

**MÓDULO DE TELEMETRÍA INALÁMBRICO PARA EL MONITOREO DE
SEÑALES DE PRESIÓN, TEMPERATURA Y NIVEL**

**MANUEL RICARDO GARCÍA PATIÑO
DIDIER ALEXANDER SUÁREZ FAJARDO**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2008**

**MÓDULO DE TELEMETRÍA INALÁMBRICO PARA EL MONITOREO DE
SEÑALES DE PRESIÓN, TEMPERATURA Y NIVEL**

**MANUEL RICARDO GARCÍA PATIÑO
DIDIER ALEXANDER SUÁREZ FAJARDO**

**Tesis de Grado para optar por el título
de Ingeniero Electrónico**

**Director
Ing. ÁLEX MONCLOU, MSC
Facultad de Ingeniería Electrónica**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2008**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, Abril de 2008

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos a:

Al Ing. ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO, quien nos orientó y colaboró durante la elaboración del proyecto.

A los profesores Cristian Jiménez Barreara y Reinaldo Claros quienes nos colaboraron durante el desarrollo de nuestro proyecto.

A todos los profesores que durante toda la carrera nos brindaron sus conocimientos y nos dieron la mejor formación como Ingenieros Electrónico.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por acogernos durante estos 5 años, y hacerme parte de su familia.

Y a todas aquellas personas que de una y otra manera se hicieron partícipes en este gran logro.

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto, primero que todo a Dios, quien me dio la vida y la inteligencia para cumplir con este objetivo tan importante.

En segunda instancia, pero no menos importante, a nuestros padres Luis Suárez Martínez y Olga Fajardo Fajardo, Ricardo García Arenas y María Antonia Patiño L, y a Fernanda Gómez, Gabriel Ricardo García Gómez y Sandra Peñuela Leal, quienes han sido durante todo el proceso de nuestra carrera el apoyo para que hoy obtengamos tan anhelado triunfo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS	14
1.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. ASPECTOS BASICOS DE LAS TELEMETRIA	15
2.1TELEMETRÍA	15
2.2 PARTES DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA	15
2.2.1 Esquemas	16
2.3 ENLACES UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS DE TELEMETRÍA	18
2.4 MODULACIÓN DIGITAL	18
2.5 CÓDIGOS DE DETECCIÓN DE ERRORES	19
2.6 PROTOCOLO DE COMUNICACIONES	20
2.7 ANTENAS	20
3. DISEÑO METODOLÓGICO	22
3.1 TRANSMISOR Y RECEPTOR DE RADIOFRECUENCIA (RF)	25
3.2 ANTENA	27
3.3 MICROCONTROLADOR RFPIC	28
3.4 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL	30
3.4.1 Acondicionamiento de señal para sensor de temperatura	30
3.4.2 Acondicionamiento de señal para sensor de nivel	30
3.4.3 Acondicionamiento de señal para sensor de Presión	31
3.5 CONVERTOR ANÁLOGO/DIGITAL	31
3.6 TRANSMISOR	33
3.7 MULTIPLEXOR DE DATOS	36
3.8 INTERFAZ RS232	37
3.9 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN, VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS	39
3.10 FUENTE DE PODER	42
3.11 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS TARJETAS IMPRESAS	43
3.11.1 Parámetros de diseño para dispositivos de radio frecuencia (RF)	48
4. ELABORACIÓN DE PRUEBAS	50
4.1 SENSOR DE NIVEL	50
4.2 SENSOR DE PRESIÓN	51
4.3 SENSOR DE TEMPERATURA	52
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
6. CONCLUSIONES	55
7. RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS	58

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Esquema típico de un paquete de datos	20
Tabla 2. Características del Receptor	27
Tabla 3. Características eléctricas de la antena utilizada	28
Tabla 4. Principales características del PIC utilizado	29
Tabla 5. Descripción de pines de la interfaz RS232	38
Tabla 6. Valores de voltaje (entrada y salida) del acondicionamiento del sensor de nivel	50
Tabla 7. Equivalencia de código ASCII según el voltaje de entrada arrojado por el sensor de nivel	50
Tabla 8. Equivalencia de Voltaje correspondiente al sensor de presión de 4 – 20mA	51
Tabla 9. Equivalencia del código ASCII con relación a la corriente de entrada del sensor de presión	52
Tabla 10. Relación Temperatura sensada y voltaje de salida correspondiente al acondicionamiento	53
Tabla 11. Relación Temperatura generada código ASCII generado	53

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de un proceso telemétrico	15
Figura 2. Diagrama de bloque de un nodo	16
Figura 3. Diagrama de bloques del sistema de multiplexación de un sistema telemétrico	17
Figura 4. Red de nodos	17
Figura 5. Diagrama de bloques del sistema de telemetría dependiendo del medio de comunicación usado	18
Figura 6. Topología del diseño	22
Figura 7. Diagrama de bloques del módulo maestro	23
Figura 8. Diagrama de bloques del módulo esclavo	23
Figura 9. Etapas de elaboración del prototipo	25
Figura 10. Parámetros de diseño de la transmisión y recepción de radio frecuencia	25
Figura 11. Receptor TLPRLP434	26
Figura 12. Configuración del receptor del prototipo	27
Figura 13. Antena WLP434	28
Figura 14. Diagrama de pines del RFPIC	29
Figura 15. Diagrama de Flujo del proceso de conversión A/D	32
Figura 16. Diagrama del convertor A/D utilizado por el RFPIC	33
Figura 17. Registros involucrados en el proceso de conversión A/D	33
Figura 18. Diagrama de bloques del transmisor del RFPIC	34
Figura 19. Diagrama de configuración de f_{XTal}	35
Figura 20. Configuración típica del Transmisor	35
Figura 21. Diagrama de flujo del código de multiplexación	37
Figura 22. Conector utilizado para la comunicación RS232	38
Figura 23. Esquema de conexión del MAX 232	39
Figura 24. Selección del nombre de la conexión	40
Figura 25. Selección del puerto de comunicación.	40
Figura 26. Configuración de parámetros del puerto de comunicación.	41
Figura 27. Entorno de visualización de los datos de las variables	42
Figura 28. Regulador de voltaje utilizado	42
Figura 29. Diagrama de configuración del regulador	43
Figura 30. Diseño esquemático del módulo esclavo	44
Figura 31. Diseño esquemático del módulo maestro	44
Figura 32. Tarjeta impresa del módulo esclavo	45
Figura 33. Diseño tarjeta impresa módulo maestro	45
Figura 34. Baquelita módulo Transmisor	46
Figura 35. Montaje superficial módulo transmisor	46
Figura 36. Baquelita módulo receptor	46
Figura 37. Montaje superficial módulo receptor	47
Figura 38. Montaje final módulo transmisor	47

Figura 39. Montaje final módulo receptor	48
Figura 40. Relación de datos experimentales vrs valor ASCII	51
Figura 41. Relación mA vs Valor decimal del código ASCII	52
Figura 42. Relación de T° vs valor decimal del código ASCII	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. PDF Antena	pág. 59
Anexo B. RFPIC	60
Anexo C. Amplificador AD620	65
Anexo D. LM 358	66
Anexo E. Descripción del código utilizado para la conversión A/D	68
Anexo F. Código para la transmisión de datos	70
Anexo G. Anexo utilizado para la multiplexación	73

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: MÓDULO DE TELEMETRÍA INALÁMBRICO PARA EL MONITOREO DE SEÑALES DE PRESIÓN, TEMPERATURA Y NIVEL

AUTORES: MANUEL RICARDO GARCIA PATIÑO
DIDIER ALEXANDER SUAREZ FAJARDO

FACULTAD: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR: ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO

RESUMEN

La comunicación mediante medios guiados tiene inconvenientes al trabajar con grandes distancias, ya que se hacen presentes las limitaciones topográficas dificultando el proceso de trazado de líneas, las cuales permiten la comunicación entre la estación remota y el centro de monitoreo o control, dificultándose así las acciones de control.

Durante el desarrollo del proyecto se buscará información relacionada con medios no guiados, profundizando en conceptos y técnicas de comunicación de radio frecuencia (RF). Se analizará los aspectos relacionados con la técnica de modulación ASK así como las características del RFPIC12F675; se examinará la perspectiva del proyecto de manera que se pueda determinar el beneficio de su implementación. Se estará evaluando los parámetros de funcionamiento del módulo, parámetros como: consumo de energía, distancia máxima de transmisión, calidad de transmisión. Con estas acciones se podrá corregir posibles dificultades o errores en el diseño del módulo. Superando el diseño de pruebas y determinando la eficiencia del diseño, se procederá a realizar el circuito impreso y el montaje de las partes.

Los errores del sistema transmisión-recepción se presentaron cuando la distancia entre el módulo maestro y esclavo superan la distancia de 30 m, o cuando la presencia de obstáculos era inminente; para corroborar esto se realizó el envío del dato de nivel simulando una entrada constante, el valor ASCII en la visualización de datos era constante hasta que se superó la distancia de 30m.

El prototipo desarrollado presenta una transmisión óptima cuando esta es realizada con línea de vista directa; al existir obstrucciones físicas la calidad de la señal decae y la velocidad de recepción se ve alterada, debido que la potencia se ve saturada.

El RFPIC es un dispositivo favorable para realizar labores de senso y monitoreo de forma inalámbrica de corto y mediano alcance en espacio reducido de montaje.

PALABRAS CLAVE: Telemetría, Modulación ASK, RFPIC, Microcontrolador, Acondicionamiento de señales.

Vo. Bo. DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



Universidad
Pontificia
Bolivariana

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITLE: MODULE OF WIRELESS TELEMETRY FOR THE MONITORING OF SIGNALS OF PRESSURE, TEMPERATURE AND LEVEL

AUTHORS: MANUEL RICARDO GARCIA PATIÑO
DIDIER ALEXANDER SUAREZ FAJARDO

FACULTY: ELECTRONIC ENGINEERING

DIRECTOR: ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO

SUMMARY

The communication by means of guiding has inconveniences on working with great distances, since the topographic limitations become present difficulting the process of line tracing, which allows the communication between the remote station and the center of monitoring or control, this way making the actions of control.

During the development of the project information related unguided means will be searched, emphasizing into concepts and techniques of communication of radio frequency (RF). The aspects related to the technique of modulation ASK will be analyzed as well as the characteristics of the RFPIC12F675; the perspective of the project will be examined so that it could be determined the benefit of its implementation.

The parameters of functioning of the module will be evaluated, parameters like: energy use, maximum distance of transmission, quality of transmission. With these actions it will be possible to correct possible difficulties or mistakes in the design of the module. Overcoming the test design and determining the efficiency of the design, it will proceed to make the printed circuit and the assembly of the parts.

The errors of the system transmission - reception will appear when the distance between the main module and slave exceed the distance of 30 m, or when the presence of obstacles was imminent; to corroborate this the sending of the level information simulating a constant entry, was sent; the value ASCII in the visualization of information was constant until it overcame the distance of 30m.

The developed prototype presents an ideal transmission when it is realized with line of direct sight; when physical obstructions exist the quality of the sign declines and the speed of reception is altered, because the power is saturated.

The RFPIC is a favorable device to realize labors of senso and monitoring in a wireless form of short and medium scope in limited space of assembly.

KEY WORDS: Telemetry, ASK Modulation, RFPIC, Microcontroller, Signal conditioning

Vo. Bo. DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

INTRODUCCIÓN

La recolección y envío de información remota a partir de nodos (sensores analógicos y digitales) hacia una estación central para su interpretación y tratamiento se conoce como telemetría. El nodo se encuentra conformado por el sensor y el transmisor; el centro de información es el punto en donde llega la información para su tratamiento, este último está compuesto por un transmisor-receptor y un controlador.

Este modelo es ampliamente usado en procesos industriales donde se requiere supervisión y un constante monitoreo de las variables; para establecer la comunicación entre el nodo y la central son usados frecuentemente medios guiados (pares de alambres, cable coaxial, fibra óptica) aunque muchas veces, debido a las grandes distancias y las condiciones propias de los terrenos, entre el nodo y la central se utilizan medios no guiados (ondas de radio frecuencia). Este último es el planteado durante el desarrollo del proyecto.

El trabajo desarrollado implementa un módulo transmisor-receptor para la medición de las variables presión, temperatura y nivel; la central de proceso o planta es quien recibirá la información correspondiente de los sensores para su visualización.

Durante la elaboración del contexto se encontrará un fundamento teórico y el desarrollo metodológico planteado para el desarrollo del proyecto. El marco teórico ayudará a comprender los aspectos básicos relacionados con la telemetría, así como fundamentará aspectos de las telecomunicaciones inalámbricas (técnicas de modulación, etc.); en el desarrollo metodológico se plasmarán los aspectos tenidos presentes durante la elaboración del módulo, así como el proceso de pruebas, etc.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar e implementar un modelo didáctico de telemetría inalámbrico para el monitoreo de señales manejadas por sensores de presión (4-20mA), nivel (0-10v) y temperatura (°c).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

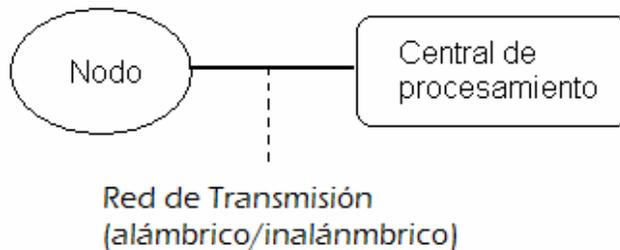
- Realizar un proceso de documentación sobre las técnicas de comunicación alámbricas e inalámbricas de manera que se pueda realizar un paralelo de la viabilidad de cada una de ellas.
- Implementar un Modulador-Demodulador digital ASK que trabaja en la banda UHF mediante el uso del circuito integrado RFPIC12F675.
- Crear un sistema de transmisión/recepción digital mediante el uso de ondas de radio frecuencia incorporando la implementación del microcontrolador RFPIC12F675.
- Elaborar un manual de usuario que contenga información relacionada con mantenimiento y funcionamiento del módulo elaborado, de manera que sirva como soporte.

2. ASPECTOS BASICOS DE LAS TELEMETRIA

2.1TELEMETRÍA

Los sistemas telemétricos tienen como función realizar el sensado (mediciones) en puntos remotos para la posterior transmisión a un puesto de control. El equipo de telemetría está compuesto por sensores que miden una magnitud física (calor, presión, caudal, temperatura, etc.) y la transforman en señales eléctricas (analógicas o digitales) para su posterior envío y tratamiento. En la figura 1 se observa el diagrama de un proceso telemétrico.

Figura 1. Diagrama de un proceso telemétrico



2.2 PARTES DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA

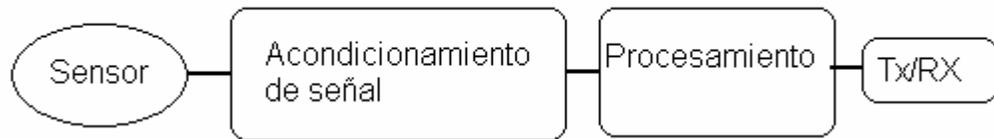
Los sistemas telemétricos están compuestos por una diversidad de elementos, que varían dependiendo del sector donde se están utilizando, pero por lo general están constituidos por nodos (que tienen como función realizar el proceso de medición de las variables físicas) y un centro de control y monitoreo.

Dentro del nodo, por lo general, se encuentra:

- Sensor
- Acondicionamiento de la señal proveniente del sensor
- Sistema de procesamiento y almacenamiento
- Sistema de comunicación de datos

En la figura 2 se observa el diagrama de bloque de un nodo.

Figura 2. Diagrama de bloque de un nodo



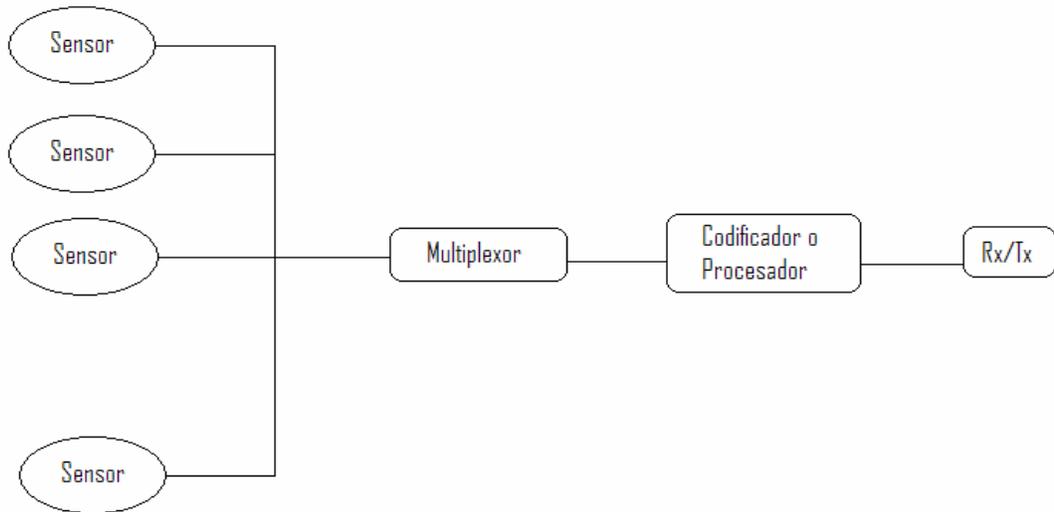
Cada una de las partes del nodo están entrelazadas de manera que, al fallar alguna de ellas, el sistema se altera de forma importante.

La función de cada una de ellas se describe a continuación:

- Sensor. Instrumento que produce una señal eléctrica a partir de la medición de alguna magnitud física (variable presión, temperatura, etc.) El sensor no altera la propiedad sensada. Dependiendo del sensor y de su tecnología, requiere de un proceso de acondicionamiento de señal que es realizado por lo general por un amplificador de instrumentación, etc.
- Acondicionamiento de señal. La señal generada por los sensores frecuentemente es del orden de los milivoltios y microamperios, características que dificultan su acople directo a un sistema de procesamiento o de almacenamiento, por lo que su adecuación es fundamental para el funcionamiento del nodo. En el acondicionamiento las señales provenientes del sensor son tratadas para que puedan manipularse por dispositivos electrónicos.
- Procesamiento. En esta etapa se reciben las señales provenientes del acondicionamiento y se realiza un proceso de control automático para transmitirlo, almacenarlo o los dos casos, dependiendo de la aplicación o de las necesidades del sistema.
- Tx/Rx. Durante esta fase se realiza el proceso de transmisión y recepción de datos, se envían los datos provenientes del sensor previamente tratados a la central y se reciben las acciones a ejecutar o señales de aviso.

2.2.1 Esquemas. Ya que los sistemas telemétricos requieren realizar mediciones de varias variables en los nodos en puntos distantes unos de otros a la estación central se requiere de un sistema de multiplexación, este proceso es descrito en la figura 3.

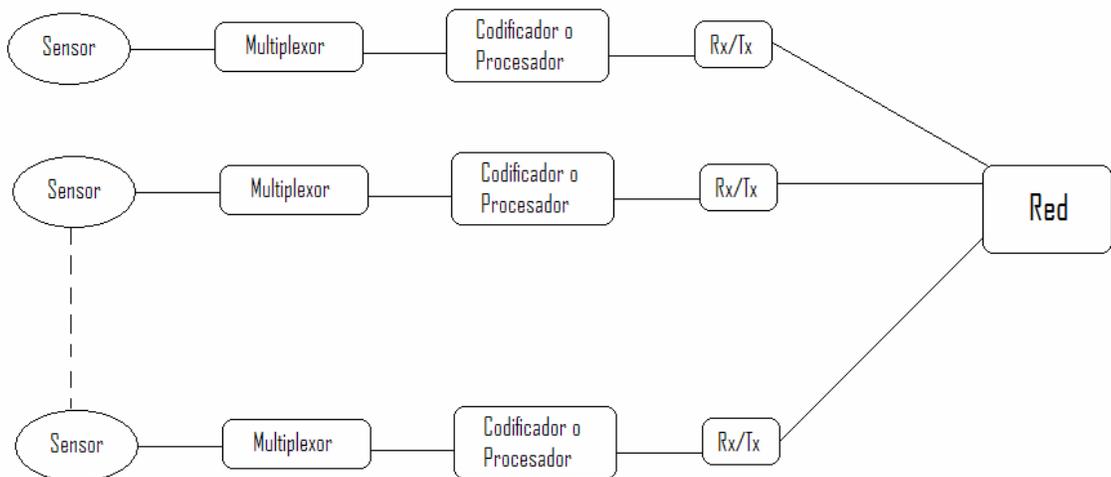
Figura 3. Diagrama de bloques del sistema de multiplexación de un sistema telemétrico



Dependiendo de la distancia de los sensores respecto a la central de procesamiento, en algunas ocasiones es necesario utilizar amplificadores para evitar que la señal se atenúe.

Si los sensores se encuentran a grandes distancias, es necesario que cada sensor se transforme en un nodo independiente (figura 4.)

Figura 4. Red de nodos



Por lo general, los sistemas de telemetría están constituidos por estructuras diferentes, dependiendo del sector donde se estén aplicando, y están compuestos de Medición, procesamiento y transmisión.

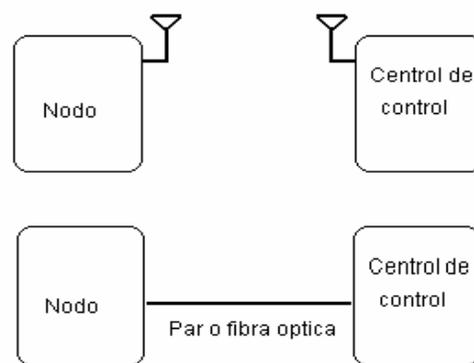
Los nodos son los encargados de la adquisición de los datos y posterior envío de los mismos. En cuanto al centro de control los dispositivos empleados son más complejos. El centro de control es el encargado de procesar los datos emitidos por los nodos.

2.3 ENLACES UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS DE TELEMETRÍA

Para comunicarse, los sistemas de telemetría utilizan medios guiados (cables de par trenzado, cobre, etc.) o no guiados (ondas de radio frecuencia). A continuación se describirá cada una de sus ventajas y desventajas.

- Enlaces por medios Guiados. El par trenzado permite cierta inmunidad al ruido, la distancia máxima de enlace entre el nodo y el centro de procesamiento/control es generalmente de 100 m. La ventaja de este tipo de medios es su economía. La fibra óptica es un medio guiado con mayor inmunidad al ruido eléctrico, no tiene límite de distancia de enlace pero su implementación es más costosa.
- Enlaces por medios no Guiados. Resulta conveniente su implementación cuando se requiere movilidad de los sistemas, o los nodos se encuentran separados por grandes distancias respecto al centro de procesamiento/control. Una de las grandes ventajas de este tipo de comunicación es el enlace que se puede proporcionar entre nodos que están separados por grandes distancias y cuya diversidad topográfica es variada y de difícil acceso. En la figura 5 se observa el esquema del sistema de telemetría utilizando medios guiados y no guiados.

Figura 5. Diagrama de bloques del sistema de telemetría dependiendo del medio de comunicación usado



2.4 MODULACIÓN DIGITAL

La transmisión digital consiste en la transmisión de pulsos digitales entre dos o más puntos de un sistema de comunicación. En un sistema de transmisión digital,

la información proveniente del origen puede encontrarse en forma digital o analógica. Si está en forma analógica, se transforma en pulsos digitales, antes de la transmisión, y posteriormente (en el receptor) se convierte a forma analógica.

En la modulación en banda base se puede utilizar diferentes tipos de codificaciones¹: codificación Manchester, codificación por retorno a cero, codificación de no retorno a cero, etc. Cada una de éstas posee características propias permitiendo el uso para diferentes aplicaciones.

Existen diferentes tipos de modulación digital como: Modulación por Desplazamiento de Amplitud (Amplitude Shift Keying), Modulación de Frecuencia (Frequency Shift Keying, FSK), Modulación de Fase (Phase Shift Keying, PSK), entre otras. Al igual que la codificación, cada tipo de modulación posee características que permiten su uso dependiendo de la aplicación final.

2.5 CÓDIGOS DE DETECCIÓN DE ERRORES

Al emplearse un canal con medios no guiados, este puede presentar cierta inestabilidad debido a factores ambientales, topografía el terreno, etc., ocasionando que los datos sean alterados, contengan errores, distorsionando así el mensaje. Para evitar estas vulnerabilidades se emplean algoritmos que realicen un control de errores y se emplean diferentes técnicas. Una es hacer corrección de errores y la otra detectar los errores; en la corrección de errores se concluye información redundante sobre los datos enviados; de esta forma el receptor puede deducir cuál carácter fue transmitido, este tipo de técnica es poco eficiente ya que requiere una carga extra; en el método de detección de errores se buscan los errores y en caso de que se encuentren se pide una retransmisión de los datos.

Los códigos de detección de errores son utilizados en las transmisiones donde los datos no son sensibles a los retardos, puesto que implican una retransmisión. Los códigos con corrección de errores se usan en aplicaciones sensibles a retardos, como son la voz, la transmisión de video o de información multimedia.

Unos de los algoritmos de detección de errores es el código de redundancia cíclica (CRC) también conocido como código polinómico, este algoritmo utiliza un proceso matemático de manera que se pueda obtener un marco el cual será transmitido. La información que el nodo envía al centro de control es de gran importancia, ya que de este depende a estabilidad de la planta donde se está realizando el proceso de medición.

¹ Manera de representar la información binaria

2.6 PROTOCOLO DE COMUNICACIONES

Un sistema telemétrico puede contener varios sensores los cuales toman varias variables implicadas en el proceso industrial, enviándolas a una unidad de recolección de datos en donde se codifican y se enmarcan dentro de un paquete. Esto asegura que la interpretación del centro de control sea efectiva, para posteriormente enviarlo al centro de control utilizando un canal de comunicaciones. El paquete donde se enmarcan los datos contiene bits extras para disminuir la cantidad de errores ya sea por correcciones o por retransmisiones. En la tabla 1 se observa el esquema general de un protocolo de datos.

Tabla 1. Esquema típico de un paquete de datos

Preámbulo	Dirección	Control	Datos	Suma de comprobación
-----------	-----------	---------	-------	----------------------

Según el protocolo de comunicaciones el marco tendrá otros campos y la longitud variará, pero básicamente, controlará con campos de dirección, datos y comprobación de errores.

También puede existir la posibilidad que hayan diferentes sensores enviando los datos a través de diferentes canales o muchos nodos utilizando un único canal, surgiendo la posibilidad que el canal en un momento cualquiera pueda ser usado por algunos nodos, causando problemas de interferencia o de pérdidas de datos.

El protocolo es el encargado que los nodos involucrados en la transmisión accedan al canal, sin que ocurra interferencia o colisiones de paquetes. En la actualidad existen diferentes tipos de protocolos, algunos de ellos son:

- ALOHA PURO: Sistema de radio difusión en estaciones de radio terrestres en tiempo continuo.
- ALOHA RANURADO: Sistema de radio difusión en estaciones de radio terrestres en tiempo dividido.
- CSMA/CD: Acceso múltiple con por Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones.

2.7 ANTENAS

Cuando el enlace de comunicaciones utiliza un medio no guiado, tanto el centro de control como el nodo de un sistema de telemetría requiere irradiar y recibir las ondas electromagnéticas respectivamente (radiofrecuencia), el dispositivo encargado para esta labor es la antena. Existen antenas de diferentes formas y tamaños pero todas con la misma esencia, que es ser la región común entre la zona donde exista una onda electromagnética guiada y una onda en el espacio libre.

Las principales características de una antena son:

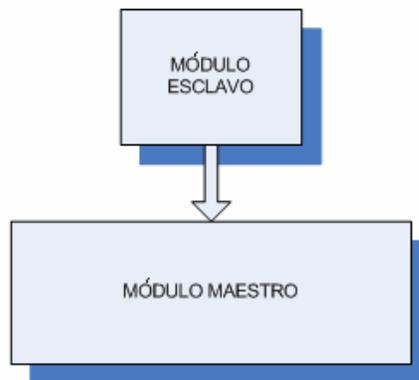
- Impedancia de antena
- Directividad y ganancia
- Área efectiva
- Polarización
- Ancho de banda
- Factor de antena

La elección de la antena está sujeta al tipo de aplicación en la que se va utilizar. Dada a esta característica inherente, tiene un efecto en la transmisión de los datos, como ejemplo es el caso de las radiocomunicaciones fijas donde es más útil enfocar la energía radiada en área reducida, direccionándola efectivamente.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

El sistema diseñado consta de un módulo maestro cuya función es la recolección de los datos enviados por parte del módulo esclavo (figura 6), el cual se encarga de sensar las variables presión, temperatura y nivel; las señales están acondicionadas a los niveles estándares de instrumentación (señales de voltaje 0 – 10 VDC y de corriente de 4 – 20 mA).

Figura 6. Topología del diseño



La topología utilizada en el diseño permite la recolección y análisis de la información de manera centralizada, de tal manera que no se requiere intercambio de información entre los módulos que se encargan de la adquisición de la información.

En la figura 7 y 8, se observa el diagrama de bloques del módulo maestro y esclavo utilizado para el prototipo desarrollado.

Figura 7. Diagrama de bloques del módulo maestro

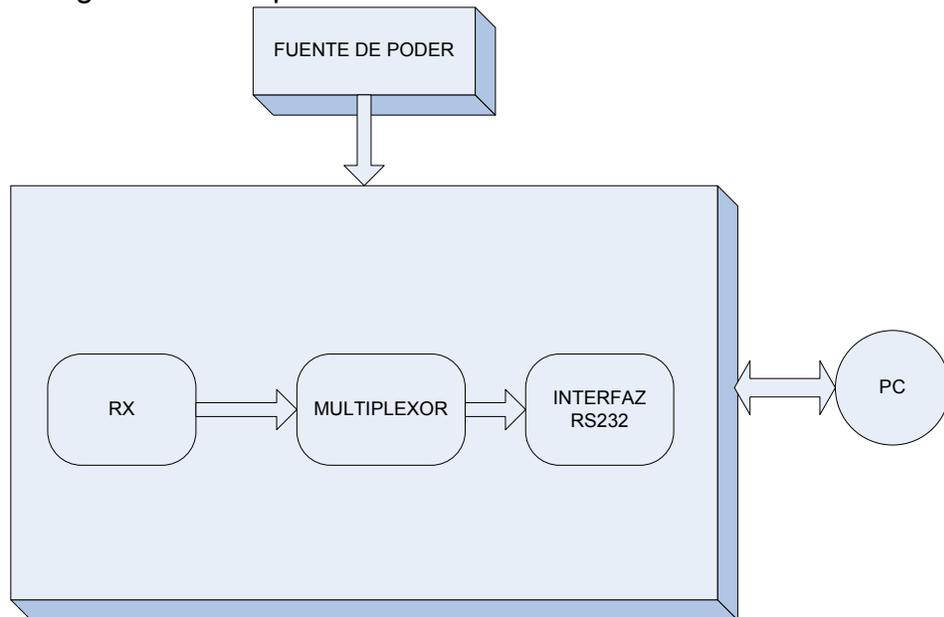
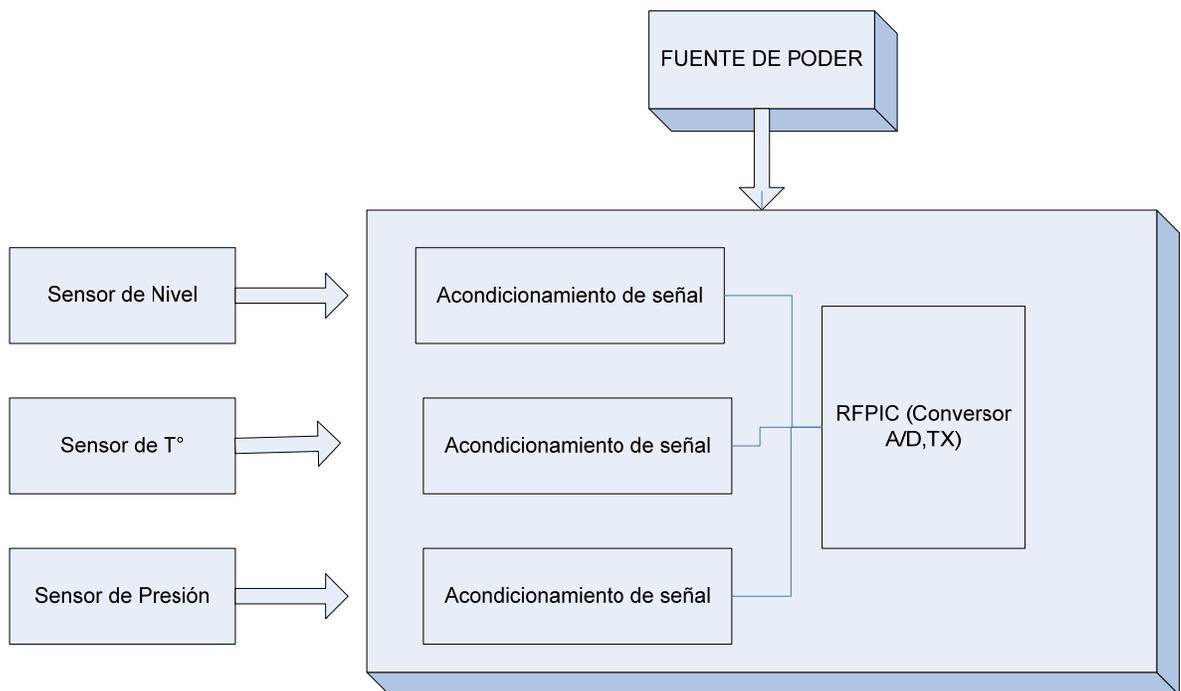


Figura 8. Diagrama de bloques del módulo esclavo



El módulo maestro utiliza la interfaz RS-232/TTL para interconectar el dispositivo con el PC de manera que se visualicen los datos de las variables sensadas; ya que el prototipo desarrollado trabaja con tres variables y sólo se visualiza una a la

vez, se utiliza una multiplexación realizada por el microcontrolador de Motorola MC68HC908QT4CP².

Las labores ejecutadas por el módulo maestro son:

- Monitoreo de variables
- Supervisión del canal

Estas funciones permiten que el operario pueda observar posibles fluctuaciones, desviación, anomalías de las variables.

El proceso de acondicionamiento de las señales provenientes de cada uno de los diferentes sensores es realizada en el módulo esclavo; el proceso de acondicionamiento transforma las señales a niveles eléctricos tratables por dispositivos electrónicos utilizados, cumpliendo con el parámetro de diseño de trabajar con estándares de instrumentación ya mencionadas.

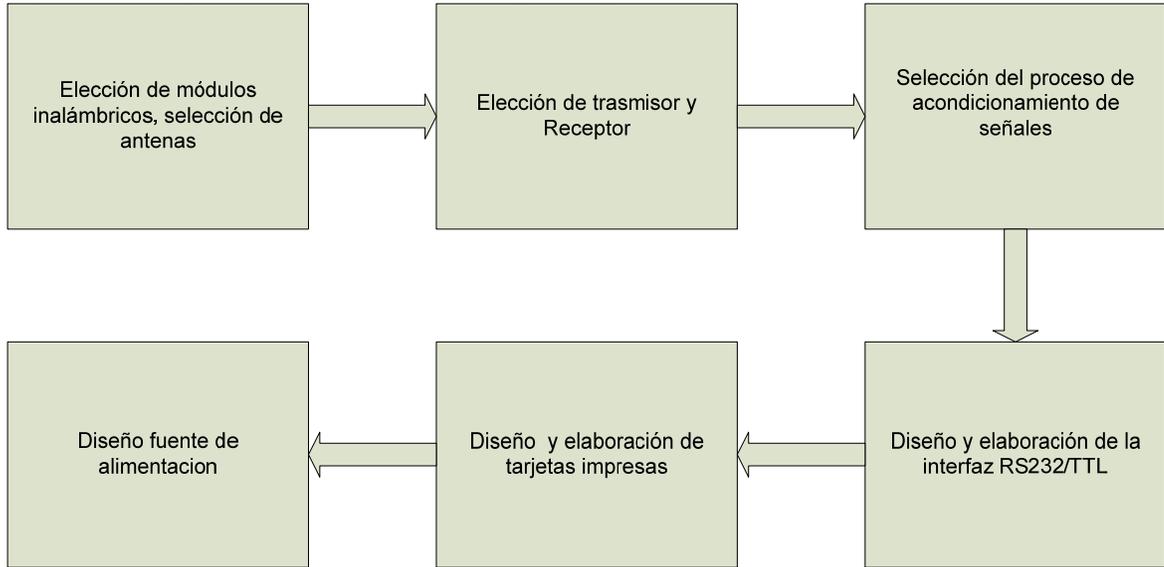
Las señales son tomadas de forma análoga, y son convertidas en digitales en el RFPIC para realizar el proceso modulación digital (ASK)

Para el diseño y construcción del prototipo se desarrollaron las siguientes etapas (figura 9):

- Elección de los módulos inalámbricos y selección de antenas
- Elección de transmisor y receptor
- Selección del proceso de acondicionamiento de señales
- Diseño de la interfaz RS232/TTL a utilizar
- Diseño de la fuente de alimentación
- Diseño y elaboración de las tarjetas impresas para el montaje de los dispositivos
- Montaje final y pruebas.

² Para mayor información consultar: <http://www.futurlec.com/Motorola/MC68HC908QT4CP.shtml>; Visitada el 15 de Noviembre de 2007

Figura 9. Etapas de elaboración del prototipo

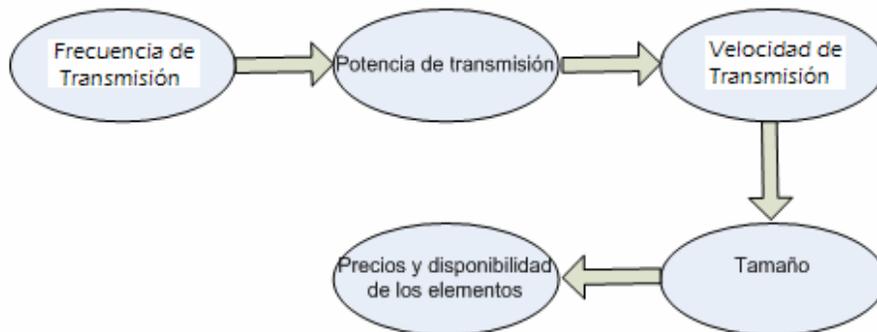


3.1 TRANSMISOR Y RECEPTOR DE RADIOFRECUENCIA (RF)

Durante el proceso de diseño de la transmisión y receptor de radiofrecuencia se tuvieron presentes los siguientes parámetros de diseño (figura 10):

- Frecuencia de transmisión
- Potencia de transmisión
- Tasa de transmisión
- Tamaño
- Precios y disponibilidad

Figura 10. Parámetros de diseño de la transmisión y recepción de radio frecuencia

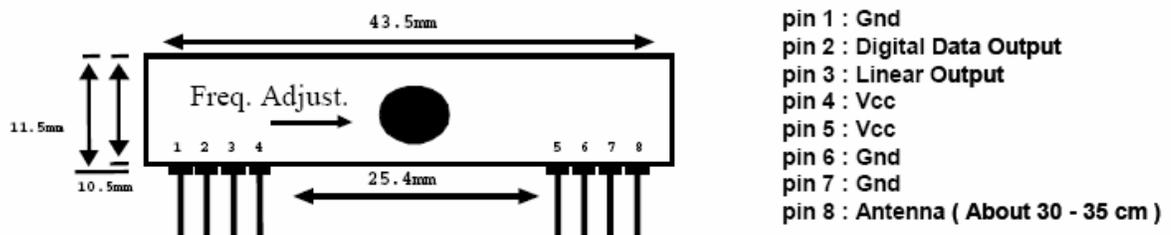


Se utilizó el microcontrolador RFPIC12F675F para la etapa de transmisión, el cual se configuró para que su frecuencia de operación fuera 433.92 MHz, con una potencia de transmisión de 9 dBm, este dispositivo es fabricado por MICROCHIP³.

Para la selección del módulo receptor se tuvo en cuenta que el dispositivo fuera de fácil acceso en el mercado local, que cumpliera con la frecuencia de trabajo del RFPIC; el módulo receptor empleado es el TPL/RPL434⁴ (figura 11), este dispositivo posee modulación ASK y una potencia de recepción de -100dBm.

El esquema de modulación utilizado es OOK (On-OFF keying); en este tipo de modulación los niveles lógicos están representados por la ausencia o la presencia de la portadora; la principal ventaja de este tipo de modulación es la facilidad de generación y detección de los niveles de la portadora, además del bajo consumo de potencia.

Figura 11. Receptor TLPRLP434



Fuente: <http://www.sparkfun.com/datasheets/RF/TLPRLP.pdf>; visitada el 15 de Noviembre de 2007

El receptor utilizado presenta gran difusión en aplicaciones relacionadas con control remoto, sistemas de seguridad y transmisión periódica de información. Como principales características de este receptor tenemos:

- Bajo costo
- Consumo bajo de potencia
- Rango de alimentación amplio
- Interfaz directa con el circuito digital
- Baja emisión de armónicos

En la tabla 2 se observan las características técnicas y eléctricas del receptor.

³ Para mayor información consultar el portal electrónico:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70091a.pdf>; visitada el 13 de diciembre de 2007

⁴ Para información técnica del dispositivo consultar: www.databitz.com/Resources/TR-LP434.pdf;
Visitada el 16 de diciembre de 2007

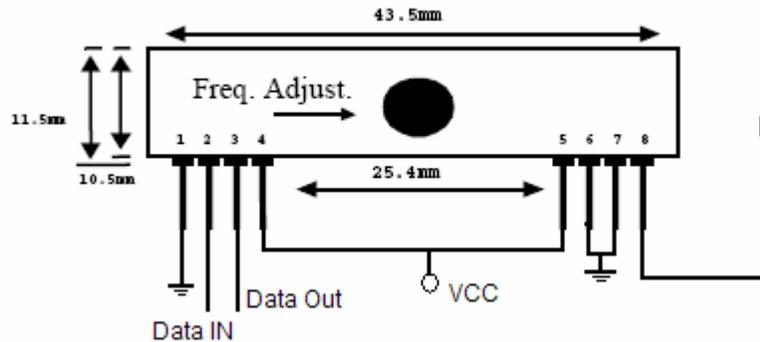
Tabla 2. Características del Receptor

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	
Vcc	Operating supply voltage		4.5	5	5.5	V
Itot	Operating Current		-	3.5	4.5	mA
Vdata	Data Out	Idata = +200 uA (High)	Vcc-0.5	-	Vcc	V
		Idata = -10 uA (Low)	-	-	0.3	V
Electrical Characteristics						
Characteristics	SYM	Min	Typ	Max	Unit	
Operation Radio Frequency	FC	315, 418 and 434			MHz	
Sensitivity	Pref	-100	-103	-106	dBm	
Channel Width			+1.5		Khz	
Receiver Turn On Time			5		ms	
Noise equivalent BW	NEB		4		Khz	
Baseboard Data Rate			3	5	Khz	

Fuente: <http://www.sparkfun.com/datasheets/RF/TLPRLP.pdf>; Visitada el 10 de Octubre de 2007.

La configuración implementada para el receptor se observa en la figura 12.

Figura 12. Configuración del receptor del prototipo



3.2 ANTENA

Para el prototipo se utilizó la antena WLP - 434 (433.92 Mhz), la cual es una antena de bajo costo y de tamaño reducido. Este tipo de antena es de difusión en aplicaciones de radio frecuencia por su excelente desempeño. La antena se acopla al circuito impreso por medio de una base (conector SMA macho, cuerpo pin macho). Un factor determinante para la utilización de este tipo de antena, radica en las extensas recomendaciones que se encuentran en la web además de la recomendación del receptor TLP434A. En la figura 13 se observa la apariencia de la antena. En la tabla 3 se observan las características eléctricas de la antena WLP434.

Tabla 3. Características eléctricas de la antena utilizada

Frecuencia de Resonancia	434 +- 10 Mhz
Return Loss	- 4dB
Radiation Pattern	Omni Direccional
Polarization	Vertical
Standing Wave Ratio (S.W.R)	4
Insulation resistance	500m Ohm at DC 500V

Fuente: Anexo A.

Figura 13. Antena WLP434



Fuente: http://www.laipac.com/ant_WLP_434_esp.htm; Visitada el 17 de Noviembre de 2007

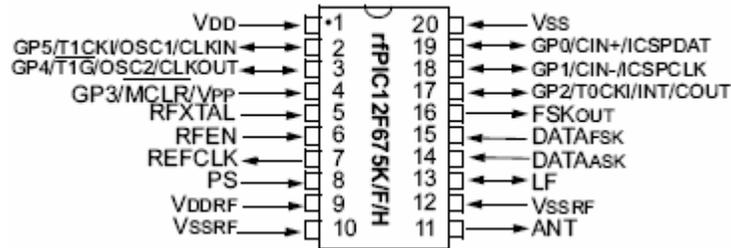
Para la selección de la antena se tuvieron en cuenta la recomendación del transmisor y receptor, así como la frecuencia de trabajo.

3.3 MICROCONTROLADOR RFPIC

La selección del microcontrolador se realizó con base en los siguientes parámetros:

- Capacidad para realizar la conversión A/D con la resolución requerida
- Tamaño
- Requerimiento mínimo de componentes externos para reducir el tamaño de las tarjetas
- Frecuencia de trabajo

Figura 14. Diagrama de pines del RFPIC



Fuente: Anexo B.

El microcontrolador empleado es el RFPIC16F675F. Las principales características de este dispositivo son:

- Gama de media, encapsulado de 20 pines (figura 12)
- Conversor A/D de 10 bits de cuatro canales
- Módulo comparador análogo
- 2 timers
- Sistema de instrucciones muy completo el cual incluye interrupción en cada uno de los pines del puerto
- Memoria no volátil (EEPROM) de 128 bytes
- Amplio rango de alimentación (2 a 5.5 V)

En la tabla 4 se observa las principales características del PIC utilizado.

Tabla 4. Principales características del PIC utilizado

Número de pines	20
Memoria de programa	1 K flash
Memoria de datos	64 bytes
Conjunto de instrucciones	35
EEPROM de datos	128 bytes
Velocidad máxima de bus interno	5 Mhz
Tipo de circuito oscilador	Cristal, RC o interno
Tiempo mínimo de respuesta	200ns
Conversor A/D	4 CH* 10 bits
Timers	2 (8-16 bits)
Interrupciones externas	6
Watchdog timer	Si
Comparador analógico	Si
Rango de alimentación	2 – 5.5v

Fuente: Anexo B

3.4 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

Ya que las señales provenientes de los sensores tienen que ser enviadas al módulo maestro, estas deben procesarse, mediante amplificadores operacionales.

3.4.1 Acondicionamiento de señal para sensor de temperatura. Para esta etapa se trabajó con el amplificador de instrumentación AD620 (ver anexo C); este dispositivo se utilizó por su buen desempeño en modo de rechazo común (característica que permite eliminar señales no deseadas provenientes de la termocupla, puentes de diodos o de diferentes sensores, que pueden alterar a la señal que se desea captar, tratar, etc.), sus señales de entrada pueden ser diferenciales. La ganancia de la configuración del amplificador esta dada por:

$$G = \frac{49.4K\Omega}{Rg} + 1$$

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

Donde:

G= Ganancia

Rg= Valor en kilo Ω

El objetivo de este tipo de acondicionamiento es lograr un acople entre las señales manejadas además de lograr equilibrar impedancias; la señal de voltaje que proporciona la termocupla es de niveles (voltajes) demasiados bajos y además con la característica de que su corriente es del orden de los microamperios, lo que dificulta su tratamiento por dispositivos como microcontroladores, conversores, etc.; de ahí radica la importancia de la implementación del circuito de acondicionamiento.

En el circuito desarrollado se trabaja con niveles de offset; esta características es una referencia para establecer los niveles de los voltajes de trabajo.

3.4.2 Acondicionamiento de señal para sensor de nivel. En esta etapa se utilizó el amplificador LM358 (anexo D), junto con una serie de resistencias las cuales fueron empleadas para el ajuste de la ganancia y está configurado como seguidor de voltaje; la principal razón de este tipo de configuración radica en el acople de impedancia y en la estabilización que deben procurarse en las señales de entrada para su tratamiento.

La tensión entregada por el sensor de nivel alimenta un divisor de voltaje con ganancia; el voltaje de salida del amplificador operacional es enviado a uno de los conversores AD del RFPIC a través de un seguidor de voltaje.

3.4.3 Acondicionamiento de señal para sensor de Presión. En este proceso se empleó un optocoplador, el cual actúa como interruptor automático; a este optocoplador se le adicionó un diodo como manera que de protección, evitando que corrientes de fugas puedan dañar el circuito.

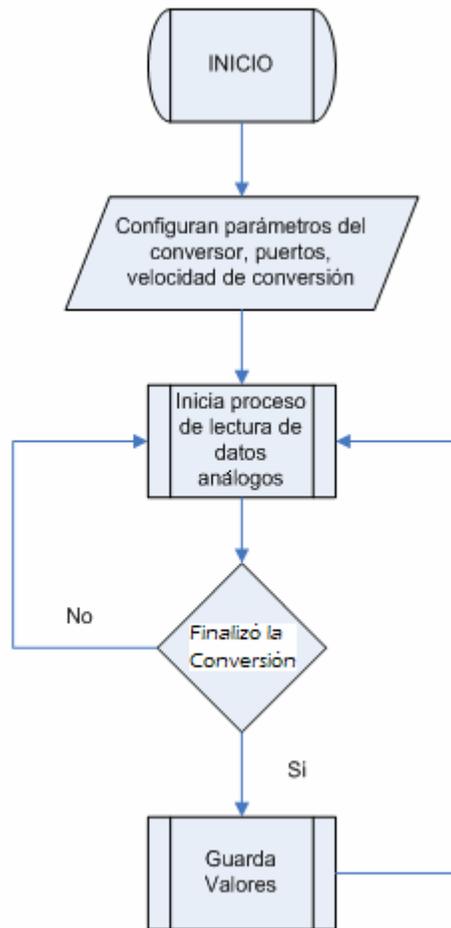
A la señal proveniente del optocoplador se le realiza un arreglo por medio de resistencia, de manera que dicho arreglo permita la toma de tensión a partir de la corriente del proceso de switcheo del optocoplador.

El voltaje de salida proveniente del arreglo de resistencia es tratado por medio de un amplificador operacional el cual se configura como no inversor, de manera la señal de salida sea idéntica a la de la entrada.

3.5 CONVERTOR ANÁLOGO/DIGITAL

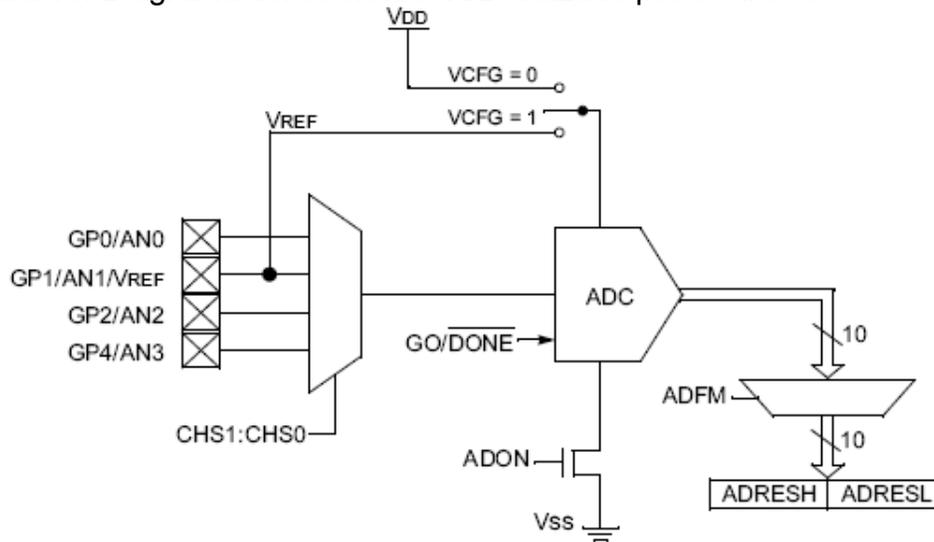
Para el proceso de la conversión A/D, se desarrolló un proceso ordenado y esquemático planteado en el diagrama de flujo de la figura 15; el código de este proceso se describe en el anexo. En la figura 16, se observa el diagrama del módulo del RFPIC.

Figura 15. Diagrama de Flujo del proceso de conversión A/D



En el Anexo E se describe el código utilizado para la conversión A/D

Figura 16. Diagrama del convertor A/D utilizado por el RFPIC



Fuente: Anexo B

Para el funcionamiento del convertor, se configuran una serie de parámetros de funcionamiento por código (programa); estos parámetros se relacionan con los registros del convertor, registros como: ADCON0, ANSEL, etc; se debe seleccionar el canal de convertor, así como la velocidad de conversión, tamaño del paso, voltaje de referencia, tiempo de muestreo. En la figura 17 se observa los registros involucrados en el proceso de conversión A/D.

Figura 17. Registros involucrados en el proceso de conversión A/D

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOD	Value on all other RESETS
05h	GPIO	—	—	GPIO5	GPIO4	GPIO3	GPIO2	GPIO1	GPIO0	--xx xx	--11 1111
0Bh, 8Bh	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	GPIE	T0IF	INTF	GPIF	0000 0000	0000 0001
0Ch	PIR1	EEIF	ADIF	—	—	CMIF	—	—	TMR1IF	00-- 0--0	00-- 0--0
1Eh	ADRESH	Most Significant 8 bits of the Left Shifted A/D result or 2 bits of the Right Shifted Result								xxxx xx	1111 1111
1Fh	ADCON0	ADFM	VCFG	—	—	CHS1	CHS0	GO	ADON	00-- 0000	00-- 0000
85h	TRISIO	—	—	TRISIO5	TRISIO4	TRISIO3	TRISIO2	TRISIO1	TRISIO0	--11 1111	--11 1111
8Ch	PIE1	EEIE	ADIE	—	—	CMIE	—	—	TMR1IE	00-- 0--0	00-- 0--0
9Eh	ADRESL	Least Significant 2 bits of the Left Shifted A/D Result or 8 bits of the Right Shifted Result								xxxx xx	1111 1111
9Fh	ANSEL	—	ADCS2	ADCS1	ADCS0	ANS3	ANS2	ANS1	ANS0	-000 1111	-000 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented read as '0'. Shaded cells are not used for A/D converter module.

Fuente: Anexo B

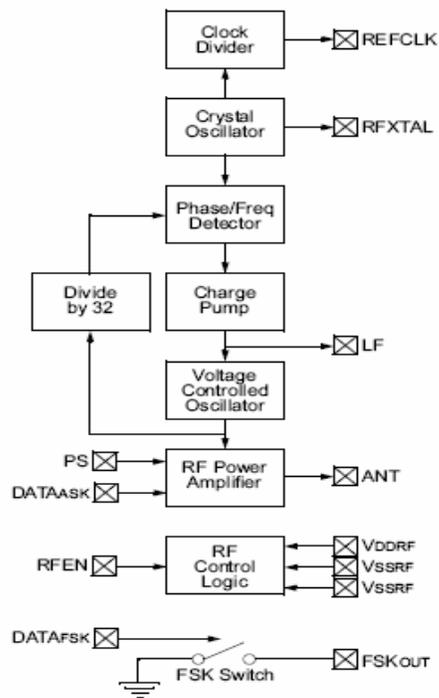
3.6 TRANSMISOR

Para la transmisión se trabajó en frecuencia UHF (Ultra High Frequency, Frecuencia Ultra Alta, que trabaja en los rangos de 300MHz a 3GHz) con modulación de amplitud (ASK); este tipo de banda es utilizado por los radios

aficionados. El diagrama de bloques del módulo de transmisión del RFPIC se observa en la figura 18; las características del transmisor son:

- Frecuencia de trabajo basada en la oscilación de un cristal de cuarzo
- Modulación por fase (PLL)
- Amplificador de poder con salida de colector abierto
- Módulo de control

Figura 18. Diagrama de bloques del transmisor del RFPIC



Fuente: Anexo B

La frecuencia de transmisión esta dada por:

$$f_{transmit} = f_{RFXTAL} \times 32$$

$$F_{transmisión} = 13.56\text{MHz} \times 32 = 433,92$$

Donde $f_{XTAL} = 13.56 \text{ MHz}$ (oscilador de cristal utilizado)

La configuración de f_{XTAL} está dada por el circuito que se observa en la figura 19. El oscilador es activado cuando la entrada de RFEN se encuentra en un nivel alto, el cristal le toma aproximadamente un 1mS en iniciar el proceso de oscilación, el cristal posee un desempeño óptimo tanto a altas frecuencias como a bajas frecuencias.

En el Anexo F se encuentra el código utilizado para la transmisión.

El montaje del prototipo desarrollado se basó en la configuración típica del transmisor, encontrado en el PDF de RFPIC (Figura 17) con la excepción de los Sw1 y Sw2, ya que estos fueron reemplazados por programa; estos Sw, son los encargados de iniciar el proceso de transmisión. El código utilizado para la transmisión se observa en el anexo F.

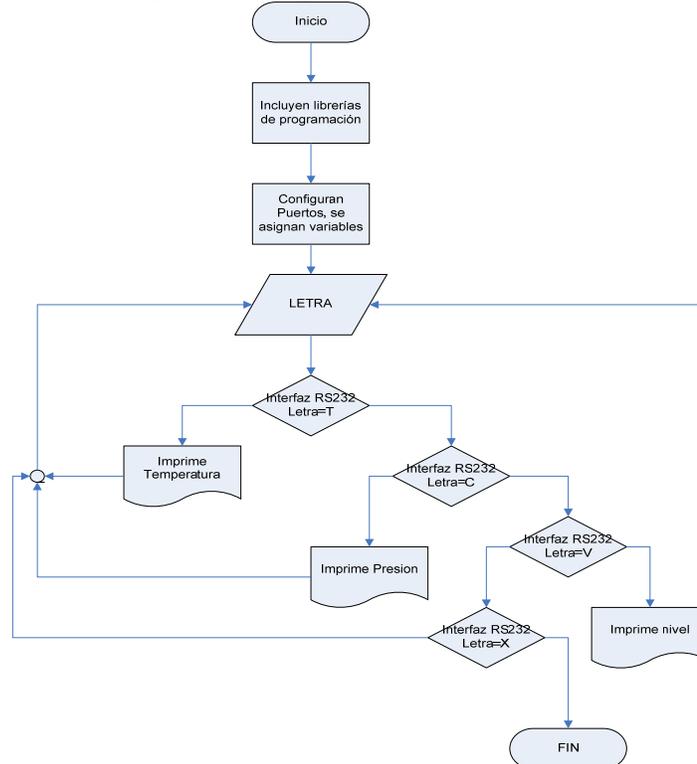
3.7 MULTIPLEXOR DE DATOS

El módulo trabaja con el sensado de tres variables, pero la interfaz que interactúa con el usuario visualiza con una variable a la vez, se dispone de un multiplexor para el proceso de selección de la variable a monitorear. Para este proceso se empleó el microcontrolador de motorola MC68HC908QT4.

El diagrama de flujo con el que se desarrolla el código de multiplexación se observa en la figura 21; la idea principal de este código es la solicitud de petición por medio de la cual se pueda visualizar una de las variables sensadas. Para la comunicación entre PC y el prototipo se utiliza el HYPERTERMINAL⁵, este software envía un dato al módulo maestro, el cual es convertido a niveles TTL por medio del MAX232; posteriormente ese nivel es interpretado por el multiplexor (microcontrolador motorola); de acuerdo al dato de entrada, el receptor envía una petición al módulo esclavo (TX) para que se envíe la variable solicitada. De ocurrir una entrada inválida, el multiplexor queda en un ciclo de pregunta válida.

⁵ Para mayor información consultar: <http://www.tech-faq.com/lang/es/hyperterminal.shtml>, visitada diciembre 20 de 2007

Figura 21. Diagrama de flujo del código de multiplexación



El código planteado para este proceso se describe en el anexo G.

3.8 INTERFAZ RS232

La interfaz RS232 es un estándar de comunicación utilizado para la transmisión de datos en serie entre equipos; el estándar EIA RS-232 se introdujo en 1960. La transmisión de datos digital se hace en serie a través de una línea asimétrica, no terminada, entre dos equipos. La distancia máxima de enlace está sobre los 15 metros y la velocidad de transmisión desde 20 kbps a 480 kbps.

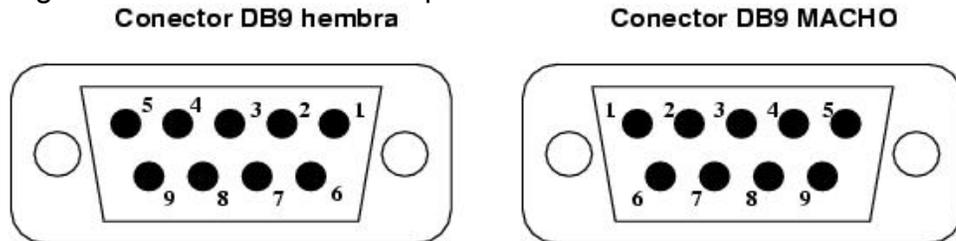
La interfaz RS232 utiliza las siguientes señales:

- *TXD (Transmit Data)*: Línea de transmisión de datos serie al modem.
- *RXD (Receive Data)*: Línea de recepción de datos serie desde el modem.
- *CTS (Clear To Send)*: Línea que indica que el modem está preparado para recibir datos desde el PC.
- *RTS (Request To Send)*: Línea que dice al modem que el PC quiere enviar datos.
- *DSR (Data Set Ready)*: Línea que indica que el modem está preparado.
- *DCD (Data Carrier Detect)*: Línea que indica que el modem tiene de verdad conexión remota.
- *RI (Ring Indicator)*: Línea que indica que el modem ha detectado la señal de "llamada".

- *GND (Ground)*: Línea de señal de masa.

En la figura 22 se observa el tipo de conector utilizado para la comunicación RS232.

Figura 22. Conector utilizado para la comunicación RS232



Fuente: <http://www.learobotics.com/proyectos/cuadernos/ct1/ct1.html>, visitada Noviembre 26 de 2007

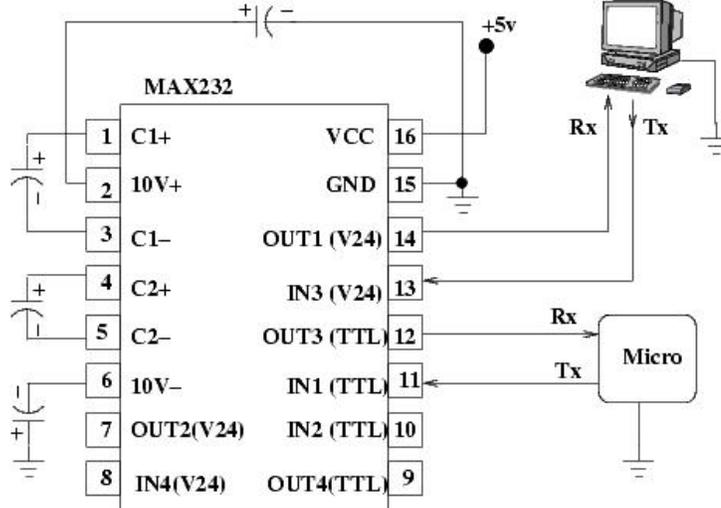
Tabla 5. Descripción de pines de la interfaz RS232

PIN	Señal
1	DCD (Data Carrier Detect)
2	RX
3	TX
4	DTR (Data Terminal Ready)
5	GND
6	DSR (Data Sheet Ready)
7	RTS (Request To Send)
8	CTS (Clear To Send)
9	RI (Ring Indicator)

Fuente: <http://www.learobotics.com/proyectos/cuadernos/ct1/ct1.html>, Visitada Noviembre 26 de 2007

En la figura 23 se visualiza configuración utilizada para interconectar el módulo maestro con el PC.

Figura 23. Esquema de conexión del MAX 232



Fuente: <http://www.learobotics.com/proyectos/cuadernos/ct1/ct1.html>, visitada Noviembre 26 de 2007

El MAX232 adapta los niveles RS232 y TTL de manera que se pueda establecer una comunicación entre el módulo maestro y el computador.

3.9 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN, VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS

Para la visualización de los datos se emplea el HYPERTERMINAL; este software permite la comunicación entre el PC y el módulo maestro mediante el protocolo RS232. Este software, por lo general, se encuentra preinstalado en Windows.

Al abrir el HYPERTERMINAL, este solicita un nombre para la conexión (figura 25), posteriormente se selecciona el puerto de comunicaciones (figura 26) e inmediatamente terminada esta operación se configura el puerto para que pueda establecer la comunicación; para ello se da click en el botón RESTAURAR PREDETERMINADOS (figura 27). Finalizados estos pasos, nuestro PC está configurado y listo para comunicarse con nuestro prototipo.

Figura 24. Selección del nombre de la conexión

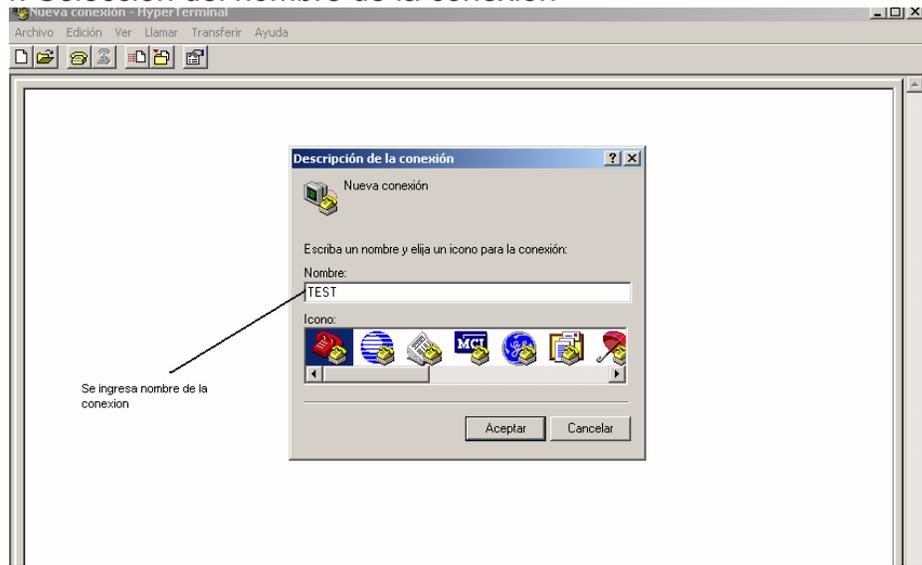


Figura 25. Selección del puerto de comunicación.

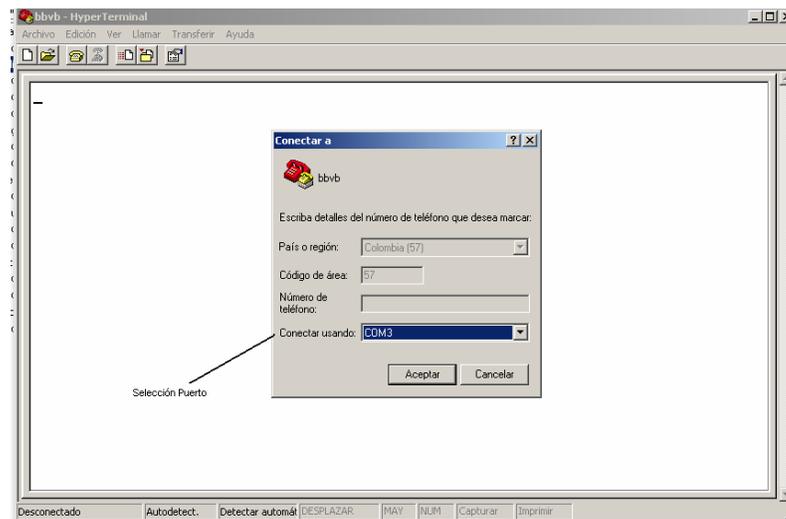
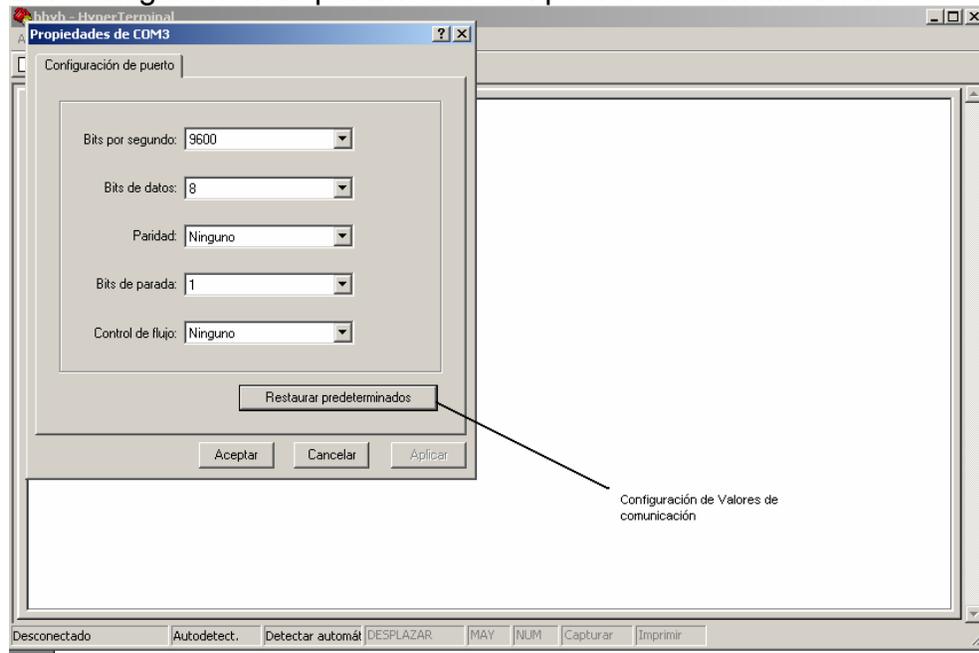


Figura 26. Configuración de parámetros del puerto de comunicación.

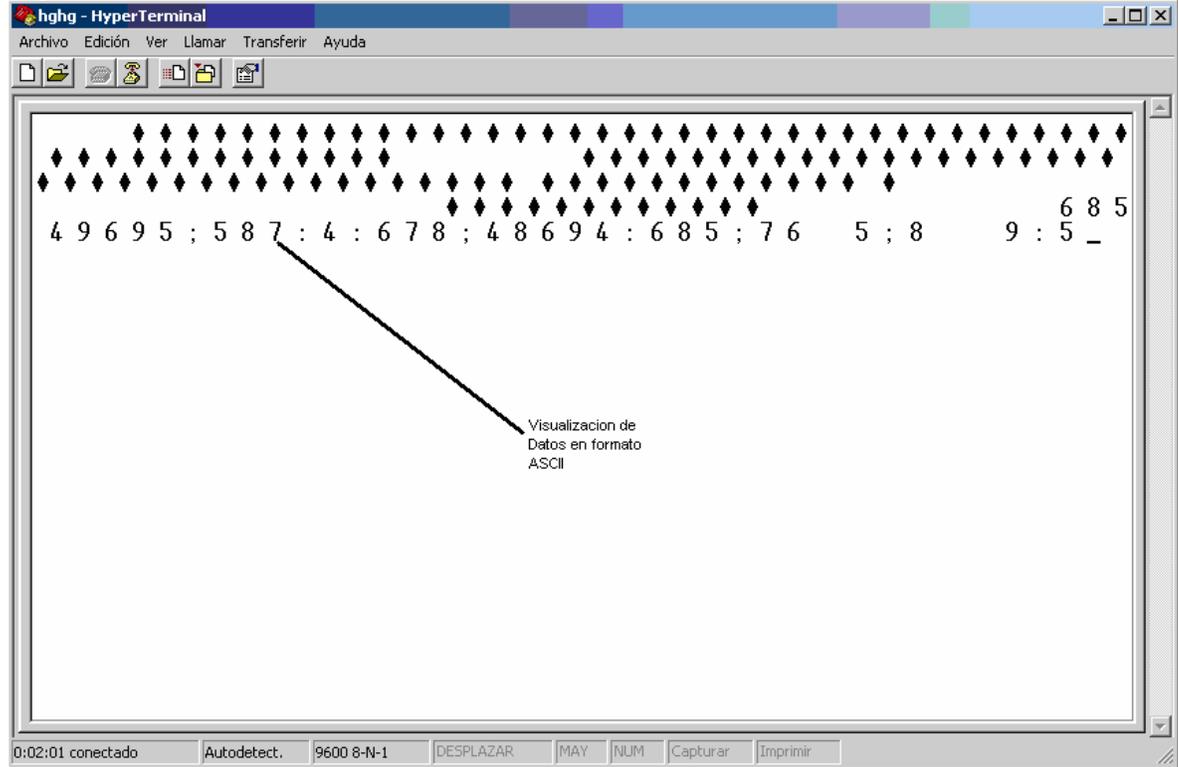


Una vez configurado el HYPERTERMINAL, se presiona la letra I (i mayúscula); este comando inicia la comunicación entre el módulo y el PC. Para la visualización de los datos se debe presionar:

- t= adquiere datos de temperatura, para visualización
- c= adquiere datos de presión, para visualización
- v= adquiere datos de nivel, para visualización

El entorno gráfico de visualización de datos se observa en la figura 27.

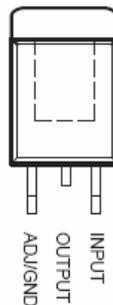
Figura 27. Entorno de visualización de los datos de las variables



3.10 FUENTE DE PODER

Para la fuente de poder se utilizó el regulador TLV1117 (Anexo I), que posee un rango de operación de voltaje de salida de 1.5 V – 5V DC, con una corriente de salida de 800mA; la vista de este dispositivo se puede apreciar en la figura 28.

Figura 28. Regulador de voltaje utilizado



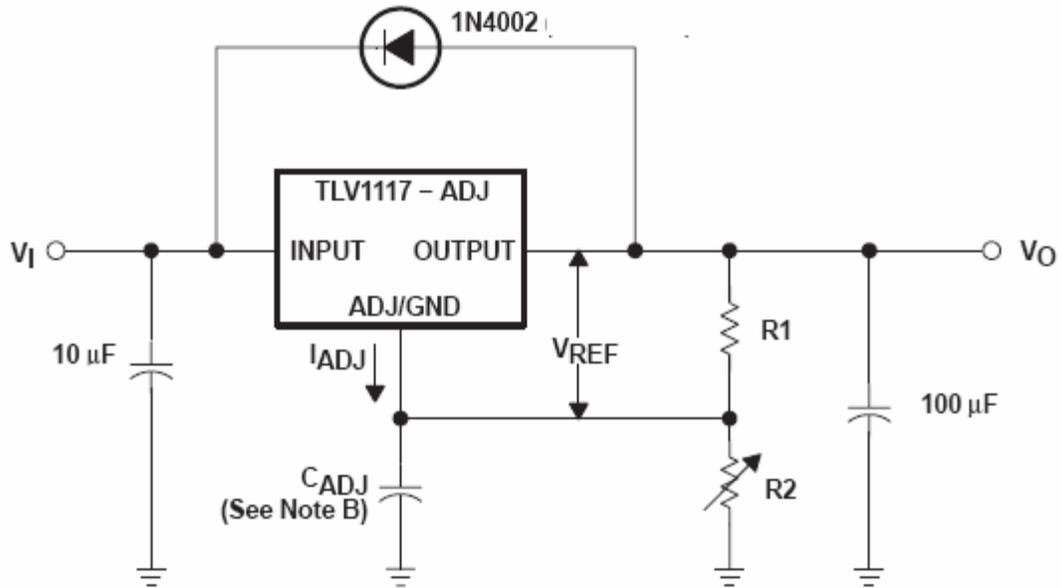
Fuente: Anexo I

El regulador fue configurado para obtener un voltaje de salida de 5VDC, la configuración utilizada se observa en la figura 29.

Para obtener el voltaje de 5 VDC a la salida se tuvo presente la nota técnica del fabricante:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + (I_{ADJ} \times R2)$$

Figura 29. Diagrama de configuración del regulador



Fuente: Anexo I

3.11 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS TARJETAS IMPRESAS

Los circuitos impresos fueron diseñados en EAGLE ya que este software permite realizar circuitos impresos de más de una capa (LAYER).

Antes de diseñar el circuito impreso fue necesario tener el esquemático del circuito a enrutar; la conexión de los elementos se observa en las figuras 30 y 31 para módulo maestro y esclavo respectivamente.

Posterior a la etapa de diseño de los diagramas esquemáticos de los módulos, se procedió con la elaboración de los circuitos impresos y estos pueden observarse en las figuras 32 y 33 respectivamente. En las figuras 34 a 39 se observa el prototipo implementando en forma real, montaje físico real y presentación final del mismo.

Figura 32. Tarjeta impresa del módulo esclavo

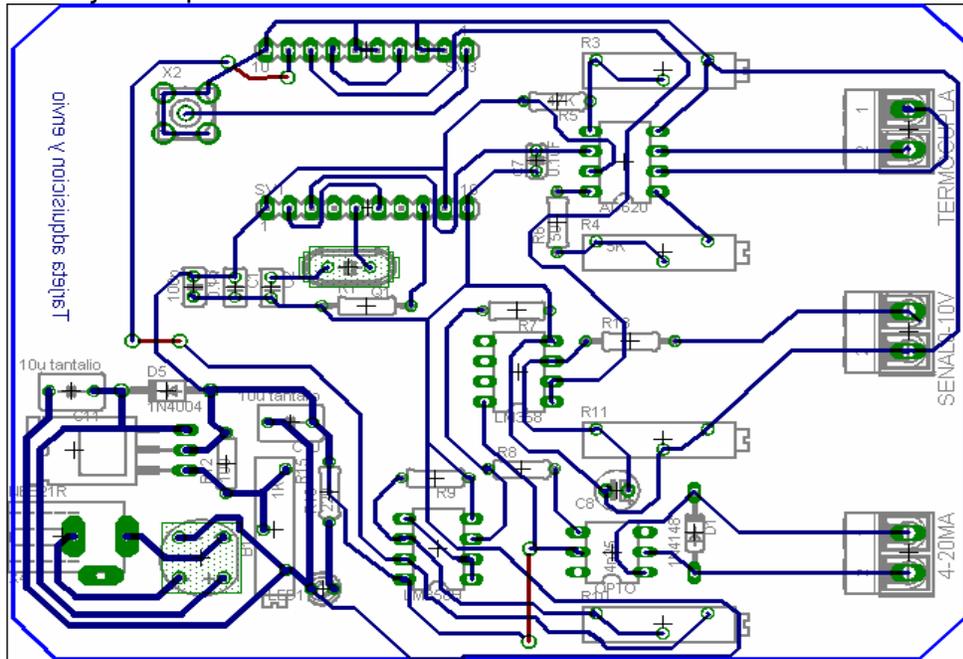


Figura 33. Diseño tarjeta impresa módulo maestro

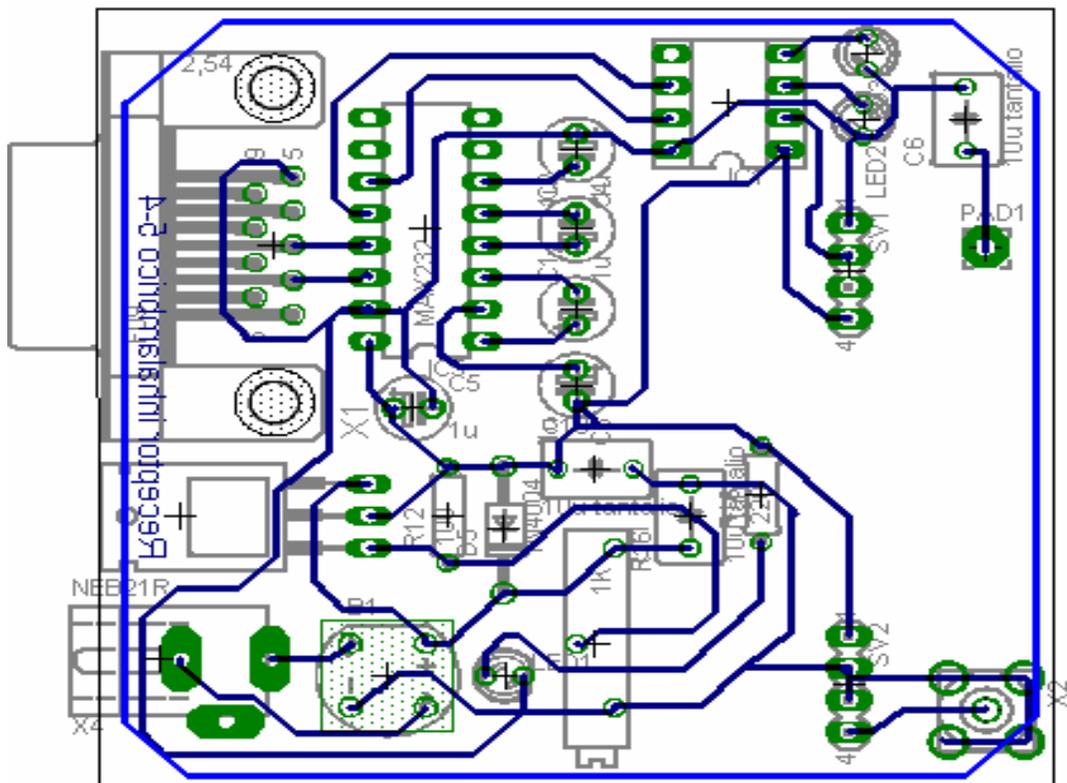


Figura 34. Baquelita módulo Transmisor

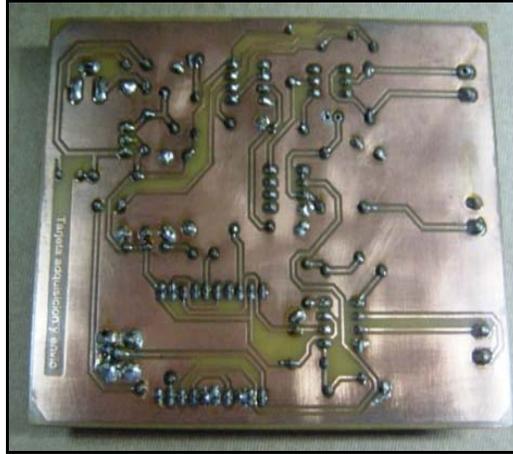


Figura 35. Montaje superficial módulo transmisor

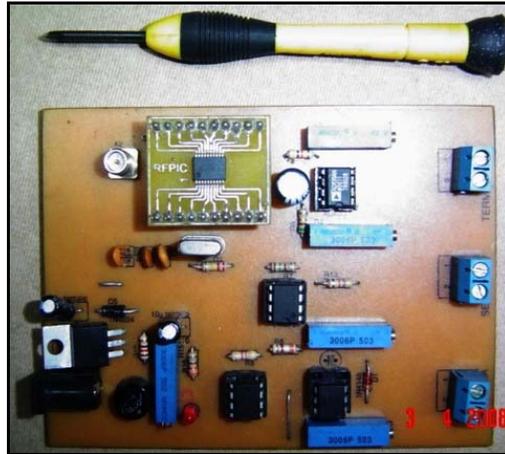


Figura 36. Baquelita módulo receptor

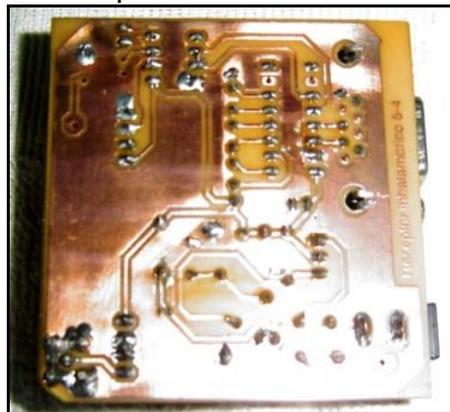


Figura 36. Montaje superficial módulo receptor



Figura 37. Montaje final módulo transmisor



Figura 38. Montaje final módulo receptor



3.11.1 Parámetros de diseño para dispositivos de radio frecuencia (RF).

Cuando se diseñan circuitos electrónicos que contienen elementos que trabajan con radio frecuencia (RF), como es el caso del prototipo desarrollado, es de vital importancia la ubicación de los componentes, y el diseño de los trazados o rutas de cobre en el circuito impreso.

LINX technologies⁶ realiza las siguientes recomendaciones para el diseño de estos circuitos impresos:

- La tarjeta debe procurarse diseñar en doble cara. En la cara inferior se deja el plano de tierra; las conexiones de tierras de todos los elementos de la cara superior se hacen a través de vías. Esto permite reducir el ruido en la transmisión y en la recepción.
- La antena se debe aislar de los demás elementos del circuito a una distancia superior de 6mm y debe ubicarse en el extremo de la tarjeta.
- Ya que las antenas de tamaño reducido presentan como característica un factor de calidad (Q) alto, su ancho de banda es reducido. El elemento más importante para garantizar el óptimo desempeño de las antenas, es minimizar la longitud del trazo que la conecta al módulo inalámbrico. Dicho trazo debe tener un

⁶ Para mayor información consultar: <http://www.linxtechnologies.com/>, Visitada diciembre 28 de 2007

ancho de 1mm, y una longitud no superior a 0.7 cms., para garantizar la estabilidad de su impedancia.

4. ELABORACIÓN DE PRUEBAS

4.1 SENSOR DE NIVEL

Para estas pruebas se tomó el voltaje entregado por el sensor y el voltaje de salida del arreglo del amplificador operacional, de manera que se pudo determinar que no se presentaba saturación; estos valores se observan en la tabla 6.

Tabla 5. Valores de voltaje (entrada y salida) del acondicionamiento del sensor de nivel

Voltaje de entrada(V)	Voltaje de salida(V)
1,52	0,58
1,81	0,69
3,67	1,39
5,86	2,22
7,03	2,67
9,4	3,59
10,07	3,82

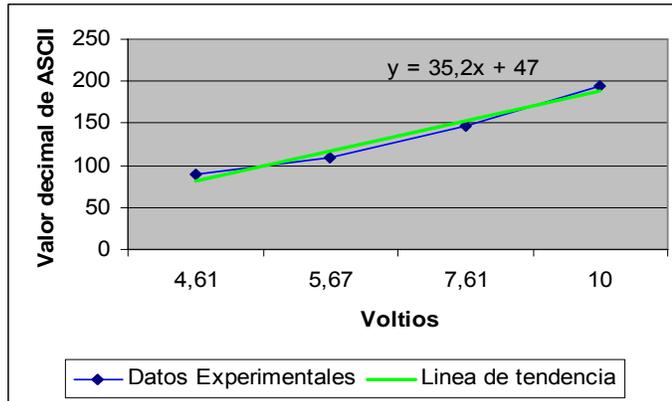
Independiente de la etapa de acondicionamiento, se realizó una prueba para determinar qué código ASCII se relacionaba con el voltaje que entregaba el sensor de nivel; dicho valores se observan en la tabla 7.

Tabla 6. Equivalencia de código ASCII según el voltaje de entrada arrojado por el sensor de nivel

Voltaje de entrada(V)	Valor numérico (Código ASCII)
4,61	89
5,67	110
7,61	147
10	194

En la figura 40 se observa la relación de los valores experimentales con respecto al valor ASCII en decimal; al hallar la ecuación de la curva y linealizarla se puede determinar el código ASCII que va a visualizarse en la pantalla.

Figura 39. Relación de datos experimentales vrs valor ASCII



4.2 SENSOR DE PRESIÓN

Para esta etapa, ya que este sensor entregaba una señal de salida correspondiente a 4 – 20 mA, el arreglo utilizado y descrito en la sección 3.4.3 permitió convertir la entrada en voltaje; esta conversión se puede observar en la tabla 8.

Tabla 7. Equivalencia de Voltaje correspondiente al sensor de presión de 4 – 20mA

Corriente de entrada(mA)	Voltaje de salida(V)
4,32	2,15
4,58	2,29
4,99	2,5
5,7	2,71
6,43	2,83
7,34	2,95
8,55	3,08
10,12	3,21
11,77	3,32
12,72	3,38
13,56	3,42
14,19	3,46
15,1	3,5
16,01	3,54
17,05	3,58
17,48	3,59
18,1	3,61
19,4	3,63
20	3,64

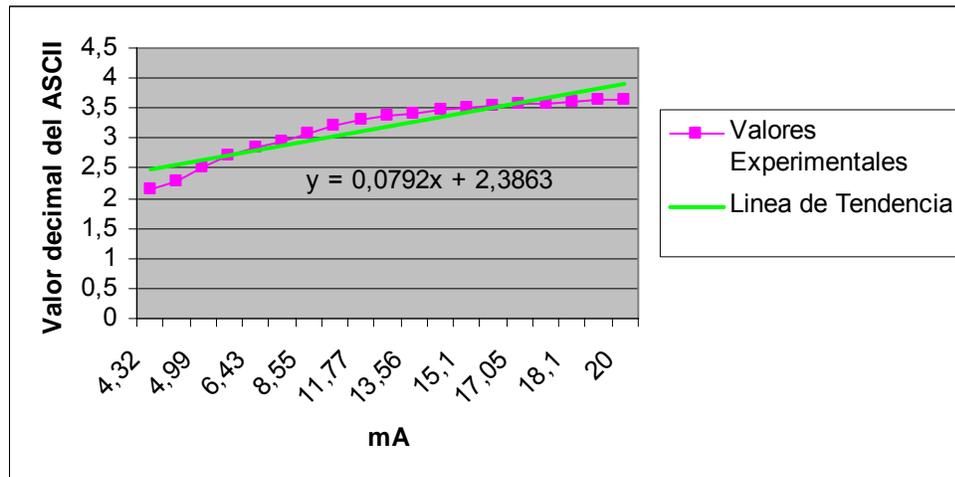
Al realizar el proceso de transmisión del prototipo, el *hyperTerminal* arrojó la equivalencia del código ASCII con respecto a la corriente de entrada, estas equivalencias se observan en la tabla 9.

Tabla 8. Equivalencia del código ASCII con relación a la corriente de entrada del sensor de presión

Corriente de entrada(mA)	Valor numérico (Código ASCII)
4,05	100
6,8	147
7	148
11,5	168
13,01	172
16	180
20	185

En la figura 41 se observa la curva que relaciona de la corriente de entrada vs el decimal del código ASCII a ser visualizado.

Figura 40. Relación mA vs Valor decimal del código ASCII



4.3 SENSOR DE TEMPERATURA

Para el proceso de elaboración de pruebas con respecto a la temperatura se utilizó una termocupla tipo *J*, junto con un termómetro, obteniendo una relación de temperatura sensada y voltaje de salida del proceso de acondicionamiento (tabla 10); a su vez se obtuvo la relación respecto a la temperatura sensada y el código ASCII generado (tabla 11).

Tabla 9. Relación Temperatura sensada y voltaje de salida correspondiente al acondicionamiento

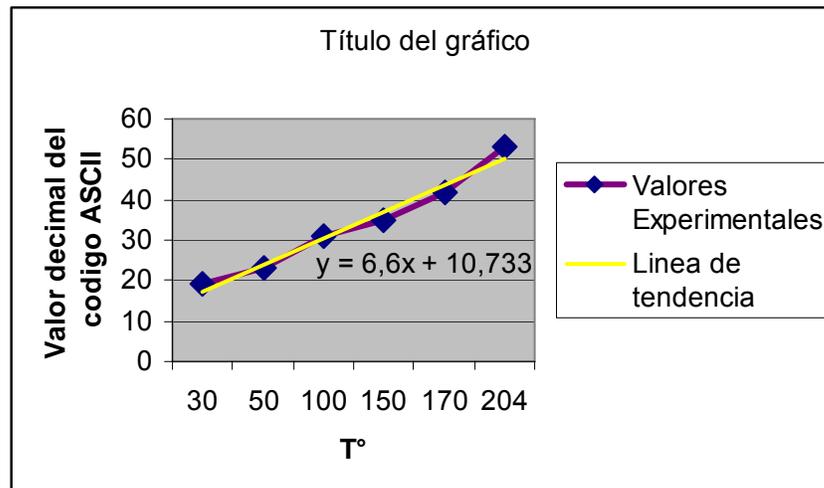
Temperatura(°C)	Voltaje de salida(V)
30	0,4
50	0,469
80	0,528
110	0,733
160	0,9
180	0,937
228	1,01

Tabla 10. Relación Temperatura generada código ASCII generado

Temperatura(°C)	Valor numérico (Código ASCII)
30	19
50	23
100	31
150	35
170	42
204	53

En la figura 42 se observa la curva que corresponde a la relación de la temperatura de entrada vs el valor decimal del carácter ASCII a visualizar.

Figura 41. Relación de T° vs valor decimal del código ASCII



5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La transmisión puede llegar a ser más de 20 m con óptimo funcionamiento sin obstáculos cercanos.

Los errores del sistema TX-RX se presentaron cuando la distancia entre el módulo maestro y esclavo superan la distancia de 30 m, o cuando la presencia de obstáculos era inminente; para corroborar esto se realizó el envío del dato de temperatura simulando una entrada constante (voltaje); el valor ASCII en la visualización de datos era constante hasta que se superó la distancia de 30m.

Otra de las pruebas desarrolladas fue la realización de transmisiones en locaciones cercanas a motores eléctricos, un motor de automóvil, línea de transmisión eléctrica; demostrando gran capacidad para evitar la intromisión de ruido electromagnético al transmisor.

Mediante la utilización del Analizador de Espectros se comprobó que la frecuencia de transmisión es de 412 Mhz, este cambio es debido al condensador (C1) que va conectado en serie al cristal para dar una mayor estabilidad en el circuito tanque. También pudimos corroborar que la potencia de transmisión es de 9dBm.

Con el osciloscopio se pudo observar el flujo de datos digitales que el receptor esta recibiendo y verificar que el dato corresponde al que el transmisor le esta enviando.

El modulo también se puede trabajar con un conversor serial – USB, pero cuando no se esta adquiriendo datos, la plataforma entra en un modo de hibernación.

6. CONCLUSIONES

- Cuando se trabajan con señales provenientes de sensores, estas presentan cierto grado de inestabilidad, además de que su salida muchas veces no puede ser tratada directamente por dispositivos electrónicos directamente (microcontroladores, conversores, multiplexores, etc) por lo que es necesario implementar un circuito de acondicionamiento. El circuito de acondicionamiento implementado permitió el acople de señales a niveles más estables, facilitando su tratamiento.
- La utilización de la modulación digital nos permitió mayor inmunidad al ruido; igualmente, la interpretación de datos digitales permiten un tratamiento mas amplio.
- Una de las ventajas de la modulación digital es la gran variedad de productos que existen en el mercado, elementos de RF (circuitos, receptores, transmisores, antenas, etc), permitiendo una amplia selección en la elaboración de medios de comunicación.
- El prototipo desarrollado presenta una transmisión óptima cuando esta es realizada con línea de vista directa; al existir obstrucciones físicas la calidad de la señal decae y la velocidad de recepción se ve alterada, debido que la potencia se ve saturada.
- El RFPIC es un dispositivo favorable para realizar labores de senso y monitoreo de forma inalámbrica de corto y mediano alcance en espacio reducido de montaje.
- El proyecto de grado desarrollado, además de su utilidad como sistema de telemetría, constituye un ejemplo didáctico en donde se unen y se aplican temas tratados en las asignaturas vistas en la carrera, conceptos electrónicos (sensores, microprocesadores, etc.) con otros inherentes, al campo de las comunicaciones (técnicas de modulación y demodulación, diseño de antenas, etc.), importantes en la formación del ingeniero en electrónica.

7. RECOMENDACIONES

- Implementar en el módulo un canal de doble vía (bidireccional) de manera que el operario en el PC pueda ejecutar labores de control conjuntas con el proceso de monitoreo ya desarrollado en el trabajo.
- Para proyectos futuros con base en el prototipo es aconsejable el desarrollo e implementación de un software, el cual permita realizar acciones de control en paralelo al proceso de monitoreo, indicación de alarmas y de historiales por medio del uso de interfaz gráfica (GUI).
- Elaborar un software de comunicación con equipos portátiles (PDA's) facilitando el monitoreo en diferentes zonas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] TOMASI, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Tercera Edición. Editorial Prentice Hall. 2003
- [2] R. PALLÁS ARENY, Transductores y Acondicionadores de Señal. Editorial Marcombo, 2004
- [3] R. PALLÁS ARENY. Adquisición y Distribución de Señales. Editorial Marcombo, 2002
- [4] FREEMAN. Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones. Editorial LIMUSA, 2000
- [5] FRENZELIT, Electrónica Aplicada a los Sistemas de las Comunicaciones. Editorial Alfaomega, 2003
- [6] Portal Electrónico Relacionado con Software y Electrónica. Fecha de visita diciembre 14 de 2007. En: <http://www.tech-faq.com/lang/es/hyperterminal.shtml>
- [7] Portal Electrónico Relacionado con Elementos de Radiofrecuencia (RF). Fecha de visita 14 de diciembre de 2007. En: <http://www.linxtechnologies.com/>
- [8] Portal Electrónico con Aplicación de Comunicación Serial RS232. Fecha de visita diciembre 16 de 2007. En: <http://www.iearobotics.com/proyectos/cuadernos/ct1/ct1.html>
- [9] Sitio Web Oficial de Microchip. Fecha de visita diciembre 16 de 2007. En: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70091a.pdf>
- [10] Portal Electrónico de Databitz de Receptores de Radio Frecuencia (R). Fecha de visita diciembre 18 de 2007. En: www.databitz.com/Resources/TR-LP434.pdf

ANEXOS

Anexo A. PDF Antena



Laipac Technology Inc.

WLP 434 RF & Cordless Phone Antenna

1 Application

The antenna specified in this specification is applicable for the cordless phone

2 Dimensions

As per Drawing No. RA1417801B002A-373 attached.

3 Materials

As specified in drawing No. RA1417801B002A-373

4 Electrical Characteristics

- i) Resonate Frequency : 434 ± 10 MHZ
- ii) Return loss : -4 dB or less
- iii) Radiation Pattern : Omni Directional
- iv) Polarization : Vertical
- v) Standing Wave Ratio(S.W.R): 4.0 or less
- vi) Insulation resistance : 500M ohm at DC 500V

5 Mechanical Characteristics

- i) The strength of fixing between sleeve and stud shall withstand the following stresses
 - Vertical Direction : 2.0 kgs
 - Rotating Direction : 2.0 kgcm

6 General Characteristics

- i) Storage Temperature : -30°C to 80°C
- ii) Operating Temperature : -30°C to 60°C
- iii) Vibration Test : There shall be no defects in appearance or the mechanical and electrical functions after the antenna being tested by a regular mounting device under the following conditions:
 - a) Displacement : $\pm 5^{\circ}$ of the axis original position
 - b) Duration : 1000 cycles/minutes
 - c) Time : 5 minutes
- iv) Shock Resistance : Satisfy the electrical and mechanical characteristics after drop down with 100g upon rubber

Anexo B. RFPIC



rfPIC12F675

FLASH-Based Microcontroller with ASK/FSK Transmitter

High Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn
 - All single cycle instructions except branches
- Operating speed:
 - Precision internal 4 MHz oscillator, factory calibrated to $\pm 1\%$
 - DC - 20 MHz Resonator/Crystal/Clock modes
 - DC - 20 MHz crystal oscillator/clock input
 - DC - 4 MHz external RC oscillator
 - DC - 4 MHz XT crystal oscillator
 - External Oscillator modes
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

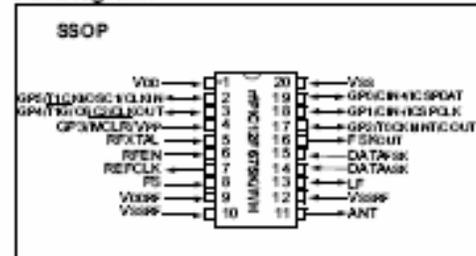
Peripheral Features:

- Memory
 - 1024 x 14 words of FLASH program memory
 - 128 x 8 bytes of EEPROM data memory
 - 64 x 8 bytes of SRAM data memory
 - 100,000 write FLASH endurance
 - 1,000,000 write EEPROM endurance
 - FLASH/data EEPROM retention: > 40 years
- Programmable code protection
- 6 I/O pins with individual direction control, weak pull-ups, and interrupt-on-pin change
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator: 16 internal reference levels
- Analog-to-Digital Converter: 10 bits, 4 channels
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with 3-bit prescaler
- Timer1 can use LP oscillator in INTOSC mode
- 5 μ s wake-up from SLEEP typical with $V_{DD} = 3V$
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)

Low Power Features:

- Low power consumption: (typical with $V_{DD} = 3V$)
 - 14 mA transmitting +6 dBm at 434 MHz
 - 4 mA transmitting -15 dBm at 434 MHz
 - 500 μ A, 4.0 MHz INTOSC
 - 0.6 μ A SLEEP with watchdog enabled
 - 0.1 μ A standby current
- Wide operating voltage range from 2.0 – 5.5V
- Industrial and Extended temperature range

Pin Diagram:

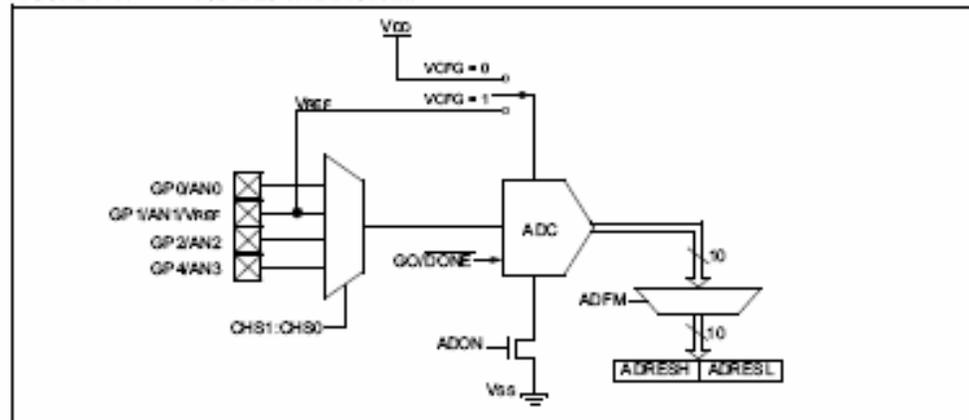


7.0 ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER (A/D) MODULE

The analog-to-digital converter (A/D) allows conversion of an analog input signal to a 10-bit binary representation of that signal. The rfPIC12F675 has four analog inputs, multiplexed into one sample and hold circuit.

The output of the sample and hold is connected to the input of the converter. The converter generates a binary result via successive approximation and stores the result in a 10-bit register. The voltage reference used in the conversion is software selectable to either V_{DD} or a voltage applied by the V_{REF} pin. Figure 7-1 shows the block diagram of the A/D.

FIGURE 7-1: A/D BLOCK DIAGRAM



7.1 A/D Configuration and Operation

There are two registers available to control the functionality of the A/D module:

1. ADCON0 (Register 7-1)
2. ANSEL (Register 7-2)

7.1.1 ANALOG PORT PINS

The ANS3:ANS0 bits (ANSEL<3:0>) and the TRISIO bits control the operation of the A/D port pins. Set the corresponding TRISIO bits to set the pin output driver to its high impedance state. Likewise, set the corresponding ANS bit to disable the digital input buffer.

Note: Analog voltages on any pin that is defined as a digital input may cause the input buffer to conduct excess current.

7.1.2 CHANNEL SELECTION

There are four analog channels, AN0 through AN3. The CHS1:CHS0 bits (ADCON0<3:2>) control which channel is connected to the sample and hold circuit.

controls the voltage reference selection. If VCFG is set, then the voltage on the V_{REF} pin is the reference; otherwise, V_{DD} is the reference.

7.1.4 CONVERSION CLOCK

The A/D conversion cycle requires $11 T_{AD}$. The source of the conversion clock is software selectable via the ADCS bits (ANSEL<6:4>). There are seven possible clock options:

- $F_{osc}/2$
- $F_{osc}/4$
- $F_{osc}/8$
- $F_{osc}/16$
- $F_{osc}/32$
- $F_{osc}/64$
- F_{rc} (dedicated internal RC oscillator)

For correct conversion, the A/D conversion clock ($1/T_{AD}$) must be selected to ensure a minimum T_{AD} of $1.6 \mu s$. Table 7-1 shows a few T_{AD} calculations for selected frequencies.

rfPIC12F675

REGISTER 7-1: ADCON0 — A/D CONTROL REGISTER (ADDRESS: 1Fh)

R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	VCFG	—	—	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON

bit 7

bit 0

- bit 7 **ADFM:** A/D Result Formed Select bit
 1 = Right justified
 0 = Left justified
- bit 6 **VCFG:** Voltage Reference bit
 1 = V_{REF} pin
 0 = V_{DD}
- bit 5-4 **Unimplemented:** Read as zero
- bit 3-2 **CHS1:CHS0:** Analog Channel Select bits
 00 = Channel 00 (AN0)
 01 = Channel 01 (AN1)
 10 = Channel 02 (AN2)
 11 = Channel 03 (AN3)
- bit 1 **GO/DONE:** A/D Conversion STATUS bit
 1 = A/D conversion cycle in progress. Setting this bit starts an A/D conversion cycle.
 This bit is automatically cleared by hardware when the A/D conversion has completed.
 0 = A/D conversion completed/not in progress
- bit 0 **ADON:** A/D Conversion STATUS bit
 1 = A/D converter module is operating
 0 = A/D converter 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

9.0 UHF ASK/FSK TRANSMITTER

9.1 Transmitter Operation

The transmitter is a fully integrated UHF ASK/FSK transmitter consisting of crystal oscillator, Phase-Locked Loop (PLL), Power Amplifier (PA) with open-collector output, and mode control logic. There are 3 variations of this device to optimize its performance for the most commonly used frequency bands.

TABLE 9-1: FREQUENCY BANDS

Device	Frequency	Modulation
rfPIC12F675K	290-350 MHz	ASK/FSK
rfPIC12F675F	390-450 MHz	ASK/FSK
rfPIC12F675H	850-930 MHz	ASK/FSK

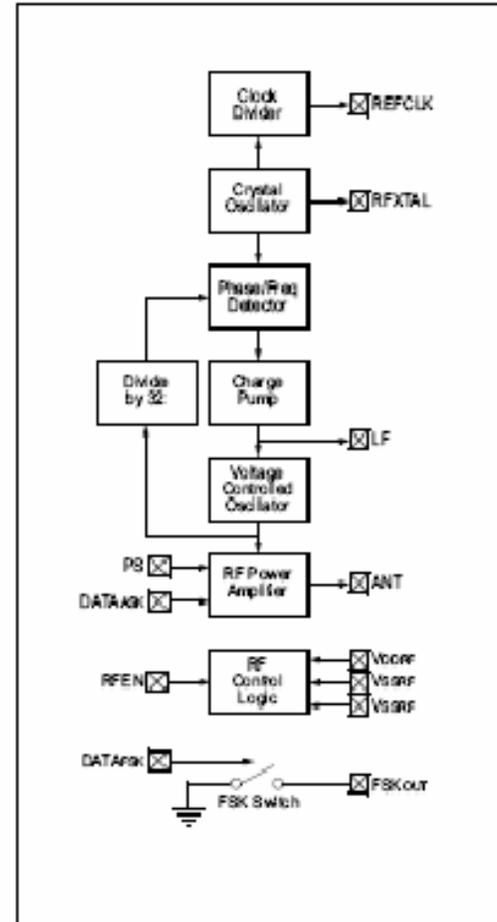
The internal structure of the transmitter is shown in Figure 9-1. A Colpitts oscillator generates the reference frequency set by the attached crystal. The voltage controlled oscillator (VCO) converts the voltage on the LF pin to a frequency. This frequency is divided by 32 and compared to the crystal reference. If the frequency or phase does not match the reference, the charge pump corrects the voltage on the LF pin. The VCO output signal is also amplified by the PA, whose single ended output drives the user's antenna.

The external components required are a crystal to set the transmit frequency, a supply bypass capacitor, and two to seven biasing/impedance matching components to get maximum power to the antenna. The two control signals from the microcontroller are connected externally for maximum design flexibility. The rfPIC12F675 is capable of transmitting data by Amplitude Shift Keying (ASK) or Frequency Shift Keying (FSK).

The rfPIC12F675 is a radio frequency (RF) emitting device. Wireless RF devices are governed by a country's regulating agency. For example, in the United States it is the Federal Communications Committee (FCC) and in Europe it is the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT). It is the responsibility of the designer to ensure that their end product conforms to rules and regulations of the country of use and/or sale.

RF devices require correct board level implementation in order to meet regulatory requirements. Layout considerations are listed at the end of each subsection. It is required to place a ground plane on the PCB to reduce unwanted radio frequency emissions.

FIGURE 9-1: TRANSMITTER BLOCK DIAGRAM



9.2 Supply Voltage (VDDRF, VSSRF)

Pins VDDRF and VSSRF supply power and ground respectively to the transmitter. These power pins are separate from power supply pins VDD and VSS to the microcontroller. Both VSSRF pins should be tied to the ground plane with the shortest possible traces. The microcontroller ground should be tied to the same RF ground potential. However, the VDDRF supply can be at a different potential than the microcontroller as long as the RFEN and DATA input levels are within specification limits.

Layout Considerations - Provide low impedance power and ground traces to minimize spurious emissions. A two-sided PCB with a ground plane on

rfPIC12F675

9.3 Crystal Oscillator

The transmitter crystal oscillator is a Colpitts oscillator that provides the reference frequency to the PLL. It is independent of the microcontroller oscillator. An external crystal or AC coupled reference signal is connected to the XTAL pin. The transmit frequency is fixed and determined by the crystal frequency according to the formula:

$$f_{transmit} = f_{RFXTAL} \times 32$$

Due to the flexible selection of transmit frequency, the resulting crystal frequency may not be a standard off-the-shelf value. Therefore, for some carrier frequencies the designer will have to consult a crystal manufacturer and have a custom crystal manufactured. For background information on crystal selection see Application Note AN588, *PICmicro® Microcontroller Oscillator Design Guide*, and AN826 *Crystal Oscillator Basics and Crystal Selection for rPIC™ and PICmicro® Devices*.

For ASK modulation the crystal can be connected directly from RFXTAL to ground, or in series with an additional capacitor to trim the frequency. Figure 9-2 shows how the crystal is connected and Table 9-2 shows how the frequency of a typical crystal changes with capacitance.

The oscillator is enabled when the RFEN input is high. It takes the crystal approximately 1 ms to start oscillating. Higher frequency crystals start-up faster than lower frequencies. The crystal oscillator start time (TON) is listed in Table 13-11, *Transmitter AC Characteristics*. This start-up time is mainly due to the crystal building up an oscillation, but also includes the time for the PLL to lock on the crystal frequency.

9.4 ASK Modulation

In ASK modulation the data is transmitted by varying the output power. The DATAask pin enables the PA, toggling the pin turns the RF output signal on and off. A simple receiver using a tuned filter and peak detector diode can capture the data. A more advanced super-heterodyne receiver such as the rRXD0420 can greatly increase the range and reduce susceptibility to interference.

In ASK mode the DATAfsk and FSKOUT pins are not used and should both be tied to ground. An example of a typical ASK circuit is shown in Figure 9-5. The C1 capacitor can be replaced by a short to simplify the transmitter if the receiver has a wide enough bandwidth. For a very narrowband receiver the C1 capacitor may need to be replaced by a trimmer cap to tune the transmitter to the exact frequency.

FIGURE 9-2: ASK CRYSTAL CIRCUIT

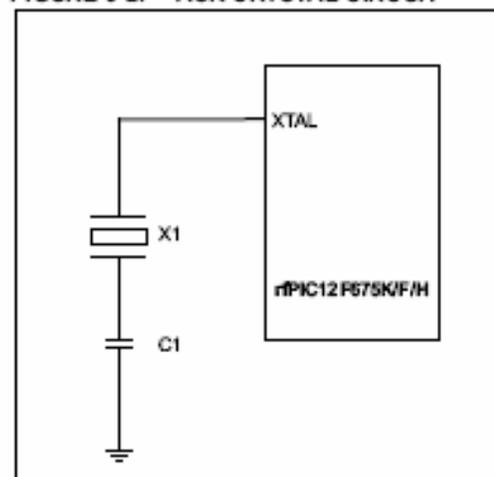


TABLE 9-2: XTAL OSC APPROXIMATE FREQ. VS. CAPACITANCE (ASK MODE) ⁽¹⁾

C1	Predicted Frequency (MHz)	PPM from 13.55 MHz	Transmit Frequency (MHz) (32 * fXTAL)
22 pF	13.551438	+106	433.646
39 pF	13.550563	+42	433.618
100 pF	13.549844	-12	433.595
150 pF	13.549672	-24	433.5895
470 pF	13.549548	-33	433.5856
1000 pF	13.549344	-48	433.579

Note 1: Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) TA = 25°C, RFEN = 1, VDDRF = 3V, fXTAL = 13.55 MHz.

Anexo C. Amplificador AD620



Low Cost, Low Power Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

EASY TO USE

Gain Set with One External Resistor
(Gain Range 1 to 1000)

Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)
Higher Performance than Three Op Amp IA Designs
Available in 8-Lead DIP and SOIC Packaging
Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("B GRADE")

50 μ V max, Input Offset Voltage
0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift
1.0 nA max, Input Bias Current
100 dB min Common-Mode Rejection Ratio ($G = 10$)

LOW NOISE

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @ 1 kHz, Input Voltage Noise
0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth ($G = 100$)
15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

Weigh Scales
ECG and Medical Instrumentation
Transducer Interface
Data Acquisition Systems
Industrial Process Controls
Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to

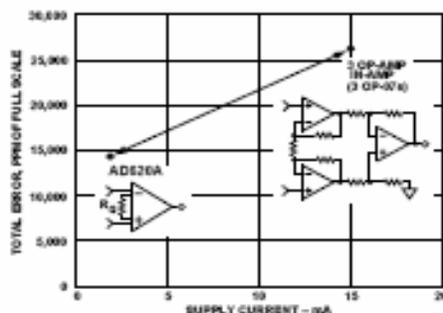
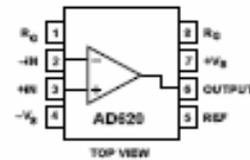


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q)
and SOIC (R) Packages



1000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Superbeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one amp per channel.

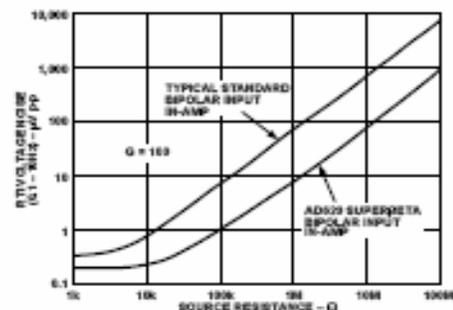


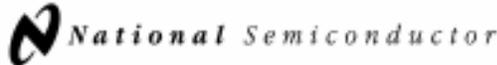
Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

REV. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

Anexo D. LM 358



May 1999

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.

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

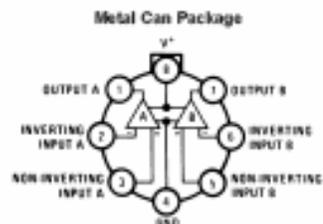
- Two internally compensated op amps
- Eliminates need for dual supplies
- Allows direct sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation
- Pin-out same as LM1558/LM1458 dual op amp

Features

- 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 μA)—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: 0V to $V^+ - 1.5V$

(Top Views)

Connection Diagram

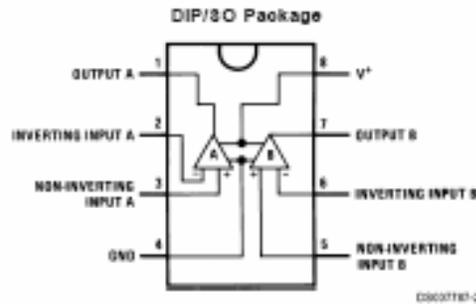


0602787-1

Order Number LM158AH, LM158AH883 (Note 1), LM158H, LM158H883 (Note 1), LM158AHLQML and LM158AHLQMLV (Note 2) LM258H or LM358H
See NS Package Number H09C

LM158/LM258/LM358/LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers

Connection Diagram (Continued)



Order Number LM168J, LM168J/883
(Note 1), LM168AJ or
LM168AJ/883 (Note 1)
LM168AJLQML and LM168AJQMLV (Note 2)
See NS Package Number J08A
Order Number LM358M, LM358AM or LM2904M
See NS Package Number M08A
Order Number LM358AN, LM358N or LM2904N
See NS Package Number N08E

Note 1: LM158 is available per SMD #5962-8771001

LM158A is available per SMD #5962-8771002

Note 2: See STD MI DWG 5962L87710 for Radiation Tolerant Devices

Anexo E. Descripción del código utilizado para la conversión A/D

```

bcf  ADCON0, ADFM      ; Justificación a la izquierda del conversor A/D
bcf  ADCON0, VCFG      ; Voltaje de referencia
bcf  ADCON0, ADON      ;
bsf  STATUS, RP0      ; Selección del BANK1

```

```

; Selección de la frecuencia de trabajo del reloj del conversor A/D, Fosc/8
bcf  ANSEL, ADCS2      ; Selección del reloj del conversor A/D
bcf  ANSEL, ADCS1      ; Selección del BIT 1 del reloj del conversor A/D
bsf  ANSEL, ADCS0      ; Selección del BIT 0 del reloj del conversor A/D

```

```

; Selección de las entradas análogas GP0/AN0, GP1/AN1
bsf  ANSEL, ANS3      ; Analog Select GP4/AN3: analog input

```

```

bcf  ANSEL, ANS2      ; Analog Select GP2/AN2: digital I/O
bsf  ANSEL, ANS1      ; Analog Select GP1/AN1: analog input
bsf  ANSEL, ANS0      ; Analog Select GP0/AN0: analog input

```

```

bcf  STATUS, RP0      ; Seleccion del BANK 0

```

; Este ciclo de lectura es el que se repite infinitamente transmitiendo datos
LECTURA

```

CALL    READ_ANALOG_AN0 ; Se hace lectura del puerto an0
bcf     STATUS, RP0     ; Selección del BANK 0
movlw   D'20'
movwf   ancho
CALL    XMIT

```

```

CALL    READ_ANALOG_AN1;
bcf     STATUS, RP0     ; ---- Select Bank 0 ----
movlw   D'15'
movwf   ancho
CALL    XMIT
CALL    READ_ANALOG_AN2;
bcf     STATUS, RP0     ; Selección del BANK0
movlw   D'10'
movwf   ancho
CALL    XMIT
GOTO   LECTURA

```

; Se configuran los registros CHS para elegir el canal de lectura

READ_ANALOG_AN0

```
bcf  ADCON0, CHS1    ; selección del canal del conversor AN0
bcf  ADCON0, CHS0
goto READ_ANALOG
```

RETURN

READ_ANALOG_AN1

```
bcf  ADCON0, CHS1    ; selección del canal del conversor AN1
bsf  ADCON0, CHS0
goto READ_ANALOG
```

RETURN

READ_ANALOG_AN2

```
bsf  ADCON0, CHS1    ; selección del canal del conversor AN3
bsf  ADCON0, CHS0
```

READ_ANALOG

```
bsf  ADCON0, ADON    ; Inicia el proceso de conversión
```

; Después de seleccionar el canal se procede con la selección del tiempo de muestreo

```
movlw D'6'           ; Para un oscilador de 4 MHz, con retardos 21us
movwf  TEMP           ; (21us = 2us + 6 * 3us + 1us)
decfsz TEMP, F
goto  $-1
```

```
bsf  ADCON0, GO      ; Inicia la conversión A/D
```

```
btfsc ADCON0, GO     ; Pregunta si la conversión ha finalizado
goto  $-1
```

```
bcf  ADCON0, ADON    ; Se clarea el bit del registro, para que en caso de
que el
```

; conversor no este siendo utilizado el consume
de energía sea

```
; bajo
```

return

Anexo F. Código para la transmisión de datos

```
XMIT
    bsf    RFENA        ; Enable Transmitter

;-----
; Transmission Loop
;-----

TXLoop
    ; send preamble (50% duty cycle)

Preamble
    movlw  PREAMB
    movwf  BitCount    ; init number of preamble bits

PreL
    bsf    TXD         ; ON
    movlw  1
    call   WaitxTE     ; delay
    bcf    TXD         ; OFF
    movlw  1
    call   WaitxTE     ; delay
    decfsz BitCount,F  ; loop
    goto   PreL

; sync pause

TXloop
    movlw  D'10'       ; Theader = 10 x Te
    movfw  ancho
    call   WaitxTE

; send 72 bit pattern

    movlw  ADRESH     ; lsb first
    movwf  FSR
```

```

TXNextByte
    movlw    D'8'
    movwf    BitCount

TXNextBit
    rrf      INDF,W      ; 8 bit rotate
    rrf      INDF,F      ; Carry contain lsb
    BC      ONE

ZERO
    movlw    2           ;
    movwf    TimeHi      ; +---+---+ +--
    movlw    1           ; |   | |
    movwf    TimeLo      ;---+   +---+
    goto     Trasm_BIT   ; | 2Te Te |

ONE
    movlw    1           ;
    movwf    TimeHi      ; +---+   +--
    movlw    2           ; | |   |
    movwf    TimeLo      ;---+ +---+---+
                        ; | Te 2Te |

Trasm_BIT
    bsf      TXD         ; ON
    movf     TimeHi,W
    call     WaitxTE
    bcf      TXD         ; OFF
    movf     TimeLo,W
    call     WaitxTE
    decfsz  BitCount,F
    goto     TXNextBit   ; loop on bits
    movlw    TGUARD
    call     WaitxTE
    return

WaitxTE
    movwf    Count2     ; [1]

waitxlp
    movlw    D'79'      ; [1]
    movwf    Count      ; [1]

wait400lp
    nop      ; [1]
    nop      ; [1]

```

```

    decfsz    Count,F    ; [1]
    goto     wait400lp  ; [2]
;
;          -----
;          79 x 5 = 395us
;
    decfsz    Count2,F  ; [1]
    goto     waitxlp    ; [2]

    retlw 0    ; [2]

;          total 2 (call) + W x (395 + 5) + 2 (return)
;          w = 1 -> 406us @4MHz
;          w = 2 -> 806us @4MHz

DEMORA
    movlw    .14        ; 1 set numero de repeticion (C)
    movwf    PDel0     ; 1 |

PLoop0
    movlw    .72        ; 1 set numero de repeticion (B)
    movwf    PDel1     ; 1 |

PLoop1
    movlw    .247      ; 1 set numero de repeticion (A)
    movwf    PDel2     ; 1 |

PLoop2
    clrwdt    ; 1 clear watchdog
    decfsz    PDel2, 1 ; 1 + (1) es el tiempo 0 ? (A)
    goto     PLoop2   ; 2 no, loop
    decfsz    PDel1, 1 ; 1 + (1) es el tiempo 0 ? (B)
    goto     PLoop1   ; 2 no, loop
    decfsz    PDel0, 1 ; 1 + (1) es el tiempo 0 ? (C)
    goto     PLoop0   ; 2 no, loop

PDelL1
    goto     PDelL2    ; 2 ciclos delay

PDelL2
    clrwdt    ; 1 ciclo delay
    return    ; 2+2 Fin.
    END

```



```

{
    envia('L');
    envia('I');
    envia('S');
    envia('T');
    envia('O');
}
else
    goto in;

otromseg(1000);

for(;;)
{
nuevo:
adquiere();

if (datoi=='t')
    datoi='t';
else if (datoi=='v')
    datoi='v';
else if (datoi=='c')
    datoi='c';
else
{
    datoo='x';
    goto nuevo;
}
adquiereRF();

if (datoi=='t')
    datoo=datorf[1];
else if (datoi=='v')
    datoo=datorf[2];
else if (datoi=='c')
    datoo=datorf[3];
else
    datoo='x';

envia(datoo);
}
}

void adquiere (void)
{

```

```

/* esta subrutina adquiere señales digitales asincronas a una velocidad de
9600bps
y el formato en el que las guarda es exactamente el mismo que en el que fueron
enviadas
y quedan almacenadas en dato1 de longitud un byte
*/

dato1=0;
while (PTA_PTA1==1);

for(f=0;f<=18;f++);

    for(i=0;i<8;i++)
    {
        for(f=0;f<=18;f++);

                                dato1=dato1>>1;

        if (PTA_PTA1==1)
        {
            dato1=dato1+128;
        }
    }

for(f=0;f<=25;f++);

}

void adquiereRF (void)
{
byte variable;
void envia (byte dato0);

/* esta subrutina adquiere señales digitales asincronas a una velocidad de
9600bps
y el formato en el que las guarda es exactamente el mismo que en el que fueron
enviadas
y quedan almacenadas en dato1 de longitud un byte

el numero de conteos que realiza en 0.39mS que es el tiempo superior en alto es
de
183 a186 conteos, y el tiempo inferior que es de 2.2mS tiene un conteo de 105-
113, eso
tomando el valor en los extremos, tomando el valor en la parte media es decir
cuando

```

```

todo el dato no son solo unos o no son solo ceros, puede variar desde 180-197 y
desde
89-114
*/
espera:

while (PTA_PTA5==0);
PTA_PTA3=1;
while (PTA_PTA5==1);
PTA_PTA3=0;
cont=0;

estado=0;

while (PTA_PTA5==0)
cont++;
if (cont>800 && cont<=1250 && datoI=='t' )
{
    variable=1;
    //envia ('1'); // TERMOCUPLA
}
else if (cont>1250 && cont<=1750 && datoI=='v')
{
    variable=2;
    //envia ('2'); //0-10v
}
else if (cont>1750 && cont<2200 && datoI=='c')
{
    variable=3;
    //envia ('3'); // 4-20MA
}
else
{
    //envia ('M');
    goto espera;
}

//envia (cont/10);
datorf[variable]=0;

for(i=0;i<8;i++)
{

cont=0;
while (PTA_PTA5==0);
while (PTA_PTA5==1)
    cont++;

if (cont>156 && cont<230)
{ datorf[variable]=datorf[variable]>>1;
  PTA_PTA3=0;
}
}

```

```

    at[i]='0';
    ag[i]=cont;
}
else if (cont>50 && cont<150)
{
    datorf[variable]=datorf[variable]>>1;
    datorf[variable]=datorf[variable]+128;
    PTA_PTA3=1;
    at[i]='1';

    ag[i]=cont;
}
else
{
    estado=1;
    at[i]='H';

    ag[i]=cont;
}
}
for(i=0;i<8;i++)
{
    //envia(at[i]);
    //envia(ag[i+1]);
}
//envia(' ');
//envia(' ');
envia(' ');

if (estado==1)
    goto espera;

PTA_PTA3=0;
}

void envia(byte datoo)
{
    byte f,i;

    /* esta subrutina adquiere señales digitales asincronas a una velocidad de
    9600bps
    y el formato en el que las guarda es exactamente el mismo que en el que fueron
    enviadas
    y quedan almacenadas en datoi de longitud un byte
    */

```

```

PTA_PTA0=0;

for(f=0;f<=28;f++);

    for(i=0;i<8;i++)
    {

                                if (((datoo>>i)&1)==1)
                                    PTA_PTA0=1;
                                else
                                    PTA_PTA0=0;

                                for(f=0;f<=26;f++);

    }

for(f=0;f<=28;f++);

PTA_PTA0=1;

for(f=0;f<=70;f++);

}

void otromseg(int tiempo)
{

                                //0.1ms
                                int c,b;
                                for(b=0;b<3;b++)
                                {
                                    for(c=0;c<=tiempo;c++);
                                }

}

```