

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Sistema electrónico inalámbrico para la recolección y almacenamiento de datos de telemetría, con un alcance de 15 Km y alimentación independiente de la red eléctrica, para la estación meteorológica Plástico de la estación biológica La Selva.

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

Fabián Ricardo Montenegro Solís

Cartago, Setiembre de 2006

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

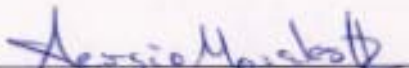
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN


TRIBUNAL EVALUADOR

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

Miembros del Tribunal


Ing. Sergio Morales Hernández

Profesor lector


Ing. Eduardo Interiano Salguero

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, Setiembre de 2006

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.

San José, 22 de setiembre del 2006

Fabián Ricardo Montenegro Solís

Cédula: 1-1130-0951

Resumen

La Organización para Estudios Tropicales (OET) es un consorcio de universidades sin fines de lucro de Estados Unidos, América Latina, y Australia. En Costa Rica la sede se divide en una oficina central y tres estaciones biológicas (La Selva, Palo Verde, y Las Cruces).

La estación biológica La Selva cuenta con una estación meteorológica ubicada a 15 Km del centro de investigación. La estación meteorológica realiza mediciones de temperatura, humedad, nivel de precipitación, velocidad y dirección del viento, entre otras variables. Estos datos se guardan en una unidad de almacenamiento y son recolectados por una persona que visita quincenalmente la estación meteorológica.

Los datos recolectados son de suma importancia para la investigación y la educación ya que los investigadores y profesores los requieren para sus estudios. Sin embargo este proceso presenta un problema: la OET no proporciona los datos de manera expedita y actualizada ya que tarda 15 días en recolectar los datos para que los investigadores y profesores realicen sus investigaciones.

Para solucionar el problema se desarrolló un sistema inalámbrico que recolecta datos de telemetría. Con lo cual los datos producto de las mediciones de la estación meteorológica son enviados a través de un medio inalámbrico al centro de investigación, donde se almacenarán en un servidor para que los investigadores puedan disponer de estos de forma inmediata.

Palabras Claves: Telemetría, sistema inalámbrico, radio frecuencia, estación meteorológica, datalogger

Abstract

The Organization for Tropical Studies (OTS) is a non-profit consortium of universities from the United States, Latin America and Australia. In Costa Rica the

headquarters has a central office and three biological stations (La Selva, Palo Verde, and Las Cruces).

La Selva biological station has a weather station located 15 Km away of the research center. The weather station measures the temperature, humidity, rainfall, wind speed and wind direction, among others variables. These measures are stored in a storage module and are collected by a person that visits the weather station every fifteen days.

The gathered data is very important for the investigation and the education because investigators and professors require them for their studies. However this process has a problem: the OTS does not provide the data in an expedite way and update way because this process have 15 days to gather the data so investigators and professors can prepare their reports.

To solve the problem, a wireless system was developed to gather the data from the telemetry process. Then measure data of the weather station is wirelessly carried to the investigation center, where they are stored in a server, so the investigators can have them in an immediate way.

Keywords: Telemetry, wireless system, radio frequency, weather station, datalogger

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	16
1.1 Problema existente e importancia de su solución	16
1.2 Solución seleccionada	18
1.2.1 Requisitos	18
1.2.2 Solución desarrollada	19
1.2.3 Solución del enlace inalámbrico	19
1.2.4 Sistema de recolección, almacenamiento, y visualización de datos de telemetría (SysRAV-T)	21
Capítulo 2: Meta y Objetivos	22
2.1 Meta	22
2.2 Objetivo general	22
2.3 Objetivos específicos	22
Capítulo 3: Marco teórico	23
3.1 Descripción del proceso a mejorar	23
3.2 Antecedentes bibliográficos	23
3.3 Enlaces de radio frecuencia	24
3.3.1 Generalidades de los enlaces inalámbricos	24
3.3.2 Zonas de Fresnel	27
3.3.3 Path Clearance	28
Capítulo 4: Procedimiento metodológico	30

4.1	Reconocimiento y definición del problema	30
4.2	Obtención y análisis de información	30
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	30
4.4	Implementación de la solución	31
4.5	Reevaluación y rediseño	31
Capítulo 5:	Descripción detallada de la solución	32
5.1	Análisis de soluciones y selección final	32
5.1.1	Sistema con protocolo propietario y servidor de almacenamiento dedicado	33
5.1.2	Sistema con protocolo propietario y servidor de almacenamiento independiente	34
5.1.3	Sistema con protocolo propietario sobre TCP/IP y servidor de almacenamiento independiente	35
5.1.4	Comparación de las soluciones presentadas	36
5.2	Descripción de los perfiles del enlace	38
5.2.1	Análisis de los enlaces	43
5.2.2	Resumen de las especificaciones de potencia y ganancia de las antenas	51
5.3	Descripción del hardware	52
5.3.1	PXI15	53
5.3.2	Enlace Ethernet	59
5.3.3	Enlace en serie	59
5.3.4	Alimentación eléctrica	59
5.4	Descripción del software	61

5.4.1	Protocolo de intercambio de datos PID	64
5.4.2	Protocolo de enrutamiento PIR	65
5.4.3	Aplicación: Monitor de intercambio de datos (MID)	68
5.4.4	Aplicación: Configuración de parámetros globales (CPG)	74
5.4.5	Aplicación: Configuración del PXI15 (Config-PXI15)	75
5.4.6	Aplicación: Redireccionador	77
5.4.7	Aplicación: Almacenamiento de datos de las estaciones meteorológicas (ADEM)	81
5.4.8	Aplicación: Reporte de errores de las estaciones meteorológicas (REEM)	83
5.4.9	Aplicación: Visualización de datos de telemetría (VIDAT)	84
5.4.10	Aplicación: Emulador de terminal para acceso a las estaciones meteorológicas (ETEM)	86
Capítulo 6:	Análisis de Resultados	89
6.1	Prueba de los radio enlaces	91
6.2	Prueba del sistema de transmisión y almacenamiento de datos ⁹⁴	
6.3	Alimentación del PXI15	97
6.4	Alcances y limitaciones del sistema SysRAV-T	97
Capítulo 7:	Conclusiones y recomendaciones	99
7.1	Conclusiones	99
7.2	Recomendaciones	101
Bibliografía		102
Apéndices		104

A.1	Glosario, abreviaturas y simbología	104
A.2	Información de la Organización para Estudios Tropicales	107
A.2.1	Descripción de la Organización para Estudios Tropicales	107
A.2.2	Descripción del departamento de informática de la OET	108
A.3	Antecedentes prácticos	109
Anexos		110
B.1	Diagrama de conexión del MAX232	110
B.2	Especificaciones del microcontrolador RCM3720 RabbitCore	111
B.3	Especificaciones del módulo de RF 9XTend OEM RF Module	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Nomenclatura del nombre del dispositivo de comunicación inalámbrica (PXI15)	19
Figura 1.2 Ubicación de los 4 PXI15	20
Figura 1.3 Sistema de recolección, almacenamiento, y visualización de datos de telemetría (SysRAV-T)	21
Figura 3.1 Elementos de un enlace inalámbrico	25
Figura 3.2 Representación de las zonas de Fresnel	27
Figura 3.3 Path Clearance para la onda	28
Figura 3.4 Cálculo del Path Clearance	29
Figura 5.1 Diagrama de bloques del sistema de recolección, almacenamiento, y visualización de datos de telemetría SysRAV-T	32
Figura 5.2 Sistema con protocolo propietario y servidor de almacenamiento dedicado	34
Figura 5.3 Sistema con protocolo propietario y servidor de almacenamiento independiente	35
Figura 5.4 Sistema con protocolo propietario sobre TCP/IP y servidor de almacenamiento independiente.	36
Figura 5.5 Determinación de los puntos de repetición	38
Figura 5.6 Mapa con las zonas donde es posible ubicar el equipo, generado con la base de datos cartográfica de la estación biológica La Selva	39
Figura 5.7 Mapa con la ubicación geográfica de los sitios donde se localizarán los PXI15, generado con la base de datos cartográfica de la estación biológica La Selva	41

Figura 5.8 Perfil del enlace 1 generado a partir de la base de datos cartográfica de la estación biológica La Selva	43
Figura 5.9 Perfil del enlace 2 generado a partir de la base de datos cartográfica de la estación biológica La Selva	44
Figura 5.10 Perfil del enlace 3 generado a partir de la base de datos cartográfica de la estación biológica La Selva	45
Figura 5.11 Sistema escogido (RCM3720 RabbitCore)	52
Figura 5.12 Interfaces del PXI15	53
Figura 5.13 Software implementado en el PXI15	54
Figura 5.14 Conexión a nivel del hardware del PXI15	54
Figura 5.15 Tarjeta prototipo para microcontrolador RCM3720 RabbitCore	55
Figura 5.16 Diagrama esquemático del PXI15 utilizando la tarjeta prototipo del RCM3720 RabbitCore	56
Figura 5.17 Diagrama esquemático del PXI15 sin la tarjeta prototipo del RCM3720 RabbitCore	58
Figura 5.18 Circuito de conexión de las celdas solares	60
Figura 5.19 Lugar de ejecución de cada aplicación	62
Figura 5.20 Funcionamiento de SysRAV-T	63
Figura 5.21 Formato de la trama del protocolo de intercambio de datos (PID)	64
Figura 5.22 Formato de datos del protocolo de enrutamiento PIR	65
Figura 5.23 Diagrama de flujo del algoritmo de enrutamiento para nuevas entradas	66
Figura 5.24 Formato de la tabla de enrutamiento	66
Figura 5.25 Diagrama de flujo principal de la aplicación MID	68

Figura 5.26	Proceso de recepción de datos de la aplicación MID	69
Figura 5.27	Aplicación para la configuración de los parámetros globales (CPG) del sistema SysRAV-T	74
Figura 5.28	Aplicación para la programación de los PXI15 (Config-PXI15)	75
Figura 5.29	Diagrama de flujo de la aplicación para configuración de los PXI15	76
Figura 5.30	Función de la aplicación Redireccionador	77
Figura 5.31	Interfaz gráfica de la aplicación Redireccionador	77
Figura 5.32	Información utilizada por la aplicación Redireccionador	78
Figura 5.33	Diagrama de flujo principal de la aplicación Redireccionador	79
Figura 5.34	Diagrama de flujo de la función de envío y transmisión de datos	80
Figura 5.35	Interfaz gráfica de la aplicación de almacenamiento de datos para agregar estaciones, tablas, y celdas	81
Figura 5.36	Diagrama de flujo de la aplicación de almacenamiento de datos ADEM	82
Figura 5.37	Diagrama de flujo de la aplicación para reporte de errores REEM	84
Figura 5.38	Página WEB para la visualización de los datos VIDAT	85
Figura 5.39	Aplicación ETEM	87
Figura 5.40	Diagrama de flujo de la función de transmisión de la aplicación ETEM	88
Figura 5.41	Diagrama de flujo de la función de recepción de la aplicación ETEM	88
Figura 6.1	Fotografía del PXI15	89
Figura 6.2	Topología implementada para la prueba	94
Figura 6.3	Transferencia del archivo llamado plastico.dat	95
Figura 6.4	Visualización de los datos a través de la página WEB	96

Figura 6.5	Correo electrónico recibido como resultado de la introducción de un dato fuera de rango	97
Figura 6.6	Aprendizaje dinámico de rutas a través del protocolo de enrutamiento PIR	98
Figura B.7.1	Diagrama de conexión del MAX232	110
Figura B.7.2	Especificaciones del RCM3720	111
Figura B.7.3	Especificaciones del 9XTend OEM RF Module.	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Factor de conversión k de acuerdo a la zona en la Tierra	27
Tabla 5.1	Cuadro comparativo de las soluciones propuestas	37
Tabla 5.2	Determinación de la posibilidad de realizar el enlace basándose en los parámetros de potencia, ganancia, y pérdidas, para el enlace 1.	46
Tabla 5.3	Determinación de la posibilidad de realizar el enlace basándose en los parámetros de potencia, ganancia, y pérdidas, para el enlace 2.	47
Tabla 5.4	Determinación de la posibilidad de realizar el enlace basándose en los parámetros de potencia, ganancia, y pérdidas, para el enlace 3.	48
Tabla 5.5	Radio de la primera zona de Fresnel ($m=1$), y Path Clearance para el enlace 1. Con los parámetros: $f=0.9$ [GHz], $D=2.13$ [Km], $H1=32.52$ [m], $H2=146.92$ [m], y $K=4/3$. Para los 5 sitios con menor Path Clearance en el enlace.	49
Tabla 5.6	Radio de la primera zona de Fresnel ($m=1$), y Path Clearance para el enlace 2. Con los parámetros: $f=0.9$ [GHz], $D=15.63$ [Km], $H1=146.19$ [m], $H2=102.76$ [m], y $K=4/3$. Para los 5 sitios con menor Path Clearance en el enlace.	50
Tabla 5.7	Radio de la primera zona de Fresnel ($m=1$), y Path Clearance para el enlace 3. Con los parámetros: $f=0.9$ [GHz], $D=14.41$ [Km], $H1=102.19$ [m], $H2=558.76$ [m], y $K=4/3$. Para los 5 sitios con menor Path Clearance en el enlace.	50
Tabla 5.8	Requisitos de la ganancia de la antena y potencia de transmisión mínimos en cada sitio.	51
Tabla 5.9	Sistemas consultados para la implementación del PXI15	52
Tabla 5.10	Parámetros configurables del PXI y su valor por defecto	70
Tabla 5.11	Descripción de los archivos que conforman la página WEB	86

Capítulo 1: Introducción

En este capítulo se presenta el problema existente, la importancia de su solución, y una introducción de la solución desarrollada.

1.1 Problema existente e importancia de su solución

La Organización para Estudios Tropicales (OET) es un consorcio de universidades sin fines de lucro que está constituida por 63 instituciones de América Latina, Estados Unidos y Australia. Su fin es facilitar y fortalecer la investigación y educación en biología tropical, así como promover el uso racional de los recursos naturales.

En Costa Rica la OET cuenta con tres estaciones biológicas:

- La estación biológica La Selva.
- La estación biológica Palo Verde.
- La estación biológica Las Cruces.

La estación biológica La Selva cuenta con una estación meteorológica ubicada a 15 Km del centro de investigación, donde se ubican los laboratorios y oficinas administrativas de la estación biológica.

La estación meteorológica cuenta con su propia alimentación, y realiza mediciones de temperatura, humedad, nivel de precipitación, velocidad y dirección del viento, entre otras variables de interés. Los datos proporcionados por cada uno de los sensores son recolectados por un dispositivo llamado `datalogger`, que a su vez los guarda en una unidad de almacenamiento. Los datos guardados en la unidad de almacenamiento son recolectados de forma manual cada 15 días. Para esto una persona se traslada hasta la estación meteorológica e intercambia las unidades de almacenamiento.

Este modo de recolección de datos es ineficiente y representa un peligro para la persona que debe viajar hasta la estación meteorológica debido a los riesgos de la zona boscosa, así como un gasto de tiempo y dinero.

Los datos recolectados son de suma importancia para la investigación y la educación ya que los investigadores y profesores los requieren para sus estudios, un ejemplo de esto es un estudio sobre el calentamiento global del planeta, otro ejemplo es un estudio sobre la capacidad de absorción de carbono por los bosques, así como el comportamiento de diversas especies en los bosques.

Sin embargo este proceso presenta un problema: la OET no proporciona los datos de manera expedita y actualizada ya que tarda 15 días en recolectar los datos para que los investigadores y profesores realicen sus investigaciones.

El desarrollo de un sistema de transmisión y almacenamiento de datos para telemetría, operaría en conjunto con el `data logger` para mejorar el proceso de recolección y almacenamiento de los datos.

Con la implementación del sistema de transmisión y almacenamiento de datos para telemetría, se obtienen beneficios como:

- Disminución en los tiempos de recolección de datos.
- Almacenamiento de los datos en un punto centralizado.
- Facilidad de acceso a los datos por parte de los investigadores.
- Ahorro de dinero ya que evitaría la movilización de personas a las estaciones meteorológicas.

1.2 Solución seleccionada

En esta sección se detallan cuáles son los requisitos del proyecto así como una descripción general de la solución.

1.2.1 Requisitos

Los requisitos del sistema por implementar son los siguientes:

- El sistema debe transmitir los datos a la red de área local del centro de investigación de la estación biológica La Selva.
- La conexión con el `data logger` debe ser por puerto serie.
- Debe permitir el acceso remoto a las estaciones meteorológicas desde la red de área local para mantenimiento.
- Debe notificar por correo electrónico en caso de alguna variación en las mediciones realizadas por la estación meteorológica.
- Debe tener su propia alimentación, excepto en el centro de investigación.
- El sistema debe ser inalámbrico.
- El alcance debe ser de al menos 15 Km.
- Los datos a transmitir y recibir de forma inalámbrica deben estar en código ASCII.
- La frecuencia de operación del dispositivo se puede cambiar dentro del rango de 902 – 928 MHz, mediante el uso de canales.
- Bajo consumo de energía para el dispositivo ubicado en la estación meteorológica.
- Fácil instalación del sistema.

1.2.2 Solución desarrollada

La solución desarrollada se divide en 2 partes:

- Solución del enlace inalámbrico.
- Solución del sistema de comunicación y almacenamiento.

1.2.3 Solución del enlace inalámbrico

Para el enlace inalámbrico se determinó la ubicación de 4 PXI15 situados según la figura 1.2. El PXI15 es el dispositivo de comunicación inalámbrico, que implementa el protocolo de comunicaciones y de enrutamiento desarrollados, permitiendo la interacción entre diferentes protocolos. De esta manera puede transmitir datos entre los puertos Ethernet, inalámbrico, y serie. Para la transferencia de los datos de la estación meteorológica.

El nombre PXI15 significa Puente de Interconexión Inalámbrico para 15 Km, véase la figura 1.1.

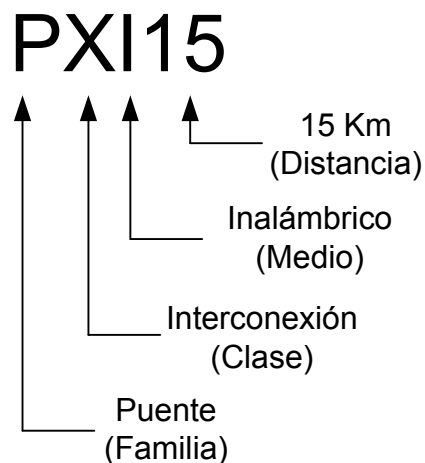
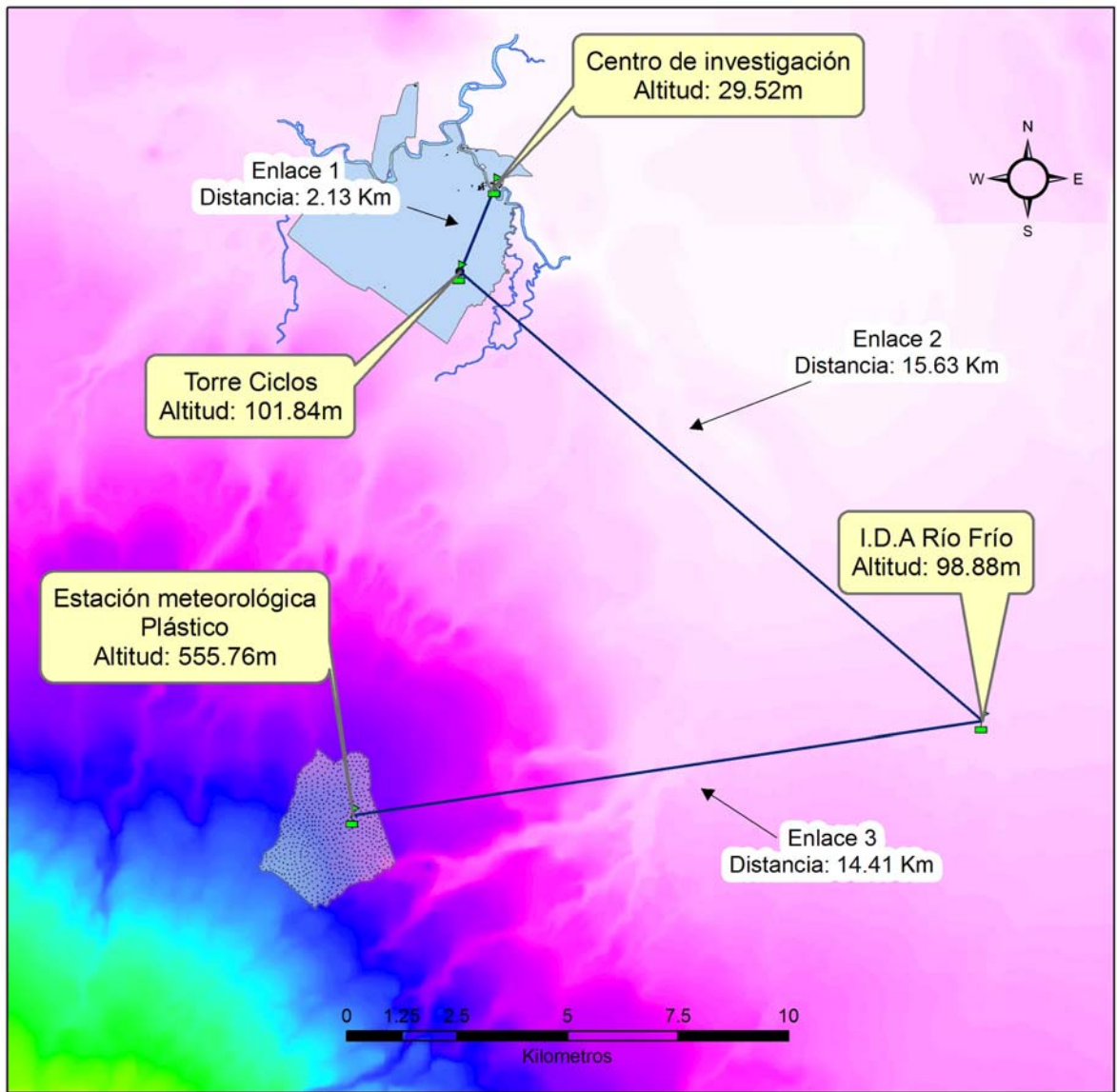


Figura 1.1 Nomenclatura del nombre del dispositivo de comunicación inalámbrica (PXI15)



Simbología	
	PXI15
	Centro de investigación, 29.52m
	I.D.A Río Frío, 98.88m
	Estación meteorológica Plástico, 555.76m
	Torre Ciclos, 101.84m
	Reserva Selva Tica
	Enlaces
	Enlace 1: 2.13 Km
	Enlace 2: 15.63 Km
	Enlace 3: 14.41 Km
	Estación biológica La Selva



Figura 1.2 Ubicación de los 4 PXI15

1.2.4 Sistema de recolección, almacenamiento, y visualización de datos de telemetría (SysRAV-T)

El sistema de recolección, almacenamiento, y visualización de datos de telemetría (SysRAV-T) incluye diversos elementos como el PXI15, un protocolo de comunicaciones (PID) y enrutamiento (PIR), así como varias aplicaciones. Todos éstos elementos se detallan en el capítulo 5. En la figura 1.3, se muestra un diagrama general del sistema SysRAV-T.

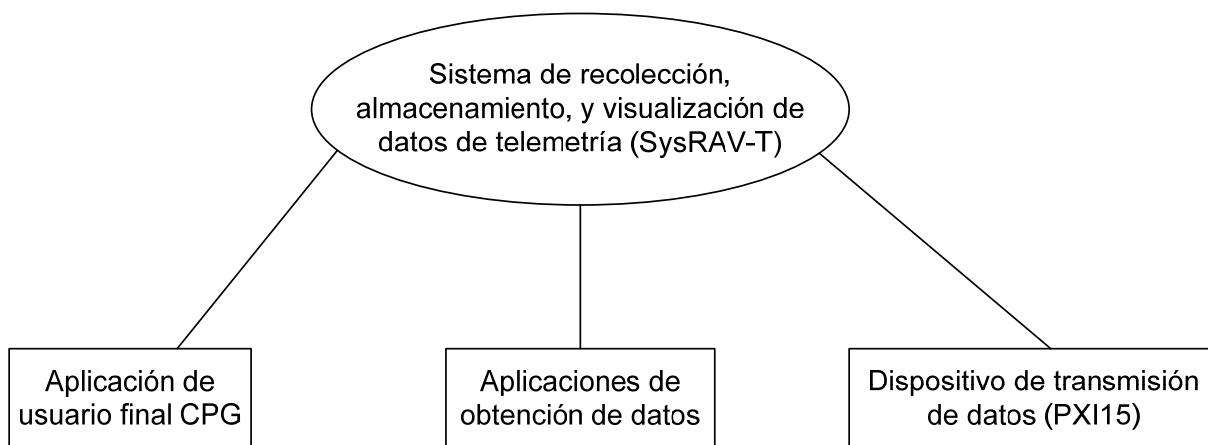


Figura 1.3 Sistema de recolección, almacenamiento, y visualización de datos de telemetría (SysRAV-T)

El protocolo de comunicaciones al que se le llama “Protocolo de Intercambio de Datos” (PID), es propietario, y se encuentra implementado en el PXI15 mediante la aplicación “Monitor de Intercambio de Datos” MID. Para la comunicación entre los PXI15 se utiliza el protocolo PID, y para la comunicación con el servidor se encapsula el protocolo PID en el protocolo TCP/IP, permitiendo la compatibilidad con la red de área local.

Aparte del protocolo PID se desarrolló un protocolo de enrutamiento llamado “Protocolo de Información de Rutas” (PIR), el cual permite la conexión de varios puntos de repetición intermedios y todos operando en la misma frecuencia.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

Disminuir a un 25% (pasar de 15 días a 4 días), el tiempo de recolección de datos de telemetría de la estación meteorológica Plástico.

2.2 Objetivo general

Proporcionar los datos de mediciones climáticas de forma expedita, actualizada y ordenada, desarrollando un sistema electrónico para la recolección y almacenamiento de datos de telemetría.

2.3 Objetivos específicos

- Diseñar el protocolo de comunicaciones propietario.
- Diseñar el protocolo de enrutamiento para llegar a cada nodo a través de la ruta más corta.
- Diseñar el algoritmo de enrutamiento.
- Desarrollar el PXI15 que implemente el protocolo de comunicaciones y de enrutamiento.
- Desarrollar la aplicación para el almacenamiento de los datos en una base de datos.
- Desarrollar la aplicación para la visualización de los datos.
- Desarrollar la aplicación para el reporte de errores de las estaciones meteorológicas.
- Desarrollar la aplicación para el acceso a las estaciones meteorológicas de forma remota.
 - Desarrollar el enlace de radio frecuencia para un alcance de 15 Km.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1 Descripción del proceso a mejorar

La recolección de los datos producto de las mediciones realizadas por las estaciones meteorológicas en la estación biológica La Selva, se realiza de forma manual con un dispositivo de almacenamiento lo que implica la movilización de personal a cada una de estas estaciones.

El proyecto pretende la sustitución de este método de recolección de datos para la estación meteorológica Plástico, evitando el desplazamiento de personas al sitio. Lo cual representa un ahorro de dinero, así como la disminución del tiempo requerido para la obtención de los datos.

En la figura 1.3, se muestra el sistema de transmisión y recolección de datos implementado.

3.2 Antecedentes bibliográficos

Los sistemas de recolección de datos para estaciones meteorológicas utilizan la conexión en serie con diversas tecnologías tales como módem, teléfono Celular, módems de RF y otros. [5]

La tendencia actual de los dispositivos que transmiten información; sea ésta video, voz, o datos, es utilizar el protocolo TCP/IP y que la información esté disponible en cualquier parte del mundo. La principal ventaja de TCP/IP es que ya existe toda una infraestructura de red implementada y probada [1]. Pero TCP/IP presenta el inconveniente de que tiene un encabezado muy grande lo que provoca un desperdicio de ancho de banda y energía.

Existen soluciones con equipos de red inalámbricos (puntos de acceso, puentes) que permiten extender las redes de área local a través del medio inalámbrico, sin embargo la desventaja es que estos dispositivos son sumamente costosos para una solución a larga distancia y no cuentan con conexiones en serie

para conectar a dispositivos antiguos. Además, estos dispositivos consumen mucha energía lo que los hace desventajosos.

Para la transmisión de datos a larga distancia se utilizan los módems para RF, sin embargo estos dispositivos no contemplan la utilización de puntos intermedios para alcanzar a un destino.

En el mercado se puede adquirir el módulo de radio frecuencia que utilizan los módems de RF, y tienen la ventaja de poder ser conectados con un microcontrolador para la transmisión de datos. Además, los módems de RF se encargan de realizar la tarea de transmisión y recepción de la información por el medio inalámbrico, esto disminuye el tiempo de desarrollo ya que dichos dispositivos proveen los métodos de acceso al medio evitando así las colisiones y en caso de darse la colisión, el algoritmo maneja dicha colisión. Estos dispositivos utilizan la tecnología FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). [7]

3.3 Enlaces de radio frecuencia

Para un enlace de radio frecuencia se deben considerar las variables que pueden provocar pérdidas de potencia significativas, estas pérdidas se miden en decibeles (dB). [14]

3.3.1 Generalidades de los enlaces inalámbricos

En las comunicaciones inalámbricas existen pérdidas en el espacio libre (S_L) debidas a la distancia entre los sitios, así como la frecuencia utilizada [14]. Las pérdidas en el espacio libre se calculan con la fórmula (3.1) (página 206 [2]), sin embargo para facilitar el cálculo se utiliza la fórmula (3.2) la cual se puede obtener a partir de la fórmula (3.1) utilizando las unidades de GHz y Km.

$$S_L = \left(\frac{4\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \quad (3.1)$$

Las pérdidas en el espacio libre se calculan con la fórmula (3.2).

$$S_L = P_T - P_R = 92.44 + 20 \cdot (\log(f) + \log(D)) \quad [\text{dB}] \quad (3.2)$$

Donde:

S_L : pérdidas en el espacio libre

P_T : potencia de transmisión

P_R : potencia de recepción

f : frecuencia de operación en GHz

D : distancia entre los 2 puntos en Km

En la figura 3.1 se muestran los elementos de un enlace de inalámbrico:

- Transmisor y receptor
- Antenas de transmisión y recepción
- Cables, conectores, guías de onda

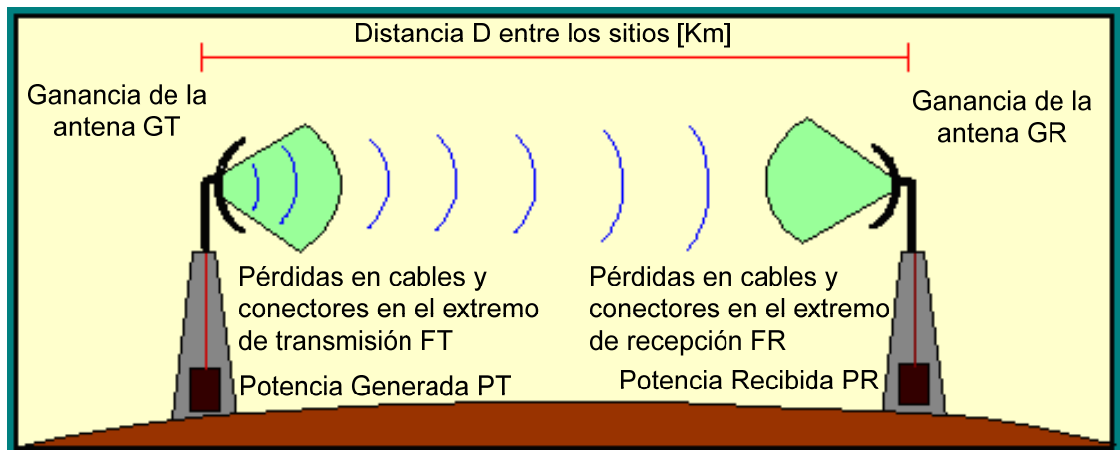


Figura 3.1 Elementos de un enlace inalámbrico

La potencia de recepción se calcula con la fórmula (3.3).

$$P_R = P_T + G_T + G_R - (F_T + F_R) - S_L \quad [\text{dBm}] \quad (3.3)$$

Donde:

P_T : potencia de transmisión (dBm)

P_R : potencia de recepción (dBm)

G_T : ganancia de la antena de transmisión (dB)

G_R : ganancia de la antena de recepción (dB)

F_T : pérdidas en cables y conectores en el extremo de transmisión (dB)

F_R : pérdidas en cables y conectores en el extremo de recepción (dB)

Para pasar de `watts` a dBm, se utiliza la fórmula (3.4).

$$x \text{ dBm} = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{1 \text{ mW}}\right) \quad (3.4)$$

Donde:

P : es la potencia en unidades de `mili watts` [mW].

Existen efectos en la propagación de las ondas en la troposfera [14], esto es hasta 10 Km sobre el nivel del mar. Entre los parámetros que afectan están:

- temperatura
- presión del vapor de agua

Conforme se aumenta la altura se disminuye el índice de refracción. Y para evitar errores en los cálculos debido a este índice se utiliza el concepto de radio efectivo de la Tierra y se tiene un factor de conversión k que define que tan grande es el radio hipotético de la Tierra respecto al radio real de la Tierra.

$$k = \frac{R}{a} \quad (3.5)$$

Donde:

R : es el radio hipotético de la Tierra (Km)

a: es el radio real de la Tierra (Km)

Con $R > a$, por lo cual $k > 1$.

El valor k cambia de acuerdo a las condiciones del clima, por lo cual se tiene un k para diferentes regiones. Dichos valores de k se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Factor de conversión k de acuerdo a la zona en la Tierra

Valor de k	Zona
$6/5 - 4/3$	Regiones de alta latitud (zonas árticas)
$4/3$	Regiones de media latitud (zonas templadas)
$4/3 - 3/2$	Regiones de baja latitud (zonas tropicales)

Para Costa Rica se utilizará un valor de k igual a $4/3$.

3.3.2 Zonas de Fresnel

Debido a la dispersión de las ondas en el plano virtual perpendicular a la ruta entre el transmisor y el receptor, se tienen ondas en radios concéntricos. A cada una de las áreas definidas por un radio se les llama zonas de Fresnel [14]. Cabe destacar que cada radio se define por múltiplos (m) de longitudes de onda (λ).

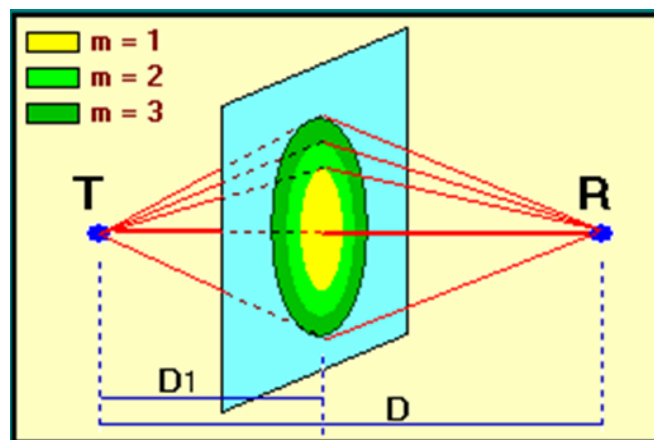


Figura 3.2 Representación de las zonas de Fresnel

El radio de cada zona de Fresnel está dado por la fórmula (3.6).

$$r_m = \sqrt{m \cdot \lambda \cdot \frac{D_1(D - D_1)}{D}} \quad (3.6)$$

Donde:

$m = 1, 2, 3, \dots$

D : distancia entre el transmisor y el receptor [Km]

D_1 : distancia del transmisor al plano [Km]

λ : longitud de onda [m]

Si no hay obstáculos entre los puntos T y R de la figura 3.2, la potencia recibida en R es la suma de todas las ondas que pasan a través de la zona de Fresnel (situación de espacio libre). En caso de que existan obstáculos ocurre un fenómeno llamado difracción.

Si la ruta entre los puntos T y R de la figura 3.2 esta libre de obstáculos dentro de 2/3 (67%) del primer radio de Fresnel entonces las pérdidas por difracción en el receptor se pueden ignorar [14].

3.3.3 Path Clearance

El Path Clearance se define como la distancia en metros entre el eje de la onda y el punto escogido que en el caso de la figura 3.3 sería el punto L.

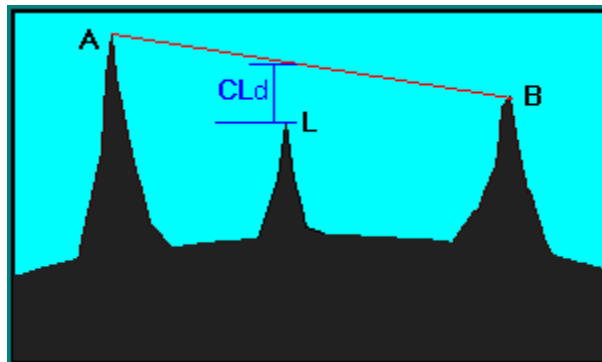


Figura 3.3 Path Clearance para la onda

Un valor positivo del Path Clearance significa un margen libre de obstáculos, mientras que un valor negativo indica interrupción para la señal.

El Path Clearance se calcula con la fórmula (3.7), de acuerdo a la figura 3.4.

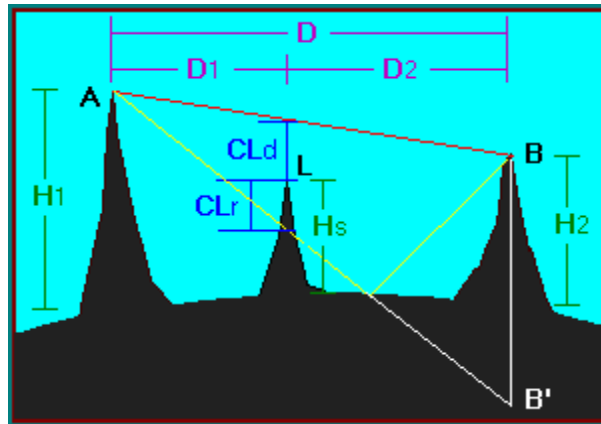


Figura 3.4 Cálculo del Path Clearance

$$CL = H_1 - \frac{D_1}{D}(H_1 - H_2) - \frac{D_1 \cdot D_2 \cdot 10^3}{2 \cdot k \cdot 6370} - H_s \quad (3.7)$$

Donde:

H_1 : es la altura en metros del punto A.

H_2 : es la altura en metros del punto B.

H_s : es la altura en metros del punto L.

D : es la distancia en kilómetros entre los puntos A y B.

D_1 : es la distancia en kilómetros entre los puntos A y L.

D_2 : es la distancia en kilómetros entre los puntos L y B.

K : es el factor de la curvatura de la Tierra (4/3).

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

En las siguientes secciones se describe el método de diseño en ingeniería para llegar a la solución del problema.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Para la identificación del problema se realizaron las siguientes actividades:

- Entrevista con el encargado de informática en la estación biológica La Selva, Enrique Castro. Donde se conocieron aspectos generales del problema y de las estaciones meteorológicas.
- Encuesta vía correo electrónico a las investigadoras Harlyn Ordóñez y Johanna Hurtado, de la estación biológica La Selva, para determinar la importancia de los datos recolectados en su investigación.

4.2 Obtención y análisis de información

Para la obtención del estado del arte del problema en estudio se realizaron búsquedas en Internet sobre las últimas tecnologías en comunicación inalámbrica de largo alcance y la factibilidad de implementarlas basándose en costo, tiempo de desarrollo, y escalabilidad a futuro.

Además se investigó en libros e Internet sobre el tipo de comunicación más utilizada en redes para el transporte de información.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Para determinar la validez de la solución se programaron reuniones con el coordinador de informática Oscar Madrigal, con el fin de afinar los protocolos a utilizar y cumplir con los requisitos presentados.

Para verificar la validez de la solución se realizaron análisis de diseño. Los criterios utilizados para verificar la factibilidad de la solución y modificación, fueron la

factibilidad de implementación, desempeño, rapidez de implementación, así como la escalabilidad a futuro del sistema completo.

4.4 Implementación de la solución

Para la implementación de la solución primero se verificó que se cumplieran los requisitos. Luego se diseñaron diagramas de flujo con el fin de definir cada uno de los métodos de las aplicaciones. Posteriormente se programaron los métodos con el lenguaje de programación respectivo de acuerdo al diagrama de flujo.

Para la implementación de nuevos PXI15 se creó un diagrama donde se muestra la conexión de los dispositivos electrónicos que lo componen con el fin de poder construir más dispositivos en el futuro.

La evaluación de la solución se realizó con la simulación de transferencia de datos, utilizando un archivo con datos de la estación meteorológica.

En base a la documentación, se realizó una charla sobre el funcionamiento del sistema, así como la conexión e instalación de los PXI15 y aplicaciones desarrolladas.

4.5 Reevaluación y rediseño

Para realizar cambios o posibles mejoras en la obtención de los datos, se recomienda estudiar el protocolo de comunicaciones utilizado por el `datalogger`, y determinar si la nueva modificación permitirá la comunicarse con el `datalogger` a través de su protocolo.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

Este capítulo expone el diseño e implementación de la solución. Inicialmente se indica la solución que fue seleccionada, y posteriormente se describe la solución a nivel del diseño de los radio enlaces, así como el hardware, y software implementado.

El sistema desarrollado se llama sistema de recolección, almacenamiento, y visualización de datos de telemetría SysRAV-T. Este sistema se compone por las aplicaciones desarrolladas y el PXI15, véase la figura 5.1.

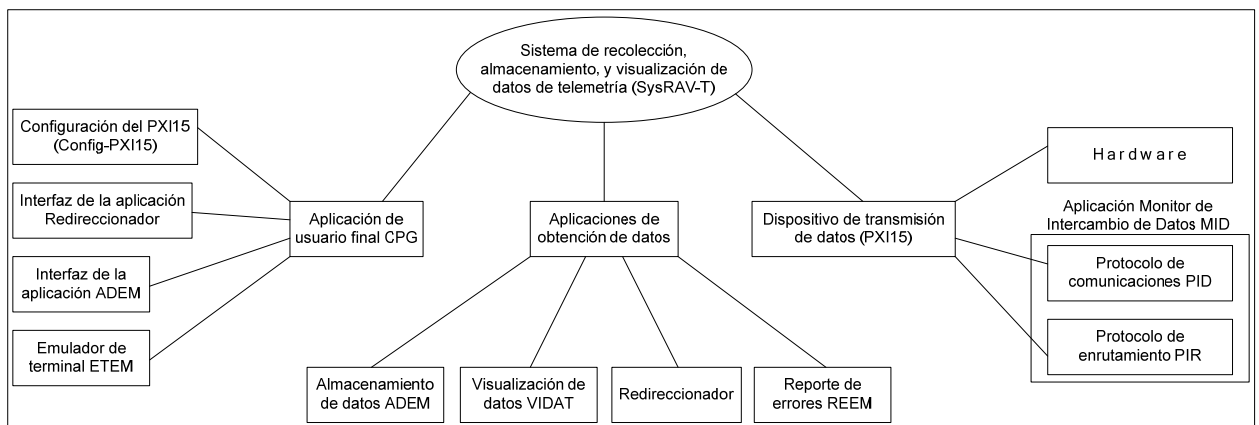


Figura 5.1 Diagrama de bloques del sistema de recolección, almacenamiento, y visualización de datos de telemetría SysRAV-T

5.1 Análisis de soluciones y selección final

En esta sección se explican 3 diferentes soluciones al problema. Posteriormente se realizará una tabla comparativa con las ventajas y desventajas de cada solución y se especifica la solución desarrollada.

Actualmente en la estación biológica La Selva existen dos estaciones meteorológicas ubicadas a 1.5 Km y 15 Km, sin embargo para el proyecto se tomará en cuenta solamente la estación meteorológica Plástico ubicada a 15 Km del centro de investigación, esto porque es la que presenta mayor dificultad para la recolección de los datos.

Debido a la geografía del terreno es necesaria la utilización de puntos intermedios de repetición para poder establecer el radio enlace entre el centro de investigación y la estación meteorológica Plástico.

De acuerdo a lo especificado en el párrafo anterior es necesario el desarrollo de un protocolo de comunicaciones para definir la forma en que se comunicarán los PXI15. También es necesario el desarrollo de un algoritmo de enrutamiento y un protocolo de enrutamiento para conocer la ruta al destino y poder alcanzar éste.

El protocolo de comunicaciones es propietario y puede ser implementado sobre el protocolo TCP/IP para permitir la compatibilidad con los dispositivos de la red de área local.

El protocolo de enrutamiento es propietario y permite la transferencia de información de enrutamiento entre los PXI15. Con la información de enrutamiento se creará una tabla de enrutamiento con las rutas más cortas a los diferentes destinos.

El algoritmo de enrutamiento es propietario, y se implementará en los PXI15. El algoritmo de enrutamiento permite la conmutación de información entre interfaces de tipo Ethernet, inalámbrico, y serie; encapsulando la información en la trama respectiva de acuerdo al tipo de interfaz.

5.1.1 Sistema con protocolo propietario y servidor de almacenamiento dedicado

Esta solución contempla el diseño de un protocolo de comunicaciones que se implementará en los PXI15 y el servidor de almacenamiento.

Para realizar esta solución es requisito la utilización de un servidor dedicado al sistema tanto para mantener la conexión en serie con el PXI15 del centro de investigación, como para el almacenamiento de los datos, y el acceso a las estaciones meteorológicas en caso de presentarse un problema en éstas.

En la figura 5.2, se muestra un diagrama de la solución propuesta.

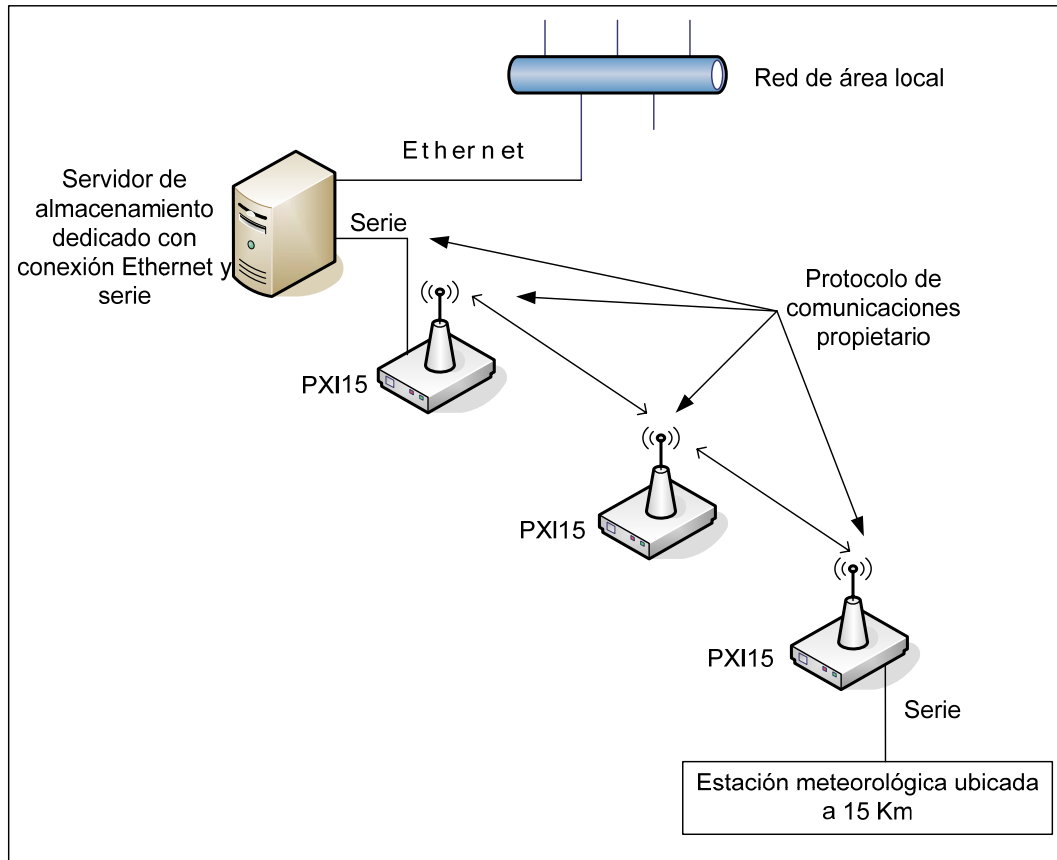


Figura 5.2 Sistema con protocolo propietario y servidor de almacenamiento dedicado

5.1.2 Sistema con protocolo propietario y servidor de almacenamiento independiente

Para esta solución se diseñará un protocolo de comunicaciones propietario, que será implementado en los PXI15 y en el servidor de almacenamiento. Para la comunicación con la red de área local se encapsulará el protocolo propietario sobre el protocolo TCP/IP. Así los datos transportados por los PXI15 mediante el protocolo propietario serán encapsulados en el protocolo TCP/IP para ser transmitidos al servidor a través de la red.

Esta solución no requiere de un servidor dedicado y por tanto se puede utilizar cualquier servidor disponible en la red para implementar el servicio.

En la figura 5.3, se muestra un diagrama con la solución propuesta.

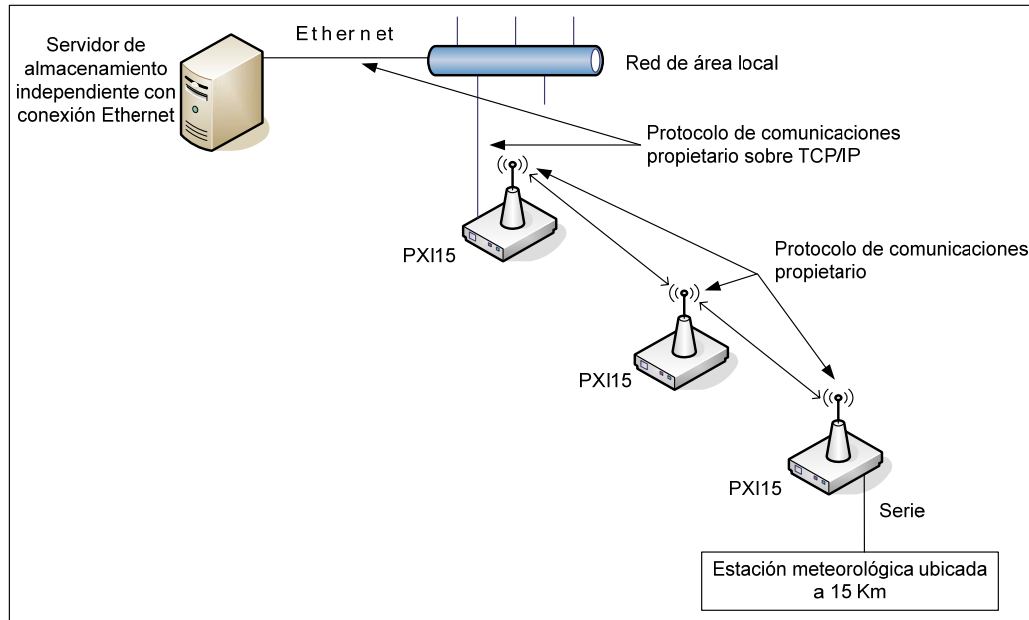


Figura 5.3 Sistema con protocolo propietario y servidor de almacenamiento independiente

5.1.3 Sistema con protocolo propietario sobre TCP/IP y servidor de almacenamiento independiente

Esta solución implica el desarrollo de un protocolo propietario para la comunicación de los PXI15 que corre sobre el protocolo TCP/IP. Este protocolo se implementaría en los PXI15 así como el servidor de almacenamiento de datos.

El servidor a utilizar no debe ser de uso dedicado y por tanto se puede utilizar cualquier servidor disponible en la red para implementar el servidor de almacenamiento de datos.

En la figura 5.4, se muestra un diagrama de la solución propuesta.

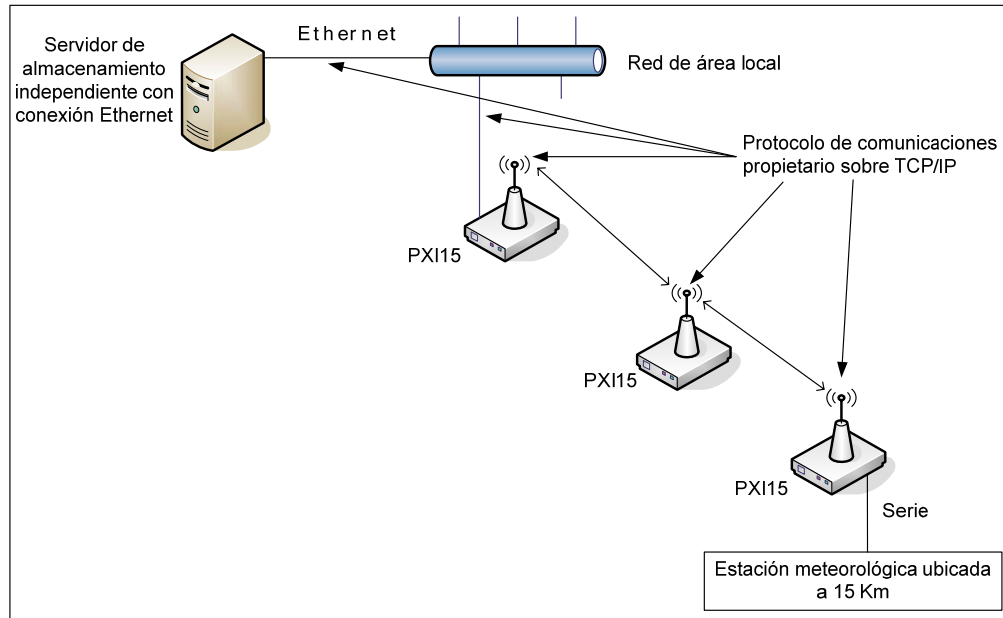


Figura 5.4 Sistema con protocolo propietario sobre TCP/IP y servidor de almacenamiento independiente.

5.1.4 Comparación de las soluciones presentadas

En la siguiente página se muestra un cuadro comparativo (tabla 5.1) con las ventajas y desventajas de cada una de las soluciones presentadas.

La solución escogida es la segunda (Sistema con protocolo propietario y servidor de almacenamiento independiente). Esto debido a lo siguiente:

- La primera solución es más rápida de desarrollar pero tiene limitaciones de crecimiento y expansión. Así como vulnerabilidades de seguridad en caso de utilizar el servidor del centro de investigación.
- La tercera solución tiene la ventaja de poder agregar más fácilmente servicios en un futuro, pero tiene el inconveniente de disminuir el ancho de banda por el encabezado de TCP/IP. También tiene la desventaja de que requiere mayor procesamiento lo que representa mayor gasto de energía.

Tabla 5.1 Cuadro comparativo de las soluciones propuestas

Solución propuesta	Ventajas	Desventajas
Sistema con protocolo propietario y servidor de almacenamiento dedicado	<ul style="list-style-type: none"> - Simplicidad de desarrollo e implementación. - Mayor tasa de transferencia de datos en el enlace inalámbrico al tener menos encabezado en el protocolo de comunicaciones. - Menor procesamiento del PXI15 	<ul style="list-style-type: none"> - Depende de un servidor. - La solución es poco escalable ya que solamente se conectaría por puerto serie al servidor. - Solamente se puede tener un servidor conectado para el almacenamiento de los datos. - No es 100% compatible con la red de área local. - Desplazamiento hasta el servidor para la solución de problemas. - Vulnerabilidades de seguridad al permitir el acceso de terceros para la solución de algún problema en las estaciones meteorológicas.
Sistema con protocolo propietario y servidor de almacenamiento independiente	<ul style="list-style-type: none"> - Seguridad al no permitir acceso al servidor por parte de terceros. - Mayor tasa de transferencia de datos en el enlace inalámbrico al tener menos encabezado en el protocolo de comunicaciones. - Menor procesamiento del PXI15. - No depende de un servidor para operar. Esto aumenta la disponibilidad del sistema en caso de un fallo en el servidor. - Permite la solución de problemas de las estaciones meteorológicas desde cualquier computador conectado a la red de área local. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor tiempo de desarrollo en el protocolo de comunicaciones propietario ya que se debe realizar la comunicación entre el protocolo propietario y el protocolo TCP/IP. - Mayor complejidad en el diseño de futuros servicios ya que se debe comunicar el protocolo desarrollado con el protocolo TCP/IP.
Sistema con protocolo propietario sobre TCP/IP y servidor de almacenamiento independiente	<ul style="list-style-type: none"> - Seguridad al no permitir acceso al servidor por parte de terceros. - Menor complejidad en el desarrollo de nuevos servicios. - Es escalable para ubicación de futuros servidores de almacenamiento. - No depende de un servidor para operar. Esto aumenta la disponibilidad del sistema en caso de un fallo en el servidor. - Es escalable para el desarrollo de futuros servicios. - La solución es 100% compatible con la red de área local. - Permite la solución de problemas de las estaciones meteorológicas desde cualquier computador conectado a la red de área local. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor tasa de transferencia de datos al tener mayor encabezado debido al protocolo TCP/IP. - Mayor procesamiento de datos por parte del PXI15. - Mayor tiempo de desarrollo para lograr la implementación del protocolo TCP/IP para luego correr el protocolo propietario.

5.2 Descripción de los perfiles del enlace

Debido a las condiciones geográficas del terreno se requieren 2 puntos adicionales de repetición, tal y como se muestra en la figura 5.5.

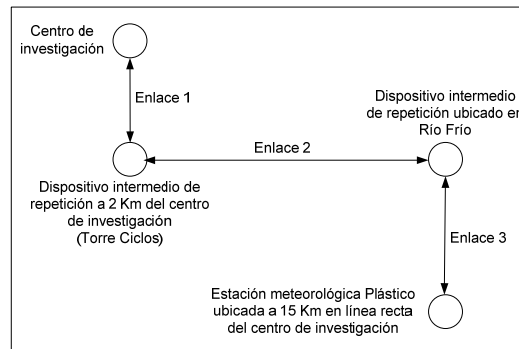


Figura 5.5 Determinación de los puntos de repetición

Para la escogencia de las zonas donde se ubicarán los PXI15 para repetición se realizó un análisis detallado de los posibles sitios. Lugares como Ticari, y Cubujuquí fueron analizados, sin embargo la altitud y distancia de estos no era favorable.

La torre Ciclos fue escogida debido a que se encuentra en la zona más alta de la estación biológica La Selva (100 msnm), además que dicha torre ya se encuentra instalada y es de 46 metros lo que permite prácticamente divisar casi cualquier punto en la zona.

Para la ubicación del otro punto intermedio se determinó que la zona de Río Frío era la idónea debido a la altitud de 100msnm lo que permitía la comunicación con la torre Ciclos. Además, la zona de Río Frío tiene línea vista con la estación meteorológica Plástico.

Para Río Frío se realizó un análisis más extenso y se determinaron ángulos dentro de los cuales se podían ubicar posibles sitios para la ubicación del PXI15 (véase la figura 5.6). El lugar escogido fue el IDA ya que de acuerdo a mediciones realizadas fue donde se midió la mejor señal, sin embargo cabe señalar que los sitios ubicados dentro de los ángulos son puntos potenciales de ubicación del PXI15.

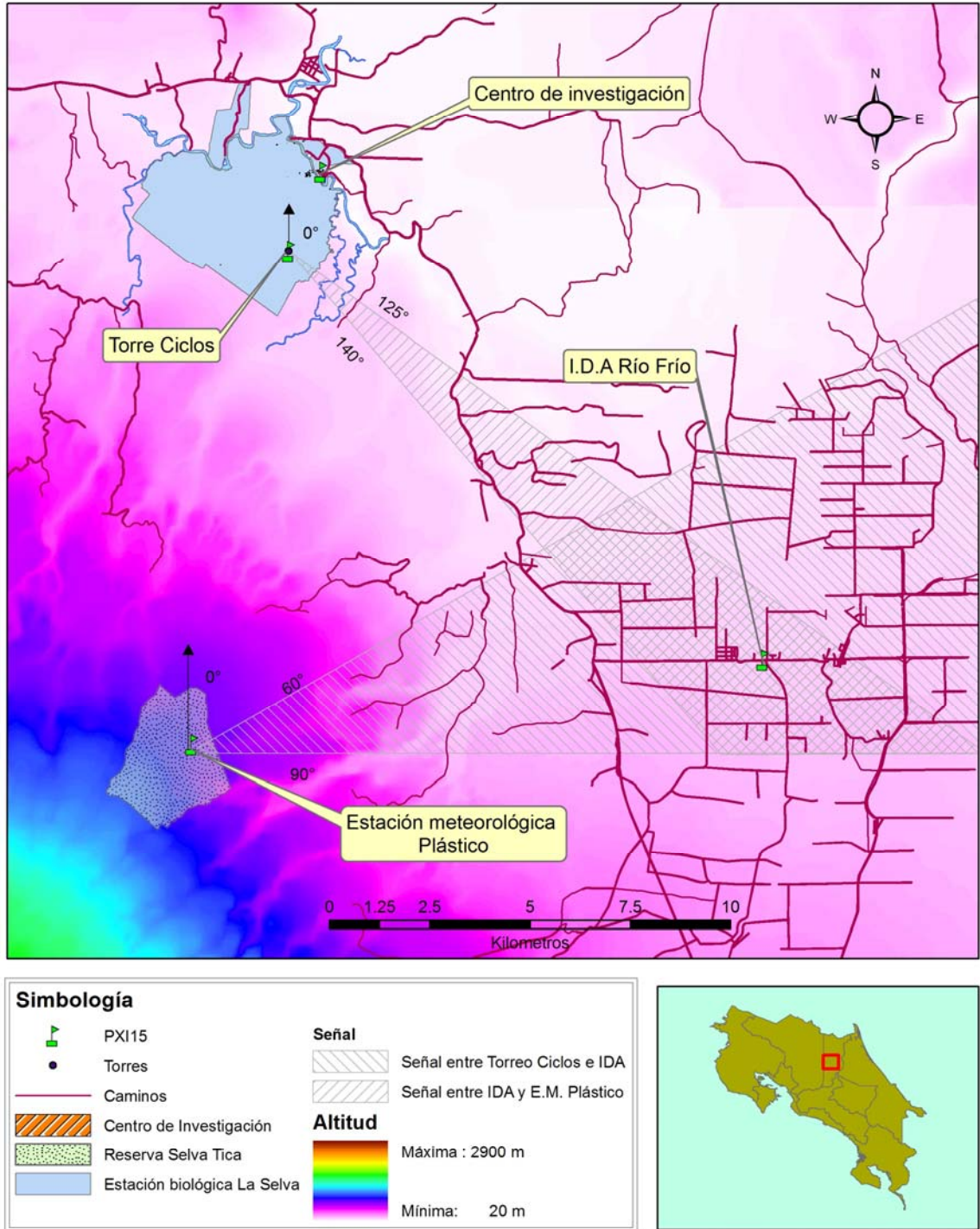


Figura 5.6 Mapa con las zonas donde es posible ubicar el equipo, generado con la base de datos cartográfica de la estación biológica La Selva

Para cada uno de los enlaces se realiza un análisis del perfil del enlace. Los diagramas de cada perfil fueron creados con el programa ArcGIS (Geographical Information System) y la base de datos cartográfica de la estación biológica La Selva.

En la figura 5.7, se muestra un mapa con los sitios donde se ubicarán los equipos así como la distancia entre éstos y la altura a la que se encuentran.

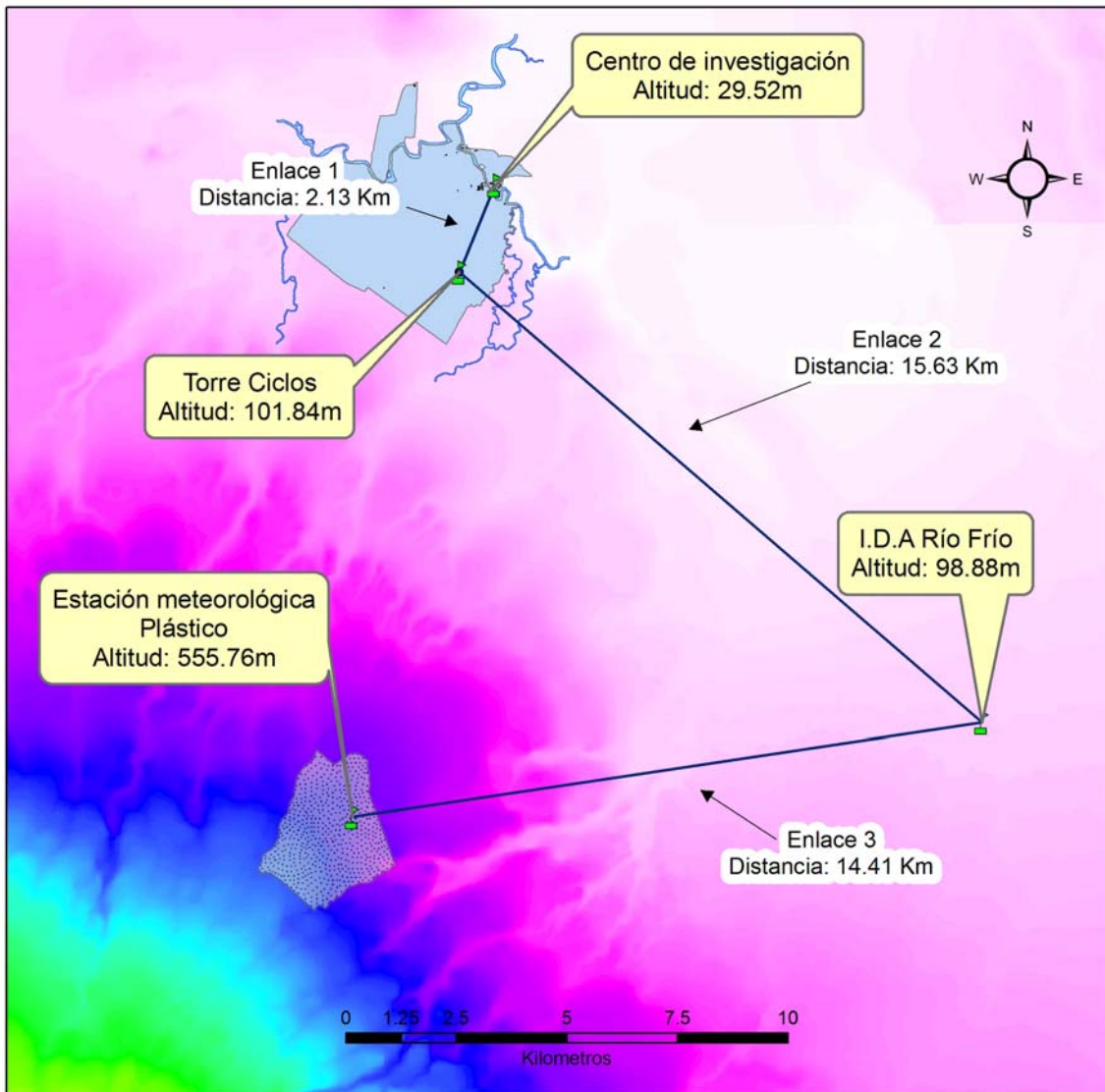


Figura 5.7 Mapa con la ubicación geográfica de los sitios donde se localizarán los PXI15, generado con la base de datos cartográfica de la estación biológica La Selva

En las siguientes subsecciones se especifican los cálculos para cada uno de los enlaces. Además se especifica la potencia de transmisión mínima requerida así como la especificación de la ganancia de las antenas. Por último se muestra una tabla resumen con los valores anteriores para cada sitio donde se ubicará un PXI15.

El equipo de radio comunicación a utilizar es el 9XTend OEM RF Module con frecuencia de operación entre [902 – 928] MHz y con alcance de hasta 64 Km en línea vista según especificación del fabricante (esto implica al menos el 67% de la zona de Fresnel sin obstáculos). Este equipo fabricado por la empresa Maxstream [7] se escogió debido a la tasa de transferencia de datos máxima de 115 Kbps, lo que brinda escalabilidad al enlace para crecimiento futuro de más estaciones meteorológicas. Otro equipo que se consideró comprar fue el transceptor AC4790 de la empresa Aerocomm [3], sin embargo la tasa de transferencia de datos máxima es de 76.8 Kbps por lo que se prefirió a Maxstream.

La sensibilidad del XTend es de -110 dBm para una tasa de transferencia de datos de 9.6 Kbps, y de -100 dBm para una tasa de transferencia de datos de 115 Kbps.

Las antenas disponibles en el mercado a un precio accesible para el XTend tienen ganancias de 2.1 dB y 6 dB [13].

La potencia de transmisión varía entre [1 mW – 1 W] lo que representa valores entre [0 dBm – 30 dBm].

Las pérdidas de los cables y conectores dependen del tipo utilizado. Para el cable RG-58 operando a la frecuencia de 900 MHz se presentan pérdidas de 47.4 dB por cada 100 metros.

El fabricante de los XTend especifica que el alcance de éstos es de 64 Km; por lo cual para la distancia máxima de 15 Km es evidente que el enlace si se pueden realizar.

5.2.1 Análisis de los enlaces

El enlace 1 comunica los sitios del centro de investigación y la torre Ciclos. En la figura 5.8, se muestra el perfil del enlace.

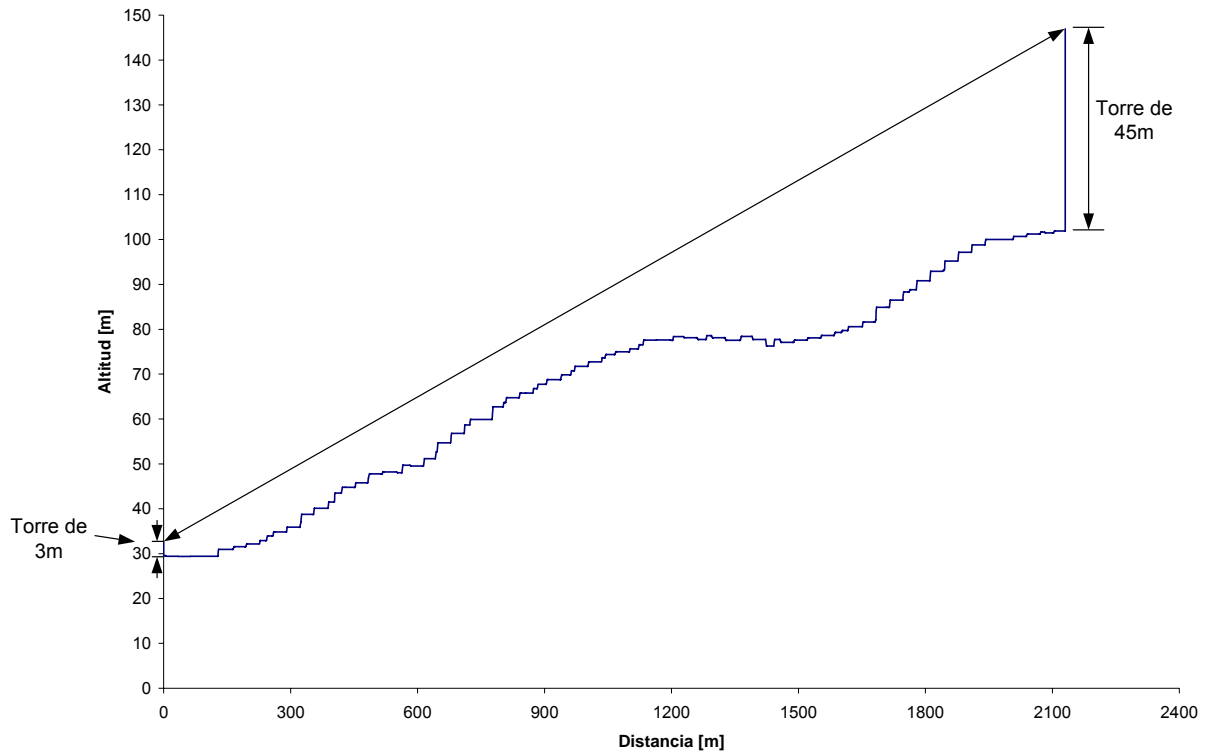


Figura 5.8 Perfil del enlace 1 generado a partir de la base de datos cartográfica de la estación biológica La Selva

Cabe destacar que la utilización de la torre Ciclos que tiene una altura de 46 metros es indispensable ya que de lo contrario no se tendría línea vista con el centro de investigación, debido a la elevación ubicada a 1.2 Km del centro de investigación.

El enlace 2 comunica los sitios de la torre Ciclos y el IDA en Río Frío. En la figura 5.9, se muestra el perfil del enlace.

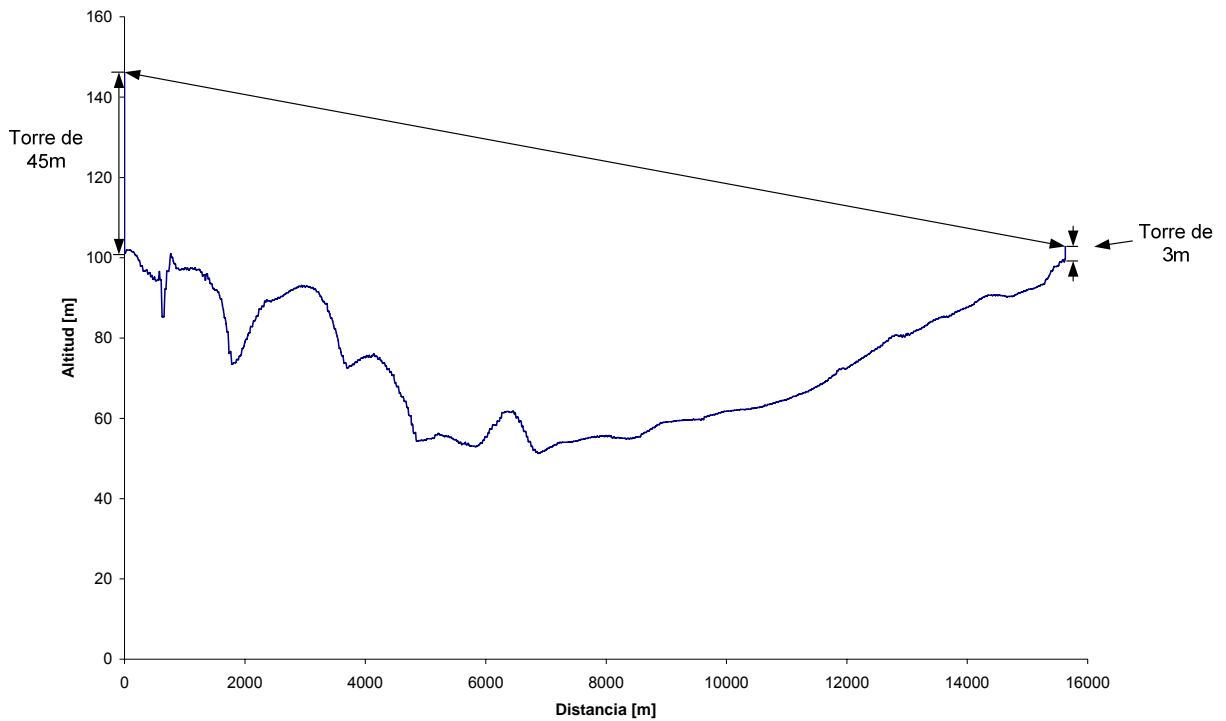


Figura 5.9 Perfil del enlace 2 generado a partir de la base de datos cartográfica de la estación biológica La Selva

Es importante aclarar que el PXI15 se ubicará a 45 metros de altura, esto debido al enlace 1, donde se requiere la mayor altura para la comunicación con el centro de investigación.

El enlace 3 comunica los sitios del IDA en Río Frío y la estación meteorológica Plástico. En la figura 5.10, se muestra el perfil del enlace.

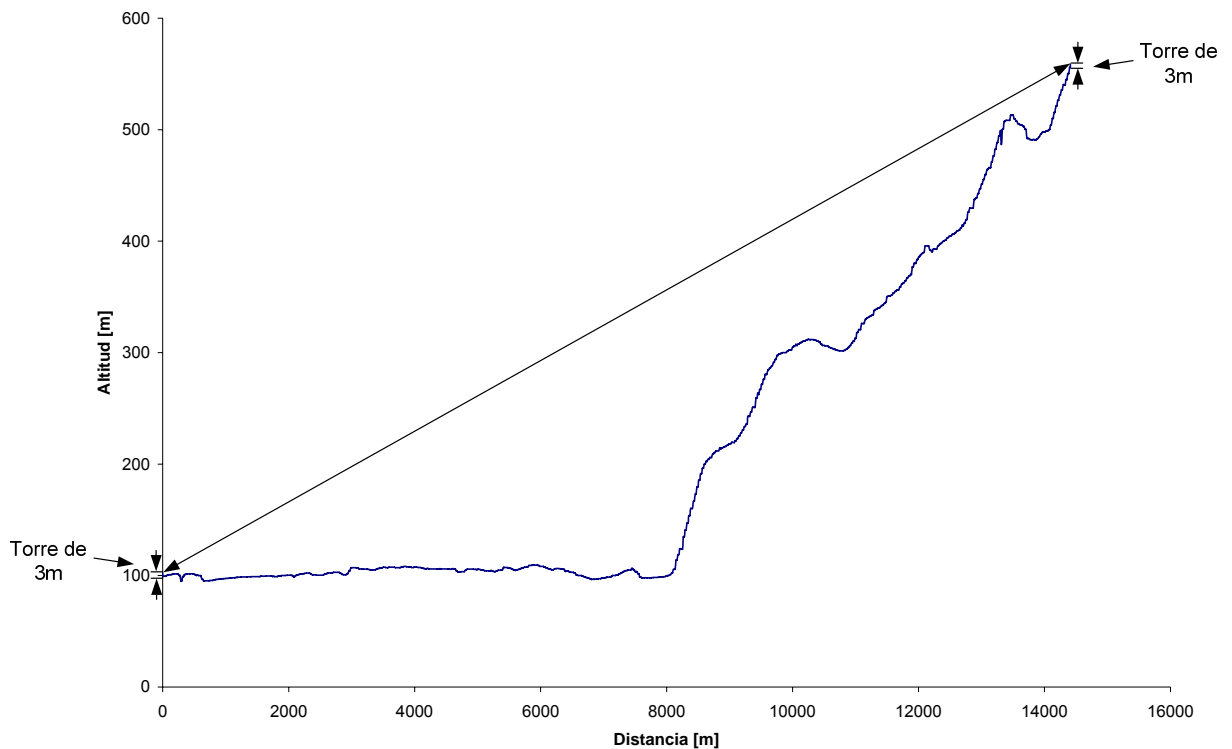


Figura 5.10 Perfil del enlace 3 generado a partir de la base de datos cartográfica de la estación biológica La Selva

Según la figura 5.10 existe un punto ubicado a casi 14 Km de Río Frío donde es posible tener problemas con la zona de Fresnel. Sin embargo, los cálculos realizados y mostrados en la sección de apéndices muestran que no existe problema con éste punto.

De acuerdo a las fórmulas (3.2), (3.3), (3.4) en las tablas: tabla 5.2, tabla 5.3, y tabla 5.3; se presentan cálculos de la potencia de transmisión y ganancia de las antenas, para cada uno de los enlaces. Las pérdidas en cables y conectores se desprecian para los valores mostrados, sin embargo se agregó una pérdida de 10dB como criterio de diseño para contemplar las pérdidas provocadas cuando hay lluvia o alguna persona se interpone entre los 2 PXI15.

Tabla 5.2 Determinación de la posibilidad de realizar el enlace basándose en los parámetros de potencia, ganancia, y pérdidas, para el enlace 1.

Potencia transmisión (mW)	Potencia transmisión (dBm)	Ganancia antena transmisión (dB)	Ganancia antena recepción (dB)	Potencia de recepción (dBm)	¿Se puede realizar el enlace?	Tasa de transferencia (bps)
1	0.00	2.1	2.1	-113.89	NO	0
1	0.00	2.1	6	-109.99	SI	9600
1	0.00	6	6	-106.09	SI	9600
10	10.00	2.1	2.1	-103.89	SI	9600
10	10.00	2.1	6	-99.99	SI	115000
10	10.00	6	6	-96.09	SI	115000
100	20.00	2.1	2.1	-93.89	SI	115000
100	20.00	2.1	6	-89.99	SI	115000
100	20.00	6	6	-86.09	SI	115000
500	26.99	2.1	2.1	-86.90	SI	115000
500	26.99	2.1	6	-83.00	SI	115000
500	26.99	6	6	-79.10	SI	115000
1000	30.00	2.1	2.1	-83.89	SI	115000
1000	30.00	2.1	6	-79.99	SI	115000
1000	30.00	6	6	-76.09	SI	115000

Tabla 5.3 Determinación de la posibilidad de realizar el enlace basándose en los parámetros de potencia, ganancia, y pérdidas, para el enlace 2.

Potencia transmisión (mW)	Potencia transmisión (dBm)	Ganancia antena transmisión (dB)	Ganancia antena recepción (dB)	Potencia de recepción (dBm)	¿Se puede realizar el enlace?	Tasa de transferencia (bps)
1	0.00	2.1	2.1	-131.20	NO	0
1	0.00	2.1	6	-127.30	NO	0
1	0.00	6	6	-123.40	NO	0
10	10.00	2.1	2.1	-121.20	NO	0
10	10.00	2.1	6	-117.30	NO	0
10	10.00	6	6	-113.40	NO	0
100	20.00	2.1	2.1	-111.20	NO	0
100	20.00	2.1	6	-107.30	SI	9600
100	20.00	6	6	-103.40	SI	9600
500	26.99	2.1	2.1	-104.21	SI	9600
500	26.99	2.1	6	-100.31	SI	9600
500	26.99	6	6	-96.41	SI	115000
1000	30.00	2.1	2.1	-101.20	SI	9600
1000	30.00	2.1	6	-97.30	SI	115000
1000	30.00	6	6	-93.40	SI	115000

Tabla 5.4 Determinación de la posibilidad de realizar el enlace basándose en los parámetros de potencia, ganancia, y pérdidas, para el enlace 3.

Potencia transmisión (mW)	Potencia transmisión (dBm)	Ganancia antena transmisión (dB)	Ganancia antena recepción (dB)	Potencia de recepción (dBm)	¿Se puede realizar el enlace?	Tasa de transferencia (bps)
1	0.00	2.1	2.1	-130.50	NO	0
1	0.00	2.1	6	-126.60	NO	0
1	0.00	6	6	-122.70	NO	0
10	10.00	2.1	2.1	-120.50	NO	0
10	10.00	2.1	6	-116.60	NO	0
10	10.00	6	6	-112.70	NO	0
100	20.00	2.1	2.1	-110.50	NO	0
100	20.00	2.1	6	-106.60	SI	9600
100	20.00	6	6	-102.70	SI	9600
500	26.99	2.1	2.1	-103.51	SI	9600
500	26.99	2.1	6	-99.61	SI	115000
500	26.99	6	6	-95.71	SI	115000
1000	30.00	2.1	2.1	-100.50	SI	9600
1000	30.00	2.1	6	-96.60	SI	115000
1000	30.00	6	6	-92.70	SI	115000

De acuerdo a los cálculos de zona de Fresnel y Path Clearance el enlace es posible. Los cálculos fueron realizados con la fórmula (3.6) (zona de Fresnel), y con la fórmula (3.7) (Path Clearance); para cada una de las 1000 coordenadas por enlace que proporciona el programa ArcGIS, por lo que en las tablas: tabla 5.5, tabla 5.6, y tabla 5.7, se muestran solamente los valores para los 5 sitios con menor Path Clearance.

En la tabla 5.5, el Path Clearance más corto es de 10.38 metros y el radio de la primera zona de Fresnel es de 0.34 metros, por lo que es evidente que no existe ningún obstáculo en el enlace 1 que provoque pérdidas en la señal. De igual manera para los datos de las tablas: tabla 5.6, y tabla 5.7 con los valores correspondientes.

Tabla 5.5 Radio de la primera zona de Fresnel ($m=1$), y Path Clearance para el enlace 1. Con los parámetros: $f=0.9$ [GHz], $D=2.13$ [Km], $H1=32.52$ [m], $H2=146.92$ [m], y $K=4/3$. Para los 5 sitios con menor Path Clearance en el enlace.

Zona de Fresnel		Path Clearance			
D_1 [Km]	1 ^{era} zona de Fresnel (r_m) [m]	D_2 [Km]	Hs [m]	CL [m]	¿Hay intersección de la onda?
0.42	0.34	1.71	44.78	10.38	NO
0.41	0.33	1.73	43.52	10.72	NO
0.49	0.35	1.64	47.75	10.84	NO
0.44	0.34	1.70	44.78	11.06	NO
0.20	0.25	1.93	32.18	11.08	NO

Tabla 5.6 Radio de la primera zona de Fresnel ($m=1$), y Path Clearance para el enlace 2. Con los parámetros: $f=0.9$ [GHz], $D=15.63$ [Km], $H1=146.19$ [m], $H2=102.76$ [m], y $K=4/3$. Para los 5 sitios con menor Path Clearance en el enlace.

Zona de Fresnel		Path Clearance			
D_1 [Km]	1 ^{era} zona de Fresnel (r_m) [m]	D_2 [Km]	Hs [m]	CL [m]	¿Hay intersección de la onda?
15.50	0.20	0.13	98.04	4.96	NO
15.39	0.28	0.23	96.66	6.55	NO
14.38	0.62	1.25	90.68	14.50	NO
13.31	0.81	2.32	83.15	24.23	NO
12.00	0.96	3.63	72.42	37.87	NO

Tabla 5.7 Radio de la primera zona de Fresnel ($m=1$), y Path Clearance para el enlace 3. Con los parámetros: $f=0.9$ [GHz], $D=14.41$ [Km], $H1=102.19$ [m], $H2=558.76$ [m], y $K=4/3$. Para los 5 sitios con menor Path Clearance en el enlace.

Zona de Fresnel		Path Clearance			
D_1 [Km]	1 ^{era} zona de Fresnel (r_m) [m]	D_2 [Km]	Hs [m]	CL [m]	¿Hay intersección de la onda?
0.40	0.36	14.01	101.52	13.13	NO
13.46	0.54	0.95	512.76	15.08	NO
13.39	0.56	1.02	508.48	17.03	NO
0.52	0.41	13.89	101.02	17.20	NO
13.55	0.52	0.87	507.72	22.93	NO

5.2.2 Resumen de las especificaciones de potencia y ganancia de las antenas

De acuerdo al análisis de cada uno de los enlaces y el requisito del bajo consumo de energía del PX115 en la estación meteorológica Plástico, en la tabla 5.8 se muestran las especificaciones de ganancia de la antena y potencia de transmisión mínimas en cada sitio para una velocidad de transmisión de datos de 9600 bps.

Tabla 5.8 Requisitos de la ganancia de la antena y potencia de transmisión mínimos en cada sitio.

Sitio	Ganancia de la antena (dB)	Potencia de transmisión (mW)
Centro de investigación	2.1	10
Torre Ciclos	2.1	100
IDA en Río Frío	6	100
Estación meteorológica Plástico	6	100

5.3 Descripción del hardware

La selección del microcontrolador a utilizar en el proyecto se realizó mediante un estudio de costos y características de los dispositivos. En la tabla 5.9 se muestran los dispositivos consultados a través de Internet [8] , [11]. El microcontrolador es utilizado por el PXI15 el cual se detalla posteriormente.

Tabla 5.9 Sistemas consultados para la implementación del PXI15

Sistema	SBC65EC de Modtronix	RCM3720 RabbitCore de Rabbit Semiconductor
Microcontrolador	PIC18F6621 de Microchip	RCM3720 RabbitCore de Rabbit Semiconductor
Puerto Ethernet	Sí, 10Mbps	Sí, 10Mbps
Puertos Serie	1	4
Flash	98KBytes	512KBytes
SRAM	3936 Bytes	256 KBytes
Pines de extensión	32	33
Precio (US \$)	72	55

El sistema escogido es el RCM3720 RabbitCore (véase la figura 5.11) debido a su bajo costo, y cantidad de memoria lo cual lo hace ideal para la tarea que debe almacenar en memoria RAM bastante información de la tabla de enrutamiento.



Figura 5.11 Sistema escogido (RCM3720 RabbitCore)

5.3.1 PXI15

El PXI15 es la parte esencial del proyecto ya que a través de este se encapsulan los datos en el protocolo de comunicaciones y se transmiten entre las interfaces ya sea Ethernet, puerto serie, o radio frecuencia.

El PXI15 se identifica por una dirección IP. Con la dirección IP se puede alcanzar al dispositivo desde cualquier red IP. Y para acceder a los servicios (envío de datos a un puerto serie, configuración, pruebas, etc.) se especifica la dirección IP y el número de puerto. En la figura 5.12 se muestran las interfaces del PXI15.

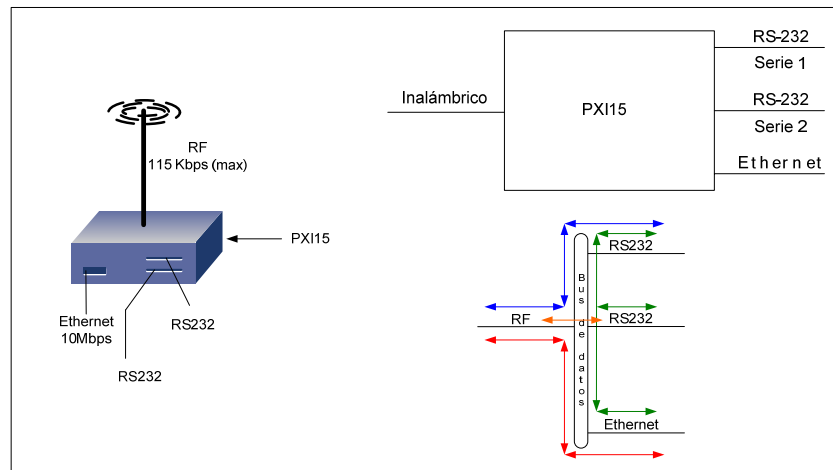


Figura 5.12 Interfaces del PXI15

El microcontrolador del PXI15 implementa la aplicación MID que a su vez contiene el protocolo de comunicaciones PID, así como el protocolo de enrutamiento PIR (véase la figura 5.13) los cuales se detallan en la sección 5.4.1 y la sección 5.4.2 respectivamente.

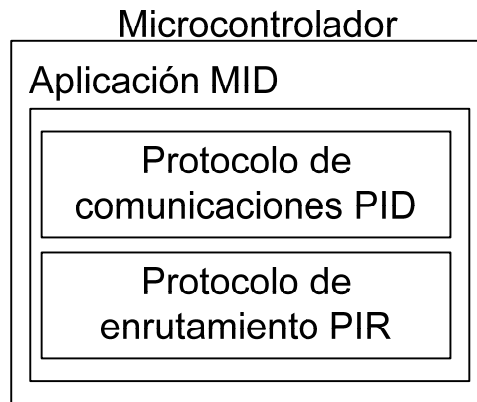


Figura 5.13 Software implementado en el PXI15

A nivel del hardware el PXI15 incluye la interconexión de dos dispositivos (véase la figura 5.14):

- Microcontrolador RCM3720 RabbitCore
- 9XTend OEM RF Module

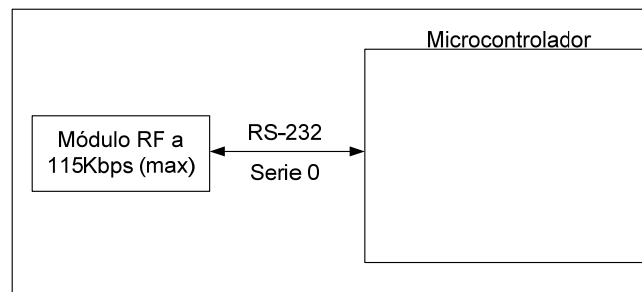


Figura 5.14 Conexión a nivel del hardware del PXI15

Otros dispositivos electrónicos como reguladores de tensión, condensadores, LED, etc., son requeridos sin embargo no se comentará ampliamente de estos ya que no son la parte esencial del proyecto.

El módulo de RF (9XTend OEM RF Module) permite la transmisión y recepción de datos de manera inalámbrica a una tasa de transferencia de 115 Kbps ó 9.6 Kbps. El microcontrolador que implementa el protocolo de comunicaciones y enrutamiento realiza la comunicación entre las diferentes interfaces.

Cabe destacar que para el proyecto se compraron dos tarjetas de prototipo (véase la figura 5.15) por lo cual para la conexión del hardware se hacen dos divisiones: con tarjeta de prototipo, sin tarjeta de prototipo.

Una nota importante es que el microcontrolador y el módulo de RF se pueden conectar directamente ya que son eléctricamente compatibles.



Figura 5.15 Tarjeta prototipo para microcontrolador RCM3720 RabbitCore

Conexión con tarjeta prototipo

La tarjeta prototipo incluye algunos componentes como botones, regulador de tensión, pila de 3V, etc. Por tanto la única conexión que se debe realizar es conectar el Microcontrolador RCM3720 RabbitCore al puerto serie del 9XTend OEM RF Module. Además se debe agregar un regulador de tensión LM7805 para alimentar el 9XTend OEM RF Module. Para la conexión de estos componentes véase la figura 5.16.

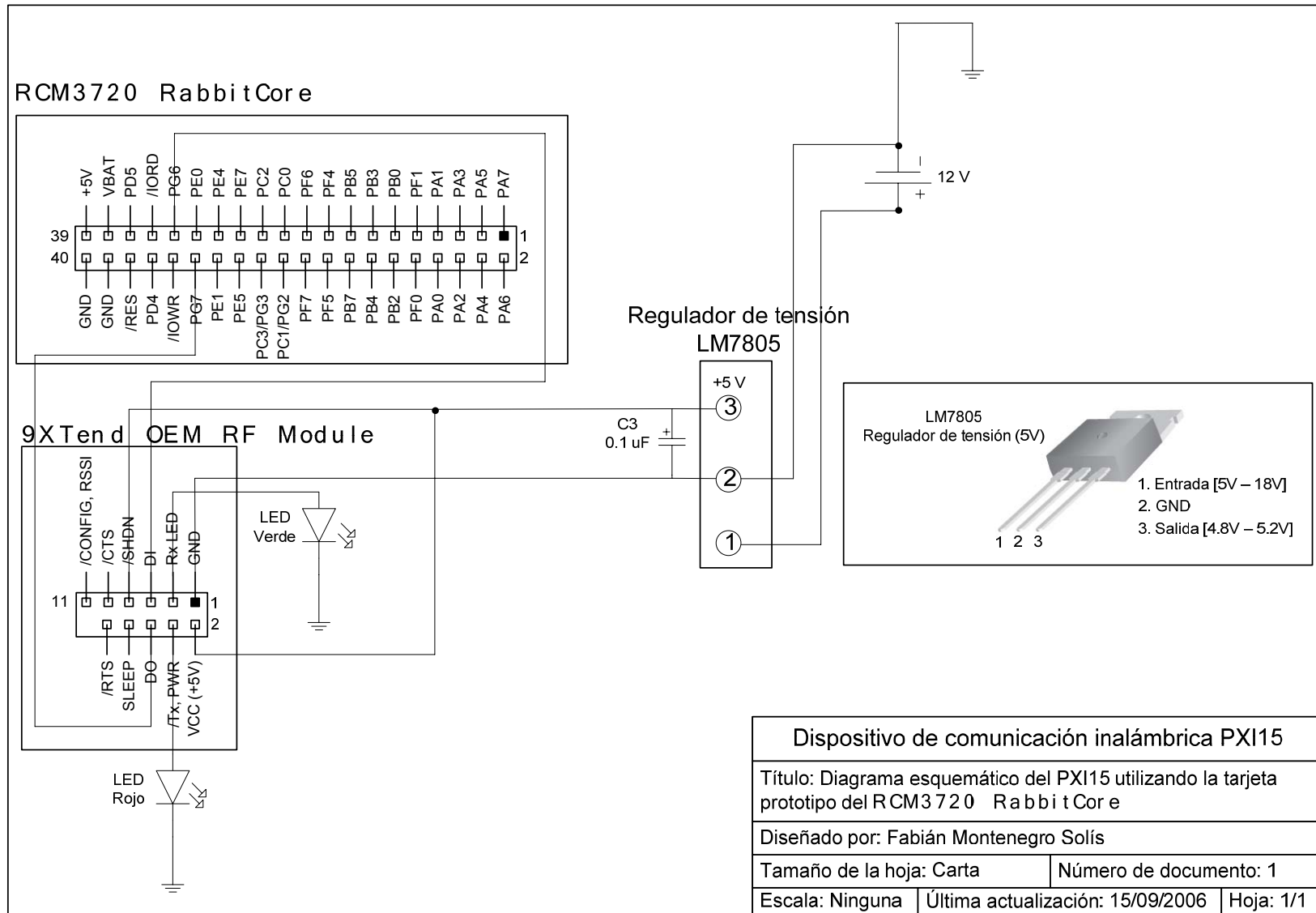


Figura 5.16 Diagrama esquemático del PXI15 utilizando la tarjeta prototipo del RCM3720 RabbitCore

Conexión sin tarjeta prototipo

Para la conexión sin tarjeta prototipo se deben agregar componentes adicionales. En la figura 5.17 se muestra el diagrama de conexión de los dispositivos y otros componentes adicionales. Los valores de las resistencias, y condensadores son los recomendados por el fabricante.

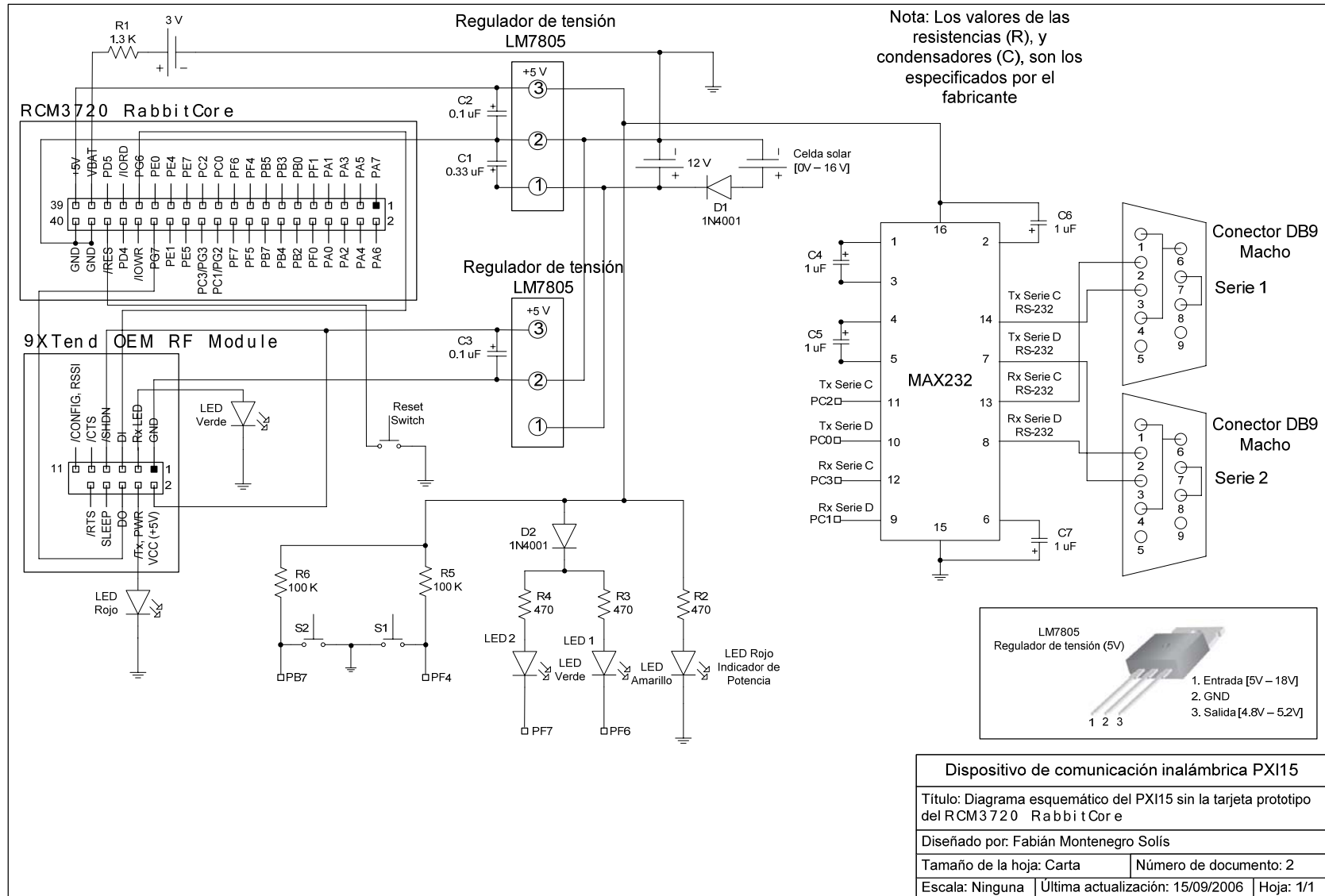


Figura 5.17 Diagrama esquemático del PXI15 sin la tarjeta prototipo del RCM3720 RabbitCore

5.3.2 Enlace Ethernet

El microcontrolador RCM3720 RabbitCore tiene un puerto Ethernet de 10Mbps. El conector RJ-45 cumple con el estándar IEEE 802.3. El conector RJ-45 tiene dos LED instalados, un LED verde que indica si hay enlace y un LED amarillo que indica actividad.

5.3.3 Enlace en serie

El microcontrolador RCM3720 RabbitCore tiene 4 interfaces serie (A, C, D, E) con una tensión de salida que varía entre 0v – 3v. El puerto serie E es conectado directamente al puerto serie del dispositivo de radio frecuencia (9XTend OEM RF Module). Los puertos serie C y D pueden ser conectados con un circuito para proporcionar las tensiones requeridas de una conexión en serie RS-232 y poder conectar la estación meteorológica. Es importante aclarar que la tarjeta prototipo tiene un cambiador de niveles SP232ECP para comunicación RS-232 por lo cual no es necesario conectar el cambiador de niveles MAX232 en caso de utilizar la tarjeta.

Cuando no se utiliza la tarjeta de prototipo se requiere conectar el cambiador de niveles MAX232 para proporcionar las tensiones requeridas de una conexión en serie RS-232. En la sección de anexos se muestra el circuito recomendado por el fabricante.

5.3.4 Alimentación eléctrica

Cada PXI15 se alimenta con 12V CD y la corriente varía entre 80mA y 730mA. Para los PXI15 ubicados en un sitio donde no se tiene alimentación eléctrica (torre Ciclos, estación meteorológica Plástico) se utilizan dos celdas solares de 7.5v y corriente máxima de 160 mA conectadas en serie. Estas celdas solares recargan una batería de 12V y 7AH la cual proporciona la energía requerida al PXI15, los requisitos de carga de la batería son no exceder los 15V y 1.05A.

En la figura 5.18, se muestra el circuito de conexión. El diodo D1 evita que la batería se descargue hacia las celdas cuando estas no producen energía.

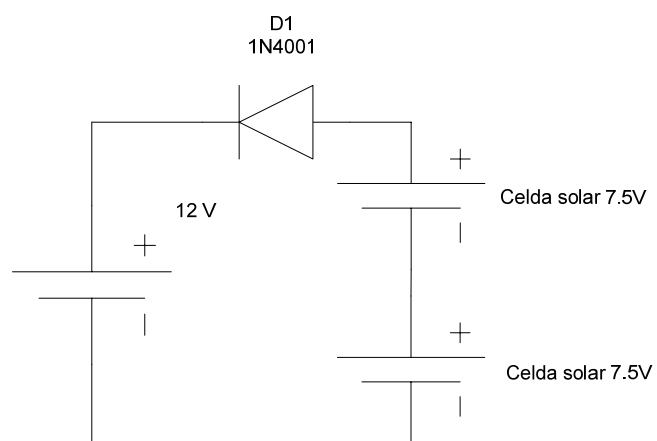


Figura 5.18 Circuito de conexión de las celdas solares

5.4 Descripción del software

La solución a nivel del `software` contempla cuatro aplicaciones para el almacenamiento y visualización de los datos, y una aplicación para la configuración de parámetros globales (CPG) del SysRAV-T, véase la figura 5.1.

CPG es la aplicación que permite la configuración de parámetros globales del SysRAV-T. CPG agrupa 4 aplicaciones: Config-PXI15, ETEM, la aplicación para la configuración de la base de datos de Redireccionador, y la aplicación para la configuración de la base de datos de ADEM. Las 4 aplicaciones que componen a CPG se detallan más adelante.

Las aplicaciones desarrolladas se nombran a continuación:

- Monitor de Intercambio de Datos MID
- Configuración del PXI15 (Config-PXI15)
- Redireccionador
- Almacenamiento de datos de las estaciones meteorológicas (ADEM)
- Reporte de errores de las estaciones meteorológicas (REEM)
- Visualización de datos de telemetría (VIDAT)
- Emulador de terminal para acceso a las estaciones meteorológicas (ETEM)

La aplicación MID es la aplicación principal del PXI15 y se programó basado en el protocolo de comunicaciones PID, el protocolo de enrutamiento PIR, y otras funciones que se detallan más adelante.

Al protocolo de comunicaciones desarrollado se le llamará “Protocolo de intercambio de datos” (PID). PID es utilizado por el protocolo de enrutamiento, al cual se le llamará Protocolo de Información de Rutas (PIR).

La aplicación Config-PXI15 permite la configuración del PXI15. Esta aplicación es accedida a través de la aplicación CPG.

Redireccionador es la aplicación que permite encapsular a PID dentro del protocolo TCP/IP, y lograr la compatibilidad con la red de área local.

A la aplicación para el almacenamiento de datos se le llamará “Almacenamiento de datos para estaciones meteorológicas” (ADEM). Las tablas y celdas de ADEM se configuran a través de la aplicación CPG.

La aplicación para reporte de errores se llamará “Reporte de errores de estaciones meteorológicas” (REEM).

Al programa para visualización de los datos se le llamará “Visualización de datos de telemetría” (VIDAT).

El programa de emulación de terminal desarrollado se llamará “Emulador de terminal para acceso a las estaciones meteorológicas” (ETEM).

Las aplicaciones: Redireccionador, ADEM, REEM, y VIDAT, deben estar ejecutándose siempre en algún servidor. La aplicación CPG puede ser ejecutada en cualquier momento por el usuario para la configuración de SysRAV-T.

En la figura 5.19, se muestra un diagrama indicando el lugar de ejecución de cada aplicación.

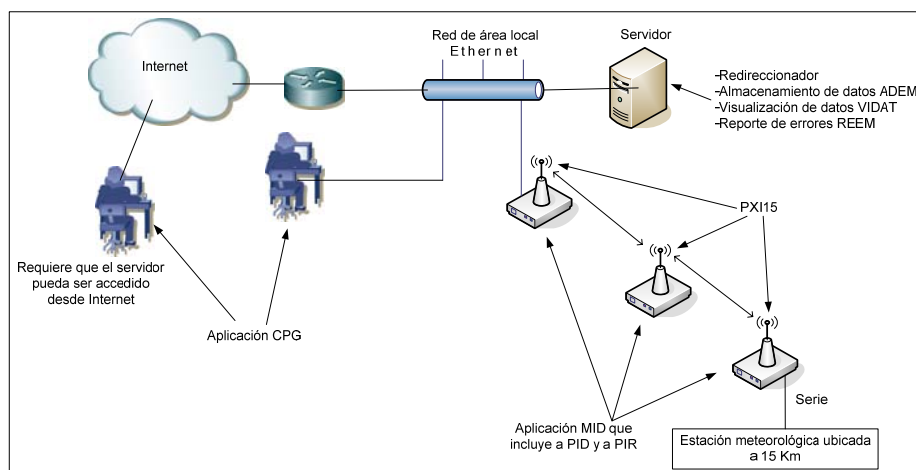


Figura 5.19 Lugar de ejecución de cada aplicación

El sistema opera de la siguiente forma (véase la figura 5.20): Loggernet (programa que obtiene datos de las estaciones meteorológicas) inicia la captura de los datos comunicándose con la aplicación Redireccionador a través del protocolo TCP/IP. Redireccionador toma los datos, les agrega el encabezado de PID y los retransmite sobre el protocolo TCP/IP hasta el PXI15. El PXI15 quita el encabezado de TCP/IP, dejando únicamente los datos con el encabezado de PID y determina si debe transmitir los datos a otro PXI15, basándose en la dirección IP destino del protocolo PID. Cuando la información llega al destino se desencapsulan los datos quitando el encabezado de PID, y se conmutan al datalogger. El datalogger responde y el proceso inverso se ejecuta hasta llegar al servidor. Los datos son almacenados en un archivo de texto por parte de Loggernet. Posteriormente cada cierto tiempo (configurable) la aplicación ADEM guarda los nuevos datos en la base de datos y en caso que algún valor esté fuera de rango envía una notificación por correo electrónico.

Los datos pueden ser visualizados en cualquier momento a través de una página WEB por parte de los investigadores.

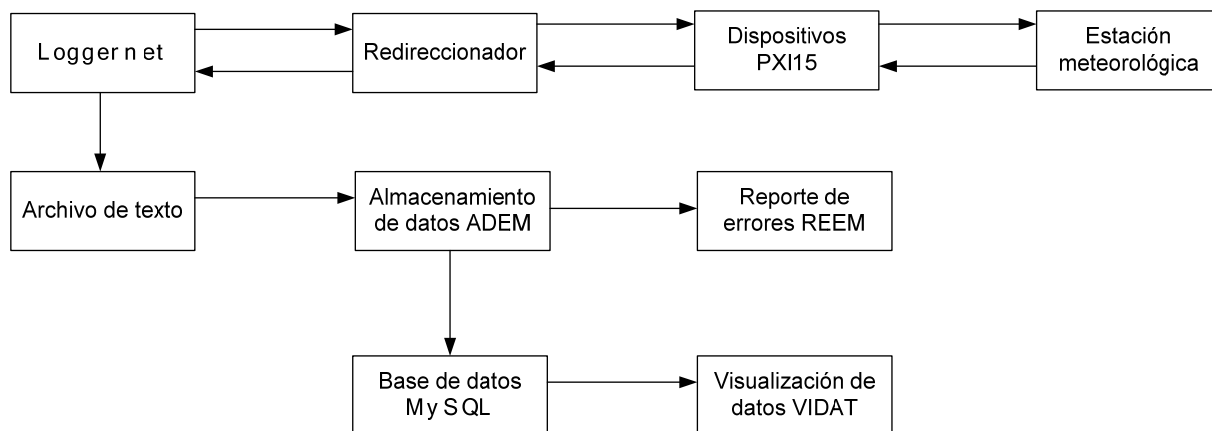


Figura 5.20 Funcionamiento de SysRAV-T

5.4.1 Protocolo de intercambio de datos PID

El protocolo de intercambio de datos PID define el formato de la unidad de datos del protocolo, así como algunas características que permiten que PID sea compatible con la red de área local, y ahorre energía.

El formato de la trama de PID se muestra en la figura 5.21. Los campos utilizados son los necesarios para hacer la aplicación compatible con la red de área local. Además se ha diseñado para no enviar números de secuencia ni acuses de recibo, ya que esto provoca saturación en el enlace de radio frecuencia, desbordamientos de memoria al no recibir los acuses de recibo rápido que permitan liberar la memoria, y además gasto de energía al transmitir la información de confirmación.

El FCS se ha agregado para evitar la transmisión de datos con errores, lo cual no es crítico ya que Loggernet tiene mecanismos para solicitar los datos nuevamente si son erróneos.

Puede observarse que el encabezado es apenas un 7% de la longitud total de la trama, lo cual se transforma en ahorro de energía cuando se transfieren las tramas. Además se ha programado un tiempo de espera de 25 milisegundos en los puertos serie para permitir a los datos llegar a tiempo hasta llenar la trama y ser enviada, lo que contribuye nuevamente con el ahorro de energía.

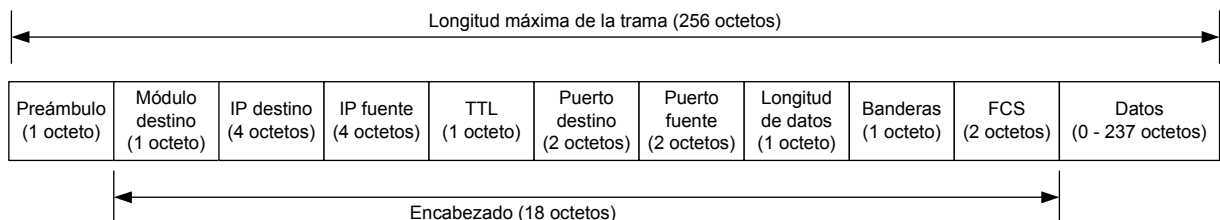


Figura 5.21 Formato de la trama del protocolo de intercambio de datos (PID)

El protocolo PID tiene otras características las cuales se mencionan a continuación:

- Protocolo propietario para la comunicación del sistema SysRAV-T. Permitiendo la transferencia de datos entre los PXI15.
- Utilizado por otros protocolos para el transporte de datos.
- Envía los datos en la menor cantidad de tramas.
- Ahorra energía al tener un encabezado pequeño (18 octetos).
- Es encapsulado dentro del protocolo TCP/IP para permitir la compatibilidad con redes LAN.
- PID es un protocolo sin clases.

5.4.2 Protocolo de enrutamiento PIR

Otro proceso es el protocolo de enrutamiento PIR. Cuando se recibe información de enrutamiento, cuyo formato de datos se muestra en la figura 5.22; la información se analiza de acuerdo al diagrama de flujo de la figura 5.23. Cabe destacar que a los datos enviados según la figura 5.22, se les agrega en encabezado de PID, por lo que PIR viaja sobre PID. La tabla de enrutamiento tiene el formato mostrado en la figura 5.24.

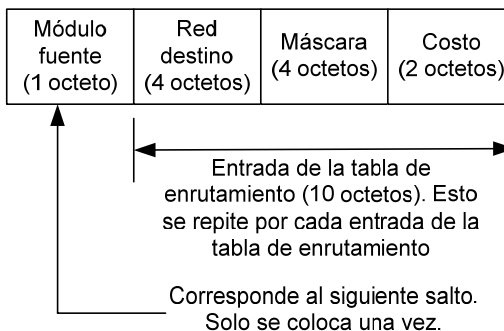


Figura 5.22 Formato de datos del protocolo de enrutamiento PIR

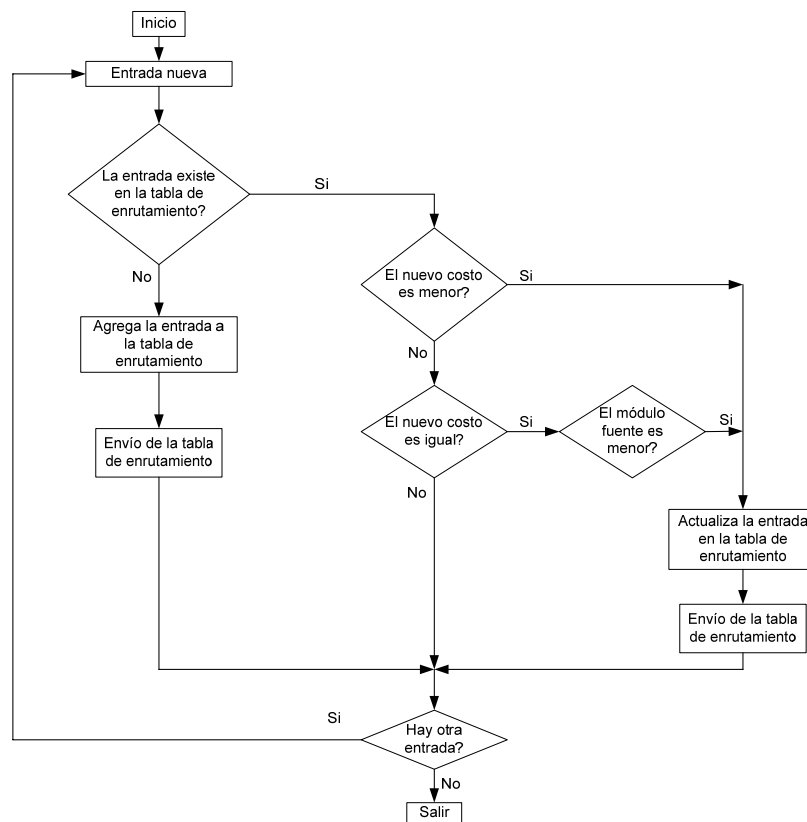


Figura 5.23 Diagrama de flujo del algoritmo de enrutamiento para nuevas entradas

Red destino (4 octetos)	Máscara (4 octetos)	Siguiente salto (1 octeto)	Costo (2 octetos)	Interfaz (1 octeto)	Tiempo (4 octetos)
----------------------------	------------------------	-------------------------------	----------------------	------------------------	-----------------------

Figura 5.24 Formato de la tabla de enrutamiento

Características del protocolo de enrutamiento PIR:

- PIR significa: Protocolo de Información de Rutas.
- Enseña de forma automática las rutas a los PXI15.
- Utiliza al protocolo PID para transmitir los datos de enrutamiento.
- Envía la tabla de enrutamiento cada 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, ó 300 segundos de acuerdo a como sea configurado el PXI15. Por defecto envía las actualizaciones cada 300 segundos.

- Determina la ruta más corta basándose en la cantidad de saltos, y en caso de empate se basa en el número de módulo configurado en el PXI15.
- Por defecto utiliza el número de puerto 4000, sin embargo este parámetro es configurable.
- No conoce toda la topología.
- Es un protocolo vector distancia.
- Basado en el protocolo RIP utilizado en las redes TCP/IP.
- Utiliza mecanismos para evitar bucles de enrutamiento tales como: actualizaciones disparadas por cambios en la tabla de enrutamiento, envenenamiento de rutas (anunciar una ruta con un costo más alto al costo máximo), y cronómetros para evitar aprender rutas erróneas cuando se establece una ruta como envenenada.
- Puede declarar a una ruta como inalcanzable cuando no se han recibido 3 actualizaciones seguidas de ésta ruta.
- Elimina la ruta de la tabla de enrutamiento del módulo después de no recibir 3 actualizaciones seguidas, excepto si el módulo fue el que provocó el envenenamiento de la ruta ya que para este caso es de 6 tiempos de actualización.

En caso que una de las rutas sea borrada de la tabla de enrutamiento al no recibir actualizaciones de enrutamiento, se enviará una notificación de error la cual lleva como dirección destino el servidor de reporte de errores, con el fin que éste envíe el correo electrónico informando del cambio.

5.4.3 Aplicación: Monitor de intercambio de datos (MID)

La aplicación MID es la aplicación principal del PXI15, se almacena en memoria flash e incluye las funciones del protocolo PID, enrutamiento, protocolo de enrutamiento PIR, reporte de errores, configuración del módulo, y pruebas. La aplicación fue programada utilizando el lenguaje `Dynamic C` utilizado por el microcontrolador `Rabbit`.

Los servicios mencionados anteriormente agregan el encabezado de PID a los datos y envían éstos al proceso de enrutamiento para determinar el siguiente salto. En la figura 5.25, se muestra el diagrama de flujo principal de la aplicación MID.

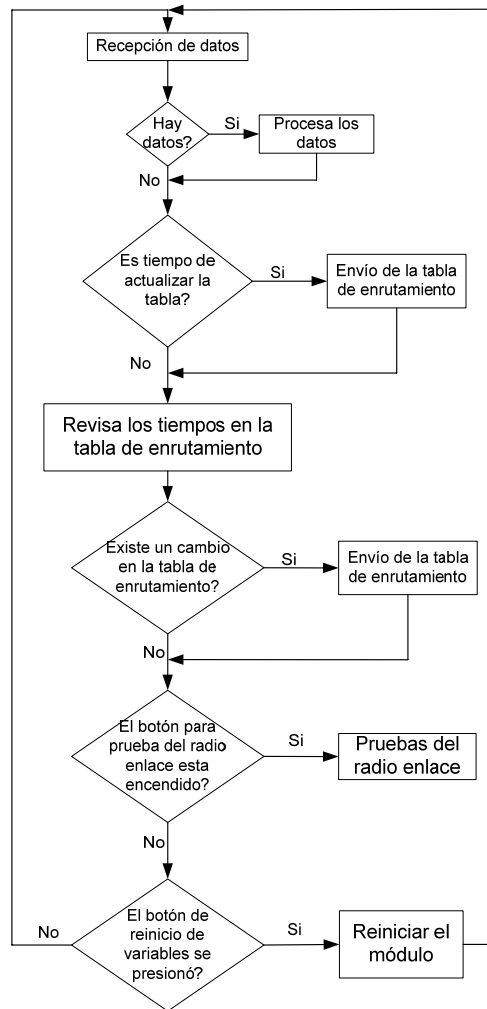


Figura 5.25 Diagrama de flujo principal de la aplicación MID

La aplicación MID también define las tareas realizadas por el PXI15 cuando recibe datos. En la figura 5.26, se muestra el diagrama de flujo del proceso de recepción de datos.

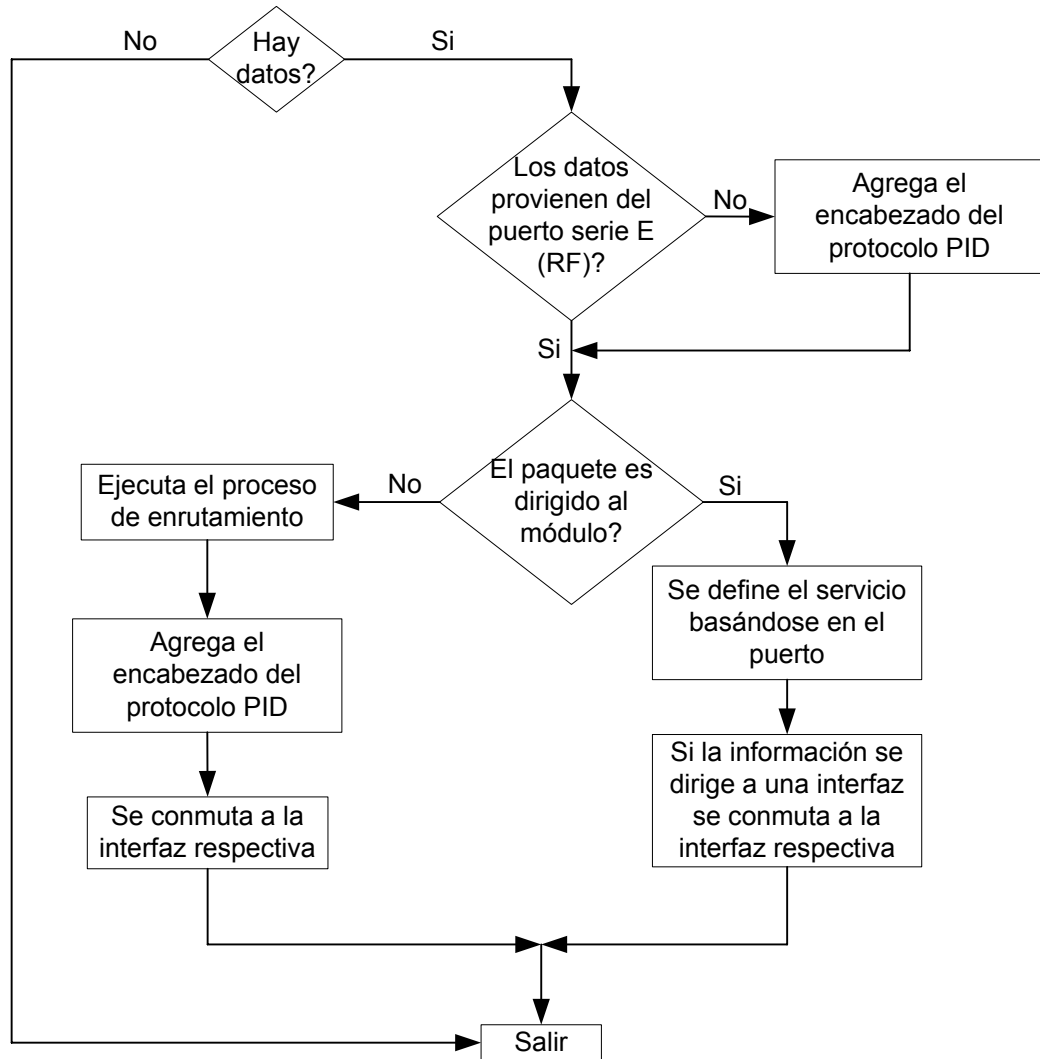


Figura 5.26 Proceso de recepción de datos de la aplicación MID

Los servicios se definen en el módulo de acuerdo al número de puerto destino que contenga la trama. Estos números de puerto son configurables con la aplicación CPG.

Configuración del PXI15

La configuración del módulo se almacena en memoria RAM no volátil, la cual se alimenta con una batería de 3V. Cuando se desea configurar el módulo, éste se realiza a través de la aplicación Config-PXI15. En la tabla 5.10 se muestran los parámetros que pueden ser configurados así como su valor inicial cuando el módulo no ha sido configurado o se reestablece su configuración.

Tabla 5.10 Parámetros configurables del PXI y su valor por defecto

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor por defecto
Configuración global	Dirección del módulo	192.168.1.1
	Máscara	255.255.255.0
	Puerta de enlace	192.168.1.1
	Número de puerto del módulo	23
	Número de módulo	1
Configuración del puerto serie 1	IP del servidor	192.168.1.2
	Número de puerto del servidor	2000
	Número de puerto del módulo	2001
	Velocidad del puerto	9600 bps
Configuración del puerto serie 2	IP del servidor	192.168.1.2
	Número de puerto del servidor	2000
	Número de puerto del módulo	2002
	Velocidad del puerto	9600 bps
Configuración del protocolo de enrutamiento	Número de puerto del módulo	4000
	Tiempo de actualización en segundos	300
Servicios: Reporte de errores	IP del servidor	192.168.1.2
	Número de puerto del servidor	5000
Servicios: Configuración del módulo	Número de puerto del módulo	6000

Servicios: Pruebas del enlace inalámbrico	Número de puerto del módulo	1000
Programación del XTend	Velocidad del enlace inalámbrico	9600 bps
	Canal	0
	Potencia	1 W

A continuación se describe cada uno de los parámetros de la tabla anterior.

Parámetros de configuración global

- Dirección del módulo: Es la dirección IP que identifica al PXI15.
- Máscara: Es la máscara que secciona la dirección IP en una parte de red y otra de identificador del dispositivo.
- Puerta de enlace: Es la dirección IP del dispositivo que permite la salida hacia otras redes.
- Número de puerto del módulo: Es el número de puerto utilizado para acceder al PXI15 desde la red de área local. El PXI15 puede mantener 4 conexiones de red simultáneas.
- Número del módulo: Es el número que identifica al PXI15, este número se utiliza para decisiones del protocolo de enrutamiento por lo cual es crítico que no sea igual al de otro PXI15.

Parámetros del puerto serie 1

- IP del servidor: Es la dirección IP del servidor que ejecuta la aplicación Redireccionador (véase la sección 5.4.6) para el puerto serie 1.
- Número de puerto del servidor: Es el número de puerto del servidor que ejecuta la aplicación Redireccionador (véase la sección 5.4.6) para el puerto serie 1. Este número de puerto no es necesario configurarlo ya que cambia automáticamente cuando se inicia una nueva conexión por

parte de la aplicación Redireccionador o la aplicación de emulador de terminal ETEM (véase la sección 5.4.10).

- Número de puerto del módulo: Es el número de puerto del PXI15 que identifica al puerto serie 1.
- Velocidad del puerto: Es la velocidad a la que opera el puerto serie 1.

Parámetros del puerto serie 2

- IP del servidor: Es la dirección IP del servidor que ejecuta la aplicación Redireccionador (véase la sección 5.4.6) para el puerto serie 2.
- Número de puerto del servidor: Es el número de puerto del servidor que ejecuta la aplicación Redireccionador (véase la sección 5.4.6) para el puerto serie 2. Este número de puerto no es necesario configurarlo ya que cambia automáticamente cuando se inicia una nueva conexión por parte de la aplicación Redireccionador o la aplicación de emulador de terminal ETEM (véase la sección 5.4.10).
- Número de puerto del módulo: Es el número de puerto del PXI15 que identifica al puerto serie 2.
- Velocidad del puerto: Es la velocidad a la que opera el puerto serie 2.

Configuración del protocolo de enrutamiento

- Número de puerto del módulo: Es el número de puerto utilizado por el PXI15 para identificar la información del protocolo de enrutamiento.
- Tiempo de actualización en segundos: Es el tiempo de actualización de la tabla de enrutamiento. Cada vez que se vence este tiempo el PXI15 envía la tabla de enrutamiento a todos los PXI15, (dirección destino 255.255.255.255), que estén al alcance de él por RF.

Servicios: Reporte de errores

- IP del servidor: Es la dirección IP del servidor que ejecuta la aplicación de reporte de errores REEM (véase la sección 5.4.8).
- Número de puerto del servidor: Es el número de puerto del servidor que ejecuta la aplicación de reporte de errores REEM (véase la sección 5.4.8).

Servicios: Configuración del módulo

- Número de puerto del módulo: Es el número de puerto utilizado por el PXI15 para identificar la información de configuración.

Servicios: Pruebas del enlace inalámbrico

- Número de puerto del módulo: Es el número de puerto utilizado por el PXI15 para identificar la información de pruebas del radio enlace. Cuando se presiona el botón S1 del PXI15 se inicia el proceso de prueba del radio enlace que consiste en enviar tramas con dirección destino 255.255.255.255 y se espera por la respuesta. De obtenerse respuesta el LED 2 enciende durante 500ms.

Programación del XTend

Velocidad del enlace inalámbrico: Es la velocidad en bits por segundo del enlace de radio frecuencia. Se puede escoger entre 9600bps y 115200bps.

Canal: Es el canal utilizado por el XTend para transmitir datos. Se puede seleccionar entre 10 canales numerados de 0 a 9.

Potencia: Es la potencia de transmisión del 9XTend OEM RF Module.

Nota: Los valores del XTend no se recomienda cambiarlos remotamente ya que puede provocar la pérdida de comunicación.

5.4.4 Aplicación: Configuración de parámetros globales (CPG)

La aplicación de configuración de parámetros globales CPG es la unión de 4 aplicaciones. Es la aplicación principal de las aplicaciones que interactúan con el usuario.

CPG se compone de 4 aplicaciones las cuales se mencionan a continuación:

1. Config-PXI15: esta aplicación permite configurar al dispositivo PXI15.
2. Interfaz gráfica de la aplicación ADEM: esta aplicación permite agregar nuevas tablas para el almacenamiento de datos de las estaciones meteorológicas. Además permite variar los valores promedio y porcentajes de variación de cada celda en las tablas de las estaciones meteorológicas. Estos valores son el parámetro para determinar si una medición se encuentra fuera de rango.
3. Interfaz gráfica de la aplicación Redireccionador: esta aplicación permite especificar los valores del encabezado del protocolo de comunicaciones PID para diferentes enlaces.
4. ETEM: la aplicación ETEM es un emulador de terminal que permite el acceso a las estaciones meteorológicas.

En la figura 5.27 se muestra la aplicación CPG.

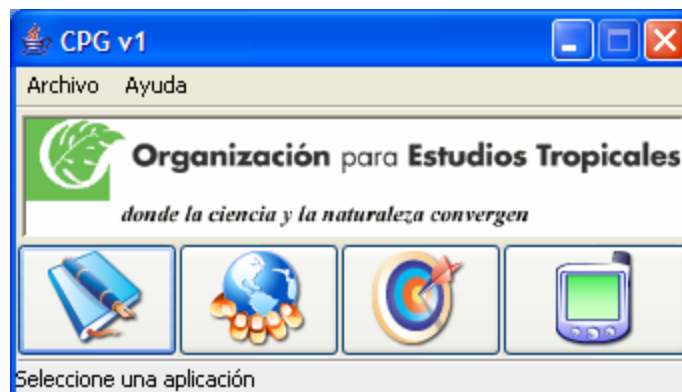


Figura 5.27 Aplicación para la configuración de los parámetros globales (CPG) del sistema SysRAV-T

5.4.5 Aplicación: Configuración del PXI15 (Config-PXI15)

La aplicación de configuración del PXI15 (Config-PXI15) fue programada con el lenguaje JAVA y permite la configuración de los parámetros del PXI15, tal y como se muestra en la figura 5.28. En la tabla 5.10 se muestran los parámetros que pueden ser configurados. Esta aplicación se puede ejecutar desde cualquier computador ubicado dentro de la red de área local, a través de la aplicación CPG.

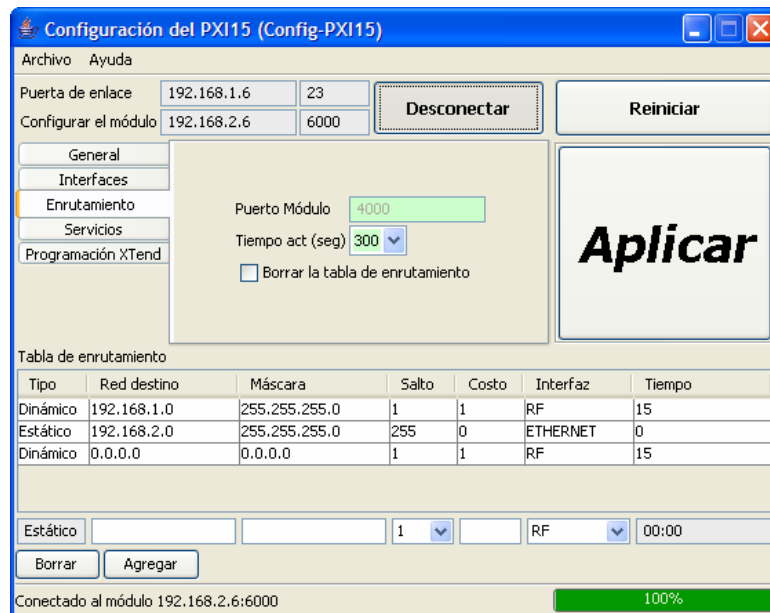


Figura 5.28 Aplicación para la programación de los PXI15 (Config-PXI15)

El diagrama de flujo de la aplicación Config-PXI15 se muestra en la figura 5.29.

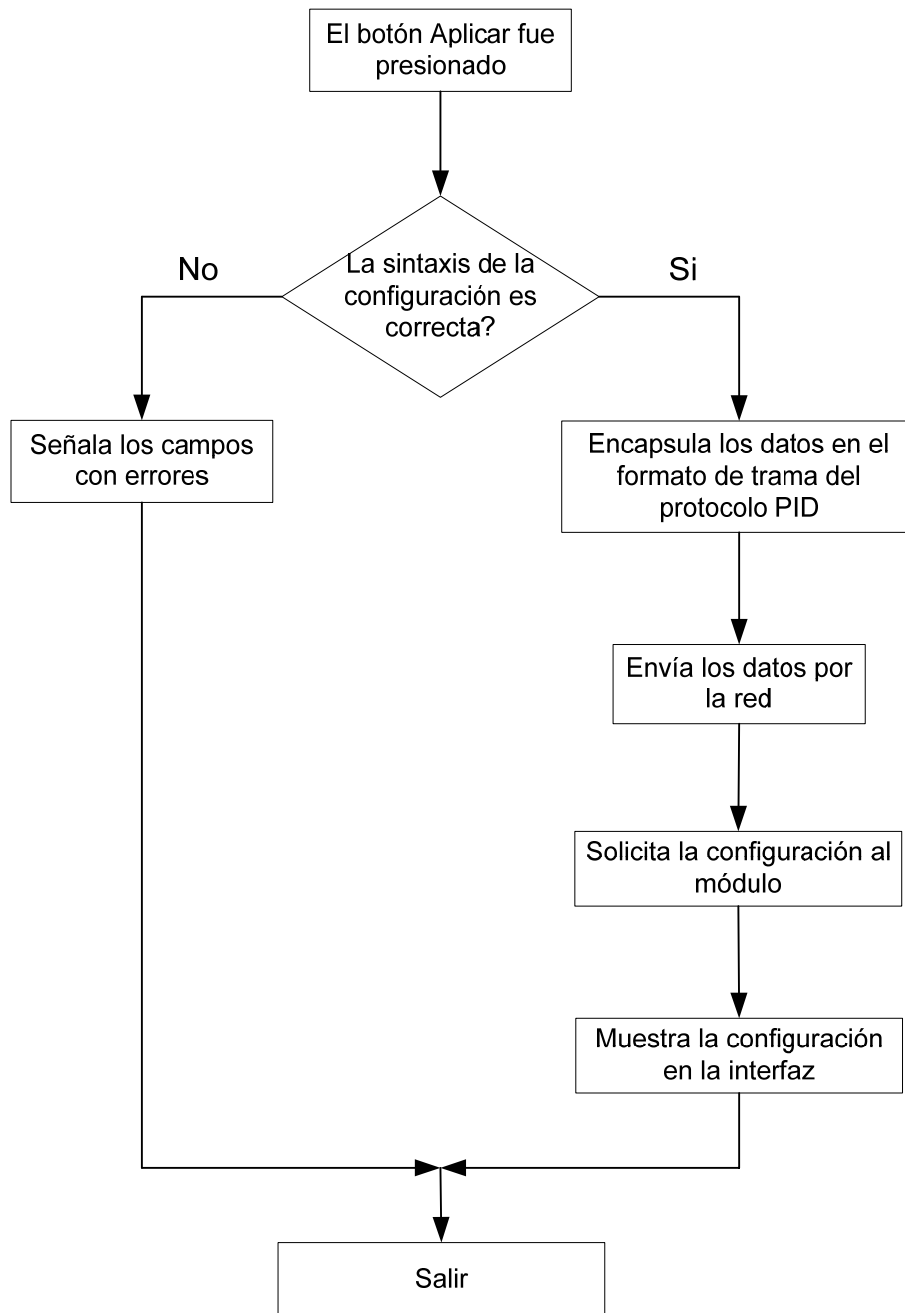


Figura 5.29 Diagrama de flujo de la aplicación para configuración de los PXI15

5.4.6 Aplicación: Redireccionador

La aplicación Redireccionador fue programada con el lenguaje JAVA y permite que programas que no implementan el protocolo de comunicaciones diseñado, tales como Loggernet y otros, puedan comunicarse con los PXI15 para la transferencia de datos tal y como muestra en la figura 5.30.

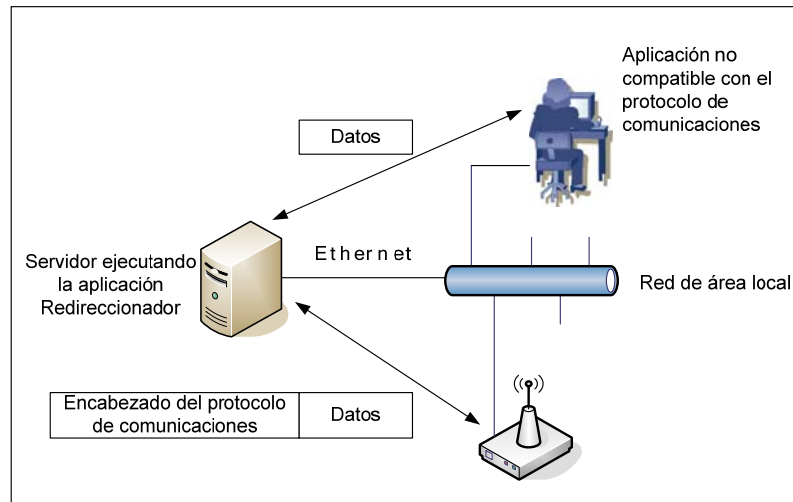


Figura 5.30 Función de la aplicación Redireccionador

La información para crear el encabezado del protocolo de comunicaciones lo toma desde la base de datos. Dicha información se debe agregar previamente mediante la interfaz gráfica de la aplicación Redireccionador, tal y como se muestra en la figura 5.31.

La interfaz gráfica de la aplicación Redireccionador, titulada 'Interfaz para redireccionamiento', contiene un formulario de configuración de base de datos y una tabla de configuración de NAT.

Base de datos	Nombre tabla NAT	Dirección IP	Puerto	Usuario	Contraseña	
em	tablanat	localhost	3306	fmontenegro	*****	Desconectar de la BD

Pto Local	IP Gateway	Pto Gateway	IP Módulo	Pto Módulo	Pto Config
23	192.168.1.6	23	192.168.2.6	Serie 2	6000

En la parte inferior de la interfaz, hay un formulario para agregar o actualizar una configuración de NAT:

24	192.168.1.6	23	192.168.3.1	Serie 1	6000	Agregar/Actualizar
----	-------------	----	-------------	---------	------	--------------------

Figura 5.31 Interfaz gráfica de la aplicación Redireccionador

La información incluye los valores especificados en la figura 5.32.

Número de puerto local	IP del módulo para puerta de enlace	Puerto del módulo para puerta de enlace	IP del módulo destino	Puerto de configuración del módulo destino	Interfaz serie destino
------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------------	-----------------------	--------------------------------------------	------------------------

Figura 5.32 Información utilizada por la aplicación Redireccionador

A continuación se describe cada uno de los parámetros:

- Número de puerto local: número de puerto por el cual el servidor escucha nuevas conexiones provenientes de las aplicaciones no compatibles con el protocolo de comunicaciones. Existe un número de puerto por cada dispositivo al que se quiera conectar.
- IP del módulo para puerta de enlace: corresponde a la dirección IP del módulo que permite salir de la red de área local hacia otros módulos.
- Número de puerto del módulo para puerta de enlace: corresponde al número de puerto del módulo que permite salir de la red de área local hacia otros módulos.
- IP del módulo destino: es la dirección IP del módulo con el que se quiere comunicar. Esta información se incluye en el encabezado del protocolo de comunicaciones.
- IP del módulo destino: es la dirección IP del módulo con el que se quiere comunicar. Esta información se incluye en el encabezado del protocolo de comunicaciones.
- Número de puerto de configuración del módulo destino: este número de puerto se utiliza para configurar al módulo para que pueda responder al número de puerto que en ese momento escogió el servidor para la conexión con el dispositivo de puerta de enlace. Para la escogencia de cual número de puerto configurar se utiliza la información del próximo parámetro.

- Interfaz serie destino: se especifica el puerto serie del PXI15 destino con el que se quiere comunicar. Puede ser puerto serie 1 o puerto serie 2. Esta información es utilizada por el parámetro anterior para determinar cual de los dos puertos configurar para que puedan enviar respuestas.

En la figura 5.33 se muestra el diagrama de flujo de la aplicación Redireccionador.

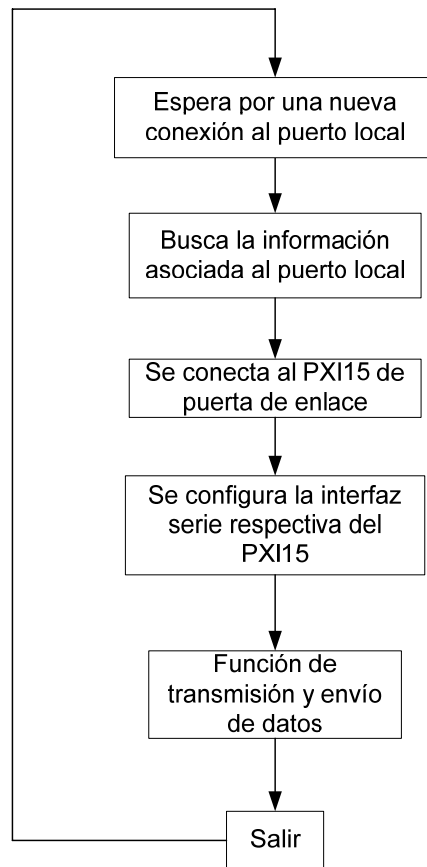


Figura 5.33 Diagrama de flujo principal de la aplicación Redireccionador

En la aplicación Redireccionador una de las funciones principales es la transmisión y envío de datos. Cuando los datos provienen de la aplicación no compatible con el protocolo de comunicaciones se encapsulan en el protocolo y se envían al PXI15 que se encuentra funcionando como puerta de enlace para que lo envíe al PXI15 destino a través de la función de enrutamiento. Cuando los datos

proviene del PXI15 se les quita el encabezado del protocolo de comunicaciones PID y se envía la información a la aplicación.

En la figura 5.34, se muestra el diagrama de flujo de la función de envío y transmisión de datos.

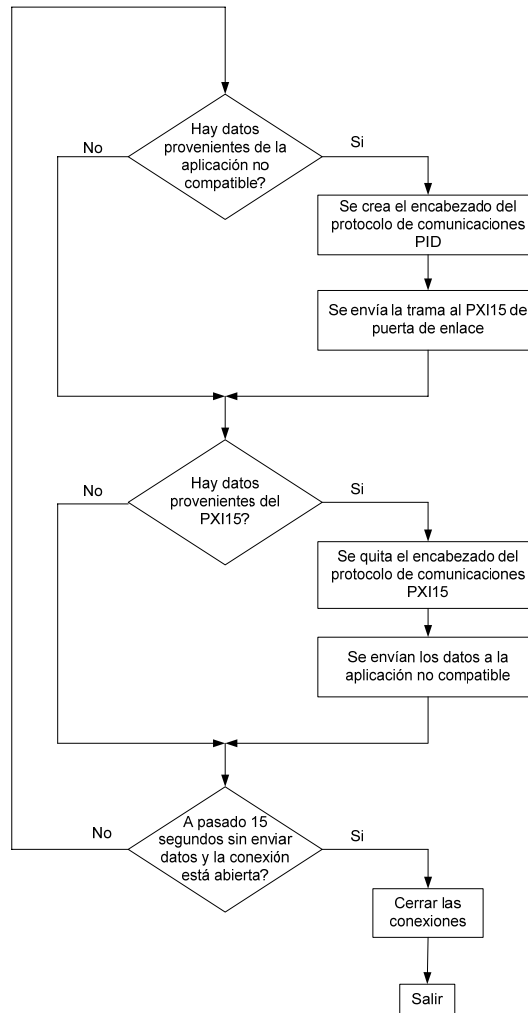


Figura 5.34 Diagrama de flujo de la función de envío y transmisión de datos

5.4.7 Aplicación: Almacenamiento de datos de las estaciones meteorológicas (ADEM)

La aplicación de almacenamiento de datos ADEM fue programada con el lenguaje JAVA y permite almacenar los datos provenientes de un archivo con extensión .dat, en la base de datos.

Para agregar nuevas estaciones meteorológicas, tablas para una estación meteorológicas, o celdas para una tabla se utiliza la interfaz gráfica de la aplicación, tal y como se muestra en la figura 5.35. Para acceder a esta aplicación se utiliza la aplicación CPG. Nótese en la figura 5.35 que para cada celda se agrega un valor promedio y un porcentaje de variación lo cual permite determinar si existe algún dato fuera de rango cuando se almacenan estos en la base de datos. En caso que el porcentaje de variación sea -1 para una celda se omite la revisión de los datos de ésta celda.

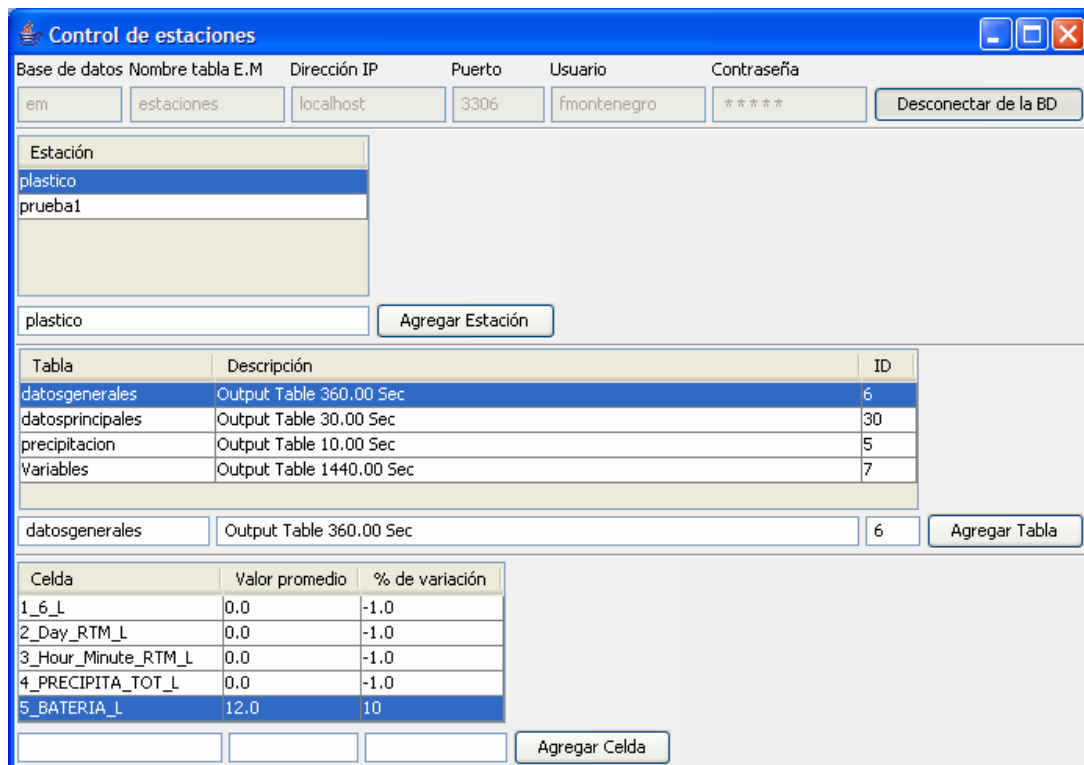


Figura 5.35 Interfaz gráfica de la aplicación de almacenamiento de datos para agregar estaciones, tablas, y celdas

La aplicación de almacenamiento de datos ADEM toma los datos de un archivo de texto el cual es reescrito previamente por Loggernet. El archivo de texto tiene el nombre `nombre_de_la_estacion_meteorológica.dat`, y es revisado cada cierto tiempo (configurable). Una vez abierto el archivo se lee cada línea la cual contiene los datos separados por coma y se pasan los datos a un arreglo, se revisa cada dato y se determina si está fuera de rango para enviar un correo electrónico indicando el error. Como último paso se agregan los datos de la línea en la tabla correspondiente. En la figura 5.36 se muestra el diagrama de flujo de la aplicación de almacenamiento de datos ADEM.

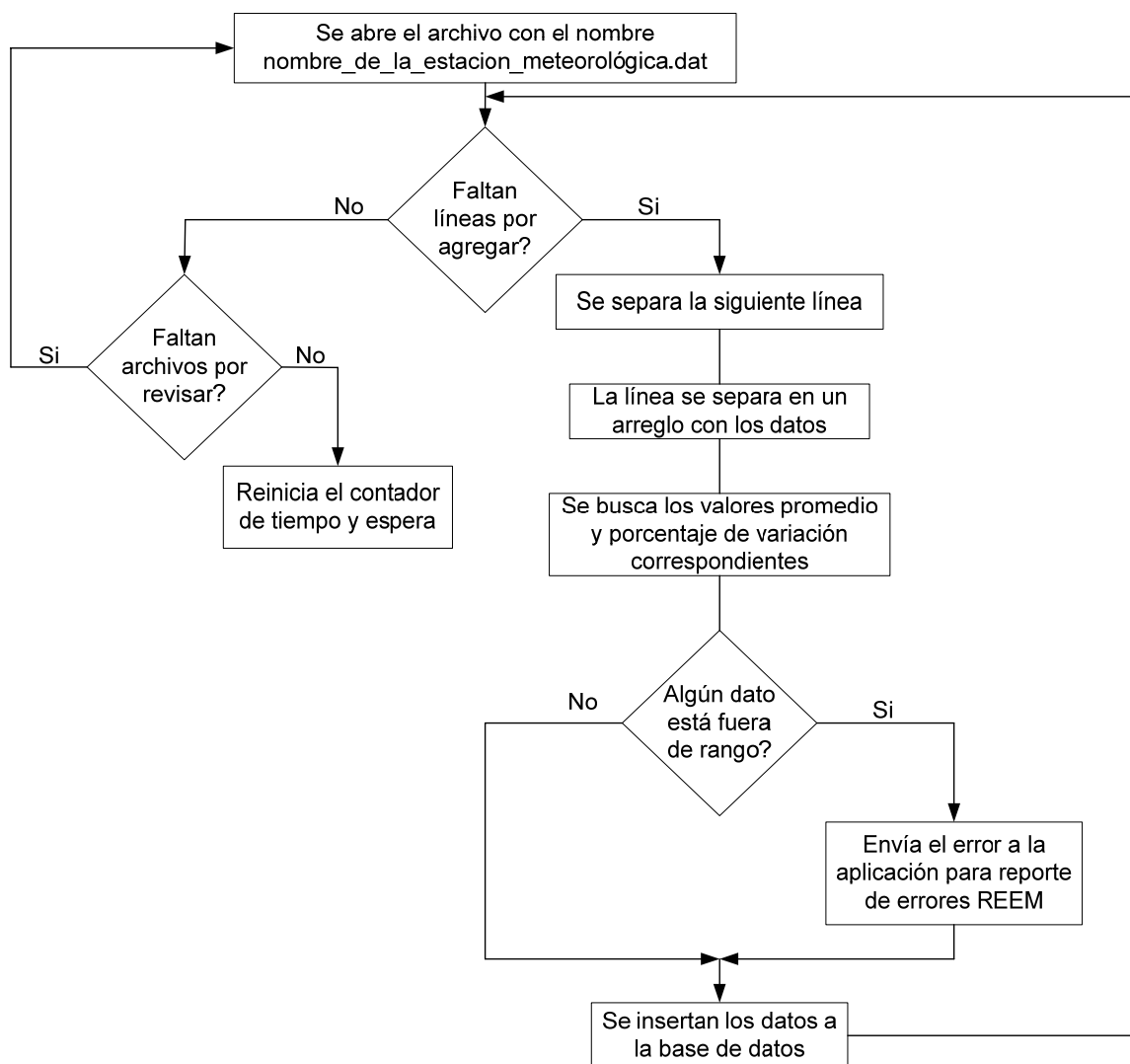


Figura 5.36 Diagrama de flujo de la aplicación de almacenamiento de datos ADEM

5.4.8 Aplicación: Reporte de errores de las estaciones meteorológicas (REEM)

La aplicación de reporte de errores REEM fue programada con el lenguaje JAVA y se encarga de recibir los reportes de error a través del protocolo de comunicaciones diseñado. Esto permite que tanto los PXI15 como la aplicación de almacenamiento de datos ADEM puedan reportar los errores.

La aplicación fue diseñada con hilos por lo cual se pueden recibir múltiples reportes simultáneamente sin sufrir algún retraso mientras se envía el correo electrónico.

Una vez recibido el reporte se quita el encabezado del protocolo de comunicaciones PID y se envían los datos (reporte del error) vía correo electrónico a una dirección configurable.

En la figura 5.37 se muestra el diagrama de flujo de la aplicación de reporte de errores REEM.

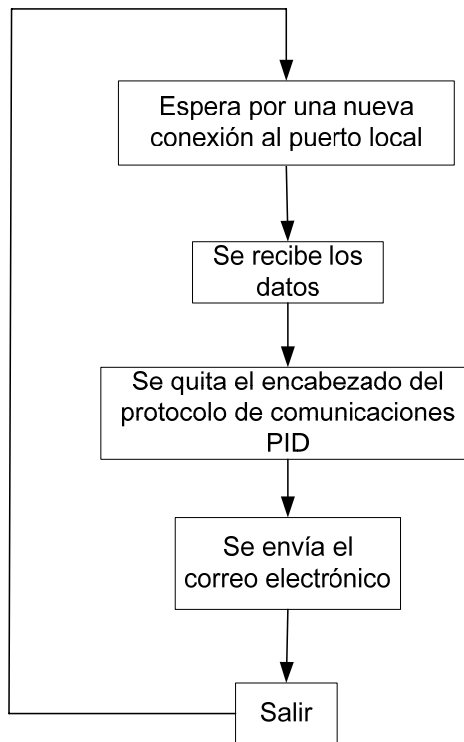


Figura 5.37 Diagrama de flujo de la aplicación para reporte de errores REEM

5.4.9 Aplicación: Visualización de datos de telemetría (VIDAT)

La aplicación VIDAT permite a los investigadores revisar los datos de la estación meteorológica desde una página WEB, tal y como se muestra en la figura 5.38. Para esto se utilizó el lenguaje de programación de páginas dinámicas PHP que trabaja en conjunto con HTML. Con PHP se realizan las consultas a la base de datos MySQL y se despliegan los datos en la página WEB.

http://192.168.1.2/visualizar/ver_datos.php?tabla=datosgenerales&est=plastico - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address http://192.168.1.2/visualizar/ver_datos.php?tabla=datosgenerales&est=plastico

Organización para Estudios Tropicales
donde la ciencia y la naturaleza convergen

Estación Meteorológica: plastico
Tabla: datosgenerales

Fecha Hora	1_6_L	2_Day_RTM_L	3_Hour_Minute_RTM_L	4_PRECIPITA_TOT_L	5_BATERIA_L
2006-09-03 15:33:32	6	180	1800	7.62	20
2006-09-03 15:33:38	6	181	0	18.8	12.72
2006-09-03 15:33:43	6	181	600	126.2	12.69
2006-09-03 15:33:46	6	181	1200	47.75	13.21
2006-09-03 15:33:49	6	181	1800	36.83	12.74
2006-09-03 15:33:50	6	182	0	7.87	12.69
2006-09-03 15:33:52	6	182	600	10.92	12.69
2006-09-03 15:33:53	6	182	1200	3.81	12.98
2006-09-03 15:33:54	6	182	1800	0	13.08
2006-09-03 15:33:55	6	183	0	0	12.74
2006-09-03 15:33:56	6	183	600	27.18	12.69
2006-09-03 15:33:57	6	183	1200	3.81	13.01
2006-09-03 15:33:59	6	183	1800	0	12.99
2006-09-03 15:34:01	6	184	0	0	12.72
2006-09-03 15:34:02	6	184	600	0	12.76

Figura 5.38 Página WEB para la visualización de los datos VIDAT

Para implementar PHP se requiere del intérprete de PHP [9] el cual es gratuito y se puede bajar de la red de Internet. Además se requiere del servidor de HTTP que en este caso es Apache [4], de igual forma es gratuito y se puede descargar de Internet.

En la tabla 5.11 se muestran los archivos que componen la página WEB y su descripción.

Tabla 5.11 Descripción de los archivos que conforman la página WEB

Archivo	Descripción
Index.php	Archivo principal de PHP que llama a Ver_estaciones.php
Conexion.php	Abre la conexión con la base de datos MySQL
Cerrar_conexion.php	Cierra la conexión con la base de datos MySQL
Ver_estaciones.php	Permite visualizar las estaciones actuales y proporciona un enlace para revisar los datos de dicha estación
Ver_tablas.php	Permite visualizar las tablas de una estación meteorológica y además proporciona el enlace para visualizar los datos de dicha tabla, o para visualizar los valores promedio de la tabla
Ver_datos.php	Permite visualizar los datos de la tabla seleccionada
Ver_valprom.php	Permite visualizar los valores promedio y porcentajes de variación de las celdas de una tabla

5.4.10 Aplicación: Emulador de terminal para acceso a las estaciones meteorológicas (ETEM)

La aplicación ETEM fue programada con el lenguaje JAVA y permite comunicarse directamente con cualquier de los puertos serie del PXI15 y poder comunicarse con las estaciones meteorológicas.

Cabe destacar que dicha aplicación fue desarrollada por formar parte de los objetivos, sin embargo la comunicación con la estación meteorológica también puede establecerse desde cualquier emulador de terminal TTY que se conecte con el protocolo TCP/IP a la aplicación Redireccionador. La ventaja de la aplicación ETEM para el acceso a las estaciones meteorológicas es que no es desconectada después de 15 segundos de inactividad.

En la figura 5.39, se muestra la aplicación ETEM. La aplicación realiza dos tareas bien definidas: transmisión de datos digitados por el usuario, recepción de los

datos provenientes de la estación meteorológica. En la figura 5.40 se muestra el diagrama de flujo de la función de transmisión y en la figura 5.41 se muestra el diagrama de flujo de la función de recepción, ambas de la aplicación ETEM.

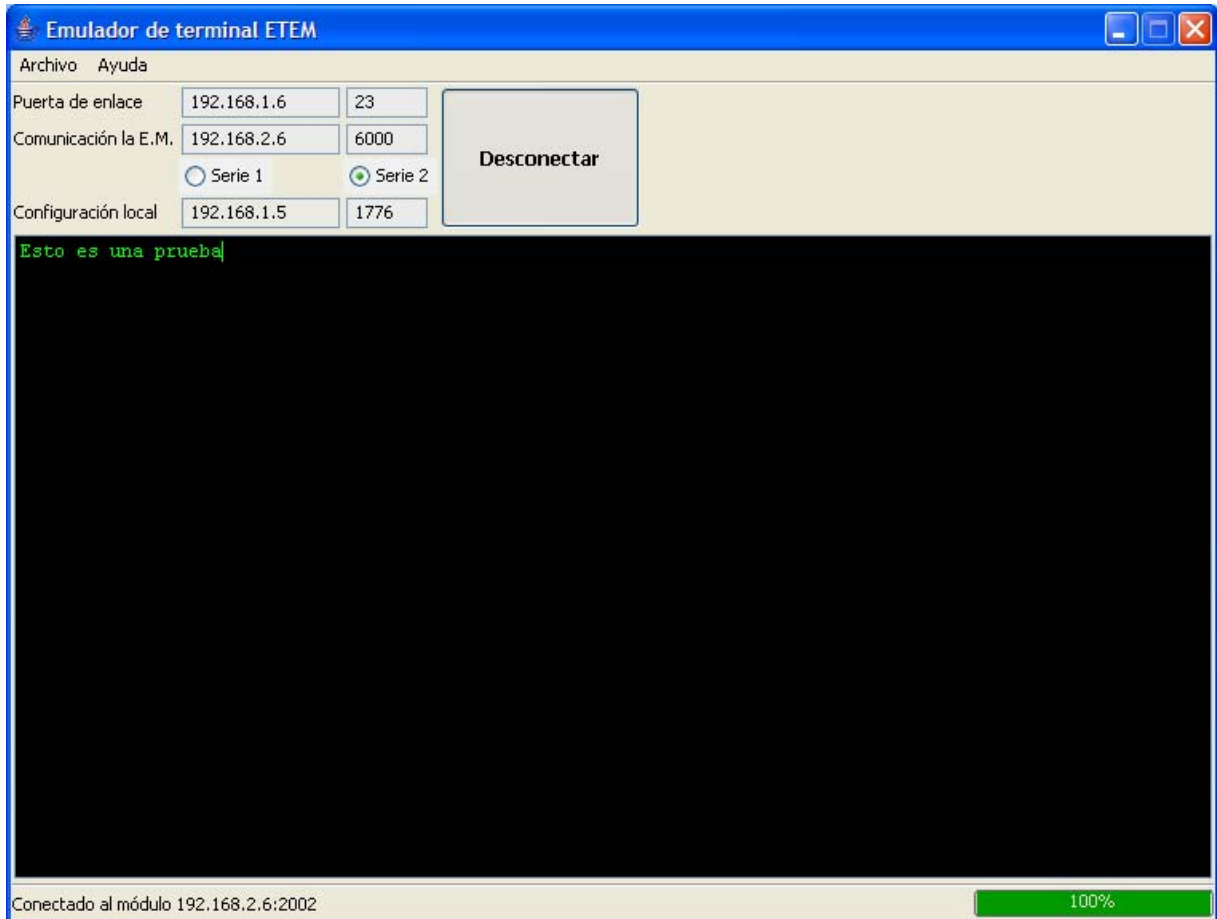


Figura 5.39 Aplicación ETEM

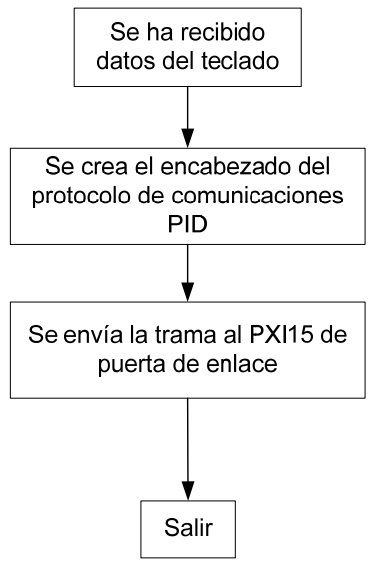


Figura 5.40 Diagrama de flujo de la función de transmisión de la aplicación ETEM

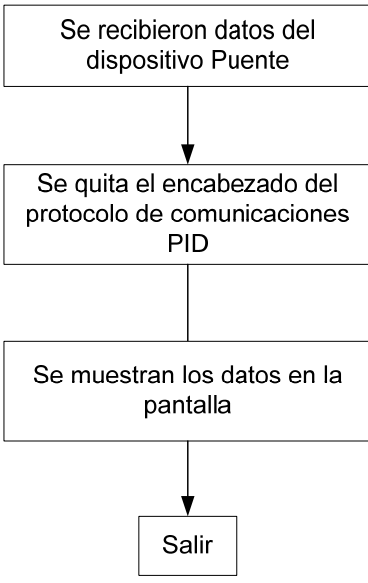


Figura 5.41 Diagrama de flujo de la función de recepción de la aplicación ETEM

Capítulo 6: Análisis de Resultados

En este capítulo se muestran los resultados del proyecto con su respectivo análisis. En el análisis se presentan resultados de las pruebas del radio enlace, los resultados del sistema de recolección y almacenamiento, y al final se detallan los alcances y limitaciones del sistema SysRAV-T. En la figura 6.1 se muestra una fotografía del PXI15 con su alimentación propia.



Figura 6.1 Fotografía del PXI15

La alimentación del PXI15 se realiza con una batería de 12V, la cual se carga con dos celdas solares de 7.5V cada una. Además, una pila de 3V es necesaria para

alimentar la memoria SRAM del RCM3720 RabbitCore en caso que la alimentación principal falle, y de esta manera evitar perder los datos almacenados en el PXI15.

El PXI15 requiere de 80mA para operar, esto quiere decir que la batería de 12V y 7Ah, podría alimentar al PXI15 durante 87.5 horas esto sin recargar la batería. A pesar de esto se debe revisar la batería al menos una vez al año para verificar que no existan derrames debido a las condiciones ambientales a las que estará expuesta.

Cuando la alimentación principal falla, el RCM3720 RabbitCore puede alimentar su memoria SRAM con 3V, y para esto se utiliza una pila de litio de 3V que tiene una capacidad de corriente de 165 mAh. El RCM3720 RabbitCore consume alrededor de 6 μ A por lo que la batería puede durar hasta 4.5 años. Sin embargo, se recomienda revisar la batería cada año para verificar que no existan derrames provocados por las condiciones ambientales.

Para observar los resultados, se mostrará paso a paso la transferencia de un archivo a través del puerto serie de un computador hasta otro computador conectado a la red de área local, posteriormente el archivo es abierto y se pasan los datos a la base de datos, con lo cual pueden ser observados con de la página WEB.

Debido a que no se tiene un datalogger para generar los datos, se transmitirá un archivo de 51KB que representa los datos de 15 días de la estación meteorológica Plástico.

Con lo mostrado en el capítulo se comprueba el cumplimiento de todos los objetivos, requisitos, e incluso se superó la meta al reducirse el tiempo de recolección de los datos en más del 99% considerándose el proyecto exitoso.

6.1 Prueba de los radio enlaces

Esta prueba se realizó con la función de prueba incluida en la aplicación del protocolo de comunicaciones PID.

Aunque la prueba fue simple, para el ambiente donde se realizó fue la forma más efectiva de probar el enlace. Cabe destacar que en una zona de montaña no hay electricidad para conectar dispositivos de medición, además un posible transporte de estos instrumentos es peligroso y nada saludable ya que estos equipos por lo general son pesados. Como recomendación cuando se realice una prueba de éstas lleve solamente la antena, el PXI15, y la batería de 12V. Además lleve el equipo en algún bolso que proteja el equipo del agua en caso de lluvia y de golpes en caso de una caída.

Para las mediciones se estableció la potencia de transmisión de los equipos a 1000mW y la tasa de transferencia a 9600bps. Estos valores se establecieron así para comprobar si a máxima potencia y con la mayor ganancia de las antenas que se tienen se lograba realizar el enlace. En la tabla 6.1, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 6.1 Resultados de las mediciones de los radio enlaces

Medición	Ganancia de las antenas		Hay señal
Centro de investigación – Torre Ciclos	Centro de investigación (2.1 dB)	Torre Ciclos (2.1 dB)	Si
Centro de investigación – Torre Ciclos	Centro de investigación (2.1 dB)	Torre Ciclos (6 dB)	Si
Centro de investigación – Ciclos	Centro de investigación (6 dB)	Torre Ciclos (6 dB)	Si
Torre Ciclos – Río Frío	Torre Ciclos (2.1 dB)	Río Frío (2.1 dB) *	Si pero intermitente
Torre Ciclos – Río Frío	Torre Ciclos (6 dB)	Río Frío (2.1 dB) *	Si
Torre Ciclos – Río Frío	Torre Ciclos (6 dB)	Río Frío (6 dB) *	Si
Río Frío – estación meteorológica Plástico	Río Frío (2.1 dB) *	Estación meteorológica Plástico (2.1 dB)	Si pero intermitente
Río Frío – estación meteorológica Plástico	Río Frío (2.1 dB) *	Estación meteorológica Plástico (6 dB)	Si
Río Frío – estación meteorológica Plástico	Río Frío (6 dB) *	Estación meteorológica Plástico (6 dB)	Si

* En Río Frío las mediciones se realizaron con una altura de la antena menor a los 3 metros.

Una nota importante es que la torre Ciclos no cuenta con un pararrayos el cual es indispensable para evitar daños en el PXI15 ante descargas eléctricas nube-tierra.

La torre Ciclos se ubica dentro de la estación biológica La Selva en Sarapiquí, que a su vez pertenece a la vertiente del caribe desde el punto de vista meteorológico. Al ser la torre Ciclos construida con metal y ser uno de los puntos más altos en el bosque primario de la estación biológica La Selva, la probabilidad de que un rayo caiga a la torre Ciclos es alta. Incluso en el boletín meteorológico del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica se muestra que para julio del año 2005 hubo un total de 70590 descargas eléctricas nube tierra en todo el país, además las regiones de la zona norte y la vertiente del caribe son las que presentan mayor densidad de descargas nube tierra. [6].

Al ser la torre Ciclos uno de los sitios escogidos para la instalación de un PXI15, se recomienda la instalación de un pararrayos para evitar que alguna descarga eléctrica dañe al PXI15.

El PXI15 al ser un prototipo no se le diseñó una caja de protección para ambientes externos, sin embargo basándose en las condiciones de la zona de Sarapiquí (lluvia, alta humedad, altas temperaturas), se determinó que es necesario la utilización de una caja NEMA 4 con un índice de protección de ingreso IP66 o IP67, la cual protege al equipo ante chorro de agua, radiación solar, humedad, y otras variables que podrían dañarlo. Otras cajas con categoría menor a NEMA 4 no son resistentes a la condición de chorro de agua, por lo que no se recomiendan debido a la alta precipitación que presenta la zona de Sarapiquí.

Si se comparan los resultados obtenidos con los mostrados en los cálculos matemáticos (véase las tablas: tabla 5.2, tabla 5.3, y tabla 5.4), se comprueba que los cálculos son correctos. Aunque las mediciones con la antena de 2.1 dB en Río Frío no son estables, se debe contemplar que la altura a la que se ubicó la antena fue menor a los 3 metros, además la medición se hizo sobre la carretera existiendo algunos árboles alrededor.

Con esto se cumple el objetivo de desarrollar el enlace de radio frecuencia para un alcance de 15 Km. Ya que si se suman las 3 distancias de los enlaces se tiene una distancia total de 32.17 Km, lo cual va más allá de las expectativas del proyecto.

6.2 Prueba del sistema de transmisión y almacenamiento de datos

Esta es la prueba más importante ya que demuestra el funcionamiento del sistema. Esta prueba se divide en dos partes, la primera incluye la transmisión de un archivo a través del puerto serie de un computador hasta otro computador conectado a la red de área local, y la segunda es pasar los datos de este archivo a la base de datos MySQL para posteriormente ser consultados por medio de la página WEB. En la figura 6.2 se muestra la topología implementada para la prueba.

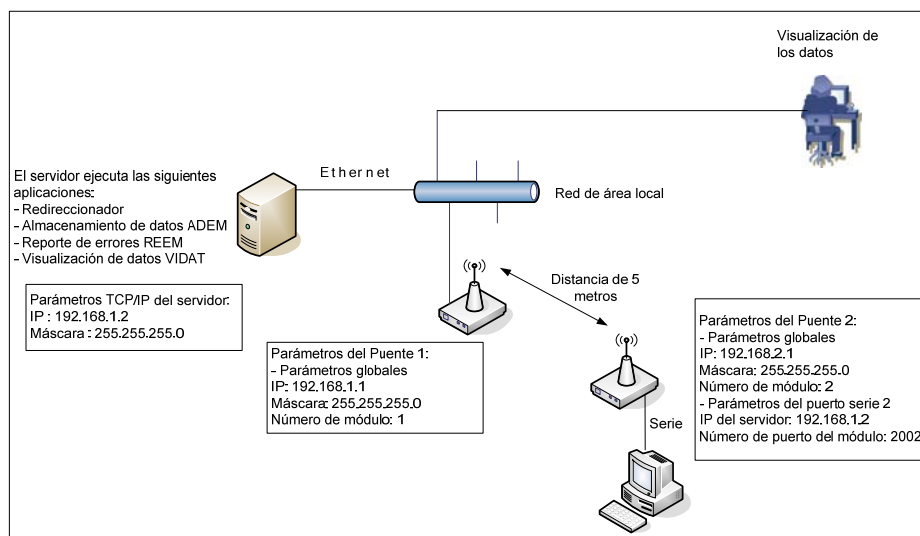


Figura 6.2 Topología implementada para la prueba

Debido a que no se dispone de un datalogger para pruebas, éste se simulará con un computador conectado por el puerto serie (mediante la transmisión del archivo `plastico.dat`), tal y como se muestra en la figura 6.3. Para la prueba se utilizó el programa Tera Term [12].

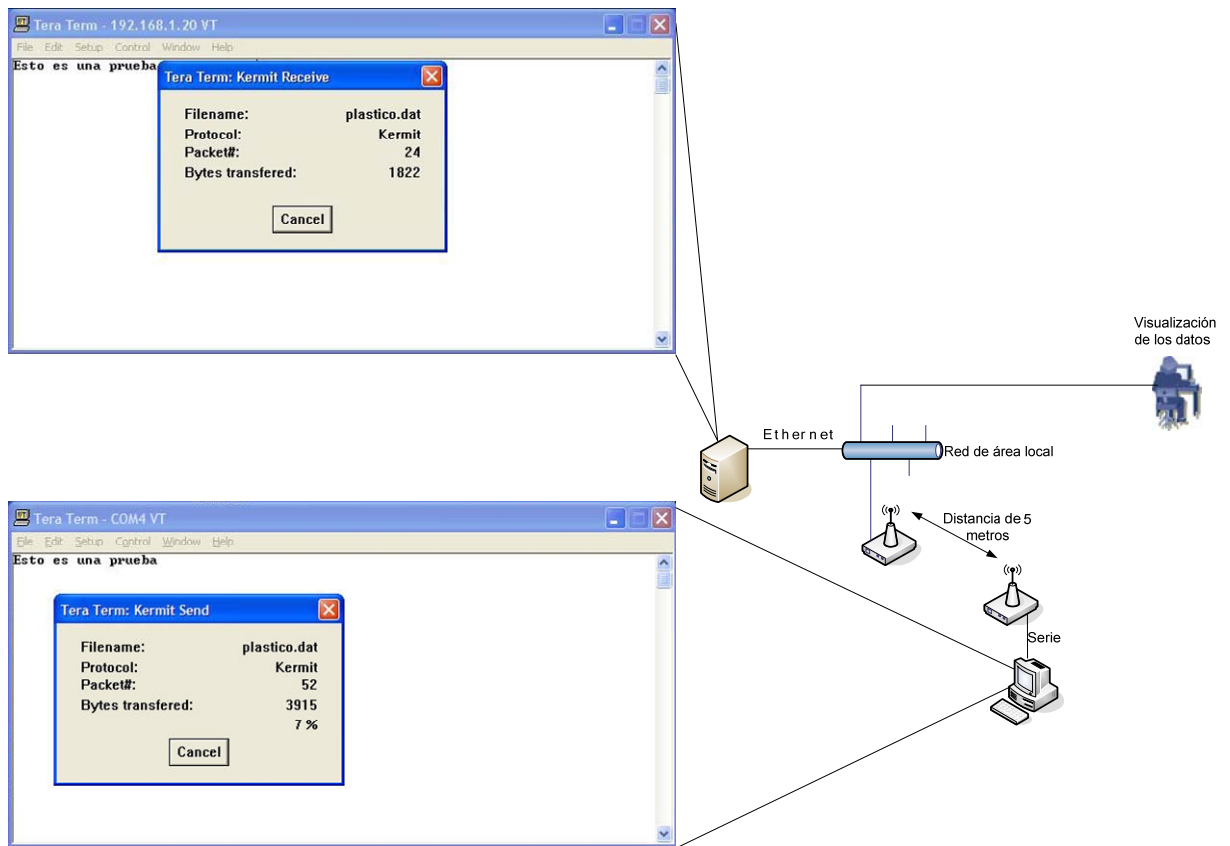


Figura 6.3 Transferencia del archivo llamado *plastico.dat*

En la prueba se transmitió un archivo de 51KB (mediciones de 15 días) y tardó 9 minutos.

Durante la transferencia de los datos el computador envía éstos al PXI15, el PXI15 les coloca el encabezado del protocolo de comunicaciones PID. Nótese en la figura 5.21 que el encabezado es apenas un 7% de la longitud total de la trama, lo cual se transforma en ahorro de energía cuando se transfieren las tramas.

Una vez almacenados los datos con el nombre *plastico.dat*, el sistema de almacenamiento revisa el archivo y transfiere los datos a la base de datos. Esto tomó aproximadamente 5 minutos. En la figura 6.4 se muestran los datos en la página WEB diseñada.

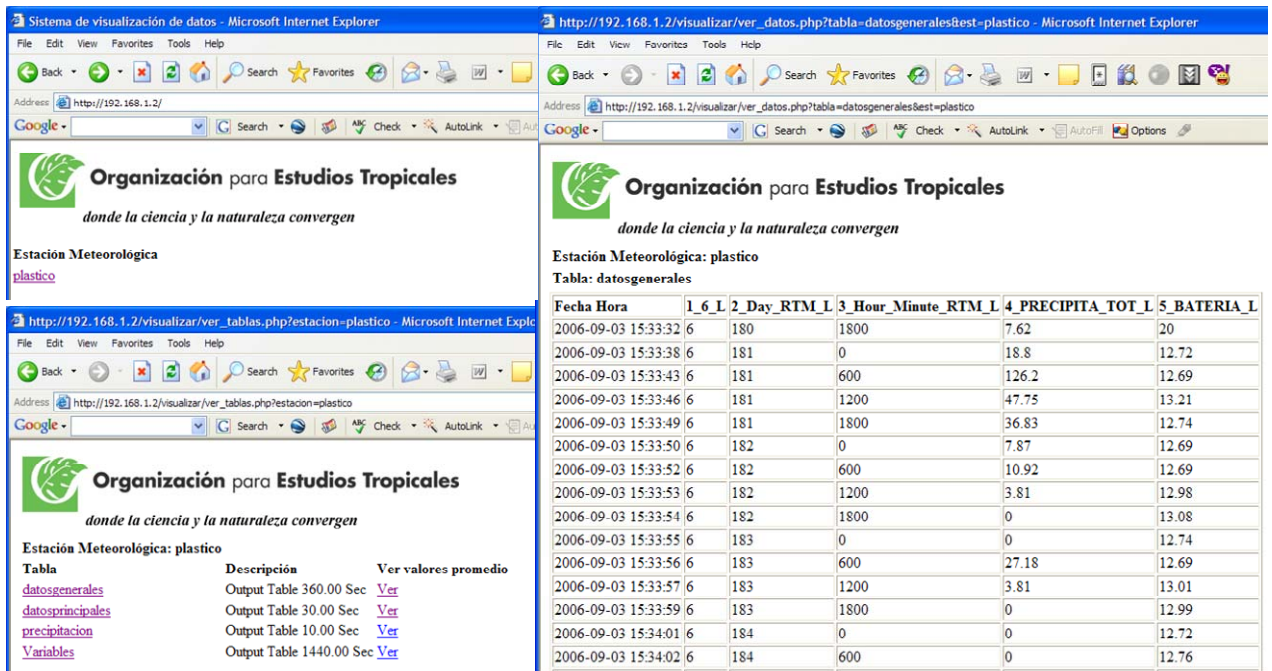


Figura 6.4 Visualización de los datos a través de la página WEB

Cabe destacar que si se suman los 9 minutos (tiempo de transferencia del archivo) con los 5 minutos del almacenamiento del archivo en la base de datos, se tiene un total de 14 minutos. Anteriormente esta recolección tardaba 15 días, es decir 21600 minutos, por ende la reducción en el tiempo de recolección de datos es de 99.93% para la prueba realizada.

En el ambiente normal de operación, el programa Loggernet captura los datos cada 30 minutos y la aplicación de almacenamiento en la base de datos revisa cada 5 minutos (tiempo por defecto) si existen nuevos datos, por lo cual 35 minutos de captura de datos representa 99.83% de reducción en el tiempo.

Otra prueba realizada fue la alteración de uno de los datos de la medición, como consecuencia un correo electrónico fue enviado. En la figura 6.5 se muestra el mismo.



Figura 6.5 Correo electrónico recibido como resultado de la introducción de un dato fuera de rango

6.3 Alimentación del PXI15

En condiciones de baja radiación solar, donde las celdas entregarían una corriente de carga baja no se realizó un análisis detallado de la vida útil de la batería de 12V y 7Ah. Además la vida útil es disminuida debido a las condiciones ambientales de lluvia y humedad en las que estaría presente.

Para la condición de que las celdas solares no proporcionen corriente de carga y que la batería de 12V se encuentra totalmente cargada, se determinó que la batería puede alimentar el sistema durante 87.5 horas (3.6 días). Debe recordarse que el PXI15 utilizando la máxima potencia de transmisión, se alimenta con 80mA durante el estado de espera que es la mayor parte del tiempo, y con 730mA para el estado de transmisión.

La batería de 12V y 7Ah se escogió bajo el criterio de que los dispositivos electrónicos del PXI15 requerían de 12V para funcionar. El valor de 7Ah es el valor de corriente más alto que se puede encontrar en Costa Rica para esta batería.

Para la implementación del PXI15 en los sitios donde no hay alimentación eléctrica, se recomienda utilizar inicialmente dos baterías de 12V y 7Ah en paralelo para que el PXI15 pueda funcionar durante una semana tomando como condición que las celdas solares no entregarán corriente para la carga de la batería.

6.4 Alcances y limitaciones del sistema SysRAV-T

En la esta sección se detallan los principales alcances y limitaciones del sistema SysRAV, permitiendo establecer posteriormente posibles mejoras al sistema.

Una de las limitaciones corresponde a que para la instalación del PXI15 no se cuenta con una prueba que permita medir en forma remota ni local la potencia de recibida por el xTend y lograr un mejor resultado durante la instalación del equipo.

Otra limitación es que en el momento de configurar al PXI15 no se realiza autenticación, por lo que existe la vulnerabilidad de acceso a estos equipos sin autorización.

La visualización de los datos con la aplicación VIDAT es limitada ya que no se pueden visualizar gráficos de tendencia de las mediciones, ni tampoco se pueden seleccionar rangos de fechas para el despliegue de los datos.

El PXI15 no cuenta con una caja NEMA 4 por lo que es importante advertir que el equipo no puede ser instalado sin esta protección ya que se provocarían daños en los circuitos.

Un alcance es que con la aplicación Config-PXI15 se puede observar como un PXI15 aprende de manera automática las rutas a los diferentes destinos. En la figura 6.6 se muestra como el PXI15 aprende una ruta de forma dinámica. Esto se debe a que el protocolo de enrutamiento PIR es capaz de enseñar rutas de forma automática a los dispositivos PXI15. La ruta enseñada al PXI15 corresponde a la ruta más corta al destino.

Con el protocolo de enrutamiento PIR y el protocolo de comunicaciones PID se puede ubicar a los PXI15 en un solo dominio de difusión (lo que transmite un PXI15 lo escuchan todos), lo que evita la utilización de varias frecuencias para la transmisión, así como la utilización de topologías punto a punto, punto a multipunto, y otras.

Tabla de enrutamiento

Tipo	Red destino	Máscara	Salto	Costo	Interfaz	Tiempo
Dinámico	192.168.1.0	255.255.255.0	1	1	RF	15
Estático	192.168.2.0	255.255.255.0	255	0	ETHERNET	0
Dinámico	0.0.0.0	0.0.0.0	1	1	RF	15

Figura 6.6 Aprendizaje dinámico de rutas a través del protocolo de enrutamiento PIR

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- El sistema SysRAV-T reduce el tiempo de recolección de datos de 15 días a 35 minutos.
- El protocolo PID permite la comunicación entre los PXI15, ahorrando energía enviando tramas de 256 octetos con un 7% de encabezado.
- El protocolo de enrutamiento PIR es capaz de enseñar automáticamente la ruta más corta al destino, a los PXI15.
- El algoritmo de enrutamiento desarrollado permite comunicarse con varios PXI15 sin necesidad de establecer topologías par-a-par, punto-multipunto, etc.
- El PXI15 implementado permite la transmisión de datos de las estaciones meteorológicas hasta la red de área local, de forma inalámbrica.
- La aplicación de almacenamiento de datos ADEM es capaz de almacenar éstos en la base de datos MySQL. Manteniendo información actualizada constantemente.
- La aplicación de visualización de datos VIDAT permite a los investigadores acceder a los datos de forma rápida para sus investigaciones.
- La aplicación VIDAT no permite realizar consultas por rango de fechas, ni graficar.
- La aplicación de reporte de errores REEM es capaz de enviar un correo electrónico sobre algún error a notificar.
- La aplicación ETEM permite el acceso a la estación meteorológica de forma remota aumentando la disponibilidad de ésta en caso de daño.
- El PXI15 no mide la potencia de la señal recibida.
- El PXI15 no autentica a los usuarios cuando se realizan cambios a la configuración.

- El PXI15 puede desconectarse cuando la potencia de transmisión, el canal, o la velocidad del enlace de RF son cambiados.
- Se determinó que la torre Ciclos está ubicada en una de las zonas donde la densidad de descargas eléctricas nube tierra es muy alta.
- Al ser el PXI15 un prototipo no se le diseñó una caja de protección para las condiciones de lluvia, humedad, y radiación solar.
- La batería de 12V y 7Ah sin recibir corriente de carga de las celdas solares, puede alimentar al PXI15 durante 3.6 días.

7.2 Recomendaciones

- Implementar un método en el protocolo de comunicaciones PID para la medición en forma remota de la potencia de la señal recibida por cada PXI15.
- Implementar en el PXI15 un LCD que permita la visualización en forma local, de la potencia de la señal recibida por el PXI15.
- Implementar un método de autenticación en el protocolo de comunicaciones para evitar el acceso a la configuración de los PXI15.
- Se recomienda no cambiar los parámetros de potencia de transmisión, canal, y velocidad del enlace de RF de forma remota para evitar la desconexión del PXI15.
- Mejorar la consulta y visualización de los datos con opciones para graficar, crear archivos, y escoger rangos de fecha.
- Se recomienda la instalación de un pararrayos en la torre Ciclos para evitar el daño del PXI15 ante una tormenta eléctrica.
- Se recomienda resguardar el PXI15 en una caja NEMA 4 con un índice de protección de ingreso IP66 o IP67, para proteger al PXI15 de las condiciones de lluvia, humedad, y radiación solar.
- Para la implementación del PXI15 en sitios donde no hay alimentación eléctrica, se recomienda utilizar dos baterías de 12V y 7Ah para aumentar la disponibilidad del PXI15 en caso de que las celdas solares no proporcionen corriente de carga debido a una baja radiación solar.

Bibliografía

Libros

- [1] Cisco Systems, Academia de Networking de Cisco Systems. Guía del primer año CCNA 1 y 2. 3 ed. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, 2004.
- [2] Ferrel G. Stremler. Introducción a los Sistemas de Comunicación. 3 ed. México: Addison Wesley Iberoamericana, 1993.

Páginas WEB

- [3] Aerocomm. Transceiver AC4790 [en línea]. 2006. <http://www.aerocomm.com/rf_transceiver_modules/ac4790_mesh-ready_transceiver.htm> [Consulta: 20 enero 2006].
- [4] Apache Software Foundation. Sitio Web de Apache [en línea]. 2006. <<http://www.apache.org/>> [Consulta: 5 agosto 2006].
- [5] Campbell Scientific. Sitio Web de Campbell Scientific [en línea]. 2000. <<http://www.campbellsci.com/index.cfm>> [Consulta: 8 abril 2006].
- [6] Instituto Meteorológico Nacional – Costa Rica. Boletín meteorológico año XXVIII Julio 2005 [en línea]. 2005. <www.imn.ac.cr/boletin/met/BOLETIN%20METEOROLOGICO%20JULIO-2005.pdf> [Consulta: 21 setiembre 2006].
- [7] Maxstream. XTend OEM RF Module [en línea]. 2006. <<http://www.maxstream.net/products/xtend/oem-rf-module.php>> [Consulta: 20 enero 2006].
- [8] Modtronix Engineering. Sitio Web [en línea]. Australia. 2006 <<http://www.modtronix.com>> [Consulta: 17 febrero 2006].
- [9] PHP. Sitio Web del interprete de hipertexto PHP para páginas WEB [en línea]. 2006. <<http://www.php.net/>> [Consulta: 5 agosto 2006].
- [10] Organización para Estudios Tropicales (OET). Sitio Web de la OET [en línea]. 1999-2000. <<http://www.ots.ac.cr/es/>> [Consulta: 20 enero 2006].

- [11] Rabbit Semiconductor. Sitio WEB [en línea]. USA. 2006
<<http://www.rabbitsemiconductor.com/>> [Consulta: 17 febrero 2006]
- [12] Tera Term. Sitio WEB [en línea]. 1996-1999.
<http://hp.vector.co.jp/authors/VA002416/teraterm.html> [Consulta: 25 agosto 2006]
- [13] Winncom Technologies. 8.1 dBi Omni Antenna with Mount, 902 - 928 MHz Frequency range [en línea]. 2002-2005.
<<http://www.winncom.com/moreinfo/item/WRO900-80/index.html>> [Consulta: 20 enero 2006].

Documentos

- [14] García Ramírez, Ronny Giovanni. Diseño e implementación de las capas física, de enlace de datos, y de red para una red inalámbrica de sensores en el Bosque. Proyecto de graduación. Cartago: I-2006.
- [15] Umeyama, Yoshihisa. Microwave-link propagation path design. Versión 1.2. Febrero 1994.

Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

ArcGIS: programa de computadora con información geográfica, utilizado para observar las condiciones de la topografía del terreno.

ASCII: American Standard Code for Information Interchange. Es un código de caracteres basado en el alfabeto inglés y que representa texto en computadoras, equipo de comunicaciones y otros dispositivos que trabajan con datos en forma de texto.

CRO: oficina administrativa de la Organización para Estudios Tropicales en Costa Rica.

Datalogger: sistema de control y almacenamiento de datos de telemetría de las estaciones meteorológicas. El datalogger es una parte de la estación meteorológica.

Dynamic C: Lenguaje de programación de alto nivel propietario de Rabbit Semiconductor.

Estación biológica: reserva biológica dedicada a la conservación e investigación de los recursos naturales.

Estación meteorológica: dispositivo electrónico que almacena datos meteorológicos provenientes de diferentes sensores.

Ethernet: Arquitectura de red de área local desarrollada por Xerox.

FCS: Suma de verificación de trama (Mecanismo de detección de errores).

FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum. Es un método de transmisión de señales de radio que utiliza varios canales para la transmisión y recepción de los datos. La ventaja de este método es que presenta una alta resistencia al ruido y la interferencia, además que es más difícil de interceptar.

HTML: Lenguaje de programación de etiquetado de documentos hipertexto. Este lenguaje se utiliza la creación de páginas WEB.

HTTP: Protocolo de transferencia de hipertexto. El protocolo HTTP viaja sobre el protocolo TCP, utilizando por lo general el número de puerto 80.

Internet: Red a nivel mundial formada por muchas redes de computadoras, que permite la transmisión de datos utilizando el protocolo TCP/IP.

IP: Internet Protocol. Es un protocolo de capa 3 del modelo TCP/IP, no orientado a la conexión, que permite el transporte de datos de una red a otra basándose en la dirección IP.

ITCR: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

LAN: red de área local compuesta por dispositivos de red y computadoras que permite la transferencia de información entre computadoras.

LCD: Es una pantalla electrónica que permite visualizar texto.

LED: Diodo emisor de luz.

Loggernet: programa utilizado para la recolección de los datos de las estaciones meteorológicas Campbellsci.

Memoria Flash: Memoria no volátil de alta tecnología utilizada hoy en día para el almacenamiento de datos.

Módem: Dispositivo modulador-demodulador que permite a un computador la transmisión de datos a través de la línea telefónica.

NEMA: es la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de USA, y especifica normativas para proteger los dispositivos eléctricos de la lluvia, nieve, polvo, y otros factores ambientales.

MySQL: Base de datos de código abierto.

OET: Organización para Estudios Tropicales.

Puente: dispositivo utilizado en redes LAN inalámbricas a larga distancia para la transmisión de datos. Estos dispositivos utilizan el protocolo IEEE 802.11.

RF: la radio frecuencia es una parte del espectro electromagnético donde se crean ondas electromagnéticas aplicando corriente alterna a una antena.

RJ-45: Conector de 8 pines estandarizado para conexiones Ethernet

SRAM: memoria de acceso aleatorio estática. Es una memoria volátil que a diferencia de la memoria DRAM, no requiere un refrescamiento constante para almacenar los datos.

TCP/IP: protocolo utilizado actualmente en Internet para la transmisión de datos entre computadoras.

Transceptor: dispositivo inalámbrico que puede enviar y recibir datos.

WEB: Sistema de hipertexto que funciona sobre Internet

A.2 Información de la Organización para Estudios Tropicales

A.2.1 Descripción de la Organización para Estudios Tropicales

La Organización para Estudios Tropicales (OET), es un consorcio sin fin de lucro que integra 63 instituciones de investigación de Estados Unidos, América Latina y Australia. Y cuyo objetivo es promover la educación, investigación y el uso racional de los recursos naturales en el trópico [10].

En Costa Rica la OET cuenta con una oficina central y tres estaciones biológicas, la oficina central conocida como CRO se encarga de la coordinación y administración de las estaciones biológicas, la oficina central se ubica en Sabanilla, San José.

Las estaciones biológicas son:

- La estación biológica La Selva
- La estación biológica Palo Verde
- La estación biológica Las Cruces

La estación biológica La Selva, se ubica al lado norte del parque nacional Braulio Carrillo, y comprende 1600 hectáreas de bosque tropical húmedo donde aproximadamente el 73% de su área es cubierta por bosque primario. Cada año se publican alrededor de 240 artículos científicos sobre las investigaciones realizadas en el sitio.

La estación biológica Palo Verde, se ubica dentro del parque nacional Palo Verde, en la vertiente del Pacífico de la provincia de Guanacaste en el noroeste de Costa Rica, e incluye más de 19000 hectáreas de bosque estacional seco.

La estación biológica Las Cruces, se ubica cerca de la frontera con Panamá en el pacífico sur de Costa Rica, y comprende 235 hectáreas de bosque lluvioso premontano. Esta estación incluye el jardín botánico Wilson con una amplia variedad de plantas ornamentales.

A.2.2 Descripción del departamento de informática de la OET

En el departamento de informática de CRO es donde se desarrolló el proyecto. CRO se ubica en Sabanilla. Cabe destacar que el departamento de informática de CRO es parte del departamento de informática de la OET. Lo anterior ya que el departamento de informática de la OET está compuesto por el personal del departamento de informática de CRO, así como del personal de informática de las estaciones biológicas.

El departamento de informática de la OET se compone de un coordinador, y varios funcionarios los cuales realizan tareas como:

- Administración de redes y servidores.
- Desarrollo y administración de bases de datos.
- Soporte a usuarios.
- Desarrollo de proyectos.

A.3 Antecedentes prácticos

Un antecedente práctico es el proyecto: Diseño e implementación de las capas física, de enlace de datos, y de red para una red inalámbrica de sensores en el Bosque (I-2006), del estudiante Ronny García [14]. El asesor en la empresa y en el TEC es el profesor Nestor Hernández.

Este proyecto resuelve el problema de transmitir datos por un medio inalámbrico en una zona boscosa. Los datos son generados por sensores de fuego, sensores de motosierras, y sensores de disparos.

Los datos se transmiten entre sitios remotos y si alguno de los sitios se encuentra muy alejado permite utilizar un módulo intermedio para transmitir los datos.

Para esto se desarrolla un protocolo propietario que tiene como ventaja la optimización del ancho de banda y la energía consumida.

La diferencia con el presente proyecto es la conexión con la red de área local. Esto implica diferencia del protocolo a nivel lógico para lograr la compatibilidad.

Anexos

B.1 Diagrama de conexión del MAX232

En la figura b.7.1 se muestra el diagrama de conexión del chip MAX232.

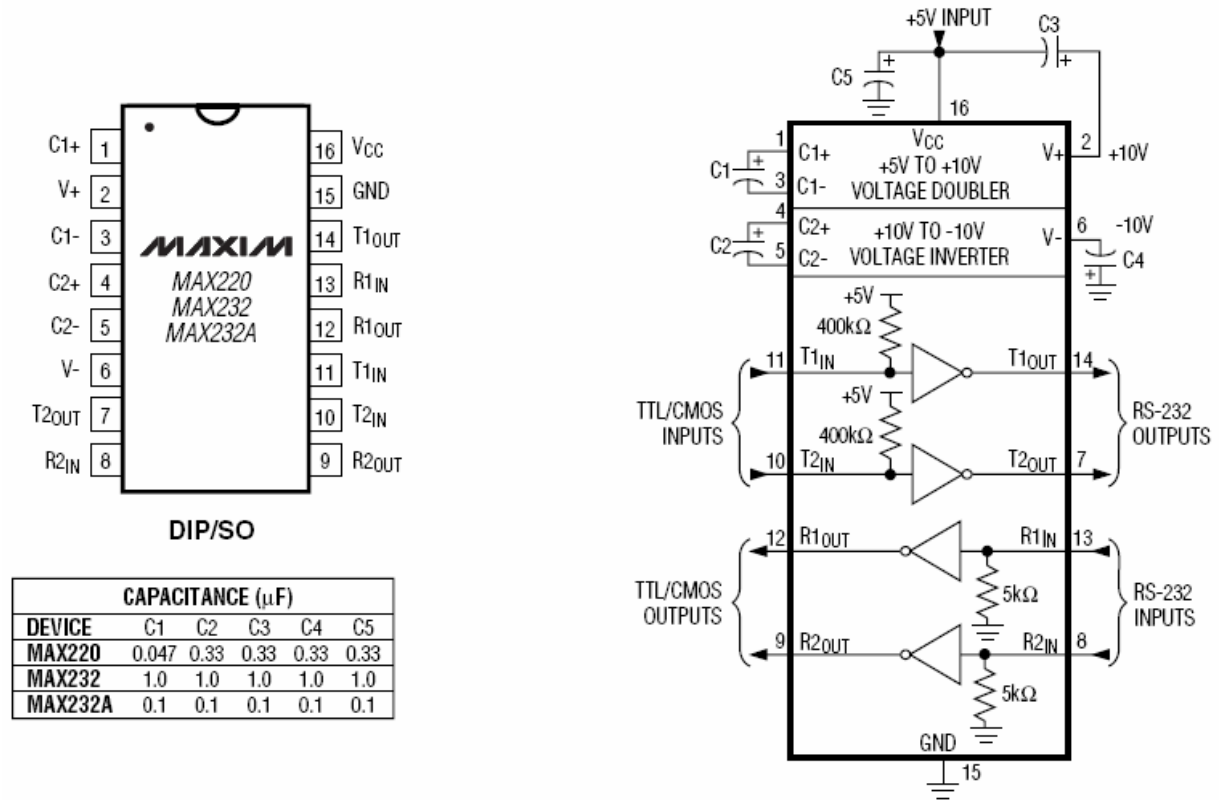


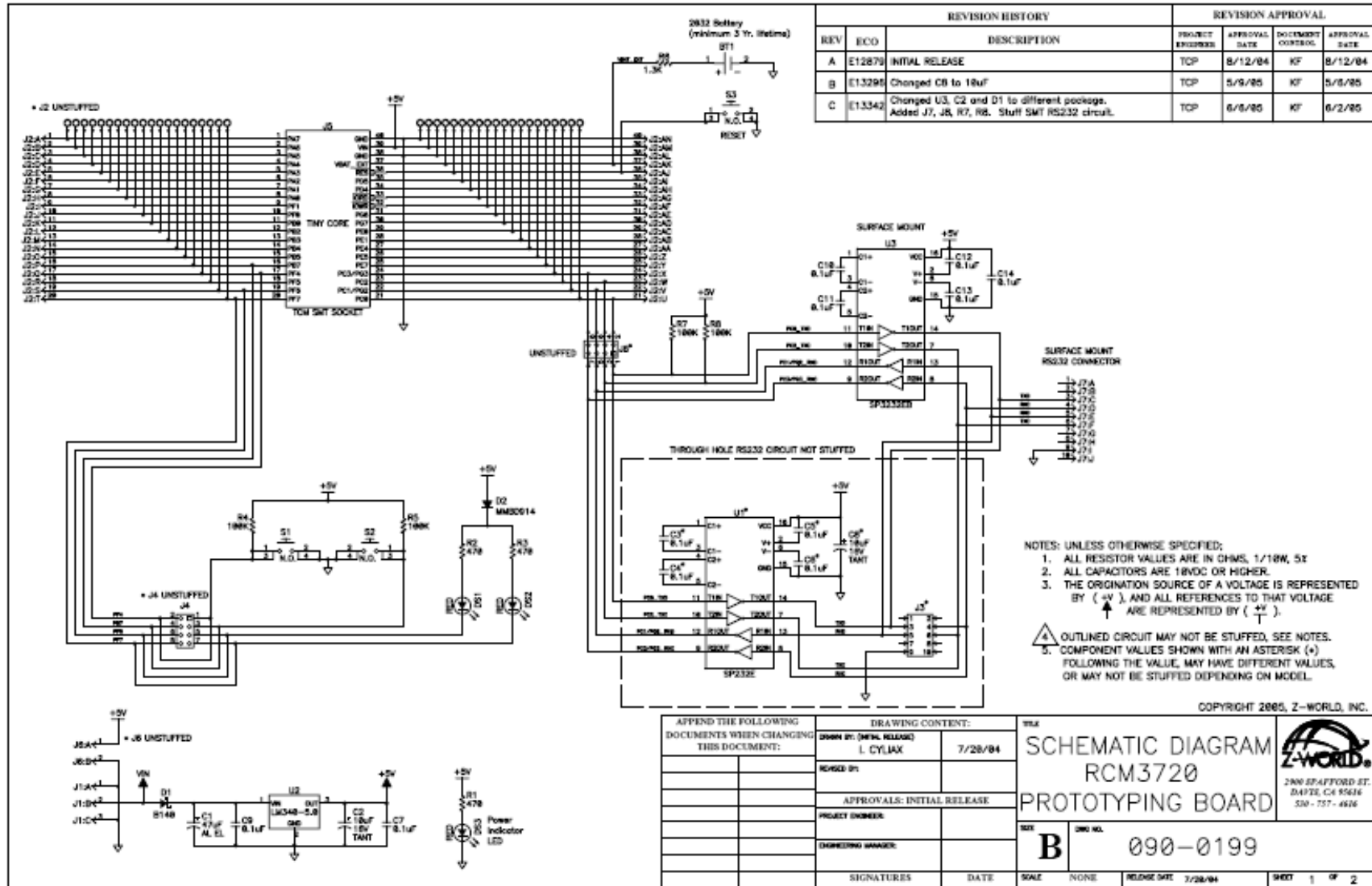
Figura B.7.1 Diagrama de conexión del MAX232

B.2 Especificaciones del microcontrolador RCM3720 RabbitCore

En la figura b.7.2 se muestran las especificaciones del RCM3720 RabbitCore. En la siguiente página se muestra el diagrama esquemático de la tarjeta prototipo.

RabbitCore RCM3720 Specifications	
FEATURE	RCM3720
Microprocessor	Rabbit 3000A at 22.1 MHz
Ethernet Connectivity	10Base-T, RJ-45
EMI Reduction	Spectrum spreader for reduced EMI (radiated emissions)
Flash	512K
SRAM	256K
Serial Flash	1 MB
Backup Battery	Connection for user-supplied backup battery
General-Purpose I/O	33 parallel digital I/O lines <ul style="list-style-type: none"> • 31 configurable I/O • 2 fixed outputs
Additional I/O	Reset
Auxiliary I/O Bus	Can be configured for 8 data lines and 5 address lines (shared with parallel I/O lines), plus I/O read/write
Serial Ports	Four 3.3 V CMOS-compatible: <ul style="list-style-type: none"> • 4 configurable as asynchronous (with IrDA) • 3 as clocked serial (SPI) and 1 as SDLC/HDLC (with IrDA), or 1 SPI and 2 SDLC/HDLC • 1 asynchronous serial port dedicated for programming
Power	Input: 4.75-5.25 VDC 100 mA @ 22.1 MHz; 78 mA @ 11.06 MHz
Operating Temp.	-40°C to +70°C
Humidity	5-95%, noncondensing
Connectors	Single 2x20 0.1" header
Board Size	2.95" × 1.20" × 0.88" (75 x 30 x 22 mm)
Part Number	101-0961

Figura B.7.2 Especificaciones del RCM3720



B.3 Especificaciones del módulo de RF 9XTend OEM RF Module

En la figura b.7.3 se muestran las especificaciones del 9XTend OEM RF Module. En la siguiente página se muestran las señales utilizadas para la comunicación con el microcontrolador.

XTend 900 MHz OEM RF Module Specifications		
Performance		
Transmit Power Output (software selectable using PL command)	1 mW - 1 W	
Indoor/Urban Range	Up to 3000' (900 m)	
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 14 miles (22 km) w/ dipole antenna Up to 40 miles (64 km) w/ high-gain antenna	
Interface Data Rate (software selectable using BD command)	1200 – 230400 bps	
Throughput Data Rate (software selectable using BR command)	9,600 bps	115,200 bps
RF Data Rate	10,000 bps	125,000 bps
Receiver Sensitivity	-110 dBm	-100 dBm
Power Requirements		
Receive Current	80 mA	
Shutdown Mode Power Down	< 1 μ A	
Pin Sleep Power Down	147 μ A	
Idle Currents	16 sec cyclic sleep (SM=8)	0.3 - 0.8 mA
	8 sec cyclic sleep (SM=7)	0.4 - 1.4 mA
	4 sec cyclic sleep (SM=6)	0.6 - 2.6 mA
	2 sec cyclic sleep (SM=5)	0.9 - 4.8 mA
	1 sec cyclic sleep (SM=4)	1.6 - 8.7 mA
General		
Frequency	902-928 MHz	
Spread Spectrum	FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)	
Modulation	FSK (Frequency Shift Keying)	
Supported Network Topologies	Peer-to-Peer ("Master/Slave" relationship not required), Point-to-Point, Point-to-Multipoint & Multidrop	
Channel Capacity	10 hop sequences share 50 frequencies	
Encryption	256-bit AES Encryption – Refer to the KY Command [p25] to implement	
Physical Properties		
Module Board Size	1.44" x 2.38" x 0.20" (3.65 cm x 6.05 cm x 0.51 cm)	
Weight	0.64 oz (18 g)	
Connector	20-pin	
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	
Antenna		
Connector Options	RPSMA (Reverse-polarity SMA) or MMCX	
Impedance	50 ohms unbalanced	
Certifications (partial list)		
FCC Part 15.247	OUR-9XTEND	
Industry Canada (IC)	4214A-9XTEND	

Table 1.2. XTend OEM RF Module Specifications – Relative to user-selected TX Power Output

Power Requirements (Supply voltage and TX currents relative to each TX Power Output option)					
Transmit Power Output	1 mW	10 mW	100 mW	500 mW **	1 W *
Supply Voltage	2.8 – 5.5 VDC			3.0 – 5.5 VDC	4.75 – 5.5 VDC
Transmit Current (5 V) typical	110 mA	140 mA	270 mA	500 mA	730 mA
Transmit Current (3.3 V) typical	90 mA	110 mA	260 mA	600 mA	**

* If the supply voltage for a given power setting is lower than the minimum supply voltage requirement (as shown in Table 1.2), the TX Power Output will decrease to the highest power level setting given the current supply voltage.

** 1W Power Output is not supported when using a 3.3 supply voltage.

Figura B.7.3 Especificaciones del 9XTend OEM RF Module.

1.3. Pin Signals

Figure 1.1. XTend OEM RF Module Pin Numbers

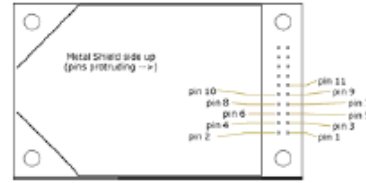


Table 1.3. Pin Signal Descriptions
(Low-asserted signals distinguished with a horizontal line over signal name.)

Pin Number	Mnemonic	I/O	High Impedance during Shutdown	Must Connect	Function
1	GND	-	-	yes	Ground
2	VCC	I	-	yes	Power: 2.8 – 5.5 VDC
3	GPO2 / RX LED	O	yes	-	General Purpose Output 2: <Default (CD=2)> Pin is driven low. Refer to the CD Command [p21] for other configuration options. RX LED: Pin is driven high during RF data reception; otherwise, the pin is driven low. Refer to the CD Command [p21] to enable.
4	<u>TX_PWR</u>	O	yes	-	Transmit Power: Pin pulses low during RF transmission; otherwise, the pin is driven high to indicate power is on and the module is not in Sleep or Shutdown Mode.
5	DI	I	yes	yes	Data In: Serial data entering the module (from the UART host). Refer to the Serial Communications [p9] section for more information.
6	DO	O	yes	-	Data Out: Serial Data exiting the module (to the UART host). Refer to the Serial Communications [p9] section for more information.
7	<u>SHDN</u>	I	no	yes	Shutdown: Pin is driven high during operation and low during Shutdown. Shutdown enables the lowest power mode (< 1 μ A) available to the module. Refer to the Shutdown Mode [p13] section for more information.
8	GPI2 / SLEEP	I	yes	-	General Purpose Input 2: reserved for future use SLEEP: By default, SLEEP is not used. To configure this pin to enable Sleep Modes, refer to the Sleep Mode [p14], SM Command [p32] & PW Command [p28] sections.
9	GPO1 / <u>CTS</u> / RS-485 TX EN	O	yes	-	General Purpose Output 1: reserved for future use CTS (Clear-to-Send): <Default (CS=0)> When pin is driven low, the UART host is permitted to send serial data to the module. Refer to the Serial Communications [p9] & CS Command [p21] sections for more information. RS-485 Transmit Enable: To configure this pin to enable RS-485 half and full duplex communications. Refer to the Serial Communications [p9] & CS Command [p21] sections.
10	GPI1 / <u>RTS</u> / CMD	I	yes	-	General Purpose Input 1: reserved for future use RTS (Request-to-Send): By default, <u>RTS</u> is not used. To configure this pin to regulate the flow of serial data exiting the module, refer to the Serial Communications [p9] & RT Command [p31] sections. CMD (Command): By default, CMD is not used. To configure this pin to enable binary command programming, refer to the Binary Commands [p16] & RT Command [p31] sections.
11	<u>CONFIG</u> / RSSI	I* O*	no no	- -	Configuration: Pin can be used as a backup method for entering Command Mode during power-up. Refer to the Command Mode [p15] section for more information. Receive Signal Strength Indicator: By default, pin is used as an RSSI PWM output after at the conclusion of the power-up sequence. Refer to the RP Command [p30] for more information.
12-20					reserved / do not connect

* Module has 10K Ω internal pull-up resistor

Note: When integrating the XTend Module with a Host PC Board, all lines that are not used should be left disconnected (floating).