

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA INALÁMBRICO, INTEGRADO A UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL REMOTO VÍA WEB.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela por el
Br. De Abreu Rodríguez Héctor Gonzalo.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA INALÁMBRICO, INTEGRADO A UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL REMOTO VÍA WEB.

Tutor: Ing. José Carrasquel
Prof. Guía: Ing. Rafael Rivero, M Sc.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela por el
Br. De Abreu Rodríguez Héctor Gonzalo.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2009

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

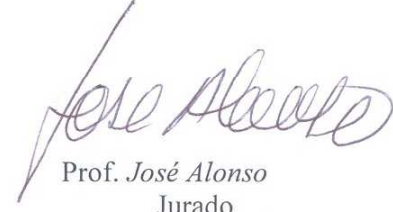
Caracas, 12 de marzo de 2009


Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Héctor De Abreu.

“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA INALÁMBRICO, INTEGRADO A UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL REMOTO VÍA WEB”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Electrónica, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Pedro Pinto
Jurado


Prof. José Alonso
Jurado


Prof. Rafael Rivero
Prof. Guía

DEDICATORIA

Éste trabajo está dedicado principalmente a mi madre quien forjó en mí un carácter capaz de enfrentar las diversas situaciones de la vida, y quien con su amor y dedicación me impulsó al desarrollo y culminación de esta carrera.

A mi hermano y mi hermana quienes estuvieron atentos al desarrollo de este proyecto y me apoyaron en los momentos de dificultad.

A mi novia por su amor y motivación en cada una de las etapas de este proyecto.

Y por último a mi abuela, mis tías y tíos, quienes siempre creyeron en mí y me apoyaron cuando más lo necesité.

Héctor De Abreu

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Principalmente a las personas que estuvieron involucradas directamente en el desarrollo de éste trabajo, el Ingeniero José Carrasquel quien es mi tutor industrial, por su apoyo durante todo el proyecto, al Ingeniero José Alonso quien me propuso el proyecto y me guió en diversas oportunidades, a mi profesor guía el Ingeniero Rafael Rivero, quién aclaró mis ideas y me ayudó en la culminación de este trabajo. A las personas de NETQUATRO, lugar en el cual realicé este proyecto, con mención especial a José Fariña y Jesús Villarroel, quienes me ofrecieron su amistad y me apoyaron en todo momento.

A todos los profesores de la universidad que me motivaron durante la carrera, en especial a: Mercedes Arocha, Pedro Pinto, Manuel Marichal, José Medina, Tamara Pérez, Luis Osorio y Nerio Ojeda.

Y, por supuesto, a mis amigos de la universidad, quiénes estuvieron conmigo durante gran parte de la carrera: Alex Arreaza, Alexis Marcano, Ana De Abreu, Andrés Blanco, Aura Brito, Carmen Martin, Cristian González, Dany Abreu, David Maldonado, Héctor Bolívar, Jacob Pardi, José Andrade, José Díaz, Karina Neto, Mercedes Fontelo, Nohelys España y Víctor Bermúdez, espero poder contar con ustedes por siempre, gracias por todo.

De Abreu R. Héctor G.

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA INALÁMBRICO, INTEGRADO A UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL REMOTO VÍA WEB.

Prof. Guía: Ing. Rafael Rivero. Tutor Industrial: Ing. José Carrasquel. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Electrónica. Institución: NETQUATRO. 2009. 67 h. + Anexos.

Palabras claves: Cadena de frío; Temperatura; Transmisión inalámbrica.

Resumen. Este trabajo tiene como objeto desarrollar un módulo de medición de temperatura, que permita supervisar la etapa de transporte de una cadena de frío. Para lograr el objetivo se realizó una evaluación de los componentes necesarios en el sistema y se seleccionaron los más adecuados para el desarrollo del módulo, partiendo de las premisas de que debe ser inalámbrico, para poder estar acoplado a un sistema de transporte, debe poseer una memoria amplia, para almacenar los datos de las mediciones por largos periodos de tiempo y debe ser autónomo, para mantenerse en funcionamiento con su propia batería en caso de perder la alimentación del transporte. Posteriormente, se agregó un módulo de supervisión (handheld) que permite apreciar gráficamente las mediciones de temperatura en tiempo real de la etapa de transporte de la cadena de frío. Seguidamente se integró el módulo a un sistema de supervisión vía web, con el que es posible apreciar el historial de mediciones de todos los trayectos realizados con el módulo de medición de temperatura.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1 Justificación	4
1.2 Planteamiento del Problema	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Metodología	7
CAPÍTULO II	9
2 PRELIMINARES.....	9
2.1 Protocolo 1-Wire.....	9
2.2 Control de Redundancia Cíclica (CRC).....	9
2.3 Bus SPI	10
2.4 Memoria Flash	10
2.5 Protocolo MODBUS.....	11
2.6 SCADA.....	11
CAPÍTULO III.....	13

3	ARQUITECTURA DEL HARDWARE DEL SISTEMA	13
3.1	Descripción General	13
3.2	Adquisición de Datos.....	15
3.3	Almacenamiento de Datos.....	19
3.4	Transmisión de Datos	22
3.5	Visualización de Datos	23
3.6	Selección del Microcontrolador.....	27
3.7	Adecuación de las Señales.....	32
3.8	Autonomía del dispositivo de medición de temperatura	33
3.9	Montaje.....	37
CAPÍTULO IV.....		41
4	ARQUITECTURA DEL SOFTWARE DEL SISTEMA.....	41
4.1	Descripción General	41
4.2	Software para la medición de temperatura	41
4.3	Manejo de la Memoria.....	45
4.3.1	Escritura y Lectura en memoria externa.....	46
4.4	Protocolo de comunicación.....	48
4.5	Software de visualización de datos.....	53
4.6	Integración WEB	55
CAPÍTULO V.....		57
5	Validación	57
5.1	Diseño de las pruebas	57
5.2	Resultados y análisis de los resultados	58
CONCLUSIONES		64

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura III.1 Estructura del Hardware	14
Figura III.2.1 Estructura del sensor de Temperatura.....	16
Figura III.2.2 Registros de la Medición de Temperatura	18
Figura III.2.3 Estructura del CRC	19
Figura III.3 Diagrama de tiempo del Bus SPI.....	21
Figura III.5.1 Modo de color 12 bits.....	25
Figura III.5.2 Caja de Dibujo del LCD	26
Figura III.5.3 Barrido H. y V. del LCD	27
Figura III.6 Pines del Microcontrolador	30
Figura III.7 Conexión del Bus 1-Wire	33
Figura III.8 Diagrama de conexión del cargador	36
Figura III.9.1 Alimentación de la remota de temperatura.....	38
Figura III.9.2 Conexiones de la remota de temperatura.....	39
Figura III.9.4 Conexiones del handheld.....	40
Figura IV.2.1 Diagrama de flujo software de medición de temperatura.....	42
Figura IV.2.2 Flujo de Datos.....	43
Figura IV.3.1 Diagrama de flujo de escritura en memoria Flash.....	47
Figura IV.4.1 Trama MODBUS	49

Figura IV.4.2 Comunicación exitosa MODBUS	49
Figura IV.4.3 Error en la comunicación MODBUS	50
Figura IV.4.4 Diagrama de flujo recepción MODBUS	52
Figura IV.5.1 Diagrama de flujo del handheld	54
Figura IV.5.2 Arreglo de caracteres	55
Figura V.2.1 Relación Consumo de energía y tiempo	60

LISTA DE TABLAS

Tabla III.2 Memoria del sensor de Temperatura.....	17
Tabla IV.3 Mapa de memoria	45
Tabla IV.4 Funciones y Excepciones.....	51
Tabla V.2.2 Porcentaje de tiempo de cada estado.....	61
Tabla V.2.3 Consumo de Energía	62

INTRODUCCIÓN

La cadena de frío es un sistema en el cual la temperatura se encuentra controlada. Una cadena de frío que se mantiene intacta garantiza al consumidor que el producto de consumo que recibe durante la producción, transporte, almacenamiento y venta no se ha salido de un rango de temperaturas dada. En la industria farmacéutica existe otra definición de la cadena de frío, la cual se enuncia como la serie de elementos y actividades necesarias para garantizar la potencia inmunizante de los medicamentos desde su fabricación hasta la administración de éstas a la población.

El correcto funcionamiento de la cadena de frío marca la diferencia entre por ejemplo, vacunar a la población efectivamente o con biológicos inútiles, esta diferencia puede significar la vida o salud de nuestra población. Lamentablemente la experiencia ha enseñado que la cadena de frío no se ha manejado apropiadamente, lo cual puede llegar a contribuir en el deterioro de los alimentos o medicamentos en forma dramática. Para que estos elementos sean conservados con todas sus características es necesario que sean cuidadosamente manipulados y transportados desde el lugar que los produce hasta el lugar donde son distribuidos.

La mejor forma de asegurar que no se rompe la cadena de frío y que los elementos se encuentran en su estado óptimo, es la supervisión de la temperatura a lo largo del proceso, sobre todo cuando son transportados debido a que en esta etapa es donde existe el mayor riesgo de que se rompa la cadena de frío y que los productos transportados presenten un deterioro en sus características principales.

En este proyecto se empleará un Microcontrolador el cual almacenará los datos provenientes de las mediciones de temperatura durante la etapa de transporte y los transmitirá una vez llegado a su destino, de forma inalámbrica a otros dispositivos

cuya función es colocar los datos en un sitio web y de este modo tener acceso a ellos desde cualquier lugar donde se cuente con acceso a Internet.

Con la implementación de este proyecto se pretende mostrar la factibilidad de incorporar sistemas de medición y almacenamiento de datos inalámbricamente a las tareas de la vida diaria, incrementando así la calidad de los productos de uso cotidiano y la confianza de las personas en dichos productos al conocer que los mismos se encuentran en un estado apto para el consumo.

En el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema, así como también los objetivos generales y específicos del mismo. Además se explica la metodología llevada a cabo para la realización del proyecto.

En el Capítulo II se da una breve descripción de algunos conceptos estudiados preliminarmente y que fueron necesarios para comprender el funcionamiento de los componentes del sistema.

En el Capítulo III se describen detalladamente cada uno de los componentes del hardware del sistema, así como también los requisitos previos que fueron tomados en cuenta para la selección de dichos componentes. En este capítulo además se presenta los parámetros eléctricos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema y por último la realización del montaje del circuito electrónico.

En el Capítulo IV se presentan los algoritmos diseñados para lograr el funcionamiento correcto de los componentes y se describen los aspectos más relevantes del software del sistema.

En el Capítulo V se describen las pruebas realizadas al dispositivo para verificar su correcto funcionamiento y sus limitaciones. Además se presentan los resultados obtenidos de dichas pruebas y por último se presenta un análisis del comportamiento de los dispositivos.

Finalmente se ofrecen una serie de conclusiones y recomendaciones derivadas del funcionamiento y de las pruebas realizadas al sistema de medición de temperatura inalámbrica.

CAPÍTULO I

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Justificación

En los últimos años, las comunicaciones inalámbricas han experimentado un crecimiento bastante acelerado. Aunque la tendencia ha sido liderada por las redes de datos inalámbricas basadas en Internet, existe también una demanda importante por aplicaciones donde la transferencia de datos son menores, como lo son los sistemas de control y supervisión de procesos. La cadena de frío forma parte de uno de los procesos en los que resulta importante la supervisión y el control para prevenir que las temperaturas excedan de los rangos permitidos.

La cadena de frío se define como la serie de procesos donde la temperatura debe ser mantenida desde la producción hasta la distribución final del producto. Una cadena de frío que se mantiene intacta garantiza al consumidor que el producto de consumo que recibe durante la producción, transporte, almacenamiento y venta no se ha salido de un rango de temperaturas dada.

Las tres operaciones fundamentales de la cadena de frío son el almacenamiento, el transporte y la distribución. A lo largo de todo el proceso, se hace necesario evitar los intervalos de calor, que en su mayoría ocurren durante la transferencia y transporte de los productos. Para asegurar que durante estos procesos no ocurran eventos que ocasionen graves perjuicios contra el estado percedero de la carga, se hace necesario establecer un sistema de supervisión de temperatura durante la etapa del transporte. La mayoría de las empresas ligadas al mercado de cargas frescas y congeladas realizan una supervisión de la temperatura de forma manual, es decir, comprueban las mediciones de temperatura al momento de recepción y entrega

de la carga mientras que las mediciones de temperatura durante la etapa del transporte no son tomadas en cuenta, por lo que no se asegura la inexistencia de variaciones en la frágil y fácilmente alterable cadena de frío.

1.2 Planteamiento del Problema

Se necesita desarrollar un dispositivo que permita almacenar continuamente las muestras de temperatura de un camión de distribución refrigerado a lo largo de un trayecto, para ello se realizará una investigación del funcionamiento de los componentes que deberá contener el dispositivo, así como también, se estudiarán las necesidades que posee el mercado en cuanto a movilidad, eficiencia, precisión, entre otras cosas de los dispositivos de medición de temperatura para lograr mantener en estado correcto la cadena de frío. Al tratarse de la etapa de transporte, se hace necesario que tenga capacidad de descargar inalámbricamente los datos almacenados al final del traslado con el propósito de conocer el comportamiento de la temperatura durante el viaje. Así mismo, los conductores del transporte deben estar atentos en todo momento a las posibles variaciones de temperatura en la carga y ante operaciones fuera del rango establecido para que se puedan tomar las previsiones del caso a tiempo. La supervisión por parte de los conductores se puede lograr mediante un dispositivo (handheld) que permite observar las variaciones y las alertas del sistema mediante una lectura inalámbrica de la temperatura instantánea. Finalmente, para comprobar los resultados obtenidos se realizarán pruebas del funcionamiento del dispositivo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar e implementar un dispositivo de medición de temperatura acoplado a un sistema de transporte, con capacidad de comunicación inalámbrica, almacenamiento en memoria y autonomía por un tiempo determinado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar y describir las diferentes formas de medición de temperatura, así como también las necesidades en el mercado en cuanto a movilidad, eficiencia, precisión de los dispositivos de medición.
- Investigar y describir las técnicas para la adquisición, procesamiento y transmisión de los datos provenientes de la medición de temperatura.
- Describir y desarrollar algoritmos para implementar la adquisición, procesamiento y transmisión de los datos provenientes de la medición de temperatura.
- Evaluar los resultados obtenidos con dichos algoritmos.
- Desarrollar un dispositivo inalámbrico de medición de temperatura autónomo con capacidad de duración de al menos un mes sin una fuente de energía externa.
- Desarrollar e implementar un dispositivo inalámbrico que permita la supervisión de las mediciones (handheld).
- Integrar el dispositivo de medición de temperatura a un sistema de supervisión remoto vía Web.

1.4 Metodología

Fase I: Estudios Preliminares.

En esta etapa se recopiló información mediante referencias bibliográficas, informes, publicaciones, Internet y otros medios informativos actualizados, relacionados con medición de temperatura, transmisión y recepción inalámbrica, protocolo de transmisión 1-wire, protocolo SPI, Protocolo MODBUS, así como principios básicos, arquitectura y programación de microcontroladores PIC.

Fase II: Análisis y Programación.

En esta fase, se realizó un asentamiento de la información obtenida, se determinaron los componentes a ser utilizados y se comenzó con la programación del software del dispositivo y simulación del mismo. Se realizaron pruebas del funcionamiento y optimización de los algoritmos y se calibraron los componentes que así lo requerían.

Fase III: Implementación.

Se procedió a realizar el hardware del dispositivo, se diseñó la huella para el montaje del circuito electrónico, se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento tanto del dispositivo de medición de temperatura como del dispositivo de supervisión (Handheld) para comprobar el correcto funcionamiento del hardware.

Fase IV: Pruebas de Comprobación.

En esta fase se realizaron pruebas de la transmisión y recepción inalámbrica, del correcto funcionamiento del termómetro, la autonomía de la batería, el almacenamiento en memoria, se calibró el reloj de tiempo real y se verificó el funcionamiento del sistema en conjunto por ciertos periodos de tiempo.

Fase V: Informe Final.

En esta etapa se elaboró el informe final y se sustentaron las características del dispositivo de medición de temperatura inalámbrico integrado a un sistema de supervisión y control vía web.

CAPÍTULO II

2 PRELIMINARES

2.1 Protocolo 1-Wire

El protocolo 1-Wire es un protocolo de comunicaciones en serie el cual está basado en un bus, un maestro y varios esclavos [MAXIM, 2008]. Éste protocolo usa solo una línea para la comunicación entre el maestro y los esclavos, además de la alimentación y la tierra común para todos los dispositivos. Para iniciar la comunicación por medio del bus, es necesario reiniciar el mismo, seguidamente es posible seleccionar el dispositivo esclavo con el cual se desea comunicar por medio de comandos. Al solo poseer una línea para los datos, la comunicación se realiza manteniendo la línea de datos en 0 lógico durante un tiempo determinado. El tiempo que se mantenga la línea de datos en 0 lógico determinará si se está enviando un 1 ó un 0 lógico. Las ventajas de usar el protocolo 1-Wire son las siguientes:

- Una sola línea es suficiente para realizar la comunicación.
- Soporte para múltiples dispositivos en una misma línea.
- Capacidad para funcionar en modo parásito, los dispositivos esclavos se alimentan del bus de señales.

2.2 Control de Redundancia Cíclica (CRC)

El Control de Redundancia Cíclica, es un código que se utiliza como un detector de errores en una trama de comunicación, este código es uno de los más usados para detección de errores y se puede calcular para cualquier cantidad de bits

obteniendo siempre una cantidad de bits constantes, lo que quiere decir que dos tramas de datos distintas pueden tener el mismo CRC, y no debe ser confundido con codificación de datos [Stallings, 2007].

2.3 Bus SPI

El bus SPI o Serial Peripheral Interface por sus siglas en inglés, es una interfaz que posee como principal característica el uso de 4 líneas para la comunicación del dispositivo. Las señales presentes en el bus SPI son: entrada de datos, salida de datos, señal de reloj y selección del dispositivo. La comunicación es posible mediante el uso del reloj como una señal de sincronismo y la transmisión y recepción de los datos se hace mediante cada flanco de subida o bajada del reloj. [Embedded, 2008] Las ventajas del uso del bus SPI son las siguientes:

- Alta velocidad de transmisión.
- La comunicación no está limitada a bloques de 1 byte.
- Las señales de reloj, entrada de datos y salida datos pueden ser compartidas con múltiples dispositivos.

2.4 Memoria Flash

Son un tipo de memoria no volátil la cual se presenta como una evolución de las memorias EEPROM, que permiten que múltiples posiciones de memoria sean escritas o borradas en una misma operación mediante impulsos eléctricos. Por esta razón, este tipo de memorias funcionan a velocidades muy superiores cuando los sistemas emplean lectura y escritura al mismo tiempo. [Wikipedia, 2008]

Las memorias Flash se caracterizan por ser pequeñas y livianas. Por otra parte permiten un número limitado de escritura y borrado generalmente de 100 mil a un millón de veces.

2.5 Protocolo MODBUS

MODBUS es un protocolo de comunicaciones basado en la arquitectura maestro-esclavo o cliente-servidor. [MODBUS IDA, 2004] Este protocolo fue convertido en el estándar de comunicaciones en la industria y es el más usado para la conexión de dispositivos electrónicos industriales. Las ventajas del uso del protocolo MODBUS frente a otros protocolos de comunicación son:

- Es público.
- Su implementación es fácil y requiere poco desarrollo.
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones.

MODBUS permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo un sistema de medición de temperatura y humedad, y comunicar los resultados a una computadora. Además se usa para la conexión entre computadoras con unidades remotas en sistemas de supervisión y adquisición de datos.

2.6 SCADA

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), es una aplicación de software diseñada para la adquisición de datos, supervisión y posterior control de los mismos. Los sistemas SCADA, proporcionan una vía de comunicación entre un software de computadora y dispositivos de campo. Los sistemas SCADA también se

refieren a una combinación entre telemetría y adquisición de datos. **[Bailey, Wright, 2003]**.

La ventaja del uso de los sistemas SCADA son las siguientes:

- Las computadoras pueden almacenar una gran cantidad de datos.
- Los datos pueden ser visualizados de muchas formas según los requisitos del usuario.
- Se pueden agregar una gran cantidad de sensores al sistema.
- Se puede agregar simulaciones con datos reales en el sistema.
- Los datos almacenados pueden ser vistos desde cualquier lugar, no exclusivamente donde son adquiridos.

CAPÍTULO III

3 ARQUITECTURA DEL HARDWARE DEL SISTEMA

3.1 Descripción General

Antes de iniciar la descripción de las características del dispositivo, es necesario establecer los requisitos mínimos con los cuales debe cumplir:

- **Robusto:** El dispositivo debe soportar el movimiento del transporte en el cual se encuentre ubicado, debe ser capaz de mantenerse en funcionamiento aún sin una fuente de alimentación externa durante un tiempo determinado, debe almacenar los datos tomados de la medición de temperatura al menos hasta que sean transmitidos a un receptor remoto.
- **Extensible:** El dispositivo debe ser capaz de aceptar futuras ampliaciones sin variar el funcionamiento del mismo, como por ejemplo, un módulo de medición y supervisión de humedad inalámbrica.
- **Universal:** El dispositivo de medición de temperatura puede ser ajustado para funcionar en diferentes lugares, con varios formatos de temperatura y con diferentes periodos de medición sin alterar significativamente el código del programa.
- **Confiable:** El dispositivo debe garantizar una medición correcta de temperatura, además de realizar las mediciones constantemente según el tiempo programado durante todo el trayecto con valores que se mantengan dentro de un porcentaje de error estimado.

El dispositivo de medición de temperatura consta de dos módulos uno de adquisición y otro de monitoreo, el primero se encarga de la adquisición y almacenamiento de las mediciones tomadas y permite descargar los datos inalámbricamente, mientras que el segundo se ocupa de ofrecer al usuario la posibilidad de visualizar los datos adquiridos por el módulo anterior en tiempo real, además de indicar si en algún momento la temperatura excedió el rango permitido. Es importante destacar que el segundo módulo no almacena la información de las mediciones, solo realiza lecturas directamente de los datos almacenados en la memoria del primer módulo. En la Figura III.1 se puede observar un diagrama de bloques del sistema.

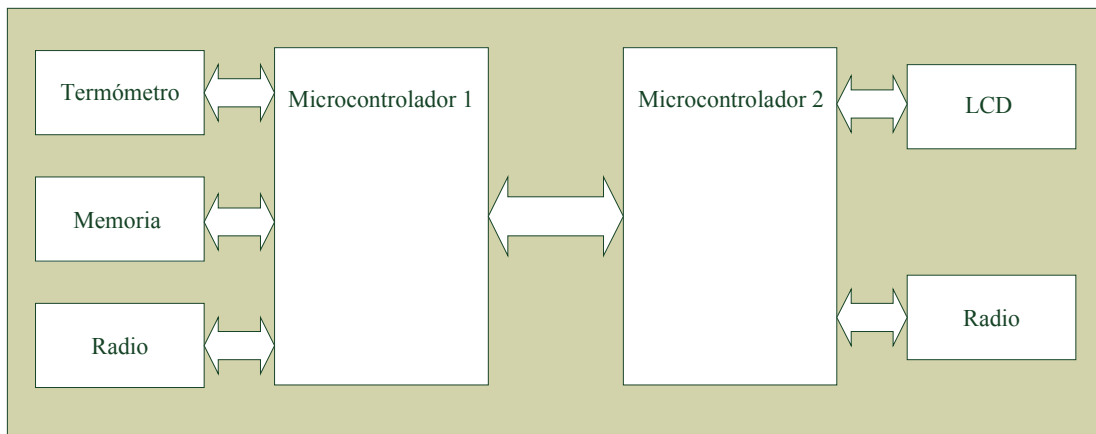


Figura III.1 Estructura del Hardware

El Microcontrolador 1 en conjunto con el termómetro, la memoria y el radio forman parte del primer módulo. De igual forma, el Microcontrolador 2 forma parte del segundo módulo en conjunto con el radio y la pantalla LCD. La comunicación entre los módulos es en todos los casos inalámbrica y bidireccional.

3.2 Adquisición de Datos

La adquisición de los datos de las mediciones de temperatura se hace a través de un sensor de temperatura digital. Los sensores de temperatura digitales incorporan un microchip que actúa en el circuito electrónico y es sensible a las variaciones de temperatura ofreciendo lectura directa de la misma.

La medición de temperatura se realiza mediante el termómetro digital DS1820, el cual es un componente de la casa MAXIM que realiza la comunicación mediante el protocolo 1-Wire.

La comunicación con el componente DS1820 se logra mediante una secuencia de tres simples pasos: se realiza la inicialización del bus, se envía un comando al dispositivo seleccionado y se indica la función a realizar. La inicialización del bus se realiza con la intención de poner en alerta a todos los dispositivos conectados al bus 1-Wire, una vez realizada esta acción, se envía un comando para referirse a un dispositivo en específico o para solicitar la información de los dispositivos conectados al bus y por último se transmite la función, la cual puede ser lectura o escritura entre otros [MAXIM, 2008].

Las características principales que presenta el dispositivo DS1820 son:

- 9 bits de resolución para la medición de temperatura.
- Rango de medición desde -55°C hasta 125°C.
- Precisión de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ para valores entre -10°C hasta 85°C.
- El tiempo de conversión de temperatura es de 750ms máximo.
- Posibilidad de colocar múltiples dispositivos similares en la misma línea.

- Cada dispositivo posee un código único de 64 bits almacenado en memoria ROM.
- Posibilidad de colocar valores de alarma dentro del dispositivo.

Las características mencionadas anteriormente sirvieron como base para la selección del DS1820 como el termómetro digital del dispositivo. El diagrama de bloques de la Figura III.2.1, muestra el funcionamiento general del sensor de temperatura digital.

Para realizar una lectura de la medición de temperatura, se debe enviar la solicitud de lectura del bloque denominado scratchpad por medio del bus 1-Wire. El bloque denominado scratchpad no es más que la memoria no volátil del sensor de temperatura digital, la cual consta de 8 bytes. A cada byte le corresponde un registro tal como se representa en la Tabla III.2

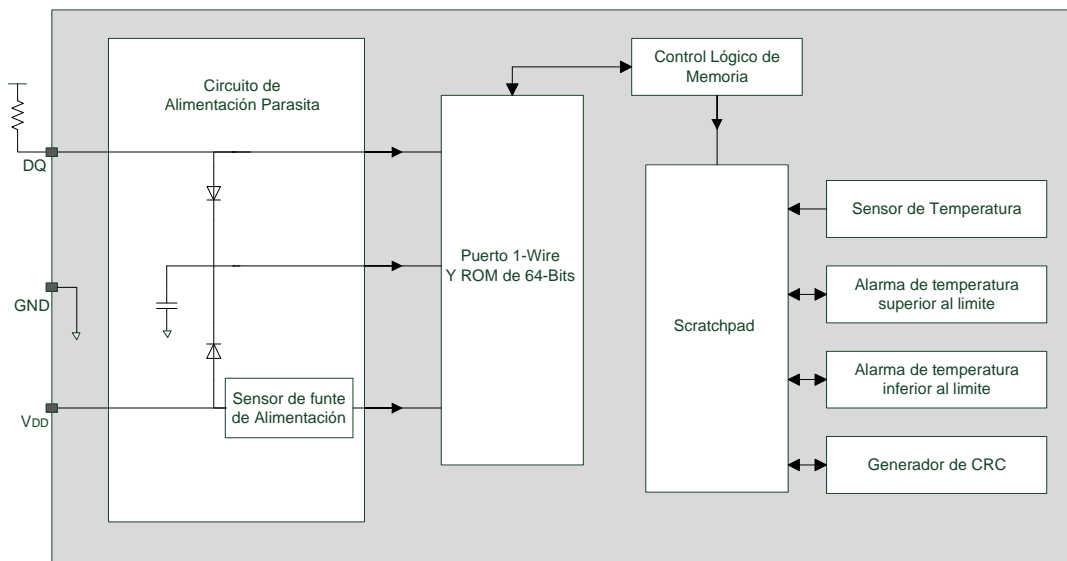


Figura III.2.1 Estructura del sensor de Temperatura

SCRATCHPAD	
byte 0	Temperatura MSB
byte 1	Temperatura LSB
byte 2	Registro TH
byte 3	Registro TL
byte 4	Reservado
byte 5	Reservado
byte 6	Conteo Permanente
byte 7	Conteo por °C
byte 8	CRC

Tabla III.2 Memoria del sensor de Temperatura

Los bytes 0 y 1 del bloque llamado scratchpad son los que almacenan los valores de la medición de temperatura. El formato de los registros de temperatura se muestra en la Figura III.2.2, donde el byte más significativo solo contiene información del signo de la medición y el menos significativo aporta información del valor numérico. Los registros de temperatura se encuentran en complemento a la base, por lo que es necesario convertirlos a signo magnitud para que sean manejados con mayor facilidad. La conversión se realiza determinando si el número es positivo o negativo, esto se logra leyendo algún bit del byte del signo, luego dependiendo de este resultado si el número es positivo no se realizan cambios y permanece como se muestra en la Figura III.2.2, en caso contrario se debe realizar un complemento a la base, y el resultado obtenido se puede llevar se guarda como si fuera un número positivo con la diferencia, de que el signo se deja con valor negativo.

Los números convertidos a positivo se almacenan en la memoria externa en su equivalente signo magnitud, siguiendo la forma del registro mostrado en la Figura III.2.2, donde el byte menos significativo es la magnitud y el más significativo es el

signo. La conversión de estos números simplifica la representación de los datos en la pantalla LCD al requerir de la misma conversión sin importar el signo del número, además de que permite almacenar los datos de una manera más ordenada.

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
LS Byte	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}
	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
MS Byte	S	S	S	S	S	S	S	S

Figura III.2.2 Registros de la Medición de Temperatura

Con el formato de los registros de temperatura es posible obtener una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, aunque es posible si se desea una mayor precisión, utilizar otro termómetro digital de similares características con la diferencia de que se pueden medir variaciones de hasta $\pm 0.0625^{\circ}\text{C}$ sin variar el hardware en lo absoluto.

Además de las mediciones de temperatura, el bloque denominado scratchpad posee dos registros (TH y TL), en los cuales se puede almacenar información del rango de temperatura permitidos por la aplicación realizada. Cada vez que se realiza una conversión de temperatura, la misma es comparada con los dos registros (TH y TL), si en la comparación la temperatura medida es mayor que TH o menor que TL, entonces ocurre una condición de alarma, la cual es borrada cuando se realice una nueva medición y ésta se encuentre entre el rango válido de temperatura. Para leer la señal de alarma es necesario realizar un comando de búsqueda de alarma, al cual responderán los dispositivos que se encuentren en esta condición.

Los bytes 4 y 5 son reservados para uso interno del termómetro digital, mientras que los bytes 6 y 7 proporcionan el valor del conteo usado para la conversión de temperatura. Usando estos últimos dos bytes es posible obtener una medición de temperatura ampliada.

Por último, se recibe el CRC o Control de Redundancia Cíclica. El termómetro digital, posee un generador de CRC, el cual mediante una función genera un código dependiendo de los valores de los datos contenidos en los bytes 0 hasta el byte 7 del bloque llamado scratchpad. El CRC, aporta a los dispositivos maestros un método de validación de los datos leídos, por lo que es necesario para verificar que los datos están correctos que el dispositivo maestro genere el CRC y lo compare con el aportado por el termómetro, si ambos son iguales entonces la trama se recibió sin errores. [Dallas Semiconductor, 2008]

El termómetro digital, genera el CRC siguiendo el esquema de la Figura III.2.3. El esquema representa un registro de desplazamiento, el cual se encuentra cargado con 0 al iniciar la generación del CRC. Seguidamente entran bit a bit cada uno de los datos de la trama de la comunicación, comenzando por el bit menos significativo del byte menos significativo del bloque llamado scratchpad. Al terminar, el código CRC se obtiene directamente del valor del registro de desplazamiento.

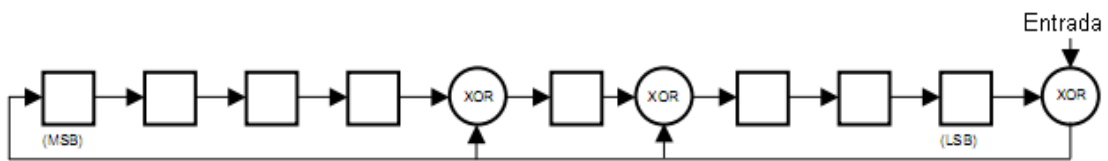


Figura III.2.3 Estructura del CRC

3.3 Almacenamiento de Datos

En la etapa de almacenamiento de datos es necesario tomar en cuenta que los datos se deben mantener guardados aún cuando pudiera existir algún fallo en el resto del dispositivo de medición de temperatura, por lo que se debe usar una memoria no volátil que pueda mantener los datos el tiempo necesario, además de tener la capacidad de almacenar la totalidad de las mediciones de temperatura y por lo menos un viaje completo del transporte.

Para el almacenamiento de los datos se seleccionó la memoria Flash externa SST25VF016B, la cual es una memoria de 16Mbits que aprovecha el bus SPI para la comunicación con el Microcontrolador.

Para realizar la comunicación con la memoria se debe realizar una selección del dispositivo o habilitar el selector de chip (Chip Enable), luego se envía la información de la función a realizar, la cual puede ser lectura, escritura, borrado, entre otras, seguidamente la dirección inicial y por último se envían los datos o se leen los datos deseados según sea el caso. [Silicon Storage Technology, 2006]. Las características más resaltantes de la memoria Flash son las siguientes:

- Uso del bus SPI para la comunicación.
- Retención de datos hasta por más de 100 años.
- Bajo consumo de energía.
- Velocidad del reloj de hasta 50MHz.
- 16Mbits para almacenamiento de datos.
- Protección de escritura para evitar alteración indeseada de los datos.

En las características del dispositivo se puede apreciar que cumple con los requisitos para formar parte del medidor de temperatura inalámbrico, comentados anteriormente, además incorpora características como la velocidad de 50MHz a la que puede trabajar, y el bajo consumo de energía.

La memoria Flash, además de los 4 pines para el bus SPI, posee un pin de HOLD, que permite pausar una transmisión sin perder los datos enviados, de modo

que se puede continuar con la transmisión más adelante, y un pin de Write Protection o protección de escritura, que evita que se escriban datos en la memoria.

La capacidad de la memoria es de 16Mbits ó 2Mbytes, por lo cual la máxima dirección de memoria válida sería 2.097.151, o su equivalente en hexadecimal 1FFFFF, para lo cual son necesarios tres bytes de dirección de memoria. En la etapa de adquisición de datos pudimos observar que la información de la medición de temperatura se guarda en solo 2 bytes, si cada medición es almacenada en la memoria es posible guardar 1.048.576 mediciones antes de tener que borrar algún dato.

En la Figura III.3 es posible apreciar un ejemplo de lectura de datos de la memoria por medio de un diagrama de tiempo. Hay cuatro señales representadas en el diagrama de tiempo, la señal de selección del dispositivo (CE: Chip Enable), el reloj (SCK: Serial Clock), la entrada de datos (SI: Serial Input) y por último la salida de datos (SO: Serial Output).

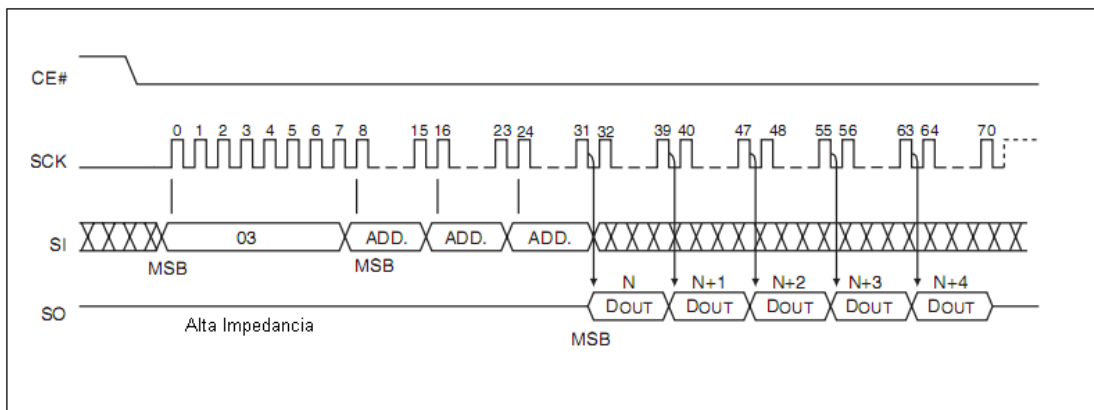


Figura III.3 Diagrama de tiempo del Bus SPI

Para iniciar la comunicación se habilita la selección del dispositivo en primer lugar, seguidamente se genera un reloj partiendo del nivel 0 lógico y a medida

que ocurre cada flanco de subida se envían los datos bit a bit por la entrada de datos comenzando por el bit más significativo. El primer dato enviado en el diagrama de tiempo es 03H, el cual equivale al comando de lectura, luego se envían 3 bytes de dirección para indicar la ubicación del dato a leer, a partir del último dato de dirección enviado la memoria responde con el valor almacenado pero esta vez enviando cada bit por la salida de datos con cada flanco de bajada. Es decisión del usuario cuando culminar la recepción de datos, debido a que la memoria seguirá enviando cada uno de los datos almacenados a partir de la dirección especificada hasta que se deshabilite la selección del dispositivo o se llegue a la última dirección de memoria.

3.4 Transmisión de Datos

La transmisión de los datos almacenados es necesaria para poder supervisar las mediciones realizadas y para enviar el historial completo de las mediciones al completar un trayecto. La transmisión de los datos se realiza de manera inalámbrica facilitando la comunicación de los dispositivos y disminuyendo el tiempo de descarga de datos al no requerir manipulación por parte del personal. Para esta etapa se seleccionó el HOPE RFM12 como el dispositivo de transmisión y recepción de datos. El RFM12, es un radio FM que trabaja en la banda ISM. La banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) se encuentra abierta para un uso no comercial y puede ser usada sin necesidad de licencia. Para la comunicación el RFM12 usa la modulación FSK (Frequency Shift Keying) operando a la frecuencia de 433MHz. **[HOPE RF, 2008]**

Las características más importantes del RFM12 son las siguientes:

- Usa la interfaz SPI para la comunicación.

- Bajo consumo de energía.
- Alta velocidad de transmisión de datos, hasta 115,2 kbps con el demodulador interno.
- Recepción de datos de 16 bits.
- Temporizador interno para modos de bajo consumo de energía.
- Antena de sintonización automática.
- PLL de enganche rápido.

Entre las características mencionadas anteriormente, quizás una de las que aporta mayor valor en la conexión con el Microcontrolador, es el hecho de que se use el Bus SPI para la comunicación, debido a que al ser usado en otro dispositivo anteriormente, no es necesario desarrollar de nuevo las rutinas que se utilizaron para los otros dispositivos, sino que se modifican los aspectos no compatibles como por ejemplo los datos de 16 bits o 2 bytes con los que trabaja el radio FM, a diferencia de los datos de 1 byte con los que trabaja la memoria externa. Además, es posible conectar todos los dispositivos que mantengan el mismo Bus SPI, a puertos comunes del Microcontrolador siempre y cuando se asigne un pin de selección de dispositivo distinto para cada componente del sistema.

3.5 Visualización de Datos

Una vez que la lectura de los datos de temperatura son tomados, se necesita de una forma de despliegue de la información adquirida, este medio se obtiene del

uso de una pantalla LCD, que permita a los usuarios determinar si las temperaturas medidas se encuentran dentro del rango requerido.

Para el caso de la visualización de los datos de medición, se selecciono una pantalla LCD que usa el chip PCF8833 como controlador y que posee las siguientes características: **[PHILIPS, 2003]**

- Es una pantalla de 132 columnas y 132 filas.
- Posee diversos modos de color, como 256 colores, 4Kbytes de color y 64Kbytes de color.
- Bajo consumo de energía.
- Usa el Bus SPI para la comunicación con el Microcontrolador.
- Modo de ahorro de energía disponible con el uso de solo 8 colores.

Con el uso de esta pantalla LCD es posible ofrecer al usuario la posibilidad de observar no solo las mediciones de temperatura, sino que además es posible apreciar las variaciones de las mismas de manera gráfica, lo que ofrece una diferente percepción de las variaciones de temperatura medidas durante un viaje.

La comunicación con la pantalla se realiza de manera similar a la de los otros componentes que usan el Bus SPI en el sistema, con la diferencia de que la pantalla usa 9 bits por cada trama de información enviada y deben ser enviados desde el más significativo hasta el menos significativo. El noveno bit se encarga de establecer la diferencia entre el tipo de información enviada, la cual puede ser un byte de comando o un byte de dato. Luego se pueden enviar la cantidad necesaria de bytes de datos según los requisitos de la acción realizada. Aunque la pantalla posee algunos

datos de información como códigos de identificación, temperatura, entre otros, que pueden ser leídos por medio de comandos de lectura, ésta es usada estrictamente como de escritura, por lo que nunca se le solicita ninguna información.

La pantalla posee un total de 17.424 palabras de memoria, o lo que es igual 132x132 pixeles, donde cada palabra es de 12bits. El modo de color seleccionado para el funcionamiento del dispositivo, fue el modo de 12 bits de color, el cual posee 4bits para cada color: rojo, verde y azul. En 3 bytes se puede almacenar la información de color correspondiente a 2 pixeles tal como se muestra en la Figura III.5.1

Si solo se desea especificar la información de un pixel con 2 bytes de datos, entonces se debe dejar la información que no será usada con ceros.

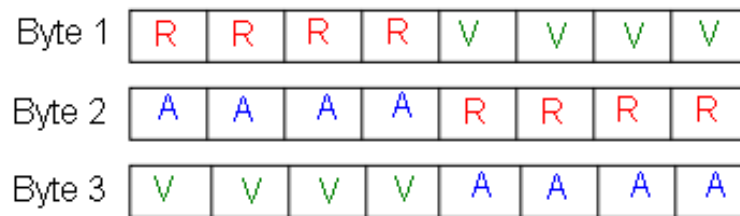


Figura III.5.1 Modo de color 12 bits

En la figura se puede apreciar como es almacenada la información de color de dos pixeles de la pantalla. Antes de agregar información de color a los pixeles de la pantalla, es necesario definir un área de trabajo, la cual se consigue dibujando un rectángulo o una caja de dibujo que encierre la totalidad de los pixeles a los cuales se les desea dar color. La caja de dibujo se realiza fácilmente debido a que solo es necesario enviar a la pantalla la información del pixel inicial y del pixel final y el

controlador de la pantalla LCD se encarga de realizar la caja. En la Figura III.5.2 se puede apreciar un ejemplo de una caja de dibujo realizada entre los pixeles (3, 5) y (12, 10).

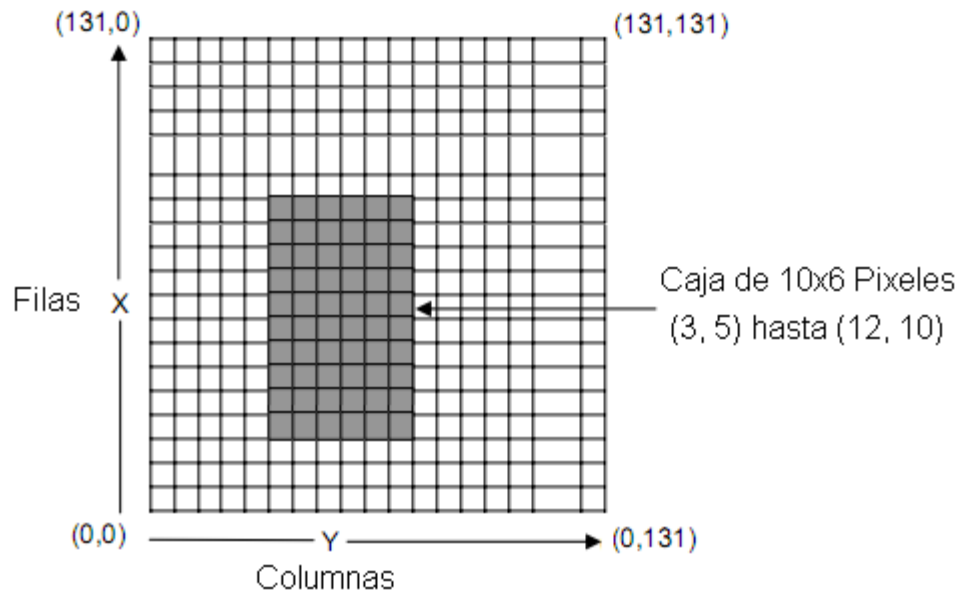


Figura III.5.2 Caja de Dibujo del LCD

Una vez dibujada la caja, el controlador de la pantalla posee una opción de auto incremento, por lo que se procede a enviar bytes de datos, que contengan la información del color de cada pixel comenzando desde el pixel inicial y realizando un barrido horizontal desde la posición Y inicial hasta la Y final y luego incrementando una posición en el eje X, desde la X inicial hasta la X final. Por cada incremento en el eje X, se realiza de nuevo un barrido Horizontal. Debido a la opción de autoincremento, no es necesario que se envíe alguna otra información por el bus, sino solo el color de cada pixel, una vez que la pantalla recibe el color de un pixel, ésta automáticamente se prepara para pintar el próximo pixel siguiendo el barrido comentado anteriormente. En la figura III.5.3 se puede apreciar por medio de una imagen el barrido horizontal y vertical del “pintado” de los pixeles.

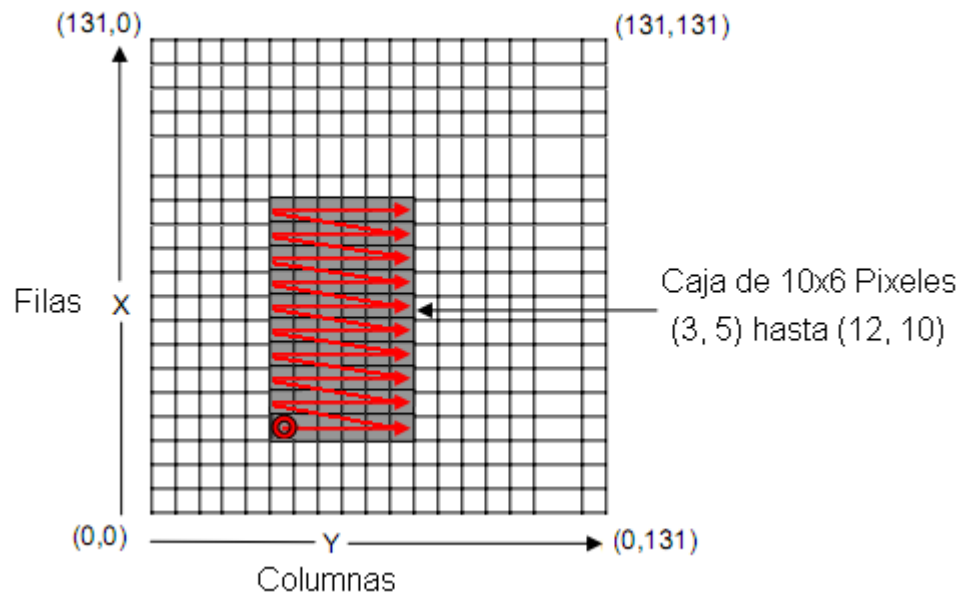


Figura III.5.3 Barrido H. y V. del LCD

Ésta característica permite dibujar caracteres o simplemente rellenar rectángulos con sencillos lazos repetitivos. Por ejemplo, si se desea rellenar un cuadro de 8x8 píxeles simplemente se debe repetir un lazo de “pintado” de píxeles 64 veces. Aunque en las figuras mostradas se mantiene la orientación y los ejes que posee de manera estándar la pantalla LCD, es posible cambiar la orientación de los mismos con solo enviar algunos bytes de comandos.

3.6 Selección del Microcontrolador

Los Microcontroladores representan uno de los componentes más importante en todos los dispositivos, ya que ellos son los encargados de realizar las tareas necesarias y establecer la comunicación con los demás componentes del sistema. Por esta razón, la selección del Microcontrolador es un paso importante que no debe ser

descuidado. Para el proyecto se requiere que el Microcontrolador cumpla una serie de requisitos tales como: velocidad, puertos de entrada y salida, memoria de datos y de programa, diferentes tipos de comunicación, manejo de interrupciones, entre otros.

Además de los aspectos comentados anteriormente, se debe buscar en lo posible que todos los componentes trabajen bajo las mismas características eléctricas y buscar el ahorro de energía. Esta característica es especialmente importante cuando se trabaja con dispositivos que usan batería si queremos extender el tiempo de trabajo.

Velocidad: La velocidad es un aspecto que no debe ser descuidado en los Microcontroladores, ya que de este depende en gran parte la buena comunicación con el resto de los componentes del sistema. Si se realiza un seguimiento de las tareas realizadas por el Microcontrolador, este debe en primer lugar verificar mediante un reloj si se debe realizar la medición de temperatura, luego, de ser afirmativo se debe comunicar con el sensor de temperatura digital y solicitar la medición instantánea, seguidamente se procede a almacenar los datos medidos para posteriormente realizar la transmisión inalámbrica y finalmente ser representados en la pantalla LCD. Al ejecutar cada una de las tareas se va acumulando un cierto retardo por los tiempos de la comunicación y la espera de los datos, este retardo se debe minimizar para asegurar que los valores representados son lo más fiel posible a la información real y poder asegurar que el dispositivo es una fuente confiable de medición de temperatura.

Puertos: Los puertos de entrada y salida son necesarios para realizar la comunicación con los demás dispositivos y aunque se puede disponer de una gran cantidad, no necesariamente mientras se tenga más puertos es mejor, mas bien, se debe disponer de una cantidad de puertos tal que satisfagan las necesidades de la aplicación y de ser posible que permanezcan algunos puertos libres por si en un futuro se desea agregar alguna otra funcionalidad sea posible sin requerir ningún cambio a nivel de hardware. El seleccionar correctamente el dispositivo permite

disminuir el tamaño de la aplicación, ya que mientras más puertos posea el Microcontrolador mayores son sus dimensiones.

Memoria: El Microcontrolador posee una memoria para el programa y una memoria para los datos. En la memoria de programa se guarda todo el código del programa con las instrucciones de la función del micro, mientras que en la memoria de datos se guardan los valores de las tablas y arreglos especificados en el código. El proyecto no posee grandes requisitos de memoria, por lo que este aspecto no es una limitante. Solo se debe tomar en cuenta la memoria de datos en el caso que se desee representar grandes imágenes en la pantalla LCD, ya que estos valores de cada píxel son guardados en la memoria de datos del Microcontrolador.

Comunicación: La comunicación forma una parte importante del Microcontrolador cuando se interactúa con diferentes dispositivos electrónicos y sobre todo cuando se realizan pruebas para corrección de errores, como por ejemplo la comunicación por medio del UART, con el uso de este medio es posible determinar los valores de los registros del Microcontrolador o de los puertos y visualizarlos directamente en la computadora, agregando una herramienta que si bien no tendrá un uso formal en el dispositivo final, ayudará en la etapa de desarrollo a facilitar la detección de errores.

Características del PIC24FJ64GA002

El PIC24FJ64GA002 fue el Microcontrolador escogido para implementar en el dispositivo de medición de temperatura inalámbrica. Este Microcontrolador es fabricado por Microchip y cumple con los requerimientos establecidos anteriormente. Las principales características de este Microcontrolador se nombran a continuación:
[MICROCHIP, 2008]

Velocidad: El Microcontrolador escogido trabaja a 8MHz con el oscilador interno y posee la opción de usar PLL para lograr hasta 32MHz, lo cual equivale a 16MIPS. Con el oscilador interno de 8MHz se puede lograr ejecutar instrucciones con un tiempo de 250ns, el cual es suficiente para realizar la comunicación con los distintos componentes del sistema.

Puertos: El Microcontrolador dispone de dos puertos, uno de 16 pines y otro de 5 pines. La mayoría de los dispositivos conectados al Microcontrolador se comunican con el Bus SPI, el cual consta de 4 líneas, por lo que se necesitan 4 pines para cada uno de los dispositivos si estos se conectan por separado. Además, se usan los puertos para la programación del Microcontrolador, para la conexión de un oscilador externo y para la comunicación del UART. Con los puertos del Microcontrolador se satisfacen las necesidades del dispositivo para la interacción con los componentes, dejando además ciertos puertos libres para futuras ampliaciones. En la Figura III.6 se puede apreciar el Microcontrolador con la distribución de los pines.

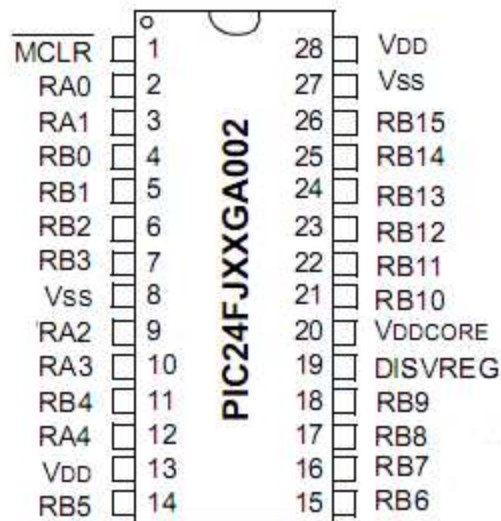


Figura III.6 Pines del Microcontrolador

Todos los pines llamados RBx, desde RB0 hasta RB15 pertenecen al puerto B del Microcontrolador, mientras que los nombrados desde RA0 hasta RA4, pertenecen al puerto A.

Memoria: Posee una memoria Flash de 64Kbytes y una memoria para datos de 8Kbytes. La memoria Flash tiene una retención de datos mínima de 20 años y es capaz de soportar alrededor de 10.000 ciclos de borrado y grabado.

Comunicación: Una de las mayores ventajas del Microcontrolador seleccionado, es la de poseer varios módulos de comunicación como son el SPI, el I2C, el IrDA y el UART, lo que facilita el establecimiento de la comunicación con otros dispositivos. Además ofrece la posibilidad de direccionar los módulos de comunicación a cualquiera de los pines del puerto de 16 pines, es decir, el usuario decide cuales pines corresponden por ejemplo al módulo SPI y puede cambiarlos según sus necesidades.

Además de las características mencionadas anteriormente, el Microcontrolador posee una función que fue determinante al momento de la selección del mismo. El RTCC o Real Time Clock and Calendar, es un reloj de tiempo real interno del Microcontrolador. Este reloj ofrece la posibilidad de programar la hora con minutos y segundos, así como también la fecha desde año, mes y día. Con una adecuada calibración del reloj se puede obtener un error menor a los 3 segundos por mes. Por otra parte, el reloj también ofrece la posibilidad de programar alarmas desde una vez cada medio segundo hasta una vez por año. Para la medición de la temperatura es necesario esperar un cierto periodo de tiempo entre cada muestra, es por ello que la función de las alarmas son de gran utilidad en el reloj de tiempo real. Las alarmas generan una interrupción en el Microcontrolador que indica que se debe realizar una medición y el proceso se repite constantemente.

El uso del RTCC, no solo disminuye la cantidad de componentes conectados en el sistema, sino que además puede ser usado con un bajo consumo de energía. Cuando el Microcontrolador no está realizando ninguna función y se encuentra en un modo de espera, se puede realizar una función de ahorro de energía llamada “Sleep”, esta función básicamente realiza una disminución de la frecuencia del reloj de trabajo, lo que se traduce en ahorro de energía. En el modo de ahorro de energía, no funcionan la mayoría de los periféricos del Microcontrolador, pero el RTCC sigue funcionando con normalidad debido a que este posee un oscilador externo que no varía su funcionamiento con los modos del Microcontrolador y además el RTCC puede sacar al Microcontrolador del modo de ahorro de energía al realizar una interrupción, lo que permite que se pueda estar en un modo de bajo consumo hasta que sea el momento de realizar una medición de temperatura.

El único requisito necesario para el uso del RTCC, es la incorporación de un oscilador externo de 32,768kHz.

3.7 Adecuación de las Señales

Para que las señales presenten valores correctos se debe asegurar el cumplimiento de ciertos parámetros eléctricos. En primer lugar es necesario garantizar los valores de alimentación evitando que excedan el rango permitido de los dispositivos, para el caso estudiado se consiguió que todos los dispositivos tuvieran una alimentación proveniente de una misma fuente de 3.3V, con la excepción de la pantalla LCD, la cual aunque se maneja con los mismos 3.3V necesita una fuente extra de 7V para encender los LEDs de iluminación.

En cuanto al consumo de corriente, se dispuso de la alimentación suficiente para asegurar el consumo en los casos extremos, evitando que alguno de los componentes pueda proporcionar valores erróneos.

Las señales de datos en general, no necesitan mayores adecuaciones más que una buena alimentación, pero en el caso del sensor de temperatura digital es necesario agregar una resistencia de pull up a la línea de datos, debido a que tanto la transmisión como la recepción se realizan por la misma línea y en algún momento podría ocurrir un choque de datos. En la Figura III.7 se muestra un esquema de conexión del Bus 1-Wire.

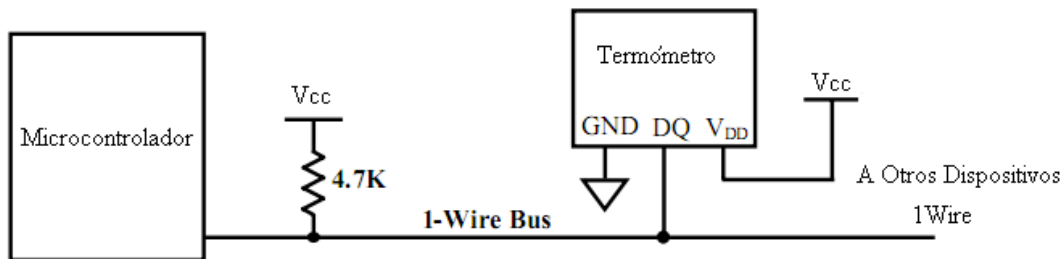


Figura III.7 Conexión del Bus 1-Wire

3.8 Autonomía del dispositivo de medición de temperatura

La autonomía del dispositivo de medición de temperatura inalámbrico se refiere a la capacidad del mismo de mantenerse en funcionamiento normal aun cuando se ha perdido la fuente de alimentación externa, previniendo que se pierdan los datos almacenados durante el trayecto y agregando mayor robustez al equipo.

Las opciones son muy variadas en lo que se refiere a baterías para alimentación de circuitos electrónicos, pero sin duda la mejor forma de iniciar con la selección de la batería es escoger la tecnología aplicada a las mismas. En principio se dispone de baterías del tipo NI-CD, NI-MH, LI-ION, entre otras. Ambas baterías de Níquel, aunque se encuentran disponibles con una mayor capacidad de carga, poseen la desventaja de que los tiempos de recarga son muy elevados y las celdas son de

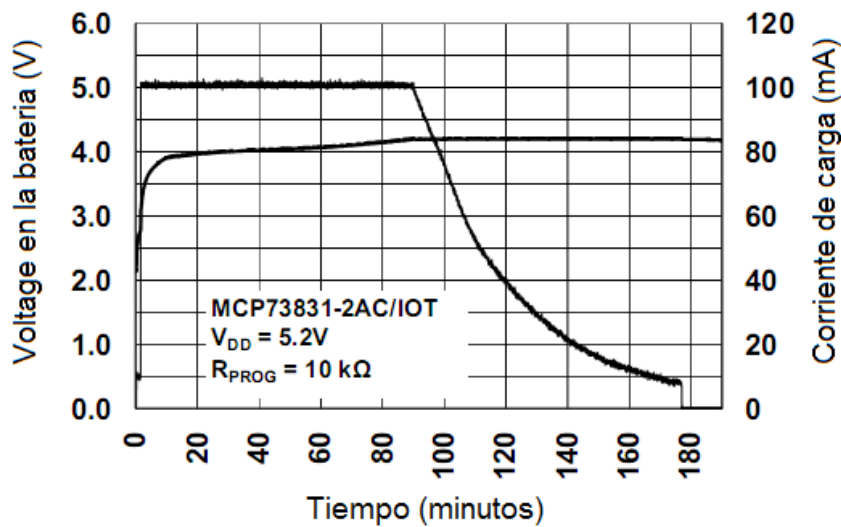
1.2V, por lo que se necesitarían de 3 celdas para superar los 3.3V necesarios en la aplicación. Por otra parte, las baterías de Litio poseen tiempos de recarga reducidos si son recargadas correctamente y además con una sola celda se obtienen 3.7V, lo cual es suficiente para satisfacer los 3.3V requeridos por el dispositivo de medición de temperatura.

La decisión del uso de la batería de LI-ION, se debe principalmente a la facilidad que otorga el circuito integrado MCP73831T, el cual es un chip para cargar baterías de una sola celda de LI-ION. Este cargador permite seguir la curva de carga de las baterías de LI-ION mediante una configuración sencilla. **[MICROCHIP, 2008]** Para la aplicación se seleccionó una batería de LI-ION, de una capacidad de 860mAh.

En la Gráfica III.8 se puede observar la curva de carga para una batería de 180mAh. Cuando la batería se encuentra en un nivel de tensión inferior a la tensión de alimentación en al menos 150mV se inicia un ciclo de carga. La primera etapa del ciclo de carga es llamada carga rápida. Durante la carga rápida, la batería se carga a corriente constante con un valor de corriente que se encuentre entre 50% y 100% de la capacidad de la batería. En el ejemplo de la Gráfica III.8 la batería usada es de 180mAh y la corriente de carga rápida seleccionada es de 100mA lo cual equivale al 55.5% de la capacidad de la batería. Esta etapa permanece hasta que la tensión de la batería alcanza la tensión de regulación del cargador, la cual por defecto para el MCP73831T es de 4.2V.

Una vez que la batería se encuentra a la tensión de 4.2V se inicia la etapa de carga a tensión constante, en la cual se mantiene la batería a 4.2V y se va disminuyendo progresivamente la corriente, esta etapa se mantiene hasta que la corriente de carga alcanza un valor entre 5% y 10% de la corriente de carga rápida. Para el ejemplo, la corriente de carga rápida es de aproximadamente 100mA, por lo que el ciclo de carga culmina cuando la corriente de carga se encuentra entre 5mA y

10mA. En el ejemplo de la Gráfica III.8, la etapa de carga rápida se ve representada durante el tiempo de 0 a 90 minutos aproximadamente, mientras que la etapa de carga a tensión constante se encuentra representada durante el tiempo de 90 a 175 minutos aproximadamente. Además se puede apreciar que con una correcta selección y ajuste de los componentes del circuito se puede realizar un ciclo de carga completo de la batería en aproximadamente 3 horas.



Gráfica III.8 Curva de carga de la Batería

Para que la carga de la batería se realice de la forma más eficiente posible, es necesario definir algunos valores de componentes en el circuito eléctrico del cargador de batería. Un primer aspecto a definir es la alimentación del circuito integrado del cargador de batería la cual no debe exceder los 6V, para este caso se seleccionó una alimentación de 5V provenientes de un regulador de voltaje. Otro aspecto es la definición de la corriente de carga de la batería, en este caso la corriente de carga depende del valor de la resistencia R_{PROG} de la Figura III.8 la cual contiene un diagrama de conexión del cargador de baterías.

La corriente de carga se define de la siguiente manera:

$$I_{REG} = 1000V / R_{PROG}$$

Debido a que la batería usada es de 860mAh, la corriente de carga rápida debería encontrarse entre 430mA y 860mA. En este caso se decidió la selección de la corriente de carga rápida de 500mA. Con este valor de corriente, la resistencia necesaria (R_{PROG}) para el circuito es de $2k\Omega$.

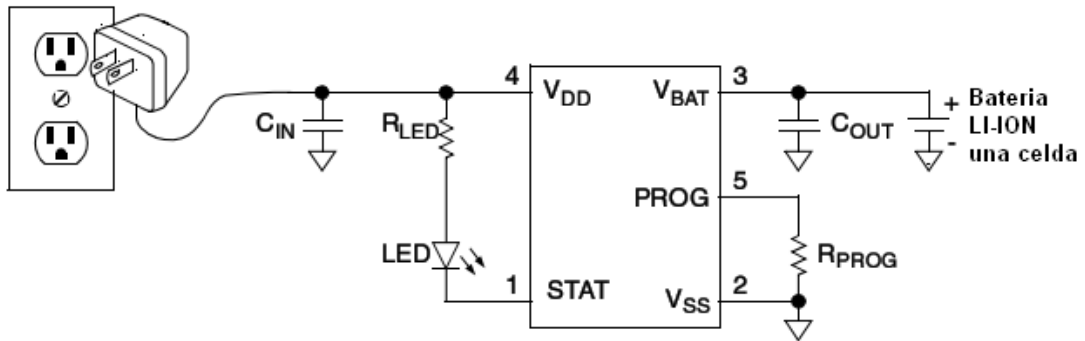


Figura III.8 Diagrama de conexión del cargador

En la Figura III.8 además se puede observar que posee un pin llamado STAT, este pin otorga al usuario la posibilidad de conocer la condición en la que se encuentre el cargador, las cuales pueden ser: cargando, carga terminada y sin batería o sin alimentación de la red eléctrica. Este pin puede ser supervisado por el Microcontrolador para determinar si se ha perdido la conexión de la alimentación directa de la red y tomar medidas al respecto como podría ser iniciar un estado de ahorro de energía.

3.9 Montaje

El dispositivo de medición de temperatura inalámbrico al igual que el dispositivo de visualización de datos (handheld), forman individualmente un equipo electrónico. Para cada uno de estos equipos fue necesario el diseño de un circuito electrónico tomando en cuenta las características resaltadas en el apartado de adecuación de las señales y otro conjunto de elementos como el ruido que se genera en los componentes del sistema.

Para realizar el montaje de los dispositivos se realizaron circuitos impresos, en los cuales todos los componentes fueron de montaje superficial. Antes de llegar a esta etapa fue necesario verificar el funcionamiento del dispositivo en la tarjeta de prototipos para evitar futuros inconvenientes. El uso de circuitos impresos en los equipos electrónicos ofrecen un agregado de robustez, que resulta necesario sobre todo cuando el objetivo final del equipo es permanecer adaptado a sistemas móviles, como lo son los sistemas de transporte, donde las vibraciones del mismo pueden provocar el desprendimiento o mal funcionamiento de algún componente.

Por otra parte, en esta etapa se decidió el encapsulado necesario para satisfacer las necesidades del equipo, para el caso de la remota de temperatura, este equipo debe estar adaptado para resistir distintas variaciones de temperatura y variaciones climáticas como lluvia o incidencia directa del sol ya que el mismo debe permanecer en la parte externa de la cava del camión o del transporte refrigerado, mientras que el sensor de temperatura se encuentra dentro de la cava. Para el caso del handheld, no es de gran importancia que el encapsulado se encuentre aislado del exterior, ya que el mismo debería ser usado en el área interna o cabina del camión.

En la Figura III.9.1, es posible apreciar la etapa de alimentación del montaje del medidor de temperatura. Esta etapa obtiene su energía a partir de la batería. Seguidamente en la Figura III.9.2, se pueden observar las conexiones del montaje del dispositivo de medición de temperatura, las cuales se realizan entre cada uno de los

componentes del dispositivo: el sensor de temperatura 1-Wire, la memoria Flash, el Microcontrolador, el radio FM y por último el oscilador externo de 32,768kHz. El conector de 5 pines es usado para la programación del Microcontrolador. En el montaje de la remota de temperatura existe una conexión SPI para el radio FM y otra para la memoria Flash, es por ello que se observan 2 conexiones de cada una de las líneas del SPI. Los 5 pines de programación del Microcontrolador son los usados para cargar los programas realizados en la computadora. Para la programación es necesario 2 pines para la alimentación (Vcc y GND), 1 pin de reseteo del Microcontrolador (MCLR) ya que se debe resetear durante la programación, y 2 pines para datos y reloj de sincronismo (PGD y PGC).

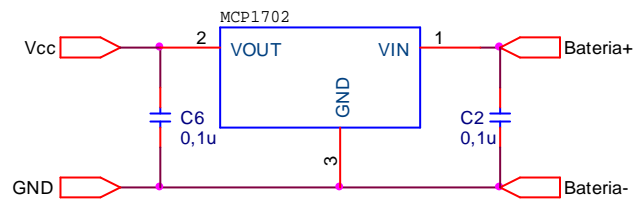


Figura III.9.1 Alimentación de la remota de temperatura

En las Figuras III.9.3 y III.9.4, se puede apreciar la etapa de alimentación y las conexiones con los componentes del handheld. La alimentación proviene de la batería del camión (13.8V), esa tensión es llevada a los 3.3V necesarios con el uso de un regulador. Así mismo, se representan los bloques del Microcontrolador, el radio y dos conectores, el de 5 pines es el destinado a la programación del Microcontrolador, mientras que el de 7 pines nombrado “conector LCD” es el seleccionado para conectar la pantalla LCD.

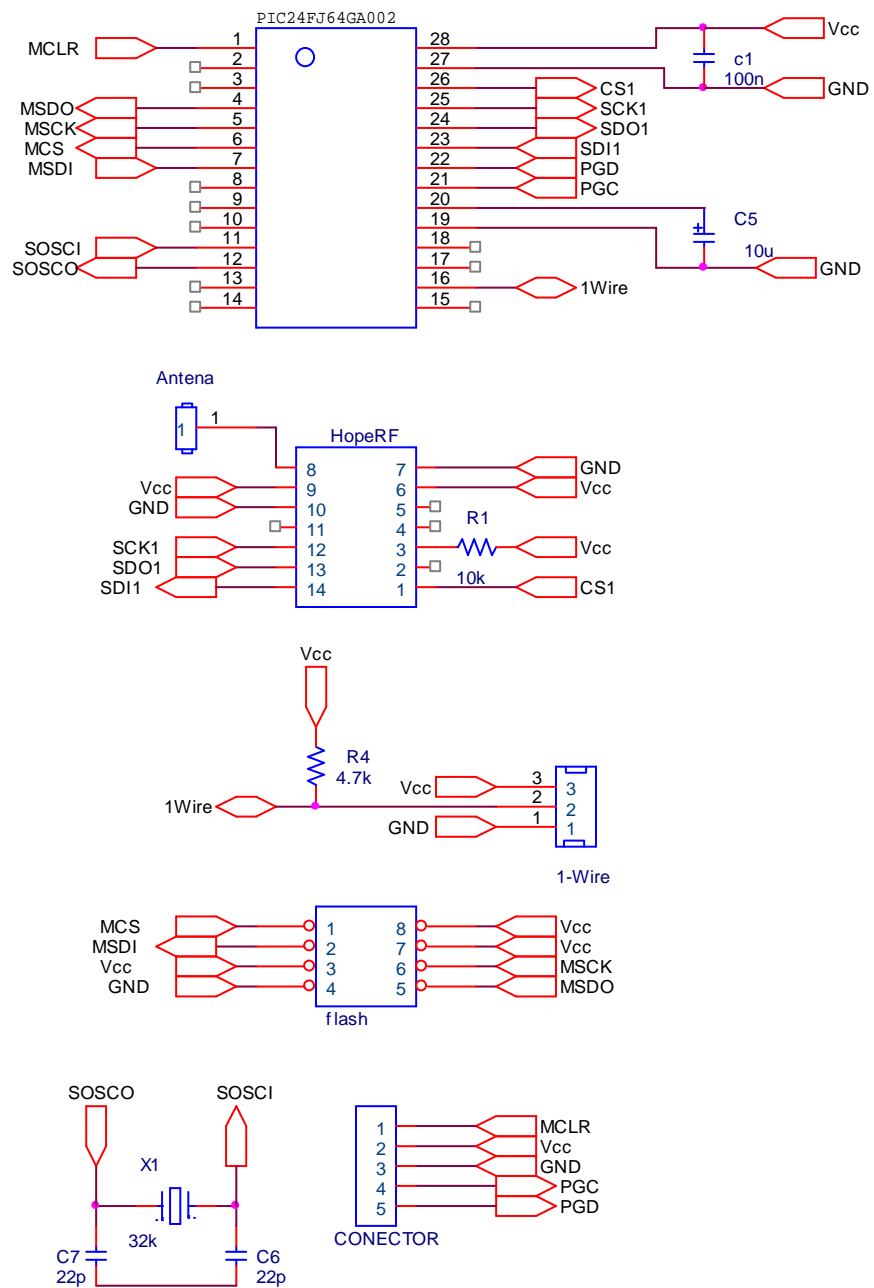


Figura III.9.2 Conexiones de la remota de temperatura

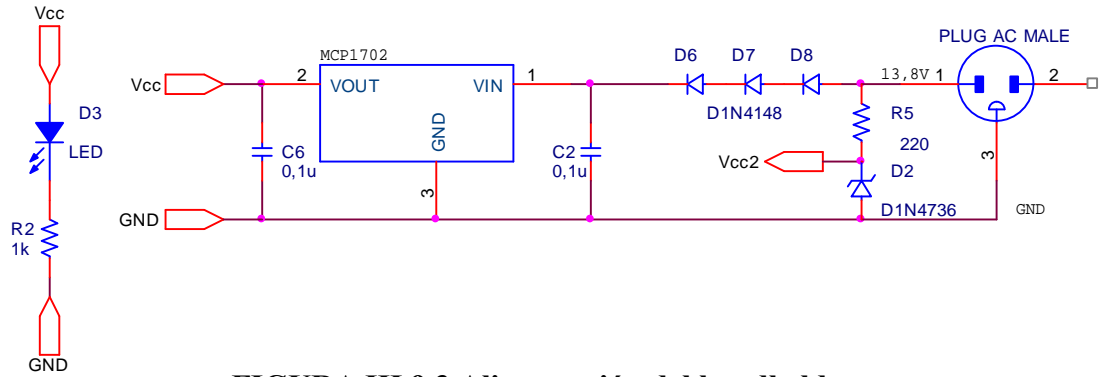


FIGURA III.9.3 Alimentación del handheld

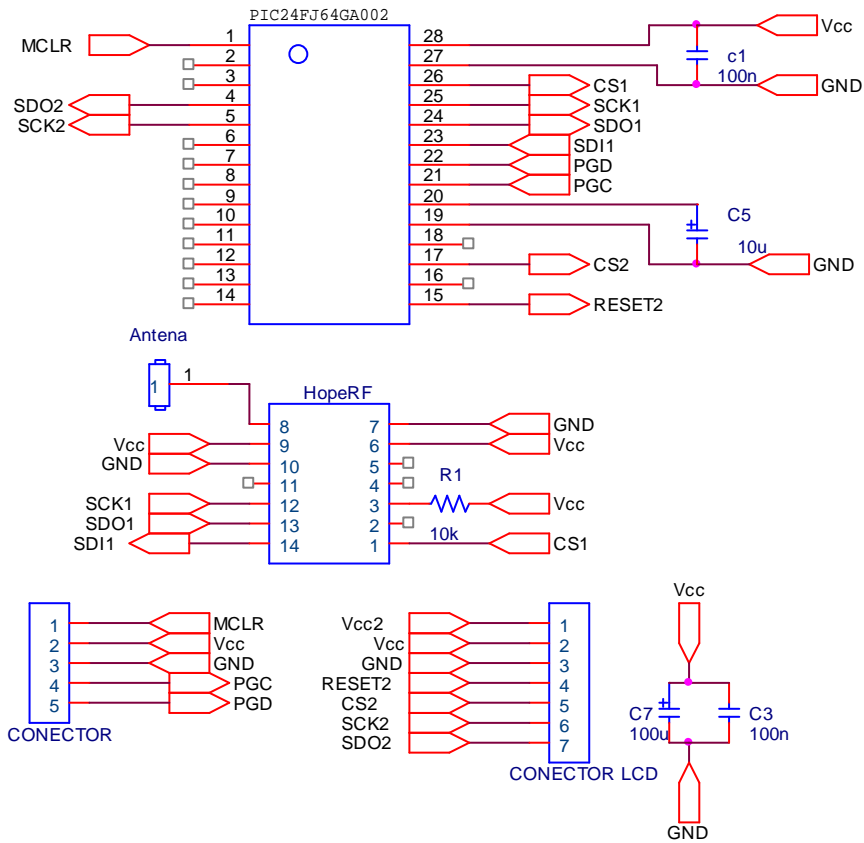


Figura III.9.4 Conexiones del handheld

CAPÍTULO IV

4 ARQUITECTURA DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

4.1 Descripción General

Al igual que con el hardware, existen dos programas, el primero para la adquisición de las mediciones de temperatura y su almacenamiento en memoria y el segundo para la visualización de los datos de temperatura obtenidos con el primer programa. El objetivo general de ambos programas es tomar los datos de la medición de temperatura, almacenarlos, transmitirlos inalámbricamente y mostrar los datos de la medición de temperatura actual en la pantalla LCD.

4.2 Software para la medición de temperatura

El objetivo principal de este programa es la medición de temperatura cada cierto tiempo, el almacenamiento en memoria de dichas mediciones y la transmisión al dispositivo de visualización de las mediciones realizadas. Además, debe ser capaz de comunicarse con un centro de control cuando el transporte llegue a su destino y realizar la transmisión de todos los datos obtenidos durante el viaje.

En la Figura IV.2.1, se puede observar el diagrama de flujo del software para la medición de temperatura. En primer lugar se realiza la configuración general de todos los componentes del sistema, y seguidamente se debe conocer si es la primera vez que se enciende el dispositivo, debido que al contar con un reloj de tiempo real, resulta importante que la fecha y la hora se encuentren sincronizadas correctamente. Para lograr esta sincronización, se realiza una comunicación con un centro de control; los centros de control son los encargados de establecer la comunicación con todas las remotas (dispositivo de medición de temperatura), haciendo el papel de maestros en

el sistema. Una vez realizada la comunicación por primera vez, el centro de control le enviará una serie de datos como la fecha y hora, el origen y destino del transporte, la periodicidad de las muestras que deben ser tomadas, programación de las alarmas y por último se activará la remota para iniciar las mediciones de temperatura.

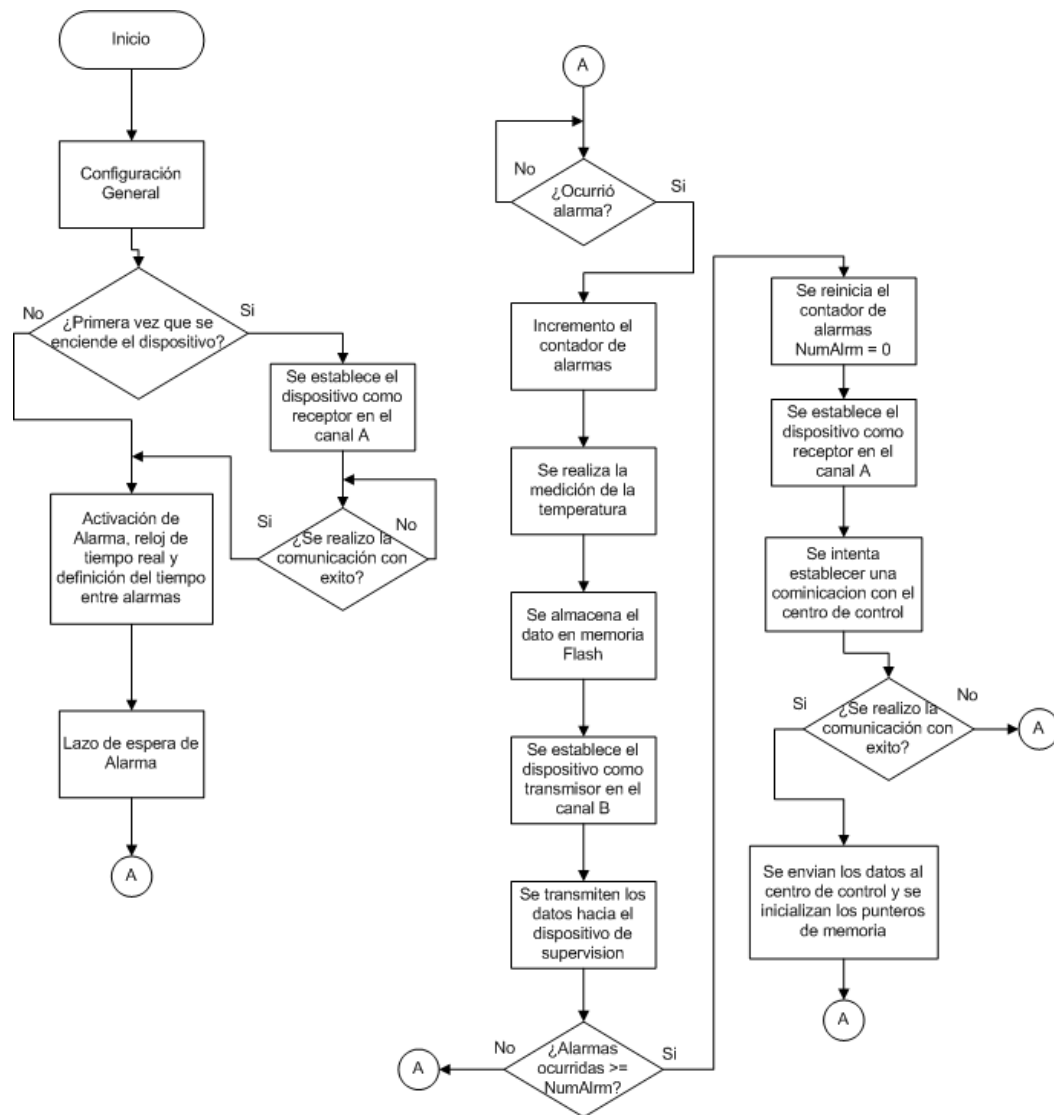


Figura IV.2.1 Diagrama de flujo software de medición de temperatura

Al existir varios canales de comunicación como los son el de la comunicación del centro de control con la remota y el de la remota con el dispositivo de visualización de datos (handheld), podría ocurrir un colapso de la información, por esta razón se decidió realizar canales independientes entre ambos casos. Para la comunicación entre el centro de control y la remota se estableció el canal llamado A, mientras que para la comunicación entre la remota y el Handheld se estableció el canal llamado B.

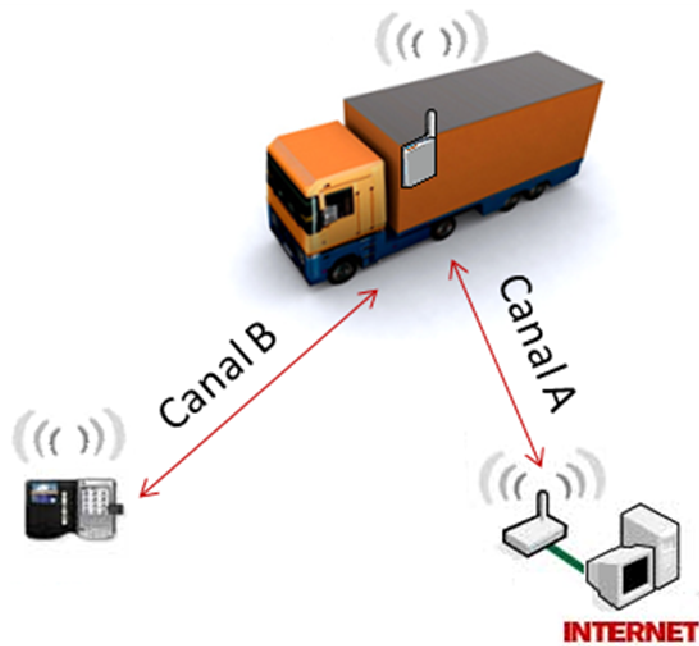


Figura IV.2.2 Flujo de Datos

En la Figura IV.2.2 se puede observar como la comunicación se realiza desde el centro de control hacia la remota ubicada en el camión por medio del canal A, en cuyo caso la remota toma el papel de esclavo mientras que el centro de control trabaja como maestro. De igual manera la comunicación entre la remota y el handheld se realiza por medio del canal B, en donde la remota pasa a ser el dispositivo maestro e inicia la comunicación y el handheld siempre es un dispositivo esclavo. No existe

canal alguno para comunicación entre el dispositivo de supervisión de temperatura (handheld) y el centro de control.

Una vez programadas las alarmas y realizada la sincronización de la hora y la fecha, se realiza un lazo de espera en el que el Microcontrolador se encuentra en estado de ahorro de energía. Para que el Microcontrolador vuelva a su estado de trabajo regular debe ocurrir una interrupción, y este viene a ser el papel de las alarmas del reloj de tiempo real.

Las alarmas son programadas para que se activen cada cierto periodo de tiempo, por ejemplo 5 segundos. Una vez activadas, se ejecuta el servicio de interrupción y se procede a realizar una medición de la temperatura actual, obtenidos estos datos, se procede a almacenarlos en la memoria externa de la remota y seguidamente se establece el canal B como el de transmisión y se envían los datos inalámbricamente al dispositivo handheld.

Debido a que se desea ahorrar energía en la remota, el dispositivo solo se coloca en recepción por un tiempo determinado cada 30 segundos por ejemplo, así, si ocurren 6 alarmas con una diferencia de 5 segundos entre cada una, se puede colocar la remota como receptora del canal A una vez finalizada la última alarma. Este método de manejo de los canales permite ahorrar energía al impedir que la remota se mantenga constantemente enviando y recibiendo datos, además proporciona una ventaja al permitir que se manejen las comunicaciones con un corto tiempo de espera. Para el ejemplo citado, si un camión llegase justo después de haber realizado la sexta alarma de temperatura, el centro de control solo debería esperar unos 30 segundos antes de que se realice una nueva comunicación.

Una vez enviado los datos al centro de control, este último actualiza la fecha y la hora de la remota. De igual manera, el centro de control se encarga de indicarle a

la remota cual será el próximo viaje en caso de existirlo y actualiza los datos de origen y destino.

4.3 Manejo de la Memoria

La organización de la memoria se realiza para determinar cuantas muestras se han tomado desde que inicio el viaje, la hora del inicio de las mediciones y el origen y destino del transporte.

La memoria usada para salvar los registros de datos de la remota es la memoria Flash interna del Microcontrolador. En la Tabla IV.3 se puede apreciar el mapa de memoria de la remota.

Registro	Dirección	Rango Válido
Año	00H	00 - 99 BCD
Mes	01H	1 - 12 BCD
Día	02H	1 - 31 BCD
Hora	03H	00 - 23 BCD
Minutos	04H	00 - 59 BCD
Segundos	05H	00 - 59 BCD
Tiempo de Alarma	06H	1 SEG - 1 AÑO
Puntero H.	07H	Desde 0000H
Puntero L.	08H	Hasta FFFFH
Pagina	09H	00H – 1FH
Origen	0AH	00H - FFH
Destino	0BH	00H - FFH
Número de Páginas	0CH	00H – 20H

Tabla IV.3 Mapa de memoria

En el mapa de memoria se actualizan los valores de fecha y hora, además en los punteros se va almacenando la cantidad de muestras realizadas, de esta manera, cuando se realiza una comunicación con el centro de control, este puede llevar la

cuenta de los datos que necesita recibir. La memoria externa está dividida en 32 páginas de 64Kbytes, esto con el fin de almacenar aproximadamente 1 viaje por cada página, ya que al borrar la memoria se facilita haciéndolo por bloques de 64Kbytes. Si en algún momento ocurriese que un viaje necesite más de una página para almacenar las mediciones, no existiría problema alguno debido a que solo se incrementaría el registro de Número de páginas para indicar la cantidad de páginas ocupadas.

4.3.1 Escritura y Lectura en memoria externa

Cada vez que ocurre una alarma es necesario realizar un respaldo de los datos tomados por el sensor de temperatura, el diagrama de flujos de la Figura IV.3.1 muestra los pasos seguidos para realizar el almacenamiento de los datos.

En primer lugar se reciben los datos tomados por el sensor de temperatura y se envían a la memoria externa por medio del bus SPI. La temperatura medida está formada por 2 bytes, la parte alta y la parte baja del registro de temperatura. Primero se almacena la parte alta y se espera a que la memoria termine el proceso de almacenado, de lo contrario podría ocurrir un error en la escritura. Seguidamente se incrementa el puntero de escritura y se procede a escribir la parte baja del registro de temperatura. De igual manera se espera hasta que la memoria haya culminado el almacenamiento del dato. Una vez finalizado el almacenamiento se incrementa el puntero de escritura para prepararlo para el próximo dato a guardar. Además se determina si ocurrió un desbordamiento (overflow) del puntero de escritura, o lo que es igual, si el puntero sobrepasa el valor FFFFH, lo cual indicaría que la página actual de escritura está llena. En este caso se hace un incremento del registro de número de página para indicar que el viaje actual posee una página más de datos almacenados y se inicializa el puntero de escritura en 0000H.

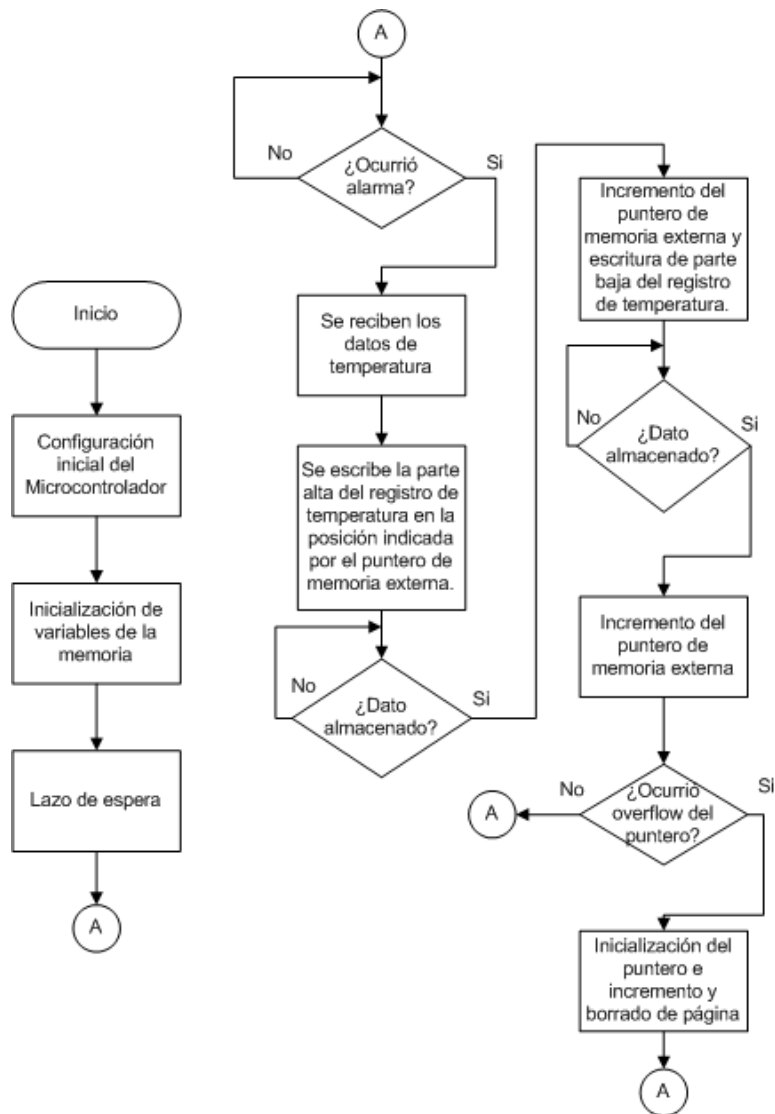


Figura IV.3.1 Diagrama de flujo de escritura en memoria Flash

El funcionamiento de la lectura no difiere mucho de la escritura de la memoria externa. En primer lugar se debe esperar a recibir una solicitud del centro de control para leer un conjunto de datos. Una vez ocurrida la recepción, se actualizan los valores del puntero de lectura de datos con el valor de la dirección inicial y la cantidad de datos a leer se guarda en la variable “Datos a leer”. Con estos valores

iniciales se procede a la lectura del primer dato, es necesario recordar que cada dato está compuesto por 2 bytes, por lo que primero se lee la parte alta y una vez realizada la verificación de lectura se incrementa el puntero de lectura y se ejecuta de igual manera que con el primer dato. Finalmente se envían los dos bytes leídos de la memoria externa al buffer de transmisión y se incrementa el puntero de lectura para esperar la próxima solicitud. A continuación se realiza un decremento en los datos a leer y se verifica si aún quedan datos por leer. De ser afirmativo se verifica la ocurrencia del desbordamiento del puntero de lectura para determinar si es necesario incrementar el número de página, en cualquier caso se repite el procedimiento. En caso de que el dato leído sea el último solicitado, se finaliza la rutina y se vuelve al lazo de espera de recepción de datos. Este proceso se asemeja mucho al de la escritura, el cambio significativo es que ahora se debe esperar hasta la lectura del último dato antes de salir de la rutina.

4.4 Protocolo de comunicación

Para que la comunicación entre los distintos dispositivos resulte exitosa, debe existir un protocolo que permita al maestro (Centro de control), realizar distintas acciones en los dispositivos esclavos (Remotas). El protocolo MODBUS es un protocolo maestro – esclavo, que ofrece una estructura para la comunicación, identificando las diferentes funciones por medio de códigos. El protocolo MODBUS define una trama de datos la cual es independiente del nivel de comunicación que se desee realizar. Para usar el protocolo en una red específica, se puede agregar una trama de dirección en la capa de la aplicación. En la Figura IV.4.1, se encuentra representada una trama de comunicación del protocolo MODBUS, agregando a la misma una dirección al inicio y una verificación de error al final. Las dos secciones de la trama que se encuentran en los extremos forman parte de adiciones de la capa de aplicación.

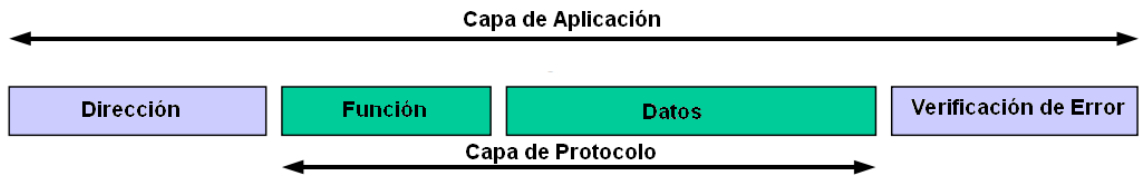


Figura IV.4.1 Trama MODBUS

La función de la capa del protocolo del MODBUS, esta codificada en un byte y permite a los dispositivos maestros especificar la acción a realizar. Aunque existen 255 códigos válidos, debido a que el código “0” no es válido, solo pueden ser usados desde el 1 hasta el 128, ya que desde el 129 hasta el 255 están reservadas para las respuestas de las excepciones. Las excepciones son los casos en los que por alguna razón la acción no se realiza con éxito, algunos de los casos podrían ser el tratar de leer o escribir direcciones no validas o simplemente tratar de ejecutar una función no definida.

En una acción realizada con éxito, la respuesta del dispositivo esclavo debe comenzar con el código de la función realizada, seguido de la respuesta a la información solicitada por el maestro. En la Figura IV.4.2 se presenta un diagrama de una comunicación MODBUS exitosa.

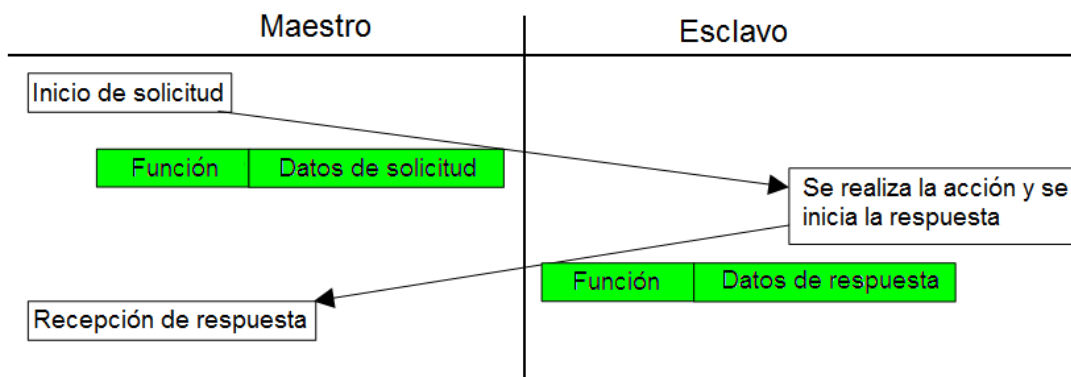


Figura IV.4.2 Comunicación exitosa MODBUS

En caso de ocurrir una excepción, el dispositivo esclavo debe responder con una función que es equivalente a la solicitud pero indicando error, por ejemplo, como se había comentado anteriormente se tienen 127 posibles códigos para las funciones, por lo que el equivalente cuando ocurre un error debe venir dado agregándole un 1 al bit más significativo del valor de la función en hexadecimal. La función 05H (00000101)B, tendría el equivalente 85H (10000101)B en el caso de ocurrir una excepción. Seguidamente se envía el código de la excepción ocurrida. En la Figura IV.4.3 se muestra un diagrama con un caso de error en la solicitud.

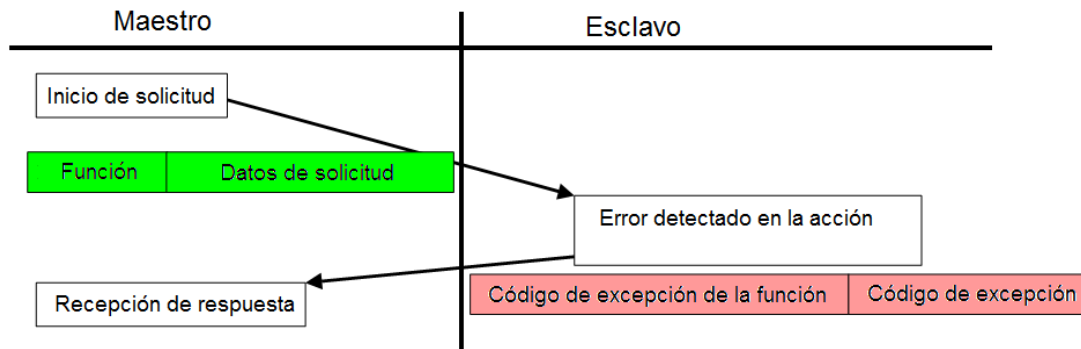


Figura IV.4.3 Error en la comunicación MODBUS

Existen una serie de funciones soportadas por el protocolo MODBUS, entre esas funciones se han seleccionado un conjunto que cumplan con las necesarias para lograr la comunicación satisfactoria entre todos los dispositivos maestros y esclavos del sistema. De igual manera, se seleccionaron las excepciones que podrían ocurrir como producto de una comunicación fallida. Ambos casos, se encuentran planteados en la Tabla IV.4

Funciones	Código
Leer Registros	03
Escribir un Registro	06
Escribir múltiples Registros	16
Excepciones	
Función Ilegal	01
Dirección Ilegal	02
Valor Ilegal	03
Fallo del dispositivo esclavo	04
Acknowledge	05
Dispositivo esclavo ocupado	06
Acknowledge Erróneo	07

Tabla IV.4 Funciones y Excepciones

Una vez conocido los códigos de las funciones y excepciones, es posible comprender la tarea de un dispositivo esclavo al recibir una trama del protocolo MODBUS. El primer paso será determinar el código de la función que se desea ejecutar, seguidamente se verifica que la función sea soportada por el dispositivo esclavo, y en caso contrario se envía una excepción al dispositivo maestro. A continuación se realizan los mismos pasos tanto para la dirección del dispositivo como para los datos a escribir o leer. Luego se ejecuta la función solicitada y se envía la respuesta por el protocolo MODBUS. En cualquier caso, si ocurriese una excepción se ignoran los demás pasos y se envían los códigos de excepción en la respuesta de la solicitud. En la Figura IV.4.4 se puede observar un diagrama de flujo, que presenta los pasos seguidos al recibir una trama MODBUS.

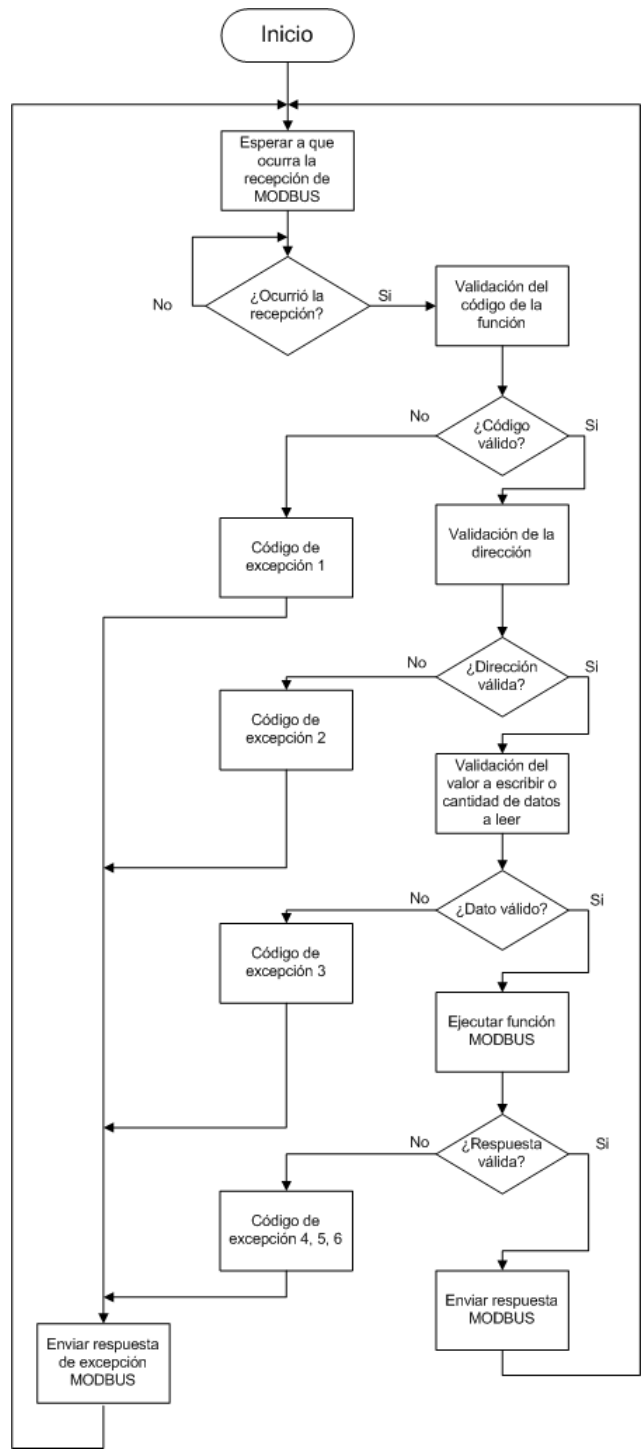


Figura IV.4.4 Diagrama de flujo recepción MODBUS

4.5 Software de visualización de datos

El objetivo de este programa es representar los datos obtenidos inalámbricamente y mostrarlos en pantalla por medio de una interfaz gráfica. Para ello se siguieron los pasos mostrados en el diagrama de flujos de la Figura IV.5.1 el primer paso es inicializar las variables usadas en el sistema y configurar los componentes del equipo. Luego se establece el radio FM como receptor, ya que este dispositivo no va a realizar solicitudes sino que siempre será un dispositivo esclavo. A continuación se espera a que la remota se comunice con el handheld y le envíe los datos. Si ocurre la comunicación se determina si la medición de temperatura se encuentra entre los rangos válidos de la carga del camión, y en caso contrario se indica en la pantalla que ocurrió una alarma.

Además se actualizan los valores de temperatura mínima, máxima y actual. La pantalla LCD otorga la posibilidad al responsable de la carga no solo de conocer la temperatura actual, sino de ver representado gráficamente el comportamiento de la temperatura del camión a lo largo del viaje.

El programa almacenado en el Microcontrolador permite desplegar diferentes imágenes en la pantalla con 12 bits de color y representa con barras las gráficas de temperatura, donde la altura mayor o menor de las barras indican si la temperatura es alta o baja respectivamente. El despliegue de texto en la pantalla se logra mediante un arreglo o una tabla de valores predefinida en memoria Flash interna del Microcontrolador, donde se le asigna a cada carácter su equivalente ASCII. El arreglo posee 8 bytes asignados a cada carácter, y debido a que los caracteres poseen un solo color, con un bit es suficiente para decidir si un pixel esta marcado o no. Con 8 bytes se obtiene un arreglo de 8x8 pixeles para cada carácter.

En la Figura IV.5.2 se puede observar un arreglo de 8x8 pixeles para la letra “E” donde las columnas son los bytes y las filas los bits de cada byte. Para el ejemplo

de la Figura IV.5.2, los bytes en hexadecimal pertenecientes a ese carácter son los de mostrados en la parte inferior de la figura.

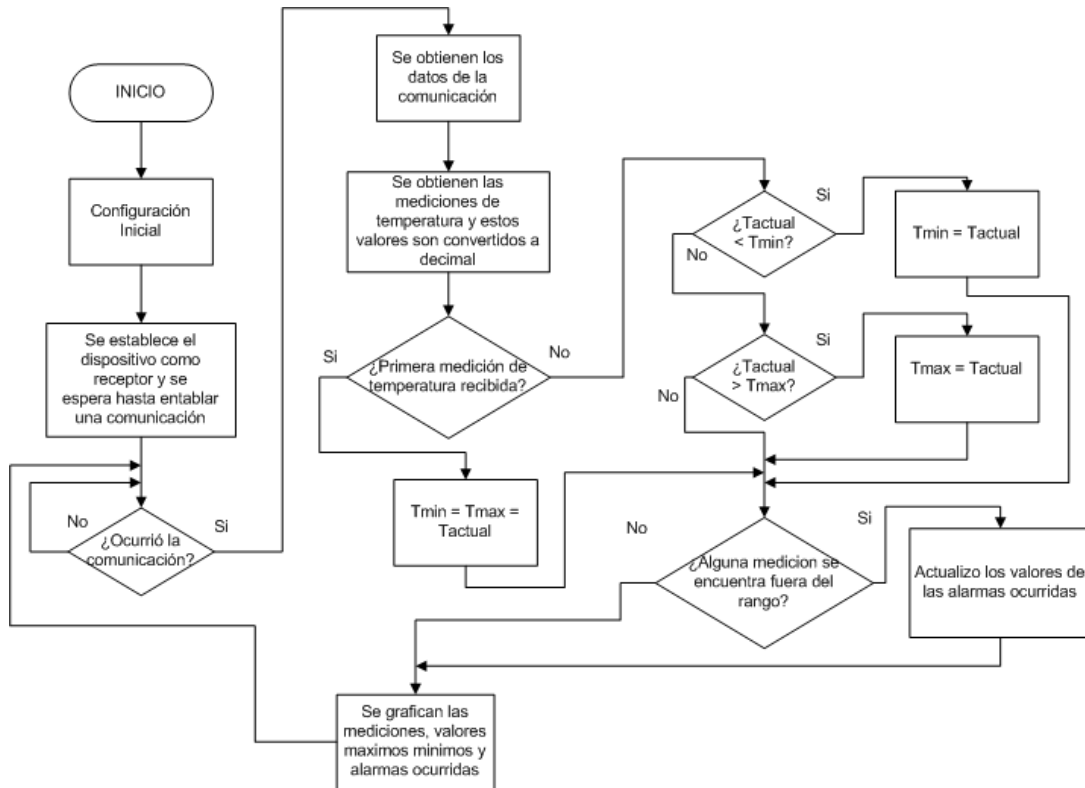


Figura IV.5.1 Diagrama de flujo del handheld

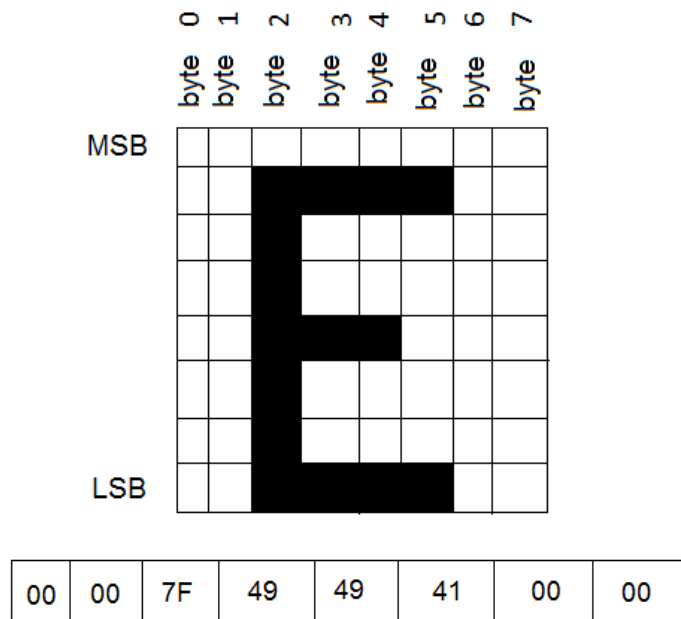


Figura IV.5.2 Arreglo de caracteres

4.6 Integración WEB

Cuando el dispositivo llega a su destino, éste debe descargar los datos almacenados durante todo el trayecto, para ello, debe recibir una solicitud por parte del centro de control, mediante la cual se le pedirán los datos almacenados por conjuntos de 8, esto con el fin de llevar un orden en los datos recibidos, debido a que si se realizan tramas muy largas de datos se corre el riesgo de recibir datos erróneos ó, de perder una gran cantidad de datos si se rompe la comunicación lo que conlleva a una lentitud en la transmisión. Los paquetes son identificados con un número para evitar la duplicidad, y a medida que el centro de control recibe los datos, los va integrando a un sistema SCADA. El sistema SCADA, es el encargado de llevar todos los datos tomados por el sensor de temperatura a una página web, esto con la finalidad de que los datos puedan ser supervisados desde cualquier lugar con conexión a internet.

Los sistemas SCADA permiten la supervisión y el control de las mediciones de parámetros, aunque para el dispositivo de medición de temperatura solo será posible la supervisión, debido a que los datos llevados a la WEB, son mediciones realizadas con anterioridad, y no hay forma de controlar las mediciones que ya ocurrieron. Por otra parte las mediciones tomadas le permiten al operador conocer si ocurrió una falla, la hora y el tiempo de duración de dicha falla. Con estos datos el operador puede tomar decisiones en cuanto a reparación de los sistemas de transporte refrigerados, así como también prevenir el deterioro de futuras cargas.

CAPÍTULO V

5 VALIDACIÓN

5.1 Diseño de las pruebas

Para comprobar el funcionamiento correcto de los dispositivos, se llevaron a cabo una serie de pruebas. Las pruebas realizadas sirvieron para depurar errores que iban apareciendo durante el desarrollo de los dispositivos. La primera prueba realizada fue la comunicación entre la remota de medición de temperatura y el handheld. Para ello se probó la comunicación a diferentes distancias físicas entre los dispositivos, los mismos se llevaron a espacios abiertos y entornos cerrados y se determinó la cantidad de veces que resultaba efectiva la comunicación entre ambos, lo que permitió determinar las distancias a las que se pueden situar los dispositivos para que se logre la comunicación.

Seguidamente se elaboraron pruebas de comunicación efectiva de los dispositivos pero en esta ocasión acoplados a sistema de transporte por un periodo de tiempo de una semana, y se determinó la forma en que afectan factores como el movimiento y las vibraciones del transporte en la comunicación de los dispositivos, además de verificar el funcionamiento del mismo en la medición de un rango de valores de temperatura, ya que el sensor se encontró activado durante el día y la noche y las mediciones tomadas fueron almacenadas en la memoria Flash externa. Con los valores almacenados es posible determinar si en algún momento el dispositivo presentó un comportamiento fuera de lo común.

Por otra parte se realizaron pruebas de verificación de los valores aportados por el sensor de temperatura comparándolos con las mediciones de otro sensor, los cuales deben encontrarse entre un rango dado al ser sometido a diferentes ambientes como una nevera, temperatura ambiente y exposición directa del sol.

Una prueba de gran importancia la presento la comunicación directa entre la remota de temperatura y el centro de control, debido a que al existir limitaciones en la cantidad de datos enviados, puede ocurrir que una trama no se envíe correctamente y deba ser reenviada y al existir una gran cantidad de datos almacenados el proceso puede ser lento. En este caso se realizaron pruebas de comunicación efectiva entre la remota y el centro de control, así como también se determinó la distancia más óptima entre ambos dispositivos para lograr una buena comunicación.

Finalmente se realizaron las pruebas de autonomía del equipo, sometiéndolo a periodos de prueba en los que solo funcionaba con una batería externa, en estas pruebas se implementaron algoritmos de ahorro de energía del Microcontrolador y otros elementos del sistema, se verificó el funcionamiento del cargador de batería y se determinó tanto el valor de batería más óptimo para la aplicación como también el tiempo de encendido y apagado de los radios y el período entre muestra para obtener mayor durabilidad sin alimentación directa del vehículo. Con estas pruebas se procedió a determinar el tiempo de duración de las baterías.

5.2 Resultados y análisis de los resultados

En las primeras pruebas realizadas, se obtuvo una comunicación eficiente entre la remota y el handheld, logrando comunicaciones efectivas de un 95% de casos satisfactorios a distancias de hasta 47m en edificaciones y hasta 80m con línea de visión directa, la cual es una distancia suficiente para lograr la comunicación entre ambos dispositivos y entre la remota y el centro de control, ya que estos últimos deben tener línea de visión directa cuando sean adaptados a los transportes.

Para el caso de la segunda prueba, se adaptó el dispositivo de medición de temperatura en el exterior de un vehículo particular, y el handheld a la cabina del conductor durante un período de una semana tomando mediciones con intervalos de 10 segundos. En esta ocasión todas las mediciones tomadas se mantuvieron en un margen coherente, sin alteraciones bruscas, lo que indica que las vibraciones del

vehículo no causaron fallos ni inconvenientes en el normal funcionamiento del dispositivo, además al tratarse de distancias cortas, es comprensible que no existieran fallos en la comunicación de los dispositivos.

Seguidamente, se verificó que los datos aportados por el sensor de temperatura fueran correctos, por lo que se procedió a comparar los resultados obtenidos en diferentes situaciones con un conjunto de mediciones realizadas con un termopar tipo K, en este caso hubo discrepancias de hasta 1°C. De este caso de prueba no se puede concluir claramente que hubo un error en la medición, debido a que la precisión del termopar es mayor a 1°C, mientras que la del sensor de temperatura digital es de 0.5°C. En esta prueba se puede considerar que las mediciones obtenidas son de la mayor exactitud alcanzable con la resolución del instrumento patrón. Por otra parte se realizaron comparaciones con tres sensores digitales 1-wire iguales, en cuyo caso se obtuvo las mismas mediciones en todos.

Para la prueba de la autonomía del equipo se siguieron una serie de pasos que permitieron determinar la configuración óptima para el ahorro de energía. En primer lugar se decidieron los tiempos para los cuales el dispositivo va a tomar las mediciones, los tiempos en que el dispositivo se va colocar como transmisor y los de receptor. Para ello se siguió una guía de diseño de circuitos de bajo consumo de energía con el uso de Microcontroladores realizada por Microchip. Las etapas de trabajo del dispositivo son las siguientes: se enciende y se coloca en modo de ahorro de energía, seguidamente cuando ocurre la interrupción del reloj de tiempo real, se despierta el Microcontrolador y se realiza una medición de temperatura, a continuación el valor de la medición es almacenado en la memoria externa para luego ser transmitido inalámbricamente al handheld, a partir de ahora el Microcontrolador vuelve al estado de ahorro de energía. Estos pasos se repiten una serie de veces para luego colocarse en modo de recepción y verificar si llegó al destino. Se puede decir que periódicamente se repite la misma secuencia de pasos, por lo que con solo analizar un período de la secuencia se puede tener una idea bastante ajustada del

consumo de energía a largo plazo. En la Figura V.2.1, se puede apreciar la relación del consumo de energía con el tiempo en cada una de las etapas.

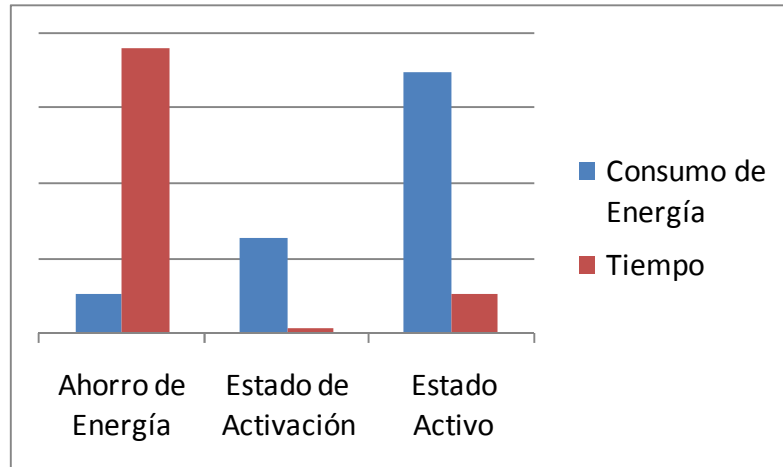


Figura V.2.1 Relación Consumo de energía y tiempo

La barra roja indica el tiempo durante el cual se encuentra activo el estado, mientras que la barra azul indica la cantidad de energía consumida por el estado. Cuando el Microcontrolador se encuentra en estado de ahorro de energía, este consume solo una pequeña cantidad de la misma pero el tiempo que permanece en este estado es muy grande. La etapa de activación es cuando el Microcontrolador pasa de estar en ahorro de energía a estar activo y aunque el tiempo es muy pequeño, el consumo de energía es considerable sobre todo cuando el proceso es repetitivo. Finalmente en el estado activo el Microcontrolador realiza todas las tareas y se produce el mayor consumo de energía.

El tiempo estimado de repetición del proceso para el Microcontrolador es de 10s. Durante 9s el Microcontrolador se encontrará en ahorro de energía, y luego durante 1s se realizarán todas las tareas y se despertará el Microcontrolador del ahorro de energía. Cuando se haya repetido 6 veces el mismo procedimiento, es decir,

cada minuto el Microcontrolador se colocará como receptor por 1 segundo y tratará de comunicarse con el centro de control.

De la hoja de datos del Microcontrolador se obtuvo, que el tiempo que demora en despertarse después de un ahorro de energía es de 64ms, por lo que el tiempo de estado activo será $1s - 64ms = 936ms$. Con estos valores se procede a calcular el porcentaje de tiempo en cada estado y conociendo que en un mes existen 720 horas ($30d * 24h/d$), se calculó la cantidad de horas al mes en las que el Microcontrolador se encuentra en cada estado y los mismos se presentan estructurados en la Tabla V.2.2

Estado	% Tiempo	Horas al mes
Activación	$(64ms/10s) \times 100 = 0.64\%$	$0.64\% \times 720h = 4.6h$
Activo	$(936ms/10s) \times 100 = 9.36\%$	$9.36\% \times 720h = 67h$
Ahorro de Energía	$(9s/10s) \times 100 = 90\%$	$90\% \times 720h = 648h$

Tabla V.2.2 Porcentaje en tiempo de cada estado

A continuación se determinó la corriente consumida por el Microcontrolador en cada uno de los estados. Estos datos fueron obtenidos de las diferentes hojas de datos de los componentes del sistema y son presentados en la Tabla V.2.3 en todos los estados se debe considerar la energía consumida por cada uno de los componentes que actúan en el sistema. Además se presenta en la Tabla V.2.3 el consumo total por unidad de tiempo, considerando 3.3V de alimentación, 8MHz de frecuencia del reloj del sistema y temperatura ambiente de 25°C como las condiciones de funcionamiento.

	Corriente	Tiempo	Consumo Individual
Estado de Activación			
Activación del Microcontrolador	1,6mA	4,6h	7,36mAh
Activación del Radio FM	1,5uA	0,36h	540nAh
Activación del Sensor de Temperatura	1uA	72x10 ⁻⁶ h	72pAh
Estado Activo			
Consumo del Microcontrolador	5,4mA	67h	361mAh
Consumo del Radio FM	21mA	1,08h	22,68mAh
Consumo del Sensor de Temperatura	1,5mA	54h	81mAh
Consumo de la Memoria Flash	30mA	1,5x10 ⁻³ h	45uAh
Estado de Ahorro de Energía			
Memoria Flash (Standby)	20uA	648h	12,96mAh
Sensor de Temperatura (StandBy)	1uA	648h	0,648mAh
Microcontrolador (StandBy)	55uA	648h	35,64mAh
Radio FM (Standby)	0,35uA	648h	0,226mAh
En todos los estados			
Reloj de Tiempo Real	18uA	720h	12,96mAh
Watch Dog Timer	5uA	720h	3,6mAh
Consumo Total			540mAh

Tabla V.2.3 Consumo de Energía

Estos resultados son satisfactorios debido a que todos los componentes se colocan, de ser posible, en modo de ahorro de energía, como por ejemplo el radio FM pasa a estado de inactividad mientras no se encuentre en uso, lo que permite incrementar la productividad del equipo trabajando con batería. El consumo total obtenido fue de 540mAh, pero a este resultado se le debe agregar el consumo del radio cuando se activa una vez por minuto durante un segundo para trabajar como receptor. Debido a que ya se calculó el resto del consumo en inactividad solo falta

agregar el consumo del radio en modo de recepción. El radio FM, se activa por un segundo cada 60 segundos, entonces el porcentaje de activaciones sería $(1/60) \times 100 = 1.666\%$, este resultado se multiplica por la cantidad de horas de un mes y se obtienen las horas de trabajo del radio como receptor $(1.666\% \times 720h)/100 = 12h$. Esto quiere decir que el radio permanece en recepción un total de 12 horas al mes, pero cuando el Radio se enciende también lo hace el Microcontrolador por lo que el consumo mensual sería $12h \times (5.4mA + 10mA) = 185mAh$. Con estos datos se tiene el consumo total del dispositivo trabajando completamente tanto con la transmisión de datos al handheld como con la espera de recepción de datos del centro de control. El consumo total del dispositivo es de $540mAh + 185mAh = 725mAh$. En el Capítulo III, se comentó que la batería seleccionada fue de 860mAh, por lo que con la configuración seleccionada se logra que el dispositivo trabaje por un tiempo mayor a un mes, el cual fue uno de los objetivos planteados en el proyecto. Es importante destacar que estos resultados dependen de una eficiente programación del Microcontrolador y demás componentes del sistema. Así como también del estado en el que se encuentre la batería seleccionada.

CONCLUSIONES

Con la implementación de los prototipos de circuitos electrónicos se logró realizar satisfactoriamente un dispositivo inalámbrico de medición de temperatura con capacidad de almacenamiento de datos en memoria externa y con posibilidad de visualización de mediciones de temperatura instantánea en una pantalla LCD.

Gracias a la comunicación inalámbrica entre los dispositivos y el centro de control, es posible realizar la transmisión de datos sin la necesidad de conexiones físicas entre los dispositivos. Al descartar la recepción de tramas que no siguen el protocolo seleccionado se logra disminuir los errores producidos en la comunicación, como lo son por ejemplo los errores provocados por el ruido y las comunicaciones entre otros dispositivos que trabajen a la misma frecuencia. Aún en aplicaciones muy sencillas es importante agregar un código de detección de errores como el CRC para asegurar que no se recibió ningún dato erróneo.

La correcta selección de los componentes del sistema, es una de las etapas más importantes a la hora de diseñar algún dispositivo. La selección correcta ó errónea de algún componente puede ahorrar tiempo en programación o diseño de circuitos electrónicos. Con un estudio detallado de las necesidades en el dispositivo se logró seleccionar una serie de componentes que actuaron según sus especificaciones y como conjunto cumplieron su cometido.

En aplicaciones electrónicas móviles y de alimentación a batería, resulta de gran importancia el estudio detallado del consumo de cada uno de los componentes según el tiempo de activación. Al desactivar los componentes que no actúan constantemente en el equipo ó colocarlos en modo de ahorro de energía (siempre que sea posible), se logra disminuir el consumo de energía en comparación con el consumo obtenido cuando todos los componentes están activos.

Para agregar robustez a los equipos, se debe configurar el “watch dog timer” para que trabaje en todo momento. Éste aspecto es importante sobre todo cuando se trabaja con prototipos y como tal son propensos a fallas imprevistas.

Con el uso de un Microcontrolador y de otra serie de componentes comerciales de bajo costo inicial se logró obtener un producto con valor agregado, lo que demuestra que con el uso de tecnología comercial se pueden obtener soluciones a problemas específicos de ingeniería que integren hardware y software.

Con la implementación del dispositivo de medición de temperatura en la cadena de frío, se pueden reducir los riesgos de deterioro de los elementos que se encuentran en las cargas refrigeradas, al contar con un sistema eficiente de monitoreo constante durante la etapa de transporte. La supervisión de la cadena de frío, beneficiaría a gran parte de la población al asegurar que los productos refrigerados no han salido del rango de temperatura permitido y en consecuencia se encuentran en estado óptimo para su consumo.

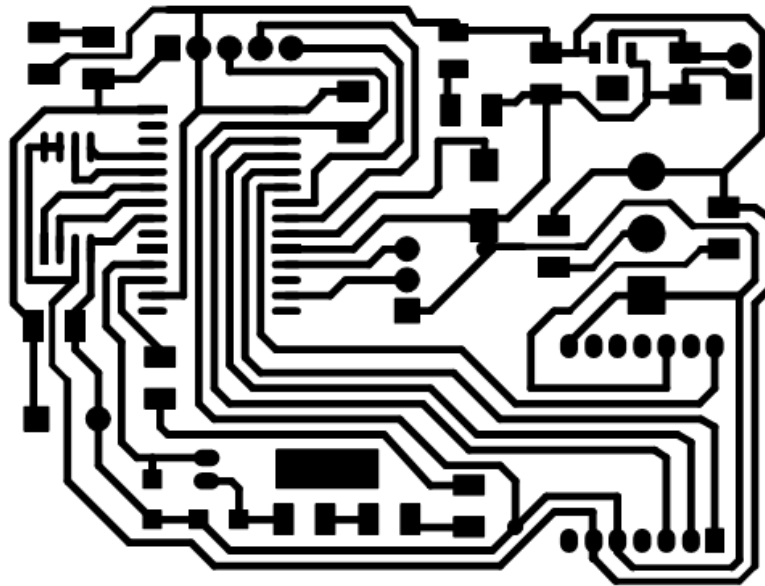
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **[MAXIM, 2008]** 1-Wire Devices, MAXIM (En línea)
<http://www.maxim-ic.com/products/1-wire/> (Consultada 08/2008)
- **[Stallings, 2007]** Stallings, Williams. Data and computer communications. 8va edición Prentice Hall. 2007, p189-195
- **[Embedded, 2008]** Introduction to Serial Peripheral Interface - Embedded (En línea) <http://embedded.com/columns/beginnerscorner/9900483> (Consultada 07/2008)
- **[Wikipedia, 2008]** Memoria Flash – Wikipedia, La enciclopedia libre (En línea). http://it.wikipedia.org/wiki/Memoria_flash (Consultada 11/2008)
- **[MODBUS IDA, 2004]** MODBUS Application Protocol Specification- MODBUS IDA, <http://www.Modbus-IDA.org>, 2004
- **[MAXIM, 2008]** Hoja de Datos Técnicos – DS1820. MAXIM
- **[Dallas Semiconductor, 2008]** Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Dallas Semiconductor Touch Memory Products - Application Note 27, Dallas Semiconductor
- **[Silicon Storage Technology, 2006]**. Hoja de Datos Técnicos – SST25VF016B. Silicon Storage Technology, 2006
- **[HOPE RF, 2008]** Hoja de Datos Técnicos – RFM12. HOPE RF, 2008
- **[PHILIPS, 2008]** Hoja de Datos Técnicos – PCF8833. PHILIPS, 2003
- **[MICROCHIP, 2008]** Hoja de Datos Técnicos – PIC24FJ64GA002. MICROCHIP, 2008
- **[MICROCHIP, 2008]** Hoja de Datos Técnicos – MCP73831T. MICROCHIP, 2008
- **[Bailey, Wright, 2003]** BAILEY, David. WRIGHT, Edwin. Practical SCADA for Industry, Newnes, 2003. p3-7

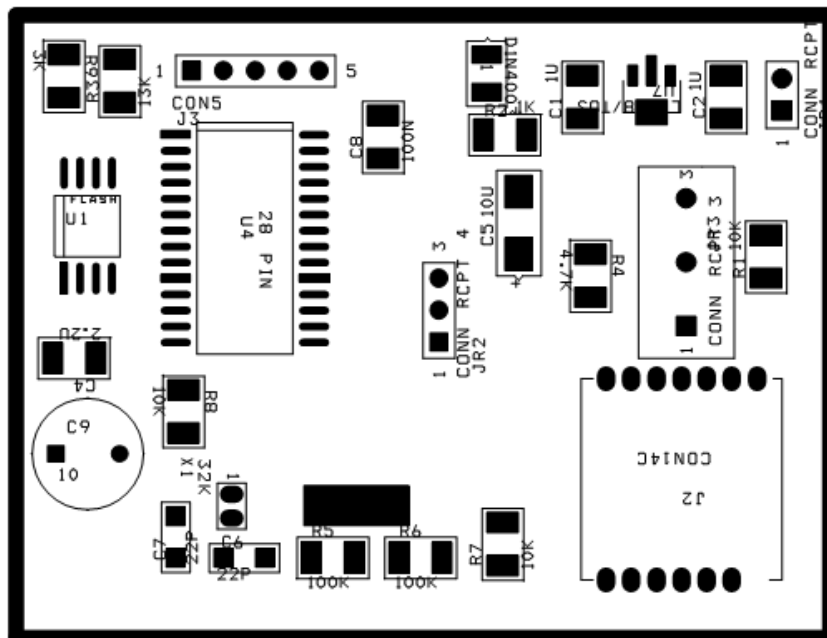
BIBLIOGRAFÍA

- PEÑA, Marco. CELA, José. Introducción a la programación en C. Universitat Politècnica de Catalunya. 2000.
- Manual - LYNCH, James P. Nokia 6100 LCD Display Driver. Revisión 1.
- MODBUS Application Protocol Specification- MODBUS IDA,
<http://www.Modbus-IDA.org>
- Hoja de Datos Técnicos – SST25VF016B. Silicon Storage Technology
- Hoja de Datos Técnicos – RFM12. HOPE RF
- Hoja de Datos Técnicos – PCF8833. PHILIPS
- Hoja de Datos Técnicos – PIC24FJ64GA002. MICROCHIP
- Hoja de Datos Técnicos – MCP73831T. MICROCHIP
- Hoja de Datos Técnicos – DS1820. MAXIM
- MPLAB C30. C COMPILER USER’S GUIDE. MICROCHIP. 2007
- PRESSMAN, Roger. Ingeniería del Software. Mc Graw Hill. Quinta edición
- Manual – Low Power Design Using PICmicro Microcontrollers. Microchip. 1999

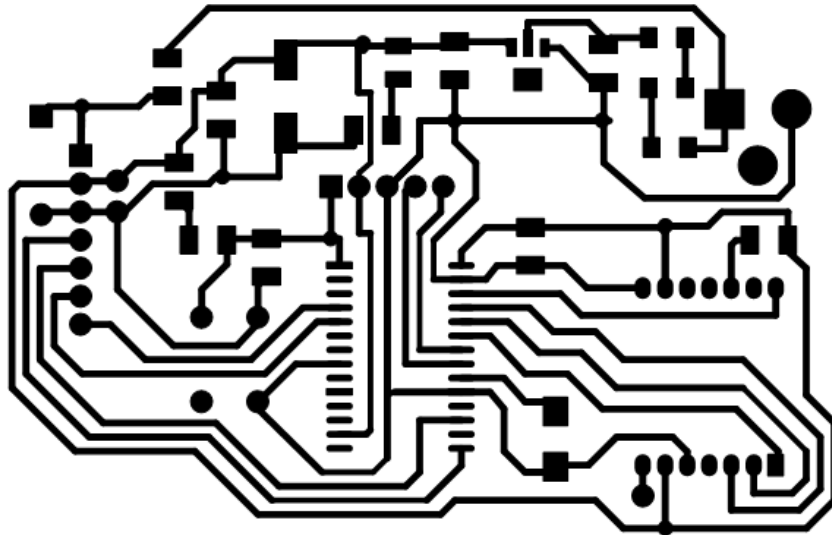
ANEXOS



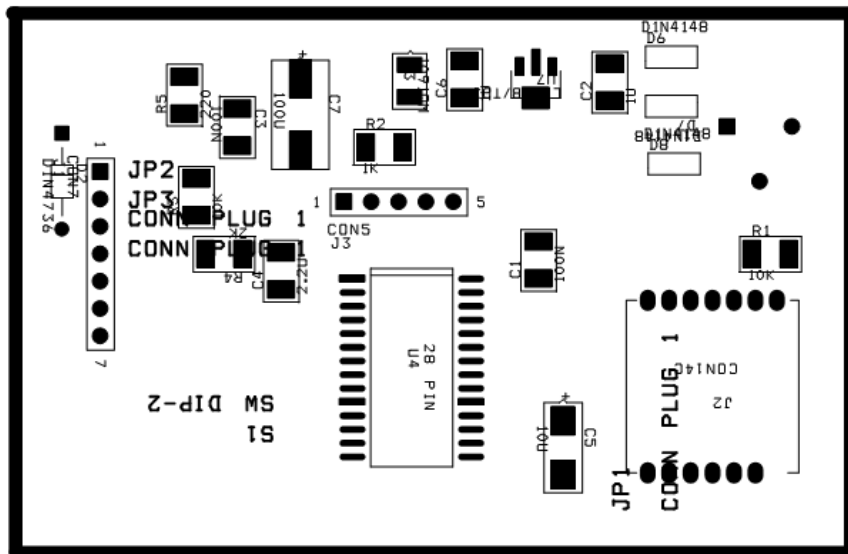
Capa de pistas y soldadura del medidor de temperatura



Capa de Componentes del medidor de temperatura



Capa de pistas y soldadura del handheld



Capa de Componentes del medidor del handheld

