

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



TEC

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Sistema de comunicación inalámbrico para consola Vantage Pro2™

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

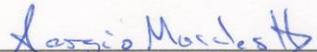
William Fausto Quirós Solano

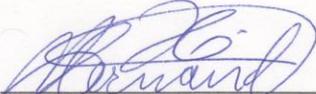
Cartago, Noviembre de 2011

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal


Ing. Sergio A. Morales Hernández
Profesor lector


Ing. Néstor Hernández Hostaller
Profesor lector


Ing. Marvin Hernández Cisneros
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, noviembre 2011

Declaratoria de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo realizado y por el contenido del correspondiente anteproyecto.

Cartago, noviembre 2011



Firma del autor
William Fausto Quirós Solano
Céd. 3-0429-0042

RESUMEN

El Laboratorio de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad (SESLab), el cual es parte de la Escuela de Ingeniería Electrónica, realiza varios proyectos de carácter multidisciplinario con el fin de desarrollar sistemas electrónicos especializados cuya operación maximice la sostenibilidad de los procesos, entornos o sistemas físicos.

Actualmente en un proyecto de monitorización en desarrollo, se obtienen datos de variables ambientales para caracterizar el clima de una región; esto se hace por medio de un sistema de recolección de datos climáticos que consta de una consola Vantage Pro2™ y varias estaciones remotas en los que se integran los sensores especializados para la medición de las variables. Los datos de la consola se extraen a través de un puerto USB o serial conectando directamente la consola a una PC para el posterior análisis de estos. Sin embargo no siempre es posible establecer esta conexión directa y de manera continua debido a varios factores, tales como difícil acceso a la consola o condiciones climáticas, de manera que se requiere una manera alternativa para acceder a los datos de la consola.

El proyecto desarrollado permitió mediante el diseño de un sistema de comunicación, la obtención de los datos de la consola Vantage Pro2™ de manera alternativa, eliminando la dependencia de una conexión alambrada para la obtención de estos datos, esto mediante un enlace inalámbrico entre la consola Vantage Pro2™ y una PC. El propósito de este documento es describir la metodología y el proceso de diseño del sistema de comunicación.

Palabras Clave: Consola Vantage Pro2™, clima, monitorización, inalámbrico, sensor, USB, Serial, PC.

ABSTRACT

The Sustainability Electronic System Laboratory (SESLAB) is a branch of the Electronic Engineering School dedicated to develop electronic systems regarding to optimize the sustainability of processes, as well as the environment and physical systems.

Nowadays, SESLAB is working on a project related to monitoring environmental variables in order to determinate the characteristics of the weather on a specific region. The monitoring process is done through a data acquisition system, integrated by a Vantage Pro2™ console and many remote stations which uses specialized sensors.

All data information is downloaded from Vantage Pro2™ using a USB or serial port at a PC. Unfortunately, this wired process depends on external factors to works correctly, due to the fact that the climatic conditions and difficult access to the console are some of the most common problems faced to obtain the data information continuously.

The project developed allows to obtain the information from Vantage Pro2™ using a wireless system to download it to a PC, eliminating the problems related to the wired process. This document pretends to describe the methodology and the process to develop this wireless system.

Key words: Console Vantage Pro2™, weather, monitoring, wireless, sensor, USB, Serial, PC.

DEDICATORIA

Dedico el trabajo realizado y todos los logros hasta ahora obtenidos a mi madre Martha, quien siempre dio todo lo que tenía para poder realizar mis estudios de la manera más cómoda posible y por el apoyo que obtuve de su parte en los momentos difíciles durante el transcurso de esta etapa de mi vida así como su presencia también en los momentos de éxito. A mi familia, en especial a mi hermana Mariam, tío Ricardo y abuela Belén que del mismo modo formaron parte en la construcción de este logro, así como a mi novia Laura quien también siempre estuvo a mi lado y me brindó su apoyo en todo momento.

Gracias a todos, los amo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios y La Virgen de los Ángeles por darme el entendimiento y la capacidad para luchar día a día por mis metas y por la obtención de este logro.

A todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Electrónica que compartieron su conocimiento y experiencia a la formación de mi persona como profesional, gracias por sus enseñanzas.

Del mismo modo agradezco al Dr. Carlos Meza Benavides por brindarme la oportunidad y la confianza para realizar el presente proyecto en el Laboratorio de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad (SESLab), a mi profesor asesor el Ing. Marvin Hernández Cisneros así como a cada uno de los integrantes del laboratorio por el eventual apoyo brindado.

Un especial agradecimiento a Edgar Zúñiga Rodríguez y Jorge Eduardo Zamora Campos quienes también hicieron posible de algún modo este logro brindándome la confianza en el momento que les necesite.

INDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	13
1.1 Problema existente e importancia de la solución	13
1.2 Solución Seleccionada	14
Capítulo 2: Meta y Objetivos	17
2.1 Meta	17
2.2 Objetivo General	17
2.3 Objetivos Específicos	17
Capítulo 3: Marco teórico	18
3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar	18
3.1.1 Estaciones climáticas	19
3.1.2 Consola Vantage Pro2™	20
3.1.3 Datalogger y Software WeatherLink	21
3.2 Antecedentes Bibliográficos	23
3.2.1 Protocolo de comunicación de la consola Vantage Pro2™. 1	23
3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución.	28
3.3.1 Comunicación RS232	28
3.2.2 Comunicación SPI	29
3.2.3 Comunicación Inalámbrica (Transceptor MRF24J40)	30
3.2.4 Regulación de tensión	33
Capítulo 4: Procedimiento Metodológico	34
4.1 Reconocimiento y definición del problema	34
4.2 Obtención y análisis de información	35
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de la información	36
4.4 Implementación de la solución	37
4.4 Reevaluación y rediseño	38
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución	39
5.1 Análisis de las soluciones y selección final	39
5.2 Descripción del hardware	40
5.2.1 Hardware del Módulo de obtención de datos de la consola	40
5.2.2 Hardware del Módulo de obtención de datos de la PC	46
5.3. Descripción del software	48
5.3.1 Software del Módulo de obtención de datos de la consola	49
5.3.2 Software del Módulo de obtención de datos de la PC	58
Capítulo 6: Análisis de Resultados	61
6.1.1 Comunicación inalámbrica con la consola Vantage Pro2™	61
6.1.2 Consumo de potencia del módulo de obtención de datos de la consola Vantage Pro2™	67
6.1.3 Interfaz del sistema con el software WeatherLink	69
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones	70
7.1 Conclusiones	70

7.2 Recomendaciones.....	71
Bibliografía	72
Apéndices	75
A.1 Glosario, Abreviaturas y simbología.....	75
A.2 Manual de usuario.....	76
Anexos	78
1. Datos relevantes del fabricante del módulo MRF24J40MA.....	78
2. Datos relevantes del fabricante del buffer triestado 74LS125	87
3. Datos relevantes del fabricante del driver MAX232.....	89
4. Datos relevantes del fabricante del regulador LF33CV	91

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Conexión serial entre la consola Vantage Pro2™ y la computadora de análisis.	14
Figura 2	Diagrama de bloques general de la solución propuesta.....	15
Figura 3	Diagrama básico del módulo de obtención de datos de la consola.....	16
Figura 4	Diagrama básico del módulo de obtención de datos a la PC	16
Figura 5	Sistema de recolección de datos; consola Vantage Pro2™ y estación climática.	18
Figura 6	Estación climática ensamblada e instalada.	19
Figura 7	Consola Vantage Pro2™ para visualización y análisis de los datos climáticos.....	20
Figura 8	Datalogger Serial para comunicación con la consola Vantage Pro2™.22	
Figura 9	Ilustración del Software Weather en ejecución durante la graficación de una serie de datos climáticos.	23
Figura 10	Formato general de un comando para comunicación serial con la consola Vantage Pro2™	25
Figura 11	Interfaz necesaria para comunicación entre el PIC MCU y el módulo RF24J40MA ¹	31
Figura 12	Mapa de registros de memoria del módulo RF24J40MA.....	32
Figura 13	Diagrama de bloques general del módulo de obtención de datos de la consola.....	40
Figura 14	Esquemático del circuito de interfaz 1 del módulo de obtención de datos de la consola, con C1=C2= 1μF.	41
Figura 15	Conexión de las señales de salida y entrada del circuito de interfaz 1 al conector DE-9.....	42
Figura 16	Conexión de las señales del buffer triestado del circuito de interfaz 2 para una entrada y una salida.	43

Figura 17 Conexión del microcontrolador PIC18F2550 con as señales del buffer triestado del circuito de interfaz 2 y el MAX232 del circuito de interfaz 1, con R=1kΩ y C2=C3= 22nF.	44
Figura 18 Conexión del transceptor MRF24J40MA con las señales del buffer triestado del circuito de interfaz 2 para establecer comunicación SPI con el PIC 18F2550.	45
Figura 19 Circuito de regulación de tensión para alimentación del transceptor MRF24J40MA.	46
Figura 20 Diagrama de bloques general del módulo de obtención de datos de la PC.	47
Figura 21 Conexión del microcontrolador PIC18F2550 con las señales del buffer triestado del circuito de interfaz y el circuito para comunicación US con la PC, con R=1kΩ, R1=100kΩ , C2=C3= 22nF y C4=100nF	48
Figura 22 Características de la trama de recepción del módulo MRF24J40MA con header basado en el protocolo IEEE 802.15.4.	53
Figura 23 Características de la trama de transmisión del módulo MRF24J40MA.	54
Figura 24 Diagrama de la máquina de estados para la rutina de programación principal del microcontrolador del módulo de obtención de datos de la consola. ...	57
Figura 25 Diagrama de la máquina de estados para la rutina de programación principal del microcontrolador del módulo de obtención de datos de la PC.	60
Figura 26 Interfaz para visualización de respuesta a comandos enviados desde el módulo de obtención de datos de la PC a la consola mediante un enlace inalámbrico.	62
Figura 27 Respuesta obtenida y observada en la interfaz de visualización al enviar el comando TEST a la consola Vantage Pro2™	63
Figura 28 Imagen para ilustración del envío del comando setrain a la consola Vantage Pro2™ mediante el enlace inalámbrico del sistema.	64
Figura 29 Ilustración del antes y después de la pantalla de visualización de la consola Vantage Pro2™ después de la ejecución del comando setrain.	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos, distribución y función de la memoria de la consola Vantage Pro2™	24
Tabla 2 Tipos de respuesta a los comandos de la comunicación serial de la consola Vantage Pro2™	26
Tabla 3 Tipos de comandos para comunicación serial con la consola Vantage Pro2™	27
Tabla 4 Tabla de operación del buffer triestado 74LS125AN.....	43
Tabla 5 Rutinas de programación para las rutinas de escritura y lectura de datos en registros de direccionamiento de 10 bits (corto) y 12 bits (corto) del MRF24J40MA mediante transmisiones de 8 bits mediante el módulo SPI del PIC 18F2550.	50
Tabla 6 Registros de mayor importancia a considerar para la configuración de la operación del transceptor MRF24J40MA.	51
Tabla 7 Parámetros de operación configurados en el módulo UART del microcontrolador PIC18F2550 para comunicación con la consola Vantage Pro2™	55
Tabla 8 Consumo de corriente del módulo de obtención de datos de la consola con alimentación de 5 V para diferentes tránsitos de datos entre los transceptores y diferentes comandos.	68

Capítulo 1: Introducción

En el presente capítulo se detallan los aspectos concernientes a la problemática existente que dio base para la realización del proyecto y una breve descripción de la solución que se proyectó en inicio para la solución de dicha problemática.

1.1 Problema existente e importancia de la solución

En el Laboratorio de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad (SESLab) uno de los proyectos en el que se ha trabajado desde meses atrás requirió la monitorización de variables tales como humedad, temperatura, presión barométrica, entre otros, para un proceso de caracterización del clima en regiones geográficas determinadas. Por consiguiente, para la monitorización se adquirió un sistema de recolección de datos climáticos, el cual consta de una consola de control y visualización (Vantage Pro2™) y de una o varias estaciones climáticas remotas, incluso hasta ocho estaciones, las cuales cuentan con sensores especializados para la medición de las variables climáticas. Dichos datos se transmiten desde cada estación hacia la consola de forma inalámbrica, con un rango de frecuencias de transmisión entre 902-928 MHz. La consola Vantage Pro2™ recopila estos datos de cada una de las estaciones para su visualización así como para su almacenamiento y posterior análisis por medio de una computadora. La extracción de los datos de la consola a la computadora solo es posible realizarla ya sea por medio de una interfaz serial o USB, lo cual implica una conexión alamburada entre la consola, como se observa en la figura 1. Principalmente por las características propias del entorno en el que opera el sistema, en ocasiones por difícil acceso o condiciones climáticas, no se cuenta con la posibilidad de tener la consola cerca de una computadora y conectar esta directamente a la PC, ya sea por conexión USB o serial.

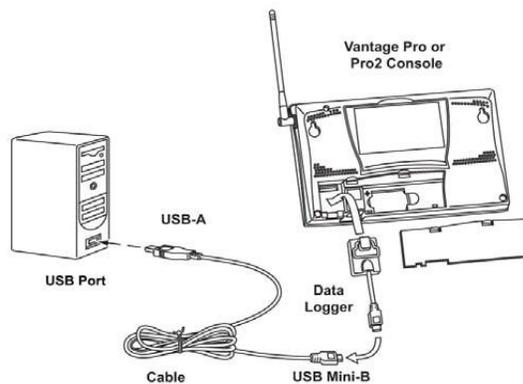


Figura 1 Conexión serial entre la consola Vantage Pro2™ y la computadora de análisis.

Por tanto, debido a que se hace necesario obtener los datos de las estaciones climáticas continuamente y con el fin de caracterizar de manera adecuada el clima de la región, es relevante diseñar un sistema de comunicación con la consola mediante un enlace no alambrado para eliminar las implicaciones que tiene actualmente el uso de una conexión USB o serial en la extracción de los datos de la consola.

1.2 Solución Seleccionada

La solución se enfoca principalmente en desarrollar un sistema para la obtención de los datos de la consola Vantage Pro2™ y la transmisión de estos de forma inalámbrica hacia la PC en la que se realiza el análisis de los datos, debido a que ésta es la forma más eficaz para establecer comunicación en el entorno en que opera el sistema de recolección de datos climáticos. En la figura 2 se observa un diagrama de los principales módulos que integran el sistema propuesto.

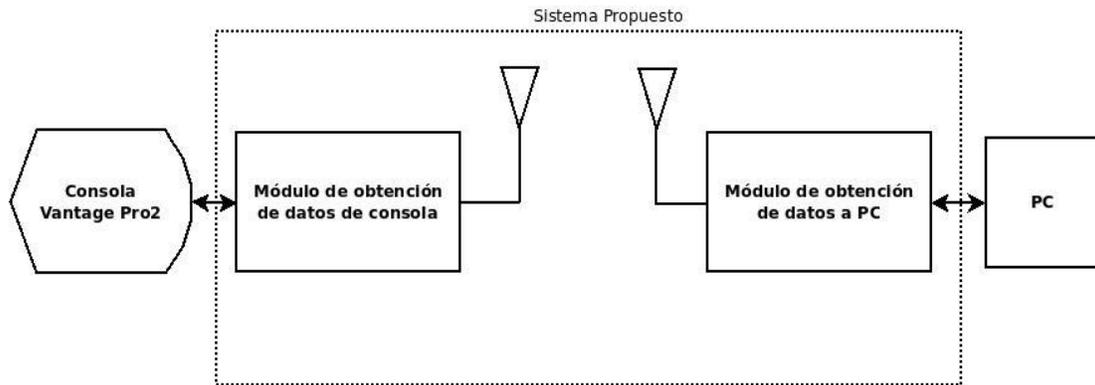


Figura 2 Diagrama de bloques general de la solución propuesta.

Como se observa en la figura 2, se pretende principalmente implementar dos módulos de obtención de datos, uno para establecer comunicación con la consola Vantage Pro2TM y el otro para comunicación con la computadora de análisis de datos. Para el caso del módulo de obtención de datos de la consola, de acuerdo con las características del protocolo de comunicación que utiliza la consola Vantage Pro2TM, es necesario establecer una interfaz serie para la comunicación con ésta. Con base en lo antes mencionado, para este módulo se propone un microcontrolador PIC 18F2550 que integra una unidad UART y USB, los cuales posibilitan implementar el protocolo de comunicación necesario para ya sea obtener los datos de la consola o enviar comandos de configuración hacia ésta. Adicional a esto, la transmisión inalámbrica de los datos se establece a una frecuencia de 2.4 GHz mediante transceptores MRF24J40 de Microchip, esto con el fin de no introducir posibles interferencias en la banda de transmisión de las estaciones climáticas y debido a que estos transceptores poseen características de operación especializadas para la aplicación en sistemas basados en microcontroladores, principalmente porque permiten la transmisión y recepción serie de los datos. En la figura 3 se observan los componentes antes descritos que integran el módulo de comunicación con la consola.

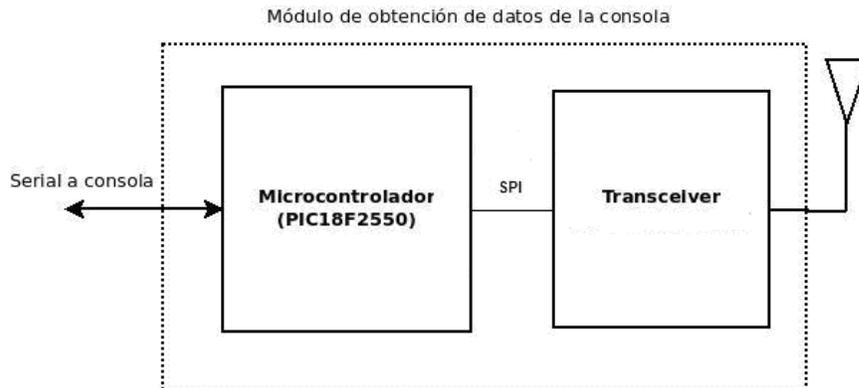


Figura 3 Diagrama básico del módulo de obtención de datos de la consola

Por otro lado, en lo referente al módulo de obtención de datos a la PC, este también se basa en un microcontrolador y la transmisión inalámbrica por medio de un transceptor MRF24J40, sin embargo para este caso la comunicación con la computadora se implementa mediante USB, esto específicamente se realiza mediante la unidad USB integrada en el microcontrolador para emular un puerto COM en la PC. En la figura 4 se observa el esquema básico del módulo de comunicación con la PC.

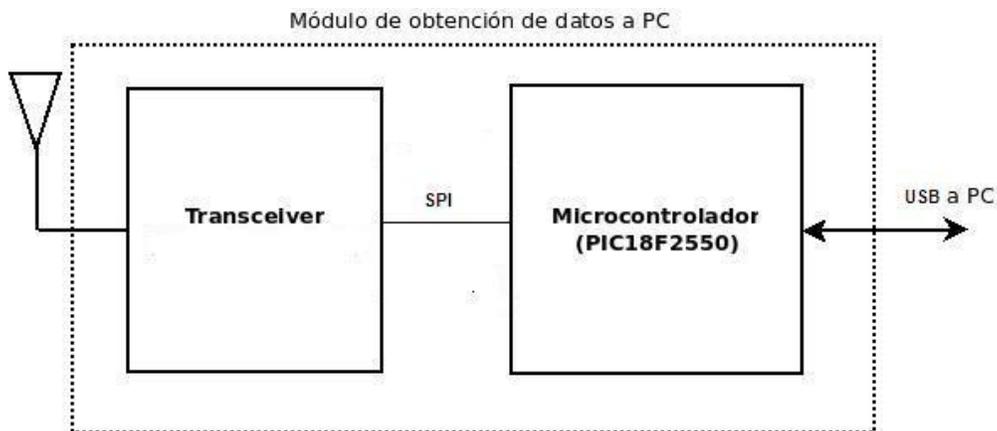


Figura 4 Diagrama básico del módulo de obtención de datos a la PC

Capítulo 2: Meta y Objetivos

A continuación se presentan la meta y objetivos definidos para la ejecución del proyecto con el fin de resolver la problemática planteada anteriormente.

2.1 Meta

Realizar el análisis de los datos del sistema de recolección de datos climáticos en una computadora situada en una región remota a la ubicación de la consola Vantage Pro2™.

2.2 Objetivo General

Establecer comunicación entre la consola Vantage Pro2™ y una PC mediante un enlace inalámbrico.

2.3 Objetivos Específicos

2.3.1 Habilitar un módulo de comunicación alternativo para la extracción de datos de la consola Vantage Pro2™.

2.3.2 Transmitir hacia una ubicación remota los datos obtenidos de la consola Vantage Pro2™ mediante un enlace inalámbrico.

2.3.3 Habilitar la transmisión de los datos obtenidos de la consola Vantage Pro2™ hacia una PC.

Capítulo 3: Marco teórico

En este capítulo se presentan los aspectos teóricos más relevantes considerados para la ejecución de la solución a la problemática.

3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar

El sistema de recolección de datos climáticos consta principalmente de una consola de obtención datos Vantage Pro2™ y varias estaciones las cuales se encargan de la recolección de datos mediante una serie de sensores especializados en la medición de variables ambientales. En la figura 5 se observa una ilustración de las partes que integran el sistema de recolección de datos climáticos.



Figura 5 Sistema de recolección de datos; consola Vantage Pro2™ y estación climática.

3.1.1 Estaciones climáticas

Las estaciones climáticas están integradas por una serie de sensores especializados para la medición de variables de tipo climático tales como humedad, temperatura, presión, velocidad del viento entre otras. Cada una de estas estaciones incluye en un solo paquete colectores de lluvia, sensores de temperatura y humedad así como anemómetros y sensores de radiación solar. Además de esto, cuenta con un módulo el cual realiza la transmisión de los datos hacia la consola de forma inalámbrica con un alcance hasta de 300 m línea vista o ya sea por medio de una conexión alamburada. En la figura 6 se observa una estación ensamblada e instalada en una región específica a modo de ejemplo.



Figura 6 Estación climática ensamblada e instalada.

Cabe resaltar que las estaciones cuentan con un sistema de alimentación para cada uno de los sensores mediante energía solar,

tal y como se observa en la figura 6, estas tienen integrado un panel solar y un módulo de conversión de energía. Sin embargo también es posible alimentar las estaciones mediante un adaptador AC en el caso de que la estación se ubicara en una zona de fácil acceso a la red eléctrica.

3.1.2 Consola Vantage Pro2™

La consola Vantage Pro2™ específicamente corresponde al módulo de visualización y almacenamiento de los datos climáticos de cada una de las estaciones presentes en el sistema de recolección de datos climáticos. Además provee funciones para graficación y alarma así como conectividad con una computadora para el eventual análisis y tratamiento de los datos. En la figura 7 se muestra una ilustración específica de la consola Vantage Pro2™.



Figura 7 Consola Vantage Pro2™ para visualización y análisis de los datos climáticos.

Entre los datos que se pueden visualizar y obtener de la consola se pueden mencionar los siguientes.

- Viento (Dirección y velocidad)
- Temperatura
- Temperatura Aparente
- Humedad
- Radiación Solar
- Presión Barométrica
- Radiación Solar
- Radiación Ultravioleta
- Evapotranspiración
- Alarmas de sensor
- Cantidad de lluvia

En cuanto al sistema de alimentación de la consola Vantage Pro2™ esta cuenta con un adaptador AC así como alimentación por medio de baterías, de manera que esta se puede ubicar ya sea en una zona interior o exterior respectivamente.

3.1.3 Datalogger y Software WeatherLink

El datalogger y el Software WeatherLink corresponde al subsistema que permite la extracción y análisis de los datos almacenados y obtenidos por la consola Vantage Pro2™. En cuanto al datalogger, existen tres tipos de conexión para este; para puerto USB, serial y conexión IP. Mediante este módulo de extracción de datos es posible establecer comunicación entre la PC y la consola para así obtener los datos que son interpretados por el software especializado WeatherLink. La figura 8 muestra el hardware que corresponde al datalogger conexión serial con que cuenta el sistema de recolección de datos para el proyecto que se desarrolla.



Figura 8 Datalogger Serial para comunicación con la consola Vantage Pro2™.

Tal y como se observa en la figura 8, el módulo de extracción corresponde al datalogger y un cable de de 2 m adaptado a un conector tipo DB-9 especializado para conexión en un puerto serial.

En cuanto al software WeatherLink este es un software especializado desarrollado por el fabricante tanto de las estaciones como de la consola, el cual permite desde visualizar, almacenar, graficar, analizar, exportar e imprimir los datos recolectados por la consola a por medio de una PC, cuyo sistema operativo sea ya sea Windows 2000 o versiones más recientes de este. En la figura 9 se muestra a manera de ejemplo, una ilustración del software en ejecución, este realizando una serie de gráficos de los datos obtenidos.

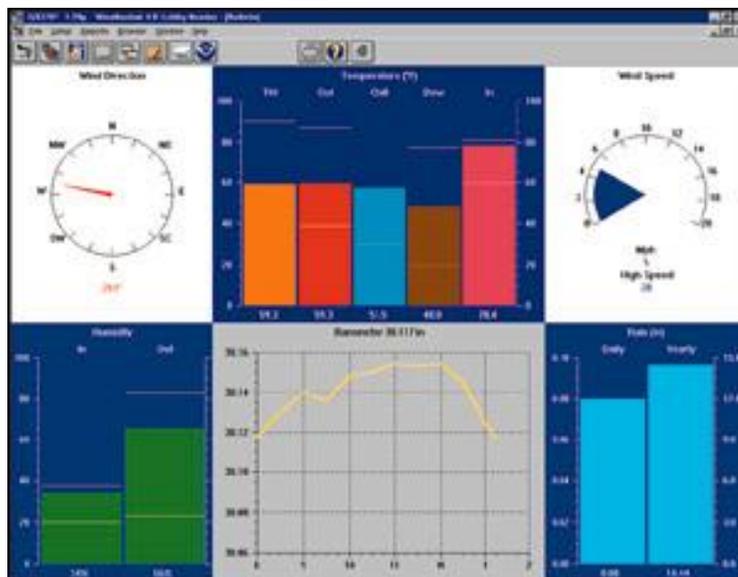


Figura 9 Ilustración del Software Weather en ejecución durante la graficación de una serie de datos climáticos.

3.2 Antecedentes Bibliográficos

3.2.1 Protocolo de comunicación de la consola Vantage Pro2™.¹

La comunicación con la consola Vantage Pro2™ se puede realizar por medio de una conexión de tipo serial, la cual tiene parámetros de operación tales como ocho bits de datos, un bit de inicio y parada así como baudrates que pueden ser seleccionados por el usuario entre valores de 1200 baudios a 19200 baudios. Cabe resaltar que para comunicarse con la consola es necesario adaptar a esta un datalogger, ya que no existe especificación alguna sobre el protocolo de comunicación de la consola a nivel de hardware del fabricante sino se cuenta con el datalogger¹.

En cuanto a la consola, ya con el datalogger adaptado, esta cuenta con tres tipos de memoria; la memoria de archivo, la memoria

¹ Tomado de referencia bibliográfica [1].

EEPROM y la memoria de procesador. En la tabla 1 se observa el espacio de memoria, y el tipo de datos que almacena cada una de las antes mencionadas¹.

Tabla 1 Tipos, distribución y función de la memoria de la consola Vantage Pro2™.

Memoria	Capacidad (KB)	Tipo de datos
Archivo	132	Datos de mediciones a largo plazo.
EEPROM	4	Números de calibración y configuración de la consola y transmisores.
Procesador	4	Datos actuales de los sensores y otros datos de tiempo real.

Es mediante el protocolo de comunicación y mediante una serie de comandos específicos que se tiene acceso a la memoria antes descrita de la consola para la obtención de los datos y la calibración de esta. Los comandos son primordialmente cadenas de caracteres ASCII y en algunos de estos es necesario especificar parámetros que pueden ser binarios, hexadecimales o decimales. Además en la mayoría de los comandos es necesario agregar al final de la trama dos bytes de CRC, para la predicción de errores en la transmisión.

Formato de los comandos para la comunicación con la consola Vantage Pro2™

Conociendo las características de la operación de la consola se analiza a fondo el protocolo de comunicación en lo referente al formato que deben tener los comandos tanto para extraer datos de la consola y configurar esta de acuerdo a lo deseado.

Los comandos son principalmente cadenas de caracteres ASCII seguidos de parámetros que pueden ser de varios formatos. En la

figura 10 se muestra la estructura general de un comando para comunicación con la consola¹.

Command String	<Parameter>, <Parameter>...	'\n' o '\r'
----------------	-----------------------------	-------------

Figura 10 Formato general de un comando para comunicación serial con la consola Vantage Pro2™.

En la figura 10, Command String corresponde al comando especial definido por el fabricante de la consola y su funcionalidad depende de lo requerido por el usuario, es decir puede ser un comando para extracción de datos de la consola o para configuración y calibración de alguna de las variables que se pueden visualizar en esta. En el manual de referencia del fabricante se encuentran con más detalle cada uno de los comandos establecidos por el fabricante¹.

Por otro lado, los parámetros del comando son bytes en los cuales se codifica, de acuerdo a este, los valores de calibración en el caso de un comando de configuración o en el caso de la extracción de datos las direcciones de la memoria del datalogger en las cuales se localizan los datos. Cabe resaltar que cada comando debe de ser terminado ya sea por un carácter de salto de línea o por un retorno de carro.

Además de la estructura antes descrita para los comandos, cada uno de estos y nuevamente dependiendo de su funcionalidad, tiene una respuesta ya sea para hacer la confirmación de que el comando fue procesado o si hubo algún error en la comunicación. Según lo establecido para el protocolo de comunicación con la consola, existen tres tipos de respuesta a los comandos. En la tabla 2 se describe cada tipo de respuesta a los comandos.

Tabla 2 Tipos de respuesta a los comandos de la comunicación serial de la consola Vantage Pro2™.

Tipo de respuesta	Trama	Respuesta
Acknowledge	06 _{hex}	Si el comando recibido por la consola requiere parámetros y estos son correctos.
OK	“\n\rOK\n\r”	El comando recibido por la consola es un comando de extracción de datos de la memoria de procesador.
DONE	“DONE”	Si el comando recibido por la consola toma cierto tiempo para completar su operación.

Además de las respuestas a los comandos es importante resaltar que como parte de detección de errores dependiendo de la instrucción, principalmente en los comandos de descarga de datos, se incluye en ocasiones en la respuesta dos bytes correspondientes a un código de detección de errores basado en el estándar CRC-CCITT. Este código principalmente se basa en uno o dos bytes que se acumulan y calculan con base en cada byte de datos que se encuentra en una trama y una tabla establecida en el estándar (crc_table). En la ecuación 1 se muestra la fórmula para cálculo del código CRC en los casos necesarios.

$$CRC = CRC_TABLE[(CRC \gg 8) \wedge DATA] \wedge (CRC \ll 8) \quad (\text{Ec.1})$$

En la ecuación 1 se observa, que es necesario contar con la tabla de CRC para el cálculo de este código y realizar algunas operaciones binarias tales como corrimientos y lógica xor.

Tipos de comandos para comunicación con la consola Vantage Pro2™

La comunicación con la consola Vantage Pro2™ varía de acuerdo con los datos que se requieran obtener o configurar en esta, debido a esto y por facilidad de tratamiento de los dato es que se clasificaron los comandos de acuerdo a la funcionalidad necesaria. En la tabla 3 se enlistan los tipos de comandos utilizados para comunicación con la consola, en los cuales todos los comandos siguen del mismo modo la estructura general descrita en la sección anterior.

Tabla 3 Tipos de comandos para comunicación serial con la consola Vantage Pro2™.

Tipos de comandos
Prueba
Datos actuales de sensores
Descarga
EEPROM
Calibración
Borrado
Configuración

Dado que existen muchos comandos por tipo, y la complejidad de cada uno es diferente, no se profundiza individualmente en estos y se deja como alternativa hacer la consulta al manual de referencia del protocolo de comunicación para cualquier caso en específico.

3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución.

3.3.1 Comunicación RS232²

La comunicación con la consola se realiza por medio del datalogger, el cual utiliza el estándar establecido para comunicación RS232. Este se caracteriza por transmitir información a distintas velocidades determinadas por un parámetro que se establece en ambos dispositivos que se comuniquen. Estas velocidades varían entre 1200 baudios a 19200 baudios y generalmente la comunicación es de tipo asíncrona, por lo que no existe una señal de sincronización entre los dispositivos, de manera que la configuración en ambos debe coincidir en cuanto a la velocidad de la comunicación.

El estándar establece que la comunicación inicia con un Start bit seguido de los datos, los cuales pueden ser de 7 o 8 bits, y finaliza una vez que se reciba un Stop bit. Adicionalmente se puede agregar después de los datos un bit de paridad, el cual indica si el número de bits transmitidos es par o impar, con el fin de detectar errores en la transmisión. Tanto el Start bit, Stop bit y el bit de paridad son configurables en los dispositivos que establecen comunicación y se define a conveniencia de la aplicación en que se use este protocolo.

En cuanto a los niveles de tensión en el protocolo, este se caracteriza por utilizar un bus diferencial. Específicamente para el datalogger utilizado, en este protocolo las señales varían entre -6 V y 6V, donde cada uno corresponde un 1 y 0 binario respectivamente, por lo que es necesario convertir los niveles de tensión para hacer

² Tomado de referencia bibliográfica [2]

compatible esto con dispositivos con tecnología CMOS. Además, la transmisión y recepción se realiza en líneas diferentes, por lo que es necesario al menos dos líneas en la comunicación, la de transmisión (TX) y recepción (RX). En ocasiones es necesario el uso de señales de control que establecen la disponibilidad para tránsito de datos en cada uno de los dispositivos, tales como la línea Data Terminal Ready (DTR) y Data Set Ready (DSR). El uso de estas líneas de control depende de los dispositivos y si el flujo de datos es controlado por hardware o software.

3.2.2 Comunicación SPI³

Tal como lo indican sus siglas, la comunicación SPI corresponde a un protocolo de comunicación serial y opera en modo full duplex, por lo que la comunicación puede ser bidireccional en todo momento. Este tipo de comunicación generalmente se utiliza en bus, por lo que se encuentran varios dispositivos compartiendo líneas de comunicación y es necesaria una señal de control Chip select (CS), que determina cuales dispositivos establecen comunicación. Además, es un protocolo en el que hay que establecer una sincronización antes de comenzar una comunicación entre los dispositivos, por lo que a menudo se utiliza una señal de reloj Signal Clock (SCLK) entre los dispositivos en comunicación, generalmente una señal de 1 a 70 MHz.

En cuanto a los datos, estos generalmente corresponden a secuencias de 8 o 16 bits, los cuales son transmitidos y recibidos mediante líneas independientes (MISO y MOSI). Cabe resaltar que cada dispositivo puede tener un rol ya sea de master o slave, donde

³ Información tomada de la referencia bibliográfica [3]

el master controla el acceso al bus y selecciona mediante el CS el dispositivo slave con quien establece comunicación.

Generalmente el protocolo SPI se utiliza para comunicación entre microcontroladores y periféricos como sensores o memorias. En el caso específico del proyecto en desarrollo el protocolo SPI es necesario para establecer comunicación con los módulos transceptor MRF24J40, por lo que se requiere una conexión con dos líneas de datos, la señal de reloj y la señal de selección.

3.2.3 Comunicación Inalámbrica (Transceptor MRF24J40)⁴

El transceptor MRF24J40 es un dispositivo de transmisión y recepción de datos inalámbricos el cual opera bajo el estándar IEEE 802.15.4, específico para redes de sensores de bajo consumo, bajo costo y velocidades de transmisión bajas. Este transceptor integrado en el módulo MRF24J40MA permite compatibilidad con la mayoría de los microcontroladores de Microchip mediante una interfaz SPI de 4 líneas, así como líneas de reset, interrupción y de wake.

Entre otras de las características generales de operación de los transceptores MRF24J40MA se encuentran⁵:

- Alcance: 400 pies
- Compatible con las familias de microcontroladores de Microchip (PIC16F, PIC18F, PIC24F/H, dsPIC33 y PIC32)
- Frecuencia de Operación 2.405 – 2.480 GHz
- Antena PCB

⁴ Tomado de la referencia bibliográfica [4].

- Voltaje de operación: 2.4 – 3.3 V

Específicamente en cuanto a la interfaz SPI necesaria para utilizar los transceptores con un microcontrolador PIC, la figura 11 ilustra la conexión necesaria para la comunicación mediante SPI.

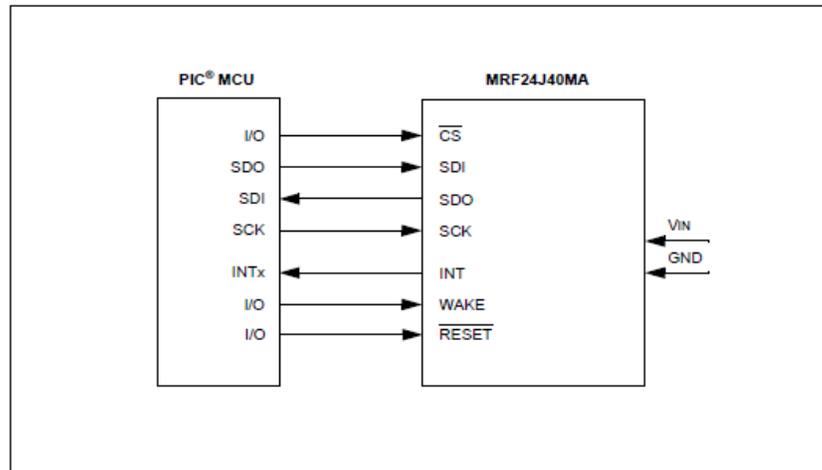


Figura 11 Interfaz necesaria para comunicación entre el PIC MCU y el módulo RF24J40MA¹.

Tal y como se observa en la figura 11, la comunicación con el MRF24J40MA se establece por medio de un puerto SPI en el cual el MCU es el maestro y el módulo RF el esclavo. Para la lectura o escritura de datos en el módulo es necesario habilitar en su modo activo la terminal CS cada vez que se envíen datos por SDO. El módulo además establece la posibilidad de generar una interrupción por medio del pin INT, esto cuando se da una transmisión o recepción correcta de datos.

Por otro lado, para configurar la operación del módulo MRF24J40MA es necesario conocer la organización de la memoria interna de este, la cual está compuesta por dos tipos de registros; los registros de configuración y los buffer de datos (FIFOs). Según la hoja de datos la

memoria del módulo esta distribuida tal y como se observa en la figura 12.

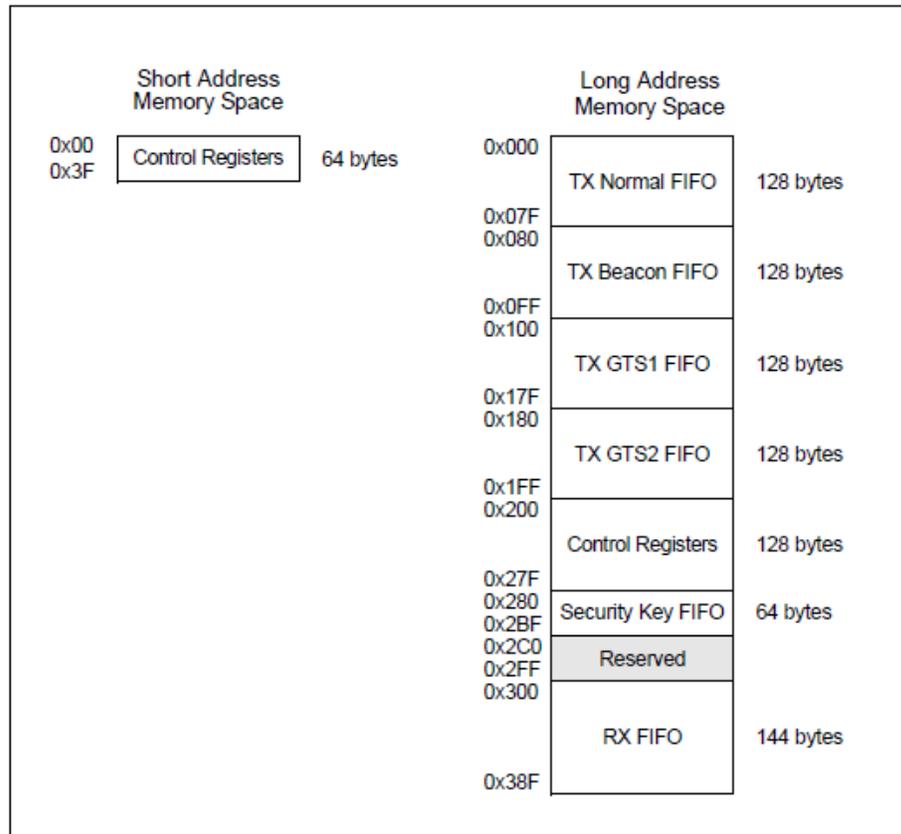


Figura 12 Mapa de registros de memoria del módulo RF24J40MA.

Los registros de configuración (Short Address) permiten el control y estado de operación del módulo y tienen un rango de direccionamiento de 0x00 – 0x3F, los cuales son ya sea de lectura o escritura, de acuerdo a si se desea configurar el módulo o si se quiere verificar el estado en que se encuentra algún registro. Por otro lado los registros de datos (Long Address) en su mayoría corresponden a buffer para la transmisión y recepción de los datos, así como ciertas funciones de control, su rango de direccionamiento es de 0x000 – 0x38F y del mismo modo pueden ser de lectura o escritura.

Cada uno de los registros antes descritos se deben cargar con valores específicos para inicializar la operación del transceptor de acuerdo a las características del enlace que se quiera establecer y el tipo de red, así como otros parámetros importantes para generar un enlace viable.

El conocimiento en detalle de los registros, secuencias de inicialización y de la interfaz de comunicación con el módulo RF permite el desarrollo de un enlace inalámbrico entre dos dispositivos que integren un módulo de comunicación SPI, para el caso del desarrollo del proyecto es pertinente esta información para establecer el enlace inalámbrico entre la consola y la PC.

3.2.4 Regulación de tensión

La regulación de tensión en ocasiones es necesaria en sistemas donde uno o varios dispositivos difieren en cuanto a las características eléctricas de operación de tensión. Es decir, a menudo dispositivos dentro de un sistema operan con tensiones de alimentación de 5 V mientras que otros operan con 4 V o 3.3 V, por lo que se hace necesario la regulación de tensión. Esto se realiza mediante reguladores de tensión, los cuales son dispositivos que cambian los niveles de tensión a su entrada, la cual puede ser variable. Estos dispositivos regulan la tensión ya sea por medio de un microprocesador integrado que detecta los cambios de nivel de tensión y los corrige, mediante relevadores de tensión o mediante efectos de ferro resonancia de transformadores.

En el proyecto en desarrollo es necesario regular la tensión de 5 V para proporcionar la alimentación adecuada al módulo de transmisión y recepción de datos inalámbrico MRF24J40MA ya que éste opera a una tensión nominal de alimentación de menor que la del microcontrolador, por lo que es importante tener en consideración el concepto de regulación de tensión con el fin de no incluir más fuentes de alimentación al sistema.

Capítulo 4: Procedimiento Metodológico

A continuación en el presente capítulo se detalla el procedimiento metodológico seguido para la consecución de los objetivos y la implementación final de la solución seleccionada.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

El factor determinante para el desarrollo del proyecto es la limitante que se presenta al depender de una conexión alamburada para la extracción de los datos de la consola Vantage Pro2™. Y esto principalmente porque se observó que a menudo, debido a las características de los datos que se obtienen con las estaciones, tanto la consola como estas se encuentra en zonas que dificultan el establecimiento de una conexión alamburada con la PC, ya sea por las condiciones geográficas o climáticas de la región en que se requiere hacer la caracterización del clima.

Debido a esto es que se determina la necesidad de diseñar e implementar una manera alternativa de obtener los datos de la consola eliminando esta dependencia de cercanía entre la consola y la PC, para así permitir realizar

la caracterización del clima de determinada zona sin impedimentos debido al acceso a ésta o por las mismas condiciones climáticas y al mismo tiempo se obtuviera un sistema de más fácil acceso al usuario que tratase con las mediciones obtenidas.

Por tanto en esta etapa inicial del proyecto, en conjunto con el Ing. Heiner Alvarado F y el Dr. Carlos Meza B, asesor del proyecto y director en el SESLab, respectivamente, se concluyó que el proyecto se centraba en buscar una forma alternativa y no alambrada de obtener los datos de la consola Vantage Pro2™.

4.2 Obtención y análisis de información

Una vez establecida la problemática se procedió a realizar la obtención de la información, necesaria para generar una manera alternativa de obtención de los datos de la consola Vantage Pro2™ para su eventual implementación. A continuación se mencionan una serie de procedimientos seguidos para la obtención y análisis de la información necesaria para plantear e implementar una solución.

- Se analizaron y revisaron las características de operación de la consola Vantage Pro2™ en cuanto a tipos de comunicación posibles con esta y configuración de los parámetros de operación.
- Se buscaron datos del fabricante en la Web tanto de las estaciones como de la consola Vantage Pro2 para conocer el protocolo de comunicación utilizado por la consola Vantage Pro2.
- Se analizó y propuso como posible comunicación alternativa un enlace inalámbrico mediante módulos RF. Se investigaron varios tipos de módulos RF del mercado con el fin de determinar el más adecuado.

- Se analizaron las características de operación del datalogger con que se contaba para así establecer el tipo de módulos de control necesarios.
- Se obtuvo información acerca del software de obtención de datos diseñado por el fabricante y se buscó la posible existencia de bibliotecas de libre acceso.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de la información

Con base en la información obtenida y mencionada en la sección anterior, también ya detallada en el capítulo 3, se sintetizaron los siguientes aspectos clave que conllevaron establecimiento de la solución planteada en el capítulo 1 sección 2.

- La comunicación con la consola Vantage Pro2™ se puede realizar a través de tres tipos de conexión, USB, Serial y Ethernet por lo que se tienen varias alternativas para la extracción de datos de la consola. Sin embargo, no es eficiente utilizar estos directamente si existen distancias considerables entre la consola y la PC en que se quieren extraer los datos.
- La comunicación con la consola Vantage Pro2™ es regida por un protocolo de comunicación serial y este cumple con las características establecidas por el protocolo estándar RS232, por lo que es posible comunicarse con esta a través de cualquier dispositivo que cuente con un módulo de universal de comunicación serial sincrónico o asíncrono.
- Dadas las características obtenidas del protocolo de la consola acerca de la estructura de los datos y basados en las características de la comunicación entre la consola y las estaciones, se optó por utilizar los módulos MRF24J40MA de Microchip, los cuales operan de

acuerdo al estándar IEEE 802.15.4 a una frecuencia de 2.4 GHz, de manera que no interfiere con la comunicación entre la consola y estaciones que se realiza a 900 MHz.

- Dado que se cuenta con un datalogger serial y ya se conoce la compatibilidad del protocolo con el estándar RS232 se propuso implementar la comunicación con la consola a través de microcontroladores PIC que integran módulos UART y SPI para comunicación con los transceptores MRF24J40.

4.4 Implementación de la solución

Después de la obtención, análisis y síntesis de la información se procedió a la implementación de la solución seleccionada, para esto se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

- Se realizaron primeramente pruebas de comunicación con la consola conectando directamente la consola con la PC a través del datalogger serial con el fin de corroborar lo establecido por el protocolo.
- Se definió el PIC18F2550 como microcontrolador para comunicación tanto con la consola y los transceptores MRF24J40.
- Se inició la programación de las rutinas en el microcontrolador para establecer comunicación entre la consola y éste mediante el módulo UART del microcontrolador basado en el protocolo de la consola.
- Una vez establecida la comunicación entre la consola y la PC se inició con la programación en los microcontroladores las rutinas para comunicación con los MRF24J40 a través del módulo SPI que estos tienen integrado.
- Se integró el hardware para crear la interfaz necesaria entre los microcontroladores y los transceptor debido a las diferencias entre

estos en cuanto a características eléctricas de operación, entre esto tensión de alimentación.

- Establecida la comunicación entre los transceptores y los microcontroladores se procedió a programar las rutinas para crear un enlace inalámbrico entre dos módulos microcontrolador-transceptor.
- Establecido el enlace inalámbrico entre los dos módulos, se programó la rutina necesaria para establecer la comunicación de un microcontrolador con una PC emulando un puerto COM mediante las librerías correspondientes.
- Ya establecidas las comunicaciones antes descritas, se procedió a hacer pruebas del sistema completo, es decir, haciendo pruebas al enviar comandos desde la PC a la consola a través de los microcontroladores, el enlace inalámbrico establecido y el datalogger serial.
- Con el fin de corroborar el correcto funcionamiento del sistema completo, se incluyeron indicadores led y se realizó una interfaz independiente al software de obtención de datos para visualizar la respuesta a cada comando enviado de la PC, en esta interfaz se incluyó la mayor cantidad de comandos posibles dados por el protocolo.
- Se realizaron mediciones de potencia al módulo de obtención de datos de la consola para analizar posteriormente la viabilidad del sistema, así como del alcance del enlace inalámbrico establecido, entre otras.

4.4 Reevaluación y rediseño

A pesar de que se obtuvieron resultados satisfactorios y se cumplió con los objetivos planteados para el proyecto después de seguir el procedimiento antes detallado, es posible hacer cambios al sistema que mejorarían la

operación del sistema en cuanto a facilidad de interacción con el usuario, alcance del enlace establecido y operabilidad del sistema con el software diseñado por el fabricante, entre otros. A continuación se mencionan varias de las posibles mejoras alternativas que se podrían hacer al sistema.

- La sustitución de los microcontroladores dispositivos más robustos en cuanto a memoria y velocidad de procesamiento para garantizar operabilidad con el software brindado por el fabricante de la consola.
- El uso de módulos RF de mayor potencia o la adaptación de algún sistema de amplificación para mejorar el alcance del enlace inalámbrico o el uso de otro tipo de tecnología de comunicación.
- Mejorar la interfaz de usuario diseñada en cuanto a estructura y la creación de una base de datos para la información extraída.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

En el presente capítulo se presenta de forma detallada la solución implementada con base en los aspectos teóricos antes establecidos de importancia y se analiza a fondo la participación que tiene cada uno de estos en la solución implementada.

5.1 Análisis de las soluciones y selección final

Tal y como se planteó en el capítulo 1, refiérase a la figura 2, el sistema se enfoca principalmente en desarrollar dos módulos de comunicación, específicamente uno que establece la comunicación con la consola Vantage Pro2™ y otro con la PC. Cada uno de estos módulos consta de un microcontrolador y un MRF24J40MA para establecer el enlace entre ambos módulos para así conseguir la comunicación inalámbrica entre la PC y la consola.

Por tanto la solución se desarrolló concentrándose en el diseño de dos subsistemas que se llamaron el módulo de obtención de datos a la PC y el módulo de obtención de datos de la consola. En cada uno de estos el trabajo obedeció al desarrollo tanto de hardware como software. A continuación se detalla tanto el hardware y software desarrollado en secciones independientes para cada uno de los módulos de la solución.

5.2 Descripción del hardware

Con esta sección se pretende detallar el hardware utilizado para la implementación tanto del módulo de obtención de datos de la consola y el módulo de obtención de datos de la PC, esto en cuanto a las conexiones realizadas para integrar cada uno de los dispositivos propuestos en un sistema funcional.

5.2.1 Hardware del Módulo de obtención de datos de la consola

El módulo de obtención de datos de la consola es el subsistema mediante el cual se realiza la extracción de los datos de la consola Vantage Pro2™ y la transmisión de estos hacia el módulo de obtención de datos de la PC. En la figura 13 se muestra el esquema general del módulo de obtención de datos de la consola.

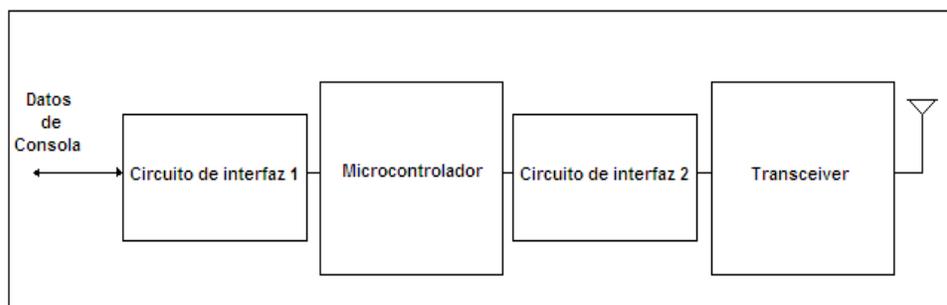


Figura 13 Diagrama de bloques general del módulo de obtención de datos de la consola.

En el diagrama de bloques general de la figura 13, los circuitos de interfaz 1 y interfaz 2 corresponden a dispositivos y componentes pasivos que fueron necesarios debido a la diferencia en las características eléctricas de operación tanto del microcontrolador PIC18F2550, el módulo transceptor MR24J40MA y del datalogger serial para conexión con la consola.

Específicamente, el circuito de interfaz 1 de la figura 13, corresponde a la conexión de un MAX232 como driver para cambiar el nivel de las señales TTL/CMOS del PIC18F2550 a los niveles especificados por el estándar TIA/EIA-232 y viceversa, ya que el datalogger serial opera de acuerdo a este estándar⁶. En la figura 14, se muestra el circuito esquemático de la conexión del MAX232 realizada para crear la interfaz antes mencionada⁶.

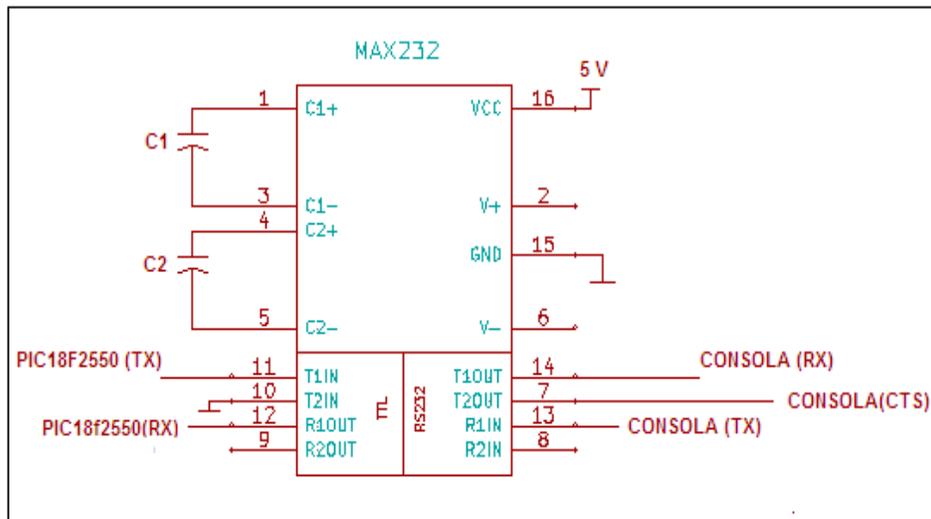


Figura 14 Esquemático del circuito de interfaz 1 del módulo de obtención de datos de la consola, con $C1=C2= 1\mu F$.

⁶ Esquemático realizado con el software para desarrollo de circuitos esquemáticos Kicad [17].

Además de esta interfaz, es importante recalcar de la figura 14, que las señales RX, TX, CTS y tierra hacia la consola se conectan al adaptador DE-9 del datalogger serial de la consola Vantage Pro2™, tal y como se muestra en la figura 15.

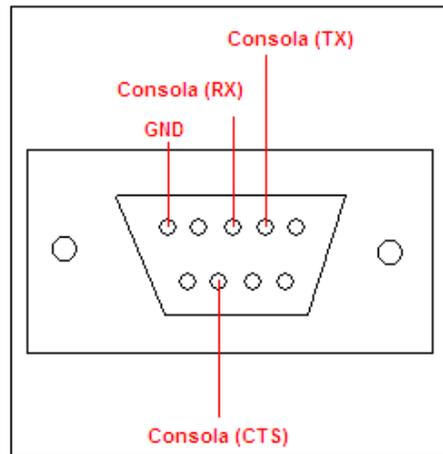


Figura 15 Conexión de las señales de salida y entrada del circuito de interfaz 1 al conector DE-9.

Por otro lado, el circuito de interfaz 2 de la figura 13, es necesario debido a que el transceptor MRF24J40MA opera con señales de 3.3 V, por lo que se requiere hacer el acople entre las señales CMOS de 5V del PIC 18F2550 y las señales del transceptor. Dicho acople se realizó por medio de circuitos buffer de colector abierto, de manera que las salidas se pueden adecuar a un valor de tensión necesario. Para esto se usó el componente 74ls125, el cual es un encapsulado de 6 buffer triestado. A la salida de cada uno de estos se conectó una resistencia de pull-up de 1 kΩ. En la figura 16 se muestra el esquemático de la conexión de los buffer triestado del circuito de interfaz 2, tanto para entrada como salida de datos en la comunicación SPI entre el PIC y el MRF24J40.

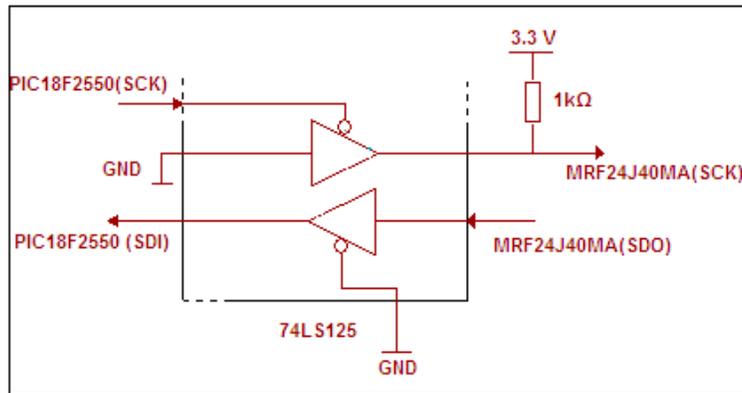


Figura 16 Conexión de las señales del buffer triestado del circuito de interfaz 2 para una entrada y una salida.

Dicha conexión se hizo de esta forma con base en la tabla de operación de la hoja de datos del buffer 74LS125. En la tabla 4 se observa la operación del buffer triestado según el estado de las dos señales de entrada que este tiene⁷.

Tabla 4 Tabla de operación del buffer triestado 74LS125AN.

Entrada		Salida
E	D	
L	L	L
L	H	H
H	X	(Z)

Más en detalle, específicamente para la señal SCK del PIC, cuando esta está en alto (5V), la salida SCK al MRF24J40MA se establece en un estado de alta impedancia, de manera que la entrada SCK del MRF24J40MA toma la tensión del pull-up, es decir, la señal se establece en alto con 3.3 V. Por otro lado, cuando la señal de entrada proviene del transceptor, el buffer simplemente toma la señal de entrada y la pasa a la salida con otro nivel de tensión, ya que

⁷ Información tomada de la hoja de datos del dispositivo 74LS125 [16]

debido a las características eléctricas de operación del buffer en cuanto a niveles de tensión permitidos a la entrada, este se utiliza como elevador de nivel de la señal.

En cuanto al microcontrolador, las conexiones a este se realizan desde cada uno de los circuitos de interfaz antes detallados, es decir desde el circuito del MAX232 a los puertos de recepción (RX) y transmisión (TX) serial y desde el circuito con buffer a los pines del puerto correspondiente al módulo SPI para comunicación con el transceptor MRF24J40MA. Importante mencionar que el microcontrolador opera con un cristal externo de 4 MHz, tal y como se observa en los pines nueve y diez del microcontrolador. En la figura 17 se ilustra el diagrama del circuito con las señales provenientes de cada uno de los circuitos de interfaz.

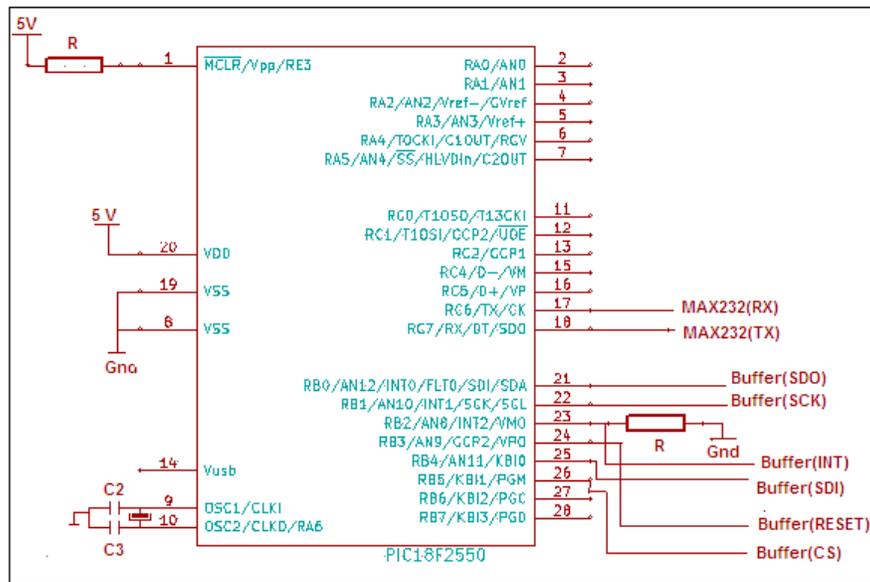


Figura 17 Conexión del microcontrolador PIC18F2550 con as señales del buffer triestado del circuito de interfaz 2 y el MAX232 del circuito de interfaz 1, con R=1kΩ y C2=C3= 22nF.

Las señales que se pueden observar en la figura 17, se conectan a las entradas y salidas correspondientes a los buffer del circuito de

interfaz 2 antes descrito. De igual forma, estas señales se conectan a cada una de las terminales correspondientes del transceptor MRF24J40 y así completar el hardware del módulo de obtención de datos de la consola. En la figura 18 se muestra la conexión de cada una de las señales del buffer al transceptor MRF24J40MA para establecer la comunicación SPI del PIC con éste.

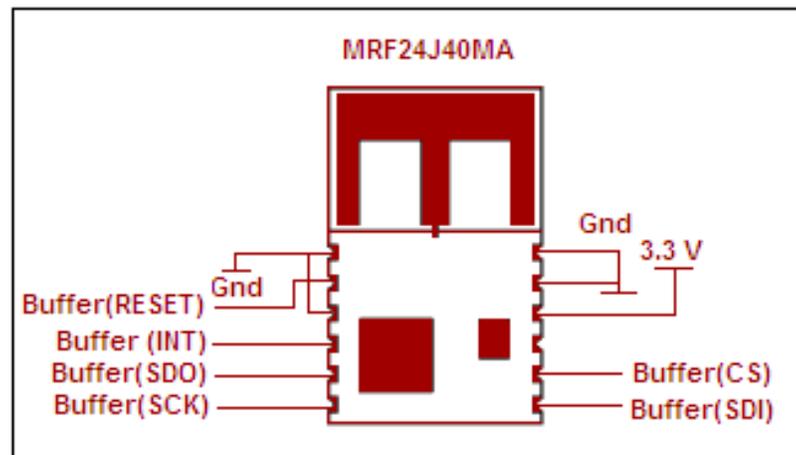


Figura 18 Conexión del transceptor MRF24J40MA con las señales del buffer triestado del circuito de interfaz 2 para establecer comunicación SPI con el PIC 18F2550⁸.

De la figura 18 se puede observar que el transceptor MRF24J40MA opera con una tensión de alimentación de 3.3 V, y debido a que se cuenta con una fuente de alimentación con tensión mayor que este valor, se hizo necesario el uso de un dispositivo para regulación de la tensión con el fin de no introducir más fuentes de alimentación independientes al sistema. Para esto se utilizó un regulador de tensión, el dispositivo LF33CV, que es un regulador de tensión de 3.3 V, especial para este tipo de aplicaciones en las que es común la operación de dispositivos tanto en 5 V como en 3.3 V en un mismo sistema. En la figura 19 se observa el circuito utilizado para realizar

⁸ Imagen tomada de la hoja de datos del transceptor MRF24J40MA [4]

la regulación de la tensión de 5 V y alimentar el transceptor MRF24J40MA⁹.

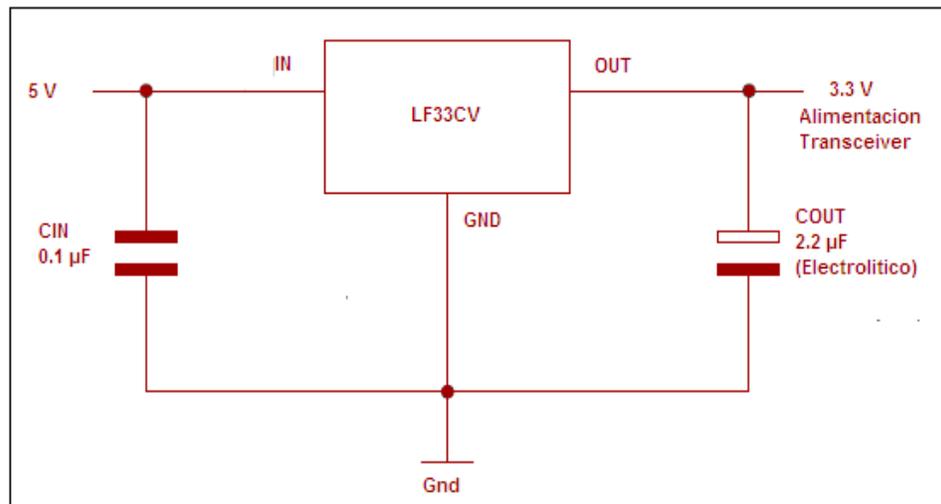


Figura 19 Circuito de regulación de tensión para alimentación del transceptor MRF24J40MA.

De este modo, se completó el hardware necesario para obtener el módulo de obtención de datos de la consola totalmente funcional en cuanto al hardware se refiere y a la extracción de datos de la consola por medio de este.

5.2.2 Hardware del Módulo de obtención de datos de la PC

El módulo de obtención de datos de la PC es el subsistema mediante el cual se realiza la comunicación con la PC y la transmisión de los datos hacia el módulo de obtención de datos de la consola por medio inalámbrico. En la figura 20 se muestra el esquema general del módulo de obtención de datos de la PC.

⁹ Información tomada de la referencia bibliográfica [5]

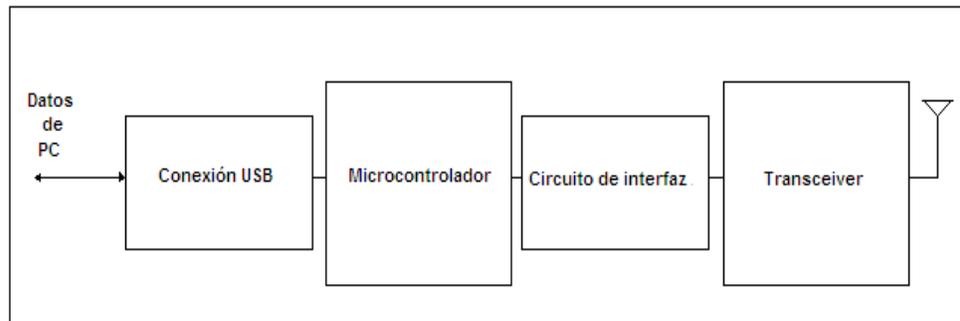


Figura 20 Diagrama de bloques general del módulo de obtención de datos de la PC.

De igual forma que el módulo de obtención de datos de la consola, el circuito de interfaz que se muestra en el diagrama de bloque general del módulo de obtención de datos de la PC de la figura 20, corresponde a un circuito basado en buffer, con el fin de acoplar las señales del microcontrolador con los niveles de tensión del transceptor MRF24J40MA. Tanto este circuito como el de conexión del transceptor MRF24J40MA son idénticos en conexión a los descritos en la sección anterior para el módulo de obtención de datos de la consola.

En este módulo, la principal diferencia con respecto al otro módulo es la presencia de la comunicación USB con la PC y se hace notar con la adición de elementos pasivos y un conector USB tipo B hembra. Este circuito es agregado al microcontrolador en los pines del puerto correspondientes al módulo integrado que éste tiene para comunicación USB. En la figura 21 se muestra el circuito del microcontrolador con la conexión necesaria para adaptar a éste la funcionalidad de comunicación USB con la PC.

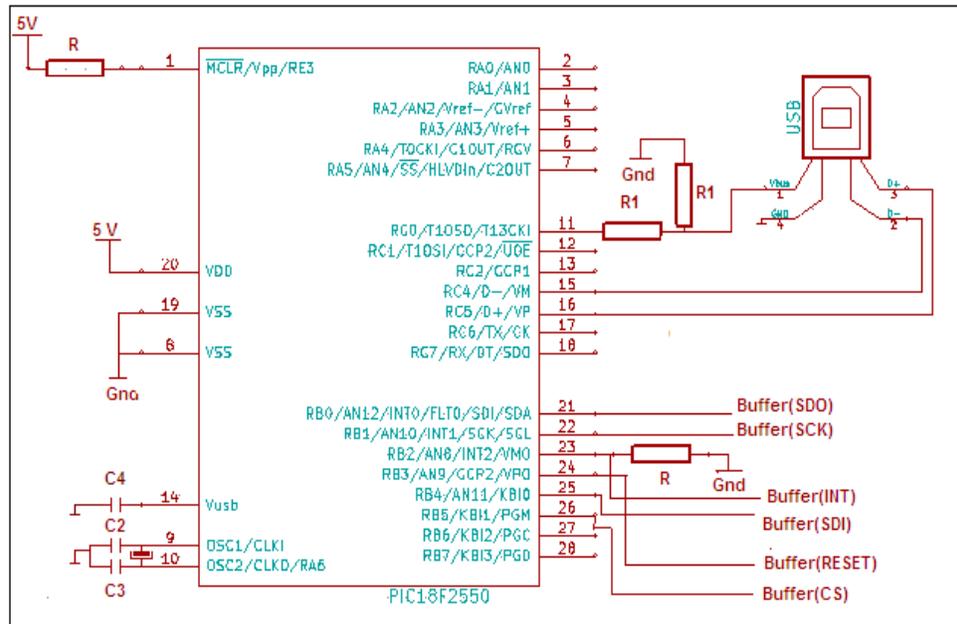


Figura 21 Conexión del microcontrolador PIC18F2550 con las señales del buffer triestado del circuito de interfaz y el circuito para comunicación US con la PC, con $R=1k\Omega$, $R1=100k\Omega$, $C2=C3=22nF$ y $C4=100nF$

La conexión para agregar la comunicación USB se realizó con base en lo especificado por la hoja de datos del PIC18F2550 para el módulo USB que éste tiene integrado.

De igual modo, lo antes descrito completa la descripción detallada del hardware necesario para establecer la funcionalidad del módulo de obtención de datos de la PC.

5.3. Descripción del software

Con esta sección se pretende detallar el software desarrollado para establecer el funcionamiento requerido en el microcontrolador del módulo de obtención de datos de la consola y el microcontrolador del módulo de obtención de datos de la PC, esto en cuanto a la lógica

implementada en las rutinas de programación tanto para la comunicación SPI con el MRF24J40MA, la comunicación serial con la consola en el módulo de comunicación con la consola y la comunicación USB en el módulo de obtención de datos de la PC.

5.3.1 Software del Módulo de obtención de datos de la consola

El módulo de obtención de datos de la consola, en cuanto al software fue desarrollado en tres etapas principales; en inicio la programación desarrollada para establecer la comunicación con el transceptor a través de un módulo SPI, la programación para la comunicación RS232 con la consola mediante la UART y la máquina de estado para la transmisión y recepción de datos mediante el enlace inalámbrico que comprendió establecer la funcionalidad del sistema completo.

Comunicación SPI con transceptor MRF24J40MA¹⁰

Tal y como se mencionó en el capítulo 3 sección 3, mediante el protocolo SPI es posible acceder a los registros del módulo MRF24J40MA para eventualmente establecer el enlace inalámbrico, por lo que fue necesario inicialmente configurar el microcontrolador para establecer comunicación con este mediante varias rutinas de programación. Según lo establecido por la hoja de datos del transceptor, es necesario la lectura y escritura tanto de registros largos y cortos para la configuración adecuada de éste. Para esto se programaron cuatro rutinas específicas para escritura y lectura de los registros del transceptor. La programación de estas rutinas en el

¹⁰ Información tomada de la referencia bibliográfica [4]

microcontrolador PIC 18F2550 para la escritura y lectura se realizaron aprovechando el módulo SPI que tiene integrado el microcontrolador, sin embargo dado que éste solo permite la transmisión de datos de 8 bits, se implementan pequeñas secuencias lógicas que integran lógica combinacional para posibilitar la transmisión de las direcciones de los registros de datos (Long Address), ya que estos tienen direcciones cuyo rango necesita 12 bits para ser representado. En la tabla 5 se muestra la rutina de programación presente en el código y su función, utilizada para cumplir con la especificación en la hoja de datos en cuanto al tamaño de direccionamiento de memoria, mediante la transmisión de datos de 8 bits al transceptor MRF24J40MA, tanto para registros short como long.

Tabla 5 Rutinas de programación para las rutinas de escritura y lectura de datos en registros de direccionamiento de 10 bits (corto) y 12 bits (corto) del MRF24J40MA mediante transmisiones de 8 bits mediante el módulo SPI del PIC 18F2550.

Rutina	Función
Short_Address_Write (D,V)	Escribe un valor de 8 bits (V) en registros mapeados con direcciones de 6 bits (D) mediante transmisión SPI de 8 bits
Long_Address_Write (D,V)	Escribe un valor de 8 bits (V) en registros mapeados con direcciones de 12 bits (D) mediante transmisión SPI de 8 bits
V =Short_Address_Read (D)	Lee el valor (V) del registro mapeado con dirección de 6 bits (D) mediante transmisión SPI de 8 bits
V=Long_Address_Read (D)	Lee el valor (V) del registro mapeado con dirección de 12 bits (D) mediante transmisión SPI de 8 bits

Una vez que se cuenta con las rutinas de escritura y lectura de los registros del transceptor, se realizó el análisis más detallado de los registros del transceptor con el fin de programar una rutina de inicialización para éste y configurar la operación deseada para

establecer el enlace inalámbrico. En la tabla 6 se observan los registros más relevantes para la configuración del transceptor MRF24J40MA y su función en cuanto a configuración del transceptor.

Tabla 6 Registros de mayor importancia a considerar para la configuración de la operación del transceptor MRF24J40MA.

Registro	Dirección (hex)	Función
TXSTAT	0x24	Estado de transmisión
SOFTRST	0x2A	Reset de modulo por software
SECCON0	0x2C	Control de seguridad
TXSTBL	0x2E	Estabilización de transmisión
INTCON	0x32	Control de interrupciones
INTSTAT	0x31	Estado de interrupciones
RFCTL	0x36	Control de módulo RF
RFCON0	0x200	Selección del canal de operación
RFCON3	0x203	Control de potencia de transmisión
BBREG2	0x3A	Modo de asignación de canal libre
BBREG6	0x3E	Indicador de potencia de señal
RSSITHCCA	0x3F	Detección de energía para CCA

Con base en los registros descritos en la tabla 5 y basados en la secuencia recomendada por el fabricante, mediante las rutinas de escritura y lectura antes mencionadas también, se programó una rutina para inicialización del transceptor con la carga de cada uno de los registros tal y como se detalla en la siguiente secuencia.

- SOFTRST (0x2A) = 0x07
- PACON2 (0x18) = 0x18
- TXSTBL (0x2E) = 0x95
- RFCON1 (0x201) = 0x01
- RFCON2 (0x202) = 0x80
- RFCON6 (0x206) = 0x90
- RFCON1 (0x207) = 0x80
- RFCON1 (0x208) = 0x10
- SPLCON1 (0x220) = 0x21

- BBREG2 (0x3A) = 0x80
- RSSITHCCCA (0x3F) = 0x60
- BBREF6 (0x3E) = 0x40
- Enable interrupts
- Set channel
- RFCTL (0x36) = 0x04
- RFCTL (0x36) = 0x00
- Delay al menos 192 us

Donde el valor hexadecimal especificado entre paréntesis corresponde a la dirección del registro que se escribe y el valor a la derecha del igual el valor que se le da a ese registro.

Una vez realizada la inicialización el transceptor se programó las rutinas para recepción y transmisión de datos por medio inalámbrico con base en lo sugerido por el fabricante del MRF24J40MA y lo establecido en el protocolo IEEE 802.15.4.

La rutina de recepción basada en un evento por interrupción mediante la señal INT conectada al microcontrolador, opera de manera general bajo la siguiente secuencia:

- Se atiende la interrupción de recepción (Verifica INTSTAT) y se deshabilita cualquier otra interrupción en el PIC.
- Se establece el bit RXDECINV para evitar la recepción de datos por parte del MRF24J40MA.
- Se hace la lectura del buffer de recepción del MRF24J40MA y se toma el byte correspondiente al tamaño de frame.
- Se hace lectura del buffer de recepción del MRF24J40 para tomar los datos desde las direcciones (0x301 – (0x300 + Tamaño frame + 2)).

- Se limpia el bit RXDECINV para habilitar de nuevo la recepción por parte del MRF24J40MA.
- Se habilitan nuevamente las interrupciones del PIC.

Cabe resaltar las características de la trama de recepción que se almacena en el buffer de recepción leído, ya que esto determina que corresponde a datos e identificadores y donde el encabezado es basado en el protocolo de comunicación IEEE 802.15.4. En la figura 22 se muestra la trama de recepción que se presenta en el MRF24J40MA.

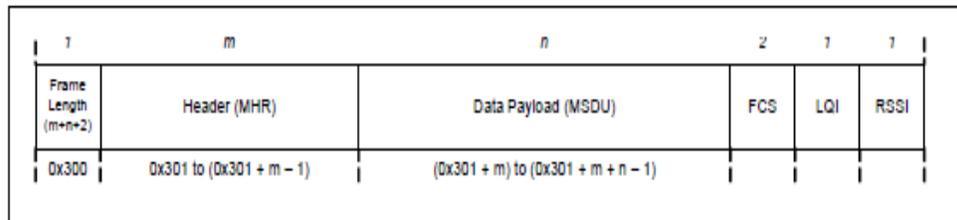


Figura 22 Características de la trama de recepción del módulo MRF24J40MA con header basado en el protocolo IEEE 802.15.4¹¹.

Por otro lado, la rutina de transmisión se realiza con base en la siguiente secuencia, también recomendada por el fabricante del transceptor:

- Se carga el registro de datos del MRF24J40MA (FIFO) con los datos de acuerdo a la trama establecida para la transmisión de datos (ver figura 23).
- Se transmite el paquete o la trama haciendo set al bit TXNTRIG (TXCON <0> = 1).
- Se atiende la interrupción por transmisión en el PIC

¹¹ Información tomada de la referencia bibliográfica [6]

- Se corrobora la transmisión correcta de los datos mediante el registro TXSTAT.

La trama de transmisión de datos del MRF24J40 se puede observar en la figura 23, donde el Header está regulado bajo el estándar IEEE 802.15.04.

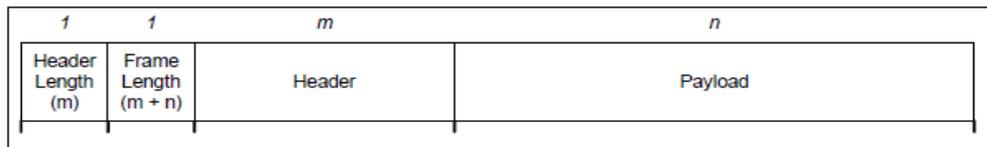


Figura 23 Características de la trama de transmisión del módulo MRF24J40MA.

Con las rutinas programadas basadas en las secuencias antes descritas se logró establecer comunicación entre el microcontrolador PIC18F2550 y el transceptor MRF24J40MA para la posterior programación del programa principal que maneja tanto esta comunicación como la de la comunicación con la consola Vantage Pro2™.

Comunicación serial con la consola Vantage Pro2™

La comunicación serial con la consola Vantage Pro2™ se realiza por medio del módulo USART (Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) del microcontrolador. Este se configura para establecer una comunicación asíncrona con el datalogger conectado a la consola Vantage Pro2™. En la tabla 7 se muestran las características de configuración del módulo UART del microcontrolador para establecer la comunicación con la consola Vantage Pro2™.

Tabla 7 Parámetros de operación configurados en el módulo UART del microcontrolador PIC18F2550 para comunicación con la consola Vantage Pro2™

Parámetro	Configuración
Velocidad (baud)	2400
Bit de paridad	No
Bit inicio (bit)	0
Bit de parada (bit)	1
Bits de datos (bits)	8

De esta configuración, la velocidad se estableció de manera que la velocidad de comunicación no sea tan alta para evitar la pérdida de datos cuando se integra el sistema completo, ya que la ejecución de las otras rutinas toma un tiempo considerable con respecto a si se estableciera la máxima velocidad de transmisión en la consola. En cuanto a los bits de inicio, bit de parada y de paridad estos se configuraron de manera que fueran compatibles con las características ya establecidas por el protocolo de comunicación de la consola Vantage Pro2™.

En lo referente a la recepción de datos provenientes de la consola, esto se realiza por medio de la interrupción por recepción de datos UART. Específicamente, cada vez que se recibe una interrupción por recepción de un byte de datos de la consola, este se almacena en un buffer para su posterior transmisión por medio del transceptor y al mismo tiempo se actualiza un puntero para que apunte hacia el siguiente espacio de memoria en el buffer. Una vez que se recibe uno o varios caracteres específicos de fin de la trama de datos enviados por la consola Vantage Pro2™, se activa una bandera que indica a la máquina de estados del programa principal que se

establezca en el estado de transmisión y se envíen a través del transceptor los datos del buffer de recepción.

Para el caso de la transmisión de datos a la consola, de igual forma, los datos recibidos del transceptor una vez dada una interrupción de recepción del transceptor, se almacenan en un buffer de datos para su posterior envío a la consola por medio de la instrucción de envío de datos, a través del módulo UART del microcontrolador PIC 18F2550. De igual forma estos datos son enviados de byte en byte y posteriormente se espera la respuesta de la consola que depende de los datos enviados a ésta.

Básicamente la rutina de programación para envío y obtención de los datos de la consola se basa, tal y como se describió anteriormente, en una rutina de interrupción por recepción de datos y de un buffer de datos de entrada para almacenar los datos enviados por la consola Vantage Pro2™.

Máquina de estados del programa principal.

Ya establecidas la comunicación SPI con el transceptor MRF24J40MA y la comunicación serial con la consola Vantage Pro2™ se realizó la programación de la rutina principal mediante una máquina de estados, en la cual cada estado depende estrictamente de si se da ya sea una recepción de datos de la consola o del transceptor desde el módulo de obtención de datos de la PC. En la figura 24 se muestra el diagrama de estados de la máquina de estados programada en el microcontrolador para la integración de las comunicaciones y lograr la funcionalidad completa del módulo de obtención de datos de la consola.

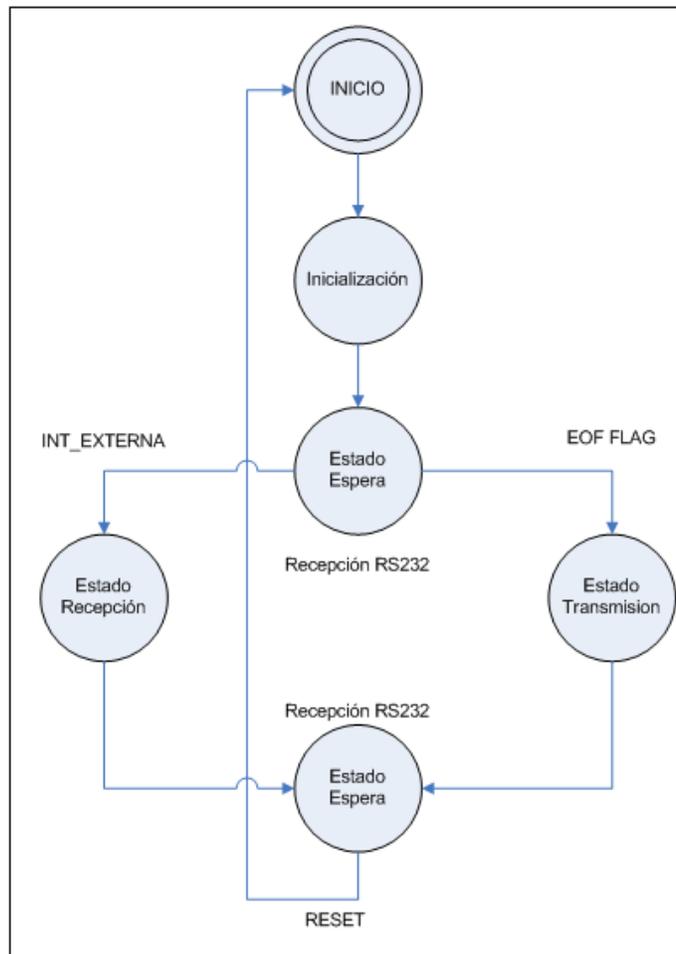


Figura 24 Diagrama de la máquina de estados para la rutina de programación principal del microcontrolador del módulo de obtención de datos de la consola.

Siempre que se inicia el sistema, se da un estado de inicialización en el cual se carga en cada uno de los registros del transceptor MRF24J40MA antes especificados, de manera que se realiza la configuración necesaria para establecer el enlace inalámbrico con el módulo de obtención de datos de la PC. Después de este estado inicial de inicialización del transceptor, el sistema entra en un estado de espera ya sea de un indicador de que el buffer de entrada de datos de la consola tiene datos completos o si se da una interrupción por recepción o transmisión de datos en el transceptor MRF24J40MA. Al darse alguna de las anteriores situaciones

descritas, el siguiente estado corresponderá al estado de transmisión de los datos del buffer de la comunicación serial con la consola hacia el transceptor y la transmisión a través de éste, o al estado de recepción donde se extraen los datos recibidos a través del transceptor y se transmiten hacia la consola a través del módulo UART, respectivamente. Después de cualquiera de los estados, ya sea de recepción o transmisión, el estado siguiente corresponde al estado de espera y no se realiza ninguna instrucción o función en dicho estado.

Junto con la comunicación serial con la consola y la comunicación SPI con el transceptor MRF24J40MA, la máquina de estados permite implementar la comunicación de la consola Vantage Pro2™ con el módulo de obtención de datos de la PC mediante un enlace inalámbrico.

5.3.2 Software del Módulo de obtención de datos de la PC

Por otro lado, el módulo de obtención de datos de la PC, en cuanto al software, fue desarrollado al igual que el módulo de obtención de datos de la consola en tres etapas principales; en inicio la programación desarrollada para establecer la comunicación con el transceptor a través de un módulo SPI, la programación para la comunicación USB con la PC mediante la el módulo USB que el microcontrolador PIC18F2550 tiene integrado y la máquina de estado para la transmisión y recepción de datos mediante el enlace inalámbrico a través del transceptor MRF24J40MA.

La comunicación con el transceptor mediante el SPI se realiza nuevamente de igual forma que en el módulo de obtención de datos de la consola, con las mismas rutinas de programación de escritura y lectura de los registros y secuencias de inicialización del transceptor. La diferencia en este módulo con respecto al módulo de obtención de datos de la consola es que ya no es necesario implementar en éste la comunicación serial y de cierto modo se sustituye por la comunicación USB con la PC, por lo que la diferencia radica en esto.

En lo referente a la comunicación USB con la consola, esta se realiza por medio del módulo USB que el microcontrolador integra y mediante una serie de bibliotecas que permiten que la PC detecte al dispositivo como un puerto COM. Análogamente que con el otro módulo, después de establecer esta conexión con la PC, los datos que provienen de esta se almacenan en un buffer de datos hasta que se obtiene un carácter o varios especiales que determinan el final de la trama para el eventual envío por medio inalámbrico.

En cuanto a la máquina de estados implementada para el módulo de obtención de datos de la PC esta tiene la misma estructura que la del módulo de obtención de datos de la consola, sin embargo, la recepción de los datos de la PC no se realiza por interrupción, sino que el estado de espera en esta máquina de estados corresponde también a un estado de espera y recepción de datos provenientes de la PC. Siempre, después de cada estado el sistema regresa a este punto de espera de datos de la PC y esto se implementó de esta manera ya que no fue posible realizar una rutina de interrupción por recepción de datos del módulo USB. En la figura 25 se muestra el diagrama de la máquina de estados implementada para el módulo de obtención de datos de la PC.

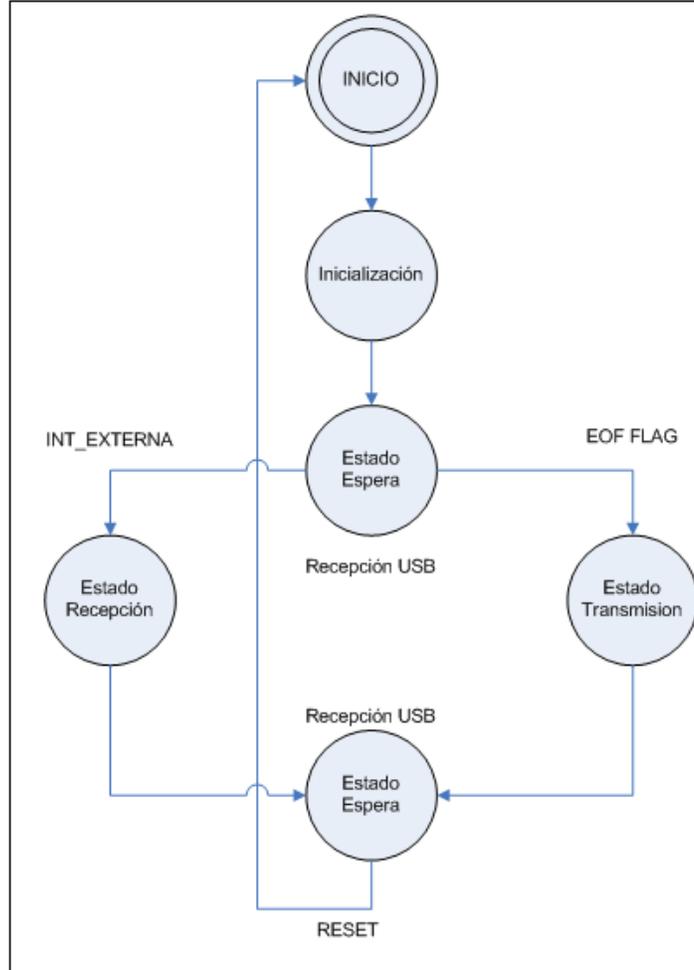


Figura 25 Diagrama de la máquina de estados para la rutina de programación principal del microcontrolador del módulo de obtención de datos de la PC.

Ya con la implementación del módulo de obtención de datos de la PC con base la lógica para el software necesario antes descrito, se completa el sistema para la comunicación de la PC con la consola Vantage Pro2™ para el consecuente inicio de pruebas de operación del sistema completo y la evaluación de los eventuales resultados.

Capítulo 6: Análisis de Resultados

A continuación se presentan los resultados que se obtuvieron en la implementación final de la solución y se analizan al mismo tiempo estos al margen de la solución proyectada en inicio. Se discuten las posibles diferencias y causas que con llevaron a estas, con el fin de establecer las conclusiones y recomendaciones en caso de la continuidad en la mejora del sistema.

6.1.1 Comunicación inalámbrica con la consola Vantage Pro2™

Al implementar la solución seleccionada y detallada en las secciones anteriores se pudo establecer comunicación con la consola Vantage Pro2™ a través de un enlace inalámbrico. Lo anterior se pudo corroborar mediante una interfaz que se diseñó en Visual Basic Studio¹² especialmente para observar la respuesta de la consola para varios de los comandos que se enviaron del mismo modo mediante esta interfaz. En la figura 26 se muestra la interfaz diseñada, la cual integra varios de los comandos del protocolo de la consola Vantage Pro2™ y un cuadro de texto para visualización de la respuesta que brinda la consola que es transmitida de forma inalámbrica desde el módulo de obtención de datos de la consola.

¹² Ver referencia bibliográfica [14]

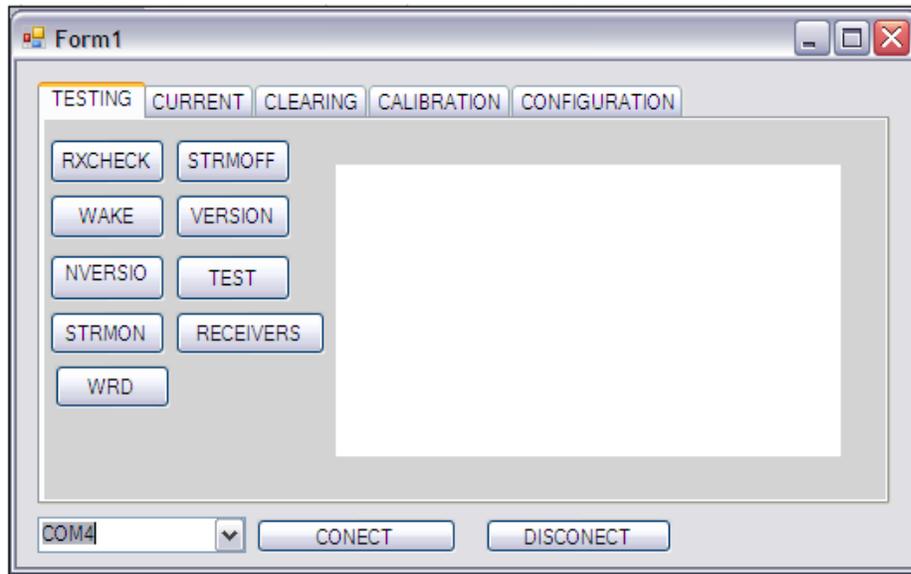


Figura 26 Interfaz para visualización de respuesta a comandos enviados desde el módulo de obtención de datos de la PC a la consola mediante un enlace inalámbrico.

Mediante esta interfaz fue posible enviar una variedad de comandos hacia la consola y observar la respuesta de esta en el espacio para despliegue de datos, que se observa en la figura 26, estos se envían al dar clic sobre el comando que se desea enviar y dependiendo de este se observó una respuesta diferente en el espacio de texto para despliegue. Por ejemplo al enviar el comando TEST, el cual realiza una prueba de la conexión entre la consola y la PC, se observó la respuesta que se muestra en la figura 27. Esta prueba se realizó con una separación de 10 m entre la PC y la consola Vantage Pro2™.

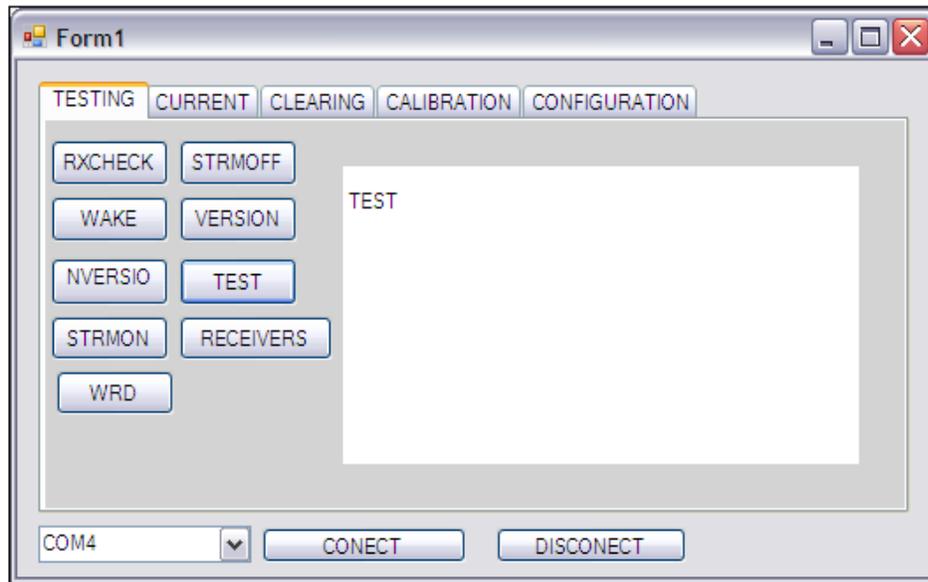


Figura 27 Respuesta obtenida y observada en la interfaz de visualización al enviar el comando TEST a la consola Vantage Pro2™.

Según el protocolo de la consola, la respuesta a este comando es del mismo modo la secuencia "TEST" antecedido de un carácter de espacio en blanco, por lo que los resultados para el enlace inalámbrico de la consola y la PC a través del sistema diseñado son correctos y los deseados. Al igual que este comando, los demás comandos que se muestran en los botones de la figura 27 provocaron la visualización de una respuesta adecuada por parte de la consola.

Además, con el fin de verificar la posibilidad de configurar algunos parámetros de operación de la consola Vantage Pro2™, se realizó una prueba con el comando "setrain", el cual establece el valor inicial promedio de lluvia anual en la consola siendo posible visualizar el cambio de esta variable en la pantalla de la consola. En la figura 28 se muestra el valor introducido en la interfaz y en la figura 29 el antes y después en la pantalla de visualización de la consola Vantage Pro2™ al ejecutarse este comando.

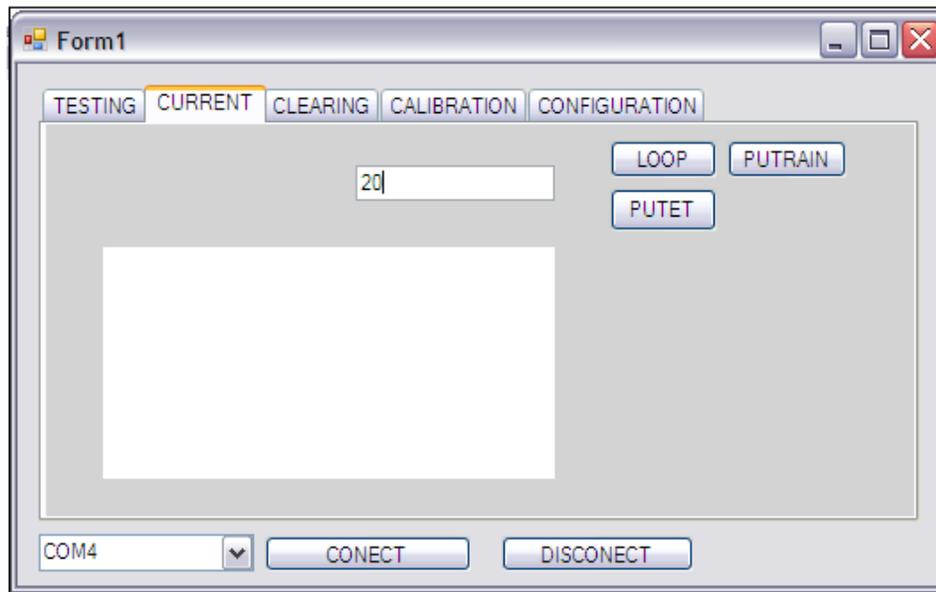


Figura 28 Imagen para ilustración del envío del comando setrain a la consola Vantage Pro2™ mediante el enlace inalámbrico del sistema.



Figura 29 Ilustración del antes y después de la pantalla de visualización de la consola Vantage Pro2™ después de la ejecución del comando setrain.

Al realizar pruebas del mismo modo, con muchos de los comandos se obtuvo una respuesta como las anteriores, sin embargo para varios de estos la respuesta visualizada no era legible debido a que algunos de los comandos establecidos por el protocolo de la consola Vantage Pro2™ proporcionan respuestas en codificación binaria, por lo que no es de fácil interpretación el significado de cada carácter en la interfaz diseñada para las pruebas. Sin embargo con el fin de corroborar el correcto funcionamiento de estos, se introdujeron algunos led que indicaron cuando se obtenía la respuesta esperada e igualmente los resultados fueron correctos, por lo que la limitante se encuentra para estos casos en el software diseñado para la visualización. Sin embargo cabe resaltar como limitante del sistema, que los comandos de descarga de la memoria del

datalogger no fue posible implementarlos ya que la memoria de éste es de 32 Kbytes y la memoria del microcontrolador es de 16 Kbytes, del mismo modo no fue posible enviar estos datos por intervalos de tiempo debido a que el protocolo no especifica para este tipo y otro tipo de comandos, cuando termina una trama de datos y por tanto no fue posible determinar el momento adecuado para hacer la transmisión de estos datos por medio de los transceptores hacia la PC. De igual modo el transceptor MRF24J40MA establece otra limitante en relación con esto, ya que es posible solo enviar como máximo 126 bytes por paquete de datos, de manera que podrían existir problemas por retardos que se introduce debido a la falta de sincronización entre la recepción masiva de datos desde la consola y al mismo tiempo la transmisión de estos por medio del transceptores.

Sin embargo, cabe resaltar que uno de los comandos más robustos con que se cuenta, el comando “LOOP”, es funcional y la única limitante que se presenta en cuanto a este es debido a la codificación de los datos que se obtienen al enviarlo a la consola, ya que son datos binarios, por lo que nuevamente no son legibles pero si podrían ser interpretados con mejoras en el software que se integra en la PC.

Por otro lado, en lo referente al alcance del enlace inalámbrico se realizaron varias pruebas y se obtuvo un alcance máximo de 70 m línea vista, lo cual es una distancia importante de considerar ya que con respecto a una conexión alamburada en la que lo máximo alcanzable sin pérdida de información según el fabricante es de 2 m, se obtuvo una mejora en cuanto a este parámetro de casi 35 veces y la ventaja intrínseca que se tiene al no poseer alamburado entre la PC y la consola.

Estos resultados evidencian como la solución a pesar de tener algunas limitaciones mínimas permitió el cumplimiento los objetivos planteados y

deja abierta la posibilidad de hacer mejoras al sistema en cuanto a la comunicación con la consola y el enlace inalámbrico, posibilitando incluso ampliar el rango de cobertura del sistema, la capacidad de transmisión de datos y la inclusión todos los comandos del protocolo de comunicación de la consola.

6.1.2 Consumo de potencia del módulo de obtención de datos de la consola Vantage Pro2™

Dado que el módulo de obtención de datos de la consola generalmente se ubica en lugares con fuentes limitadas de alimentación, ya que este se ubica siempre al lado de la consola y con el fin de valorar si es posible eventualmente alimentar este módulo con el sistema de alimentación de la misma consola, se realizaron mediciones del consumo de potencia de este módulo con el fin de obtener un valor promedio de potencia que se debe suministrar al sistema para que opere correctamente en todo momento.

Para esto se realizaron mediciones de corriente y tensión suministrada por la fuente de alimentación del módulo de obtención de datos de la consola para diferentes casos de tránsito de datos, es decir, se hizo mediciones cada vez que existía un tránsito de datos entre los transceptores cuando se enviaba un comando desde la PC a la consola así como cuando el sistema se encontraba en reposo. En la tabla 8 se muestran las mediciones de corriente consumida por el módulo de obtención de datos de la consola Vantage Pro2™ para diferentes comandos.

Tabla 8 Consumo de corriente del módulo de obtención de datos de la consola con alimentación de 5 V para diferentes tránsitos de datos entre los transceptores y diferentes comandos.

Comando y transito de datos	Corriente consumida (mA)
TEST	10.10
WAKE	10.30
VERSION	14.10
NVERSION	10.00
PUTRAIN	18.40
BARDATA	14.10
RECEIVERS	8.20
RXCHECK	12.00
LAMPON	16.10
Inactivo	1.40

De estos datos es posible extraer que la corriente promedio para cuando existe un transito de datos es de 11.34 mA, lo que implica una potencia promedio consumida de 56.7 mW durante el transito de datos y una potencia en estado inactivo de 7 mW. Si embargo al hacer mediciones al conectar el sistema este consume una corriente pico de 42 mA, lo que implica una potencia de 200 mW, por lo que se determina que el sistema operaría eficientemente y de manera continua con una fuente de alimentación que proporcione al menos 200 mW de potencia.

Estos datos son importantes de considerar, ya que si se requiere de una fuente alterna de energía para alimentar el módulo de obtención de datos de la consola, es necesario tomar en cuenta estos datos para la determinación de que tipo de fuente es la más conveniente o si en dado caso no se cuenta con dicha posibilidad estos datos podrían ser factibles para tomar la decisión de sustituir alguno de los componentes por un dispositivo de bajo consumo, por ejemplo sustituir el microcontrolador PIC18F2550 por otro microcontrolador de menor consumo.

6.1.3 Interfaz del sistema con el software WeatherLink

Otro tema importante por analizar es la operabilidad del sistema diseñado con el software WeatherLink suministrado con la consola y el datalogger para la extracción de datos con la consola. Cabe resaltar que el sistema diseñado tiene la limitante de que no es 100% operable con el software, ya que este integra en sus rutinas de programación e interfaz con el usuario la mayoría de los comandos del protocolo de comunicación con la consola Vantage Pro2™, y tal como se mencionó anteriormente algunos de los comandos debido a las características de memoria y procesamiento del hardware utilizado por el sistema diseñado no son funcionales, esto provoca que al ejecutar el software se presenten fallas en las lecturas por la ausencia de la funcionalidad de estos comandos. Dado que lo anterior es una limitante, es recomendable desarrollar más a fondo un software independiente al WeatherLink en caso que se quiera continuar con el sistema tal y como se diseñó, que permita el uso de estos comandos de algún modo alternativo o optimizar el hardware de control de los módulos de obtención de datos del sistema, es decir establecer un microcontrolador más robusto que el PIC, para así implementar una solución que garantice operabilidad con el software WeatherLink.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se estableció un enlace de comunicación inalámbrico entre una PC y la consola de datos climáticos Vantage Pro2™
- El módulo diseñado para comunicación con la consola permitió la extracción y envío de datos a la consola Vantage Pro2™.
- El módulo de diseñado para comunicación con la PC del mismo modo permitió el envío de comandos por parte de un usuario hacia la consola Vantage Pro2™.
- Se extendió la distancia de conexión de la consola con una PC en un factor de 35 veces.
- La configuración de algunos de los parámetros de operación de la consola Vantage Pro2™ se puede realizar de forma inalámbrica.
- Se creó una interfaz que permitió visualizar la funcionalidad de la mayoría de los comandos del protocolo de la consola Vantage Pro2™.
- Se determinó que el módulo de obtención de datos de la PC consume una potencia promedio de 56.7mW.
- El sistema cuenta con el comando LOOP funcional, lo que permite obtener los datos actuales de medición de todos los sensores.
- El sistema cuenta con la limitante de que algunos comandos de extracción de datos no son funcionales.
- El sistema cuenta con la limitante que no es operable con el software de análisis de datos suministrado por el fabricante.

7.2 Recomendaciones

A continuación se da un listado de algunas recomendaciones que se consideran prudentes en el caso de que se de continuidad al proyecto con el fin de mejorar la operación del sistema y resolver las limitantes con que cuenta.

- Integrar al sistema dispositivos con características de bajo consumo de potencia para poder alimentar éste con fuentes alternativas que suministran de energía como celdas solares.
- Integrar memorias externas al sistema y optimizar el hardware de control (microcontroladores) mediante dispositivos con mayor capacidad de almacenamiento de datos y velocidad de procesamiento para hacer el sistema operable con el software de análisis suministrado por el fabricante.
- Establecer el enlace de comunicación entre el módulo de obtención de datos de la PC y la consola mediante tecnologías de comunicación alternativas (Uso de telefonía 3G como MODEM, tecnologías IP o WIFI) que permitan altas tasas de transmisión y mayor alcance así como para integrar los comandos de descarga del protocolo de la consola y garantizar del mismo modo operabilidad del software WeatherLink.
- Diseñar un software que permita el almacenamiento de los datos obtenidos mediante el sistema en una base de datos robusta.
- Integrar dispositivos programables que permitan el funcionamiento como host en un bus USB para poder establecer comunicación con la consola mediante un datalogger USB y así reducir el consumo de potencia debido al uso del cambiador de nivel o driver MAX232, ya que se podría eliminar.

Bibliografía

[1] *Vantage Pro™ and Vantage Pro2™ Serial Communication Reference Manual*. [En línea]: Disponible en: <http://www.davisnet.com/weather/products/weather_product.asp?pnum=06152> [Consulta: 25 de Julio 2011, 9:00 a.m.].

[2] *The RS232 Standard*. [En línea]: Disponible en: <<http://www.omega.com/techref/pdf/rs-232.pdf>> [Consulta: 29 de Agosto 2011, 10:00 a.m.].

[3] *SPI Interface Specification* [En línea]: Disponible en: <http://www.vti.fi/sites/default/files/documents/tn15_spi_interface_specification.pdf> [Consulta: 15 de Agosto 2011, 1:00 p.m.].

[4] *MRF24J40MA Data Sheet 2.4 GHz IEEE Std. 802.15.4™ RF Transceiver Module* [En línea]: Disponible en: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70329b.pdf>> [Consulta: 1 de Agosto 2011, 10:00 a.m.].

[5] *LF33CV Data Sheet* [En línea]: Disponible en: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/F/3/3/LF33CV.shtml> [Consulta: 8 de Agosto 2011, 9:00 a.m.].

[6] *802.15.4™ IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements* [En línea]: Disponible en: <<http://www.ieee802.org/15/pub/TG4Expert.html#DownloadSpec>> [Consulta: 20 de Agosto 2011, 8:00 a.m.].

[7] *MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS DATASHEET* [En línea]: Disponible en: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/max232.pdf>> [Consulta: 30 de Julio 2011, 11:00 a.m.].

[8] *CCS C Compiler Details*
[En línea]: Disponible en: <<http://www.ccsinfo.com/content.php?page=compiler-details>> [Consulta: 26 de Julio 2011, 8:00 a.m.].

[9] *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet* [En línea]: Disponible en: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>> [Consulta: 27 de Julio 2011, 10:00 a.m.].

[10] *Universal Serial Bus*[En línea]: Disponible en: <<http://www.usb.org/home>> [Consulta: 30 de Agosto 2011, 8:00 a.m.].

[11] *Microchip MiWi™ P2P Wireless Protocol AN1204, Yifeng Yang Microchip Technology Inc.* [En línea]: Disponible en: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01204B.pdf>> [Consulta: 30 de Agosto 2011, 9:00 a.m.].

[12] *Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC, Eduardo García Breijo, Editorial Alfaomega, 2008.*

[13] *C Compiler Referente Manual* [En línea]: Disponible en: <http://www.ccsinfo.com/downloads/ccs_c_manual.pdf> [Consulta: 1 de Agosto 2011, 1:00 p.m.].

[14] *Tutoriales de Visual Studio* [En línea]: Disponible en: <<http://msdn.microsoft.com/es-es/library/szatzc41e%28v=vs.80%29.aspx>> [Consulta: 20 de Octubre de 2011, 10:00 a.m.].

[15] *MPLAB IDE User's Guide* [En línea]: Disponible en: <http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469&part=SW007002> [Consulta: 4 de Agosto de 2011, 10:00 a.m.].

[16] *QUAD 3-STATE BUFFERS DATASHEET* [En línea]: Disponible en:
<<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/27384/TI/74LS125A.html>>
[Consulta: 4 de Septiembre de 2011, 10:00 a.m.].

[17] *Kicad Open Source Software* [En línea]: Disponible en:
<http://www.lis.inpg.fr/realise_au_lis/kicad/> [Consulta: 25 de Octubre de 2011,
5:00 p.m.].

[18] *Microchip Application Libraries* [En línea]: Disponible en:
<http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2680&dDocName=en547784> [Consulta: 1 de Septiembre de 2011, 5:00 p.m.].

Apéndices

A.1 Glosario, Abreviaturas y simbología

Datalogger: Dispositivo que almacena los datos de algún sistema electrónico de monitoreo o sensor con el transcurso del tiempo.

Sensor: Dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas y transformarlas en variables eléctricas para su interpretación como información de la variable detectada.

Transceptor: Dispositivo especializado capaz para realizar las funciones de transmisión y recepción de datos integrado en un solo circuito.

Evapotranspiración: Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa y por transpiración de la vegetación.

Driver: Dispositivo y en ocasiones software que se utiliza para crear compatibilidad entre dos sistemas con características de operación no compatibles.

Mapear: Ubicar en la memoria de un dispositivo una dirección específica de ésta donde se encuentra un registro determinado.

Baud: Unidad utilizada en comunicaciones para medir la tasa de señales por segundo.

A.2 Manual de usuario

A continuación se describe una secuencia de pasos que permiten a cualquier usuario el uso del sistema diseñado.

Conexión del Sistema

Para el uso del sistema inicialmente es necesario realizar las siguientes conexiones:

- Conectar al conector USB Tipo B hembra un cable del módulo de obtención de datos de la PC y al puerto USB de la computadora.
- Esperar a que el led indicador ubicado en la parte más inferior se encienda de y permanezca constante. Sino desconecte hasta que se de la condición antes mencionada. (En caso que no se de esta conexión es porque existe algún problema en el hardware del sistema)
- Una vez con el módulo de obtención de datos de la PC en funcionamiento, proceda a conectar el módulo de obtención de datos de la consola, esto conectando el conector RS232 al módulo de acuerdo con los indicadores que se presentan el sistema.
- Conecte el dispositivo de alimentación del módulo de obtención de datos de la consola y nuevamente espere a que el led indicador del sistema permanezca encendido.

Ejecución del Software de prueba

Una vez los dos módulos en funcionamiento ejecute el software de prueba y siga las siguientes instrucciones:

- Seleccione el puerto de comunicación serial (COM) que asignó la PC al sistema mediante el menú de selección de en la esquina inferior izquierda de la pantalla principal.
- Presione el botón conectar ara establecer comunicación con la consola.
- Presione el botón wake para despertar del modo sleep a la consola. (En caso de ser necesario presione este botón cuando no haya respuesta después de este proceso, ya que la consola entra al modo sleep cada 2 minutos si no hay actividad)
- Proceda a establecer comunicación mediante el comando deseado especificado en los botones que se presentan en la interfaz de prueba diseñada.

Anexos

1. Datos relevantes del fabricante del módulo MRF24J40MA MRF24J40

2.13 Serial Peripheral Interface (SPI) Port Pins

The MRF24J40 communicates with a host microcontroller via a 4-wire SPI port as a slave device. The MRF24J40 supports SPI (mode 0,0) which requires that SCK idles in a low state. The \overline{CS} pin must be held low while communicating with the MRF24J40. Figure 2-4 shows timing for a write operation. Data is received by the MRF24J40 via the SDI pin and is clocked in on the rising edge of SCK. Figure 2-5 shows timing for a read operation. Data is sent by the MRF24J40 via the SDO pin and is clocked out on the falling edge of SCK.

Note: The SDO pin 17 defaults to a low state when \overline{CS} is high (the MRF24J40 is not selected). If the MRF24J40 is to share a SPI bus, a tri-state buffer should be placed on the SDO signal to provide a high-impedance signal to the SPI bus. See Section 4.4 "MRF24J40 Schematic and Bill of Materials" for an example application circuit.

FIGURE 2-4: SPI PORT WRITE (INPUT) TIMING

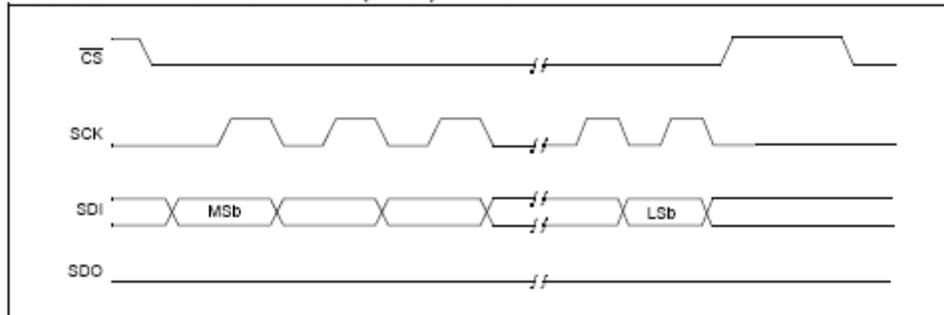
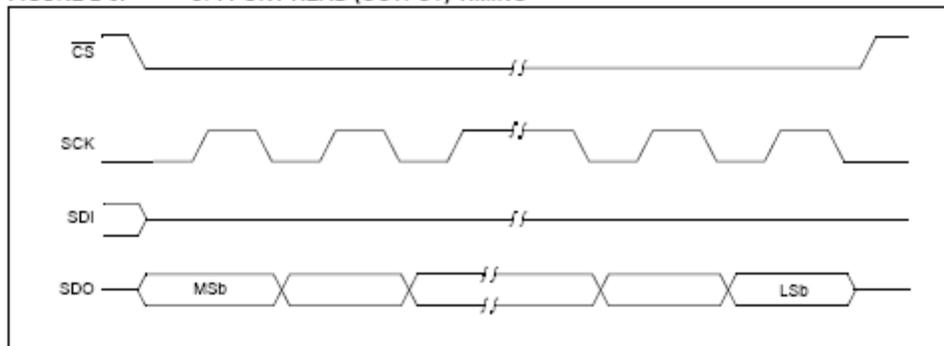


FIGURE 2-5: SPI PORT READ (OUTPUT) TIMING



MRF24J40

2.14.1 SHORT ADDRESS REGISTER INTERFACE

The short address memory space contains control registers with a 6-bit address range of 0x00 to 0x3F. Figure 2-7 shows a short address read and Figure 2-8 shows a short address write. The 8-bit SPI transfer

begins with a '0' to indicate a short address transaction. It is followed by the 6-bit register address, Most Significant bit (MSb) first. The 8th bit indicates if it is a read ('0') or write ('1') transaction.

FIGURE 2-7: SHORT ADDRESS READ

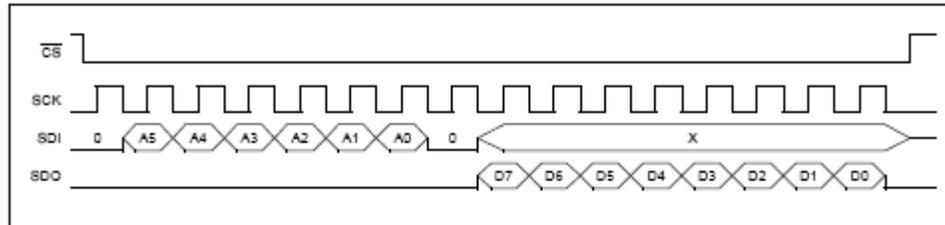
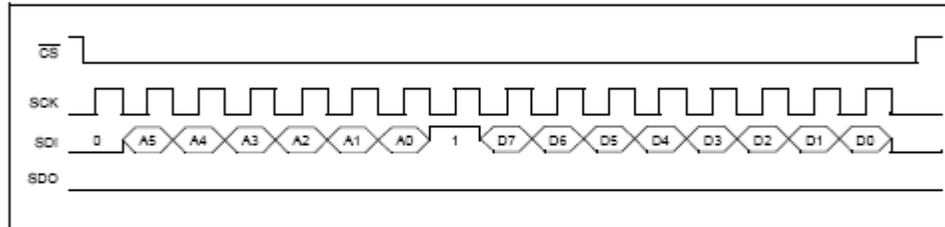


FIGURE 2-8: SHORT ADDRESS WRITE



MRF24J40

2.14.2 LONG ADDRESS REGISTER INTERFACE

The long address memory space contains control registers and FIFOs with a 10-bit address range of 0x000 to 0x38F. Figure 2-9 shows a long address read and Figure 2-10 shows a long address write. The 12-bit

SPI transfer begins with a '1' to indicate a long address transaction. It is followed by the 10-bit register address, Most Significant bit (MSb) first. The 12th bit indicates if it is a read ('0') or write ('1') transaction.

FIGURE 2-9: LONG ADDRESS READ

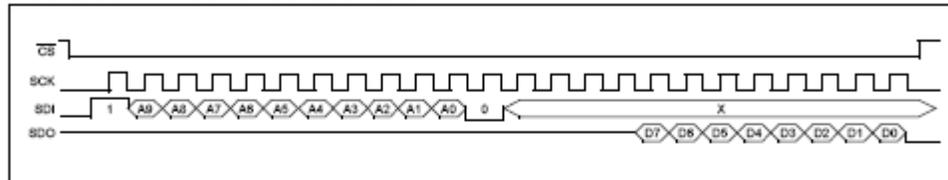
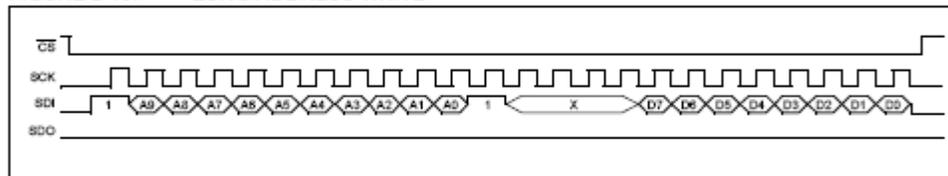


FIGURE 2-10: LONG ADDRESS WRITE



MRF24J40

3.2 Initialization

Certain control register values must be initialized for basic operations. These values differ from the Power-on Reset values and provide improved operational parameters. These settings are normally made once after a Reset. After initialization, MRF24J40 features can be configured for the application. The steps for initialization are shown in Example 3-1.

EXAMPLE 3-1: INITIALIZING THE MRF24J40

Example steps to initialize the MRF24J40:

1. SOFTRST (0x2A) = 0x07 – Perform a software Reset. The bits will be automatically cleared to '0' by hardware.
2. PACON2 (0x18) = 0x98 – Initialize FIFOEN = 1 and TXONTS = 0x8.
3. TXSTBL (0x2E) = 0x95 – Initialize RFSTBL = 0x9.
4. RFCON0 (0x200) = 0x03 – Initialize RFOPT = 0x03.
5. RFCON1 (0x201) = 0x01 – Initialize VCOOPT = 0x02.
6. RFCON2 (0x202) = 0x80 – Enable PLL (PLLEN = 1).
7. RFCON6 (0x206) = 0x90 – Initialize TXFIL = 1 and 20MRECVR = 1.
8. RFCON7 (0x207) = 0x80 – Initialize SLPCLKSEL = 0x2 (100 kHz Internal oscillator).
9. RFCON8 (0x208) = 0x10 – Initialize RFVCO = 1.
10. SLPCON1 (0x220) = 0x21 – Initialize CLKOUTEN = 1 and SLPCLKDIV = 0x01.

Configuration for nonbeacon-enabled devices (see Section 3.8 "Beacon-Enabled and Nonbeacon-Enabled Networks"):

11. BBREG2 (0x3A) = 0x80 – Set CCA mode to ED.
12. CCAEDTH = 0x60 – Set CCA ED threshold.
13. BBREG6 (0x3E) = 0x40 – Set appended RSSI value to RXFIFO.
14. Enable interrupts – See Section 3.3 "Interrupts".
15. Set channel – See Section 3.4 "Channel Selection".

Note: Maintain 0x200<3:0> = 0x03

16. Set transmitter power - See "REGISTER 2-62: RF CONTROL 3 REGISTER (ADDRESS: 0x203)".
17. RFCTL (0x38) = 0x04 – Reset RF state machine.
18. RFCTL (0x38) = 0x00.
19. Delay at least 192 μ s.

TABLE 3-2: REGISTERS ASSOCIATED WITH INITIALIZATION

Addr.	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0x18	PACON2	FIFOEN	r	TXONTS3	TXONTS2	TXONTS1	TXONTS0	TXONT8	TXONT7
0x2A	SOFTRST	r	r	r	r	r	RSTPWR	RSTBB	RSTMAC
0x2E	TXSTBL	RFSTBL3	RFSTBL2	RFSTBL1	RFSTBL0	MSIFS3	MSIFS2	MSIFS1	MSIFS0
0x201	RFCON1	VCOOPT7	VCOOPT6	VCOOPT5	VCOOPT4	VCOOPT3	VCOOPT2	VCOOPT1	VCOOPT0
0x202	RFCON2	PLLEN	r	r	r	r	r	r	r
0x206	RFCON6	TXFIL	r	r	20MRECVR	BATEN	r	r	r
0x207	RFCON7	SLPCLKSEL1	SLPCKSEL0	r	r	r	r	r	r
0x208	RFCON8	r	r	r	RFVCO	r	r	r	r
0x220	SLPCON1	r	r	CLKOUTEN	SLPCLKDIV4	SLPCLKDIV3	SLPCLKDIV2	SLPCLKDIV1	SLPCLKDIV0

MRF24J40

3.11 Reception

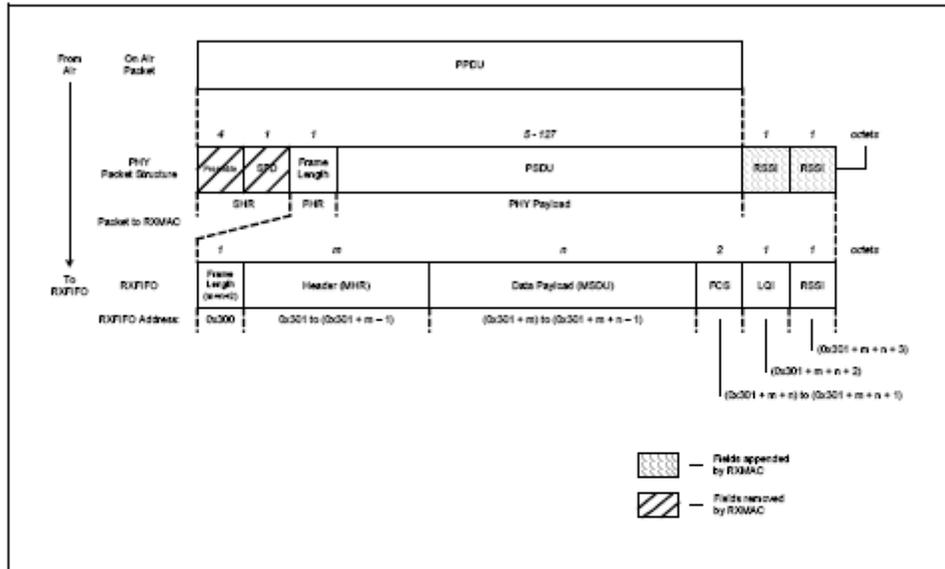
An IEEE 802.15.4 compliant packet is prefixed with a Synchronization Header (SHR) containing the preamble sequence and Start-of-Frame Delimiter (SFD) fields. The preamble sequence enables the receiver to achieve symbol synchronization.

The MRF24J40 monitors incoming signals and looks for the preamble of IEEE 802.15.4 packets. When a valid synchronization is obtained, the entire packet is

demodulated and the CRC is calculated and checked. The packet is accepted or rejected depending on the reception mode and frame filter, and placed in the RXFIFO buffer. When the packet is placed in the RXFIFO, a Receive Interrupt (RXIF 0x31<3>) is issued. The RXFIFO address mapping is shown in Figure 3-9.

The following sections detail the reception operation of the MRF24J40.

FIGURE 3-9: PACKET RECEPTION



MRF24J40

The RXFIFO is a 128-byte dual port buffer. The RXMAC circuitry places the packet into the RXFIFO sequentially, byte by byte, using an internal pointer. The internal pointer is reset one of three ways:

1. When the host microcontroller reads the first byte of the packet.
2. Manually by setting the RXFLUSH (0x0D<0>) bit. The bit is automatically cleared to '0' by hardware.
3. Software Reset (see Section 3.1 "Reset" for more information).

The RXFIFO can only hold one packet at a time. It is highly recommended that the host microcontroller read the entire RXFIFO without interruption so that received packets are not missed.

Note: When the first byte of the RXFIFO is read, the MRF24J40 is ready to receive the next packet. To avoid receiving a packet while the RXFIFO is being read, set the Receive Decode Inversion (RXDECINV) bit (0x39<2>) to '1' to disable the MRF24J40 from receiving a packet off the air. Once the data is read from the RXFIFO, the RXDECINV should be cleared to '0' to enable packet reception.

Example 3-2 shows example steps to read the RXFIFO.

EXAMPLE 3-2: STEPS TO READ RXFIFO

Example steps to read the RXFIFO:

1. Receive RXIF interrupt.
2. Disable host microcontroller interrupts.
3. Set RXDECINV = 1; disable receiving packets off air.
4. Read address, 0x300; get RXFIFO frame length value.
5. Read RXFIFO addresses, 0x301 through (0x300 + Frame Length + 2); read packet data plus LQI and RSSI.
6. Clear RXDECINV = 0; enable receiving packets.
7. Enable host microcontroller interrupts.

3.11.5 SECURITY

If the received packet has the security enabled bit set to '1' (bit 3 of the frame control field; refer to IEEE 802.15.4 Standard, Section 7.2.1.1 "Frame Control Field") a

Security Interrupt (SECIF 0x31<4>) is issued. The host microcontroller can then decide to decrypt or ignore the packet. See Section 3.17 "Security" for more information.

TABLE 3-15: REGISTERS ASSOCIATED WITH RECEPTION

Addr.	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0x00	RXMCR	r	r	NOACKRSP	r	PANCOORD	COORD	ERRPKT	PROMI
0x0D	RXFLUSH	r	WAKEPOL	WAKEPAD	r	CMDONLY	DATAONLY	BCNONLY	RXFLUSH
0x2A	SOFRST	r	r	r	r	r	RSTPWR	RSTBS	RSTMAC
0x31	INSTAT	SLPIF	WAKEIF	HSYMTMRIF	SECIF	RXIF	TXG2IF	TXG1IF	TXNIF
0x32	INTCON	SLPIE	WAKEIE	HSYMTMRIE	SECIE	RXIE	TXG2IE	TXG1IE	TXNIE
0x39	BBREG1	r	r	r	r	r	RXDECINV	r	r

MRF24J40

3.12 Transmission

IEEE 802.15.4 Standard defines four frame types: Acknowledgment, Data, Beacon and MAC Command frame. The transmission of the Acknowledgment frame is handled automatically in hardware by the MRF24J40 and is covered in Section 3.13 "Acknowledgement". Hardware management of the transmission of data, beacon and MAC command frames are handled in four transmit (TX) FIFOs.

Each TX FIFO has a specific purpose depending on if the MRF24J40 is configured for Beacon or Non-beacon-Enabled mode. Configuring the MRF24J40 for beacon-enabled network operation is covered in Section 3.8.1 "Beacon-Enabled Network". Configuring the MRF24J40 for nonbeacon-enabled network operation is covered in Section 3.8.2 "Nonbeacon-Enabled Network".

The four TX FIFOs are:

TX Normal FIFO – Used for the transmission of data and MAC command frames during the Contention Access Phase (CAP) of the superframe if the device is operating in Beacon-Enabled mode and for all transmissions when the device is operating in Nonbeacon-Enabled mode.

TX Beacon FIFO – Used for the transmission of the beacon frames.

TX GTS1 FIFO and TX GTS2 FIFO – Used for the transmission of data during the Contention Free Period (CFP) of the superframe if the device is operating in Beacon-Enabled mode. Refer to Section 3.8.1 "Beacon-Enabled Network" for more information about guaranteed time slots in Beacon-Enabled mode.

Figure 3-10 summarizes the memory map for each of the TX FIFOs. Each TX FIFO occupies 128 bytes of memory and can hold one frame at a time.

Figure 3-11 shows the flow of data from the TX FIFO to on air packet and summarizes the data, beacon and MAC command frames.

FIGURE 3-10: MEMORY MAP OF TX FIFOs

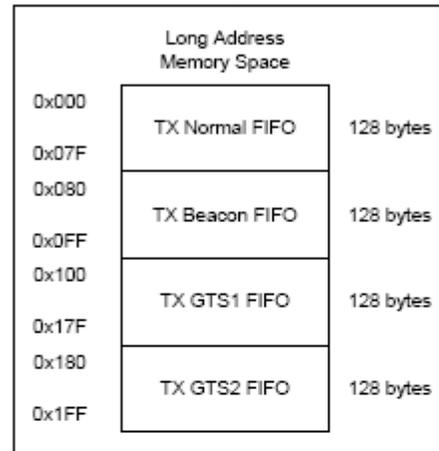
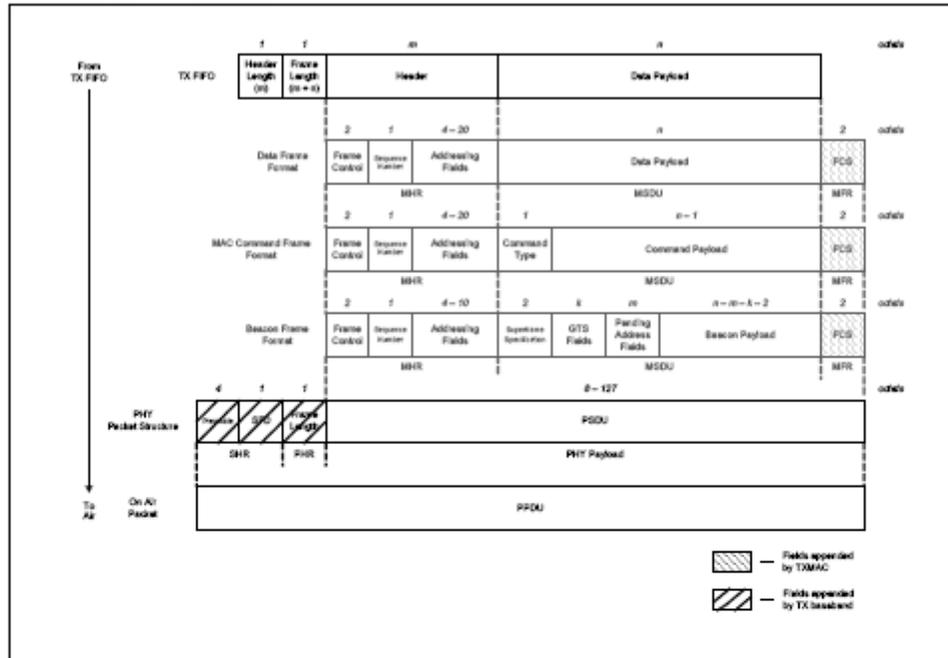


FIGURE 3-11: PACKET TRANSMISSION



MRF24J40

3.12.1 TX FIFOs FRAME STRUCTURE

The TX FIFOs are divided into four fields:

Header length – Used primarily in Security mode and contains the length, in octets (bytes), of the MAC Header (MHR). In Unsecure mode, this field is ignored.

Note: The header length field as implemented in the MRF24J40 is 5-bits long. Therefore, the header length maximum value is 31 octets (bytes).

Frame length – Contains the length, in octets (bytes), of the MAC Header (MHR) and data payload.

Header – Contains the MAC Header (MHR).

Payload – Contains the data payload.

When the individual TX FIFO is triggered, the MRF24J40 will handle transmitting the packet using the CSMA-CA algorithm, Acknowledgment of the packet (optional), retransmit if Acknowledgment not received within required time period and interframe spacing. The MRF24J40 will add the Synchronization Header (SHR), PHY Header (PHR) and Frame Check Sequence (FCS) automatically. If a packet is to be

transmitted using in-line security, the Message Integrity Code (MIC) will be appended in the data payload by the MRF24J40. Refer to Section 3.17 "Security" for more information about transmitting and receiving data in Security mode. In Beacon-Enabled mode, the MRF24J40 will handle superframe timing, transmission of the beacon and data packets during CAP and CFP.

3.12.2 TX NORMAL FIFO

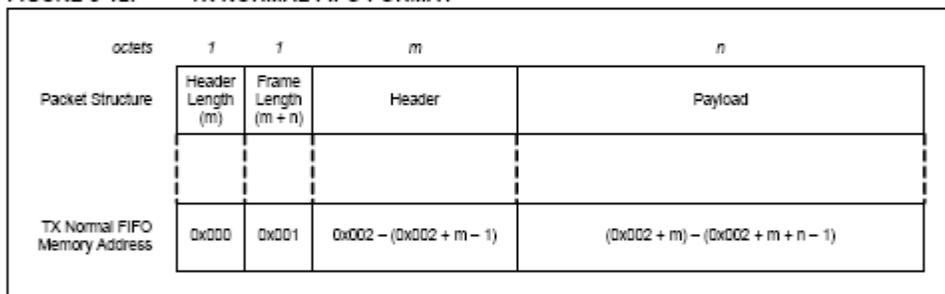
In Beacon-Enabled mode, the TX Normal FIFO is used for the transmission of data and MAC command frames during the Contention Access Phase (CAP) of the superframe.

In Nonbeacon-Enabled mode, the TX Normal FIFO is used for all transmissions.

To transmit a packet in the TX Normal FIFO, perform the following steps:

1. The host processor loads the TX Normal FIFO with IEEE 802.15.4 compliant data or MAC command frame using the format shown in Figure 3-12.

FIGURE 3-12: TX NORMAL FIFO FORMAT



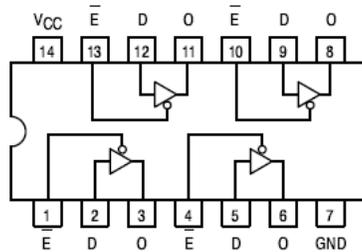
2. If the packet requires an Acknowledgment, the Acknowledgment request bit in the frame control field should be set to '1' in the MAC Header (MHR) when the host microcontroller loads the TX Normal FIFO, and set the TXNACKREQ (TXNCON 0x1B<2>) bit = 1. Refer to Section 3.13 "Acknowledgment" for more information about Acknowledgment configuration.
3. If the frame is to be encrypted, the security enabled bit in the frame control field should be set to '1' in the MAC Header (MHR) when the host microcontroller loads the TX Normal FIFO, and set the TXNSECEN (TXNCON 0x1B<1>) bit = 1. Refer to Section 3.17 "Security" for more information about Security modes.
4. Transmit the packet by setting the TXNTRIG (TXNCON 0x1B<0>) bit = 1. The bit will be automatically cleared by hardware.
5. A TXNIF (INTSTAT 0x31<0>) interrupt will be issued. The TXNSTAT (TXSTAT 0x24<0>) bit indicates the status of the transmission:
 TXNSTAT = 0: Transmission was successful
 TXNSTAT = 1: Transmission failed, retry count exceeded

 The number of retries of the most recent transmission is contained in the TXNRETRY (TXSTAT 0x24<7:6>) bits. The CCAFAIL (TXSTAT 0x24<5>) bit = 1 indicates if the failed transmission was due to the channel busy (CSMA-CA timed out).

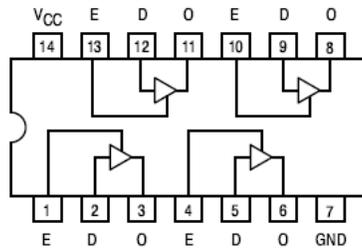
2. Datos relevantes del fabricante del buffer triestado 74LS125



QUAD 3-STATE BUFFERS



LS125A



LS126A

TRUTH TABLES

LS125A			LS126A		
INPUTS		OUTPUT	INPUTS		OUTPUT
E	D		E	D	
L	L	L	H	L	L
L	H	H	H	H	H
H	X	(Z)	L	X	(Z)

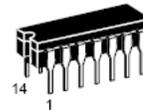
L = LOW Voltage Level
H = HIGH Voltage Level
X = Don't Care
(Z) = High Impedance (off)

GUARANTEED OPERATING RANGES

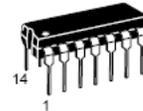
Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
VCC	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I _{OH}	Output Current — High	54 74			-1.0 -2.6	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54 74			12 24	mA

SN54/74LS125A
SN54/74LS126A

QUAD 3-STATE BUFFERS
LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 632-08



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 646-06



D SUFFIX
SOIC
CASE 751A-02

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ Ceramic
SN74LSXXXN Plastic
SN74LSXXXD SOIC

SN54/74LS125A • SN54/74LS126A

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V _{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.4		V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table
		74	2.4		V	
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74	0.25	0.4	V	I _{OL} = 12 mA V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
		74	0.35	0.5	V	
I _{OZH}	Output Off Current HIGH			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{OUT} = 2.4 V
I _{OZL}	Output Off Current LOW			-20	μA	V _{CC} = MAX, V _{OUT} = 0.4 V
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)	-40		-225	mA	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current	LS125A		20	mA	V _{CC} = MAX V _{IN} = 0 V, V _E = 4.5 V
		LS126A		22		

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t _{PLH}	Propagation Delay, Data to Output	LS125A	9.0	15	ns	Figure 2 V _{CC} = 5.0 V C _L = 45 pF R _L = 667 Ω
t _{PLH}		LS126A	9.0	15		
t _{PHL}		LS125A	7.0	18		
t _{PHL}		LS126A	8.0	18		
t _{PZH}	Output Enable Time to HIGH Level	LS125A	12	20	ns	Figures 4, 5
		LS126A	16	25		
t _{PZL}	Output Enable Time to LOW Level	LS125A	15	25	ns	Figures 3, 5
		LS126A	21	35		
t _{PHZ}	Output Disable Time from HIGH Level	LS125A		20	ns	Figures 4, 5
		LS126A		25		
t _{PLZ}	Output Disable Time from LOW Level	LS125A		20	ns	Figures 3, 5
		LS126A		25		

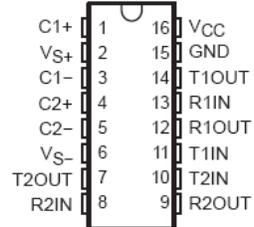
3. Datos relevantes del fabricante del driver MAX232

MAX232, MAX2321 DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L – FEBRUARY 1989 – REVISED MARCH 2004

- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operates From a Single 5-V Power Supply With 1.0- μ F Charge-Pump Capacitors
- Operates Up To 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- \pm 30-V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- ESD Protection Exceeds JESD 22
 - 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Upgrade With Improved ESD (15-kV HBM) and 0.1- μ F Charge-Pump Capacitors is Available With the MAX202
- Applications
 - TIA/EIA-232-F, Battery-Powered Systems, Terminals, Modems, and Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
MAX2321 . . . D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply TIA/EIA-232-F voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts TIA/EIA-232-F inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V, a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept \pm 30-V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into TIA/EIA-232-F levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

ORDERING INFORMATION

T _A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING	
0°C to 70°C	PDIP (N)	Tube of 25	MAX232N	MAX232N	
		Tube of 40	MAX232D	MAX232	
	SOIC (D)	Reel of 2500	MAX232DR		
		SOIC (DW)	Tube of 40	MAX232DW	MAX232
			Reel of 2000	MAX232DWR	
SOP (NS)	Reel of 2000	MAX232NSR	MAX232		
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube of 25	MAX232IN	MAX232IN	
		Tube of 40	MAX232ID	MAX232I	
	SOIC (D)	Reel of 2500	MAX232IDR		
		SOIC (DW)	Tube of 40	MAX232IDW	MAX232I
			Reel of 2000	MAX232IDWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

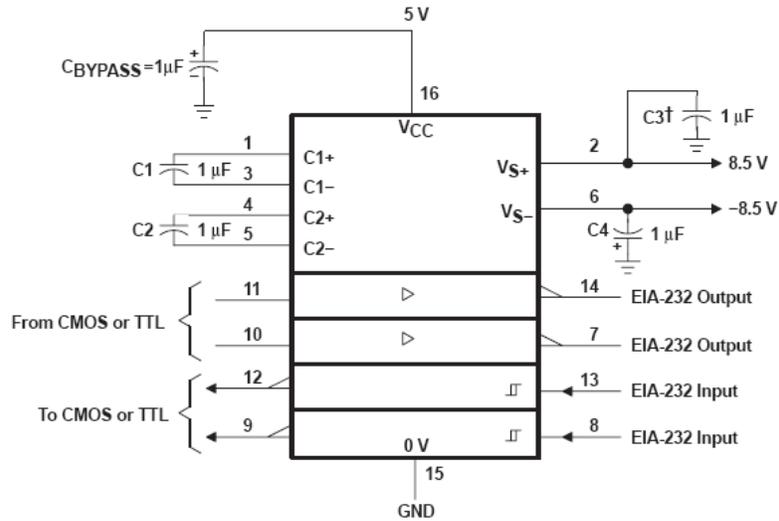
Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

1

MAX232, MAX232I
DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L - FEBRUARY 1989 - REVISED MARCH 2004

APPLICATION INFORMATION



† C3 can be connected to V_{CC} or GND.

NOTES: A. Resistor values shown are nominal.

B. Nonpolarized ceramic capacitors are acceptable. If polarized tantalum or electrolytic capacitors are used, they should be connected as shown. In addition to the 1-μF capacitors shown, the MAX202 can operate with 0.1-μF capacitors.

Figure 4. Typical Operating Circuit



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

4. Datos relevantes del fabricante del regulador LF33CV



**LF00
SERIES**

VERY LOW DROP VOLTAGE REGULATORS WITH INHIBIT

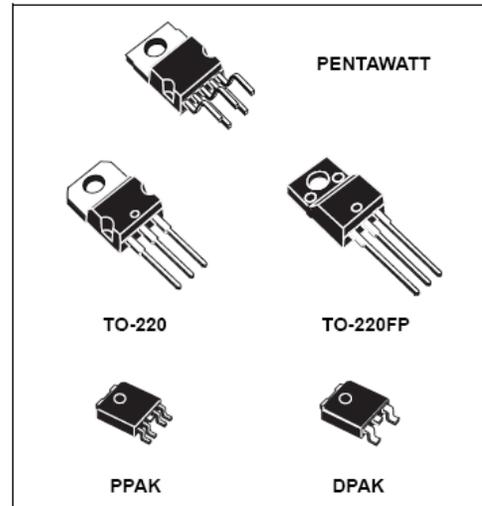
- VERY LOW DROPOUT VOLTAGE (0.45V)
- VERY LOW QUIESCENT CURRENT (TYP. 50 μ A IN OFF MODE, 500 μ A IN ON MODE)
- OUTPUT CURRENT UP TO 500 mA
- LOGIC-CONTROLLED ELECTRONIC SHUTDOWN
- OUTPUT VOLTAGES OF 1.25; 1.5; 1.8; 2.5; 2.7; 3; 3.3; 3.5; 4; 4.5; 4.7; 5; 5.2; 5.5; 6; 8; 8.5; 9; 12V
- INTERNAL CURRENT AND THERMAL LIMIT
- ONLY 2.2 μ F FOR STABILITY
- AVAILABLE IN \pm 1% (AB) OR \pm 2% (C) SELECTION AT 25 °C
- SUPPLY VOLTAGE REJECTION: 80db (TYP.)
- TEMPERATURE RANGE: -40 TO 125 °C

DESCRIPTION

The LF00 series are very Low Drop regulators available in PENTAWATT, TO-220, TO-220FP, DPAK and PPAK package and in a wide range of output voltages.

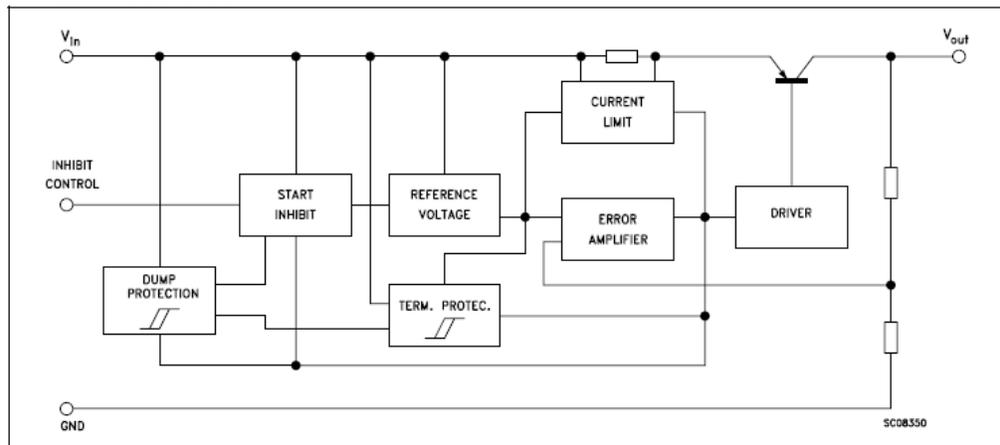
The very Low Drop voltage (0.45V) and the very low quiescent current make them particularly suitable for Low Noise, Low Power applications and specially in battery powered systems.

In the 5 pins configuration (PENTAWATT and PPAK) a Shutdown Logic Control function is available (pin 2, TTL compatible). This means that



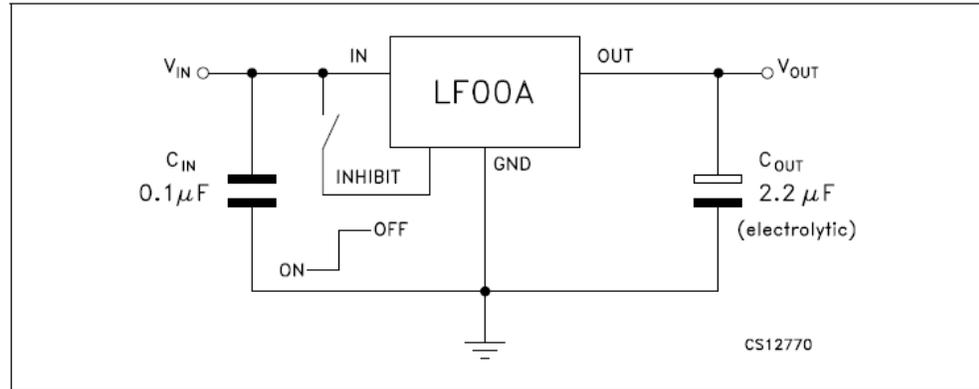
when the device is used as a local regulator, it is possible to put a part of the board in standby, decreasing the total power consumption. In the three terminal configuration the device has the same electrical performance, but is fixed in the ON state. It requires only a 2.2 μ F capacitor for stability allowing space and cost saving.

SCHEMATIC DIAGRAM



LF00 SERIES

TEST CIRCUITS



ELECTRICAL CHARACTERISTICS FOR LF12AB (refer to the test circuits, $T_j = 25^\circ\text{C}$, $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$, $C_0 = 2.2 \mu\text{F}$ unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$I_O = 50 \text{ mA}$, $V_I = 3.3 \text{ V}$	1.238	1.25	1.263	V
		$I_O = 50 \text{ mA}$, $V_I = 3.3 \text{ V}$, $T_a = -25 \text{ to } 85^\circ\text{C}$	1.225		1.275	
V_I	Operating Input Voltage	$I_O = 500 \text{ mA}$	2.5		16	V
I_O	Output Current Limit			1		A
ΔV_O	Line Regulation	$V_I = 2.5 \text{ to } 16 \text{ V}$, $I_O = 5 \text{ mA}$		2	10	mV
ΔV_O	Load Regulation	$V_I = 2.8 \text{ V}$, $I_O = 5 \text{ to } 500 \text{ mA}$		2	10	mV
I_d	Quiescent Current	$V_I = 2.5 \text{ to } 16 \text{ V}$, $I_O = 0 \text{ mA}$ ON MODE		0.5	1	mA
		$V_I = 2.6 \text{ to } 16 \text{ V}$, $I_O = 500 \text{ mA}$			12	
		$V_I = 6 \text{ V}$ OFF MODE		50	100	μA
SVR	Supply Voltage Rejection	$I_O = 5 \text{ mA}$, $f = 120 \text{ Hz}$		82		dB
		$V_I = 3.5 \pm 1 \text{ V}$, $f = 1 \text{ KHz}$		77		
		$f = 10 \text{ KHz}$		65		
eN	Output Noise Voltage	$B = 10 \text{ Hz to } 100 \text{ KHz}$		50		μV
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 200 \text{ mA}$		1.25		V
V_{IL}	Control Input Logic Low	$T_a = -40 \text{ to } 125^\circ\text{C}$			0.8	V
V_{IH}	Control Input Logic High	$T_a = -40 \text{ to } 125^\circ\text{C}$	2			V
I_I	Control Input Current	$V_I = 6 \text{ V}$, $V_C = 6 \text{ V}$		10		μA
C_O	Output Bypass Capacitance	$\text{ESR} = 0.1 \text{ to } 10 \Omega$, $I_O = 0 \text{ to } 500 \text{ mA}$	2	10		μF