $I_{LOAD} = 3\text{A}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$	77		%
<b>All Output Voltage Versions</b>					
<b>Electrical Characteristics</b>					
Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with <b>boldface type</b> apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version, $V_{IN} = 25\text{V}$ for the 12V version, and $V_{IN} = 30\text{V}$ for the 15V version. $I_{LOAD} = 500\text{mA}$ .					
Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-XX LM2576HV-XX		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>DEVICE PARAMETERS</b>					
$I_b$	Feedback Bias Current	$V_{OUT} = 5\text{V}$ (Adjustable Version Only)	50	100/ <b>500</b>	nA
$f_O$	Oscillator Frequency	(Note 11)	52	47/ <b>42</b> 58/ <b>63</b>	kHz kHz (Min) kHz (Max)
$V_{SAT}$	Saturation Voltage	$I_{OUT} = 3\text{A}$ (Note 4)	1.4	1.8/ <b>2.0</b>	V V(Max)
DC	Max Duty Cycle (ON)	(Note 5)	98	93	% %(Min)
$I_{CL}$	Current Limit	(Notes 4, 11)	5.8	4.2/ <b>3.5</b> 6.9/ <b>7.5</b>	A A(Min) A(Max)
$I_L$	Output Leakage Current	(Notes 6, 7): Output = 0V Output = -1V Output = -1V	7.5	2 30	mA(Max) mA mA(Max)
$I_Q$	Quiescent Current	(Note 6)	5	10	mA mA(Max)
$I_{STBY}$	Standby Quiescent Current	ON /OFF Pin = 5V (OFF)	50	200	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}(\text{Max})$

LM2576/LM2576HV

### All Output Voltage Versions

#### Electrical Characteristics (Continued)

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 12\text{V}$  for the 3.3V, 5V, and Adjustable version,  $V_{IN} = 25\text{V}$  for the 12V version, and  $V_{IN} = 30\text{V}$  for the 15V version.  $I_{LOAD} = 500\text{ mA}$ .

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-XX LM2576HV-XX		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
<b>DEVICE PARAMETERS</b>					
$\theta_{JA}$	Thermal Resistance	T Package, Junction to Ambient (Note 8)	65		°C/W
$\theta_{JA}$		T Package, Junction to Ambient (Note 9)	45		
$\theta_{JC}$		T Package, Junction to Case	2		
$\theta_{JA}$		S Package, Junction to Ambient (Note 10)	50		
<b>ON /OFF CONTROL Test Circuit Figure 2</b>					
$V_{IH}$	ON /OFF Pin	$V_{OUT} = 0\text{V}$	1.4	<b>2.2/2.4</b>	V(Min)
$V_{IL}$	Logic Input Level	$V_{OUT} = \text{Nominal Output Voltage}$	1.2	<b>1.0/0.8</b>	V(Max)
$I_{IH}$	ON /OFF Pin Input Current	ON /OFF Pin = 5V (OFF)	12	30	$\mu\text{A}(\text{Max})$
$I_{IL}$		ON /OFF Pin = 0V (ON)	0	10	$\mu\text{A}(\text{Max})$

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

**Note 2:** All limits guaranteed at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are guaranteed via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.

**Note 3:** External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in the Figure 2 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section of Electrical Characteristics.

**Note 4:** Output pin sourcing current. No diode, inductor or capacitor connected to output.

**Note 5:** Feedback pin removed from output and connected to 0V.

**Note 6:** Feedback pin removed from output and connected to +12V for the Adjustable, 3.3V, and 5V versions, and +25V for the 12V and 15V versions, to force the output transistor OFF.

**Note 7:**  $V_{IN} = 40\text{V}$  (60V for high voltage version).

**Note 8:** Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with 1/8 inch leads in a socket, or on a PC board with minimum copper area.

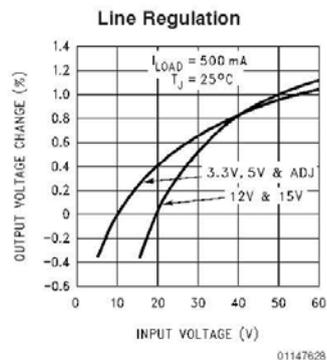
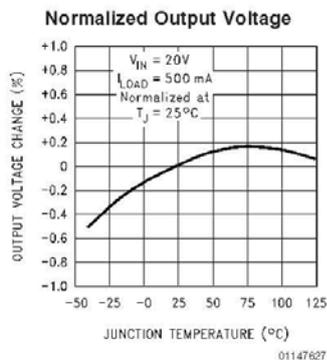
**Note 9:** Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with 1/4 inch leads soldered to a PC board containing approximately 4 square inches of copper area surrounding the leads.

**Note 10:** If the TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is 50°C/W, with 1 square inch of copper area,  $\theta_{JA}$  is 37°C/W, and with 1.6 or more square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is 32°C/W.

**Note 11:** The oscillator frequency reduces to approximately 11 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output voltage to drop approximately 40% from the nominal output voltage. This self protection feature lowers the average power dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.

### Typical Performance Characteristics

(Circuit of Figure 2)

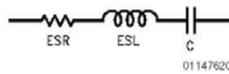


LM2576/LM2576HV

**Definition of Terms** (Continued)

**CAPACITOR EQUIVALENT SERIES RESISTANCE (ESR)**

The purely resistive component of a real capacitor's impedance (see *Figure 16*). It causes power loss resulting in capacitor heating, which directly affects the capacitor's operating lifetime. When used as a switching regulator output filter, higher ESR values result in higher output ripple voltages.



**FIGURE 16. Simple Model of a Real Capacitor**

Most standard aluminum electrolytic capacitors in the 100  $\mu\text{F}$ –1000  $\mu\text{F}$  range have 0.5 $\Omega$  to 0.1 $\Omega$  ESR. Higher-grade capacitors ("low-ESR", "high-frequency", or "low-inductance") in the 100  $\mu\text{F}$ –1000  $\mu\text{F}$  range generally have ESR of less than 0.15 $\Omega$ .

**EQUIVALENT SERIES INDUCTANCE (ESL)**

The pure inductance component of a capacitor (see *Figure 16*). The amount of inductance is determined to a large extent on the capacitor's construction. In a buck regulator, this unwanted inductance causes voltage spikes to appear on the output.

**OUTPUT RIPPLE VOLTAGE**

The AC component of the switching regulator's output voltage. It is usually dominated by the output capacitor's ESR multiplied by the inductor's ripple current ( $\Delta I_{\text{IND}}$ ). The peak-to-peak value of this sawtooth ripple current can be determined by reading the Inductor Ripple Current section of the Application hints.

**CAPACITOR RIPPLE CURRENT**

RMS value of the maximum allowable alternating current at which a capacitor can be operated continuously at a specified temperature.

**STANDBY QUIESCENT CURRENT ( $I_{\text{STBY}}$ )**

Supply current required by the LM2576 when in the standby mode (ON /OFF pin is driven to TTL-high voltage, thus turning the output switch OFF).

**INDUCTOR RIPPLE CURRENT ( $\Delta I_{\text{IND}}$ )**

The peak-to-peak value of the inductor current waveform, typically a sawtooth waveform when the regulator is operating in the continuous mode (vs. discontinuous mode).

**CONTINUOUS/DISCONTINUOUS MODE OPERATION**

Relates to the inductor current. In the continuous mode, the inductor current is always flowing and never drops to zero, vs. the discontinuous mode, where the inductor current drops to zero for a period of time in the normal switching cycle.

**INDUCTOR SATURATION**

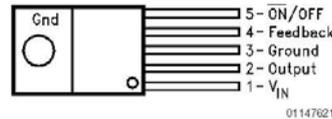
The condition which exists when an inductor cannot hold any more magnetic flux. When an inductor saturates, the inductor appears less inductive and the resistive component dominates. Inductor current is then limited only by the DC resistance of the wire and the available source current.

**OPERATING VOLT MICROSECOND CONSTANT ( $E \cdot T_{\text{op}}$ )**

The product (in Volt $\cdot\mu\text{s}$ ) of the voltage applied to the inductor and the time the voltage is applied. This  $E \cdot T_{\text{op}}$  constant is a measure of the energy handling capability of an inductor and is dependent upon the type of core, the core area, the number of turns, and the duty cycle.

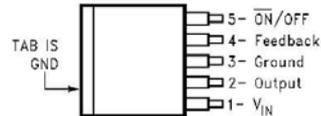
**Connection Diagrams** (Note 15)

**Straight Leads  
5-Lead TO-220 (T)  
Top View**

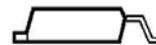


**LM2576T-XX or LM2576HVT-XX  
NS Package Number T05A**

**TO-263 (S)  
5-Lead Surface-Mount Package  
Top View**

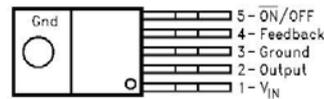


**Side View**



**LM2576S-XX or LM2576HVS-XX  
NS Package Number TS5B  
LM2576SX-XX or LM2576HVSX-XX  
NS Package Number TS5B, Tape and Reel**

**Bent, Staggered Leads  
5-Lead TO-220 (T)  
Top View**



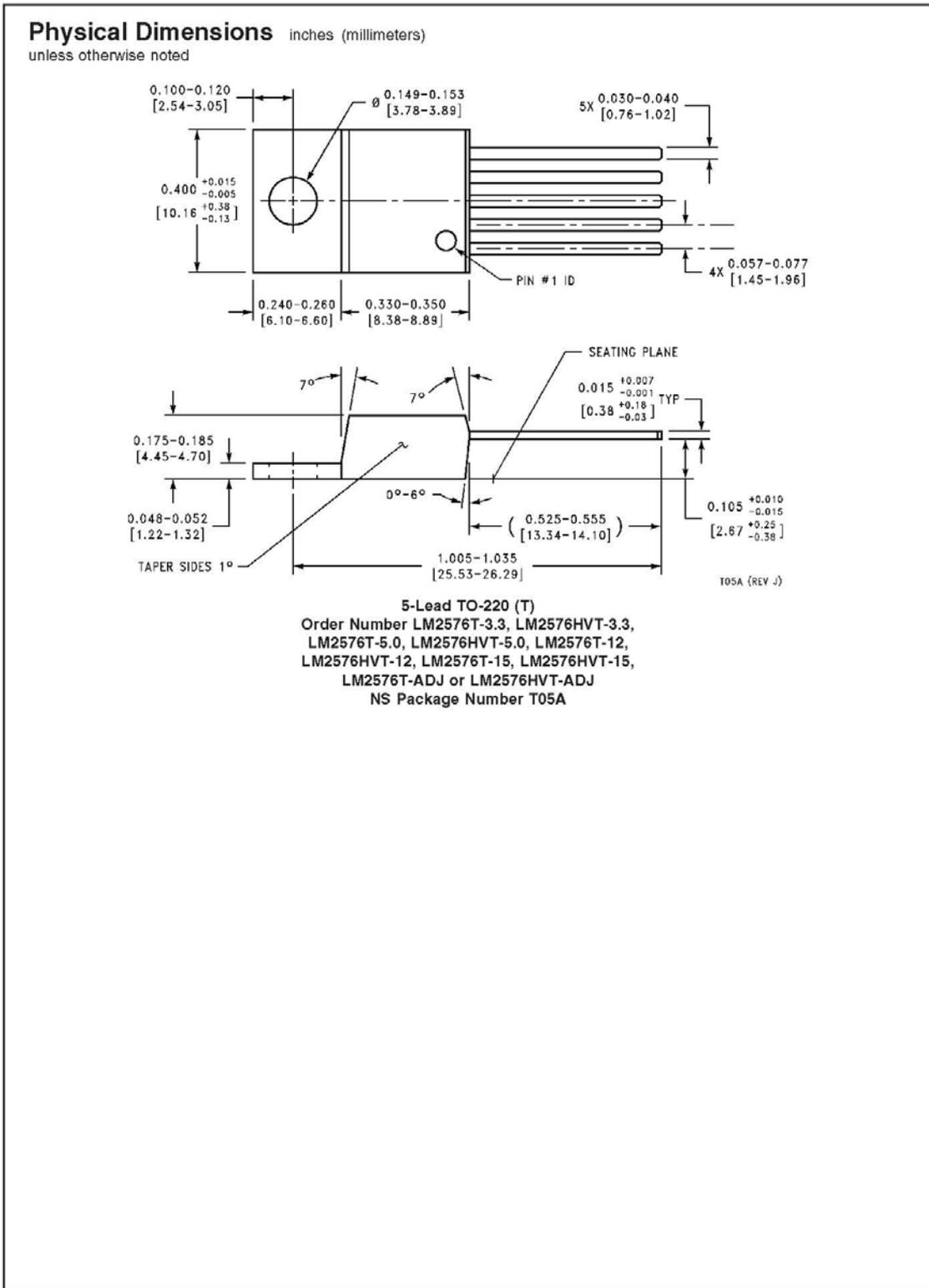
**Side View**



**LM2576T-XX Flow LB03  
or LM2576HVT-XX Flow LB03  
NS Package Number T05D**

**Note 15:** (XX indicates output voltage option. See ordering information table for complete part number.)

LM2576/LM2576HV





# LM124 LM224 - LM324

## LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375 $\mu$ A
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max. (for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max.)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :  
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V  
DUAL SUPPLIES :  $\pm$ 1.5V TO  $\pm$ 15V

### DESCRIPTION

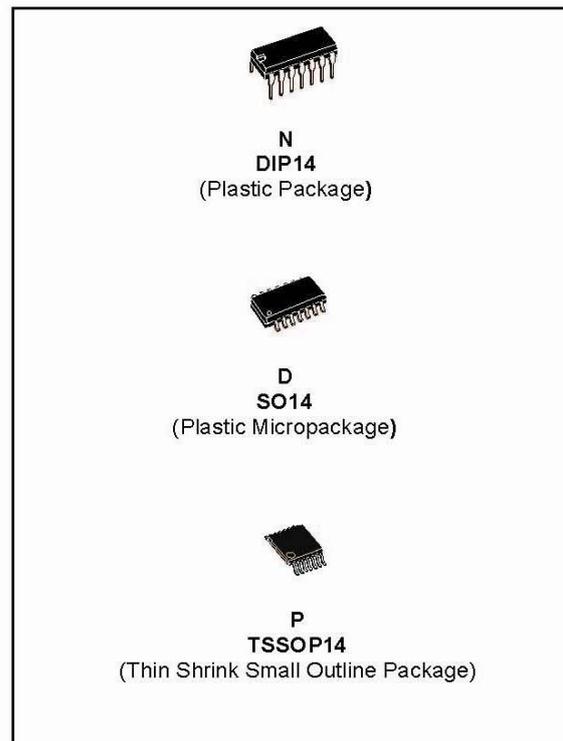
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

### ORDER CODE

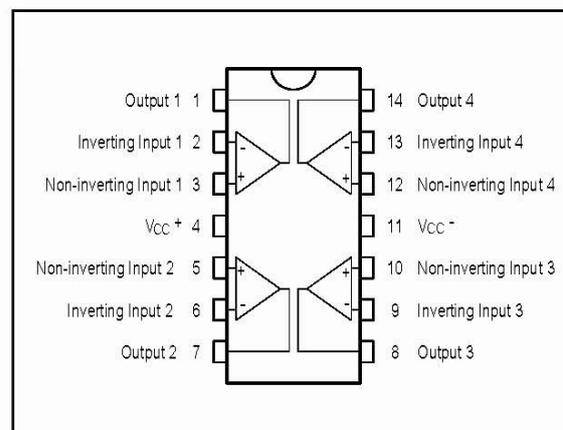
Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	•	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•	•

**Example :** LM224N

**N** = Dual in Line Package (DIP)  
**D** = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)  
**P** = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

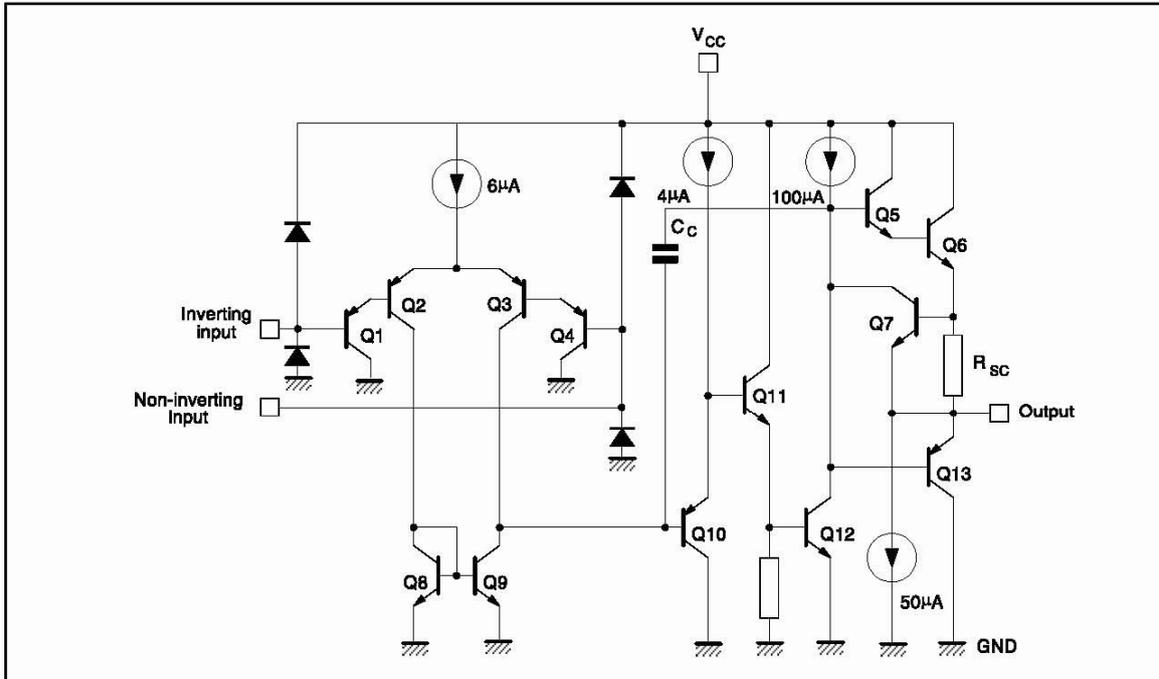


### PIN CONNECTIONS (top view)



LM124-LM224-LM324

SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM124	LM224	LM324	Unit
$V_{CC}$	Supply voltage	±16 or 32			V
$V_i$	Input Voltage	-0.3 to +32			V
$V_{id}$	Differential Input Voltage <sup>1)</sup>	+32			V
$P_{tot}$	Power Dissipation	N Suffix	500	500	mW
		D Suffix		400	400
	Output Short-circuit Duration <sup>2)</sup>	Infinite			
$I_{in}$	Input Current <sup>3)</sup>	50	50	50	mA
$T_{oper}$	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. Either or both input voltages must not exceed the magnitude of  $V_{CC}^+$  or  $V_{CC}^-$ .
2. Short-circuits from the output to  $V_{CC}$  can cause excessive heating if  $V_{CC} > 15V$ . The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of  $V_{CC}$ . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the  $V_{CC}$  voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative. This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

## LM124-LM224-LM324

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**
 $V_{CC}^+ = +5V$ ,  $V_{CC}^- = \text{Ground}$ ,  $V_o = 1.4V$ ,  $T_{amb} = +25^\circ C$  (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{io}$	Input Offset Voltage - note 1) $T_{amb} = +25^\circ C$ LM324		2	5 7	mV
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ LM324			7 9	
$I_{io}$	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	30 100	nA
$I_{ib}$	Input Bias Current - note 2) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	150 300	nA
$A_{vd}$	Large Signal Voltage Gain $V_{CC}^+ = +15V$ , $R_L = 2k\Omega$ , $V_o = 1.4V$ to $11.4V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ( $R_s \leq 10k\Omega$ ) $V_{CC}^+ = 5V$ to $30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	65 65	110		dB
$I_{CC}$	Supply Current, all Amp, no load $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$		0.7 1.5 0.8 1.5	1.2 3 1.2 3	mA
$V_{icm}$	Input Common Mode Voltage Range $V_{CC} = +30V$ - note 3) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 2$	V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ( $R_s \leq 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 60	80		dB
$I_{source}$	Output Current Source ( $V_{id} = +1V$ ) $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +2V$	20	40	70	mA
$I_{sink}$	Output Sink Current ( $V_{id} = -1V$ ) $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +2V$ $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +0.2V$	10 12	20 50		mA $\mu A$
$V_{OH}$	High Level Output Voltage $V_{CC} = +30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC} = +5V$ , $R_L = 2k\Omega$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	26 26 27 27	27 28		V

## LM124-LM224-LM324

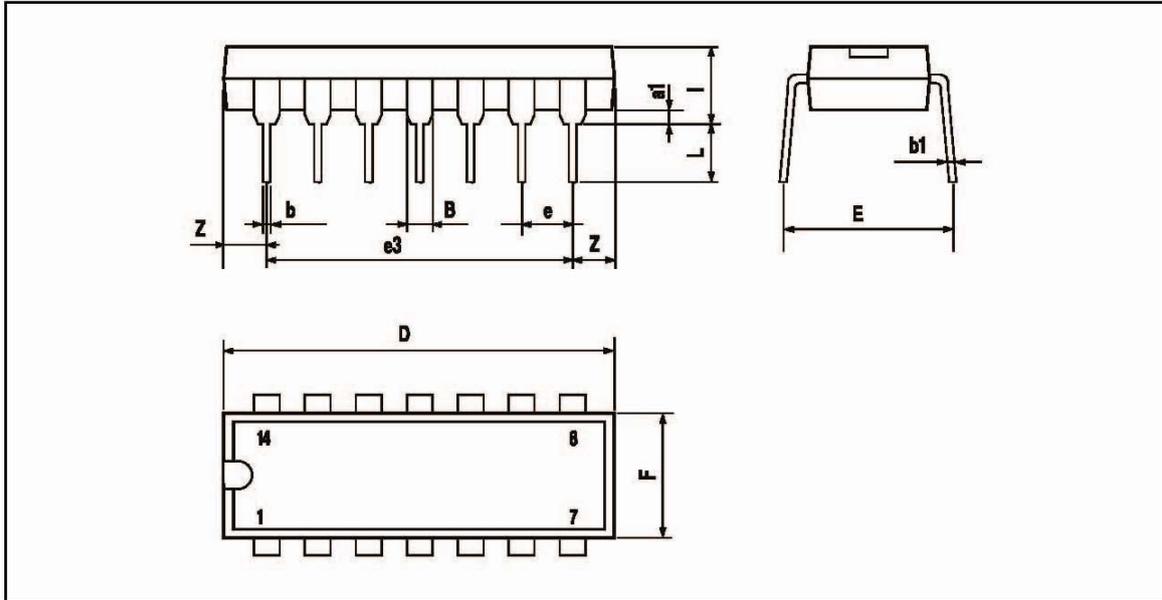
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage ( $R_L = 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	20 20	mV
SR	Slew Rate $V_{CC} = 15V, V_i = 0.5 \text{ to } 3V, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF, \text{ unity Gain}$		0.4		V/ $\mu s$
GBP	Gain Bandwidth Product $V_{CC} = 30V, f = 100kHz, V_{in} = 10mV, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF$		1.3		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz, A_v = 20dB, R_L = 2k\Omega, V_o = 2V_{pp}, C_L = 100pF, V_{CC} = 30V$		0.015		%
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz, R_s = 100\Omega, V_{CC} = 30V$		40		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
$DV_{io}$	Input Offset Voltage Drift		7	30	$\mu V/^\circ C$
$DI_{io}$	Input Offset Current Drift		10	200	$pA/^\circ C$
$V_{o1}/V_{o2}$	Channel Separation - note 4) $1kHz \leq f \leq 20kHz$		120		dB

- $V_o = 1.4V, R_s = 0\Omega, 5V < V_{CC} < 30V, 0 < V_{ic} < V_{CC} - 1.5V$
- The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is  $V_{CC} - 1.5V$ , but either or both inputs can go to +32V without damage.
- Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

LM124-LM224-LM324

**PACKAGE MECHANICAL DATA**

14 PINS - PLASTIC DIP



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
a1	0.51			0.020		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		15.24			0.600	
F			7.1			0.280
i			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z	1.27		2.54	0.050		0.100

19-4323; Rev 11; 2/03

# MAXIM

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

### General Description

The MAX220–MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where  $\pm 12V$  is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than  $5\mu W$ . The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

### Applications

Portable Computers  
Low-Power Modems  
Interface Translation  
Battery-Powered RS-232 Systems  
Multidrop RS-232 Networks

### Features

#### Superior to Bipolar

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

### Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering information continued at end of data sheet.

\*Contact factory for dice specifications.

### Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value ( $\mu F$ )	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.1	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com).

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX223/MAX230–MAX241

V <sub>CC</sub> .....	-0.3V to +6V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C).....	800mW
V <sub>+</sub> .....	(V <sub>CC</sub> - 0.3V) to +14V	24-Pin Wide SO (derate 11.76mW/°C above +70°C).....	941mW
V <sub>-</sub> .....	+0.3V to -14V	28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/°C above +70°C).....	1W
Input Voltages		44-Pin Plastic FP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....	889mW
T <sub>IN</sub> .....	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	14-Pin CERDIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....	727mW
R <sub>IN</sub> .....	±30V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....	800mW
Output Voltages		20-Pin CERDIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....	889mW
T <sub>OUT</sub> .....	(V <sub>+</sub> + 0.3V) to (V <sub>-</sub> - 0.3V)	24-Pin Narrow CERDIP (derate 12.50mW/°C above +70°C).....	1W
R <sub>OUT</sub> .....	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	24-Pin Sidebrazed (derate 20.0mW/°C above +70°C).....	1.6W
Short-Circuit Duration, T <sub>OUT</sub> .....	Continuous	28-Pin SSOP (derate 9.52mW/°C above +70°C).....	762mW
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)		Operating Temperature Ranges	
14-Pin Plastic DIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....	800mW	MAX2__C.....	0°C to +70°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C).....	842mW	MAX2__E.....	-40°C to +85°C
20-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....	889mW	MAX2__M.....	-55°C to +125°C
24-Pin Narrow Plastic DIP (derate 13.33mW/°C above +70°C).....	1.07W	Storage Temperature Range.....	-65°C to +160°C
24-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....	500mW	Lead Temperature (soldering, 10s).....	+300°C
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C).....	762mW		

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—MAX223/MAX230–MAX241

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, V<sub>CC</sub> = +5V ±10%; MAX233/MAX235, V<sub>CC</sub> = 5V ±5%, C1–C4 = 1.0μF; MAX231/MAX239, V<sub>CC</sub> = 5V ±10%; V<sub>+</sub> = 7.5V to 13.2V; T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to ground	±5.0	±7.3		V
V <sub>CC</sub> Power-Supply Current	No load, T <sub>A</sub> = +25°C	MAX232/233	5	10	mA
		MAX223/230/234–238/240/241	7	15	
		MAX231/239	0.4	1	
V <sub>+</sub> Power-Supply Current		MAX231	1.8	5	mA
		MAX239	5	15	
Shutdown Supply Current	T <sub>A</sub> = +25°C	MAX223	15	50	μA
		MAX230/235/236/240/241	1	10	
Input Logic Threshold Low	T <sub>IN</sub> ; EN, $\overline{\text{SHDN}}$ (MAX233); $\overline{\text{EN}}$ , SHDN (MAX230/235–241)			0.8	V
	T <sub>IN</sub>	2.0			
Input Logic Threshold High	EN, $\overline{\text{SHDN}}$ (MAX223); $\overline{\text{EN}}$ , SHDN (MAX230/235/236/240/241)	2.4			V
	T <sub>IN</sub> = 0V		1.5	200	
Receiver Input Voltage Operating Range		-30		30	V

## **+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers**

### **ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230—MAX241 (continued)**

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241,  $V_{CC} = +5V \pm 10\%$ ; MAX233/MAX235,  $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ ,  $C_1$ – $C_4 = 1.0\mu F$ ; MAX231/MAX239,  $V_{CC} = 5V \pm 10\%$ ;  $V_+ = 7.5V$  to  $13.2V$ ;  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 Input Threshold Low	$T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)	0.8	1.2		V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V, EN = 5V (R4IN, R5IN)	0.6	1.5		
RS-232 Input Threshold High	$T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)		1.7	2.4	V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V, EN = 5V (R4IN, R5IN)		1.5	2.4	
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5V$ , no hysteresis in shutdown		0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance	$T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$		3	5	7	k $\Omega$
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 1.6mA$ (MAX231/232/233, $I_{OUT} = 3.2mA$ )				0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1mA$		3.5	$V_{CC} - 0.4$		V
TTL/CMOS Output Leakage Current	$0V \leq R_{OUT} \leq V_{CC}$ ; EN = 0V (MAX223); EN = $V_{CC}$ (MAX235–241)			0.05	$\pm 10$	$\mu A$
Receiver Output Enable Time	Normal operation	MAX223		600		ns
		MAX235/236/239/240/241		400		
Receiver Output Disable Time	Normal operation	MAX223		900		ns
		MAX235/236/239/240/241		250		
Propagation Delay	RS-232 IN to TTL/CMOS OUT, $C_L = 150pF$	Normal operation		0.5	10	$\mu s$
		SHDN = 0V (MAX223)	tPHLS	4	40	
			tPLHS	6	40	
Transition Region Slew Rate	MAX223/MAX230/MAX234–241, $T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$ , $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$ , $C_L = 50pF$ to $2500pF$ , measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$		3	5.1	30	V/ $\mu s$
	MAX231/MAX232/MAX233, $T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$ , $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$ , $C_L = 50pF$ to $2500pF$ , measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$			4	30	
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V_+ = V_- = 0V$ , $V_{OUT} = \pm 2V$		300			$\Omega$
Transmitter Output Short-Circuit Current				$\pm 10$		mA

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

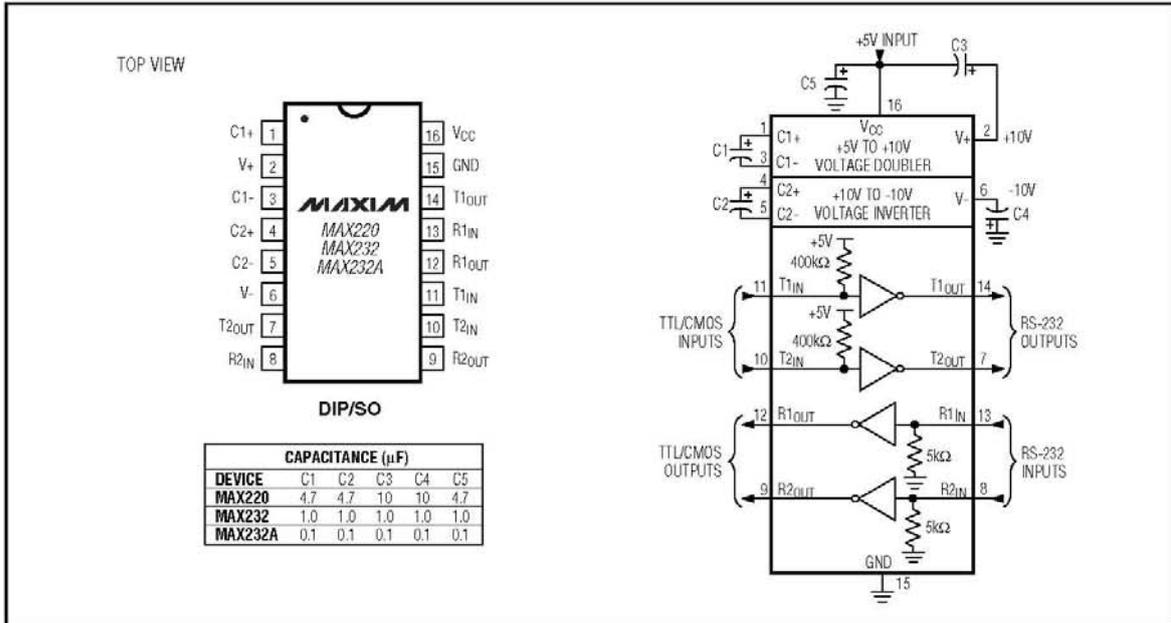


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

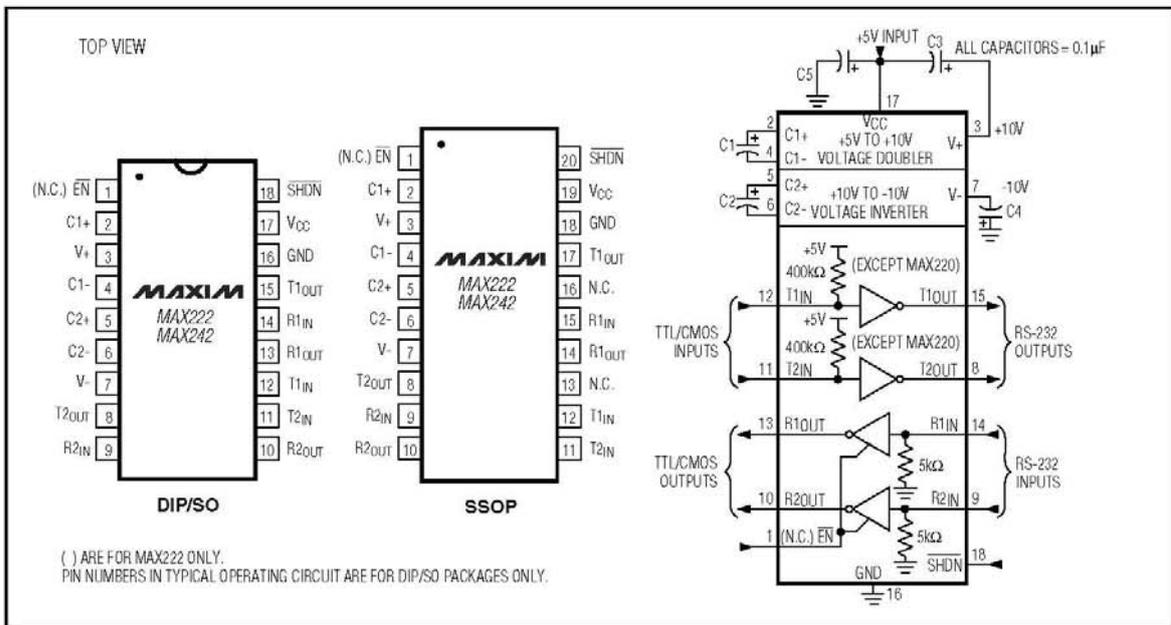


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

**SHARP**

**PC817 Series**

# PC817 Series

## High Density Mounting Type Photocoupler

\* Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817I/PC817P)  
 \*\* TÜV (VDE0884) approved type is also available as an option.

### ■ Features

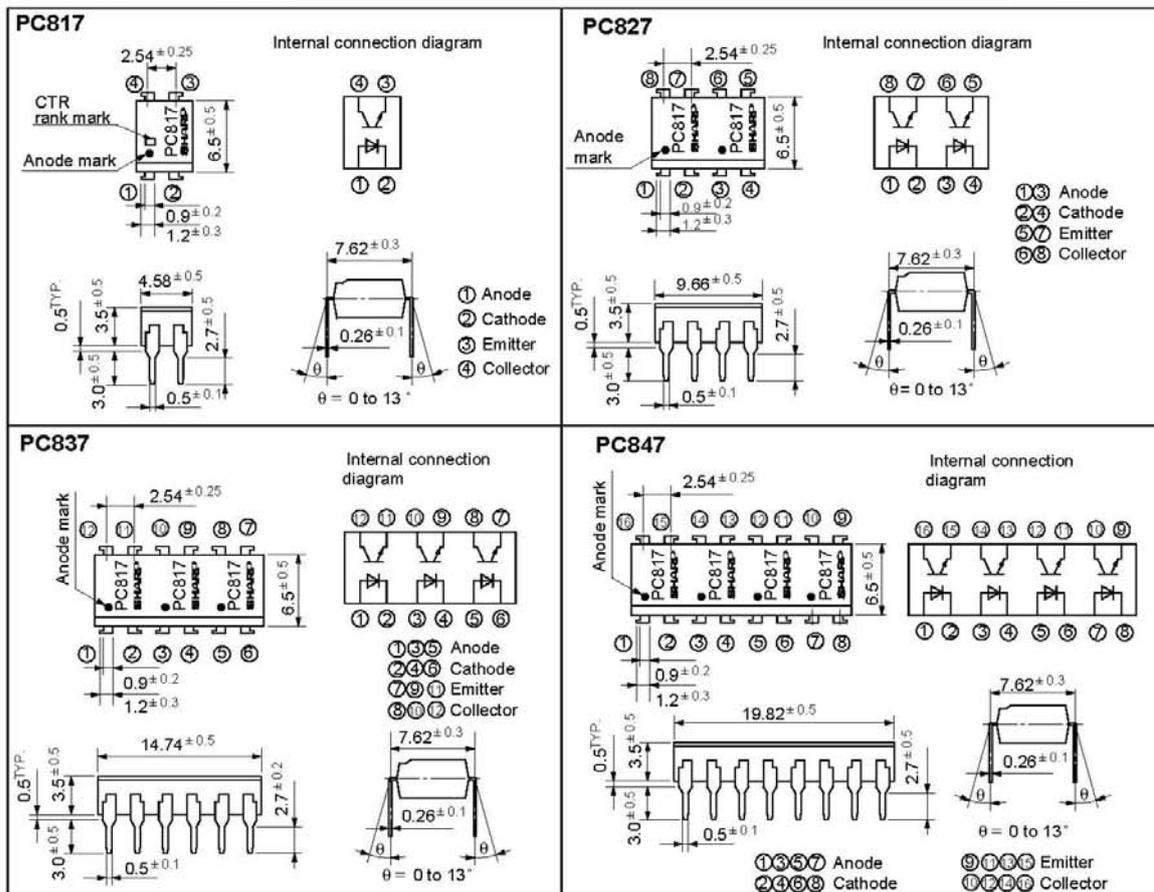
1. Current transfer ratio  
 (CTR: MIN. 50% at  $I_F = 5\text{mA}$ ,  $V_{CE} = 5\text{V}$ )
2. High isolation voltage between input and output ( $V_{iso} : 5000\text{V}_{rms}$ )
3. Compact dual-in-line package  
 PC817 : 1-channel type  
 PC827 : 2-channel type  
 PC837 : 3-channel type  
 PC847 : 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

### ■ Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

### ■ Outline Dimensions

( Unit : mm)



\* In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's device."

**SHARP**

**PC817 Series**

**■ Absolute Maximum Ratings** (Ta = 25°C)

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	$I_F$	50	mA
	*1 Peak forward current	$I_{FM}$	1	A
	Reverse voltage	$V_R$	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	$V_{CEO}$	35	V
	Emitter-collector voltage	$V_{ECO}$	6	V
	Collector current	$I_C$	50	mA
	Collector power dissipation	$P_C$	150	mW
	Total power dissipation	$P_{tot}$	200	mW
*2 Isolation voltage		$V_{iso}$	5 000	$V_{rms}$
Operating temperature		$T_{opr}$	- 30 to + 100	°C
Storage temperature		$T_{stg}$	- 55 to + 125	°C
*3 Soldering temperature		$T_{sol}$	260	°C

\*1 Pulse width  $\leq 100\mu s$ , Duty ratio : 0.001

\*2 40 to 60% RH, AC for 1 minute

\*3 For 10 seconds

**■ Electro-optical Characteristics** (Ta = 25°C)

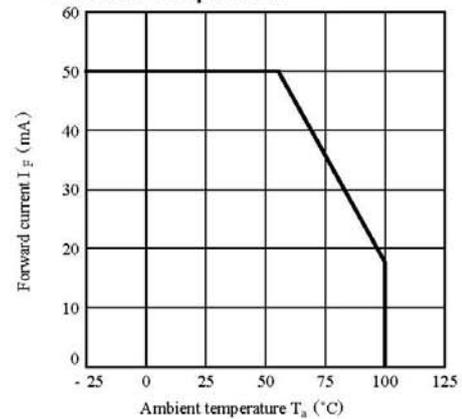
Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage	$V_F$	$I_F = 20mA$	-	1.2	1.4	V
	Peak forward voltage	$V_{FM}$	$I_{FM} = 0.5A$	-	-	3.0	V
	Reverse current	$I_R$	$V_R = 4V$	-	-	10	$\mu A$
	Terminal capacitance	$C_t$	$V = 0, f = 1kHz$	-	30	250	pF
Output	Collector dark current	$I_{CEO}$	$V_{CE} = 20V$	-	-	$10^{-7}$	A
Transfer characteristics	*4 Current transfer ratio	CTR	$I_F = 5mA, V_{CE} = 5V$	50	-	600	%
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F = 20mA, I_C = 1mA$	-	0.1	0.2	V
	Isolation resistance	$R_{ISO}$	DC500V, 40 to 60%RH	$5 \times 10^{10}$	$10^{11}$	-	$\Omega$
	Floating capacitance	$C_f$	$V = 0, f = 1MHz$	-	0.6	1.0	pF
	Cut-off frequency	$f_c$	$V_{CE} = 5V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega, - 3dB$	-	80	-	kHz
	Response time	Rise time	$t_r$	$V_{CE} = 2V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega$	-	4	18
Fall time		$t_f$	-		3	18	$\mu s$

\*4 Classification table of current transfer ratio is shown below.

Model No.	Rank mark	CTR (%)
<b>PC817A</b>	A	80 to 160
<b>PC817B</b>	B	130 to 260
<b>PC817C</b>	C	200 to 400
<b>PC817D</b>	D	300 to 600
<b>PC8<sup>⊛</sup>7AB</b>	A or B	80 to 260
<b>PC8<sup>⊛</sup>7BC</b>	B or C	130 to 400
<b>PC8<sup>⊛</sup>7CD</b>	C or D	200 to 600
<b>PC8<sup>⊛</sup>7AC</b>	A, B or C	80 to 400
<b>PC8<sup>⊛</sup>7BD</b>	B, C or D	130 to 600
<b>PC8<sup>⊛</sup>7AD</b>	A, B, C or D	80 to 600
<b>PC8<sup>⊛</sup>7</b>	A, B, C, D or No mark	50 to 600

⊛ : 1 or 2 or 3 or 4

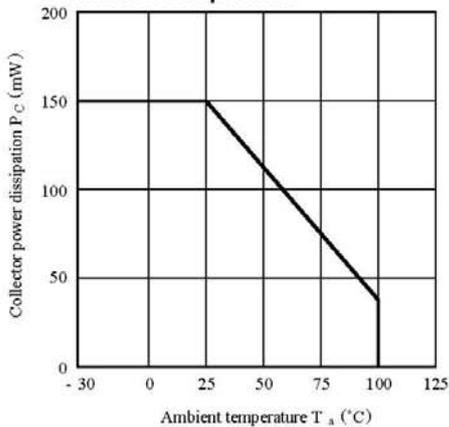
**Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature**



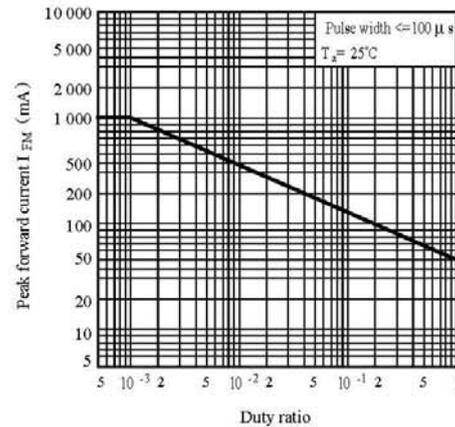
**SHARP**

**PC817 Series**

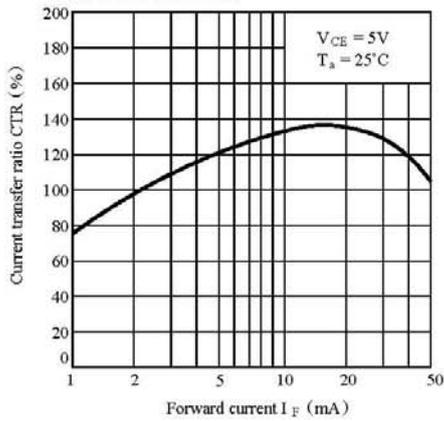
**Fig. 2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature**



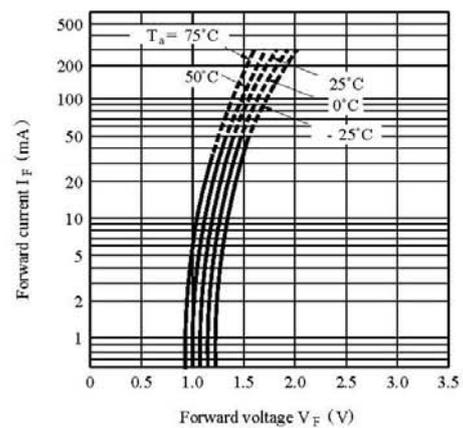
**Fig. 3 Peak Forward Current vs. Duty Ratio**



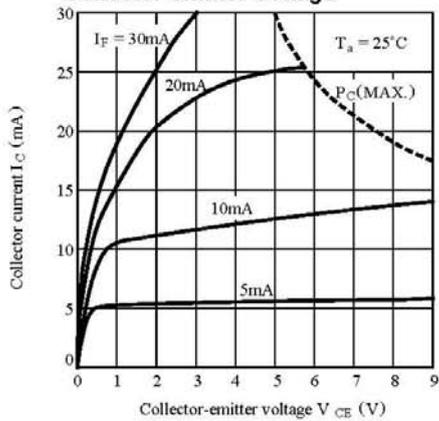
**Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current**



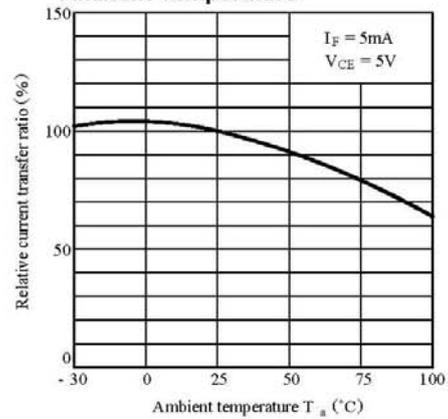
**Fig. 5 Forward Current vs. Forward Voltage**



**Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage**



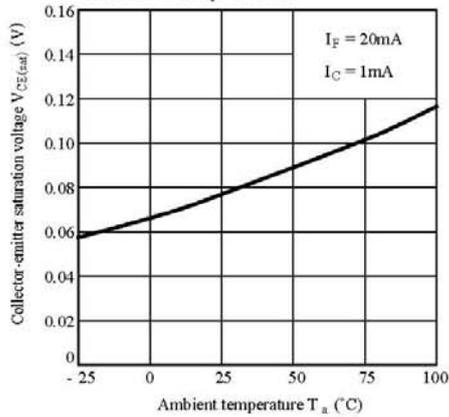
**Fig. 7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature**



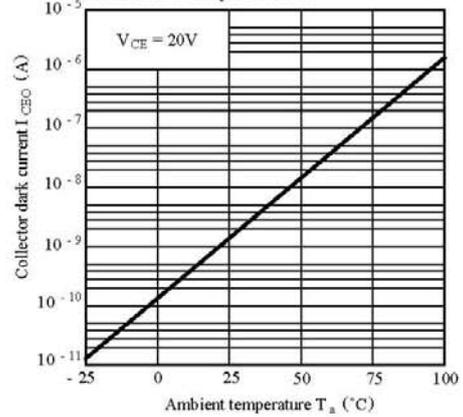
**SHARP**

**PC817 Series**

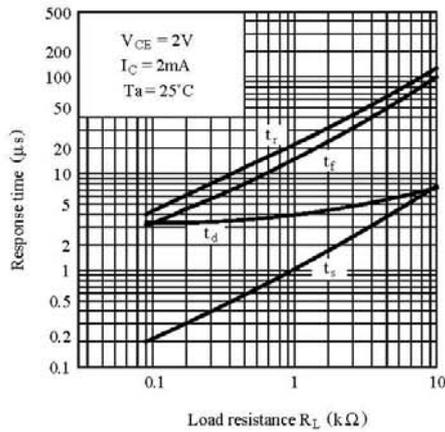
**Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature**



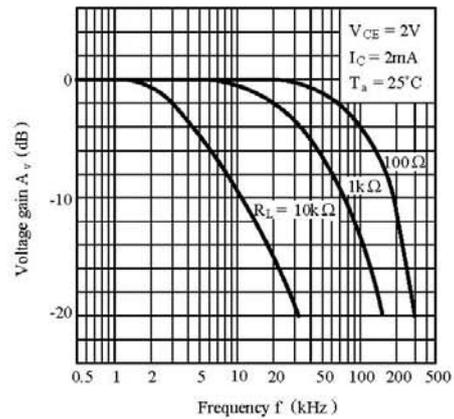
**Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature**



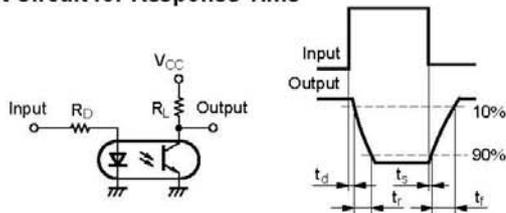
**Fig.10 Response Time vs. Load Resistance**



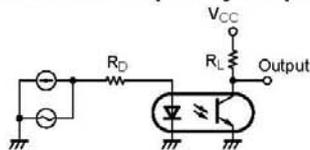
**Fig.11 Frequency Response**



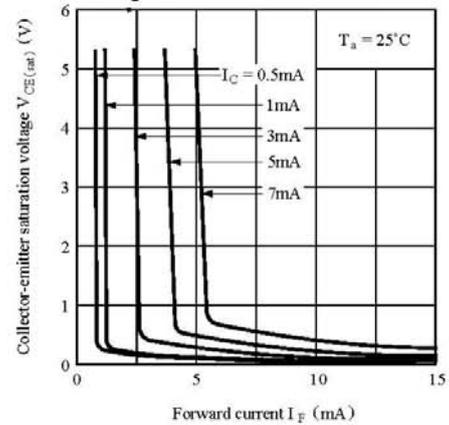
**Test Circuit for Response Time**



**Test Circuit for Frequency Response**



**Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current**



● Please refer to the chapter “Precautions for Use”



July 2006

## LM555 Timer

### General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

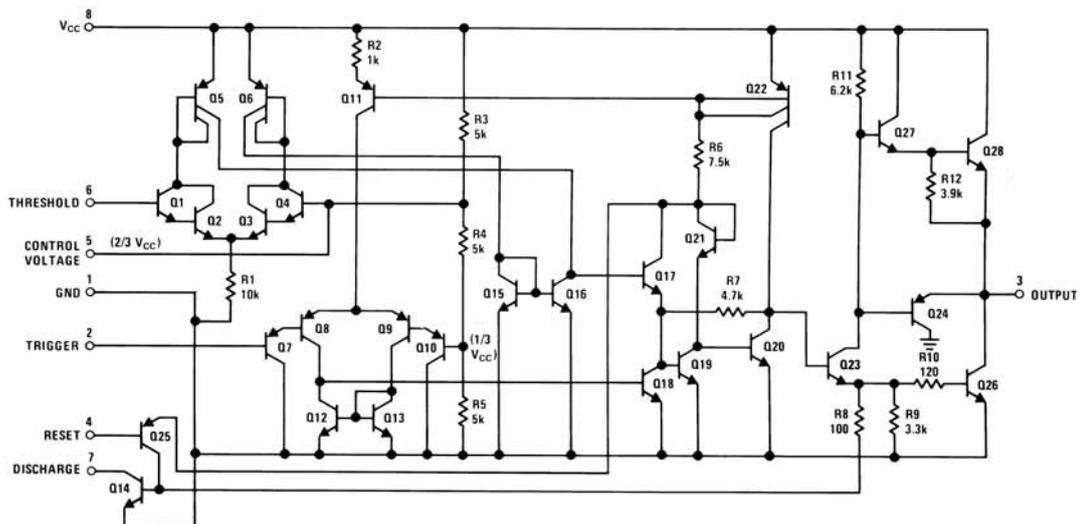
### Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

### Applications

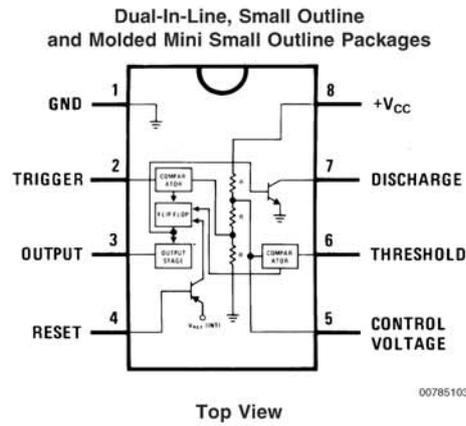
- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

### Schematic Diagram



00785101

### Connection Diagram



### Ordering Information

Package	Part Number	Package Marking	Media Transport	NSC Drawing
8-Pin SOIC	LM555CM	LM555CM	Rails	M08A
	LM555CMX	LM555CM	2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MSOP	LM555CMM	Z55	1k Units Tape and Reel	MUA08A
	LM555CMMX	Z55	3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MDIP	LM555CN	LM555CN	Rails	N08E

Parameter		Conditions	Limits			Units
			LM555C			
			Min	Typ	Max	
Supply Voltage			4.5		16	V
Supply Current		$V_{CC} = 5V, R_L = \infty$ $V_{CC} = 15V, R_L = \infty$ (Low State) (Note 4)		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable						
Initial Accuracy				1		%
Drift with Temperature		$R_A = 1k$ to $100k\Omega$ , $C = 0.1\mu F$ , (Note 5)		50		ppm/°C
Accuracy over Temperature				1.5		%
Drift with Supply				0.1		%/V
Timing Error, Astable						
Initial Accuracy				2.25		%
Drift with Temperature		$R_A, R_B = 1k$ to $100k\Omega$ , $C = 0.1\mu F$ , (Note 5)		150		ppm/°C
Accuracy over Temperature				3.0		%
Drift with Supply				0.30		%/V
Threshold Voltage				0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage		$V_{CC} = 15V$ $V_{CC} = 5V$		5 1.67		V V
Trigger Current				0.5	0.9	$\mu A$
Reset Voltage			0.4	0.5	1	V
Reset Current				0.1	0.4	mA
Threshold Current		(Note 6)		0.1	0.25	$\mu A$
Control Voltage Level		$V_{CC} = 15V$ $V_{CC} = 5V$	9 2.6	10 3.33	11 4	V
Pin 7 Leakage Output High				1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 7)						
Output Low		$V_{CC} = 15V, I_T = 15mA$		180		mV
Output Low		$V_{CC} = 4.5V, I_T = 4.5mA$		80	200	mV

**Absolute Maximum Ratings** (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 3)	
LM555CM, LM555CN	1180 mW
LM555CMM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

## Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages (SOIC and MSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

**Electrical Characteristics** (Notes 1, 2)

( $T_A = 25^\circ C$ ,  $V_{CC} = +5V$  to  $+15V$ , unless otherwise specified)

<b>Electrical Characteristics</b> (Notes 1, 2) (Continued)					
(T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CC</sub> = +5V to +15V, unless otherwise specified)					
Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	V <sub>CC</sub> = 15V				
	I <sub>SINK</sub> = 10mA		0.1	0.25	V
	I <sub>SINK</sub> = 50mA		0.4	0.75	V
	I <sub>SINK</sub> = 100mA		2	2.5	V
	I <sub>SINK</sub> = 200mA		2.5		V
	V <sub>CC</sub> = 5V				
Output Voltage Drop (High)	I <sub>SINK</sub> = 8mA				V
	I <sub>SINK</sub> = 5mA		0.25	0.35	V
	I <sub>SOURCE</sub> = 200mA, V <sub>CC</sub> = 15V		12.5		V
Rise Time of Output	I <sub>SOURCE</sub> = 100mA, V <sub>CC</sub> = 15V	12.75	13.3		V
	V <sub>CC</sub> = 5V	2.75	3.3		V
Fall Time of Output			100		ns
			100		ns

**Note 1:** All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

**Note 2:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

**Note 3:** For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a +150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 106°C/W (DIP), 170°C/W (SO-8), and 204°C/W (MSOP) junction to ambient.

**Note 4:** Supply current when output high typically 1 mA less at V<sub>CC</sub> = 5V.

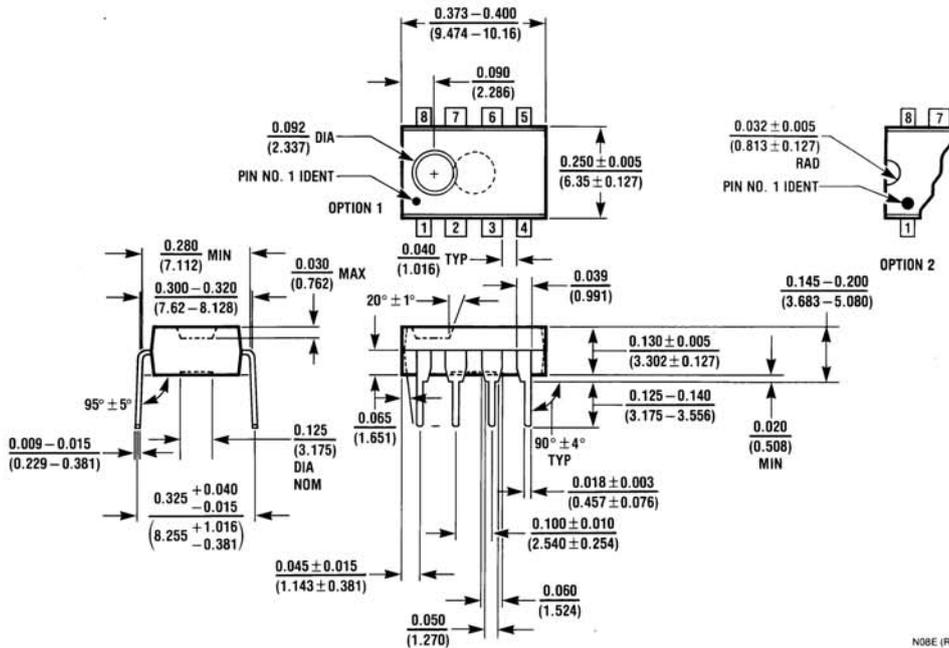
**Note 5:** Tested at V<sub>CC</sub> = 5V and V<sub>CC</sub> = 15V.

**Note 6:** This will determine the maximum value of R<sub>θA</sub> + R<sub>θJ</sub> for 15V operation. The maximum total (R<sub>θA</sub> + R<sub>θJ</sub>) is 20MΩ.

**Note 7:** No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

**Note 8:** Refer to RETS555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

For the most current product information visit us at [www.national.com](http://www.national.com).

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

**BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE**

National Semiconductor follows the provisions of the Product Stewardship Guide for Customers (CSP-9-111C2) and Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) for regulatory environmental compliance. Details may be found at: [www.national.com/quality/green](http://www.national.com/quality/green).

Lead free products are RoHS compliant.



**National Semiconductor**  
Americas Customer Support Center  
Email: [new.feedback@nsc.com](mailto:new.feedback@nsc.com)  
Tel: 1-800-272-9959

**National Semiconductor**  
Europe Customer Support Center  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: [europa.support@nsc.com](mailto:europa.support@nsc.com)  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor**  
Asia Pacific Customer Support Center  
Email: [ap.support@nsc.com](mailto:ap.support@nsc.com)

**National Semiconductor**  
Japan Customer Support Center  
Fax: 81-3-5639-7507  
Email: [jpn.feedback@nsc.com](mailto:jpn.feedback@nsc.com)  
Tel: 81-3-5639-7560

[www.national.com](http://www.national.com)



October 2005

## LM158/LM258/LM358/LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers

### General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional  $\pm 15V$  power supplies.

The LM358 and LM2904 are available in a chip sized package (8-Bump micro SMD) using National's micro SMD package technology.

### Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

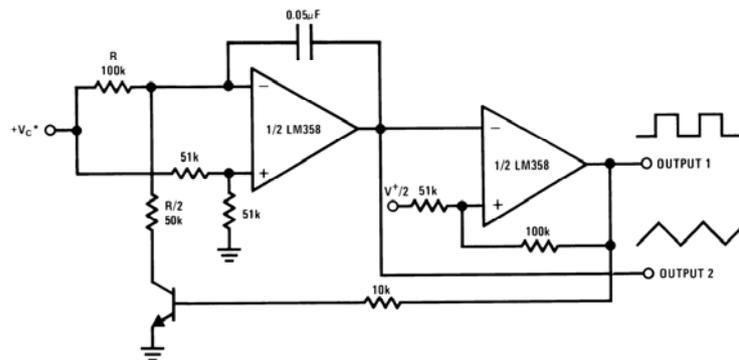
### Advantages

- Two internally compensated op amps
- Eliminates need for dual supplies
- Allows direct sensing near GND and  $V_{OUT}$  also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

### Features

- Available in 8-Bump micro SMD chip sized package, (See AN-1112)
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
  - Single supply: 3V to 32V
  - or dual supplies:  $\pm 1.5V$  to  $\pm 16V$
- Very low supply current drain (500  $\mu A$ )—essentially independent of supply voltage
- Low input offset voltage: 2 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing

### Voltage Controlled Oscillator (VCO)



00778723

<b>Absolute Maximum Ratings</b> (Note 9)		Distributors for availability and specifications.								
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/		LM158/LM258/LM358 LM158A/LM258A/LM358A			LM2904					
Supply Voltage, V <sup>+</sup>		32V			26V					
Differential Input Voltage		32V			26V					
Input Voltage		-0.3V to +32V			-0.3V to +26V					
Power Dissipation (Note 1)										
Molded DIP		830 mW			830 mW					
Metal Can		550 mW								
Small Outline Package (M)		530 mW			530 mW					
micro SMD		435mW								
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2) V <sup>+</sup> ≤ 15V and T <sub>A</sub> = 25°C		Continuous			Continuous					
Input Current (V <sub>IN</sub> < -0.3V) (Note 3)		50 mA			50 mA					
Operating Temperature Range										
LM358		0°C to +70°C			-40°C to +85°C					
LM258		-25°C to +85°C								
LM158		-55°C to +125°C								
Storage Temperature Range		-65°C to +150°C			-65°C to +150°C					
Lead Temperature, DIP (Soldering, 10 seconds)		260°C			260°C					
Lead Temperature, Metal Can (Soldering, 10 seconds)		300°C			300°C					
Soldering Information										
Dual-In-Line Package										
Soldering (10 seconds)		260°C			260°C					
Small Outline Package										
Vapor Phase (60 seconds)		215°C			215°C					
Infrared (15 seconds)		220°C			220°C					
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.										
ESD Tolerance (Note 10)		250V			250V					
<b>Electrical Characteristics</b>										
V <sup>+</sup> = +5.0V, unless otherwise stated										
Parameter	Conditions	LM158A		LM358A		LM158/LM258		Units		
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		Min	Typ
Input Offset Voltage	(Note 5), T <sub>A</sub> = 25°C	1	2		2	3	2	5	mV	
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub> , T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V, (Note 6)	20	50		45	100	45	150	nA	
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub> , V <sub>CM</sub> = 0V, T <sub>A</sub> = 25°C	2	10		5	30	3	30	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30V, (Note 7) (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	0		V <sup>+</sup> -1.5	0		V <sup>+</sup> -1.5	0	V <sup>+</sup> -1.5	V
Supply Current	Over Full Temperature Range R <sub>L</sub> = ∞ on All Op Amps V <sup>+</sup> = 30V (LM2904 V <sup>+</sup> = 26V) V <sup>+</sup> = 5V	1	2		1	2	1	2	mA	
		0.5	1.2		0.5	1.2	0.5	1.2	mA	

Electrical Characteristics								
V <sup>+</sup> = +5.0V, unless otherwise stated								
Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5), T <sub>A</sub> = 25°C		2	7		2	7	mV
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub> , T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V, (Note 6)		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub> , V <sub>CM</sub> = 0V, T <sub>A</sub> = 25°C		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30V, (Note 7) (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	0		V <sup>+</sup> -1.5	0		V <sup>+</sup> -1.5	V
Supply Current	Over Full Temperature Range R <sub>L</sub> = ∞ on All Op Amps V <sup>+</sup> = 30V (LM2904 V <sup>+</sup> = 26V) V <sup>+</sup> = 5V							
			1	2		1	2	mA
			0.5	1.2		0.5	1.2	mA

Electrical Characteristics											
V <sup>+</sup> = +5.0V, (Note 4), unless otherwise stated											
Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ, (For V <sub>O</sub> = 1V to 11V)	50	100		25	100		50	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V to V <sup>+</sup> -1.5V	70	85		65	85		70	85		dB
Power Supply Rejection Ratio	V <sup>+</sup> = 5V to 30V (LM2904, V <sup>+</sup> = 5V to 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	65	100		65	100		65	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling	f = 1 kHz to 20 kHz, T <sub>A</sub> = 25°C (Input Referred), (Note 8)		-120			-120			-120		dB
Output Current	Source V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = 1V, V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V, T <sub>A</sub> = 25°C	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = 1V, V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = 0V V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 2V	10	20		10	20		10	20		mA
	V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = 1V, V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = 0V T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 200 mV, V <sup>+</sup> = 15V	12	50		12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground	T <sub>A</sub> = 25°C, (Note 2), V <sup>+</sup> = 15V	40	60		40	60		40	60		mA
Input Offset Voltage	(Note 5)		4			5			7		mV
Input Offset Voltage Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω		7	15		7	20		7		μV/°C
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub>		30			75			100		nA
Input Offset Current Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω		10	200		10	300		10		pA/°C
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub>		40	100		40	200		40	300	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30 V, (Note 7) (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V)	0		V <sup>+</sup> -2	0		V <sup>+</sup> -2	0		V <sup>+</sup> -2	V

Electrical Characteristics (Continued)												
V <sup>+</sup> = +5.0V, (Note 4), unless otherwise stated												
Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Large Signal Voltage Gain	V <sup>+</sup> = +15V (V <sub>O</sub> = 1V to 11V) R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ	25			15			25			V/mV	
Output Voltage Swing	V <sub>OH</sub>	V <sup>+</sup> = +30V (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V)	R <sub>L</sub> = 2 kΩ	26			26			V		
	V <sub>OL</sub>	V <sup>+</sup> = 5V, R <sub>L</sub> = 10 kΩ	R <sub>L</sub> = 10 kΩ	5	20	5	20	5	20	mV		
Output Current	Source	V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = +1V, V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	10 20			10 20			10 20			mA
	Sink	V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = +1V, V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	10 15			5 8			5 8			mA

Electrical Characteristics									
V <sup>+</sup> = +5.0V, (Note 4), unless otherwise stated									
Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Large Signal Voltage Gain	V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ, (For V <sub>O</sub> = 1V to 11V)	25	100		25	100		V/mV	
Common-Mode Rejection Ratio	T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V to V <sup>+</sup> - 1.5V	65	85		50	70		dB	
Power Supply Rejection Ratio	V <sup>+</sup> = 5V to 30V (LM2904, V <sup>+</sup> = 5V to 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	65	100		50	100		dB	
Amplifier-to-Amplifier Coupling	f = 1 kHz to 20 kHz, T <sub>A</sub> = 25°C (Input Referred), (Note 8)	-120			-120			dB	
Output Current	Source	V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = 1V, V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V, T <sub>A</sub> = 25°C	20	40		20	40		mA
	Sink	V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = 1V, V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = 0V V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 2V	10	20		10	20		mA
		V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = 1V, V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = 0V T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 200 mV, V <sup>+</sup> = 15V	12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground	T <sub>A</sub> = 25°C, (Note 2), V <sup>+</sup> = 15V	40 60			40 60			mA	
Input Offset Voltage	(Note 5)	9			10			mV	
Input Offset Voltage Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω	7			7			μV/°C	
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub>	150			45 200			nA	
Input Offset Current Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω	10			10			pA/°C	
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub>	40 500			40 500			nA	
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30 V, (Note 7) (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V)	0		V <sup>+</sup> - 2	0		V <sup>+</sup> - 2	V	

Electrical Characteristics (Continued)									
V <sup>+</sup> = +5.0V, (Note 4), unless otherwise stated									
Parameter	Conditions		LM358			LM2904			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	V <sup>+</sup> = +15V (V <sub>O</sub> = 1V to 11V) R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ		15			15			V/mV
Output Voltage Swing	V <sub>OH</sub>	V <sup>+</sup> = +30V (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V)	R <sub>L</sub> = 2 kΩ		26	22		V	
	V <sub>OL</sub>	V <sup>+</sup> = 5V, R <sub>L</sub> = 10 kΩ	R <sub>L</sub> = 10 kΩ		27	28	23	24	V
Output Current	Source	V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = +1V, V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	10	20		10	20		mA
	Sink	V <sub>IN<sup>-</sup></sub> = +1V, V <sub>IN<sup>+</sup></sub> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	5	8		5	8		mA

**Note 1:** For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a +125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 120°C/W for MDIP, 182°C/W for Metal Can, 189°C/W for Small Outline package, and 230°C/W for micro SMD, which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a +150°C maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

**Note 2:** Short circuits from the output to V<sup>+</sup> can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V<sup>+</sup>. At values of supply voltage in excess of +15V, continuous short circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

**Note 3:** This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V<sup>+</sup> voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3V (at 25°C).

**Note 4:** These specifications are limited to -55°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +125°C for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +85°C, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +70°C, and the LM2904 specifications are limited to -40°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +85°C.

**Note 5:** V<sub>O</sub> = 1.4V, R<sub>S</sub> = 0Ω with V<sup>+</sup> from 5V to 30V, and over the full input common-mode range (0V to V<sup>+</sup> - 1.5V) at 25°C. For LM2904, V<sup>+</sup> from 5V to 26V.

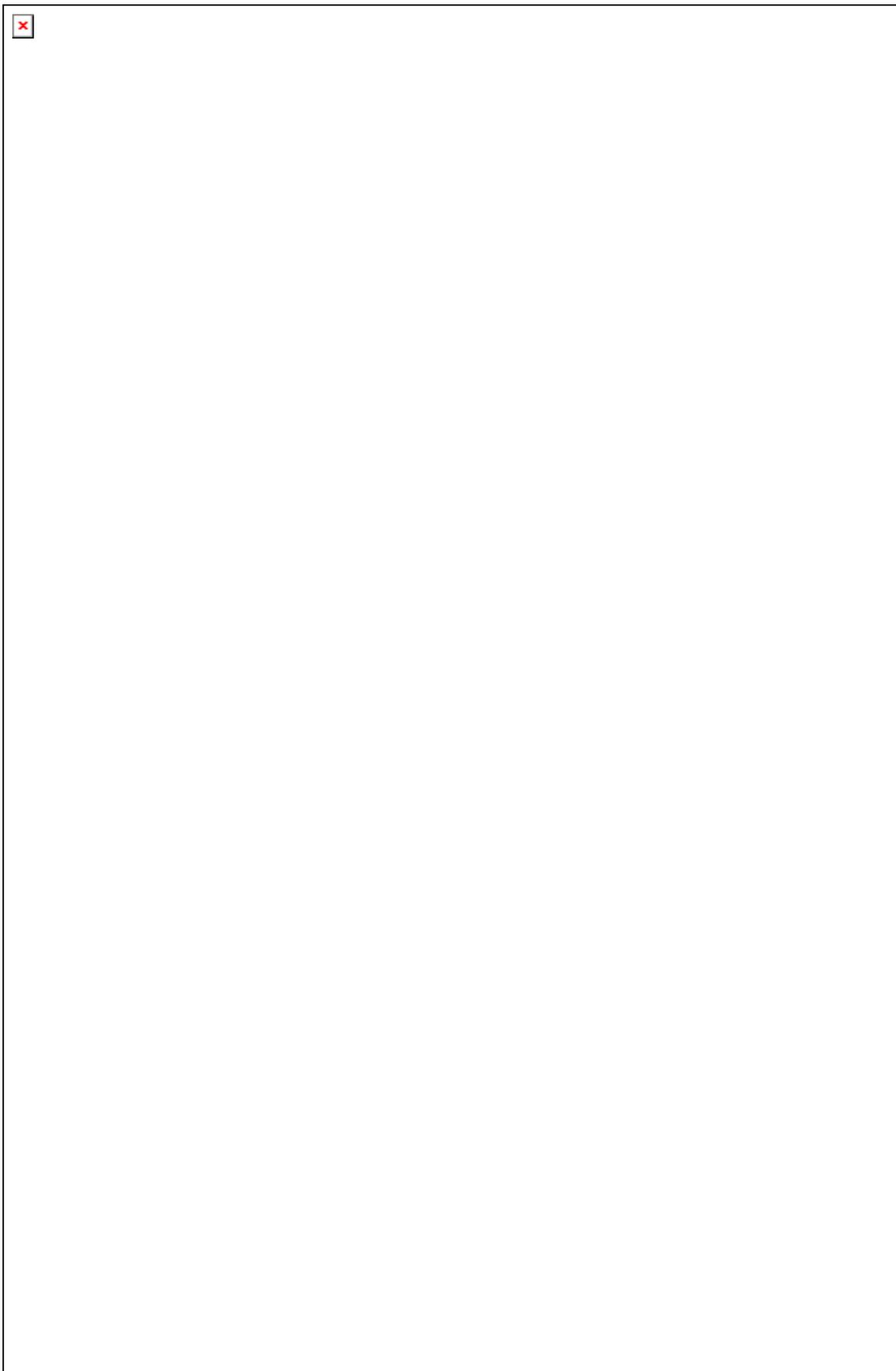
**Note 6:** The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

**Note 7:** The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V<sup>+</sup> - 1.5V (at 25°C), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2904), independent of the magnitude of V<sup>+</sup>.

**Note 8:** Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

**Note 9:** Refer to RETS158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.

**Note 10:** Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.



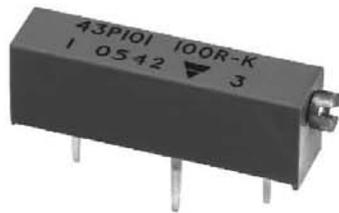


43

Vishay Spectrol



### 3/4" Rectangular (19 mm) Multi-Turn Cermet Trimmer



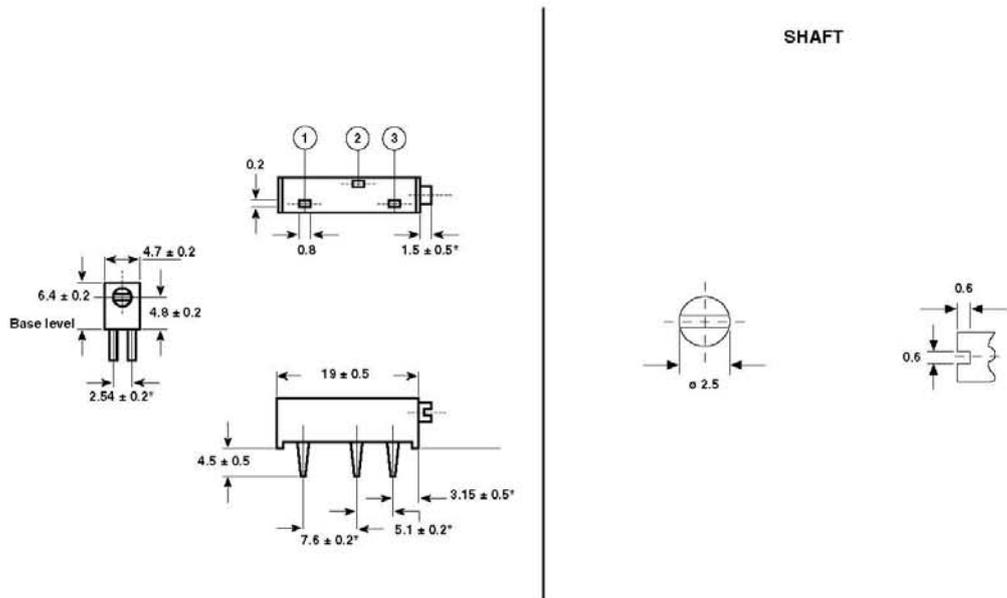
**FEATURES**

- Panel mount, clear lid versions available
- Chevron shaft for sealing and smooth consistent torque
- Solder terminations for improved reliability
- Multi-finger wiper for better C.R.V.

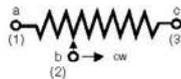


The Model 43 is manufactured to the highest international standards. This product, sealed to 85 °C for 1 minute (IEC. 68-2-17) has an effective travel of 18 turns nominal and a resistance range of 10 Ω to 2 MΩ.

**DIMENSIONS** in inches (millimeters)



**CIRCUIT DIAGRAM**



Tolerance unless otherwise specified ± 0.5



### 3/4" Rectangular (19 mm) Multi-Turn Cermet Trimmer

**43**  
Vishay Spectrol

ELECTRICAL SPECIFICATIONS		
Resistive Element		cermet
Electrical Travel		15 turns $\pm$ 1
Resistance Range		10 $\Omega$ to 2.2 M $\Omega$
Standard series E3		1 - 2.2 - 4.7 and 1 - 2 - 5
Tolerance	Standard	$\pm$ 10 %
	On Request	$\pm$ 5 %
Power Rating	Linear	0.50 W at + 70 °C
	Logarithmic	not applicable
Temperature Coefficient		See Standard Resistance Element Table
Limiting Element Voltage (Linear Law)		250 V
Contact Resistance Variation		2 % Rn or 1 $\Omega$
End Resistance (Typical)		1 $\Omega$
Dielectric Strength (RMS)		1000 V
Insulation Resistance (500 VDC)		10 <sup>6</sup> M $\Omega$

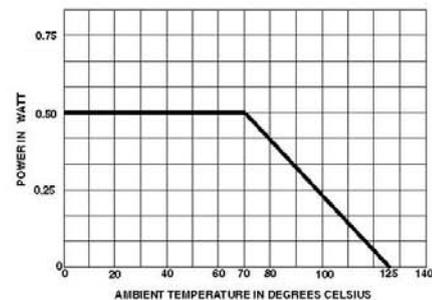
### MECHANICAL SPECIFICATIONS

Mechanical Travel	18 turns $\pm$ 5
Operating Torque (max. Ncm)	2
End Stop Torque	clutch action
Unit Weight (max. g)	1
Wiper (actual travel)	positioned at approx. 50 %

### Environmental specifications

Temperature Range	- 55 °C to + 125 °C
Climatic Category	55/125/56
Sealing	fully sealed container IP67

### POWER RATING CHART



PERFORMANCE			
TESTS	CONDITIONS	TYPICAL VALUES AND DRIFTS	
		$\frac{\Delta RT}{RT}$ (%)	$\frac{\Delta R_{1-2}}{R_{1-2}}$
Load Life	1000 hours at rated power 90°/30° - ambient temp. 70 °C	$\pm$ 1 % Contact res. variation: < 3 % Rn	$\pm$ (3 % $\pm$ 5 $\Omega$ )
Climatic Sequence	Phase A dry heat 125 °C Phase B damp heat Phase C cold - 55 °C Phase D damp heat 5 cycles	$\pm$ 0.5 %	$\pm$ 1 %
Long Term Damp Heat	56 days	$\pm$ 0.5 % Dielectric strength: 1000 V RMS Insulation resistance: > 10 <sup>4</sup> M $\Omega$	$\pm$ 1 %
Rapid Temperature Change	5 cycles - 55 °C at + 125 °C	$\pm$ 0.5 %	$\frac{\Delta V_{1-2}}{V_{1-3}} \leq \pm 1 \%$
Shock	50 g at 11 m secs 3 successive shocks in 3 directions	$\pm$ 0.2 %	$\pm 0.3 \%$
Vibration	10 - 55 Hz 0.75 mm or 10 g during 6 hours	$\pm$ 0.2 %	$\frac{\Delta V_{1-2}}{V_{1-3}} \leq \pm 0.3 \%$
Rotational Life	200 cycles	$\pm$ 2 % Contact res. variation: < 2 % Rn	



**DB ELECTRO**  
COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES  
ELECTRONIC COMPONENTS



19.5x15.3x15.3

# NT 7 3 - 2



CH0050406—2000 E158859



LR814321



R9858271

Patent No.: 95 2 18643.8

**Features**

- Small size, light weight, heavy reverse power.
- Low coil power consumption.
- PC board mounting.
- Suitable for automation control, telecommunication equipment, household electrical appliance and machinery electrical facilities.

**Ordering Information**

**NT73-2 C S 10 DC12V 0.36**

1	2	3	4	5	6
1 Part number: NT73-2	2 Contact arrangement: A:1A; B:1B; C:1C		3 Enclosure: S: Sealed type; NIL: Dust cover		4 Contact rating: 5A,10A,12A,15A/125VAC 28VDC; 6A/277VAC
			5 Coil rated Voltage(V): DC:3,5,6,9,12,24,48		6 Coil power consumption: 0.36:0.36W; 0.45:0.45W; 0.8:0.8W

**Contact Data**

Contact Arrangement	1A (SPSTNO), 1B (SPSTNC), 1C (SPDT(B-M))
Contact Material	Ag-CdO Ag-SnO <sub>2</sub>
Contact Rating (resistive)	5A,6A,10A,12A,15A/125VAC,28VDC;20A/125VAC,16VDC; 6A/277VAC;10A/250VAC
	T <sub>ü</sub> V : 6A/250VAC, 28VDC (15A 0.4W ; 20A 0.8W coil only)
Max. Switching Power	Motor load: 1/3HP 125VAC ; 1/3HP 277VAC
Max. Switching Voltage	420V 2500VA
Contact Resistance or Voltage drop	110VDC 380VAC
Operation life	Electrical 10 <sup>8</sup> Mechanical 10 <sup>7</sup>
	Max. Switching Current:20A Item 3.12 of IEC255-7 Item 3.30 of IEC255-7 Item 3.31 of IEC255-7

**Coil Parameter**

Dash numbers	Coil voltage VDC		Coil resistance Ω±10%	Pickup voltage VDC(max) (75%of rated voltage )	release voltage VDC(min) (10% of rated voltage)	Coil power consumption W	Operate Time ms	Release Time ms
	Rated	Max.						
003-360	3	3.9	25	2.25	0.3	0.36	<10	<5
005-360	5	6.5	70	3.75	0.5			
006-360	6	7.8	100	4.50	0.6			
009-360	9	11.7	225	6.75	0.9			
012-360	12	15.6	400	9.00	1.2			
024-360	24	31.2	1600	18.0	2.4			
048-360	48	62.4	6400	36.0	4.8			
003-450	3	3.9	20	2.25	0.3	0.45	<10	<5
005-450	5	6.5	55.6	3.75	0.5			
006-450	6	7.8	80	4.50	0.6			
009-450	9	11.7	180	6.75	0.9			
012-450	12	15.6	320	9.00	1.2			
024-450	24	31.2	1280	18.0	2.4			
048-450	48	62.4	5120	36.0	4.8			
003-800	3	3.9	11	2.25	0.3	0.80	<10	<5
005-800	5	6.5	31	3.75	0.5			
006-800	6	7.8	45	4.50	0.6			
009-800	9	11.7	101	6.75	0.9			
012-800	12	15.6	180	9.00	1.2			
024-800	24	31.2	720	18.0	2.4			
048-800	48	62.4	2880	36.0	4.8			

**CAUTION:** 1.The use of any coil voltage less than the rated coil voltage will compromise the operation of the relay.  
2.Pickup and release voltage are for test purposes only and are not to be used as design criteria.

NT73-2

**Operation condition**

Insulation Resistance	250MΩ min (at 500VDC)	Item 7 of IEC255-5
Dielectric Strength		
Between contacts	50Hz 750V	Item 6 of IEC255-5
Between contact and coil	50Hz 1500V	Item 6 of IEC255-5
Shock resistance	100m/s <sup>2</sup> 11ms	IEC68-2-27 Test Ea
Vibration resistance	10~55Hz double amplitude 1.5mm	IEC68-2-6 Test Fc
Terminals strength	5N	IEC68-2-21 Test Ua1
Solderability	235℃ ± 2℃ 3 ± 0.5s	IEC68-2-20 Test Ta method 1
Ambient Temperature	-55~85℃	
Relative Humidity	93% (at 40℃)	IEC68-2-3Test Ca
Mass	9.5g	

**Qualification inspection:**

Perform the qualification test as specified in the table IV of IEC255-19-1 and minimum sample size 24.

**Safety approvals**

Safety approval	UL	TüV	CCEE
Load	20A/125VAC 16VDC 10A/250VAC 6A/277VAC 1/3HP 125VAC/277VAC Insulation: B-class F-class	6A/250VAC 28VDC	7A/250VAC

**Dimensions (Unit: mm)**

Dimensions (Unit: mm)

mm      inch

0.3	0.012
0.4	0.016
0.5	0.020
1.0	0.039
1.3	0.051
1.4	0.055
1.0	0.079
3.9	0.153
6	0.236
12	0.472
12.2	0.480
15.3	0.602
16.5	0.650
19.5	0.768

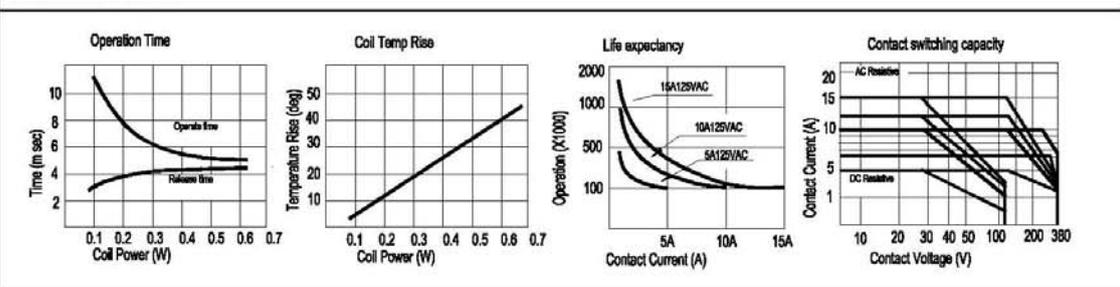
Dimensions (Bottom views)

Wiring diagram (Bottom views)

1A      1B      1C

NOTES 1). Dimensions are in millimeter.  
2). Inch equivalents are given for general information only.

**Reference Data**





## Transient Voltage Suppressors P6KE6V8(C)A - P6KE440(C)A

### Features

- Glass passivated junction.
- 600W Peak Pulse Power capability at 1.0 ms.
- Excellent clamping capability.
- Low incremental surge resistance.
- Fast response time; typically less than 1.0 ps from 0 volts to BV for unidirectional and 5.0 ns for bidirectional.
- Typical  $I_R$  less than 1.0  $\mu$ A above 10V.



**DO-15**

COLOR BAND DENOTES CATHODE ON UNIDIRECTIONAL DEVICES ONLY. NO COLOR BAND ON BIDIRECTIONAL DEVICES.

**P6KE6V8(C)A - P6KE440(C)A**

### DEVICES FOR BIPOLAR APPLICATIONS

- Bidirectional types use CA suffix.
- Electrical Characteristics apply in both directions.

## 600 Watt Transient Voltage Suppressors

### Absolute Maximum Ratings\* T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
P <sub>PPM</sub>	Peak Pulse Power Dissipation at T <sub>p</sub> =1ms	600	W
I <sub>PPM</sub>	Peak Pulse Current	see table	A
P <sub>D</sub>	Power Dissipation .375 " lead length @ T <sub>A</sub> = 75°C	5.0	W
I <sub>FSM</sub>	Non-repetitive Peak Forward Surge Current superimposed on rated load (JEDEC method) (Note 1)	100	A
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature Range	-65 to +175	°C
T <sub>J</sub>	Operating Junction Temperature	+ 175	°C

\*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

**Note 1:** Measured on 8.3 ms single half-sine wave; Duty cycle = 4 pulses per minute maximum.

**Transient Voltage Suppressors**  
(continued)

**Electrical Characteristics**  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Uni-directional Bi-directional (C) Device	Reverse Stand-off Voltage $V_{RWM}$ (V)	Breakdown Voltage $V_{BR}$ (V)		Test Current $I_T$ (mA)	Clamping Voltage @ $I_{PPM}$ $V_C$ (V)	Peak Pulse Current $I_{PPM}$ (A)	Reverse Leakage $V_{RWM}$ $I_R$ (uA)*
		min	Max				
P6KE6V8(C)A	5.80	6.45	7.14	10	10.5	57.1	1000
P6KE7V5(C)A	6.40	7.13	7.88	1	11.3	53.1	500
P6KE8V2(C)A	7.02	7.79	8.61	1	12.1	50.0	200
P6KE9V1(C)A	7.78	8.65	9.55	1	13.4	45.0	50
P6KE10(C)A	8.55	9.50	10.5	1	14.5	41.0	10
P6KE11(C)A	9.4	10.5	11.6	1	15.6	38.0	5
P6KE12(C)A	10.2	11.4	12.6	1	16.7	36.0	5
P6KE13(C)A	11.1	12.4	13.7	1	18.2	33.0	5
P6KE15(C)A	12.8	14.3	15.8	1	21.2	28.0	5
P6KE16(C)A	13.6	15.2	16.8	1	22.5	27.0	5
P6KE18(C)A	15.3	17.1	18.9	1	25.2	24.0	5
P6KE20(C)A	17.1	19.0	21.0	1	27.7	22.0	5
P6KE22(C)A	18.8	20.9	23.1	1	30.6	20.0	5
P6KE24(C)A	20.5	22.8	25.2	1	33.2	18.1	5
P6KE27(C)A	23.1	25.7	28.4	1	37.5	16.0	5
P6KE30(C)A	25.6	28.5	31.5	1	41.4	14.5	5
P6KE33(C)A	28.2	31.4	34.7	1	45.7	13.2	5
P6KE36(C)A	30.8	34.2	37.8	1	49.9	12.0	5
P6KE39(C)A	33.3	37.1	41.0	1	53.9	11.2	5
P6KE43(C)A	36.8	40.9	45.2	1	59.3	10.1	5
P6KE47(C)A	40.2	44.7	49.4	1	64.8	9.3	5
P6KE51(C)A	43.6	48.5	53.6	1	70.1	8.6	5
P6KE56(C)A	47.8	53.2	58.8	1	77.0	7.8	5
P6KE62(C)A	53.0	58.9	65.1	1	85.0	7.1	5
P6KE68(C)A	58.1	64.6	71.4	1	92.0	6.5	5
P6KE75(C)A	64.1	71.3	78.8	1	103.0	5.8	5
P6KE82(C)A	70.1	77.9	86.1	1	113.0	5.3	5
P6KE91(C)A	77.8	86.5	95.5	1	125.0	4.8	5
P6KE100(C)A	85.5	95.0	105.0	1	137.0	4.4	5
P6KE110(C)A	94.0	105.0	116.0	1	152.0	4.0	5
P6KE120(C)A	102.0	114.0	126.0	1	165.0	3.6	5
P6KE130(C)A	111.0	124.0	137.0	1	179.0	3.4	5
P6KE150(C)A	128.0	143.0	158.0	1	207.0	2.9	5
P6KE160(C)A	136.0	152.0	168.0	1	219.0	2.7	5
P6KE170(C)A	145.0	162.0	179.0	1	234.0	2.6	5
P6KE180(C)A	154.0	171.0	189.0	1	246.0	2.4	5
P6KE200(C)A	171.0	190.0	210.0	1	274.0	2.2	5
P6KE220(C)A	185.0	209.0	231.0	1	328.0	1.9	5
P6KE250(C)A	214.0	237.0	263.0	1	344.0	1.8	5
P6KE300(C)A	256.0	285.0	315.0	1	414.0	1.5	5
P6KE350(C)A	300.0	332.0	368.0	1	482.0	1.3	5
P6KE400(C)A	342.0	380.0	420.0	1	548.0	1.1	5
P6KE440(C)A	376.0	418.0	462.0	1	602.0	1.0	5

\* For bidirectional parts with  $V_{RWM} < 10\text{V}$ , the  $I_R$  max limit is doubled.

P6KE6V8(C)A - P6KE440(C)A



ELECTRONICS, INC.  
44 FARRAND STREET  
BLOOMFIELD, NJ 07003  
(973) 748-5089

## NTE1V010 thru NTE1V300 NTE2V010 thru NTEV480 NTE524V13 thru NTE524V48 Metal Oxide Varistors (MOV)

### Description:

The NTE Metal Oxide Varistors feature a barrier layer that gives the user fast response time. These devices have a high transient current handling capability when high voltage is applied. Static resistance is, however, very high under low voltage conditions, permitting low standby drain currents.

The NTE 1V Series Varistors have a non-linear voltage/current characteristic as expressed by the relationship:

$$I = KV^n$$

Where I = The current in amperes

V = The voltage

K = A constant

n = A constant which shows the dependence of the voltage V upon the current I. It is called the voltage-dependant index

### Features:

- High Transient Current Capability – up to 6500A
- Fast Response Time – less than 35ns
- Excellent Voltage Clamping Characteristics
- Very Low Temperature Coefficient
- Low Standby Current
- High Energy Capability
- The Value for “n” is Greater
- Very Low Leakage Current
- Low Capacitance
- Low Overshoot Characteristics

### Electrical Ratings:

#### **Varistor Voltage**

The voltage across the varistor at a DC current of 1.0mA.

#### **Energy**

The maximum electrical energy which can be dissipated within the varistor by a single impulse of 10 x 1000µs current waveform with continuous voltage applied. Energy ratings are based on a shift of varistor voltage of less than 10% of the initial value. The unit is expressed in joules.

#### **Peak Current**

The maximum current allowable for a single pulse of 8 x 20µs exponential waveform.

Operating Ambient Temperature .....	-40° to +85°C
Storage Temperature .....	-40° to +125°C
Response Time .....	less than 35ns
Voltage Temperature Coefficient .....	less than 0.05%/°C
Non-Linear Exponent	
NTE1V010 to NTE1V075, NTE2V010 to NTE2V075 .....	15 to 50
NTE1V095 to NTE1V300, NTE2V095 to NTE2V480, NTE524V13 to NTE524V48 .....	greater than 40
Maximum Leakage Current .....	10µA

**Electrical Characteristics:**

NTE Type Number	Case Diameter	Maximum Ratings (T <sub>A</sub> = 25°C)				Characteristics		
		Continuous		Transient		Nominal Varistor Voltage @ 1mA DC Test Current (Volts)	Maximum Clamping Voltage, V <sub>C</sub> @ Test Current (8/20µs) (Volts)	Transient Power Dissipation (Watts)
		RMS Voltage (Volts) V <sub>m</sub> (AC)	DC Voltage (Volts) V <sub>m</sub> (DC)	Energy (10/1000µs) (Joules) W <sub>TM</sub>	Peak Current (8/20µs) (Amps) I <sub>TM</sub>			
1V010	8.5mm	10	12	0.8	250	18	45	0.25
2V010	16mm	10	12	3.5	1000	18	45	0.60
1V014	8.5mm	14	18	1.2	250	22	55	0.25
2V014	16mm	14	18	4.0	1000	22	55	0.60
1V015	8.5mm	15	20	1.0	250	24	52	0.25
2V015	16mm	15	20	4.5	1000	24	48	0.60
1V017	8.5mm	17	22	1.3	250	27	60	0.25
2V017	16mm	17	22	5.0	1000	27	60	0.60
1V020	8.5mm	20	26	1.5	250	33	70	0.25
2V020	16mm	20	26	6.0	1000	33	70	0.60
1V025	8.5mm	25	31	1.7	250	39	80	0.25
2V025	16mm	25	31	7.0	1000	39	80	0.60
1V030	8.5mm	30	38	2.3	250	47	95	0.25
2V030	16mm	30	38	8.5	1000	47	95	0.60
1V035	8.5mm	35	45	2.7	250	56	110	0.25
2V035	16mm	35	45	10.0	1000	56	110	0.60
1V040	8.5mm	43	55	3.2	250	68	135	0.25
2V040	16mm	43	55	13.0	1000	68	135	0.60
1V050	8.5mm	52	66	4.0	250	82	150	0.25
2V050	16mm	52	66	14.0	1000	82	150	0.60
1V060	8.5mm	63	80	6.0	1200	100	175	0.25
2V060	16mm	63	80	18.0	4500	100	175	0.60
1V075	8.5mm	75	95	5.0	1200	120	205	0.25
2V075	16mm	75	95	21.0	4500	120	205	0.60
1V095	8.5mm	95	125	7.0	1200	150	250	0.25
2V095	16mm	95	125	29.0	4500	150	250	0.60
1V115	8.5mm	115	150	10.0	1200	171	295	0.25
2V115	16mm	115	150	35.0	4500	171	300	0.60
1V130	8.5mm	135	180	10.0	1200	216	355	0.25
2V130	16mm	135	180	39.0	4500	216	355	0.60
524V13	23mm	135	180	72.0	6500	216	355	1.00
1V150	8.5mm	160	210	10.0	1200	240	410	0.25
2V150	16mm	160	210	40.0	4500	240	410	0.60
524V15	23mm	160	210	80.0	6500	240	410	1.00
1V175	8.5mm	170	225	12.0	1200	270	450	0.25
524V17	23mm	170	225	90.0	6500	270	450	1.00
1V250	8.5mm	240	320	20.0	1200	390	630	0.25
2V250	16mm	240	320	70.0	4500	390	630	0.60
524V25	23mm	240	320	129.0	6500	390	630	1.00
1V275	8.5mm	260	330	20.0	1200	430	685	0.25
2V275	16mm	260	330	72.0	4500	430	685	0.60
524V27	23mm	260	330	135.0	6500	430	685	1.00

**Electrical Characteristics (Cont'd):**

NTE Type Number	Case Diameter	Maximum Ratings (T <sub>A</sub> = 25°C)				Characteristics		
		Continuous		Transient		Nominal Varistor Voltage @ 1mA DC Test Current (Volts)	Maximum Clamping Voltage V <sub>C</sub> @ Test Current (8/20µs) (Volts)	Transient Power Dissipation (Watts)
		RMS Voltage (Volts) V <sub>m</sub> (AC)	DC Voltage (Volts) V <sub>m</sub> (DC)	Energy (10/1000µs) (Joules) W <sub>TM</sub>	Peak Current (8/20µs) (Amps) I <sub>TM</sub>			
1V300	8.5mm	280	370	22.0	1200	470	740	0.25
2V300	16mm	280	370	79.0	4500	470	740	0.60
524V30	23mm	280	370	149.0	6500	470	740	1.00
2V420	16mm	420	560	90.0	4500	680	1110	0.60
524V42	23mm	420	560	160.0	6500	680	1110	1.00
2V480	16mm	480	640	105.0	4500	750	1240	0.60
524V48	23mm	480	640	180.0	6500	750	1240	1.00

**Cautions:**

NTE varistors short-circuit when subjected to surges beyond their peak current and energy ratings.

NTE varistors short-circuit when operated at steady-state voltages well beyond their voltage ratings, which may eventually result in open-circuiting leaving the circuit without protection.

The following precautions should be taken to minimize this potential hazard:

- Fusing the varistor to limit high fault currents.
- Protecting the surrounding circuitry by physical shielding.
- Locating the varistor away from other components.

**Typical Power Supply Circuit**

	D	H	L	LL	LS	LD
1V Series	.345 (9.0)	.235 (6.0)	.475 (12.0)	1.000 (25.4)	.200 (5.08)	.024 (0.6)
2V Series	.699 (17.8)	.275 (7.0)	.787 (20.0)	1.000 (25.4)	.315 (8.0)	.031 (0.8)
524V Series	.945 (24.0)	.291 (7.4)	1.230 (31.0)	1.063 (27.0)	.394 (10.0)	.039 (1.0)

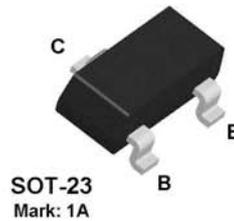


*Discrete Power & Signal Technologies*

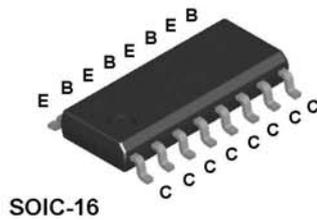
### 2N3904



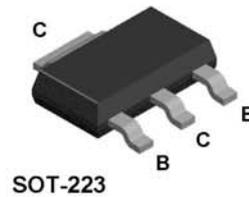
### MMBT3904



### MMPQ3904



### PZT3904



## NPN General Purpose Amplifier

This device is designed as a general purpose amplifier and switch. The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier. Sourced from Process 23.

### Absolute Maximum Ratings\*

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage	40	V
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage	60	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage	6.0	V
$I_C$	Collector Current - Continuous	200	mA
$T_J, T_{stg}$	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

\*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

**NOTES:**

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

## NPN General Purpose Amplifier

(continued)

## Electrical Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10 \text{ } \mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10 \text{ } \mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
$I_{BL}$	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 0$		50	nA
$I_{CEX}$	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 0$		50	nA

## ON CHARACTERISTICS\*

$h_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = 0.1 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 50 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 100 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	40 70 100 60 30	300	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$		0.2 0.3	V V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$	0.65	0.85 0.95	V V

## SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

$f_T$	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 20 \text{ V},$ $f = 100 \text{ MHz}$	300		MHz
$C_{obo}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0 \text{ V}, I_E = 0,$ $f = 1.0 \text{ MHz}$		4.0	pF
$C_{ibo}$	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5 \text{ V}, I_C = 0,$ $f = 1.0 \text{ MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure (except MMPQ3904)	$I_C = 100 \text{ } \mu\text{A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V},$ $R_S = 1.0 \text{ k}\Omega, f = 10 \text{ Hz to } 15.7 \text{ kHz}$		5.0	dB

## SWITCHING CHARACTERISTICS (except MMPQ3904)

$t_d$	Delay Time	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}, V_{BE} = 0.5 \text{ V},$		35	ns
$t_r$	Rise Time	$I_C = 10 \text{ mA}, I_{B1} = 1.0 \text{ mA}$		35	ns
$t_s$	Storage Time	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}, I_C = 10 \text{ mA}$		200	ns
$t_f$	Fall Time	$I_{B1} = I_{B2} = 1.0 \text{ mA}$		50	ns

\*Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 \text{ } \mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ 

## Spice Model

NPN (Is=6.734f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=74.03 Bf=416.4 Ne=1.259 Ise=6.734 Ikf=66.78m Xtb=1.5 Br=.7371 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rc=1 Cjc=3.638p Mjc=.3085 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=4.493p Mje=.2593 Vje=.75 Tr=239.5n Tf=301.2p ltf=.4 Vtf=4 Xtf=2 Rb=10)

### NPN General Purpose Amplifier

(continued)

#### Thermal Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

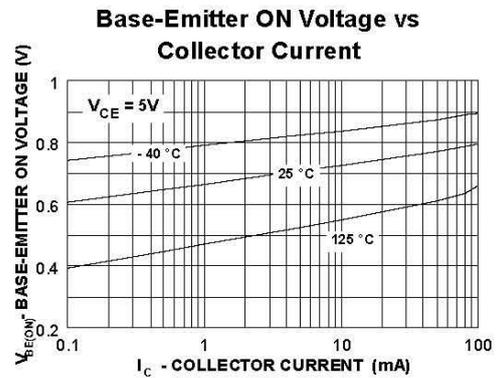
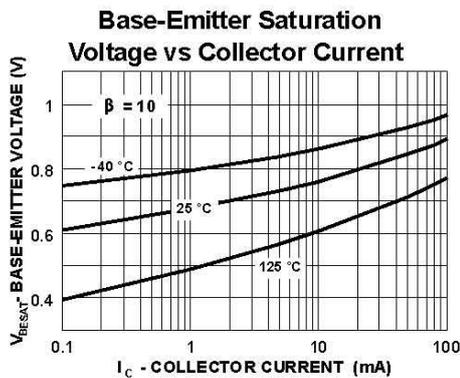
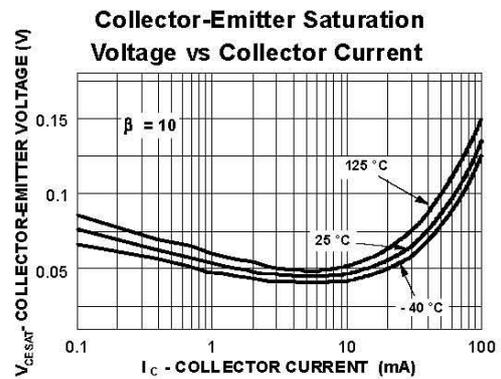
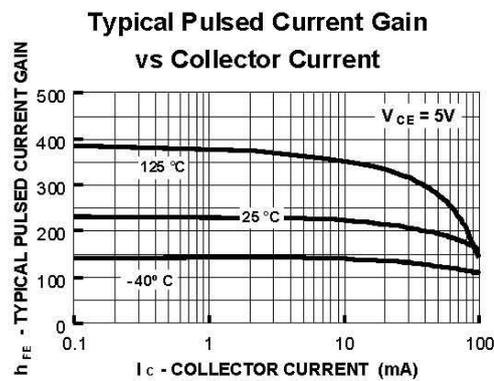
Symbol	Characteristic	Max		Units
		2N3904	*PZT3904	
P <sub>D</sub>	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625	1,000	mW
		5.0	8.0	mW/°C
R <sub>θJC</sub>	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3		°C/W
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	125	°C/W

Symbol	Characteristic	Max		Units
		**MMBT3904	MMPQ3904	
P <sub>D</sub>	Total Device Dissipation Derate above 25°C	350	1,000	mW
		2.8	8.0	mW/°C
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient Effective 4 Die Each Die	357		°C/W
			125	°C/W
			240	°C/W

\* Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6 cm<sup>2</sup>.

\*\* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06."

#### Typical Characteristics



# LM79XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

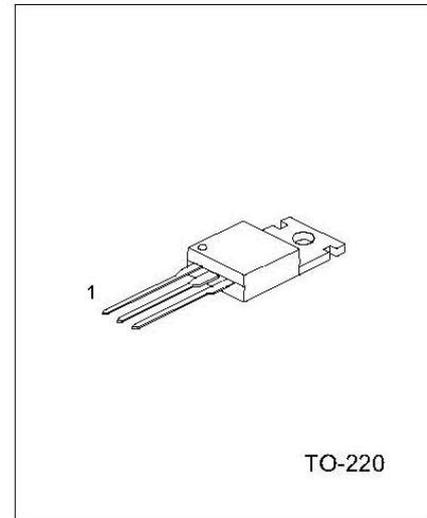
## 3 TERMINAL 1A NEGATIVE VOLTAGE REGULATOR

### DESCRIPTION

The Contek LM79XX series of three-terminal negative regulators are available in TO-220 package and with several fixed output voltage, making them useful in a wide range of application. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible.

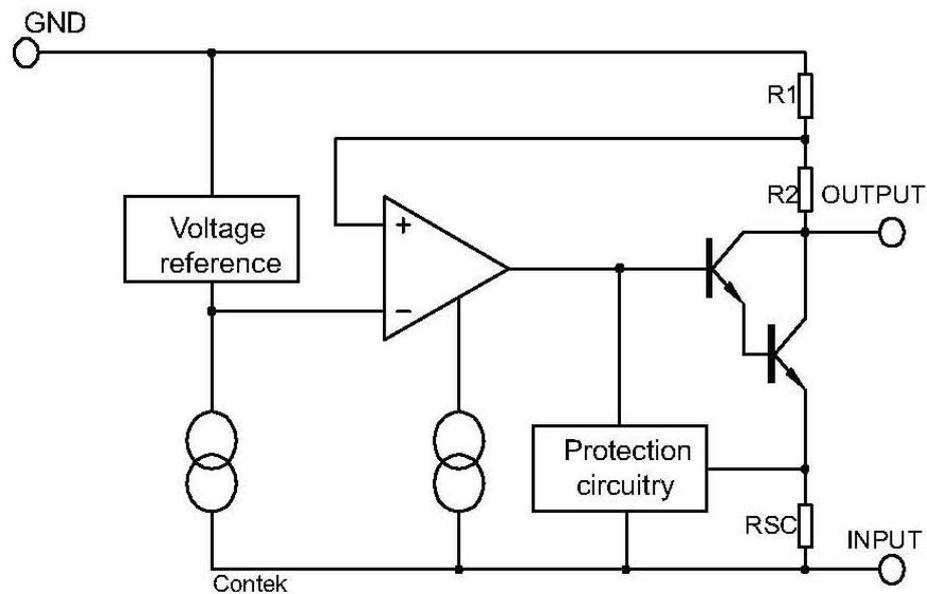
### FEATURES

- \*Output current up to 1A
- \*-5V; -6V; -8V; -12V; -15V; -18V; -24V output voltage available
- \*Thermal overload protection
- \*Short circuit protection



1:GND 2:Input 3:Output

### BLOCK DIAGRAM



Contek Microelectronics Co.,Ltd.

<http://www.contek-ic.com> E-mail:sales@contek-ic.com

# LM79XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS( $T_a=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

PARAMETER	SYMBOL	VALUE	UNIT
Input voltage	$V_i$	-35	V
Thermal resistance junction-air	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}\text{C/W}$
Thermal resistance junction-cases	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}\text{C/W}$
Operating Temperature	$T_{opr}$	0 ~ +125	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature	$T_{stg}$	-65 ~ +150	$^{\circ}\text{C}$

## Contek7905 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to test circuits,  $0 < T_j < 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $I_o=500\text{mA}$ ,  $V_i=-10\text{V}$ ,  $C_i=33\mu\text{F}$ ,  $C_o=1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage	$V_o$	$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$	-4.8	-5.0	-5.2	V
		$5.0\text{mA} < I_o < 1.0\text{A}$ , $P_o < 15\text{W}$ $V_i=-7\text{V to }-20\text{V}$	-4.75	-5.00	-5.25	V
Line regulation	$\Delta V_o$	$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_i=-7\text{V to }-25\text{V}$		10	100	mV
		$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_i=-8\text{V to }-12\text{V}$				mV
Load regulation	$\Delta V_o$	$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $I_o=5.0\text{mA to }1.5\text{A}$		10	100	mV
		$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $I_o=250\text{mA to }750\text{mA}$		3	50	mV
Quiescent current	$I_q$	$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$		3	6	mA
Quiescent current change	$\Delta I_q$	$I_o=5\text{mA to }1.0\text{A}$		0.05	0.5	mA
		$V_i=-7\text{V to }-25\text{V}$		0.1	1.3	mA
Output voltage drift	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5\text{mA}$		-0.4		mV/ $^{\circ}\text{C}$
Output noise voltage	$V_N$	$f=10\text{Hz to }100\text{kHz}$ , $T_a=25\text{ }^{\circ}\text{C}$		100		$\mu\text{V}$
Ripple rejection	RR	$f=120\text{Hz}$ , $V_i=-8\text{V to }-18\text{V}$	54	60		dB
Dropout voltage	$V_o$	$I_o=1.0\text{A}$ , $T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2		V
Short circuit current	$I_{sc}$	$V_i=-35\text{V}$ , $T_a=25\text{ }^{\circ}\text{C}$		300		mA
peak current	$I_{pk}$	$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2.2		A

## Contek7906 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to test circuits,  $0 < T_j < 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $I_o=500\text{mA}$ ,  $V_i=-11\text{V}$ ,  $C_i=2.2\mu\text{F}$ ,  $C_o=1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage	$V_o$	$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$	-5.75	-6.00	-6.25	V
		$5.0\text{mA} < I_o < 1.0\text{A}$ , $P_o < 15\text{W}$ $V_i=-8\text{V to }-21\text{V}$	-5.7	-6.0	-6.3	V
Line regulation	$\Delta V_o$	$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_i=-8\text{V to }-25\text{V}$		10	120	mV
		$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_i=-9\text{V to }-13\text{V}$		5	60	mV
Load regulation	$\Delta V_o$	$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $I_o=5.0\text{mA to }1.5\text{A}$		10	120	mV
		$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $I_o=250\text{mA to }750\text{mA}$		3	60	mV
Quiescent current	$I_q$	$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$		3	6	mA
Quiescent current change	$\Delta I_q$	$I_o=5\text{mA to }1.0\text{A}$			0.5	mA
		$V_i=-8\text{V to }-25\text{V}$			1.3	mA
Output voltage drift	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5\text{mA}$		-0.5		mV/ $^{\circ}\text{C}$
Output noise voltage	$V_N$	$f=10\text{Hz to }100\text{kHz}$ , $T_a=25\text{ }^{\circ}\text{C}$		130		$\mu\text{V}$
Ripple rejection	RR	$f=120\text{Hz}$ , $V_i=-9\text{V to }-19\text{V}$	54	60		dB
Dropout voltage	$V_o$	$I_o=1.0\text{A}$ , $T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2		V
Short circuit current	$I_{sc}$	$V_i=-35\text{V}$ , $T_a=25\text{ }^{\circ}\text{C}$		300		mA
peak current	$I_{pk}$	$T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$		2.2		A



Contek Microelectronics Co., Ltd.

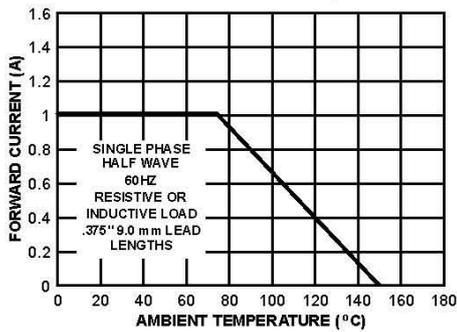
<http://www.contek-ic.com> E-mail: [sales@contek-ic.com](mailto:sales@contek-ic.com)



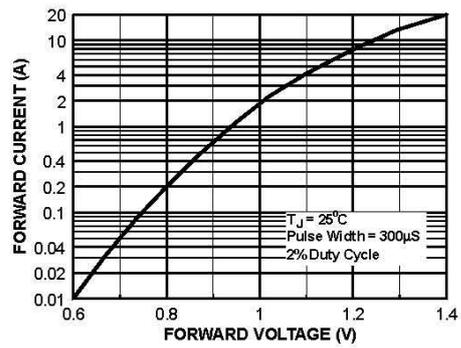
**General Purpose Rectifiers**  
(continued)

**Typical Characteristics**

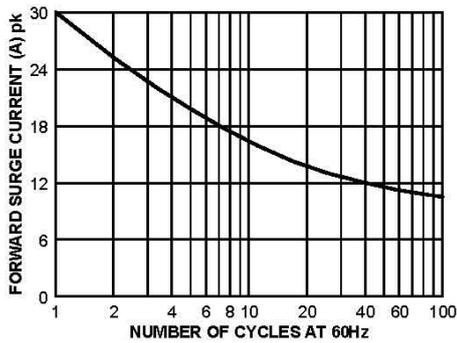
**Forward Current Derating Curve**



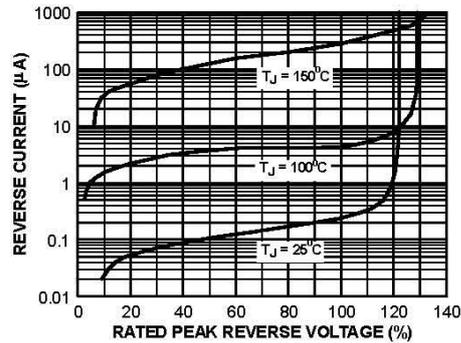
**Forward Characteristics**



**Non-Repetitive Surge Current**



**Reverse Characteristics**

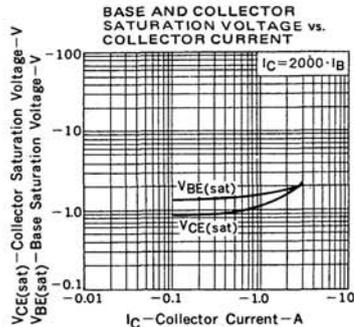
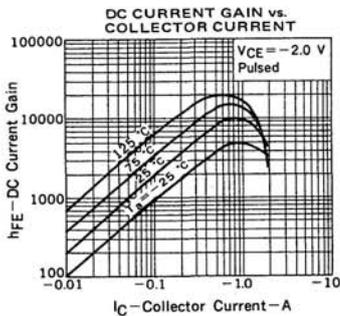
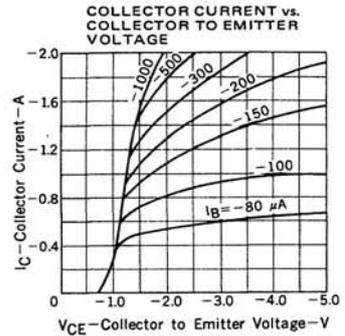
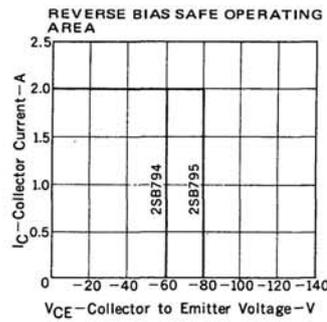
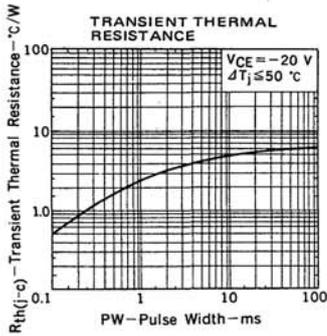
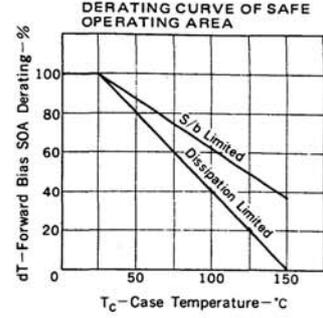
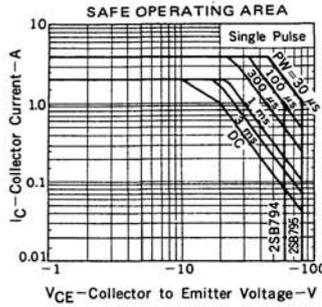
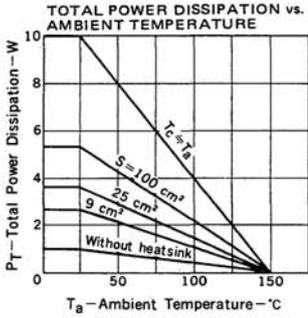




**NEC**

**2SB794, 2SB795**

**TYPICAL CHARACTERISTICS ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )**





# 1N582x

## LOW DROP POWER SCHOTTKY RECTIFIER

### MAIN PRODUCTS CHARACTERISTICS

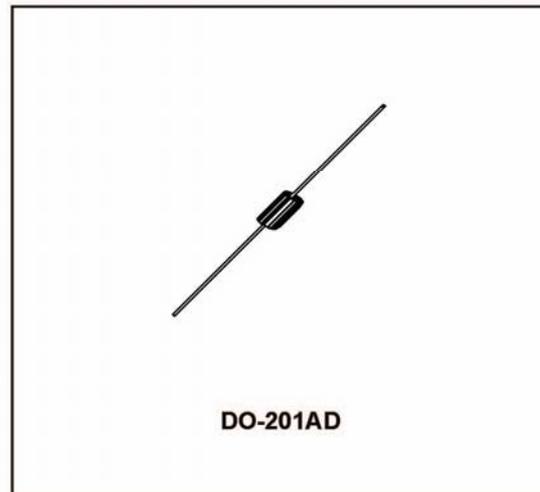
$I_{F(AV)}$	<b>3 A</b>
$V_{RRM}$	<b>40 V</b>
$T_j$	<b>150°C</b>
$V_F$ (max)	<b>0.475 V</b>

### FEATURES AND BENEFITS

- VERY SMALL CONDUCTION LOSSES
- NEGLIGIBLE SWITCHING LOSSES
- EXTREMELY FAST SWITCHING
- LOW FORWARD VOLTAGE DROP

### DESCRIPTION

Axial Power Schottky rectifier suited for Switch Mode Power Supplies and high frequency DC to DC converters. Packaged in DO-201AD these devices are intended for use in low voltage, high frequency inverters, free wheeling, polarity protection and small battery chargers.



### ABSOLUTE RATINGS (limiting values)

Symbol	Parameter	Value			Unit
		1N5820	1N5821	1N5822	
$V_{RRM}$	Repetitive peak reverse voltage	20	30	40	V
$I_{F(RMS)}$	RMS forward current	10			A
$I_{F(AV)}$	Average forward current	$T_L = 100^\circ\text{C}$ $\delta = 0.5$		3	A
		$T_L = 110^\circ\text{C}$ $\delta = 0.5$	3	3	A
$I_{FSM}$	Surge non repetitive forward current	$t_p = 10$ ms Sinusoidal		80	A
$T_{stg}$	Storage temperature range	- 65 to + 150			°C
$T_j$	Maximum operating junction temperature *	150			°C
dV/dt	Critical rate of rise of reverse voltage	10000			V/μs

\* :  $\frac{dP_{tot}}{dT_j} < \frac{1}{R_{th(j-a)}}$  thermal runaway condition for a diode on its own heatsink

**1N582x**

**THERMAL RESISTANCES**

Symbol	Parameter		Value	Unit
$R_{th(j-a)}$	Junction to ambient	Lead length = 10 mm	80	$^{\circ}C/W$
$R_{th(j-l)}$	Junction to lead	Lead length = 10 mm	25	$^{\circ}C/W$

**STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Symbol	Parameter	Tests Conditions		1N5820	1N5821	1N5822	Unit
$I_R^*$	Reverse leakage current	$T_j = 25^{\circ}C$	$V_R = V_{RRM}$	2	2	2	mA
		$T_j = 100^{\circ}C$		20	20	20	mA
$V_F^*$	Forward voltage drop	$T_j = 25^{\circ}C$	$I_F = 3 A$	0.475	0.5	0.525	V
		$T_j = 25^{\circ}C$	$I_F = 9.4 A$	0.85	0.9	0.95	V

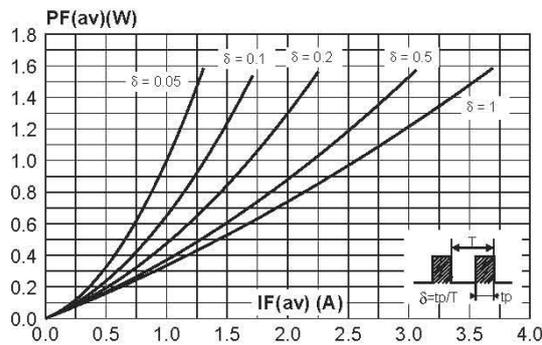
Pulse test : \*  $t_p = 380 \mu s$ ,  $\delta < 2\%$

To evaluate the conduction losses use the following equations :

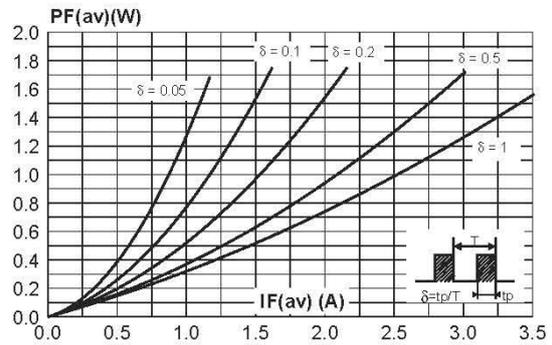
$P = 0.33 \times I_{F(AV)} + 0.035 I_{F(RMS)}^2$  for 1N5820 / 1N5821

$P = 0.33 \times I_{F(AV)} + 0.060 I_{F(RMS)}^2$  for 1N5822

**Fig. 1:** Average forward power dissipation versus average forward current (1N5820/1N5821).



**Fig. 2:** Average forward power dissipation versus average forward current (1N5822).





## NProbe GV-310

### GPRS + GPS Vehicle Communicator for Logistics and Fleet Management

#### Overview

NProbe GV-310 Vehicle Communicator is a low cost but powerful dual-way communication device for automatic vehicle locations (AVL) and real-time GPS tracking applications. It combines GPS and NXN's WM2M technology, providing reliable GSM/GPRS communications with quad band GSM/GPRS operation for international coverage. Meanwhile, it integrates a GPS receiver, reliable GSM/GPRS communication system, 1 RS-232 serial port, data logger, and industrial enclosure and design. More than a GPRS Modem and GPS Tracking Terminal, GV-310 can cooperate with NXN's GPRS Gateway Software to construct a smooth "GPRS Data Tunnel", enabling various kinds of legacy devices with simple I/O and proprietary serial protocols to communicate over GSM/GPRS network and the Internet easily and freely. In addition, the unit also ships with easy-to-use API, GPRS Gateway Software, Windows-based Administration Manager and Console Utility, freeing system integrators from dealing with complex GPRS and TCP/IP communications.



**GV-310 GPRS + GPS  
Vehicle Communicator**

#### Features

- ◆ Optional quad band GSM/GPRS 850/900/1800/1900MHz
- ◆ 1x RS-232 serial port
- ◆ Continuous and automatic GPRS VPN Management (GPRS Data Tunnel)
- ◆ GUI-based Administration Manager
- ◆ Industrial design with surge protection
- ◆ Easy-to-use API (VC/VB/BCB)
- ◆ Real-time Clock (RTC)
- ◆ Built-in Watch Dog
- ◆ Built-in 2MB Data Logger
- ◆ Built-in GPS receiver for 16 channels
- ◆ Built-in rechargeable battery
- ◆ Local and remote configuration over the air (OTA)
- ◆ Remote firmware upgrade over the air (OTA)

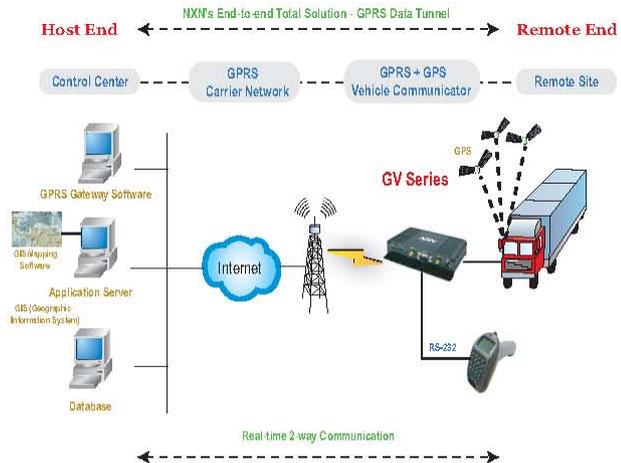
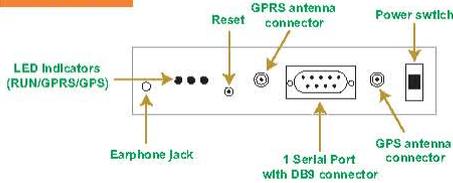
#### Benefits

- ◆ Industrial hardware design with intelligent software capabilities, making it a reliable GPRS/GPS automatic vehicle location solution.
- ◆ Embedded interpreter for easy configuration, including easy-to-use API, GPRS Gateway Server and GUI-based administration tool, offering an easy management and integration for all devices.
- ◆ Air interface updating for remote firmware upgrade and remote parameters update, making it an affordable solution, and saving time and cost for field maintenance.
- ◆ Reliable GPRS network connectivity, providing fast and cost-effective long-range wireless communication.

**Applications**

- ◆ Logistics
- ◆ Fleet management
- ◆ Commercial vehicle monitor and driver performance monitor
- ◆ Rental car monitoring and theft recovery
- ◆ Emergency (ambulance and fire engine)
- ◆ Hazardous waste management
- ◆ Security (cash carrier vehicle and police vehicle)

**Panel**



**Specifications**

All specifications are subject to change without prior notice.

NProbe GV-310 Vehicle Communicator		
General Specifications	Processor Environment	Low power-consumption CPU, 128KB SRAM
	Power Consumption	<1.4W (GPRS online), 2W (searching GPRS), <360mW (idle)
	Voltage	9~43VDC
	LED Status Indicator	RUN/GPRS/GPS
	Data Logger Capacity	2MB
	Firmware Upgrade	through serial port or by air interface
GPRS Specifications	Parameter Setting	through serial port or by air interface
	Protocol Supported	TCP, UDP, ICMP, PPP
	GPRS Multi-slot	Class 8
	GPRS Mobile Station	Class B
	Download/Upload	85.6Kbps/21.4Kbps
	Code Scheme	CS1, CS2, CS3, CS4
GPS Specifications	PPP-Stack	Yes
	Module Approvals	GCF, R & TTE
	Receiver	L1, 1575.42MHz, C/A Code 1.023MHz chip rate, 16 channels
	Accuracy	10 meters CEP without SA
	Position	0.1 meter/second without SA
	Velocity	1 microsecond synchronized to GPS time
Interface	Time	
	Datum	WGS-84
	Acquisition Rate (Average)	Snap start <3 sec., Hot start <8 sec., Warm start <38 sec., Cold start <45 sec.,
	NMEA Protocol	GLL, GGA, RMC, VTG, GSV, GSA
	RS-232	1
	Digital Input/Output	N/A
Mechanical Specifications	Operating Temperature	-20°C~60°C
	Storage Temperature	-30°C~80°C
	Humidity	5%~85% RH
	Regulatory Approvals	CE, FCC, C-Tick
	Vibration Approval	MIL-STD810F
	Dimensions (L x W x H) (mm)	84 x 153 x 43
Ordering Information	Weight (g)	385
	SIM Card Holder	3V/5V
	DB9 Connector	RS-232 x 1
	RJ-45 Connector	N/A
	SMA F External Antenna Connector	Yes
	Wall-mount	Yes
Frequency	900/1800MHz/850/1900MHz	
Battery	NA/500(default)/1000/2000mAh	
GPRS Antenna	NA/Yes	
GPS Antenna	NA/Yes	
Power Input	power cable (2m)	

## **ANEXO 4**

### **ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO**



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. “4-20 mA Digital to Process Current Transmitter”, *Application Note 21*, Analog Devices, 2002
2. “Section 23. 10 bit A/D Converter”, *PICMicro MID-RANGE MCU FAMILY MANUAL*, DS31023A, Microchip Technology Inc., 1997
3. “Designing 4-20 mA Current Loops”, *Application Note*, Building Automation Products Inc., 2006
4. Ott, Henry W., “Partitioning and Layout of Mixed Signal PCB”, *Printed Circuit Design*, Junio de 2001
5. Filter Lab 2.0 User’s Guide, DS51419A, Microchip Technology Inc., 2003
6. Baker, Bonnie C., “Anti-Aliasing, Analog Filters for Data Acquisition Systems”, *Application Note 699*, DS00699B, Microchip Technology Inc., 1999
7. “MODBUS Application Protocol Specification V1.1a”, *Modbus IDA*, Junio 4 de 2004
8. “MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.0”, *MODBUS.ORG*, Febrero 12 de 2002
9. Baker, Bonnie C., “Techniques that Reduce System Noise in ADC Circuits”, *Analog Design Note 007*, DS21854A, Microchip Technology Inc., 2004
10. Ultiboard Footprint Reference Guide, Electronics Workbench Corporation, Junio de 2005
11. “Understanding 4-20 mA Current Loops”, *Application Note*, Building Automation Products Inc., 2006
12. HI-TECH PICC-Lite Compiler, HI-TECH Software, Octubre 31 de 2005
13. Willis, Thearon, Newsome, Bryan, *Beginnig Visual Basic 2005*, Wiley Publishing, Inc., United States of America 2006

14. Evjen Bill, Lothka, Rockford, Hollis, Billy, Sheldon, Bill, Sharkey, Kent, McCarthy, Tim, Ramachandran, Rama, *Professional VB 2005*, Wiley Publishing, Inc., United States of America 2006
15. Dunn, William C., *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*, The McGraw-Hill Companies, Inc., United States of America 2005
16. Dewson, Robin, *Beginning SQL Server 2005 for Developers*, Apress, United States of America 2006
17. Herrera Z., Leandro, Instrumentación de Procesos Industriales, [Http://cabierta.uchile.cl/libros/l\\_herrera/iq54a/especific.htm#\\_Toc453495133](http://cabierta.uchile.cl/libros/l_herrera/iq54a/especific.htm#_Toc453495133), Enero de 2008
18. Filter Basics: Anti-Aliasing, [http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/an\\_pk/928](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/an_pk/928), Enero 11 de 2002, Febrero de 2008
19. Analisis of the Sallen-Key Architecture, <http://focus.ti.com/lit/an/sloa024b/sloa024b.pdf>, Julio de 1999, Febrero de 2008
20. Ross, Kevin, Basic Circuits - Bypass Capacitors, <http://www.seattlerobotics.org/encoder/jun97/basics.html>, Febrero de 2008
21. Crowley, James, WinSock Control–Events, <http://www.developerfusion.co.uk/show/78/8/>, 1999, Octubre de 2007
22. Visual Basic: Winsock Control, [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa228160\(VS.60\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa228160(VS.60).aspx), Octubre de 2007
23. Allow Multiple Winsock Connections to One Server, <http://www.devx.com/tips/Tip/5488>, Febrero 24 de 1999, Octubre de 2007
24. The Human-Machine Interface (HMI), <http://www.iec.org/online/tutorials/hmi/topic06.html>, 2007, Diciembre de 2007
25. Ultiboard User Guide, National Instruments Corporation, Enero de 2007
26. Multisim User Guide, National Instruments Corporation, Enero de 2007

**FECHA: Sangolquí, 4 de Julio del 2008**

---

Sr. Efrén Andrés Estrella Terneux

---

Sr. Ing. Gonzalo Olmedo  
Coordinador de Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones