

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



Diseño de sistema de supervisión de elementos externos a estaciones de Telecomunicaciones

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

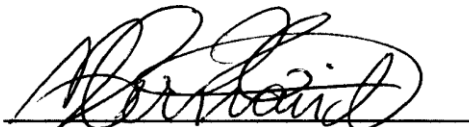
Daniel Bedoya Arroyo

Cartago, 13 Diciembre de 2010

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

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

Miembros del Tribunal



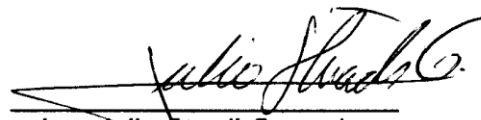
Ing. Néstor Hernández Hostaller

Profesor lector



Ing. Carlos Badilla Corrales

Profesor lector



Ing. Julio Stradi Granados

Profesor asesor

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

Cartago, 13 diciembre 2010

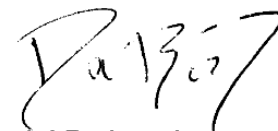
Declaratoria de autenticidad

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

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

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 13 de diciembre 2010



Daniel Bedoya Arroyo

Céd: 1-1338-0669

Resumen:

El Instituto Costarricense de Electricidad brinda servicios de telefonía móvil, fija e Internet a lo largo y ancho del territorio nacional. Para tal fin cuenta con más de 1200 estaciones de telecomunicaciones desde las cuales se distribuye la señal a los usuarios.

Muchas de estas estaciones se localizan en lugares aislados y no poseen personal destacado permanentemente para su mantenimiento, por lo que están expuestas a averías causadas por elementos externos.

La reparación de estas averías causa pérdidas millonarias a la institución. Además la pérdida de los enlaces o el daño en equipos de transmisión disminuye la calidad del servicio brindado a los usuarios y perjudica la imagen institucional.

El presente proyecto de graduación pretende desarrollar un sistema de monitoreo que permita alertar de forma expedita a los encargados de mantenimiento de 2 situaciones particulares: la sustracción del cable de tierra y el paneo de las antenas de microondas.

El sistema a implementar tomará en consideración factores como el tamaño del prototipo, la escalabilidad, el consumo de energía y el medio de transmisión. Asimismo será necesario definir una forma efectiva de visualizar los datos recopilados y alertar a los encargados.

Palabras Clave: Sistema de monitoreo, Transmisión Radiofrecuencia, Robo de cable, Bases de Datos

Abstract:

ICE is the biggest provider in telecommunication services in Costa Rica. Those services include mobile and home telephony, Internet and others. To provide those services ICE has over 1000 of telecommunication stations or radio bases, where the signal is distributed to the final users.

A lot of these stations are located in isolated and distant places. Technicians provide maintenance few times a year, that means that some stations remain alone most of the time. In case of a malfunction usually are the clients the ones that make the report.

These malfunctions mean a lot of money for the institution. Besides losing the link between two stations, clients obtain bad services affecting the image of the institution.

This graduation project intend to develop a surveillance system that is able to inform immediately about two particular subjects, missing ground cables an undesired movements in microwave antennas.

The system must consider facts like size of the prototype, energy consumption and technique for transmitting the information. The student should develop also an interface, in order to let the people in charge of the station check the data from a remote location.

Key Words: Surveillance system, Radio frequency, missing ground cable, data base

Agradecimiento:

Agradezco al Ing. Julio Stradi Granados por la oportunidad brindada para desarrollar el proyecto de graduación en el Instituto Costarricense de Electricidad. De igual forma extendiendo el agradecimiento a los compañeros del proceso de transporte por la ayuda brindada durante la última etapa de este ciclo académico.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	12
1.1.....Problema existente e importancia de solución.	12
1.2..... Solución seleccionada	16
Capítulo 2: Meta y Objetivos	20
2.1.....Meta:	20
2.2..... Objetivo General:	20
2.3..... Objetivos Específicos	21
Capítulo 3: Marco Teórico	22
3.1..... Descripción del proceso a mejorar	22
3.2..... Antecedentes Bibliográficos	24
3.3..... Descripción de los principales principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema.	25
3.3.1 <i>Telefonía Móvil</i>	25
3.3.2 <i>Estación de Telecomunicaciones</i>	28
3.3.3 <i>Pararrayos en estaciones de telecomunicacinoes</i>	29
3.3.4 <i>Compás Digital</i>	33
3.3.5 <i>Sensor Infrarrojo Reflexivo</i>	34
3.3.6 <i>Tarjeta Ethernet SBC65EC</i>	35
Capítulo 4: Metodología.....	36
4.1 Reconocimiento y definición del problema	36
4.2 Obtención y análisis de la información.	37
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de solución	38
4.4 Implementación de la Solución	40
4.5 Reevaluación y rediseño	44
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución	45
5.1 Análisis de soluciones y selección final	46
5.1.1 <i>Soluciones a sistema de comunicación utilizando red del ICE</i>	46

5.1.2 Soluciones para el monitoreo de la presencia de cable.....	48
5.1.3 Soluciones para el monitoreo de la posición de la antena	50
5.2 Descripción del Hardware	53
5.2.1 Módulo Ethernet.....	53
5.2.2 Módulo de detección de cable	55
5.2.3 Módulo de monitoreo de la antena.....	58
5.3 Descripción del Software.....	60
5.3.1 Rutinas de Software módulo Ethernet	60
5.3.2 Rutinas de software módulo de Radio Frecuencia.....	65
5.3.3 Rutinas de software módulo de detección de cable.....	66
5.3.4 Rutinas de software módulo de monitoreo de antena.....	68
5.3.5 Aplicación Java para recepción de datos por UDP y almacenamiento en base de datos.	69
5.3.5 Aplicación Web para despliegue de información y administración de base de datos.	72
Capítulo 6: Resultados y análisis de resultados	73
6.1 Resultados	73
6.2 Análisis de resultados.....	80
Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones	87
7.1 Conclusiones.....	87
7.2 Recomendaciones.....	88
Bibliografía.....	90
Apéndices	92
A2. Manual de Usuario.....	93
A2. Protocolos de medición.....	96
A3. Caracterización de los elementos transmisores de radiofrecuencia Transmisores.....	97
A4. Análisis Espectral de una estación de telecomunicaciones.	100
B Anexos.....	103
B1. Sensor Infrarrojo Reflexivo HOA1404	103
B2 Tarjeta Ethernet SBC65EC	106

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.2-1. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA SOLUCIÓN.....	18
Figura 1.2-1. Diagrama del proceso de solución de avería.	23
Figura 3.3.1-1. Red Celular GSM. Tomado de [4]	26
Figura 3.3.3-2. Instalación de un pararrayos en una estación de telecomunicaciones. Tomando de [5].....	31
Figura 3.3.3-3. Zonas de riesgo en una estación de telecomunicaciones. Tomando de [5]	32
Figura 3.3.4-1. Compás Digital HMC6352.....	33
Figura 3.3.5-2. Esquemático del sensor reflexivo HOA1404	34
Figura 3.3.6-1. Tarjeta Ethernet SBC65EC	35
Figura 5.1 Diagrama de bloques de la solución.	45
Figura 5.1.2 – 1. Sensor de Hall de corriente	48
Figura 5.3.1 – 3. IMU Combo Board, acelerómetro y giroscopio.	51
Figura 5.3.1 – 2. Sensor Infrarrojo Sharp GPD2D120X.....	52
Figura 5.2.1-1 Bloque funcional para la transmisión Ethernet.	54
Figura 5.2.2 – 1. Bloque funcional para la detección del cable	56
Figura 5.2.2-2. Conexión del sensor infrarrojo reflexivo	57
Figura 5.2.2 – 3. Prototipo del módulo detector de cable.	58
Figura 5.2.3 -1. Módulo de detección de movimiento en la antena.	59
Figura 5.2.3-2. Prototipo final del sistema de detección de cable.	60
Figura 5.3.1 -1. Diagrama de flujo del programa desarrollado para la tarjeta Ethernet SBC65EC.....	61
Figura 5.3.1 -2 Diagrama de flujo del programa desarrollado para el microcontrolador 18F4550.....	63
Figura 5.3.1-3 Trama de datos típica.....	64
Figura 5.3.2-4. Secuencia de envío de datos mediante RS232	65
Figura 5.3.3 -1. Diagrama de flujo del módulo de detección de cable	67
Figura 5.3.4 -1. Diagrama de flujo del módulo de monitoreo de la antena. .	68
Figura 5.3.5 – 2. Tablas y relaciones de los campos en base de datos.	71
Figura 6.1-1. Trama de datos para la alerta por cable. En color amarillo se muestra el dato recibido, en rosado el enviado.	75
Figura 6.1-2. Trama de datos para la alerta por falla en la antena. En color amarillo se muestra el dato recibido, en rosado el enviado.	75
Figura 6.1-3. Consola de Java, mensaje recibido mediante protocolo UDP. .	76

Figura 6.1-4. Microsoft Outlook, correo electrónico por falla en sensor de cable.....	77
Figura 6.1-4 Microsoft Outlook, correo electrónico por falla en sensor de la antena.	77
Figura 6.1-4. Consola Java, estación o sensor no identificados.....	78
Figura 6.1 -4. Captura de la tabla eventos en la página Web.....	79
Figura A-1. Análisis espectral del canal, con una frecuencia central de 315 MHz, span de 45 Khz y resolución de 30 Hz.	98
Figura A-2. Análisis espectral del canal, con una frecuencia central de 315 MHz, span de 45 Khz y resolución de 30 Hz.	99
Figura A-3. Análisis espectral del canal, con una frecuencia central de 434 MHz, span de 1.1 Mhz y resolución de 30 Hz.	99
Figura A-4. Análisis espectral de una estación de telecomunicaciones. ...	101
Figura A-5. Análisis espectral de una estación de telecomunicaciones, frecuencia central 315MHz.....	102
Figura A-6. Análisis espectral de una estación de telecomunicaciones, frecuencia central 433 MHz.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1-1 Resultados obtenidos en prueba de módulos 5 y 6.	73
Tabla 6.1-2 Resultados obtenidos en prueba de módulos 2, 5 y 6	74
Tabla 6.1-3 Resultados obtenidos en prueba de módulos 1, 2, 4, 5 y 6 ..	78
Tabla 6.3-3 Consumo de energía del prototipo final	80

Capítulo 1: Introducción

En el presente capítulo el lector podrá encontrar la descripción detallada del problema y la importancia de su resolución para la institución. Se mostrará el funcionamiento actual del proceso de reporte de averías y mantenimiento, y como el proyecto planteado pretende mejorar el sistema.

Además, se describirá brevemente la solución seleccionada por el estudiante y las razones que condujeron a tal decisión.

1.1 Problema existente e importancia de solución.

El Instituto Costarricense de Electricidad es el mayor proveedor de servicios en el área de las telecomunicaciones. Si bien el país atraviesa un proceso de apertura de mercado, es el ICE quien continúa a la vanguardia en la prestación de servicios, en buena parte por la infraestructura ya existente.

El ICE posee más de 1000 estaciones de telecomunicaciones distribuidas a lo largo del territorio nacional. Es gracias a estas estaciones que se forman las células que permiten la utilización de telefonía móvil en el país. Estas estaciones se utilizan también para otros fines, como por ejemplo enlaces por fibra óptica y enlaces mediante microondas. Se tiene pensado además arrendar estas estaciones a multinacionales que deseen incursionar en el mercado.

Al estar distribuidas a lo largo del país, las estaciones se encuentran tanto en áreas metropolitanas como en áreas rurales. El mantenimiento se realiza de forma periódica y ante reportes de averías.

Estas estaciones no cuentan con personal destacado de forma permanente, por lo que se encuentran sin funcionarios que las supervisen durante intervalos considerables de tiempo. Poseen una malla perimetral pero son vulnerables a

robos, especialmente de cable de cobre utilizado para aterrizar los elementos presentes en la estación e implementar otras secciones de la red.

Actualmente quién se encarga de dar mantenimiento a las estaciones de comunicaciones es el Instituto Costarricense de Electricidad, mediante un proceso basado en el reporte de averías y el mantenimiento periódico.

Por otro lado, dentro del ICE no existen antecedentes en el desarrollo de soluciones para monitorear las estaciones de comunicaciones. Desde que la institución comenzó a dar mantenimiento el procedimiento ha sido el mismo; por lo que la institución desea realizar mejoras que permitan ahorrar recursos y garanticen un mejor servicio a los usuarios.

Cada estación cuenta con elementos bien definidos: Un edificio con equipos de control, una torre o poste de transmisión y elementos móviles o electromecánicos. En algunas estaciones existen también equipos de fibra óptica y cables coaxiales que también son sustraídos.

Además de las pérdidas económicas por el mantenimiento, el ICE se expone a cobros por parte de la SUTEL. Si el servicio brindado a los usuarios es deficiente, la superintendencia castigará a la institución con multas. Estas multas se calculan con base en la cantidad usuarios afectados y el espacio de tiempo en que los servicios estuvieron suspendidos. Por lo tanto, detectar las averías en las estaciones de comunicaciones en el menor tiempo posible constituye la clave para evitar multas por parte de la SUTEL.

En este momento, el mercado de telecomunicaciones se encuentra en un proceso de apertura, lo que significa que los clientes son cada vez más críticos con el servicio brindado. Por lo tanto es de interés para la institución solucionar cualquier falla que signifique una pérdida de confiabilidad por parte de los clientes.

Si bien es clara la necesidad de un sistema de monitoreo que permita una atención más eficiente una vez que se produzca una avería, debe tenerse claro cuáles son las situaciones que con más frecuencia atentan contra el buen funcionamiento de las estaciones de telecomunicaciones.

Uno de las problemáticas que con frecuencia causan alteraciones en el servicio brindado a los usuarios, es la pérdida de enlaces debido a movimientos indeseados en las antenas de microondas, causados por vientos de alta intensidad.

Al estar ubicadas en zonas montañosas y a una altura considerable, las antenas son sensibles a los vientos característicos de ciertas zonas, que terminan por afectar el enlace de comunicación en forma total o parcial con los usuarios. Además se producen daños estructurales en las torres y las guías de onda que se traducen en pérdidas económicas para la empresa.

En ocasiones los reportes de averías llegan con demasiada tardanza, debido a que los usuarios no necesariamente perciben un corte en sus servicios de comunicación. De estar en el rango de cobertura, las torres aledañas se saturan con el tráfico proveniente de la estación que se encuentre fuera de servicio, causando una disminución en la calidad de operación normal de la red.

Otro de los problemas se relaciona con la sustracción de materiales en las estaciones. Las zonas alejadas y las condiciones sociales imperantes en muchos de los puntos donde se localizan las estaciones hacen que se sustraigan cantidades considerables de materiales cada vez con más frecuencia. Se sospecha incluso de la existencia de bandas organizadas dedicadas al desmantelamiento de las subestaciones.

La sustracción de cables de tierra deja expuesto a todo el equipo existente en estación. En la punta de las torres existe siempre un para rayos que atrae la

corriente eléctrica de la descarga atmosférica y la envía directamente a tierra. Sin esta conexión a tierra los elementos de la torre y del cuarto de transmisión se encuentran expuestos a picos de tensión que dañan la circuitería interna.

Al presentarse una falla en el equipo de transmisión los usuarios perciben una disminución en la calidad del servicio. Además las estaciones adyacentes se sobrecargan, pues deben intentar mantener la cobertura a todos los usuarios de la red.

El modelo actual de resolución de averías consiste en prueba – error. Cuando se detecta una falla en el sistema, ya sea por informe de los usuarios o en una visita de mantenimiento, los técnicos proceden en base a un protocolo. Al llegar a reparar la avería los técnicos cuentan con información marginal sobre la causa de la misma.

La solución al problema pretende que las averías se reporten de manera expedita y que al llegar a reparar el fallo los técnicos cuenten con información previa sobre el funcionamiento de la estación. Esto permitiría ahorrar tiempo y recursos a la institución.

Algunos de los beneficios q experimentaría la institución al implementar un sistema de monitoreo serían:

- Mayor rapidez en la atención de averías causadas por desviación de las antenas de microondas.
- Alertas inmediatas ante la sustracción de los cables de tierra.
- Registro de eventos de una estación particular.
- Usuarios reciben un servicio de mayor calidad.
- Disminuyen las multas debido al incumplimiento de servicios.
- Los técnicos encargados de reparación pueden transportar únicamente el equipo necesario al conocer el origen de la avería.

- Se crea un registro de las estaciones más vulnerables a eventos climáticos y vandálicos.
- Se evita daño en equipos debido a descargas atmosféricas.
- Mejora la imagen institucional.
- Disminuye la cantidad de personal necesario para la vigilancia de las estaciones.

1.2 Solución seleccionada

Antes de seleccionar una solución deben tenerse en cuenta los requerimientos de la empresa, los cuales fueron base para el diseño de la solución.

- Escalabilidad: La solución que se pretenda desarrollar debe ser escalable, de forma tal que sea posible adaptarla a las distintas estaciones de telecomunicaciones. No es factible construir un prototipo que sea útil únicamente para una estación y que necesite modificaciones considerables para ser adaptado a otras estaciones. La intención a largo plazo es solucionar la problemática existente en las más de 1000 estaciones distribuidas a lo largo del territorio nacional.
- Sistema de alimentación: Debe prestarse atención a la forma de energizar los elementos de sensado, pues utilizar la alimentación disponible en las estaciones hace al sistema de monitoreo vulnerable. Cualquier corte en la electricidad, provocado o no, dejará el sistema de alarma fuera de servicio. Además la altura de las antenas y la altitud en que se localizan algunas estaciones las hace vulnerables a descargas atmosféricas. Suministrar energía a los equipos de medición mediante la alimentación principal de la estación los hace vulnerables a este tipo de descargas.

- Consumo de potencia: Parte importante de la solución será también determinar cuáles son las variables idóneas que se deben medir, de forma tal que el sistema de monitoreo resuelva la problemática descrita anteriormente. En la determinación de las variables deberá tomarse en cuenta también las consideraciones de consumo de potencia, dada la intención de alimentar mediante baterías el sistema.
- Tecnologías Recientes: Más que contar con un prototipo funcional para una estación, se pretende profundizar en las distintas tecnologías que pueden ser utilizadas para diseñar una solución con las características descritas anteriormente.
- Protocolo de transmisión: Se debe determinar un protocolo de transmisión óptimo para la recolección de la información desde los nodos de sensado. Por protocolo óptimo debemos entender un sistema de comunicación capaz de agrupar el 100% de las muestras tomadas en una sola cadena de datos.
- Visualización de la información: En el edificio principal de la estación de telecomunicaciones deberá existir un software programado en un lenguaje de alto nivel, que sea capaz de tomar la cadena de datos con las muestras de las variables y procesarlas de forma tal que puedan generarse banderas de alerta ante alteraciones de los elementos externos.

En base a estos requerimientos se inicia el proceso de diseño de solución. El diagrama de la figura 1.2-1 muestra el diagrama de bloques de la solución del proyecto.

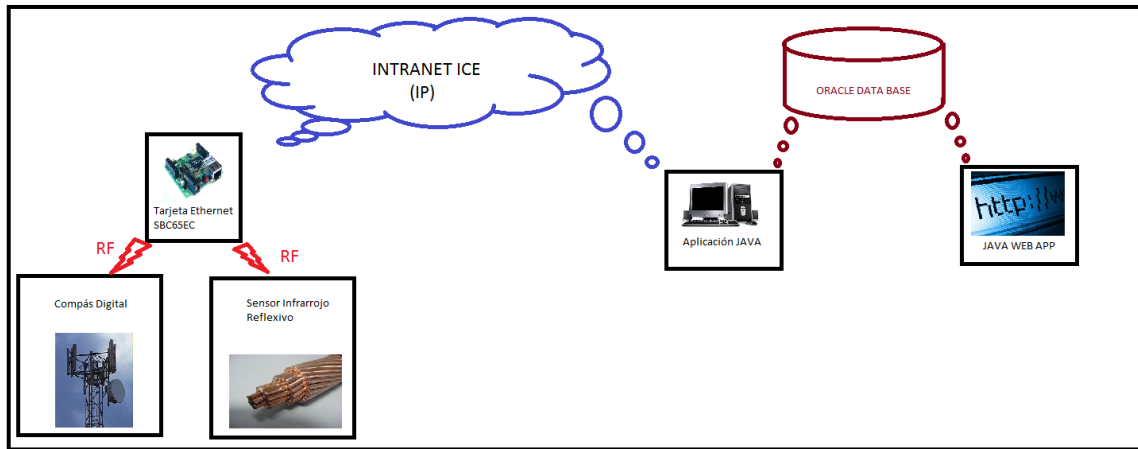


FIGURA 1.2-1. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA SOLUCIÓN.

Como se observa en el diagrama de bloques, para la medición para la medición de la posición de la antena se utiliza un compás digital. Este elemento permite conocer la posición de la antena con respecto al norte magnético con un precisión de 0.1°.

Para monitorear la presencia del cable de tierras se utiliza un sensor infrarrojo reflexivo. Este elemento, similar a un switch infrarrojo permite enviar al micro controlador una señal de alerta cuando el elemento en el cual estaba reflejándose la luz infrarroja es removido.

Para realizar la comunicación desde los nodos de sensado hasta la tarjeta Ethernet se utilizan transmisores de radio frecuencia, localizados en las bandas de 315 MHz y 433 MHz. La comunicación se realiza en 2 vías para evitar la pérdida de datos en el camino.

Una vez que los datos son recibidos por la tarjeta Ethernet se utiliza un protocolo de transmisión por UDP. Los datos son enviados utilizando la Intranet del ICE y son recibidos en una estación remota. La tarjeta Ethernet SBC65EC permite enviar los datos desde la estación hasta un punto lejano mediante la utilización de una de las redes disponibles.

Se desarrollan 2 aplicaciones en Java ®. La primera de ellas permite la recepción de datos desde un puerto UDP. Además esta aplicación procesa y almacena los datos recibidos en una base de datos Oracle.

La aplicación Web permite la visualización de los datos desde cualquier punto que tenga acceso a la intranet del ICE. Esta página Web es la interfaz con el usuario y a través de ella se puede visualizar los eventos registrados en la base de datos así como agregar información necesaria al servidor Oracle.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

El presente capítulo describe los objetivos que se pretenden alcanzar una vez concluido el proyecto. Cada objetivo se acompaña por un indicador que permita evaluar el nivel de cumplimiento.

2.1 Meta:

Implementar de forma exitosa en una estación de comunicaciones un sistema de monitoreo que alerte a los encargados de mantenimiento de forma inmediata sobre averías que limiten el funcionamiento de la estación.

Indicador: En un periodo de 1 año recibir en el centro de control alertas para el 90% de las averías registradas en la estación. Las alertas deberán recibirse en un tiempo no mayor a 1 minuto luego de registrado el evento.

2.2 Objetivo General:

Diseñar un sistema de monitoreo escalable que permita alertar de forma inmediata a los encargados de mantenimiento de las estaciones de telecomunicaciones del ICE sobre daños que alteren el funcionamiento de la estación.

Indicador:

Transmitir el 100% de las mediciones fuera de rango hasta un ordenador central mediante alguna de las redes del ICE. Las transmisiones deberán realizarse en un tiempo no mayor a 30 segundos luego de que se produzca la alteración de los elementos de sensado.

2.3 Objetivos Específicos

2.3.1 Diseñar elementos de medición que permitan el monitoreo de las variables críticas.

Indicadores: Alterar en 100 pruebas las variables críticas seleccionadas, los elementos de medición deberán enviar una señal de alerta en al menos 90 de las pruebas. La señal de alerta podrá ser visualizada mediante un LED.

2.3.2 Construir un sistema de comunicación que permita recolectar las mediciones y transmitirlos a un punto central de la estación de telecomunicaciones.

Indicador: Obtener en el punto central de la estación una sola trama de datos que contenga el 100% de las mediciones tomadas por cada uno de los sensores.

2.3.3 Elaborar un software capaz de tomar la trama de datos con la información proveniente de los elementos de sensado, procesarla y transmitirla mediante la red del ICE seleccionada.

Indicador: Obtener en una computadora comunicada mediante la red del ICE con la estación de telecomunicaciones el 100% de las alertas producidas en la estación en un tiempo no mayor a 30 segundos. Las alertas deberán incluir la ubicación de la estación y la razón de la alarmas.

Capítulo 3: Marco Teórico

A continuación se describen desde un punto de vista técnico los elementos más relevantes en el desarrollo del proyecto. Se presenta primeramente una descripción del proceso dentro del cual se ubica el sistema a desarrollar.

Se muestra además una breve recopilación de las fuentes bibliográficas ligadas al desarrollo del proyecto y por último se muestra una descripción técnica de los componentes y tecnologías involucradas en el desarrollo de la solución.

3.1 Descripción del proceso a mejorar

El Instituto Costarricense de Electricidad es una institución estatal encargada de brindar servicios de energía y telecomunicaciones. La subdivisión telecomunicaciones, dentro de la cual se localiza el proyecto ha desarrollado una enorme infraestructura en telefonía móvil y fija para dar servicio incluso a pequeñas comunidades alejadas de centros urbanos.

El proceso de transporte de la red, constituye uno de los módulos de la división de telecomunicaciones. Parte de las funciones de esta área, comprenden la atención de averías y el mantenimiento periódico de las estaciones de telecomunicaciones.

Actualmente si existe un corte en un enlace, los técnicos basan el proceso de solución en mediciones de potencia enviada versus potencia recibida. Si existe una pérdida considerable de potencia deben realizarse un proceso de revisión de elementos, pues no existen puntos de medición que permitan conocer el origen de la falla.

En lo que al robo de cable se refiere, actualmente los encargados de mantenimiento realizan chequeos en visitas periódicas a la estación. Además se

reciben reportes de vecinos ante actitudes sospechosas o evidencia de vandalismo. Lamentablemente no existe un sistema que permita alertar a los encargados de forma expedita.

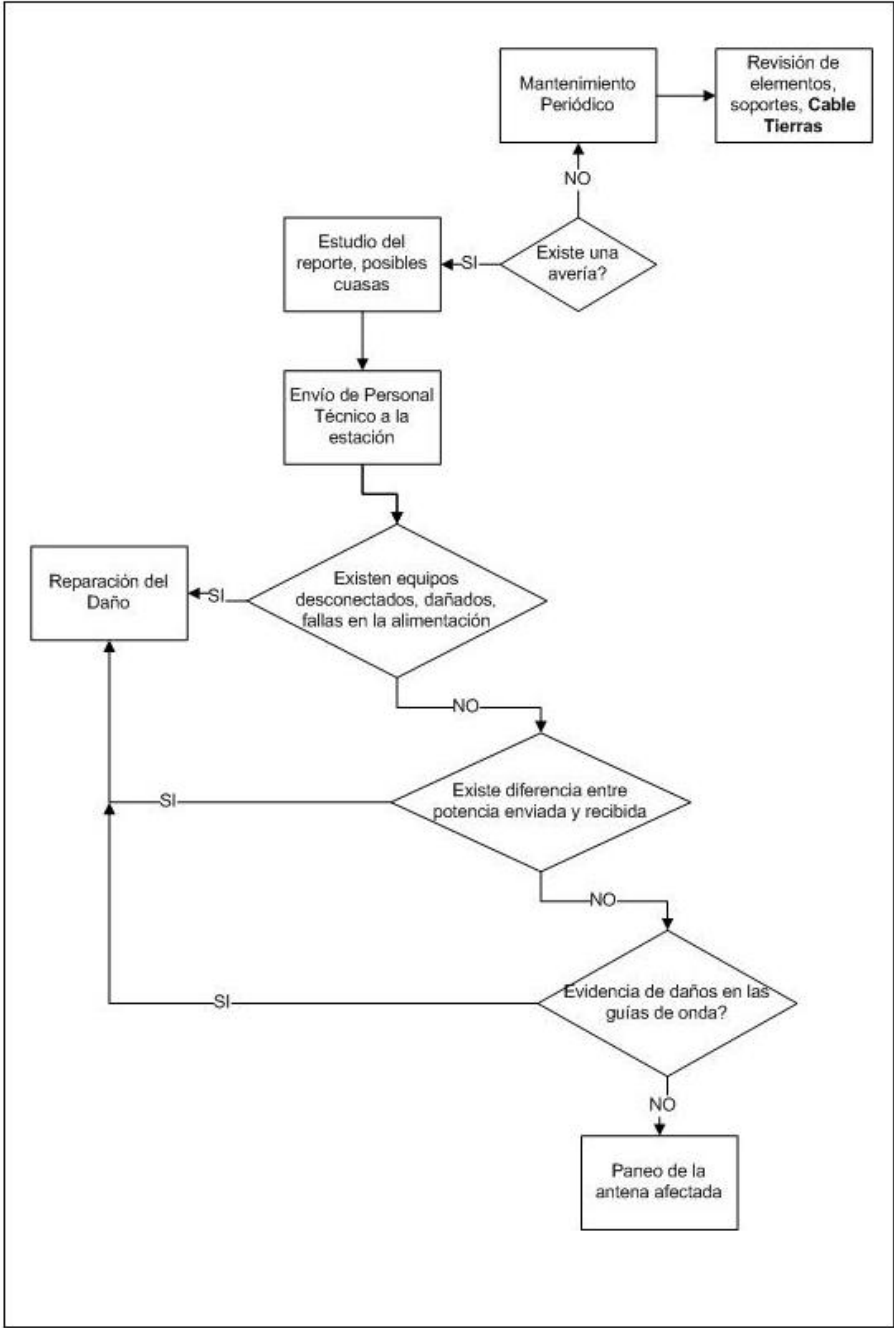


Figura 1.2-1. Diagrama del proceso de solución de avería.

3.2 Antecedentes Bibliográficos

En el año 2007 la estudiante de ingeniería en electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Natalia Salazar Obando desarrolla un proyecto para la empresa Erickson, mediante el cual se pretende atacar el problema de robo de cable y sustracción de placas de cobre de una estación en particular.

El sistema utilizaba como base relés por medio de los cuales se atravesaba un elemento transmisor, de forma tal que al removerse una placa de cobre o un cable coaxial se generara una alerta. El sistema era poco escalable y se adecuaba únicamente a una estación particular.

Para el envío de la información se utilizaba un módem GSM conectado al micro controlador de forma que al producirse un evento se enviara un mensaje de texto SMS. La tecnología no fue implementada en ninguna estación, a pesar de haberse concluido el prototipo con éxito.

Sobre sistemas similares al que se pretenden desarrollar, existen algunos antecedentes en países extranjeros que se han visto afectados por el robo de cable. Tal y como se desprende de [1], algunas compañías telefónicas argentinas y españolas han instalado alarmas silenciosas, sin embargo no existe información técnica sobre su funcionamiento.

Por otro lado, en aplicaciones mineras donde la presencia de una tierra física es indispensable se han desarrollado sistemas capaces de monitorear su presencia. Por ejemplo en [3] se muestra la información correspondiente al Relé Minero GCHK-100. Este sistema de costo elevado, utiliza un hilo piloto para monitorear la presencia de tierras físicas. Lamentablemente la tecnología utilizada no es pertinente para el proyecto en desarrollo.

3.3 Descripción de los principales principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema.

3.3.1 Telefonía Móvil

Los sistemas celulares digitales utilizan dos tipos fundamentales de canales de comunicación: canales de control y de voz. El canal de control se encuentra en uno de los subcanales de radio, permitiendo que los sistemas digitales combinen un canal de control y uno o más canales de voz en un canal de radio único,.

Los sistemas digitales comprimen la información correspondiente a la voz, utilizando un codificador de voz, y el resultado es una señal digital que representa el contenido de la voz en un espectro de frecuencias y no en una forma de onda con lo que se aumenta la eficiencia del sistema, [3].

En las redes de segunda generación (2G), un canal de frecuencia es a la vez dividido entre varios usuarios (ya sea mediante código o por división de tiempo). Las estructuras jerárquicas celulares mejoran la capacidad del sistema aún más, [4].

Una red 2.5G es una denominación amplia que incluye todas las actualizaciones avanzadas de redes de 2G y muchas de estas mejoras proveen casi las mismas capacidades que los sistemas 3G, [1].

En general, un sistema 2.5G incluye al menos una de las siguientes tecnologías: circuito de alta velocidad de conmutación de datos (HSCSD), Servicio General de Paquetes Vía Radio (GPRS), Datos Mejorados para Evolución Global (EDGE).

La tecnología GSM utiliza una estructura celular. La idea básica de una red celular es dividir el rango de frecuencias disponibles, para asignar sólo una parte de ese espectro de frecuencias para cualquiera de las estaciones del transceptor base. Además esta estructura reduce el alcance de una estación base con el fin de reutilizar las escasas frecuencias tan a menudo como sea posible. Uno de los principales objetivos de la planificación de la red es reducir la interferencia entre diferentes estaciones base. La figura 3.3.1-1 muestra un ejemplo de red celular GSM (2G).

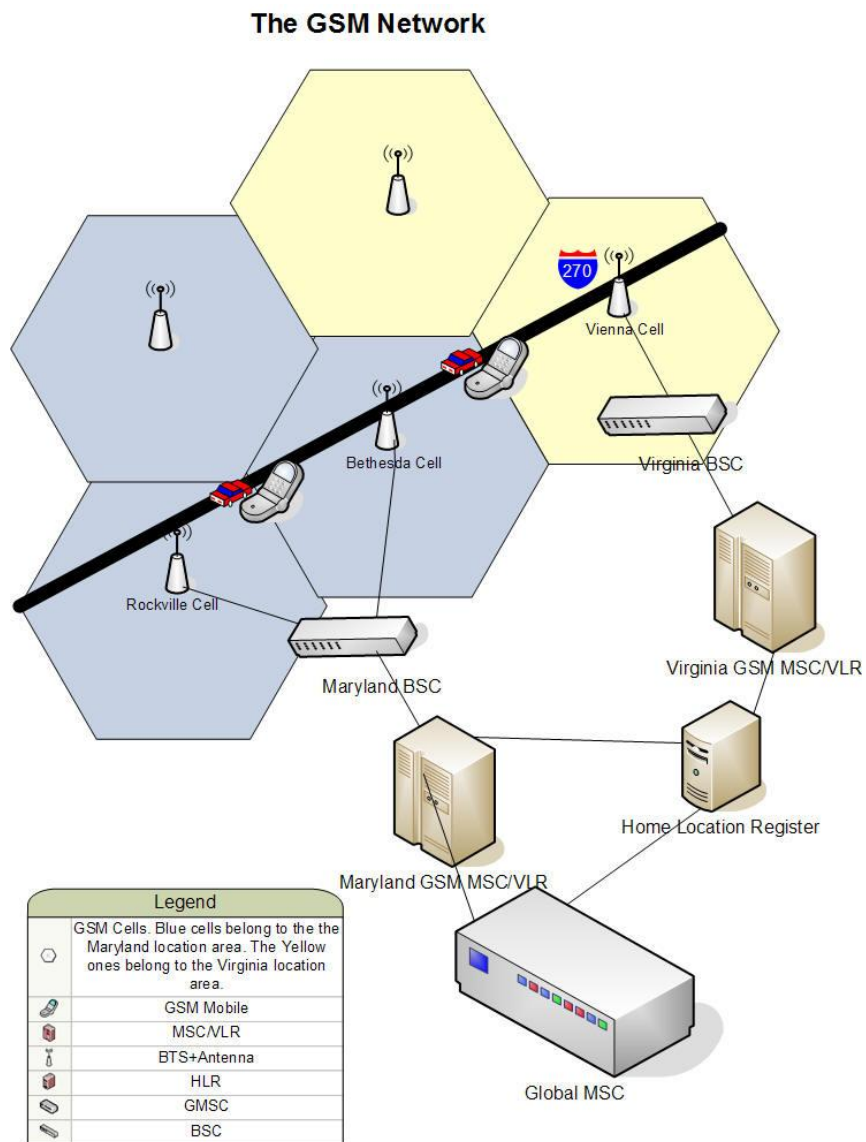


Figura 3.3.1-1. Red Celular GSM. Tomado de [4]

Este tipo de red celular viene con algunas desventajas debido a que existe una relación directa del aumento de estaciones base y el costo de la infraestructura y las líneas de acceso. Este sistema exige que, a medida que la estación móvil esté en movimiento, una llamada activa debe ser entregada de una célula a otra. La red tiene que estar informada de la ubicación aproximada de la estación móvil, incluso sin una llamada en curso, para poder emitir una señal a la estación móvil.

Este tipo de comunicación se conoce como la señalización y va mucho más allá del alcance del uso de redes fijas. La extensión de las comunicaciones requiere de una red celular con una estructura modular o jerárquica. Un computador central único, no puede procesar la cantidad de información implicada en el proceso de señalización.

La tecnología GSM proporciona servicios integrados que permiten una mejor claridad de voz, alta velocidad de datos bidireccional, servicios de mensajes cortos y fax. También proporciona una identificación personal vinculado a un módulo de información del suscriptor (SIM). Además permite a un dispositivo móvil, trabajar en todo el mundo donde esta tecnología esté disponible (siempre y cuando las frecuencias sean accesibles por el teléfono).

Dentro de una red GSM destacan dos subsistemas principales, el Subsistema de Conmutación que se dedica a la localización automática de los usuarios, el roaming internacional y el enrutamiento de las llamadas y el subsistema de estación base que es el encargado de emitir las señales eléctricas en el área de cobertura de cada antena celular.

El subsistema de conmutación está compuesto por:

- La central de conmutación móvil: Encargada de interconectar las estaciones base de otras redes como la telefónica fija o más redes móviles GSM. Además es la encargada de la gestión de las llamadas.

- La unidad de interfuncionamiento: Es la encargada de convertir los protocolos para que la red pueda conectarse con otras redes.
- Bases de datos: Almacenan los números de identificación de cada móvil, la identificación de su localización e información para la validación y autenticación de los usuarios.

El subsistema de estación base se divide en dos partes, controladores y estaciones transceptoras. Entre sus funciones principales se encuentra la administración del espectro de frecuencia, control de potencia en el móvil, codificación para protección de errores.

3.3.2 Estación de Telecomunicaciones

Una estación de telecomunicaciones o radio base es el sitio físico donde se localizan todos los equipos de interfaz de radio y transmisión que permiten la comunicación de una o varias celdas con los usuarios finales. La celda es la unidad básica de un sistema celular, y se define como el área de cobertura dada por el sistema de antenas de la radiobase.

La estación de telecomunicaciones se basa en unidades de hardware estandarizadas llamadas unidades reemplazables (RU). Las más importantes son:

- Unidad de distribución de conmutador
- Unidad Transceptora:
- Unidad de combinación y distribución
- Unidad de suministro de energía
- Unidad de control de energía.

3.3.3 Pararrayos en estaciones de telecomunicaciones

Un pararrayos es un instrumento cuyo objetivo es atraer un rayo ionizando para conducir la descarga hacia tierra, de tal modo que no cause daños a construcciones o personas. Este artilugio fue inventado en 1753 por Benjamín Franklin. Este primer pararrayos se conoce como "pararrayos Franklin", en homenaje a su inventor.

- Pararrayos Punta Franklin:

Son electrodos de acero o de materiales similares acabados en una o varias puntas, denominados Punta simple Franklin, no tienen ningún dispositivo electrónico ni fuente radioactiva. Su medida varía en función del modelo de cada fabricante, algunos fabricantes colocan un sistema metálico cerca de la punta para generar un efecto de condensador pero sólo es un efecto decorativo. Existen cientos de modelos, su proceso de fabricación es simple, se trabaja el material a partir de una barra de metal y se tornea hasta llegar a conseguir el diseño adecuado, sus características de aguante térmico y eléctrico determinan los materiales con los que se fabrican

- Pararrayos Franklin con dispositivo de Cebado:

Están formados por electrodos de acero o de materiales similares acabados en una punta. Incorporan un sistema electrónico que genera un avance teórico del trazador; otros incorporan un sistema piezoeléctrico que genera un efecto similar. Los dos sistemas se caracterizan por anticiparse en el tiempo en la captura del rayo, una vez que se produce la carga del dispositivo electrónico de excitación (cebador). Las medidas de los cabezales varían en función del modelo de cada fabricante. No incorporan ninguna fuente radioactivos.

El principio de funcionamiento del PFDC sigue siendo el mismo que los pararrayos tipo Franklin, la diferencia tecnológica de estos equipos está en el sistema electrónico, que aprovecha la influencia eléctrica del aumento de potencial entre la nube y la tierra para autoalimentar el cebador. Son componentes electrónicos que están alojados normalmente en el interior de un envase metálico y colocado en la parte más cercana de la punta del pararrayos y sirve para excitar la avalancha de electrones (ionización).

Este tipo de pararrayos son comúnmente utilizados en estaciones de telecomunicaciones. Las figuras 3.3.3-1 y 3.3.3-2 muestran ejemplos de montaje.

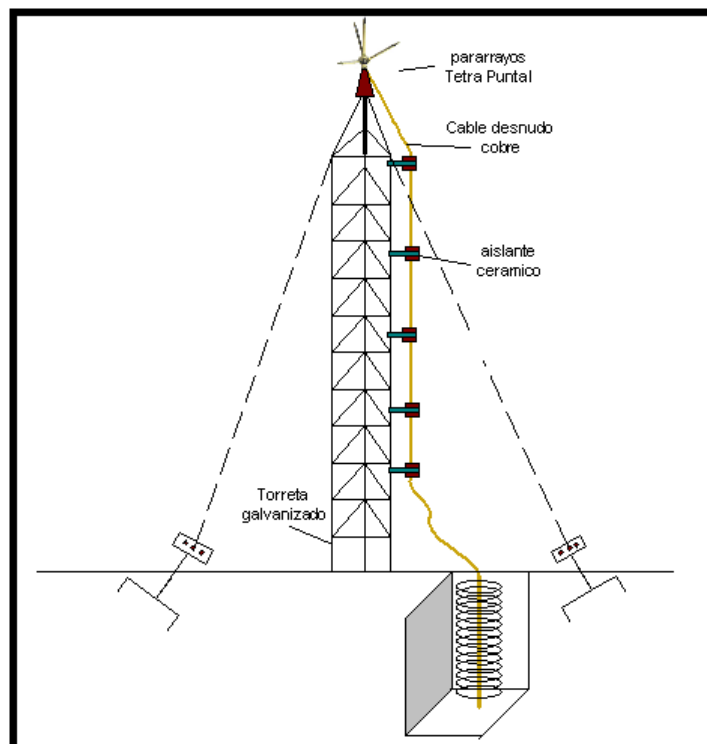


Figura 3.3.3-1. Pararrayos Tetra Punta montado en torre de transmisión.

Tomado de [5].

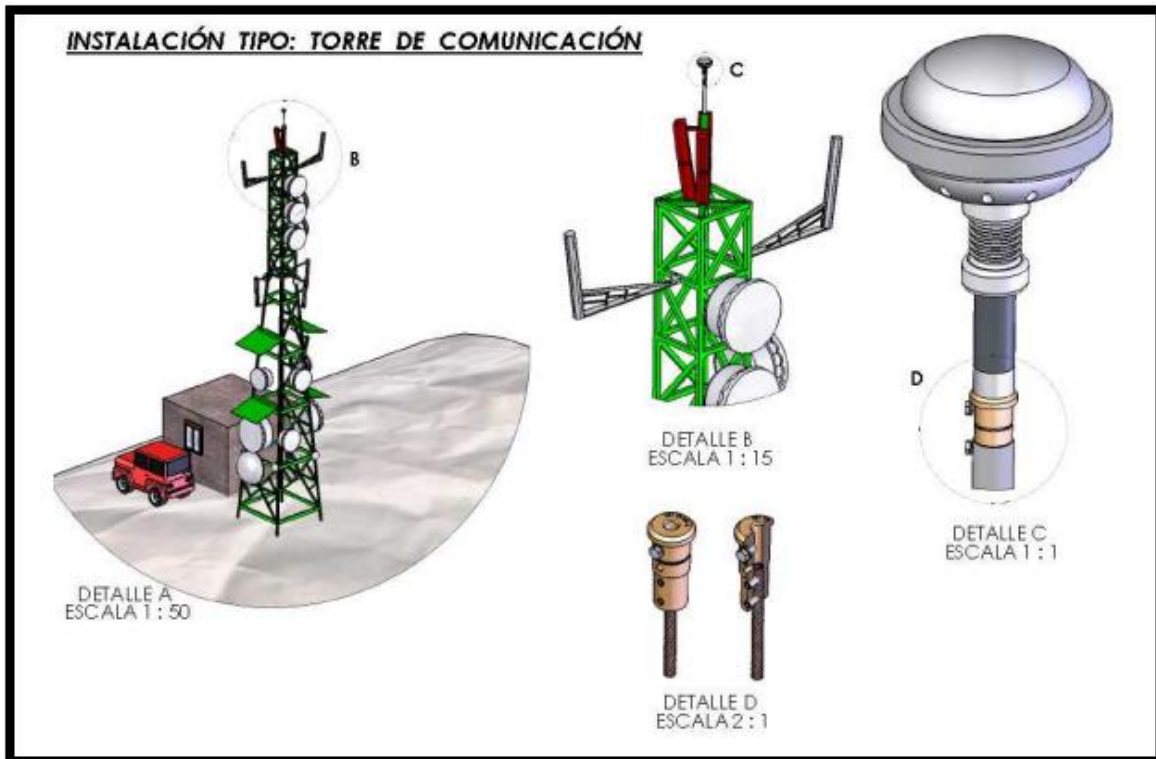


Figura 3.3.3-2. Instalación de un pararrayos en una estación de telecomunicaciones. Tomando de [5]

- Riesgos ocasionados por la caída de descargas atmosféricas:

Los riesgos que las personas pueden padecer directamente o indirectamente serán:

- Electrocción por choque eléctrico causado por contacto eléctrico con elementos metálicos.
- Quemaduras por choque eléctrico directo o por arco eléctrico indirecto.
- Traumatismos por caídas o golpes como consecuencia del agarrotamiento muscular del choque eléctrico leve o arco eléctrico.
- Muerte por Incendios o explosiones originados por diferentes efectos eléctricos directos o indirectos.

Los riesgos que pueden padecer las instalaciones directamente o indirectamente serán:

- Destrucción parcial de equipos electrónicos por arco eléctrico entre masas metálicas.
- Destrucción parcial o total de equipos electrónicos por alta tensión en el suministro.
- Destrucción parcial o total de equipos eléctricos y electrónicos por radiación de alta frecuencia.
- Incendio o explosión por destrucción de equipos electrónicos.
- Incendio o explosión de depósitos de combustibles por chispas entre diferentes metales.

La figura 3.3.3-3 muestra las zonas de riesgo de una estación de telecomunicaciones ante la caída de un rayo.

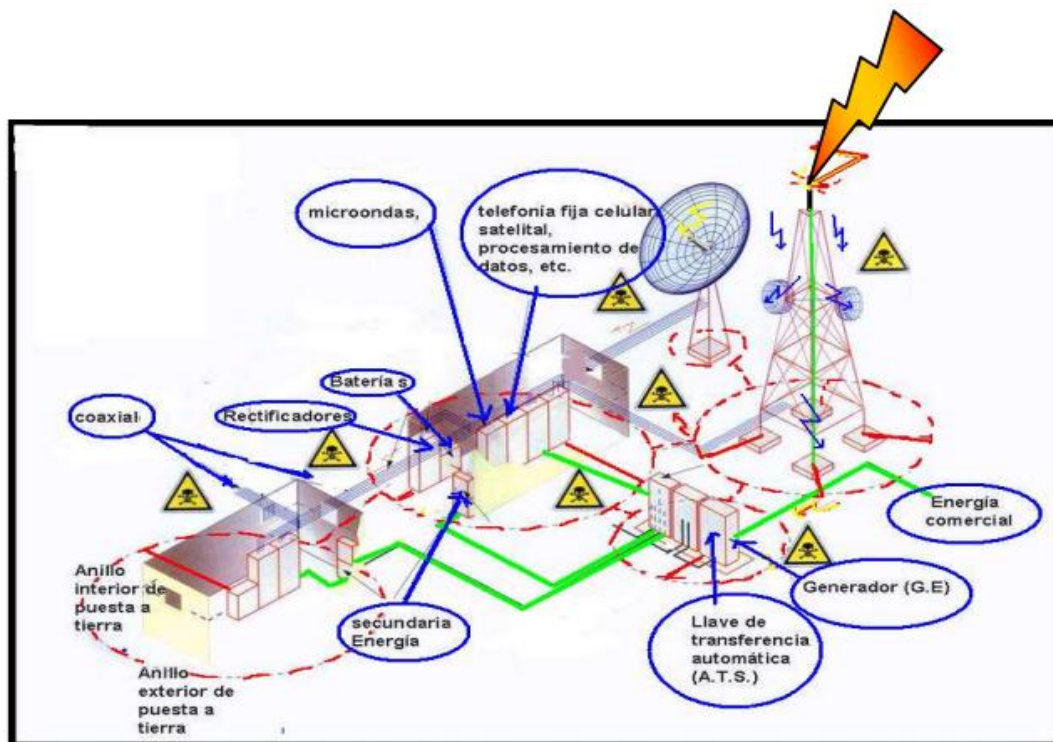


Figura 3.3.3-3. Zonas de riesgo en una estación de telecomunicaciones. Tomando de [5]

3.3.4 Compás Digital

Un compás digital o brújula digital es un sensor magnético que permite conocer la posición en grados de un elemento. Está conformado por sensores magneto resistivos de dos ejes que brindan una lectura de intensidad de campo magnético. Esta lectura es procesada internamente para obtener un dato de posición en grados con respecto al norte.

Son sensores de tamaño reducido, que además de los elementos de medición de campo magnéticos incorporan micro controladores con funcionalidades básicas para permitir la comunicación con un dispositivo externo.

Son dispositivos de bajo consumo de potencia. Internamente son capaces de compensar cambios en la temperatura o y el campo magnético externo.

Su nivel de precisión depende de los materiales de fabricación y la sensibilidad de los elementos magneto resistivos incorporados. Típicamente permiten una precisión de 0.1° .

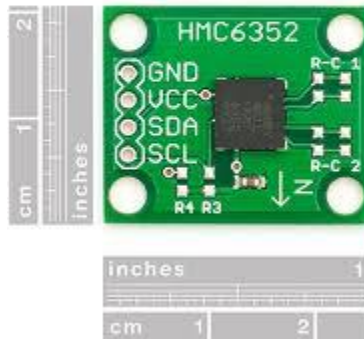


Figura 3.3.4-1. Compás Digital HMC6352

3.3.5 Sensor Infrarrojo Reflexivo

Un sensor infrarrojo reflexivo consta de dos elementos principales un emisor de luz infrarroja y un fototransistor capaz de reaccionar a la luz emitida. En el caso de dispositivos infrarrojos se utiliza haces de luz localizados en el espectro electromagnético en los 890nm a 950nm.

El emisor de luz (LED) no desprende señales de luz en el espectro visible. Se pueden utilizar generalmente en cortas distancias y son inmunes a la luz natural y el polvo. Sin embargo su funcionamiento se puede ver alterado por corrientes de aire, neblina severa y fuentes de luz artificial cercanas.

Los sensores infrarrojos reflexivos se encuentran encapsulados en una carcasa oscura, de forma tal que se proteja al elemento receptor de alteraciones a causa de fuentes de luz externa. El fototransistor responde únicamente si un objeto capaz de reflejar la luz pasa en medio del campo de visión.

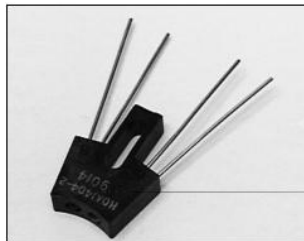


Figura 3.3.5-1. Sensor reflexivo HOA1404

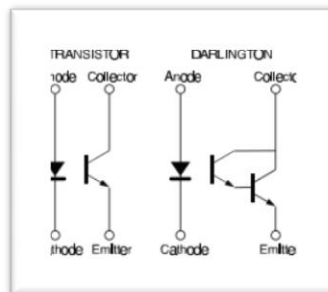


Figura 3.3.5-2. Esquemático del sensor reflexivo HOA1404

3.3.6 Tarjeta Ethernet SBC65EC

La tarjeta Ethernet SBC65EC es una tarjeta embebida con capacidad de Ethernet a 10Mbps y una interfaz RS232. Puede ser agregada a cualquier red Ethernet 10/100Mbps. Está ensamblada con un PIC18F6627 como micro controlador principal.

Se utiliza el stack TCP/IP proporcionado por Microchip y escrito en C para manejar las funciones de conexión a la red. Dentro de las aplicaciones típicas que se pueden desarrollar con esta tarjeta embebida están: servidor HTTP, clientes de correo, interfaz Ethernet a RS232 y viceversa, control remoto vía servidor Web, y aplicaciones de protocolo de puente.



Figura 3.3.6-1. Tarjeta Ethernet SBC65EC

Algunas de las funcionalidades más importantes de la tarjeta son:

- 32 pines de entrada / salida.
- Puede ser configurada y controlada mediante una página Web.
- Acepta comandos vía UDP o HTTP para configurar sus funcionalidades.
- Alto rango de operación, desde 7 hasta 30 voltios.

Capítulo 4: Metodología

El presente capítulo introduce al lector a la solución y los distintos pasos seguidos para obtener un prototipo funcional. Se pretende aclarar la metodología utilizada, de forma tal que en los siguientes capítulos pueda comprenderse a cabalidad la solución implementada.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Una vez iniciado el período de trabajo en la institución se comienza una investigación bibliográfica sobre conceptos y elementos importantes asociados al proyecto. Se tornó fundamental conocer la estructura típica de las estaciones, los montajes de las antenas y los pararrayos allí colocados.

Una reunión inicial con el asesor de la empresa y el profesor asesor permitió aclarar los requerimientos planteados en el anteproyecto. Además se resolvieron algunas dudas que surgieron luego de la investigación bibliográfica inicial. Se retomaron aspectos importantes y se comentó de nuevo la problemática existente en las estaciones y las consecuencias para la institución.

Se coordinó una visita a la estación de Cedral. Una estación localizada entre la montaña y donde sería posible visualizar las problemáticas que ya previamente habían sido discutidas.

Se solicitan cotizaciones a al menos 5 empresas distribuidoras de sensores industriales. Se estudian los diferentes productos disponibles y su posible utilización en la resolución del proyecto.

Se realizaron reuniones con el ingeniero encargado de las averías en las antenas de microondas. Se discutió el sistema actual de resolución de averías y el manejo del personal técnico. Se mostraron algunas alternativas de solución, y a su

vez se analizaron posibles contratiempos con cada una de las soluciones planteadas.

Se realizó una reunión con uno de los técnicos encargados del mantenimiento de las antenas. Se esbozó el diagrama de flujo seguido por el personal técnico una vez que una avería es reportada y se comentaron los puntos más críticos del proceso seguido hasta ahora.

Mientras se esbozaba la solución se fue delimitando aún más el problema. En dos ocasiones se realizaron reuniones con ingenieros de la Institución para discutir las ventajas y desventajas de cada intento de solución. Al mismo tiempo se iba comprendiendo con mayor detalle el problema al cual se hacía frente.

Para delimitar los alcances de cada una de las soluciones se recurre al planteamiento inicial de requerimientos. Se revisa el nivel de cumplimiento de la posible solución con respecto a los indicadores de los objetivos relacionados.

4.2 Obtención y análisis de la información.

Conforme se tenía más claridad sobre el entorno que envolvía el proyecto fue posible plantar distintas soluciones. El planteamiento de estas soluciones se realiza en base a la experiencia de proyectos anteriores. Se realiza además un estudio detallado de las hojas de datos de los componentes que puedan dar solución al problema.

Se utiliza además el software Proteus ® para realizar simulaciones de los microcontroladores y los programas desarrollados.

La restricción principal para cada una de las soluciones fue la escalabilidad solicitada por la empresa. El proyecto no se podía basar en situaciones particulares de una estación de telecomunicaciones. Por tanto, muchas posibles

soluciones fueron descartadas al depender de una condición particular, que podría no repetirse en el resto de estaciones de la institución.

Se tomó en consideración además el costo de los elementos de medición y los componentes externos necesarios para cada medición. El sistema debía mantenerse dentro de un presupuesto establecido por la institución inicialmente.

El tamaño de los elementos de medición, el consumo de potencia y su facilidad de ensamblaje fueron otras características que poco a poco permitieron filtrar las soluciones.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de solución

En esta sección se describirán brevemente algunas alternativas de solución valoradas para atacar distintos puntos del problema. Se pretende mostrar al lector los principales criterios utilizados para la selección de la solución.

Las soluciones a los problemas se plantearon en base a investigaciones en la red, especialmente lectura de hojas de datos de sensores. Como se mencionó anteriormente, no se encontraron referencias de soluciones a problemas similares, por lo que la investigación abarca todos los sensores disponibles en el mercado, y es el diseño de ingeniería del estudiante el que dicta la forma en que puede ser utilizado.

El primer paso para seleccionar o desechar una alternativa de solución es el precio. Existen en el mercado sensores industriales de muy alta precisión pero con un precio elevado que se escapan de las características del proyecto.

Posteriormente se toma en cuenta la escalabilidad. Si una solución cumple con los requerimientos y se adapta a los objetivos del proyecto pero es aplicable únicamente a una de las estaciones debe ser desecheda inmediatamente. En la

medida de lo posible las soluciones no deben depender de las características eléctricas, pues estas pueden variar entre estaciones.

El tamaño de los elementos debe ser reducido, por lo que alternativas de solución con sensores de gran tamaño deben ser desechadas. Además un tamaño considerable puede significar un consumo de potencia igualmente elevado por lo que se opta por aquellas soluciones más discretas.

Se toma en cuenta también la facilidad de montaje de la solución. Si se debe elegir entre dos soluciones y una de ellas requiere una armazón de metal o un trabajo de soldadura para cumplir con las especificaciones; entonces se seleccionaría aquella alternativa que requiera un menor trabajo de ensamblaje.

Una vez que una alternativa de solución ha pasado los filtros iniciales se procede con una simulación respectiva que permita comprobar su validez y su implementación. Para tal fin se utiliza el software Proteus ®.

Además, una vez recibidos los sensores físicos se realizan pruebas de laboratorio que permitan demostrar un funcionamiento adecuado. Las pruebas iniciales son básicas, sin embargo permiten desechar o depurar la solución planteada.

Conforme las pruebas de laboratorio avanzan, se realizan cambios que acerquen cada vez más el sistema al producto final que sea capaz de dar solución al problema. En caso de un comportamiento no esperado, se recurre a las hojas de datos, ejemplos de programación o foros en línea que permitan corregir cualquier error.

4.4 Implementación de la Solución

Como se describió en el diagrama de bloques inicial el proyecto consta de 5 bloques funcionales. Cada uno de estos bloques puede ser probado y simulado por sí mismo. El proceso de implementación consiste en ir acoplando etapas hasta obtener un prototipo funcional.

- Envío mediante Tarjeta Ethernet

El primer bloque que se desarrolló fue el que permite la comunicación entre un servidor remoto y la estación de telecomunicaciones. En la empresa existía disponible una tarjeta SBC65EC, por lo que se procede a iniciar con las pruebas y a revisar los ejemplos que se incluyen dentro de la documentación.

Para las pruebas de esta etapa se utilizan el software proporcionados por la empresa fabricante de la tarjeta: Modtronix Bootloader y Modtronix Netix. El primero de ellos permite programar el microcontrolador presente en la tarjeta utilizando únicamente una interfaz Ethernet.

El software Netix permite el envío y recepción de datos por un puerto específico. Esto permite comprobar el funcionamiento de los ejemplos y también de los programas que se desarrollen. En conjunto con este Software se utiliza el NSAuditor, un programa que permite monitorear todos los puertos y enlaces a intranet o internet de una máquina en particular.

- Comunicación por radio frecuencia.

El siguiente bloque en desarrollarse fue el encargado de las transmisiones por radio frecuencia dentro de la misma estación. Se desarrollan programas básicos de prueba que permitan comprobar el enlace entre dos puntos. Las primeras pruebas buscan definir el protocolo de transmisión que pierda menos datos en el camino.

Dentro de este mismo bloque se realizan pruebas con diferentes tensiones de alimentación de forma tal que se defina la potencia necesaria para alcanzar distancias similares a las que requerirá el prototipo final.

Además se realizan simulaciones de la programación de los microcontroladores en el software Proteus ®. Estas simulaciones acortan considerablemente el tiempo de desarrollo, pues se resuelven errores de programación de forma rápida.

Dentro de la implementación de la solución de este bloque se realizan pruebas de campo en la estación de Cedral. Se toman mediciones de distancia de transmisión y se realiza un análisis espectral para comprobar la disponibilidad de las frecuencias utilizadas.

Luego de la realización de las pruebas se regresa a la mesa de diseño para realizar mejoras. En el caso de este bloque funcional, se decide establecer un canal de comunicación de 2 vías y no solamente en un sentido como inicialmente se había pensado. Esto permite tener mayor confiabilidad y redundancia en el envío de datos.

- Aplicación Java

La aplicación Java debía ser capaz de recibir datos mediante UDP y almacenarlos en una base de datos Oracle. Se parte de ejemplos disponibles en [5]. Se desarrolla primero una aplicación que pueda comprender los datos enviados por la tarjeta Ethernet, dejando de lado la funcionalidad de base de datos.

Aparte se desarrolla un proyecto Java nuevo que será el encargado del almacenamiento de la información. Se estudia un ejemplo práctico desarrollado

por el asesor de la empresa y que incorpora la funcionalidad de base de datos Oracle.

Se realiza un diseño en papel de las tablas necesarias para soportar el sistema. Se crean dichas tablas y las llaves correspondientes en un servidor. Posteriormente se crean las clases y funciones necesarias para almacenar y consultar información a la base de datos.

Esta aplicación se prueba por separado mediante un programa de prueba. Una vez que se comprueba su correcto funcionamiento se enlaza la aplicación capaz de recibir por UDP y la funcionalidad de base de datos. De esta forma, cada vez que se reciba un evento desde UDP este será almacenado en la tabla correspondiente.

- Aplicación Web.

La aplicación Web se desarrolla también en Java. Se parte de ejemplos funcionales previamente desarrollados. Se crean las clases necesarias y se desarrollan las funcionalidades.

Poco a poco se van agregando funciones a la página web, asegurándose que cada una funcione de manera adecuada. Una vez que se posee una interfaz funcional se enlaza con la base de datos y se realizan las pruebas pertinentes.

La aplicación Web no depende de ningún otro bloque del proyecto, únicamente está ligada a la información que exista en el servidor de base de datos. Por lo tanto su depuración no depende de otras etapas del proyecto.

- Diseño de elementos de sensado

La última etapa en desarrollarse es la de pruebas e implementación de sensores. Debido a que los componentes son adquiridos en el extranjero, se decide avanzar con las etapas de programación hasta que los sensores se encuentren disponibles.

Las pruebas iniciales con los sensores son conexiones de alimentación básica, de forma tal que el usuario se familiarice con sus características y funcionalidades. Se utilizan los instrumentos disponibles en el laboratorio para conocer el estado de los microcontroladores en todo momento.

De acuerdo a los resultados de las pruebas se depuran los programas colocados en los microcontroladores asociados a los sensores. De esta forma se pretende ir evaluando el grado de cumplimiento de los sensores.

Periódicamente se revisan las hojas de datos de los componentes que estén siendo utilizado para corregir cualquier error de programación y sacar el mayor provecho posible a sus funcionalidades.

A pesar de no ser parte de los requerimientos del proyecto, se instala una pantalla LCD que permita realizar una depuración del código de este bloque en particular.

Cuando los elementos de sensado muestren el comportamiento deseado, se agrega el bloque de transmisión por radio frecuencia. Se realizan pruebas, y se corrigen errores en estos dos bloques.

Posteriormente se une el bloque de sensores con el encargado del envío de datos mediante Ethernet. De esta forma se logra un acople de todos los bloques del sistema.

Se realizan pruebas en el sistema completo, y se procede al montaje de los sensores para las pruebas de campo respectivas.

4.5 Reevaluación y rediseño

Para continuar con el perfeccionamiento del prototipo se pueden seguir las siguientes pautas:

- Realizar pruebas directamente en una estación de telecomunicaciones. Hasta el momento las pruebas se realizaron en un lugar con condiciones climáticas controladas.
- Verificar el consumo de baterías del sistema. Realizar pruebas de monitoreo continuas que permitan conocer el valor real de consumo de potencia del sistema.
- Colocar la aplicación Web y el programa en un servidor remoto. Las pruebas se realizaron todas utilizando un servidor local.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

En el presente capítulo se describen las distintas soluciones planteadas para la resolución del problema. Inicialmente se explica en detalle las ventajas y desventajas de cada una de ellas, y la razón por la cuál se seleccionó la solución final.

Se aclara desde el inicio del capítulo que para algunos bloques del sistema, especialmente los relacionados únicamente con rutinas de software de alto nivel, existió una única solución desde el inicio del proyecto.

Se muestra en la imagen 5.1 el diagrama de bloques presentado anteriormente, con una secuencia que indica la secuencia seguida hasta la solución.

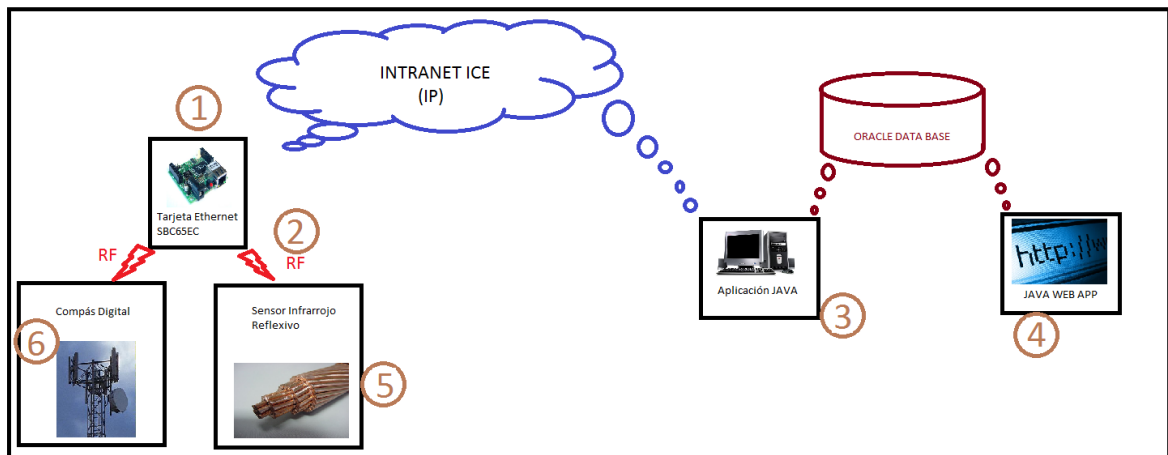


Figura 5.1 Diagrama de bloques de la solución.

5.1 Análisis de soluciones y selección final

5.1.1 Soluciones a sistema de comunicación utilizando red del ICE

En concordancia con el objetivo específico número 3 debía seleccionarse una de las redes del ICE disponibles y enviar la trama proveniente de los sensores. Dentro de estas redes disponibles podemos mencionar las de telefonía celular, la Intranet, redes por fibra óptica, enlaces por microondas.

Se analizarán las ventajas y desventajas de cada una para justificar la elección final.

- Redes de telefonía

Ventajas: La cobertura de redes de telefonía móvil se extiende prácticamente en todo el país. Esto significa que en caso de querer enviar las alertas de eventos no importa el lugar donde se encuentre el receptor, la red será capaz de entregar el mensaje. Al ser el ICE el proveedor de servicios de telefonía móvil más importante del país, se tendría disponibilidad de líneas celulares con facilidad.

Desventajas: La mayor desventaja de la utilización de esta red es que el envío de mensajes hasta una base de datos se dificulta. Un módem 2G o 3G será capaz de enviar los datos hasta un terminal, sin embargo para transferir y recolectar los datos en un computador será necesaria la utilización de software y hardware extra, lo que terminaría por elevar los costos y la complejidad.

- Redes de Fibra óptica

Ventajas: Utilizar una red de fibra óptica para transmitir los datos desde las estaciones hasta un punto neutral permite una confiabilidad y velocidad de transmisión sin igual.

Desventajas: Las redes por fibra óptica poseen un costo de operación y mantenimiento muy elevado. Además no se encuentran disponibles en todas las estaciones por lo que se estaría dejando de lado las consideraciones de escalabilidad del proyecto.

- Redes de Microondas:

Ventajas: Alta velocidad de transmisión, confiabilidad en el envío de los datos.

Desventajas: El punto neutral donde se recibirían los datos estaría obligado a tener una antena de microonda disponible para recibir la información. Además, no en todas las estaciones de telecomunicaciones se cuenta con enlaces de microondas.

- Red Interna del ICE

Ventajas: Se requiere únicamente de una salida a internet. La mayoría de estaciones poseen conexión a la red, y aquellas que no la tienen pueden utilizar un módem 3G conectado con un datacard para lograr una conexión. Permite el envío de información a una base de datos con facilidad. Tarjetas embebidas disponibles en el mercado.

Desventajas: Velocidad menor, menor confiabilidad.

En base a estas consideraciones se selecciona la red interna del ICE. Como se mencionó anteriormente se utiliza una tarjeta embebida con facilidades Ethernet para realizar la transmisión de la información.

5.1.2 Soluciones para el monitoreo de la presencia de cable

De acuerdo al primero de los objetivos específicos, deben seleccionarse las variables y sensores necesarios para solucionar el problema de robo de cable. En esta etapa se cuenta con dos alternativas de solución que se describen a continuación.

- Sensores de hall e inducción de corriente.

Un sensor de hall como el mostrado en la figura 5.1.2 – 1 permite conocer la cantidad de corriente que circula por el elemento conductor que se coloque en el interior del aro.

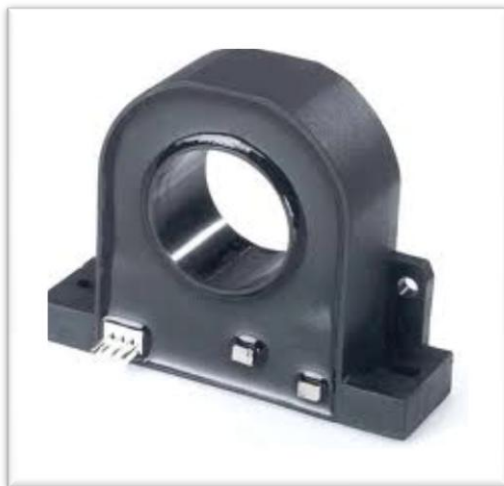


Figura 5.1.2 – 1. Sensor de Hall de corriente

Estudios realizados por personal de la institución han demostrado que por los cables de cobre del pararrayos de las estaciones de telecomunicaciones circulan corrientes elevadas de hasta 2 Amperios. A pesar de que estas son corrientes no deseadas, pueden utilizarse para monitorear la presencia de los cables de cobre.

Independientemente de si el cable de cobre es cortado en la base o en la punta, si no existe una conexión directa hasta tierra la corriente dejará de fluir. Una

lectura en cero proveniente del sensor del hall permitiría activar la alerta de una ausencia en el cable de tierra.

Lamentablemente, estas corrientes no son constantes y no están presentes en todas las estaciones. Partiendo del hecho de que por estos cables no circula corriente, si se quisiera inducir una corriente existen dos formas de hacerlos: mediante el principio de la máquina eléctrica o bombardeando partículas alfa al cable de cobre.

Ninguna de estas opciones es factible, partiendo del hecho de que se pretende únicamente monitorear la presencia de un cable, y colocar elementos de alto consumo y tamaño representa una solución sobre calificada.

No debe olvidarse que los cables de tierra en estudio son los encargados de llevar descargas atmosféricas, por lo que están expuestos a corrientes y tensiones muy elevadas, y cualquier elemento en contacto con el cable se verá destruido.

Otra de las desventajas de los sensores de efecto hall es que son dependientes de la magnitud de corriente que atraviese el cable. Esto reduce las posibilidades de escalabilidad, pues muy posiblemente las condiciones sean diferentes en cada una de las estaciones.

Estos sensores no son de tamaño reducido y están desarrollados para alimentarse con 120 V, por lo que energizarlos mediante baterías puede resultar una tarea complicada.

- Sensores Infrarrojos Reflexivos

Como se mencionó en el marco teórico, los sensores infrarrojos reflexivos son capaces de detectar si un objeto con coeficiente de reflexión distinto de 0 se encuentra posicionado en su campo de visión.

Existe una gran variedad de sensores infrarrojos reflexivos con capacidades diferentes. Para resolver las necesidades del proyecto es suficiente que el sensor sea capaz de indicar la presencia o ausencia de una barrera, y no tan importante la distancia a la que la barrera se encuentre.

Por esta razón se seleccionan los sensores de la familia HOA1404. Estos sensores poseen una forma ideal para colocar un cable de cualquier tipo en su campo de visión.

Además estos sensores digitales están diseñados para trabajar con tensiones de 5 voltios y poseen un consumo de corriente reducido en comparación con otro tipo de sensores industriales.

No dependen del tipo de cable que se esté monitoreando ni de las condiciones eléctricas del mismo. Posee un tamaño reducido y puede ser fácilmente exportable a otro tipo de aplicaciones.

5.1.3 Soluciones para el monitoreo de la posición de la antena

De acuerdo al objetivo 1 deben seleccionarse las o la variable pertinente para solucionar el problema en estudio. Para determinar si la antena ha sufrido cambios en su posición se estudian 3 alternativas de solución diferentes:

- Utilización de acelerómetro y giroscopio

Este tipo de sensores están diseñados para conocer la posición estática y dinámica de un objeto en particular. Permiten determinar en qué dirección y con qué velocidad un objeto se está movilizand o en una dirección.

La figura 5.1.3 -1 muestra la imagen de una placa de circuito integrado que combina ambos sensores.

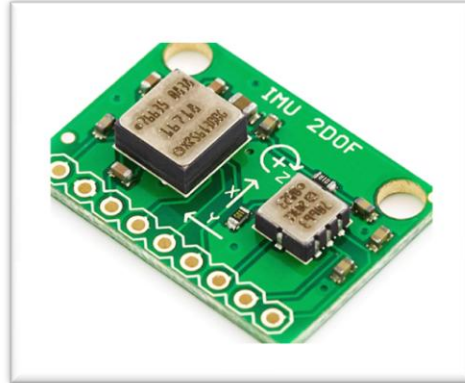


Figura 5.3.1 – 3. IMU Combo Board, acelerómetro y giroscopio.

Estos elementos poseen señales de salida analógicas para cada uno de los ejes. Se contarían con 6 señales analógicas que deben ser procesadas, convertidas en digital y combinadas dinámicamente para obtener una lectura precisa de la posición de un elemento en el espacio.

Si bien la precisión que brindan estos sensores no se puede comprar con ningún otro sensor en el mercado, el trabajo de procesamiento de la señal es bastante complejo. Este tipo de elementos es recomendable para aplicaciones en constante movimiento.

El consumo de energía es reducido y su tamaño se adapta a las condiciones del proyecto. Lamentablemente la complejidad del procesamiento para obtener una lectura precisa hace que este sensor esté sobre calificado para la tarea requerida.

- Sensor Infrarrojo de distancia

Basado en el mismo principio del sensor infrarrojo reflexivo, los sensores de distancia permiten conocer la longitud en que hay desde el punto donde se encuentra el sensor hasta la barrera reflectiva. Dependiendo de su fabricante y su número de parte, están enfocados en un rango de distancia específico.

Para monitorear el movimiento de la antena se pretendía utilizar dos sensores SHARP GP2D120X, similares a los mostrados en la figura 5.3.1 – 2.



Figura 5.3.1 – 2. Sensor Infrarrojo Sharp GPD2D120X

Colocando estos sensores en el soporte de la antena, de forma tal que la señal infrarroja rebote en la antena y se logre conocer la distancia sería posible mantener un monitoreo a fin de alertar ante movimientos indeseados en la antena.

Estos sensores están contruidos para una distancia específica, por lo que a fin de preservar el escalamiento debe seleccionarse una distancia, que en la medida de lo posible pueda aplicarse en todas las estaciones. Si bien su consumo de energía no es reducido, pueden ser alimentados mediante baterías.

Lamentablemente, las pruebas de laboratorio demostraron que estos sensores son tan sensibles a los vientos como las antenas mismas. Por lo tanto intentar

monitorear la posición de la antena durante una ventisca fuerte daría por resultado mediciones erróneas.

- **Compás digital:**

Algunas de las ventajas de la utilización del compás digital frente a otros elementos son: consumo de potencia reducido, tamaño discreto, precisión adecuada, costo accesible, fácil montaje.

Además la utilización de un compás digital permite preservar la escalabilidad. El compás digital no depende de soportes externos para su montaje, pues se coloca directamente sobre la antena.

Internamente posee un microcontrolador que procesa las señales analógicas. Su comunicación con el microcontrolador externo se realiza mediante I2C, es decir la señal se envía digitalizada desde el sensor.

Por estas razones se selecciona el compás digital frente a los otros elementos presentados.

5.2 Descripción del Hardware

5.2.1 Módulo Ethernet.

El módulo numerado en la figura 5.2-1 con el número 1 corresponde al módulo Ethernet. Este módulo permite enviar los datos a través de la red hasta un servidor remoto. La figura 5.2.1-1 muestra el esquema del bloque mencionado.

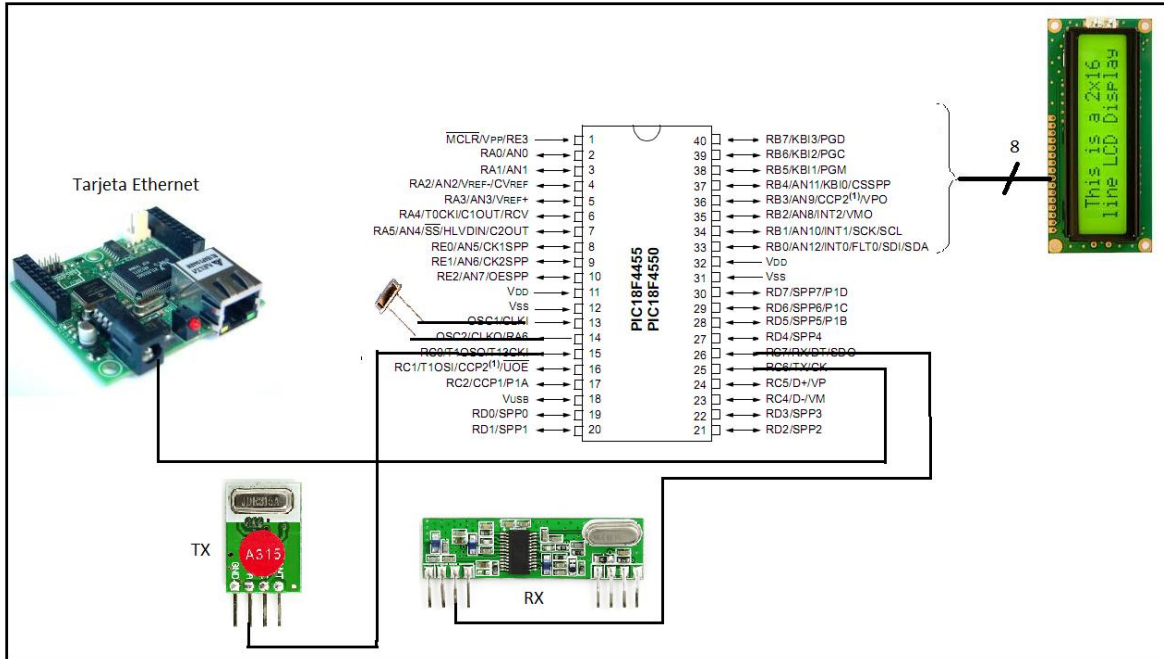


Figura 5.2.1-1 Bloque funcional para la transmisión Ethernet.

Como se observa en la figura este bloque funcional consta de la tarjeta embebida SBC65EC, un microcontrolador externo PIC18F4550, una pantalla LCD 2x16 líneas y los elementos transmisores y receptores de radio frecuencia.

La selección del microcontrolador externo se realiza en base a experiencias previas de programación y la disponibilidad del componente, a pesar de que las funciones que debe cumplir son de poco consumo en términos de memoria y capacidad de procesamiento.

Este bloque debe cumplir la función de intermediario entre las transmisiones generadas por los nodos de sensado y el servidor remoto. Podemos llamar a este bloque como un convertor de radio frecuencia a paquetes UDP.

Los datos provenientes de los sensores se reciben utilizando el componente WRL-08947. El procesamiento de los datos lo realiza el PIC18F4550 mediante una conexión directa entre los datos recibidos y la USART del microcontrolador.

Cuando el dato ha sido comprobado y su validez ha sido comprobada mediante rutinas de software el dato es mostrado en la pantalla LCD. Esto permite al usuario conocer el valor del último dato enviado, información útil durante el proceso de corrección de errores.

Posteriormente el dato se envía mediante la UART física del PIC hasta la tarjeta embebida SBC65EC. La tarjeta procesa la información y mediante rutinas de software determina si el dato es válido. En caso de ser un dato válido, este se coloca en el buffer de transmisión UDP y se envía a una dirección IP previamente configurada.

Por último este módulo se encarga de enviar una respuesta al sensor desde donde se recibió el dato. Esto se realiza mediante el transmisor WRL-08945, a una velocidad de 300bps y utilizando una UART por software programada en las rutinas de microcontrolador.

Como se muestra en la figura, el PIC está conectado a un oscilador. Esto permite una mayor precisión en los tiempos de envío de datos mediante UART, pues pruebas de laboratorio demostraron inconsistencia en los tiempos al utilizar los osciladores internos del microcontrolador.

5.2.2 Módulo de detección de cable

Utilizando un sensor infrarrojo reflexivo en la configuración mostrada en la figura 5.2.2-1, se logra construir un prototipo funcional de un módulo de detección de cable.

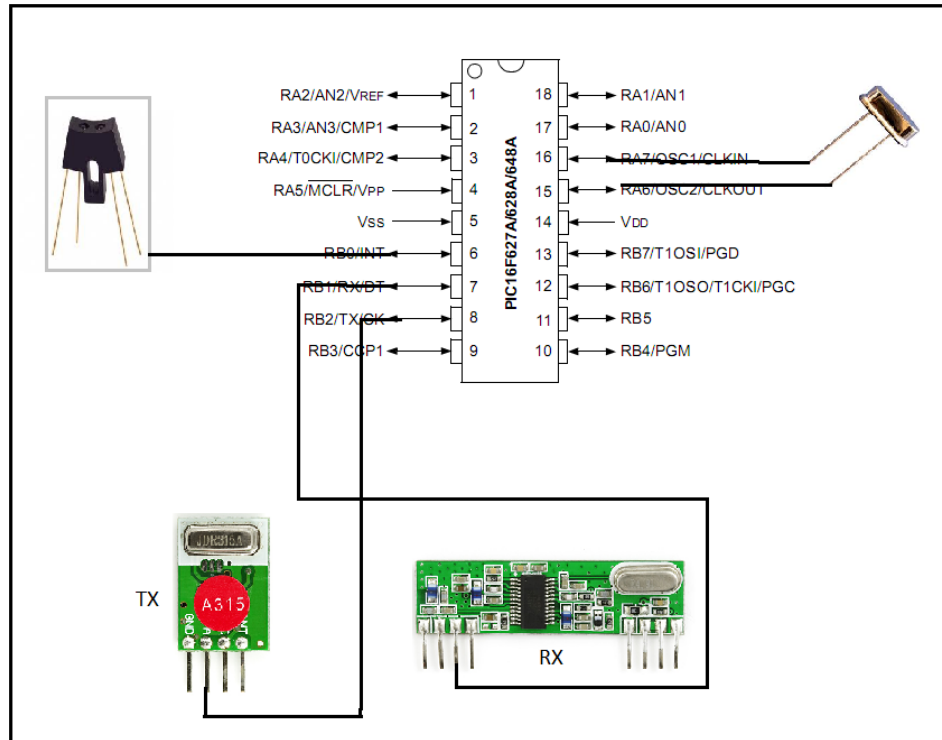


Figura 5.2.2 – 1. Bloque funcional para la detección del cable

El bloque consta de un transmisor de radio frecuencia de 433 MHz, un receptor de radio frecuencia de 315 MHz, un microcontrolador PIC1F627A, un cristal y un interruptor infrarrojo reflexivo HOA1404.

La selección del microcontrolador se realiza con base en las siguientes consideraciones:

- Microcontrolador de bajo consumo.
- Al menos 4 pines de E/S.
- Pin de interrupción externa.
- Disponibilidad de pines para oscilador externo
- Módulo comparador.
- Módulo UART
- Disponibilidad
- Precio

El sensor infrarrojo reflexivo se conecta directamente a la patilla de interrupción externa del PIC, lo que permite que al generarse un cambio en el estado del sensor se ingrese a una rutina software en el microcontrolador. La conexión del sensor infrarrojo se muestra en la figura 5.2.2 -2.

En esta figura es posible observar que dentro del detector infrarrojo existe un diodo emisor de luz y un fototransistor que deben ser polarizados de forma correcta para generar un cambio en la tensión de salida al colocar o remover una barrera infrarroja.

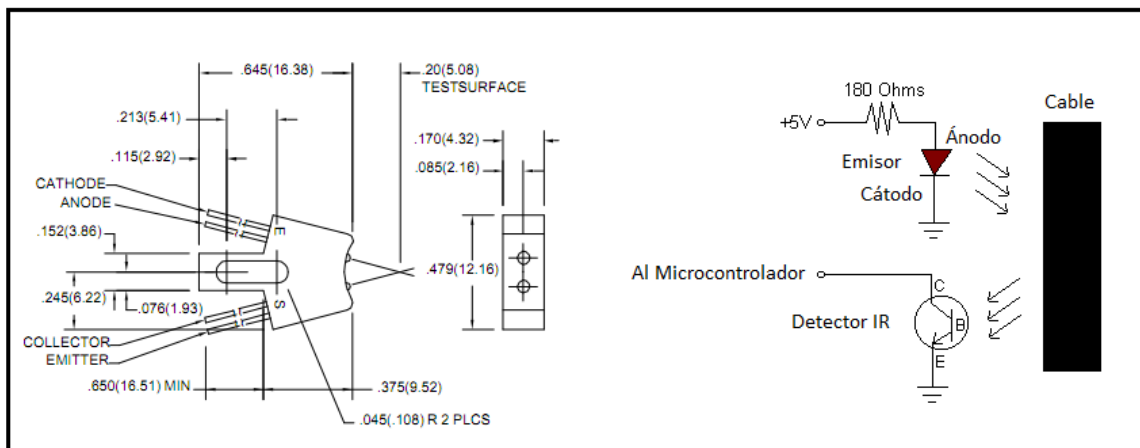


Figura 5.2.2-2. Conexión del sensor infrarrojo reflexivo

Dentro de este módulo de detección de cable aparecen también los elementos transmisores y receptores de radio frecuencia. Estos componentes permiten enlazar el nodo de sensado con el módulo Ethernet. La comunicación se realiza en dos vías por lo que ambos elementos, tanto transmisor como receptor, son necesarios.

Se coloca además un cristal externo, pues al estar involucradas transmisiones por radio frecuencia es necesaria una precisión de reloj mayor a la entregada por el oscilador interno del PIC.

La figura 5.2.2-3 muestra el resultado final del prototipo de hardware del sistema de detección de cable.

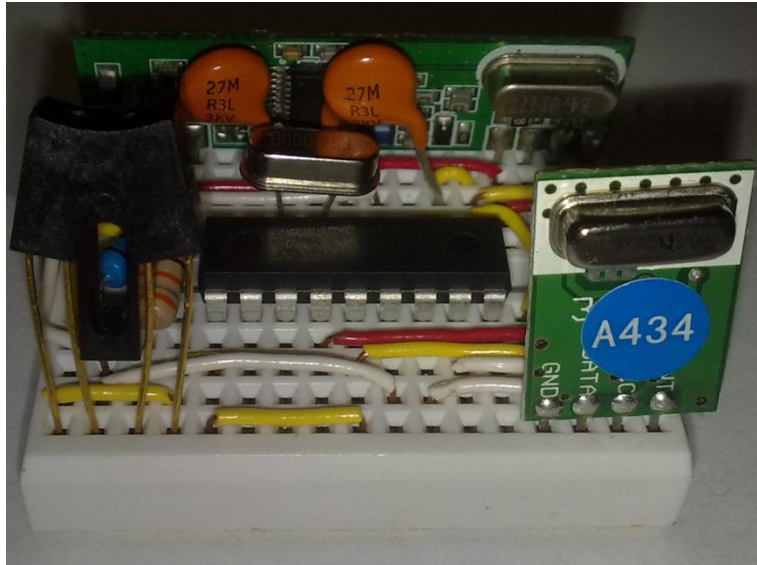


Figura 5.2.2 – 3. Prototipo del módulo detector de cable.

5.2.3 Módulo de monitoreo de la antena

Utilizando el compás digital HMC6352 como elemento principal del módulo se desarrolla un nodo de sensado capaz de informar sobre cambios bruscos en la posición de la antena. La figura 5.2.3 -1 muestra las conexiones realizadas en el módulo.

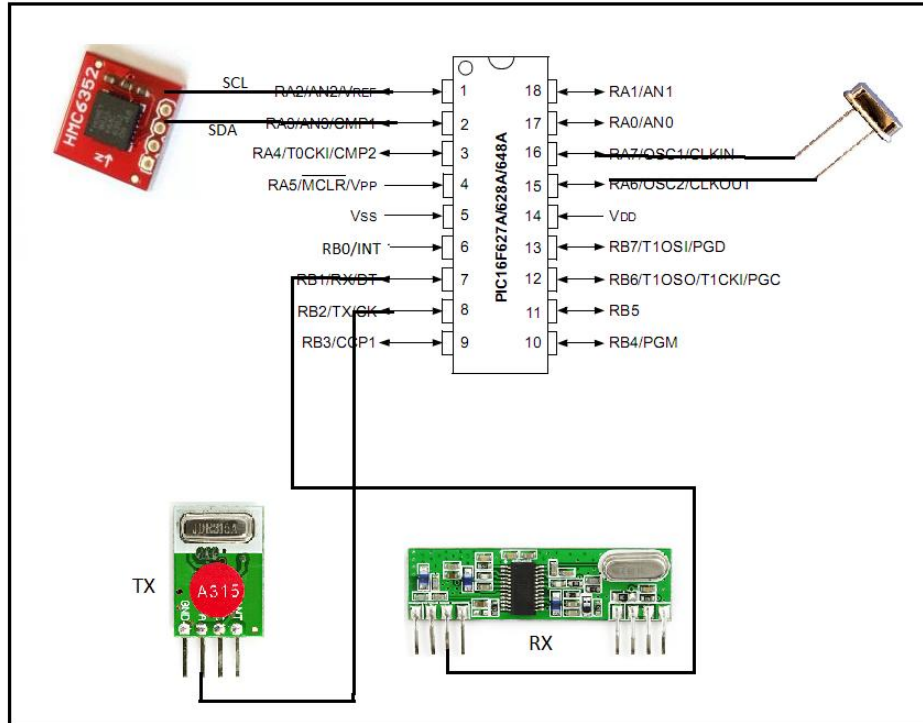


Figura 5.2.3 -1. Módulo de detección de movimiento en la antena.

El bloque consta de un transmisor de radio frecuencia de 433 MHz, un receptor de radio frecuencia de 315 MHz, un microcontrolador PIC1F627A, un cristal y un compás digital HMC6352.

Para la selección del microcontrolador se siguen los mismos requerimientos que en case del módulo detector de cable. Las transmisiones desde y hacia el compás digital se realizan por medio del protocolo I2C. Se decide utilizar este microcontrolador, a pesar de que no cuenta con una unidad de comunicación I2C; pues puede implementarse mediante software.

En términos de hardware este modulo presenta grandes similitudes con el módulo de cable. Ambos cuentan con transmisores y receptores de radio frecuencia para establecer un canal de comunicación. Además se implementa en ambos un cristal externo.

La figura 5.2.3-2 muestra el prototipo del módulo de detección de movimientos en la antena.

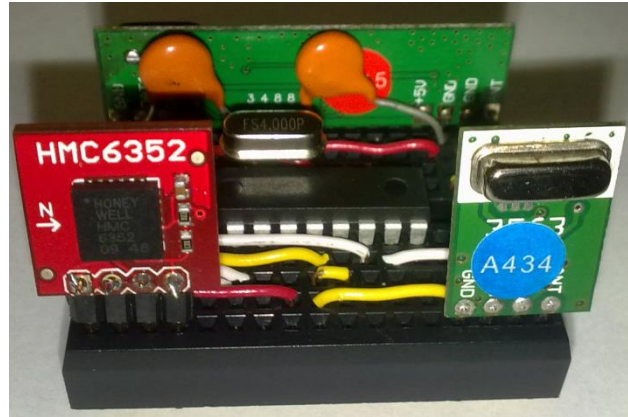


Figura 5.2.3-2. Prototipo final del sistema de detección de cable.

5.3 Descripción del Software

A continuación se describirán las rutinas de software desarrolladas para la implementación de cada uno de los módulos. Se explicarán de manera detallada los diagramas de flujo, tanto de las aplicaciones de bajo nivel como los de alto nivel.

5.3.1 Rutinas de Software módulo Ethernet

Como se mostró en la descripción del hardware dentro de este módulo existen dos elementos programables, la tarjeta embebida y el microcontrolador. Se describe inicialmente el diagrama de flujo de la aplicación de la tarjeta embebida. El diagrama de flujo correspondiente se muestra en la figura 5.3.1-1.

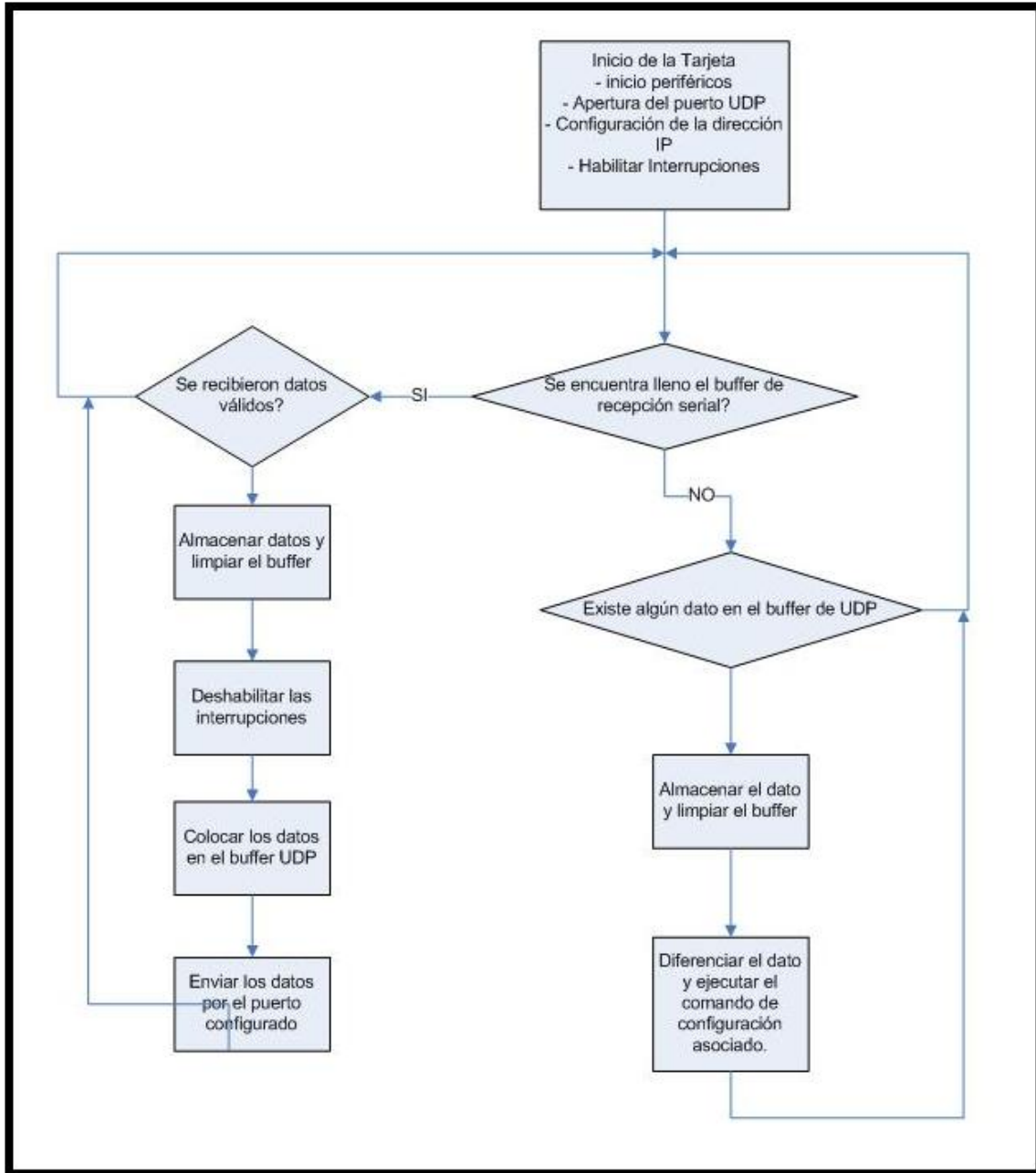


Figura 5.3.1 -1. Diagrama de flujo del programa desarrollado para la tarjeta Ethernet SBC65EC

La funcionalidad principal de este programa es realizar un puente de comunicación entre el puerto RS232 y el puerto UDP. Al iniciar el programa abre el puerto UDP por el cual se van a enviar los paquetes y se configura la dirección del host remoto.

Posteriormente inicia un ciclo infinito durante el cual el programa está constantemente preguntado si se ha completado la recepción de un dato mediante el puerto serial. De ser así el programa ingresa en una subrutina donde se valida este dato.

No toda aquella información que ingrese mediante el puerto serial se envía a través de UDP, pues debe cerciorarse que la información sea congruente. La información que ingresa por el puerto serial se encuentra duplicada. Esto quiere decir que para un único dato se envía toda la trama de comunicación dos veces.

Esto permite que la tarjeta verifique que el dato se recibió con éxito y disminuye el envío de datos erróneos que puedan generar falsas alarmas. Otra consideración importante respecto al programa colocado en el servidor embebido es la apertura del puerto UDP.

Luego de realizar pruebas se determinó que la forma adecuada de realizar el manejo es abrir el puerto al inicio del programa y no cerrarlo luego de los envíos. Además a pesar de no implementarse en este proyecto en particular, las rutinas de software permiten también la recepción de datos por medio de UDP. La tarjeta posee la facilidad de ser configurada remotamente mediante comandos específicos, por lo tanto se incluyen estas subrutinas para posibles mejoras.

El código se desarrolló utilizando MPLAB y el compilador C18. Se utilizaron como base ejemplos de prueba suministrados por la casa matriz de la tarjeta embebida.

La figura 5.3.1-2 muestra el diagrama de flujo relativo a la programación del microcontrolador 18F4550. El código se desarrolla en PICC.

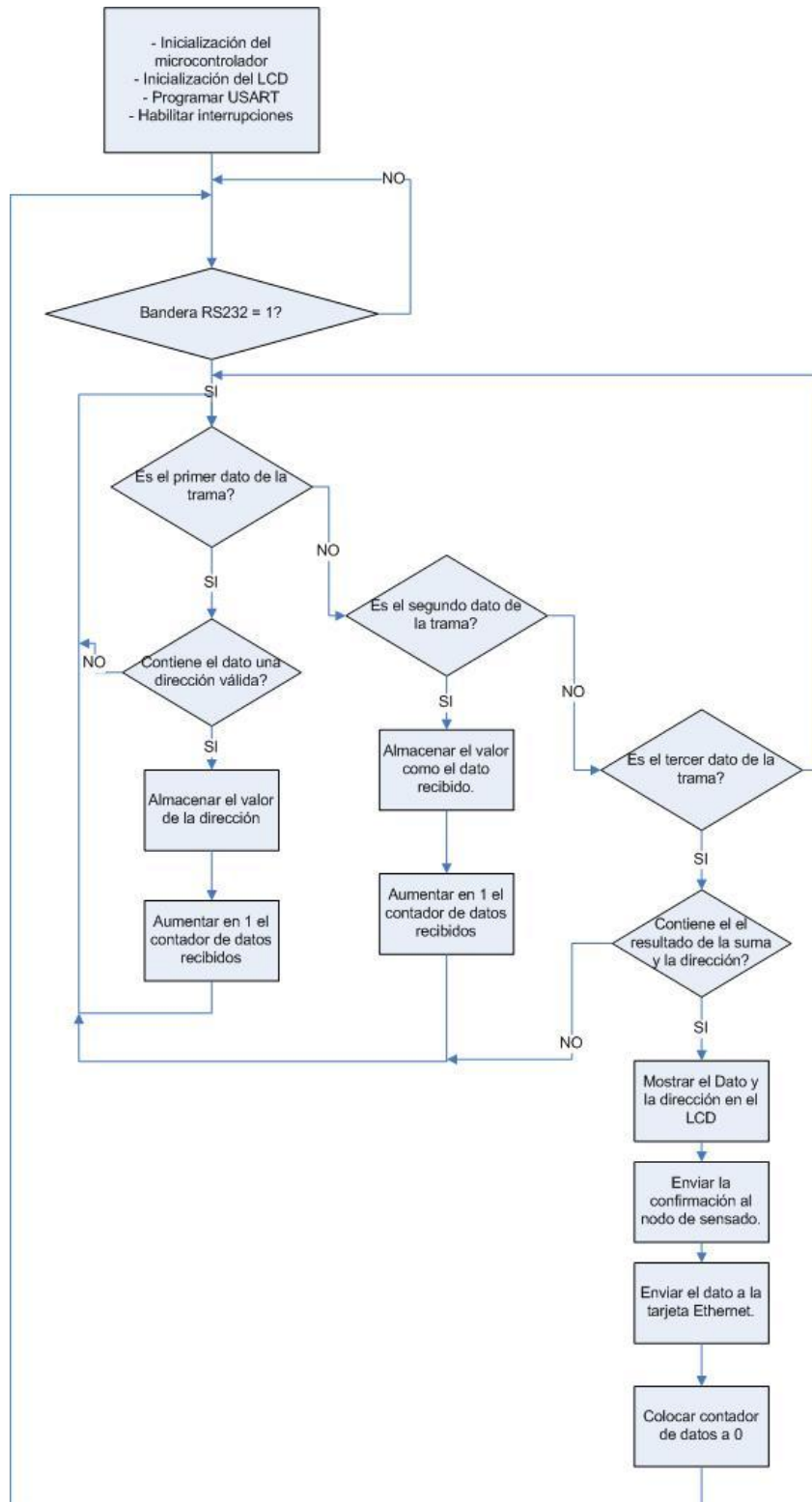


Figura 5.3.1 -2 Diagrama de flujo del programa desarrollado para el microcontrolador 18F4550.

La rutina principal del programa está constantemente preguntando si ha llegado un dato por medio del puerto serial (conectado al receptor de RF). En caso de no haber ningún dato en el buffer el programa ingresa en un ciclo infinito hasta que se genere la interrupción por dato recibido.

Para comprender la rutina que sigue el programa es importante conocer también aspectos importantes sobre la trama de datos y el protocolo. La figura 5.3.1-3 muestra la trama de datos típica que se genera desde los nodos de sensado.

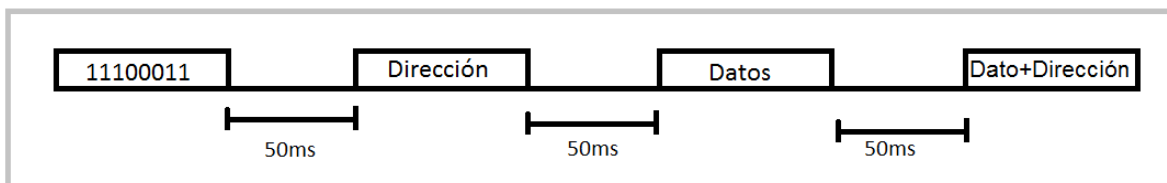


Figura 5.3.1-3 Trama de datos típica

El primer byte de la trama permite la sincronización del elemento transmisor y el elemento receptor. El receptor de radiofrecuencia al ser de ganancia variable, necesita de un dato previo para establecer un canal de comunicación con el receptor.

El siguiente dato de la trama incluye la dirección, luego los datos y por último un byte que representa la suma del dato y la dirección. Este último dato se envía para confirmar una recepción correcta.

Si se observa el diagrama de flujo mostrado en la figura 5.3.1-2 se puede observar que una vez que se activa la bandera de recepción el ciclo del programa intenta capturar los datos, tomando en cuenta el protocolo de comunicación mostrado en la figura 5.3.1-3.

Luego de que se superan los filtros y el dato recibido se cataloga como válido, se muestra el dato en la pantalla LCD. Esto permite al operador verificar el funcionamiento del sistema.

El programa envía el dato a la tarjeta Ethernet mediante la interfaz RS232. Además, como último paso se envía la confirmación al nodo de sensado, de forma tal que se tenga certeza de que la alarma generada en un punto de sensado fue recibida con éxito.

5.3.2 Rutinas de software módulo de Radio Frecuencia

Las rutinas que se presentan en la figura 5.3.2 - 1 muestran el envío de datos utilizando RS232.



Figura 5.3.2-4. Secuencia de envío de datos mediante RS232

Esta rutina añade a todos los microcontroladores que deban enviar datos por medio de radio frecuencia, es decir el PIC18F4550 del módulo Ethernet y los PIC16F627A de los módulos de detección de cable y registro de antenas.

Esta rutina pretende generar una trama de datos idéntica a la que se mostró en la figura 5.3.1-3.

5.3.3 Rutinas de software módulo de detección de cable

La programación del módulo de detección de cable se realiza en PICC. La figura 5.3.3 -1 muestra el diagrama de flujo utilizado.

El software inicia preguntando si existe algún dato almacenado en el buffer de recepción por radio frecuencia. A pesar de que la función principal de este módulo es enviar la información y no recibirla, al utilizarse la confirmación de dato para brindar mayor seguridad en la entrega de datos, es indispensable iniciar la rutina preguntando si existe algún dato en el buffer.

De no existir ningún dato se procede con la ejecución del programa. En caso de que no se hayan reportados cambios en la interrupción externa, es decir en caso de que el cable no haya sido removido, el programa ingresa a un modo de bajo consumo.

La única forma de salir de este modo de bajo consumo es que se produzca un cambio en el estado del sensor infrarrojo, que el cable sea removido. En este caso se activa la bandera de cable y el programa envía el dato de alarma y espera la confirmación desde el módulo de Ethernet.

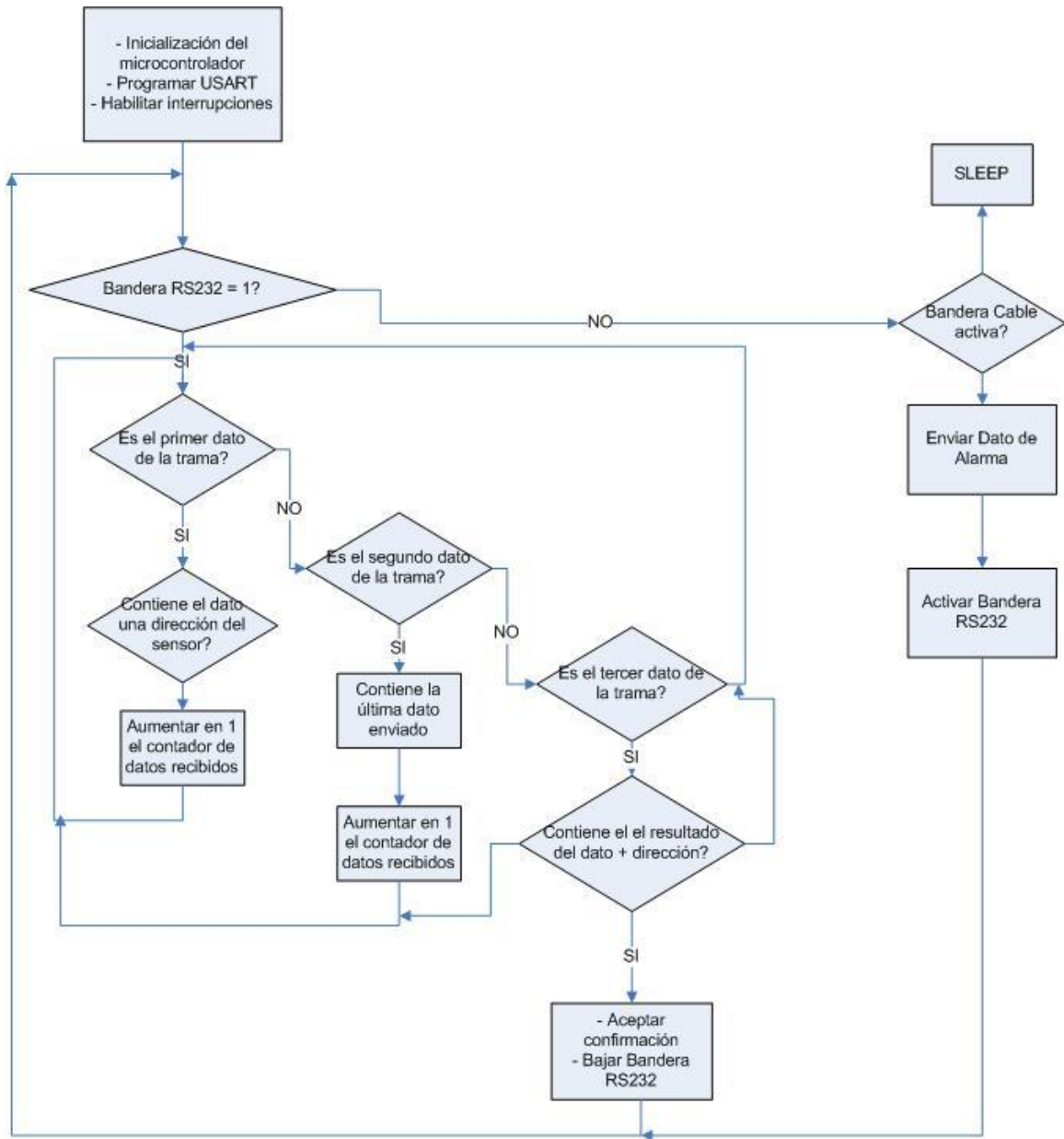


Figura 5.3.3 -1. Diagrama de flujo del módulo de detección de cable

La subrutina de recepción de un dato es la misma utilizada en el módulo Ethernet, por lo que no se profundizará en su descripción.

5.3.4 Rutinas de software módulo de monitoreo de antena

La figura 5.3.4 -1 muestra la secuencia seguida por el microcontrolador asociado a este módulo.

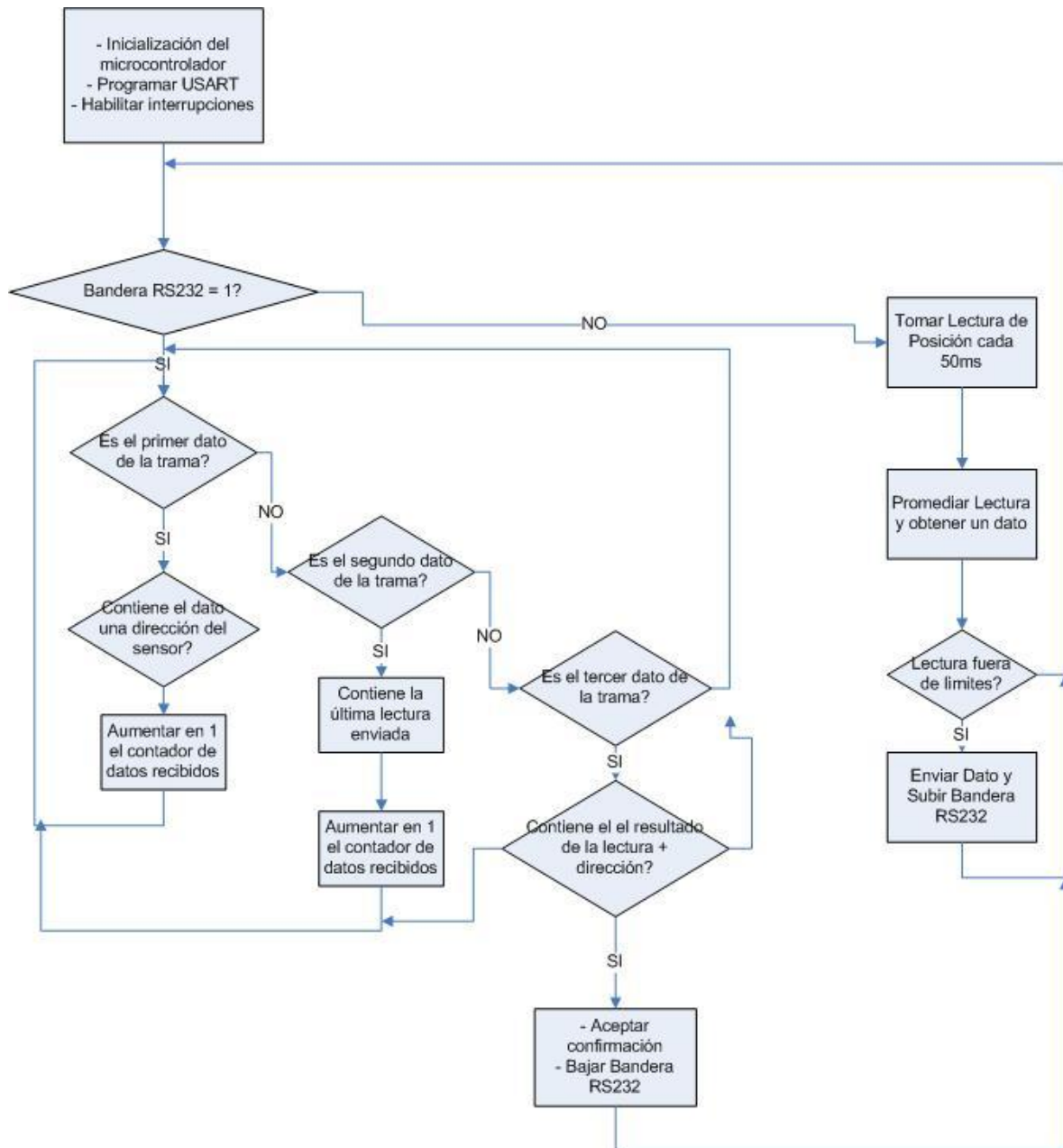


Figura 5.3.4 -1. Diagrama de flujo del módulo de monitoreo de la antena.

Al igual que los programas descritos anteriormente, se inicia cuestionando la presencia de un dato en el buffer RS232. De no existir un dato se continúa con la ejecución normal del programa.

A diferencia del microcontrolador del sistema de monitoreo de cable, en este módulo el microcontrolador no ingresa en un modo de baja potencia. Para compensar las fluctuaciones de posición producidas por naturaleza del sensor, el programa está constantemente solicitando información de la posición al sensor. Estos datos se almacenan y luego de 2 segundos se realiza un promedio para conocer la posición del sensor.

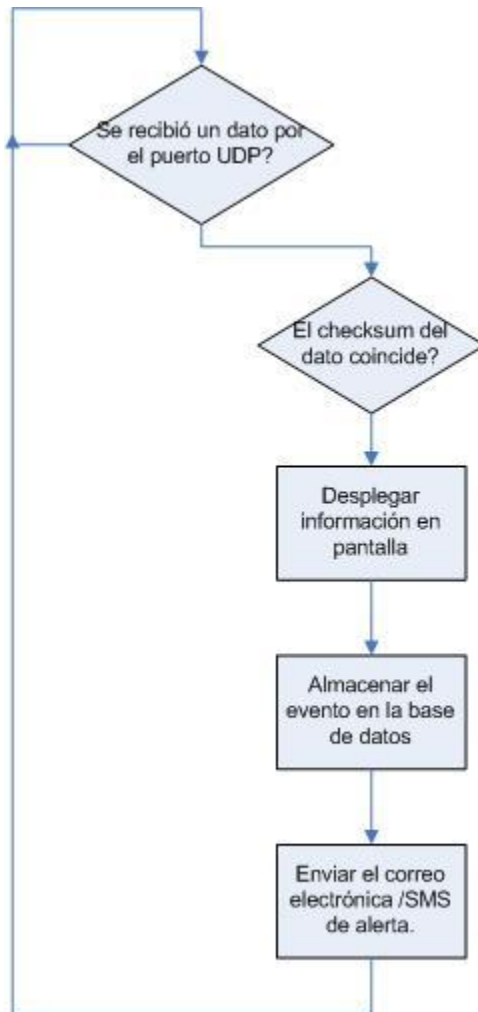
Cuando se obtiene la lectura de posición, esta se compara con la lectura inicial y con la lectura inmediatamente anterior. De esta forma es posible conocer si la antena se ha desviado de su posición original y enviar la alerta al módulo de Ethernet.

Una vez que se envía el dato se espera por la confirmación del mismo, y es hasta que se recibe con éxito la confirmación que se continúa con el ciclo normal del programa.

5.3.5 Aplicación Java para recepción de datos por UDP y almacenamiento en base de datos.

Se desarrolla una aplicación de alto nivel cuya función principal será estar atento al flujo de datos que ingresen por un puerto UDP específico. Una vez que los datos hayan sido recibidos con éxito deberán procesarse y almacenarse debidamente en la base de datos.

El diagrama de la figura 5.3.5-1 muestra el flujo del programa.



5.3.5 -1. Diagrama de flujo de la aplicación JAVA

Como se muestra en el diagrama una vez que se haya recibido un dato se comprueba su validez. En caso de que el byte de checksum coincida con la información recibida se procede a almacenar la información del evento en la base de datos.

Para no almacenar falsas alertas, antes de colocar la información en la base de datos se verifica que provenga de una estación registrada y que el sensor causante de la alarma esté a su vez registrado en dicha estación. En caso contrario el evento no se almacena y se espera al próximo dato.

Para comprender con mayor claridad el flujo del programa se muestra en la figura 5.3.5 – 2 la estructura de la base de datos desarrollada.

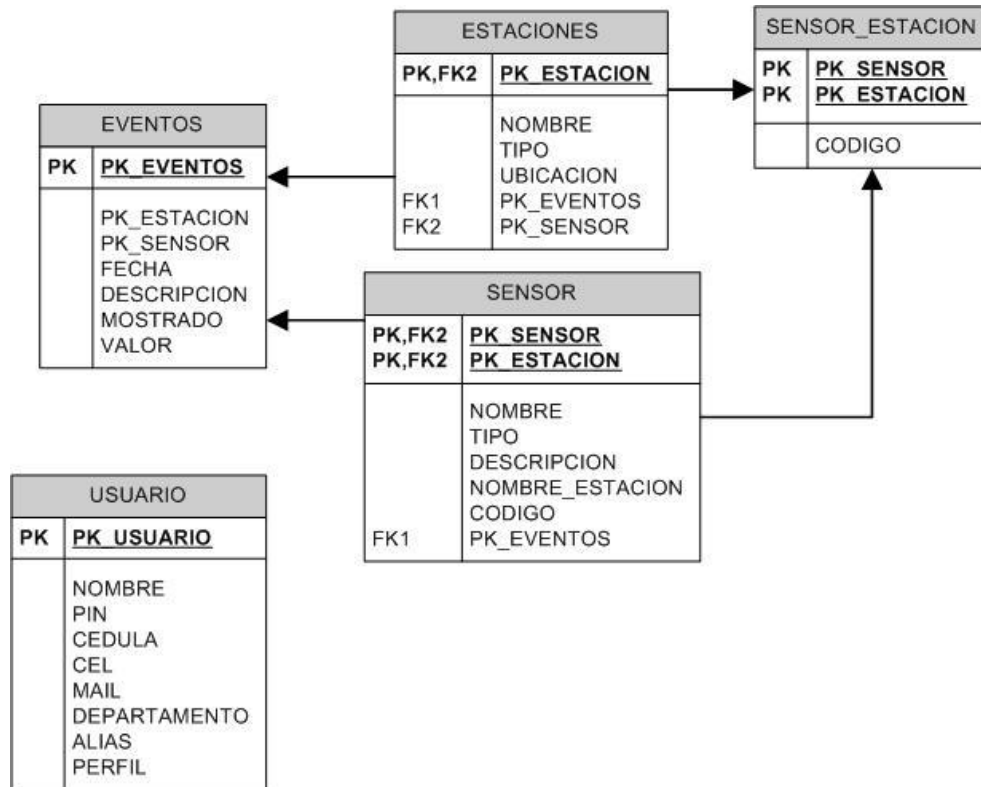


Figura 5.3.5 – 2. Tablas y relaciones de los campos en base de datos.

Tal y como se observa en la figura el sistema posee cuatro tablas principales, en las cuales se registran los eventos, sensores, usuarios y estaciones asociadas con el sistema.

Para cada una de las tablas mostradas se desarrollan las clases necesarias para el almacenamiento y la consulta de información.

5.3.5 Aplicación Web para despliegue de información y administración de base de datos.

Para desarrollar la aplicación Web se utiliza el lenguaje de programación Java-struts. Esta aplicación deberá estar estrechamente relacionada con las tablas de bases de datos presentadas en la sección anterior.

Se pretende que esta aplicación sea la única interfaz con el usuario. No importa si es un operador o un administrador del sistema, todo será manejado mediante esta interfaz Web.

El flujo del programa es determinado mediante la selección del usuario. Se presenta un menú con dos opciones principales: insertar y consultar. Mediante el menú de inserción será posible agregar nueva información a la base de datos.

Por ejemplo, si el ICE decide crear una nueva estación y colocar sensores en la misma el sistema podrá extenderse para cubrir esta nueva estación. Será necesario insertar la estación, y posteriormente insertar los sensores en la nueva estación.

En la sección de consulta el usuario podrá observar toda la información existente en la base de datos. Deberá prestarse especial importancia a la información de la tabla eventos, pues es allí donde se despliega la información relativa a las alarmas generadas por los sensores.

La aplicación tiene también la funcionalidad de mostrar un mensaje de alerta en la esquina superior derecha cuando exista un nuevo evento o alarma. El usuario podrá observar este mensaje desde cualquier menú de la aplicación.

Capítulo 6: Resultados y análisis de resultados

El presente capítulo muestra los resultados y el análisis respectivo. Debe tomarse en cuenta que la cantidad de pruebas de laboratorio necesarias para llegar al prototipo final es innumerable, por lo que en la presente sección se muestran los resultados más importantes que permiten comprobar el cumplimiento de los indicadores presentados en la sección 2.

6.1 Resultados

El primero de los objetivos específicos solicitaba seleccionar variables y construir sistemas de medición para monitorear cualquier evento fuera de rango. El indicador solicitaba realizar pruebas únicamente a los nodos de sensado, es decir a los módulos 5 y 6 del diagrama de solución.

Para realizar estas pruebas se utiliza un diodo emisor de luz para mostrar que una alarma se generó. En este punto no se utilizan transmisiones de RF, pues la intención únicamente es valorar el comportamiento de los sensores.

Para simular la ausencia del cable se coloca un cable en el campo de visión del sensor y luego se retira para observar su comportamiento. En cuanto al sensor de la antena, se realizan cambios en la posición con el fin de obtener una respuesta.

Tabla 6.1-1. Resultados obtenidos en prueba de módulos 5 y 6.

Tipo Sensor	Cantidad de pruebas	% Pruebas Exitosas	Tiempo promedio De retardo (ms)
Compás	50	100	25
Reflexivo	50	100	500

En la tabla anterior, por tiempo de retardo se debe entender la cantidad de tiempo que transcurre entre la alteración física de los sensores y el encendido del LED.

Una vez que se ha comprobado el funcionamiento de los sensores se colocan los elementos de RF en los nodos de sensado. Se realizan la misma prueba pero en esta ocasión, la información relativa a la alteración debe viajar hasta el módulo Ethernet. Se utiliza el LCD para la visualización del dato. Los resultados se muestran en la tabla 6.1-2.

Tabla 6.1-2. Resultados obtenidos en prueba de módulos 2, 5 y 6

Tipo Sensor	Cantidad de pruebas	% Pruebas Exitosas	Tiempo promedio De retardo (ms)	Cantidad Promedio de Envíos*
Compás	20	100	45	1.2
Reflexivo	20	100	500	1.1

* Cantidad de envíos requeridos del mismo dato para ser captado por el módulo Ethernet.

Debe entenderse por prueba exitosa, que el dato haya sido desplegado en un tiempo menor a 2s luego de realizada la alteración en el sensor.

La imagen mostrada en las figura 6.1-1 y 6.1-2 muestra el proceso de envío y recepción de un dato utilizando las transmisiones por radio frecuencia.

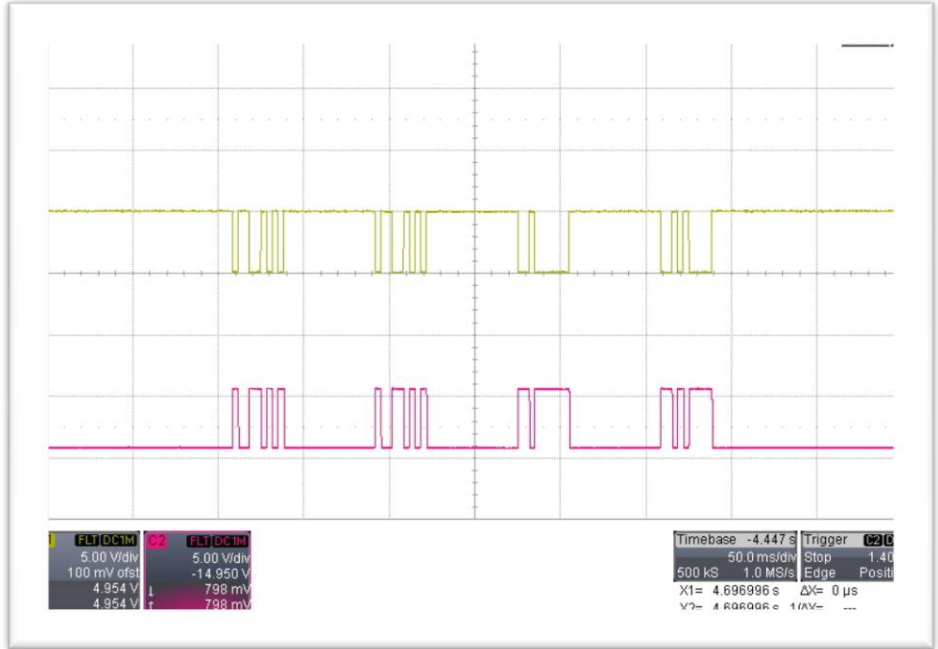


Figura 6.1-1. Trama de datos para la alerta por cable. En color amarillo se muestra el dato recibido, en rosado el enviado.

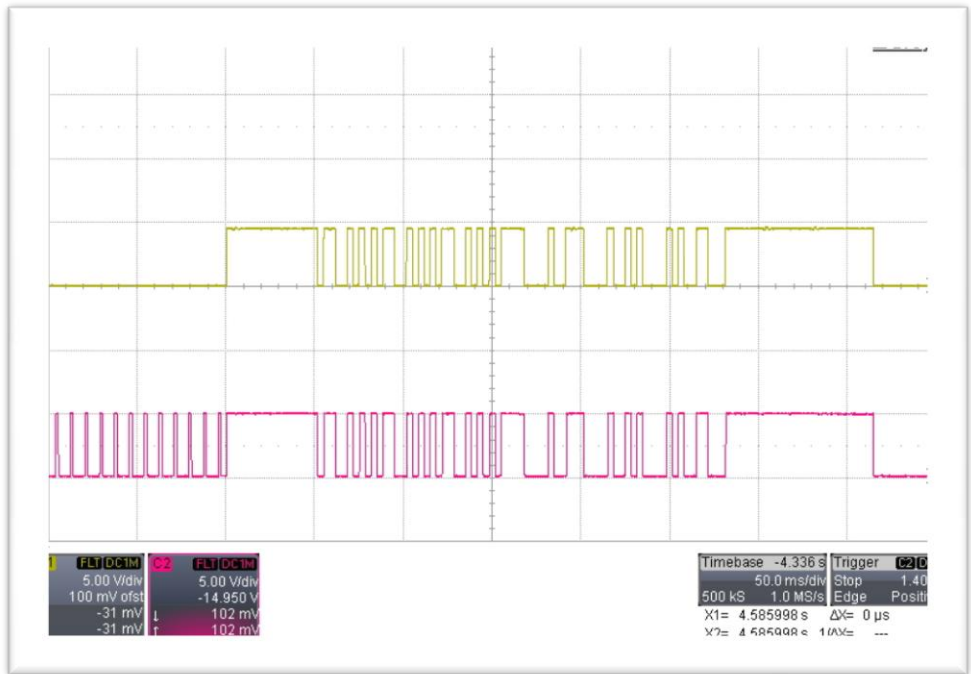
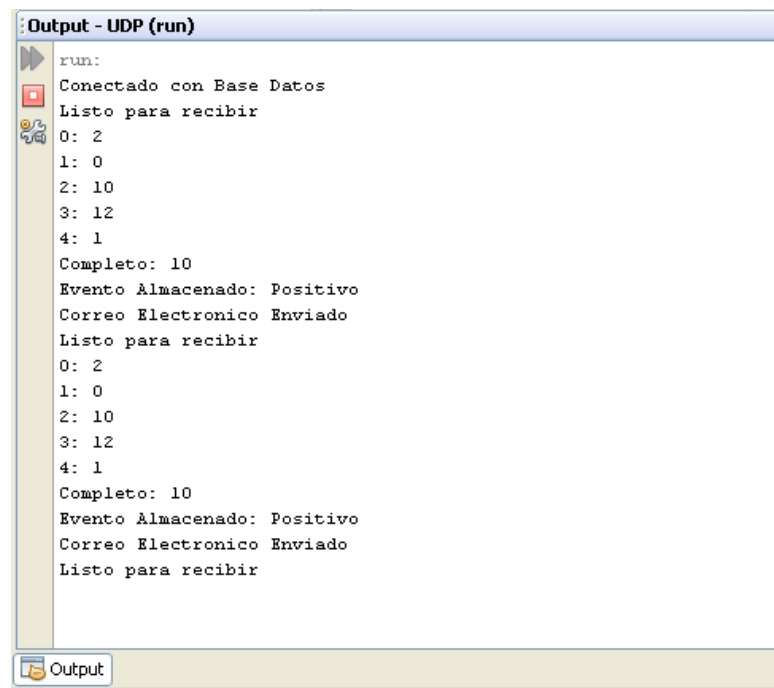


Figura 6.1-2. Trama de datos para la alerta por falla en la antena. En color amarillo se muestra el dato recibido, en rosado el enviado.

Una vez que se realizan pruebas en los módulos de sensado y transmisión por radio frecuencia se incorpora a las pruebas el módulo Ethernet. Se realizan las mismas pruebas de alteración en los sensores, sin embargo esta vez, el éxito en la prueba corresponde al despliegue de un mensaje en la aplicación Java.

La imagen 6.1 – 3 muestra un ejemplo del mensaje de éxito recibido. El mensaje informa el envío del correo electrónico y además muestra el contenido de los bytes recibidos. En caso de que el dato viaje en 2 bytes, se muestra también el dato completo.



```
run:
Conectado con Base Datos
Listo para recibir
0: 2
1: 0
2: 10
3: 12
4: 1
Completo: 10
Evento Almacenado: Positivo
Correo Electronico Enviado
Listo para recibir
0: 2
1: 0
2: 10
3: 12
4: 1
Completo: 10
Evento Almacenado: Positivo
Correo Electronico Enviado
Listo para recibir
```

Figura 6.1-3. Consola de Java, mensaje recibido mediante protocolo UDP.

Como se indica en la consola, cada vez que se produce una alternación en el cable se envía un correo electrónico, utilizando el servidor de correo de la institución. La figura 6.1-4 muestra un ejemplo de un correo recibido.

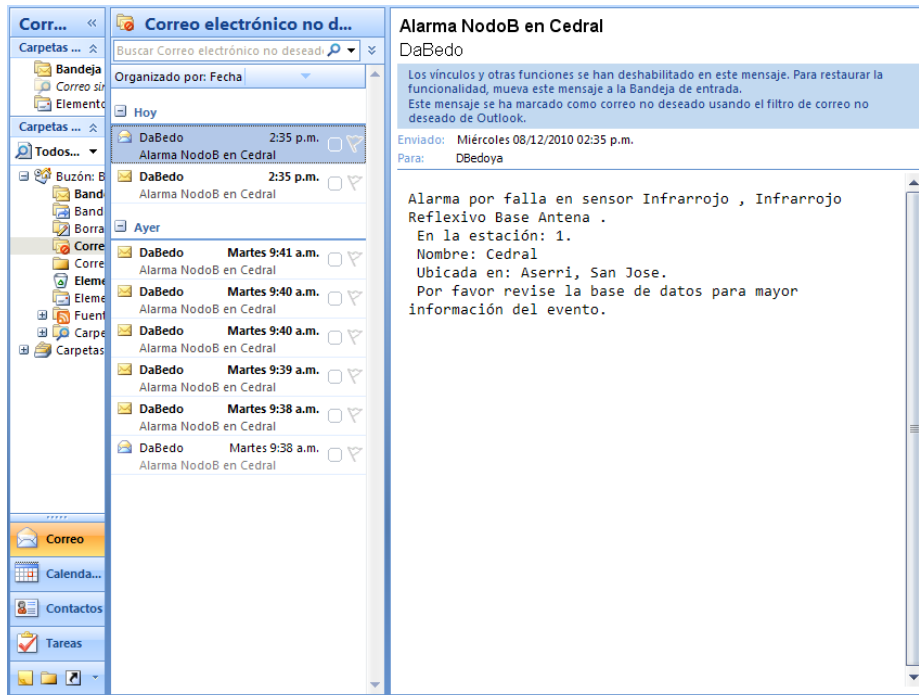


Figura 6.1-4. Microsoft Outlook, correo electrónico por falla en sensor de cable.

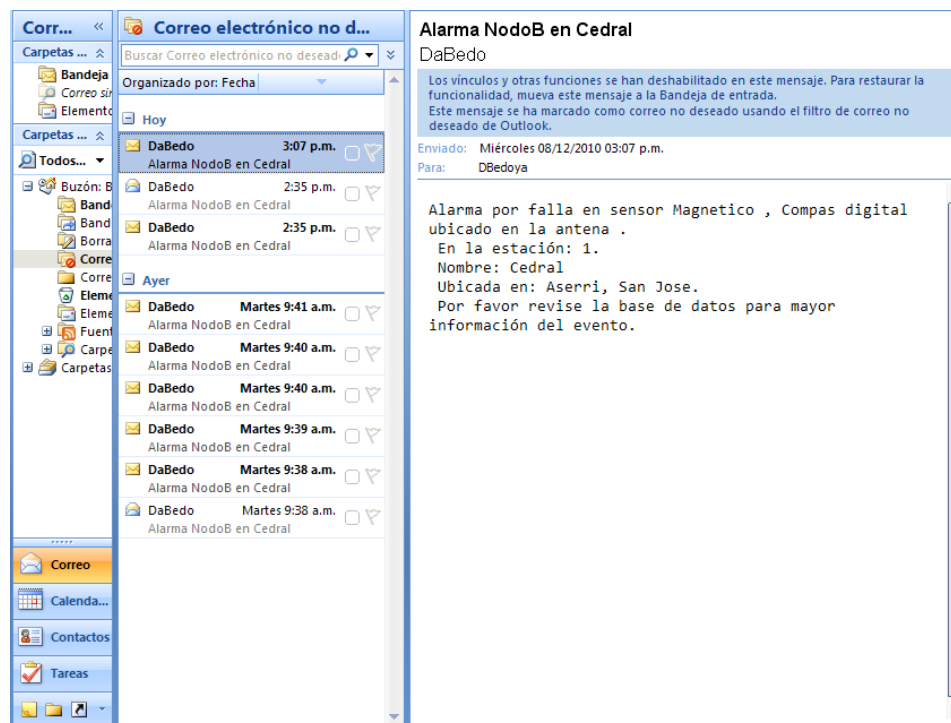


Figura 6.1-4 Microsoft Outlook, correo electrónico por falla en sensor de la antena.

Los resultados de las pruebas con el módulo Ethernet conectado se muestran en la tabla 6.1-3.

Tabla 6.1-3. Resultados obtenidos en prueba de módulos 1, 2, 4, 5 y 6

Tipo Sensor	Cantidad de pruebas	% Pruebas Exitosas	Cantidad de alertas por correo
Compás	20	100	20
Reflexivo	20	100	20

A pesar de que para todas las alteraciones en los elementos de sensado se generaron las alarmas pertinentes, debe agregarse que por estar las transmisiones de RF sometidas a interferencias de muchos tipos es posible que se reciban datos erróneos. Sin embargo, la aplicación java realiza un chequeo previo, y en caso de un dato incorrecto se muestra una pantalla como la expuesta en la figura 6.1-5.

```

:Output - UDP (run)
1: 0
2: 33
3: 41
4: 1
Completo: 33
Estacion o sensor no identificados. Solicitando dato nuevamente...
Listo para recibir
0: 8
1: 0
2: 66
3: 74
4: 1
Completo: 66
Estacion o sensor no identificados. Solicitando dato nuevamente...
Listo para recibir
0: 8
1: 0
2: 0
3: 8
4: 1
Completo: 0
Estacion o sensor no identificados. Solicitando dato nuevamente...
Listo para recibir
|
Output

```

Figura 6.1-4. Consola Java, estación o sensor no identificados.

Se bien con los resultados expuestos se demuestra que el dato se recibe, dentro de los indicadores se mencionaba la necesidad de conocer el lugar donde se produjo el evento y el valor registrado. La imagen de la figura 6.1-4 corresponde a una captura de la aplicación Web desarrollada, donde se observa la información antes mencionada.

IDEvento	IDEstacion	IDSensor	Fecha	Descripcion	Valor
346	2	1	2010-12-06 13:40:42.0	Alarma por falla en sensor Infrarrojo , Infrarrojo Reflexivo Base Antena	Alarma por falla en cable tierra
463	2	1	2010-12-07 08:47:53.0	Alarma por falla en sensor Infrarrojo , Infrarrojo Reflexivo Base Antena	Alarma por falla en cable tierra
464	2	1	2010-12-07 08:50:54.0	Alarma por falla en sensor Infrarrojo , Infrarrojo Reflexivo Base Antena	Alarma por falla en cable tierra
465	15	1	2010-12-07 08:53:02.0	Alarma por falla en sensor Magnetico , Compas digital ubicado en la antena	Antena a 233.0 grados desde el norte

Figura 6.1 -4. Captura de la tabla eventos en la página Web

El resto de funcionalidades de la aplicación Web se explicarán con más detalle en el manual de usuario, colocado como anexo al final del documento.

Una vez que el sistema está funcionando según lo esperado, se toman mediciones de consumo de energía en funcionamiento. Se debe tener presente que lograr un consumo de energía formaba parte de los requerimientos del sistema. La tabla 6.3-4

Tabla 6.3-4. Consumo de energía del prototipo final

Tipo Sensor	Corriente Promedio (mA)	Tensión (V)	Pico de Corriente (mA)	Potencia Promedio (mW)
Compás	3.8	5	17.2	19
Reflexivo	10.7	5	25.1	53.5

6.2 Análisis de resultados

El primero de los objetivos específicos planteados se refería al análisis e investigación del tipo de variables que debían medirse para lograr un monitoreo de elementos externos. Para alcanzar este objetivo se sigue la metodología descrita en el capítulo 4.

Durante la etapa de investigación se plantearon diversas soluciones que por diversos motivos fueron desechadas. Por ejemplo se adquirió un sensor de distancia infrarrojo con el que se pretendía monitorear la posición de la antena. La idea inicial consistía en crear un soporte en la base de la antena, donde pudiese montarse el sensor y mantener una lectura de la distancia hasta la antena.

A pesar de que se adquirió el sensor, la idea fue desechada luego de las pruebas iniciales. Los sensores disponibles en el mercado para la lectura de distancias poseen distintos rangos y distintos precios. Sensores de alta precisión como los utilizados en aplicaciones industriales superan los 300 dólares en costo. El sensor adquirido en cambio podía monitorear distancias desde 4 hasta 20cm. Al sensor un sensor no lineal debía programarse ciertas rutinas para obtener un dato aceptable.

Con las pruebas se descubre que por más que el montaje sea sólido, el sensor termina siendo más sensible al viento y a las oscilaciones que la misma

antena. Por lo que se obtenían lecturas de movimiento “en la antena” cuando en realidad quien estaba sufriendo los embates del viento era el sensor.

Al cambiar de sensor y programar las rutinas para el compás digital se notan varias ventajas de inmediato. Este sensor puede colocarse de forma directa en la antena. No se requiere un montaje preciso, únicamente ser colocado en uno de los bordes de la antena.

Otra de las ventajas del compás digital es que a pesar de ser una placa de menos de 3cm, posee internamente un microcontrolador. Todas las lecturas que se envían llevan ya un formato digital. Esto permite analizar los datos con mayor facilidad y no depender de un convertidor analógico digital ni linealizaciones.

La comunicación con el sensor se realiza por medio de I2C. Este canal de comunicación se utiliza no solamente para solicitar un nuevo dato, sino que el sensor admite diferentes tipos de configuración. A pesar de que el microcontrolador 16F627A no cuenta una unidad física para soportar I2C, se puede implementar mediante rutinas de software.

El compilador PICC permite que mediante 1 línea de código se configuren internamente los registros y timers necesarios para utilizar pines de salida digital como si perteneciesen a una unidad de hardware I2C.

El hecho de que las mediciones del compás sean digitales trae también algunas desventajas. Una señal analógica se puede monitorear fácilmente con un osciloscopio, mientras que en datos digitales se cuenta únicamente con la lectura, lo que dificulta un poco la depuración del código. Además, es internamente que se convierte la señal de un valor analógico a digital, lo que provoca que su resolución no pueda ser cambiada.

Esto causa que dos mediciones consecutivas del compás sean diferentes. Pueden variar por incluso +/- 1°, según la hoja de especificaciones. Al no contar con la señal analógica deben promediarse o “filtrarse” digitalmente los datos para evitar fluctuaciones irreales en la medición.

Es por esta razón, que a pesar de que se solicitan al compás digital mediciones cada 50ms, se hacen comparaciones de datos cada 2s. Durante esos 2 segundos se recolectan 40 mediciones que al ser promediadas eliminan fluctuaciones en los datos causadas por la naturaleza del sensor.

En cuanto al detector de cable se utiliza un sensor infrarrojo reflexivo. La mayor ventaja de esta solución es la escalabilidad. Ni importa si es un cable coaxial, un cable de cobre, una fibra o cualquier otro tipo de elemento, el módulo de cable es fácilmente escalable.

Utilizar otro tipo de soluciones como por ejemplo un sensor de corriente de hall, quizás hace que el sistema se pueda ensamblar con facilidad y no requiera mantenimiento, pero es poco escalable, pues como se comentó antes las estaciones de telecomunicaciones poseen similitudes, pero hay variaciones en cuanto a condiciones ambientales y atmosféricas se refiere.

Existe siempre el peligro de una descarga atmosférica. Las enormes corrientes y tensiones que circulan por los cables de tierra fácilmente pueden producir un arco capaz de dañar el equipo. El sensor infrarrojo reflexivo posee la ventaja que no está en contacto directo con el cable, sin embargo deberá estudiarse el comportamiento de una descarga atmosférica y en caso de ser necesario desarrollar un circuito de protección.

Dentro de las rutinas de software del módulo de detección de cable se agrega también un lapso de tiempo entre el instante en que se produce en evento físico (la remoción del cable) y el envío del dato. Es posible que a causa del viento

el cable oscile y que estas oscilaciones causen un cambio de estado en el sensor. Previendo estas situaciones se agrega un tiempo de asentamiento, luego del cual si el cable aún no está presente se envía la alarma correspondiente.

Respecto al módulo de radio frecuencia debe mencionarse que la trama de comunicación final es el resultado de experimentación con una serie de protocolos diferentes. Se utiliza para las transmisiones de radiofrecuencia una velocidad de 300bps. A pesar de que los elementos son capaces de trabajar hasta 2400bps en este caso la velocidad de transmisión es irrelevante y lo pertinente es que llegue el dato de forma adecuada.

Los primeros datos de la trama no tienen ningún sentido desde el punto de vista de transmisión de información, únicamente permiten “despertar” el elemento receptor. Al ser de ganancia variable los transmisores están constantemente recibiendo datos que deben ser desechados. Si se enviara el dato sin ningún byte de sincronía es posible que se pierda parte de la información.

Teóricamente, aplicando una tensión de 12V a los terminales del transmisor es posible alcanzar distancias de comunicación de hasta 150 m. Las pruebas realizadas en la estación Cedral permitieron comunicación entre los sensores con baterías de 9V, sin utilizar ningún tipo de filtros ni antenas.

Un análisis espectral en la estación reveló que en las frecuencias utilizadas no existían transmisiones activas. Por lo tanto, debe acotarse que las transmisiones de alta frecuencia y de alta potencia que se realizaban en el sitio no afectan el comportamiento de los transmisores de baja frecuencia y baja potencia.

Se determinó además que el sistema de monitoreo contaba con una línea vista entre los elementos de transmisión y recepción, esto disminuye la cantidad de potencia necesaria para establecer un enlace y favorece la utilización de baterías en los nodos de sensado.

En cuanto a la programación de los microcontroladores, en términos generales puede agregarse que la utilización de software para la simulación de los programas permite una depuración en tiempo real que es imposible de lograr en la implementación real. Se resolvieron gran cantidad de fallas desde antes de colocar el programa en los microprocesadores.

Por el contrario, para la tarjeta de desarrollo SBC65EC no se contaba con un software de simulación. Las herramientas disponibles se limitaban a un analizador de tráfico y una aplicación capaz de mandar y recibir datos por un puerto UDP. Al no poderse simular el flujo del programa fueron necesarias muchas pruebas fallidas para encontrar errores sencillos.

Sobre la tarjeta debe mencionarse también, que el manejo de la apertura o cierre de los puertos UDP es fundamental para un buen funcionamiento. Mientras que en las aplicaciones Java el puerto debe abrirse y cerrarse en cada transmisión, para la tarjeta de desarrollo la solución muestra que únicamente debe abrirse el puerto al inicio del programa y nunca cerrarse.

Respecto al consumo de energía es posible observar en la tabla 6.3-3 de resultados que el nodo de monitoreo de cable consume más energía que el sistema montado en la antena.

El consumo de energía por parte de los microcontroladores es despreciable, menos de 1mA en operación normal y valores de hasta 0.1 mA en modo de bajo consumo. La diferencia entre los sistemas es el sensor como tal. La utilización de un sensor infrarrojo para la detección de cable hace que este nodo de sensado consuma las baterías más rápidamente.

El compás digital consume 400mA en modo “polling” según la hoja de especificaciones. La potencia restante se utiliza en energizar los elementos de radio frecuencia.

Para disminuir el consumo de potencia, los elementos de transmisión se activan únicamente cuando se va a enviar un dato. Se espera que en operación normal sea sean pocos los datos que deban enviarse por lo que se puede aprovechar de mejor forma la energía de las baterías.

Durante los períodos de envío de datos la potencia se incrementa en 70mW, es decir más del 100% del consumo cuando no están activados los elementos de transmisión. Es por esta razón que se debe poner especial atención en desactivar el elemento luego del envío.

A pesar de que dentro de los objetivos específicos no se menciona explícitamente la utilización de bases de datos para el almacenamiento de la información, es necesario poder guardar un registro de los eventos para aprovechar la información generada.

Se utiliza el sistema de gestión de bases de datos Oracle pues es el disponible en la empresa.

Las aplicaciones Java® se trabajan en tres proyectos separados. El primero involucra únicamente la recepción de datos mediante UDP. El segundo contiene las clases necesarias para administrar la información de la base de datos, y el tercero es una aplicación Web desarrollada especialmente para el despliegue de la información desde cualquier sitio con acceso al servidor de base de datos.

El sistema posee dos formas de alertar a los encargados de mantenimiento sobre acontecimientos irregulares en una estación particular. El primero es el

envío de un correo electrónico cuando un dato nuevo es almacenado en la base de datos. El segundo método de alerta corresponde un despliegue gráfico en la pantalla de la aplicación Web que indica al usuario que existen eventos nuevos que aún no han sido revisados por ningún encargado.

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones

Una vez que se ha descrito las diferentes etapas que llevaron a la solución del problema y se ha realizado el análisis pertinente se presentan en este capítulo algunas conclusiones y recomendaciones.

7.1 Conclusiones

7.1.1 La utilización de sensores infrarrojos de distancia de bajo costo en ambientes abiertos, con exposición a vientos y radiaciones de alta frecuencia, da como resultado mediciones imprecisas y alejadas del comportamiento teórico.

7.1.2 Utilizar sensores que dependan de las condiciones eléctricas específicas de una estación particular reduce la escalabilidad del sistema.

7.1.3 En los transmisores de radio frecuencia, con solo mantener la patilla de datos en alto el consumo de potencia se incrementa en más del 100%.

7.1.4 Los receptores de radio frecuencia adaptarán su ganancia de forma tal que siempre se capturen datos, por lo que filtrado de la información debe realizarse de forma digital.

7.1.5 Las transmisiones de alta frecuencia y alta potencia no afectan el comportamiento de los transmisores y receptores de baja frecuencia.

7.1.6 Para mejorar la distancia de transmisión de los transmisores de radio frecuencia utilizados no importa la cantidad de corriente que se suministre al elemento sino la tensión.

7.1.7 La utilización de un cristal externo mejora las transmisiones por UART, no importa si son unidades UART hardware o software.

7.1.8 El manejo de la apertura y cierre de los puertos UDP es fundamental para las transmisiones Ethernet.

7.1.9 La utilización de tiles para el desarrollo de una aplicación web mejora el tiempo de desarrollo.

7.1.10 Es posible crear un cliente de correo en una aplicación Java ® para alertar a los usuarios vía e-mail o SMS.

7.1.11 El consumo de potencia revela que es viable la alimentación de los nodos de sensado utilizando paneles solares de 50cm cuadrados en conjunto con un banco de baterías.

7.1.12 Un sistema de monitoreo con nodos de sensado inalámbricos puede almacenar información en una base de datos y alertar vía e-mail o SMS a usuarios lejos de la estación.

7.2 Recomendaciones

7.2.1 Sustituir el sensor HMC6352 por el equivalente HMC6343. El HMC6343 además de ser un compás digital está compensado con un acelerómetro, por lo que no es necesario que se encuentre paralelo al plano de la tierra. Además es de utilidad en el monitoreo de la posición de las antenas para conocer desviaciones no solamente en el plano horizontal sino también el vertical.

7.2.2 Agregar a los nodos de sensado alerta por baterías bajas. Al ser elementos alimentados por baterías es necesario que prevenga al operador del sistema antes de salir de operación. Los microcontroladores utilizados poseen un módulo comparador que puede ser utilizado para generar alertas.

7.2.3 Utilizar una cámara digital en conjunto con la detección de cable. Colocar una cámara digital permite tener no solamente el registro de un evento sino también una imagen capturada en el momento en que se produce la alarma. Los elementos utilizados poseen la capacidad de transmisión de una imagen mediante la intranet.

7.2.4 Sustituir la presentación de datos en la página web por una interfaz Google Maps ®, de forma tal que se pueda seleccionar en el mapa la estación deseada y mostrar los eventos relacionados con dicha estación.

7.2.5 Crear una bitácora que permita llevar el control de cuales usuarios ingresan a la página web y cuales acciones realizan.

7.2.6 Sustituir el protocolo de transmisión de la tarjeta embebida por TCP/IP. A pesar de requerir una programación más compleja permite mayor seguridad en el envío y recepción de datos.

Bibliografía

- [1] David Bowler, *Introduction to Mobile Telephone Systems: 1G, 2G, 2.5G, and 3G Technologies and Services*, Althos Publishing, 2003.
- [2] Electelco, Equipo minero protección tierra. [En Línea] [visitado 09 agosto 2010] disponible en http://temesa.com/cat/electelco/i_gard/brochure/rel_mi.pdf
- [3] *Estudio de comportamiento del rayo en la montaña en un laboratorio de alta tensión y telecomunicaciones*. Roberto René Leal, Javier Maldonado, Ángel Rodríguez. 2010. Disponible en <http://www.intsl.ad/pdf/estudio%20para%20la%20proteccion%20del%20rayo%20en%20torres%20de%20telecomunicaciones.pdf>
- [4] *GSM Network Example*. . [En Línea] [visitado 09 agosto 2010] disponible en http://www.eventhelix.com/realtimemantra/telecom/gsm_network_example.htm
- [5] Gunnar Heine, *GSM Networks Protocols Terminology and Implementation*, Artech House, Norwood, MA, E.E.U.U., 1998
- [6] Guía de configuración de transmisiones inalámbricas [En Línea] [visitado 01 setiembre 2010 disponible en http://www.sparkfun.com/datasheets/RF/KLP_Walkthrough.pdf
- [7] Harvey M. Deitel. *Como programar en Java*. 3era edición, 2002. Prentice Hall .
- [8] Hoja de datos. Sensor IR reflexive Honeywell HOA1404, [En Línea] [visitado 3 Octubre 2010] disponible en <http://www.kosmodrom.com.ua/data/hoa/HOA1404.pdf>

- [9] Honeywell, sensor magnético compensado HMC6343, [En Línea] [visitado 03 Octubre 2010] disponible en <http://www.magneticsensors.com/datasheets/HMC6343.pdf>
- [10] Información y soporte de bases de datos oracle. [En Línea] [visitado Setiembre – Octubre 2010] disponible en <http://www.oracle.com/index.html>
- [11] Juha Korhonen, *Introduction to 3G Mobile Communications*, Second Edition, Artech House, 2003, Norwood MA, E.E.U.U.
- [12] Noticias Dot, “Telefónica instala alarmas en los postes para evitar el robo de cable” [En Línea] [visitado 06 Agosto 2010] disponible en <http://www.noticiasdot.com/wp2/2008/08/04/telefonica-instala-alarmas-en-los-postes-para-evitar-el-robo-de-cable-de-cobre/>
- [13] Programación de transmisores de radiofrecuencia para microcontroladores Arduino. [En Línea] [visitado 17 agosto 2010] disponible en <http://winavr.scienceprog.com/example-avr-projects/running-tx433-and-rx433-rf-modules-with-avr-microcontrollers.html>
- [14] Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcom W. Oliphant, *GSM and Personal Communications Handbook*, Artech House, 1998, Norwood, MA, E.E.U.U.

Apéndices

A1. Glosario y abreviaturas

BSS Sistema de Estación Base

GND Tierra

GSM Sistema Global para Comunicación Móvil

PIC Circuito Integrado Programable

RBS Estación Radio Base

RF Radio Frecuencia

RX Receptor

SMS Servicio de mensajería breve

TX Transmisor

Acelerómetro elemento de sensado capaz de captar la aceleración en 1 2 o 3 ejes.

Compás digital Brújula capaz de enviar una lectura de datos en digital

Ethernet es un estándar de redes de computadoras de área local

A2. Manual de Usuario

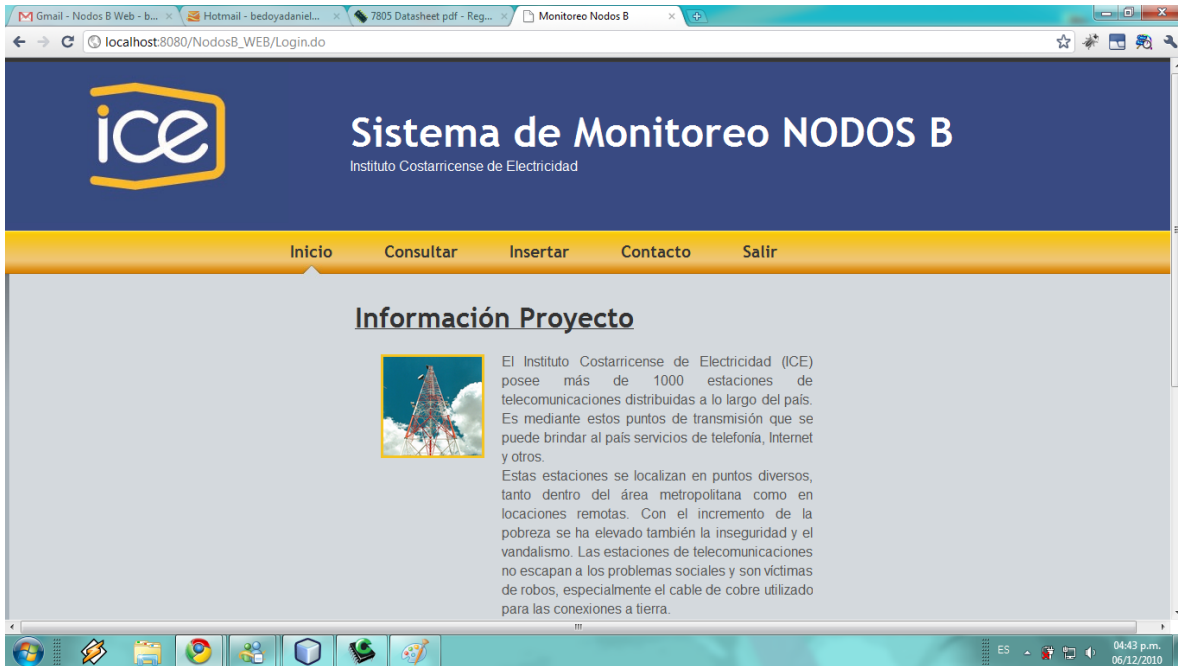
Se describen a continuación las funcionalidades implementadas en la página Web para la administración de base de datos.



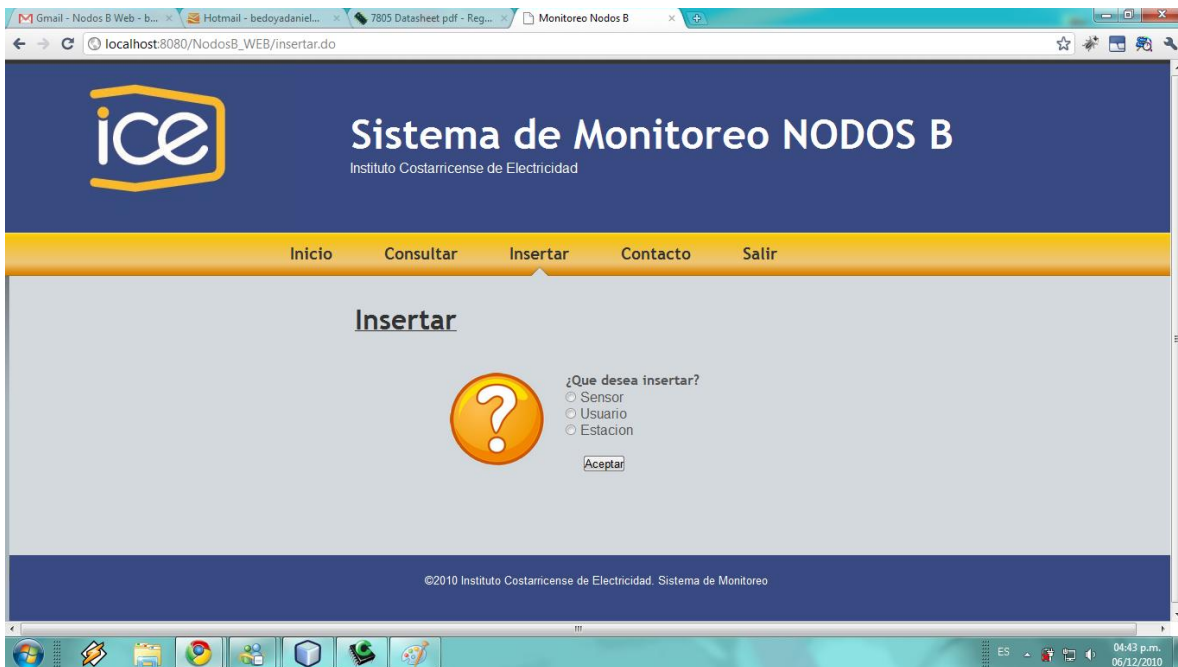
Al ingresar al sistema se mostrará la página de inicio de sesión. Allí deberá ingresar sus datos personales, contraseña y nombre de usuario. El nombre de usuario corresponde al alias ICE y la respectiva contraseña.

Si ingresa de manera correcta observará la pantalla de inicio de lo contrario se mantendrá en la página de inicio de sesión.

La página de información muestra generalidades del proyecto y una pequeña descripción de funcionalidades y guía de uso.



Para ingresar nuevos elementos refiérase a la sección de insertar en el menú.



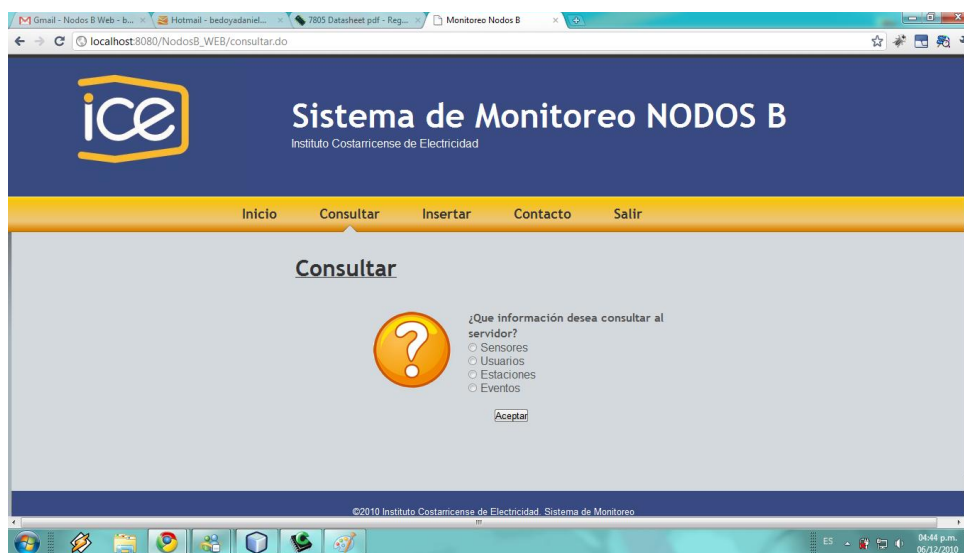
Allí podrá seleccionar el tipo de elemento que desea añadir a la base de datos.

Para ingresar un sensor deberá seleccionar la opción del menú y presionar el botón de aceptar.



En la página de inserción de sensor será necesario que rellene todos los campos y seleccione una estación, de lo contrario el elemento no se agregará a la base de datos.

Para consultar información seleccione la opción del menú.



Aparecerán las distintas tablas que se pueden consultar seleccione una opción y se desplegará la siguiente pantalla.

IDEvento	IDEstacion	IDSensor	Fecha	Descripcion	Valor
346	2	1	2010-12-06 13:40:42.0	Alarma por falla en sensor Infrarrojo , Infrarrojo Reflexivo Base Antena	Alarma por falla en cable tierra
463	2	1	2010-12-07 08:47:53.0	Alarma por falla en sensor Infrarrojo , Infrarrojo Reflexivo Base Antena	Alarma por falla en cable tierra
464	2	1	2010-12-07 08:50:54.0	Alarma por falla en sensor Infrarrojo , Infrarrojo Reflexivo Base Antena	Alarma por falla en cable tierra
465	15	1	2010-12-07 08:53:02.0	Alarma por falla en sensor Magnetico , Compas digital ubicado en la antena	Antena a 233.0 grados desde el norte

A2. Protocolos de medición

El procedimiento seguido para realizar mediciones a los módulos 5 y 6 del sistema se detalla a continuación:

- 1- Simular el flujo del programa un paquete de cómputo
- 2- Colocar puntos de quiebre en el flujo del programa para verificar el funcionamiento.
- 3- Implementar el programa en el microcontrolador.
- 4- Observar la información desplegada en el LCD, la consola de Java ® o los eventos de la base de datos.
- 5- Observar en el osciloscopio la trama de datos enviada y recibida por los diferentes bloques del sistema.

- 6- Agregar señales de prueba que permitiesen conocer cual subrutina se estaba ejecutando.
- 7- Registrar los datos en tablas.
- 8- Realizar capturas del osciloscopio.

Para realizar pruebas con la tarjeta embebida:

- 1- Cargar el programa al microcontrolador mediante el bootloader.
- 2- Utilizar la interfaz Netix para verificar la recepción y el envío de datos.
- 3- Colocar señales de prueba en los puertos de la tarjeta para conocer en todo momento la rutina que se encuentra en ejecución.
- 4- Utilizar LED para indicar banderas activas o inactivas.
- 5- Utilizar software para monitorear la actividad en la red.
- 6- Combinar el sistema embebido con la aplicación en lenguaje Java ® para verificar la recepción de información en la consola.

A3. Caracterización de los elementos transmisores de radiofrecuencia Transmisores

Se realizaron mediciones utilizando el analizador de espectros para conocer el ancho de banda de transmisión de los dispositivos así como su frecuencia central. La figura A-1 muestra la frecuencia central y la potencia de transmisión para el dispositivo a 315 MHz.

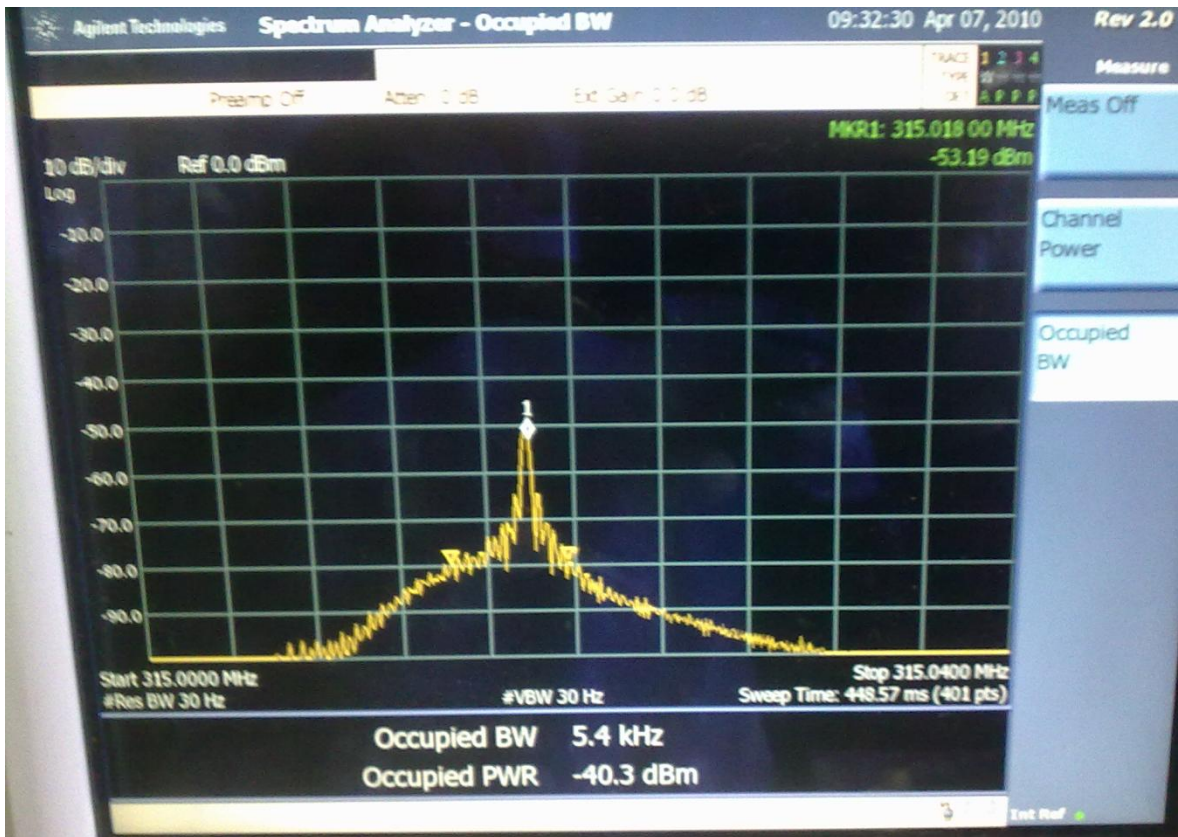


Figura A-1. Análisis espectral del canal, con una frecuencia central de 315 MHz, span de 45 KHz y resolución de 30 Hz.

Se observa que la señal del transmisor se ubica en una frecuencia de 315.018 MHz, y que la potencia con que se recibe corresponde a -51 dbm. Durante estas mediciones se utilizó una tensión de 5V en la alimentación del transmisor. El análisis del canal se realiza utilizando la antena logarítmica. Se mide además el ancho de banda ocupado por la transmisión, se observa que el ancho de banda reportado corresponde a 5.4 KHz.

Se repiten las mediciones variando el voltaje de alimentación del transmisor a 7.5 V. Según la hoja de datos este nivel de tensión puede variarse hasta 12 V para aumentar la potencia de transmisión. A 7.5 V el resultado obtenido se muestra en la figura A-2.

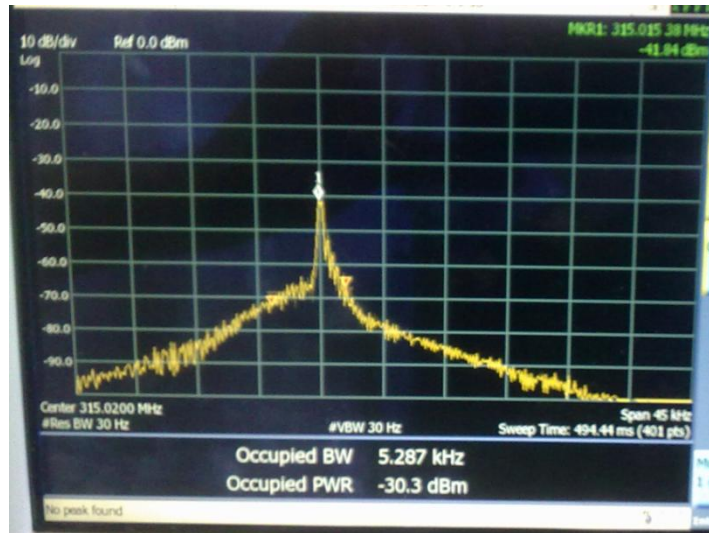


Figura A-2. Análisis espectral del canal, con una frecuencia central de 315 MHz, span de 45 KHz y resolución de 30 Hz.

Se puede observar que la potencia con que se recibe la señal aumentó en 10 dbm. El ancho de banda se mantiene prácticamente constante al igual que la frecuencia central de la transmisión. Se repite el procedimiento para el transmisor a 434 MHz. Los resultados se muestran en la figura A-3.

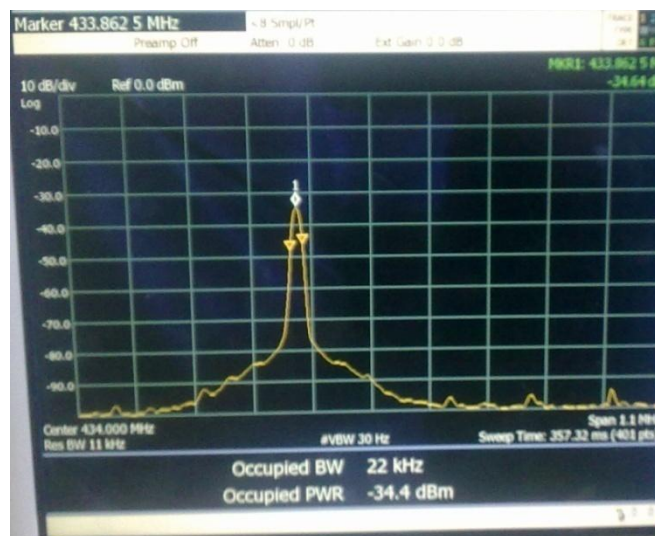


Figura A-3. Análisis espectral del canal, con una frecuencia central de 434 MHz, span de 1.1 Mhz y resolución de 30 Hz.

Se observa que para el transmisor a 434 MHz el ancho de banda aumenta al igual que la potencia de transmisión. Sin embargo debe observarse que los anchos de banda de transmisión apenas superan los 20 KHz, por lo que no debería representar problemas de interferencia entre los dispositivos.

Receptores:

Para realizar la medición del ancho de banda de los receptores se utilizan el generador de radio frecuencia del laboratorio de comunicaciones, con una potencia de -40 dbm (similar a la potencia de los transmisores adquiridos). La siguiente tabla resume los resultados obtenidos.

Tabla A-1. Caracterización de los elementos de recepción de radio frecuencia

Frecuencia de Recepción [MHz]	Límite Inferior de recepción [MHz]	Límite superior de recepción [MHz]	Ancho de banda de recepción [MHz]
315	313.5	315.54	2.04
434	433.440	434.67	1.23

Debe quedar claro estos valores son aproximados, pues no se tiene certeza de que en los límites la información está llegando sin errores, únicamente se tomó como límite el valor para el cual aún se recibía información sin distorsión.

A4. Análisis Espectral de una estación de telecomunicaciones.

El análisis espectral que se muestra a continuación fue realizado en la estación de telecomunicaciones Cedral, localizada en Aserrí, San José, el día 20 de octubre del año 2010.

En las imágenes se pretende mostrar la disponibilidad de las bandas de frecuencia utilizada. Se realiza primero un análisis espectral de las frecuencias desde 250 MHz hasta 750 MHz, la figura A-4 muestra los resultados.

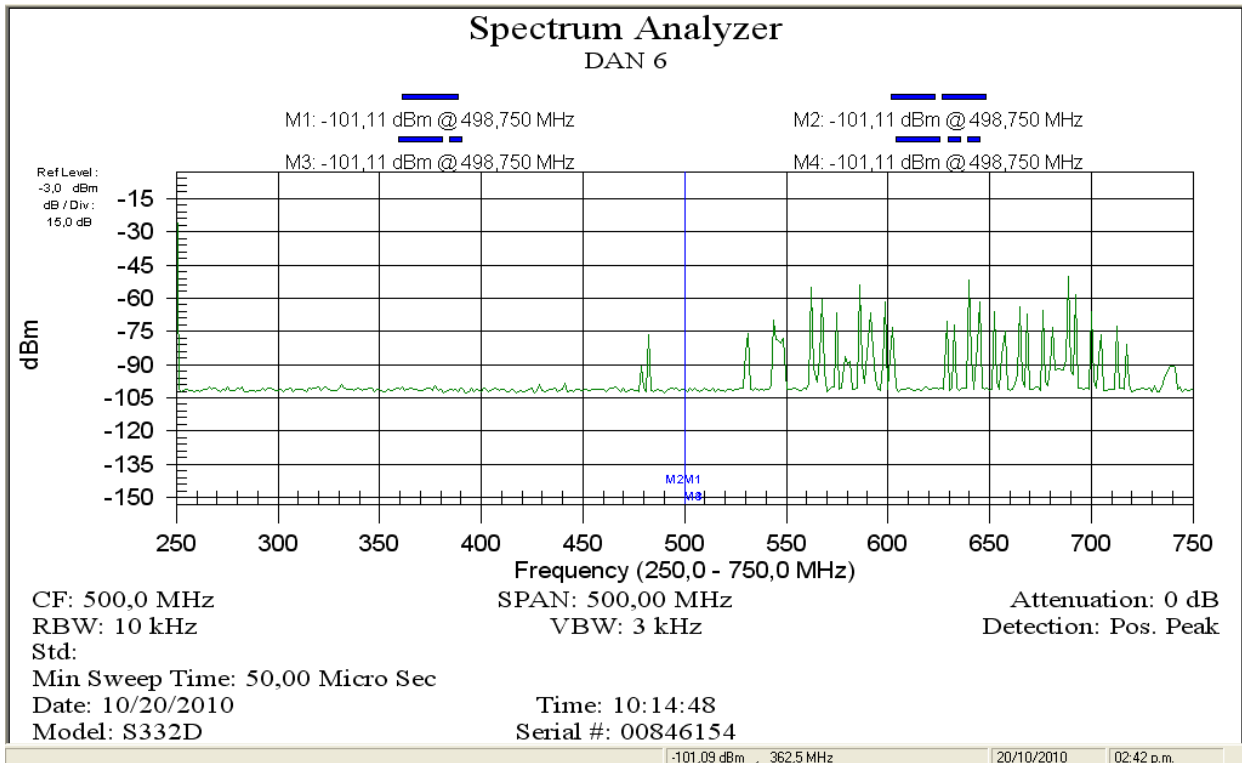


Figura A-4. Análisis espectral de una estación de telecomunicaciones.

Recordemos que las frecuencias de los transmisores utilizados se localizan en los 433 MHz y los 315 MHz. Se realizan mediciones en ambas frecuencias. Los resultados se muestran en las figuras A-5 y A-6.

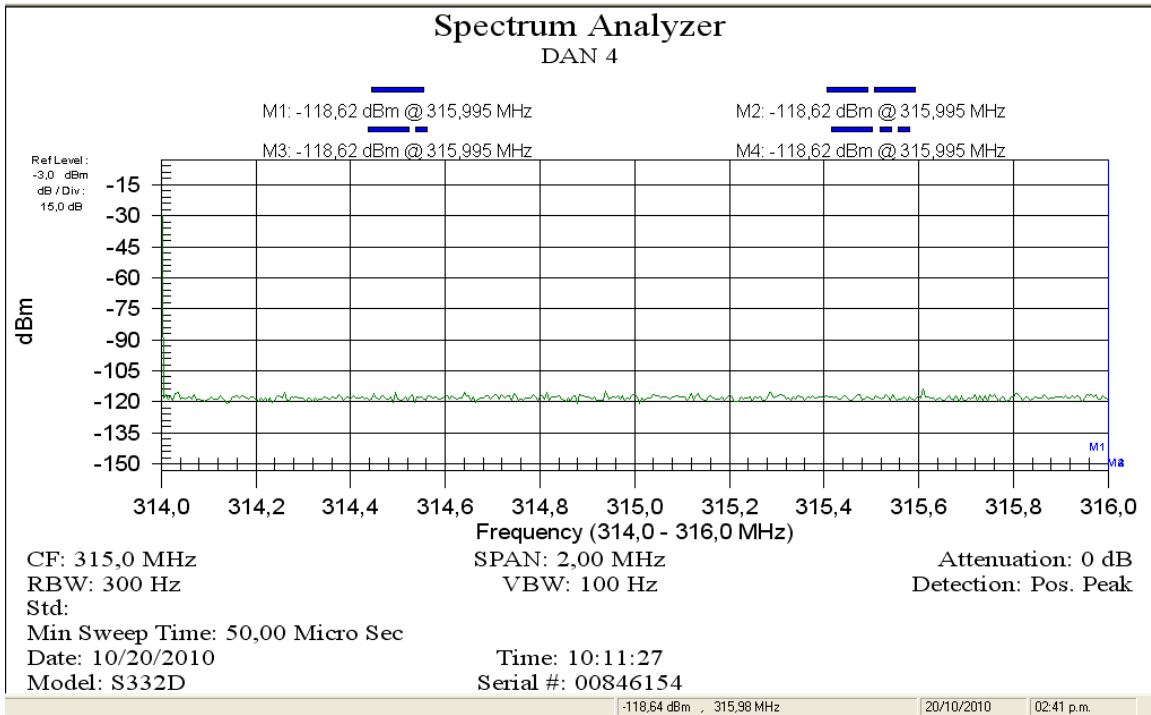


Figura A-5. Análisis espectral de una estación de telecomunicaciones, frecuencia central 315MHz.

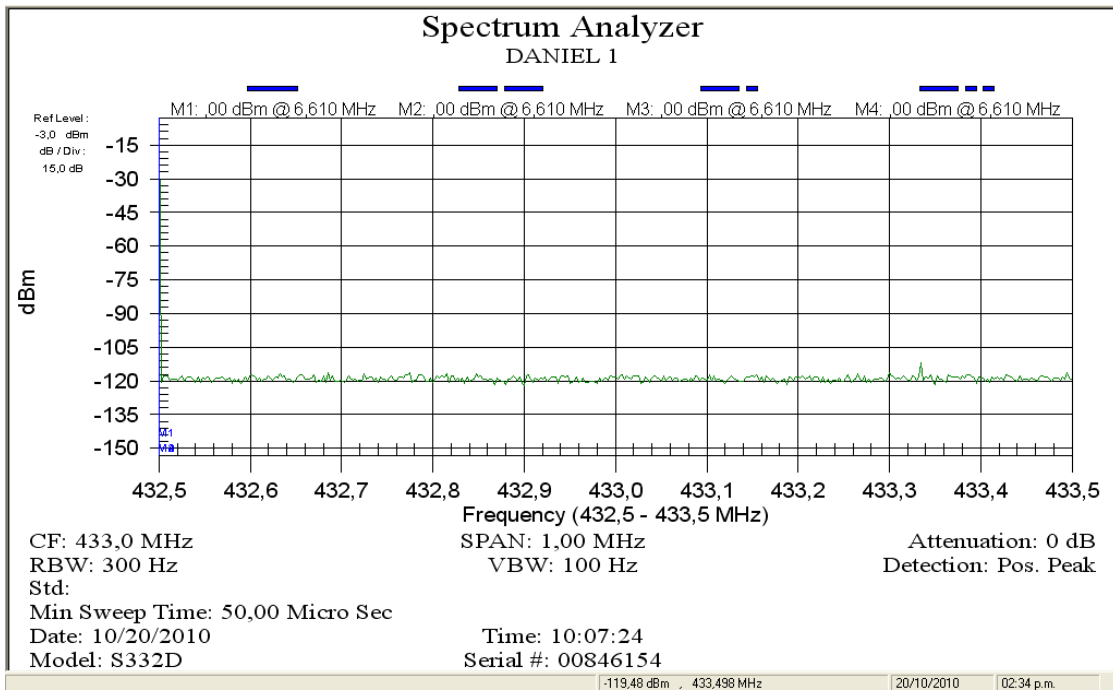


Figura A-6. Análisis espectral de una estación de telecomunicaciones, frecuencia central 433 MHz.

B Anexos.

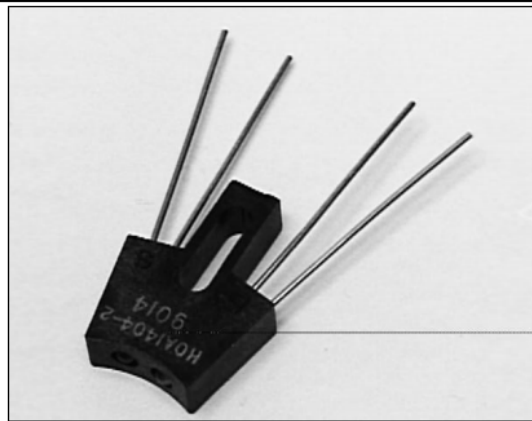
B1. Sensor Infrarrojo Reflexivo HOA1404

HOA1404

Reflective Sensor

FEATURES

- Choice of phototransistor or photodarlington output
- Focused for maximum response
- Wide operating temperature range (-55°C to +100°C)



INFRA-61.TIF

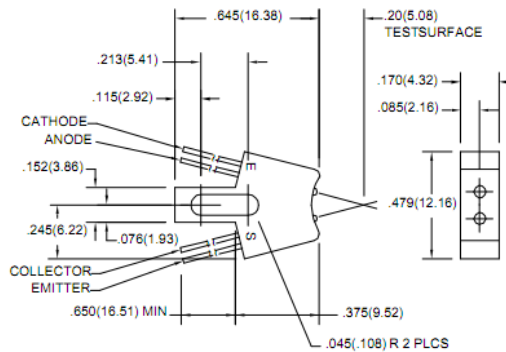
DESCRIPTION

The HOA1404 series consists of an infrared emitting diode and an NPN silicon phototransistor (HOA1404-001,-002) or photodarlington (HOA1404-003), encased side-by-side on converging optical axes, in a black thermoplastic housing. The detector responds to radiation from the IRED only when a reflective object passes within its field of view. The HOA1404 series employs metal can packaged components. For additional component information see SE1450, SD1440, and SD1410.

Housing material is acetal copolymer. Housings are soluble in chlorinated hydrocarbons and ketones. Recommended cleaning agents are methanol and isopropanol.

OUTLINE DIMENSIONS in inches (mm)

Tolerance 3 plc decimals $\pm 0.010(0.25)$
2 plc decimals $\pm 0.020(0.51)$



HOA1404

Reflective Sensor

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (25°C unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	TEST CONDITIONS
IR EMITTER						
Forward Voltage	V_F			1.6	V	$I_F=20\text{ mA}$
Reverse Leakage Current	I_R			10	μA	$V_R=3\text{ V}$
DETECTOR						
Collector-Emitter Breakdown Voltage HOA1404-001, -002 HOA1404-003	$V_{(BR)CEO}$	30 15			V	$I_C=100\ \mu\text{A}$
Emitter-Collector Breakdown Voltage	$V_{(BR)ECO}$	5.0			V	$I_E=100\ \mu\text{A}$
Collector Dark Current HOA1404-001, -002 HOA1404-003	I_{CEO}			100 250	nA	$V_{CE}=10\text{ V}$ $I_F=0$
COUPLED CHARACTERISTICS						
On-State Collector Current HOA1404-001 HOA1404-002 HOA1404-003	$I_{C(ON)}$	0.2 0.8 2.0			mA	$V_{CE}=5\text{ V}$ $I_F=30\text{ mA}$ (1)
Collector-Emitter Saturation Voltage HOA1404-001 HOA1404-002 HOA1404-003	$V_{CE(SAT)}$			0.4 0.4 1.1	V	$I_F=30\text{ mA}$ (1) $I_C=30\ \mu\text{A}$ $I_C=100\ \mu\text{A}$ $I_C=250\ \mu\text{A}$
Rise And Fall Time HOA1404-001, -002 HOA1404-003	t_r, t_f		15 75		μs	$V_{CC}=5\text{ V}, I_C=1\text{ mA}$ $R_L=1000\ \Omega$ $R_L=100\ \Omega$

Notes

1. Test surface is a front surface mirror (polished aluminum, 85% reflectance) located 0.20 in.(5.0 mm) from the front surface of the device.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(25°C Free-Air Temperature unless otherwise noted)

Operating Temperature Range -55°C to 100°C

Storage Temperature Range -55°C to 125°C

Soldering Temperature (10 sec) 260°C

IR EMITTER

Power Dissipation 75 mW (1)

Reverse Voltage 3 V

Continuous Forward Current 50 mA

DETECTOR

	TRANS.	DARLINGTON
--	---------------	-------------------

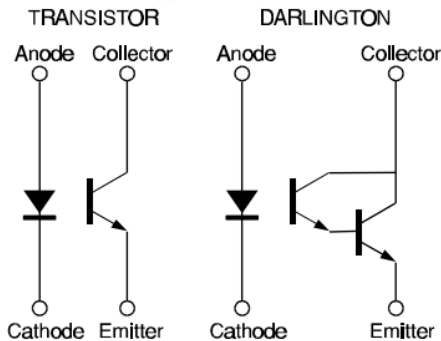
Collector-Emitter Voltage	30 V	15 V
---------------------------	------	------

Emitter-Collector Voltage	5 V	5 V
---------------------------	-----	-----

Power Dissipation	75 mW (1)	75 mW (1)
-------------------	-----------	-----------

Collector DC Current	30 mA	30 mA
----------------------	-------	-------

SCHEMATIC



Honeywell reserves the right to make changes in order to improve design and supply the best products possible.

Honeywell

249

HOA1404

Reflective Sensor

Fig. 1 IRED Forward Bias Characteristics

gra_073.dcs4

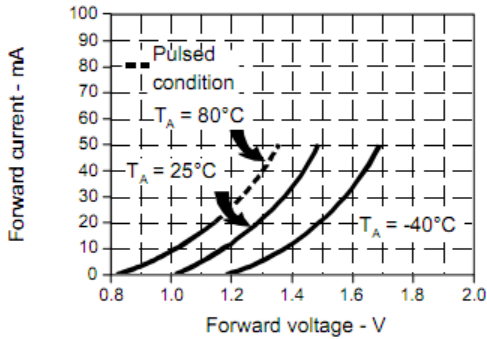


Fig. 2 Non-Saturated Switching Time vs Load Resistance

gra_079.dcs4

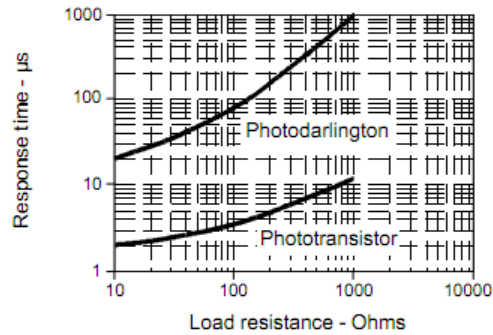


Fig. 3 Dark Current vs Temperature

gra_303.ccr

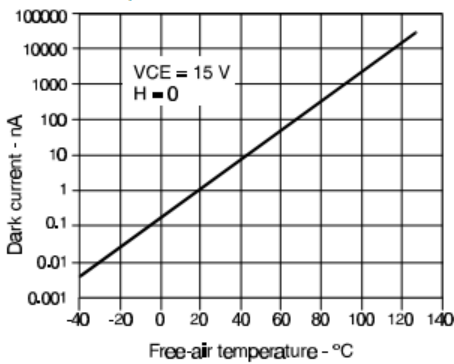


Fig. 4 Collector Current vs Ambient Temperature

gra_076.dcs4

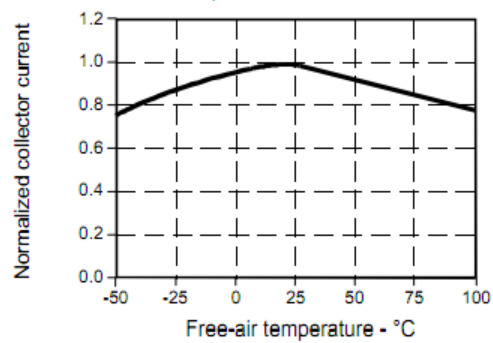


Fig. 5 Collector Current vs Distance to Reflective Surface

gra_088.dcs4

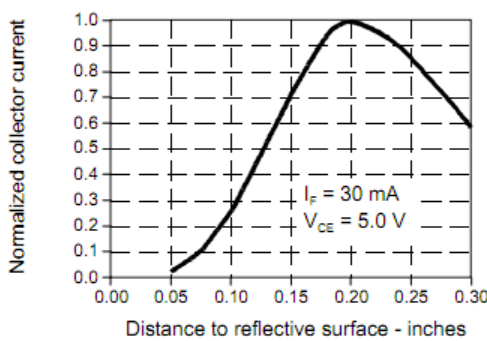
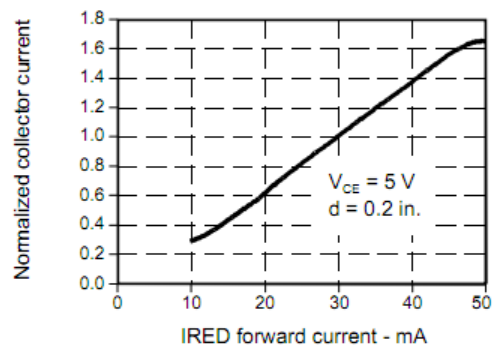


Fig. 6 Collector Current vs IRED Forward Current

gra_089.dcs4



All Performance Curves Show Typical Values

B2 Tarjeta Ethernet SBC65EC

1 Introduction

The SBC65EC is a single board computer with 10Mbps Ethernet and RS232 interface. It can be added to any 10/100Mbps Ethernet network. It is assembled with a PIC18F6627 CPU. It is supplied with the Modtronix Free TCP/IP stack (a modified version of the free Microchip TCP/IP stack) written in C, that can be compiled with the Hi Tech or Microchip PIC18 C compilers. The TCP/IP stack is available for free from our product page, see modtronix.com/products/sbc65ec. Typical applications include HTTP Web servers, Mail clients, Ethernet to RS232 interface converter, Ethernet to RS485 interface converters, Remote control via Web Server, Protocol Bridge applications - Ethernet to USART, CAN, I2C, SPI etc.

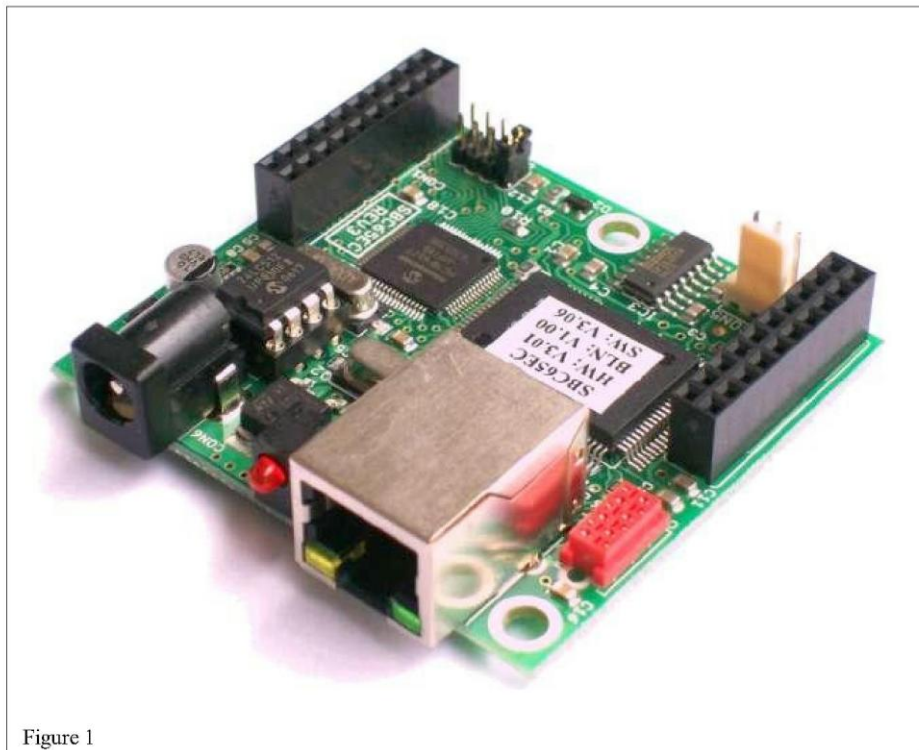


Figure 1

2 Features

- Has 32 general purpose user programmable I/O ports that can be monitored, configured and updated via web pages, HTTP and UDP. Twelve inputs can be configured as 10 bit Analog Inputs, and 4 as 10-bit PWM outputs.
- Programmed with Modtronix SBC65EC Web Server, for details [click here](#).
- Can be configured and controlled via web pages, for details [click here](#).
- Accepts commands via UDP or HTTP for configuring the board and controlling outputs, for details see modtronix.com/products/sbc65ec/doc/commands
- Implements tags that can be placed on web pages to display dynamic information and current input status, for details see modtronix.com/products/sbc65ec/doc/tags
- Programmed with a bootloader for updating firmware over the network or internet.
- Is part of our MicroX product range, meaning you can upgrade or expand it with any of the other MixroX products. For details see modtronix.com/microx
- Can be used as a daughter board to Ethernet enable any product.
- Diode protected 2.1mm power connector for standard DC transformer. Center is positive.
- 98KBytes FLASH, 3840 Bytes SRAM and pluggable EEPROM. Default TCP/IP stack uses less than half the available memory, which leaved heaps of code space for custom code.
- Has space for a 8 pin Ramtron SPI FRAM chip (32Kbyte FM25256 chip for example) to be assembled on the bottom of the board.
- Wide operating voltage range from 7 – 30V.
- Default operating frequency of 40MHz, software configurable low power mode that runs at 10MHz.
- Red 3mm User programmable LED.
- RJ45 connector with built in LEDs to indicate link and activity status.
- Micro Match connector for connecting a LCD2S serial LCD display with keypad decoder. For details on LCD2S range of LCD displays, see modtronix.com/products/lcd2s
- RS232 interface via 3 pin Molex type connector or Daughter Board connector.
- Has a 40 pin Daughter Board connector. For details see modtronix.com/microx/expansion.
- Assembled with brand name, quality components. For example, electrolytic capacitors used are extra long life rated (5 times more than standard), Industrial rated semiconductors (not commercial).
- Has an ICSP (In Circuit Serial Programming) connector (ICPC1 type) - CPU can be programmed and debugged in circuit. For details see modtronix.com/picboards/prog.
- Programmed with free Modtronix TCP/IP stack that features:
 - Includes MAC, IP, ARP, ICMP, TCP, UDP, HTTP, HTTP Compression, FTP, DHCP, NetBIOS, DNS, MXFS
 - Socket support for TCP and UDP
 - Portable across PIC18 MCUs
 - Out-of-box support for Microchip MPLAB C18 and Hi-Tech PICC-18 compilers
 - RTOS independent

- Full TCP state machine
- Modular Design

3 Web Server and Updating Firmware

At delivery, the SBC65EC is programmed with the *Modtronix SBC65EC Web Server*, and a bootloader. When powered, the SBC65EC will remain in bootloader mode for 3 second, after which the *Modtronix SBC65EC Web Server* will start up.

The *Modtronix SBC65EC Web Server* is a web based interface that allows the SBC65EC to be configured, controlled and monitored via web pages. For details, see modtronix.com/products/sbc65ec/doc/webpages.

The firmware on the SBC65EC can be updated via the Bootloader. To upload the firmware, the *Modtronix Network Bootloader* PC application is required. It can be downloaded for free from modtronix.com/soft/netloader. The bootloader is contained in a protected area of the SBC65EC's program memory, and can not be accidentally erased when updating the firmware. For details on

The board's IP address however can be configured, and is also used by the bootloader. If this gets corrupted, it is possible that the bootloader will not work anymore. In this case, the board can be started in Safemode. To enter Safemode, the jumper on the CON3 pin header must be moved from its default position (over pins 7 and 8) to pins 1 and 2. See pictures on the right. In safemode default values from the protected area of the program memory are used.

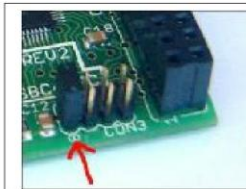


Figure 2 - Normal Mode



Figure 3 - Safemode



MICROCHIP PIC16F627A/628A/648A

**18-pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers
with nanoWatt Technology**

High-Performance RISC CPU:

- Operating speeds from DC – 20 MHz
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes
- 35 single-word instructions:
 - All instructions single cycle except branches

Special Microcontroller Features:

- Internal and external oscillator options:
 - Precision internal 4 MHz oscillator factory calibrated to $\pm 1\%$
 - Low-power internal 48 kHz oscillator
 - External Oscillator support for crystals and resonators
- Power-saving Sleep mode
- Programmable weak pull-ups on PORTB
- Multiplexed Master Clear/Input-pin
- Watchdog Timer with independent oscillator for reliable operation
- Low-voltage programming
- In-Circuit Serial Programming™ (via two pins)
- Programmable code protection
- Brown-out Reset
- Power-on Reset
- Power-up Timer and Oscillator Start-up Timer
- Wide operating voltage range (2.0-5.5V)
- Industrial and extended temperature range
- High-Endurance Flash/EEPROM cell:
 - 100,000 write Flash endurance
 - 1,000,000 write EEPROM endurance
 - 40 year data retention

Low-Power Features:

- Standby Current:
 - 100 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
 - 12 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
 - 120 μ A @ 1 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
 - 1 μ A @ 2.0V, typical
- Timer1 Oscillator Current:
 - 1.2 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
- Dual-speed Internal Oscillator:
 - Run-time selectable between 4 MHz and 48 kHz
 - 4 μ s wake-up from Sleep, 3.0V, typical

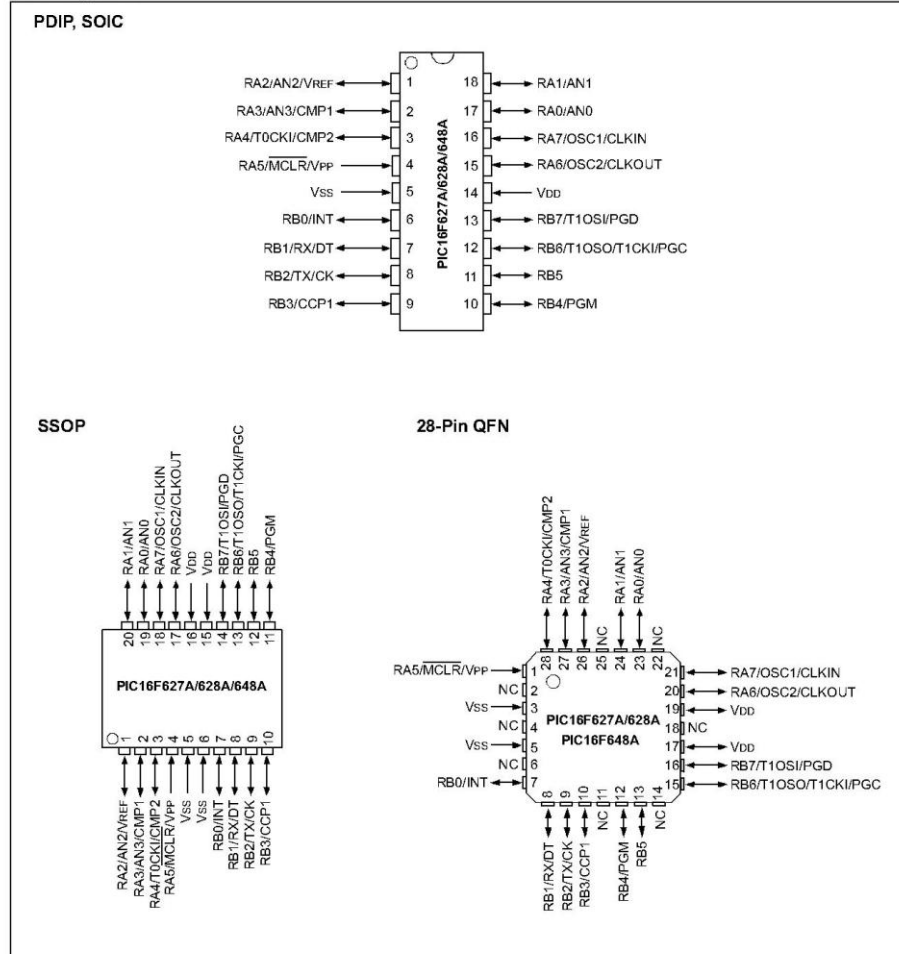
Peripheral Features:

- 16 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Selectable internal or external reference
 - Comparator outputs are externally accessible
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with external crystal/clock capability
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM module:
 - 16-bit Capture/Compare
 - 10-bit PWM
- Addressable Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter USART/SCI

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	CCP (PWM)	USART	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					
PIC16F627A	1024	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F628A	2048	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F648A	4096	256	256	16	1	Y	2	2/1

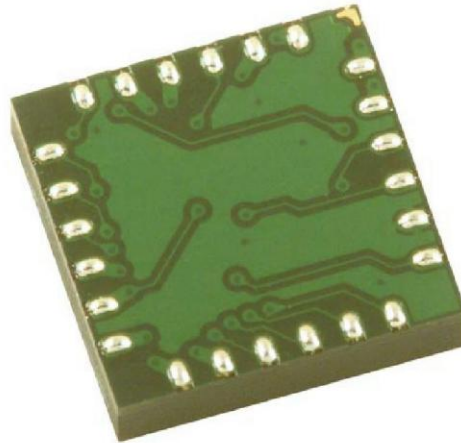
PIC16F627A/628A/648A

Pin Diagrams



Digital Compass Solution HMC6352

The Honeywell HMC6352 is a fully integrated compass module that combines 2-axis magneto-resistive sensors with the required analog and digital support circuits, and algorithms for heading computation. By combining the sensor elements, processing electronics, and firmware in to a 6.5mm by 6.5mm by 1.5mm LCC package, Honeywell offers a complete, ready to use electronic compass. This provides design engineers with the simplest solution to integrate high volume, cost effective compasses into wireless phones, consumer electronics, vehicle compassing, and antenna positioning.



Honeywell continues to maintain product excellence and performance by introducing innovative solid-state magnetic sensor solutions. These are highly reliable, top performance products that are delivered when promised. Honeywell's magnetic sensor products provide real solutions you can count on.

FEATURES

- ▶ Compass with Heading Output
- ▶ Full Integration of 2-Axis Magnetic Sensors and Electronics
- ▶ Firmware Included
- ▶ Small Surface Mount Package (6.5 x 6.5 x 1.5mm, 24-pin LCC)
- ▶ Low Voltage Operation (2.7 to 5.2V)
- ▶ I²C 2-Wire Serial Interface
- ▶ Lead Free Package Construction
- ▶ Wide Magnetic Field Range (± 2 Oe)
- ▶ Set/Reset Strap Drive
- ▶ RoHS Compliant

BENEFITS

- ▶ A Complete Compass. Everything is Done.
- ▶ A Complete Digital Solution with Heading Output to Avoid Design of Hardware and Compassing Firmware Routines.
- ▶ Data Acquisition, Calibration, and Heading Computation Routines Included for Quick-to-Market Designs.
- ▶ Easy to Assemble & Compatible with High Speed SMT Assembly
- ▶ Compatible for Battery Powered Applications
- ▶ Works as a Slave to Customer's Master Processor (100kHz).
- ▶ Complies with Current Environmental Standards (RoHS)
- ▶ Sensor Can Be Used in Strong Magnetic Field Environments
- ▶ Stray Magnetic Field Protection and Temperature Compensation
- ▶ Lead Free and No Banned Substances

HMC6352



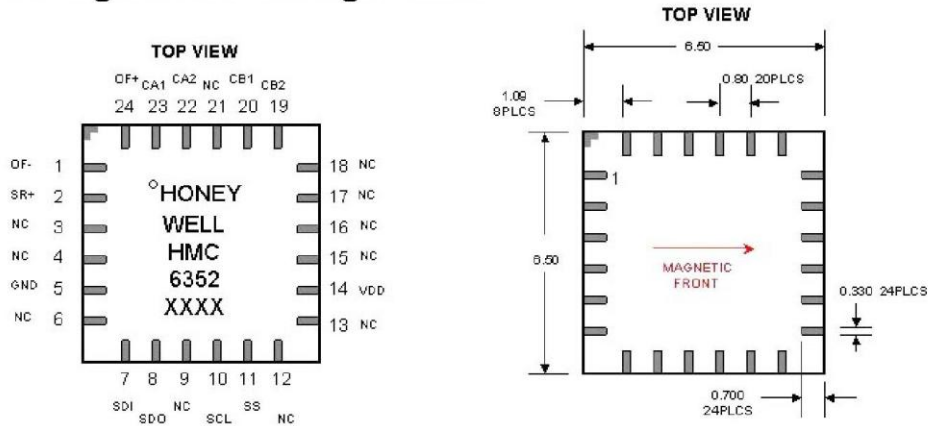
HMC6352 SPECIFICATIONS

Characteristics	Conditions ⁽¹⁾	Min	Typ	Max	Units
Supply Voltage	Vsupply to GND	2.7	3.0	5.2	Volts
Supply Current	Vsupply to GND				
	Sleep Mode (Vsupply = 3.0V)		1		µA
	Steady State (Vsupply = 3.0V)		1		mA
	Steady State (Vsupply = 5.0V)		2	10	mA
	Dynamic Peaks				mA
Field Range ⁽²⁾	Total applied field	0.10	-	0.75	gauss
Heading Accuracy	HMC6352		2.5		degRMS
Heading Resolution			0.5		deg
Heading Repeatability			1.0		deg
Disturbing Field	Sensitivity starts to degrade. Enable set/reset function to restore sensitivity.	20			gauss
Max. Exposed Field	No permanent damage and set/reset function restores performance.			10000	gauss
Operating Temperature	Ambient	-20		70	°C
Storage Temperature	Ambient	-55		125	°C
Peak Reflow Temperature	For Lead-Free SMT Reflow	230	-	240	°C
Moisture Sensivity	Max 240°C		MSL3		-
Output	Heading, Mag X, Mag Y				
Size	6.5 x 6.5 x 1.5				mm
Weight			0.14		grams

(1) Tested at 25°C except stated otherwise.

(2) Field upper limit can be extended by using external resistors across CA1/CA2 and CB1/CB2.

Pin Configuration/Package Dimensions



Pin Descriptions

HMC6352

Pin	Name	Description
1	OF-	No User Connection (Offset Strap Negative)
2	SR+	No User Connection (Set/Reset Strap Positive)
3	NC	No User Connection
4	NC	No User Connection
5	GND	Supply/System Ground
6	NC	No User Connection
7	SDI	I2C Data Output (SPI Data In)
8	SDO	No User Connection (SPI Data Out)
9	PGM	No User Connection (Program Enable)
10	SCL	I2C Clock (SPI Clock)
11	SS	No User Connection (Slave Select)
12	NC	No User Connection
13	NC	No User Connection
14	VDD	Supply Voltage Positive Input (+2.7VDC to +5.0VDC)
15	NC	No User Connection
16	NC	No User Connection
17	NC	No User Connection
18	NC	No User Connection
19	CB2	Amplifier B Filter Capacitor Connection
20	CB1	Amplifier B Filter Capacitor Connection
21	NC	No User Connection
22	CA2	Amplifier A Filter Capacitor Connection
23	CA1	Amplifier A Filter Capacitor Connection
24	OF+	No User Connection (Offset Strap Positive)

I²C Communication Protocol

The HMC6352 communicates via a two-wire I²C bus system as a slave device. The HMC6352 uses a layered protocol with the interface protocol defined by the I²C bus specification, and the lower command protocol defined by Honeywell. The data rate is the standard-mode 100kbps rate as defined in the I²C Bus Specification 2.1. The bus bit format is an 8-bit Data/Address send and a 1-bit acknowledge bit. The format of the data bytes (payload) shall be case sensitive ASCII characters or binary data to the HMC6352 slave, and binary data returned. Negative binary values will be in two's complement form. The default (factory) HMC6352 7-bit slave address is 42(hex) for write operations, or 43(hex) for read operations.

The HMC6352 Serial Clock (SCL) and Serial Data (SDA) lines do not have internal pull-up resistors, and require resistive pull-ups (Rp) between the master device (usually a host microprocessor) and the HMC6352. Pull-up resistance values of about 10k ohms are recommended with a nominal 3.0-volt supply voltage. Other values may be used as defined in the I²C Bus Specification 2.1.

The SCL and SDA lines in this bus specification can be connected to a host of devices. The bus can be a single master to multiple slaves, or it can be a multiple master configuration. All data transfers are initiated by the master device which is responsible for generating the clock signal, and the data transfers are 8 bit long. All devices are addressed by I²C's unique 7 bit address. After each 8-bit transfer, the master device generates a 9th clock pulse, and releases the SDA line. The receiving device (addressed slave) will pull the SDA line low to acknowledge (ACK) the successful transfer or leave the SDA high to negative acknowledge (NACK).

Per the I²C spec, all transitions in the SDA line must occur when SCL is low. This requirement leads to two unique conditions on the bus associated with the SDA transitions when SCL is high. Master device pulling the SDA line low while the SCL line is high indicates the Start (S) condition, and the Stop (P) condition is when the SDA line is pulled high while the SCL line is high. The I²C protocol also allows for the Restart condition in which the master device issues a second start condition without issuing a stop.

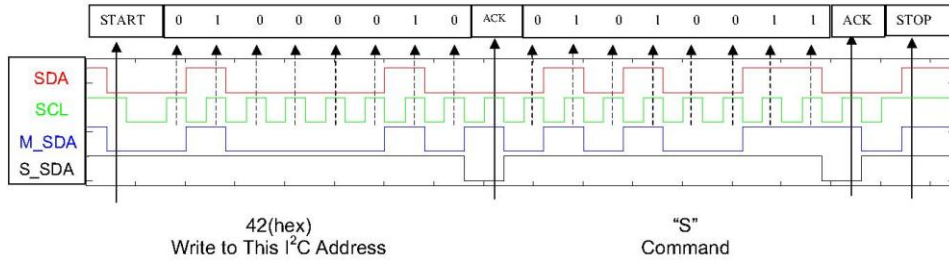
All bus transactions begin with the master device issuing the start sequence followed by the slave address byte. The address byte contains the slave address; the upper 7 bits (bits7-1), and the Least Significant bit (LSb). The LSB of the

HMC6352



address byte designates if the operation is a read (LSb=1) or a write (LSb=0). At the 9th clock pulse, the receiving slave device will issue the ACK (or NACK). Following these bus events, the master will send data bytes for a write operation, or the slave will transmit back data for a read operation. All bus transactions are terminated with the master issuing a stop sequence.

The following timing diagram shows an example of a master commanding a HMC6352 (slave) into sleep mode by sending the "S" command. The bottom two traces show which device is pulling the SDA line low.



I²C bus control can be implemented with either hardware logic or in software. Typical hardware designs will release the SDA and SCL lines as appropriate to allow the slave device to manipulate these lines. In a software implementation, care must be taken to perform these tasks in code.

Command Protocol

The command protocol defines the content of the data (payload) bytes of I²C protocol sent by the master, and the slave device (HMC6352).

After the master device sends the 7-bit slave address, the 1-bit Read/Write, and gets the 1-bit slave device acknowledge bit returned; the next one to three sent data bytes are defined as the input command and argument bytes. To conserve data traffic, all response data (Reads) will be context sensitive to the last command (Write) sent. All write commands shall have the address byte least significant bit cleared (factory default 42(hex)). These commands then follow with the ASCII command byte and command specific binary formatted argument bytes in the general form of:

(Command ASCII Byte) (Argument Binary MS Byte) (Argument Binary LS Byte)

The slave (HMC6352) shall provide the acknowledge bits between each data byte per the I²C protocol. Response byte reads are done by sending the address byte (factory default 43(hex)) with the least significant bit set, and then clocking back one or two response bytes, last command dependant. For example, an "A" command prompts the HMC6352 to make a sensor measurement and to route all reads for a two byte compass heading or magnetometer data response. Then all successive reads shall clock out two response bytes after sending the slave address byte. Table 1 shows the HMC6352 command and response data flow.

Table 1 – HMC6352 Interface Commands/Responses

Command Byte ASCII (hex)	Argument 1 Byte (Binary)	Argument 2 Byte (Binary)	Response 1 Byte (Binary)	Response 2 Byte (Binary)	Description
w (77)	EEPROM Address	Data			Write to EEPROM
r (72)	EEPROM Address		Data		Read from EEPROM
G (47)	RAM Address	Data			Write to RAM Register
g (67)	RAM Address		Data		Read from RAM Register
S (53)					Enter Sleep Mode (Sleep)
W (57)					Exit Sleep Mode (Wakeup)
O (4F)					Update Bridge Offsets (S/R Now)
C (43)					Enter User Calibration Mode
E (45)					Exit User Calibration Mode
L (4C)					Save Op Mode to EEPROM
A (41)			MSB Data	LSB Data	Get Data, Compensate and Calculate New Heading

Operational Controls

HMC6352 has two parameters; *Operational Mode* and *Output Mode*, which control its operation. The Operational Mode control byte is located at RAM register byte 74(hex) and is shadowed in EEPROM location 08(hex). This byte can be used to control the continuous measurement rate, set/reset function, and to command the HMC6352 into the three allowed operating modes; Standby, Query, and Continuous.

The Output Mode control byte is located at RAM register byte 4E(hex) and is not shadowed in the EEPROM, and upon power up the device is in the Heading output mode. This byte can be changed to get magnetometer data if necessary but is typically left in a default heading data mode.

Non-Volatile Memory

The HMC6352 contains non-volatile memory capability in the form of EEPROM that retains key operational parameters and settings for electronic compassing. Table 2 shows the balance of the EEPROM locations that the user can read and write to. Details on the features of these location bytes will be discussed in the following paragraphs.

Table 2 – HMC6352 EEPROM Contents

EE Address (hex)	Byte Description	Factory Default
00	I ² C Slave Address	42(hex)
01	Magnetometer X Offset MSB	factory test value
02	Magnetometer X Offset LSB	factory test value
03	Magnetometer Y Offset MSB	factory test value
04	Magnetometer Y Offset LSB	factory test value
05	Time Delay (0 – 255 ms)	01(hex)
06	Number of Summed measurements(1-16)	04(hex)
07	Software Version Number	> 01(hex)
08	Operation Mode Byte	50(hex)

Operational Modes

The HMC6352 has three operational modes plus the ability to enter/exit the non-operational (sleep) mode by command. Sleep mode sends the internal microprocessor into clock shutdown to save power, and can be brought back by the "W" command (wake). The "S" command returns the processor to sleep mode. The three operational modes are defined by two bits in the internal HMC6352 Operation Mode register. If the master device sends the "L" command, the current operational mode control byte in the RAM register is loaded into the internal EEPROM register and becomes the default operational mode on the next power-up. The application environment of the HMC6352 will dictate the most suitable operational mode.

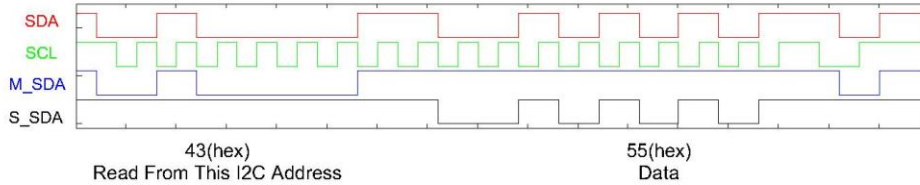
HMC6352

Honeywell

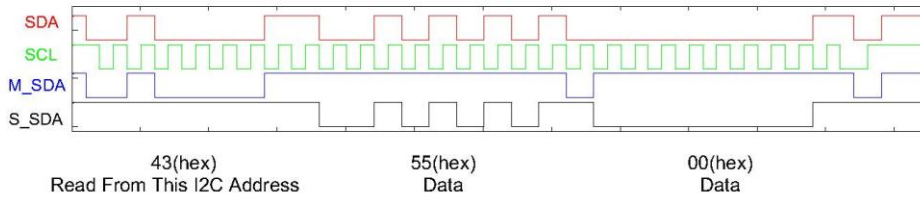
In Continuous Mode - Send 43(hex) slave address to read data and clock out the register data bytes for heading. The "A" command is not allowed or required.

Waveform Examples

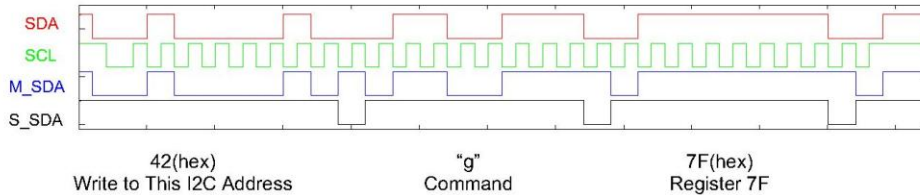
Example 1: This example shows how to read a single byte from the HMC6352. The Slave (HMC6352) continues to hold the SDA line low after the acknowledge (ACK) bit because the first bit of the data byte is a zero. Remember that the data read is last command sensitive.



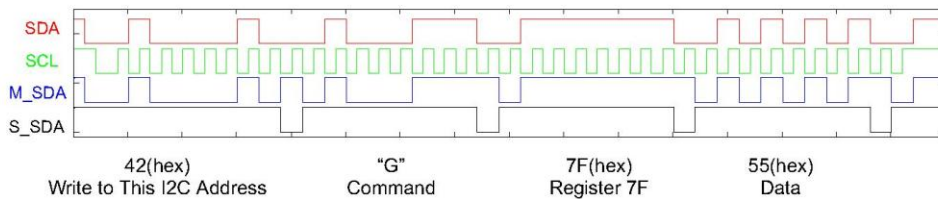
Example 2: This example shows how to read two bytes from the HMC6352 (slave). The slave continues to hold the SDA line low after the acknowledge bit because the first bit of the data bytes is zero.



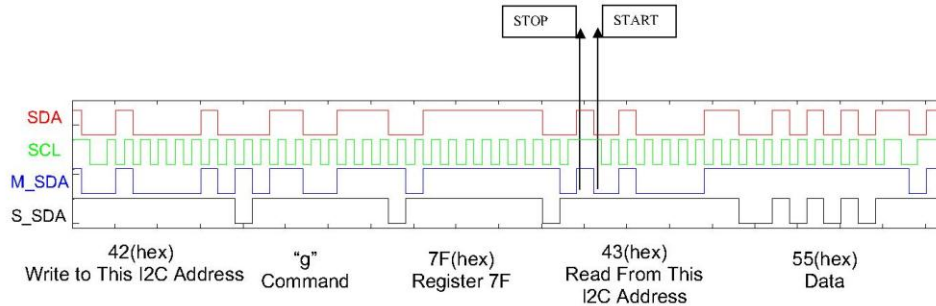
Example 3: This example shows how to command HMC6352 to read a RAM register by sending the "g" command and the register address 7F(hex). Note that this example does not show the process of reading the answer. See example 1 for reading a byte.



Example 4: This example shows how to write to a RAM register in the HMC6352 by sending the "G" command, the register address 7F(hex), and the data byte 55(hex) to the HMC6352 slave.



Example 5: The final example shows how to read RAM register 7F(hex). First perform a write operation to command the HMC6352 to read a RAM register and define which register to read (Example 3). The sensor puts the answer in the data buffer. Then perform a read operation to clock out the answer (Example 1). There is a Stop/Start event in between the write operation and the read operation. This example is just a combination of Examples 3 and 1, but it is provided to show that reading a register involves both a write and a read operation.



Application Notes

The HMC6352 Integrated Compass Sensor circuit is composed of two magneto-resistive (MR) sensors with orthogonal orientation for sensing the horizontal components of the earth's magnetic field (0 to 630 milli-gauss), plus two amplifiers, a set/reset drive circuit, and a microprocessor (μ P). Best accuracy is obtained in clean magnetic environments (free air) and held level, or perpendicular to the gravitational direction. At worst case, each degree of tilt from a level orientation could add two degrees of compass heading error. Magnetic errors can be introduced if operated near strong magnetic sources such as microphone or speaker magnets, transformers in test equipment, and CRT deflection yokes in video displays/monitors. These magnetic errors can typically be reduced or eliminated by performing the calibration routine.

When locating the HMC6352 in dense printed circuit board designs, take precautions in location of this magnetic field sensing device for soft-iron effects that bend the earth's magnetic field. These soft-iron effects are from ferrous materials without residual magnetization and tend to be items like nickel-plating on SMT component contacts and RFI/EMI shielding materials. The amount of stand-off of the HMC6352 from these soft-irons is heuristic and dependant on the amount of material, material shape, and proximity.

A user calibration mode is available in the HMC6352 to diminish hard-iron effects of the end-user's (customer's) location of the product. Hard-iron effects come from nearby ferrous materials with residual magnetism that buck or boost the intensity of the earth's magnetic field, leading to heading errors. Such hard-iron effects come from vehicle chassis, speaker magnets, and high current conductors or circuit traces.

PCB Pad Definition

(Dimensions in Millimeters)

The HMC6352 is a fine pitch LCC package with a 0.80mm pin pitch (spacing), with the pin pads defined as 0.70mm by 0.33mm in size. PCB pads are recommended to be oversized by 0.025mm from each pad for a short dimension oversize of 0.05mm. The interior PCB pad is recommended to be 0.05mm oversized per pin with an exterior oversize of 0.20mm for proper package centering and to permit test probing. Lead finish is SnAgCu.

Soldering attachment shall be done by SMT lead-free reflow methods with standard preheating, soaking, reflow, and cooling profiles for large body parts. Caution, excessive temperature exposure beyond the profiles may result in internal damage to the HMC6352 circuits.