

Desarrollo de un Prototipo Inalámbrico de Adquisición y Monitoreo de Información Meteorológica para el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador INAMHI

Miguel Angel Bonilla Vergara

Escuela Politécnica Nacional, Quito, Pichincha, Ecuador, bonillamg@gmail.com

Tarquino Fabián Sánchez Almeida

Escuela Politécnica Nacional, Quito, Pichincha, Ecuador, tarquino.sanchez@epn.edu.ec

ABSTRACT

The National Institute of Meteorology and Hydrology from Ecuador INAMHI does not have wireless automatic stations for acquisition and processing of different meteorological variables, which enable the mobility and location of sensors within a given range of coverage in the field or at the point of measurement. For that reason the objective and solution presented is the implementation of a wireless personal area network, using the IEEE 802.15.4 and "ZigBee" standards, such that process, acquire and transmission of the information from temperature, humidity and precipitation sensors is done by terminal modules and a coordinator module responsible for the administration and control of the wireless network. The data acquisition coordinator module is also responsible for sending the information to a meteorological server via GPRS, which is located in the INAMHI offices in Quito. The data acquisition results through two days are within the tolerance range that INAMHI allows.

Keywords: INAMHI, ZigBee, IEEE 802.15.4, GPRS.

RESUMEN

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador INAMHI, no cuenta con estaciones automáticas para la adquisición y procesamiento de distintas variables meteorológicas de forma inalámbrica, que permitan la movilidad y ubicación de los sensores dentro de un determinado rango de cobertura en campo o en el punto de medición. En este sentido, el objetivo y solución presentada, es la implementación de una red inalámbrica de área personal, haciendo uso de los estándares IEEE 802.15.4 y "ZigBee", tal que se procese, adquiera y transmita información de los sensores de temperatura, humedad y precipitación, por medio de módulos terminales y un módulo coordinador encargado de la administración y control de la red inalámbrica. De igual manera, el módulo coordinador de adquisición de datos, se encarga de enviar la información meteorológica a un servidor localizado en las oficinas del INAMHI en Quito, vía GPRS. Los resultados obtenidos de una muestra de datos adquiridos durante 2 días, se encuentran dentro de los rangos de tolerancia que el INAMHI permite.

Palabras claves: INAMHI, ZigBee, IEEE 802.15.4, GPRS.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad de ubicar los distintos sensores meteorológicos en puntos adecuados de medición determinados por el INAMHI, se presenta como solución viable, la implementación de una red inalámbrica de área personal WPAN, haciendo uso de los estándares IEEE 802.15.4 y ZigBee, en los sectores remotos donde se realice la adquisición de datos. Por lo tanto, la importancia de la red inalámbrica implementada, es que cumple con los requerimientos de bajo consumo de batería, bajas velocidades de transmisión, bajo costo y larga vida de

funcionamiento, los cuales permiten cumplir con el objetivo de adquirir y procesar variables meteorológicas de forma inalámbrica, obteniendo información confiable previo a la calibración de equipos y sensores utilizados en el prototipo. Actualmente, el INAMHI cuenta con 260 estaciones meteorológicas convencionales y 67 estaciones meteorológicas automáticas alámbricas. El incremento de estaciones automáticas, en especial las inalámbricas son necesarias para la obtención de información meteorológica confiable y de manera oportuna, en sitios de difícil acceso, ya que las estaciones convencionales implican la observación directa de los sensores en campo y el envío no inmediato de dicha información, lo cual involucra un incremento en el retardo y una disminución de la fiabilidad en la generación de predicciones y servicios meteorológicos.

2. DISPOSITIVOS ZIGBEE UTILIZADOS Y CONEXIÓN TCP/IP VÍA GPRS

ZigBee es un estándar cuyo objetivo son las aplicaciones que presentan requerimientos de bajo consumo de energía, bajas velocidades de transmisión, bajo costo y larga vida de funcionamiento, para lo cual hace uso de la banda de frecuencia de 2.4GHz y presenta una velocidad máxima de transmisión de 250Kbps. Por otro lado, ZigBee se complementa con el estándar IEEE 802.15.4, el cual es encargado de implementar los protocolos de capa física y control de acceso al medio (ZigBee Specification).

2.1 TIPOS Y FUNCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ZIGBEE

El estándar IEEE 802.15.4 establece dos tipos de dispositivos que van a ser utilizados en la red inalámbrica, los cuales son: dispositivo de funcionamiento general (Full – Function Device FFD) y dispositivo de funcionamiento reducido (Reduced – Function Device RFD). Un dispositivo de funcionamiento general FFD, puede cumplir cualquier rol en la red inalámbrica. En este caso, el dispositivo FFD cumple con el rol de Coordinador de la red inalámbrica de área personal (Personal Area Network PAN). Mientras tanto, el dispositivo de funciones reducidas RFD, solo puede comunicarse con un dispositivo de funcionamiento total y en este prototipo es utilizado como un dispositivo terminal. La Figura 1, muestra los roles de los dispositivos ZigBee (Shahin, 2008).



Figura 1: Tipos y Roles de los Dispositivos ZigBee (Shahin, 2008).

Las funciones de un coordinador PAN, para control de la red inalámbrica son las siguientes:

- Establecer el tipo de direccionamiento (16 o 64 bits) para cada dispositivo dentro de la red.
- Iniciar, entregar y enrutar los mensajes a través de la red.
- Seleccionar un identificativo PAN único para la red. Este identificador permite a los dispositivos dentro de la red usar un direccionamiento corto de 16-bits y seguir permitiendo el establecimiento de la comunicación con otros dispositivos a través de redes independientes.

2.2 PROCEDIMIENTO DE CONEXIÓN GPRS CON TCP/IP

Antes de que la información pueda ser transmitida entre la estación móvil (Movil Statio MS) y la red de datos externa, se establecen procedimientos previos para habilitar la transferencia de paquetes IP a través de la red GPRS (Sanders, et al., 2003). Se mencionan entonces, tres pasos importantes que se muestran en la Figura 2.

- 1) El MS debe asociarse dentro de la red GPRS. El procedimiento denominado asociación GPRS, comprende un proceso lógico entre la MS y el SGSN, el cual prescinde de la posición del MS. El almacenamiento y actualización de la posición del MS es particularmente importante para la transmisión y localización del MS dentro de la red GPRS.

- 2) Determinación de la mejor ruta para la transmisión de paquetes IP dentro de la red GPRS. Una conexión entre el MS y el GGSN debe realizarse previamente, de tal forma que cada nodo dentro de la red GPRS conozca donde debe enviar el paquete IP de la MS. A este procedimiento se lo denomina activación del contexto PDP.
- 3) Una vez activado el contexto PDP y designado la mejor ruta dentro de la red GPRS entre el MS y la red de datos externa, se envía los paquetes IP a través de la red GPRS hacia la dirección de destino. Este procedimiento contempla la transmisión de datos del usuario.

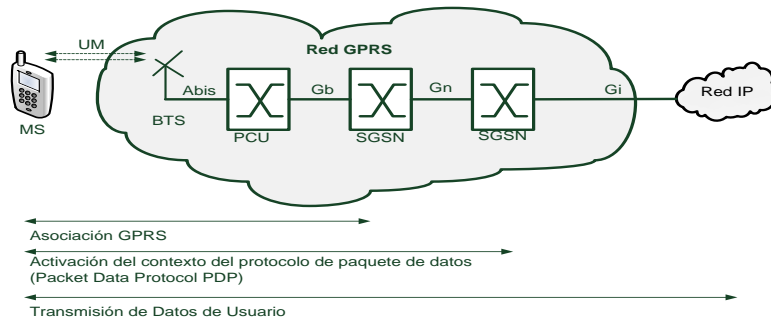


Figura 2: Procedimiento de Conexión GPRS con TCP/IP (Sanders, et al., 2003).

3. REQUERIMIENTOS DEL PROTOTIPO.

El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un prototipo inalámbrico haciendo uso de los estándares IEEE 802.15.4 y ZigBee que permita establecer un enlace en la banda libre ISM de 2.4GHz, para el monitoreo y adquisición de datos de los sensores de temperatura, humedad y precipitación, para uso del INAMHI.

Previo a definir los requerimientos y especificaciones del prototipo, se debe definir los siguientes parámetros:

- 1) Topología de la red inalámbrica ZigBee e IEEE 802.15.4.
- 2) Módulos de prototipo y sus correspondientes funciones.
- 3) Variables de entrada y salida de cada uno de los módulos, de acuerdo a las funciones instauradas previamente.
- 4) Especificaciones del prototipo en base a las variables mencionadas en el punto anterior.

3.1 TOPOLOGÍA DE RED DEL PROTOTIPO.

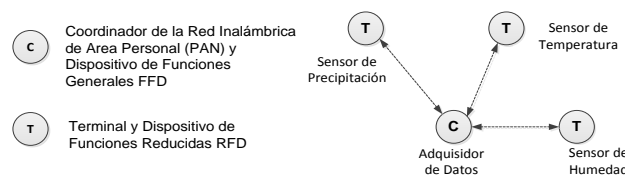


Figura 3: Topología tipo Estrella de la Red Inalámbrica del Prototipo.

La topología implementada es tipo estrella, en la cual un dispositivo coordinador tiene la función de adquisición de datos y los dispositivos terminales contienen a los sensores, tal como se observa en la Figura 3.

3.2 DEFINICIÓN DE LOS MÓDULOS DEL PROTOTIPO.

En base a la definición de una topología tipo estrella para una red inalámbrica ZigBee, se definen los siguientes módulos que permitirán el procesamiento y adquisición de la información de temperatura, humedad y precipitación, así como también la presentación y almacenamiento de dicha información en el módulo de adquisición de datos.

- a) Módulo de Temperatura y Humedad Relativa.
- b) Módulo de Precipitación.
- c) Módulo de Adquisición de Datos Meteorológicos.
- d) Módulo de Transmisión y Proceamiento de Datos GPRS.

3.3 VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA DEL PROTOTIPO.

Tomando en cuenta los módulos definidos previamente, las variables de entrada del prototipo son:

- a) Señales del sensor de temperatura.
- b) Señales del sensor de humedad.
- c) Señales del sensor de precipitación.

Por otro lado, las variables de salida del prototipo son:

- 1) Valores digitales de temperatura.
- 2) Valores digitales de humedad.
- 3) Valores digitales de precipitación.
- 4) Valores digitales del nivel de voltaje necesario para funcionamiento de los distintos módulos.
- 5) Valores digitales de los niveles de señal de los enlaces ZigBee inalámbricos.
- 6) Gráficas de temperatura, humedad y precipitación vs tiempo.
- 7) Tablas de recopilación de información por fecha y hora de temperatura, humedad y precipitación.

3.4 ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS DEL PROTOTIPO.

Tomando en cuenta las funciones y las correspondientes variables de entrada y salida del prototipo, se procede a especificar los dispositivos y equipos necesarios, de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1: Especificaciones y Requerimientos de Equipos del Prototipo.

| Módulos de Prototipo | Especificaciones de cada Módulo del Prototipo | Equipos y Dispositivos Requeridos |
|--|--|---|
| Módulo de temperatura y humedad relativa y módulo de precipitación | Energización y alimentación del circuito | Panel solar y batería DC |
| | Obtención de las señales de temperatura y humedad relativa | Sensor de temperatura y humedad relativa |
| | Obtención de las señales de precipitación | Sensor de precipitación |
| | Convertor análogo digital y detector de nivel de voltaje | Microprocesador |
| | Presentación de información digital | Display LCD |
| | Transmisión y recepción de información inalámbrica dentro de la red de área personal PAN | Dispositivo terminal ZigBee. |
| | Regulación de voltaje | Reguladores para el microcontrolador y el dispositivo ZigBee |
| Módulo de adquisición de datos | Recopilación y almacenamiento de datos meteorológicos | Computador con capacidad suficiente para almacenar datos tipo texto |
| | Procesamiento de datos meteorológicos | Software de procesamiento y tratamiento de las señales adquiridas, instalado en el computador |
| | Gestión de la red inalámbrica de área personal ZigBee | Dispositivo coordinador ZigBee |
| Módulo de transmisión y procesamiento de datos GPRS | Transmisión y recepción de datos GPRS | Modem GPRS |
| | Conexión punto a punto | Computador cliente y un computador servidor |
| | Recopilación, tratamiento y almacenamiento de datos meteorológicos | Servidor que utilice un software de procesamiento de datos meteorológicos |

4. DISEÑO DEL PROTOTIPO.

El diseño del prototipo se debe realizar considerando el diagrama esquemático de la Figura 4 y de acuerdo a los siguientes pasos:

- 1) Especificación técnica de los sistemas y elementos de cada uno de los módulos del prototipo.
- 2) Realizar diagramas de flujo, que definan procedimientos para cumplir con las funciones de los elementos y sistemas de los módulos del prototipo.
- 3) Diseñar programas en base a los diagramas de flujo planteados.
- 4) En base a detección de errores y modificaciones en el diseño de programas y circuitos, establecer una realimentación de información para mejorar el diseño total del prototipo.

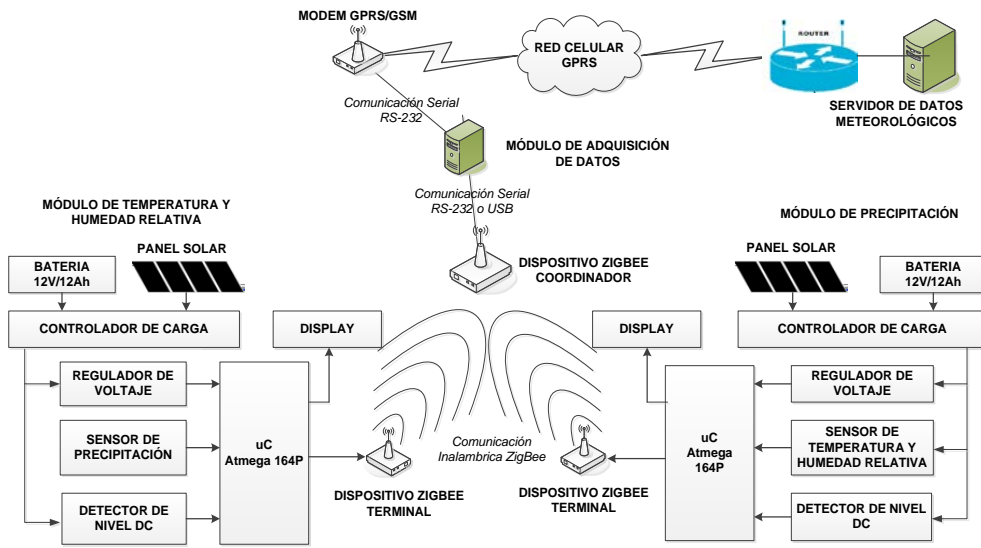


Figura 4: Esquema del Prototipo Inalámbrico utilizando el Estándar ZigBee y Transmisión GPRS para el Monitoreo y Adquisición de Datos Meteorológicos.

4.1 DISEÑO DEL MÓDULO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA.

El diagrama de la Figura 5 muestra los sistemas del módulo de temperatura y humedad relativa.

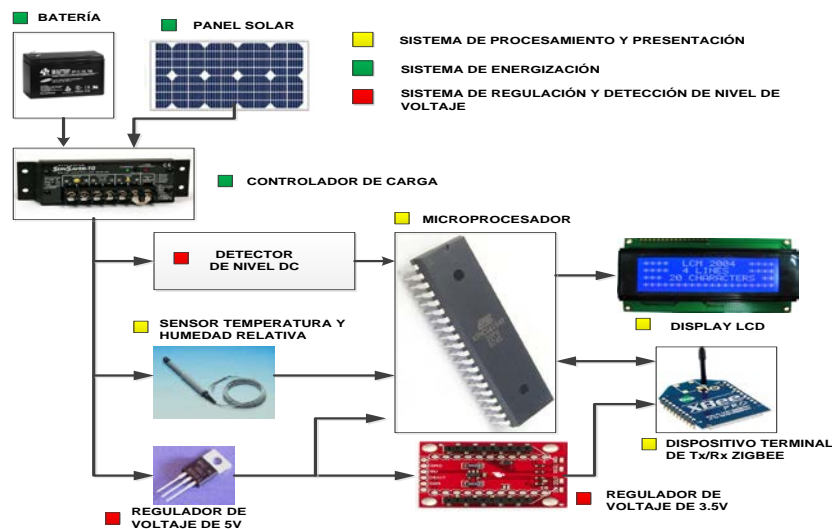


Figura 5: Diagrama de Bloques del Módulo de Temperatura y Humedad Relativa.

El sistema de procesamiento y presentación está conformado por el microprocesador, el módulo de Tx/Rx ZigBee, un display LCD de 4x20 caracteres y el sensor de temperatura y humedad relativa HMP45A. En este sentido las funciones que debe desempeñar cada uno de los elementos se muestran a continuación.

Microprocesador ATmega164P

- Conversión analógica-digital de las señales de voltaje del sensor de temperatura y humedad relativa y del detector de nivel DC, por medio del subsistema ADC que presenta el microprocesador ATmega164P.
- Muestreo de la conversión analógica-digital en un intervalo de tiempo determinado, mediante la utilización del temporizador y contador Timer/Counter1 de 16 bits del microprocesador ATmega164P.
- Transmisión asincrónica de los datos digitales de temperatura y humedad relativa al dispositivo de Tx/Rx ZigBee, por medio del subsistema USART que presenta el microprocesador ATmega164P.
- Presentación de datos de nivel de voltaje necesario para funcionamiento del módulo, datos de temperatura y humedad relativa, mediante la utilización de las funciones de los pines de entrada/salida digitales de propósito general del ATmega164P, a los cuales se conecta el display LCD.
- Detección de la interrupción externa INT1, que permita el encendido de la pantalla LCD.

Dispositivo de Tx/Rx ZigBee XBee-PRO

- Operación como dispositivo terminal de funciones reducidas (Reduced Function Device RFD), utilizando el programa X-CTU para su correspondiente configuración.
- Recepción asincrónica de la información digital en caracteres de texto por parte del microprocesador, mediante la utilización del interfaz UART.
- Transmisión inalámbrica de tramas API al dispositivo de Tx/Rx ZigBee Coordinador, de la información procesada del microprocesador mediante la correspondiente configuración de dicho dispositivo.

Display LCD

- Mostrar la información entregada por el microprocesador ATmega164P.

Una vez que se han especificado las funciones que se deben desempeñar en este sistema, se procede a estructurar subprogramas que van a ser definidos como librerías dentro de un solo programa, que permitan cumplir con el correspondiente procesamiento para el caso del microprocesador, tal como se muestra en la Figura 6(a), y para el caso del dispositivo de Tx/Rx XBee-PRO, se definen parámetros de configuración, tal como se muestra en la Figura 6(b).

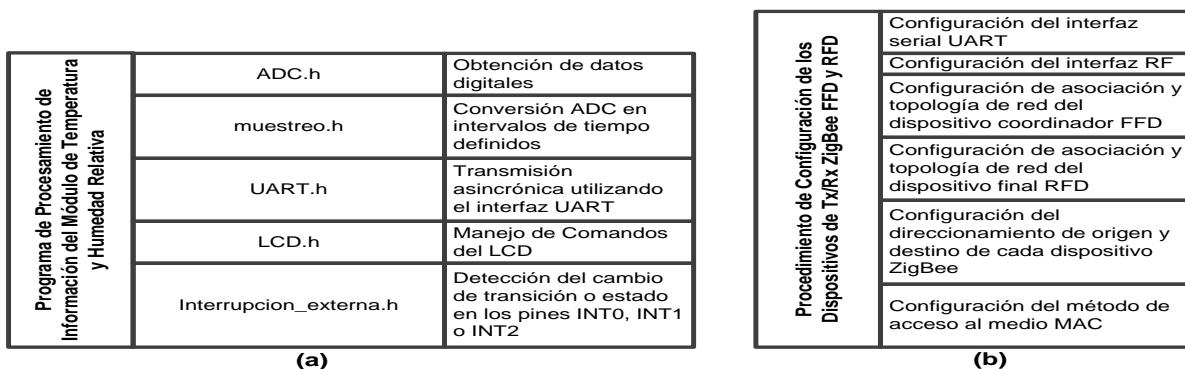


Figura 6: Esquema que muestra: (a) Conjunto de Programas del Módulo de Temperatura y Humedad Relativa y (b) Conjunto de Parámetros a ser Configurados en el Dispositivo XBee-PRO.

4.2 DISEÑO DEL MÓDULO DE PRECIPITACIÓN.

Se debe mencionar que los sistemas de energización, de regulación y detección de nivel de voltaje, son los mismos que se diseñaron para el módulo de temperatura y humedad relativa. El sistema de procesamiento y presentación, es el único que presenta cambios tan solo en la implementación de una subrutina de interrupción

externa que permita el conteo de las basculaciones del sensor de precipitación TR-525M. El diagrama de la Figura 7, muestra los sistemas del módulo de precipitación.

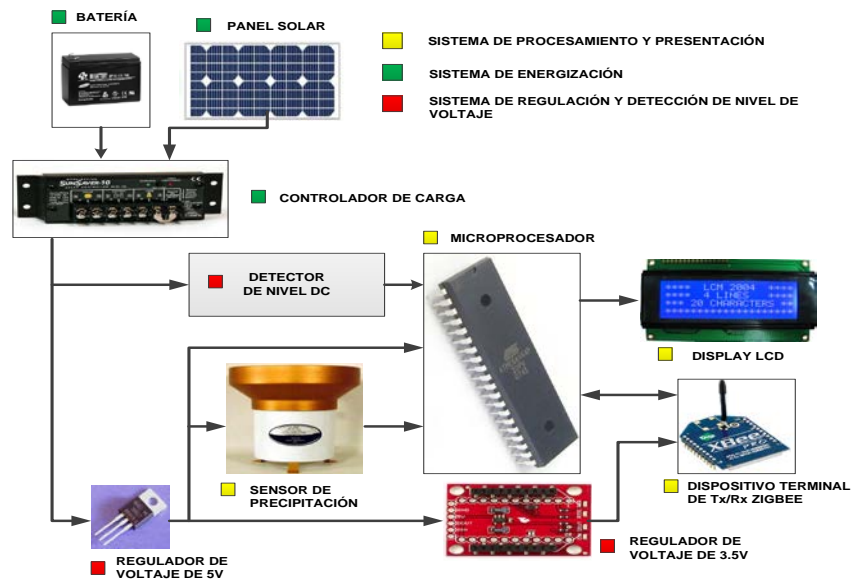


Figura 7: Diagramas de Bloques del Módulo de Precipitación.

En el sistema de procesamiento, se estructuran subprogramas que van a ser definidos como librerías de un solo programa principal, que permitan cumplir con el correspondiente procesamiento de los datos del sensor de precipitación por parte del microprocesador, tal como se mostró en la Figura 6(a). En el caso del dispositivo de Tx/Rx XBee-PRO, se definen parámetros de configuración, tal como se mostró en la Figura 6(b).

4.3 DISEÑO DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

La adquisición de datos se realiza por medio de un conjunto de programas desarrollados en LabView 2010. Se debe entender que cada sub-programa se ha desarrollado de forma individual para luego ser integrados en uno solo programa, que facilite al usuario el control y gestión de los datos meteorológicos obtenidos tanto del módulo de temperatura y humedad relativa, como del módulo de precipitación previamente diseñados.

Inicialmente se debe definir características generales y especificaciones del proyecto. A continuación, se define tareas específicas para cumplir con las especificaciones generales. Luego de haber definido las tareas que las aplicaciones deben realizar, se procede a desarrollar subVIs que represente el periodo de desarrollo ascendente de la Figura 8. El proceso de realimentación una vez que se haya concretado un producto, es importante para mejorar y establecer nuevas versiones del proyecto final (National Instruments Corporation., 2004).

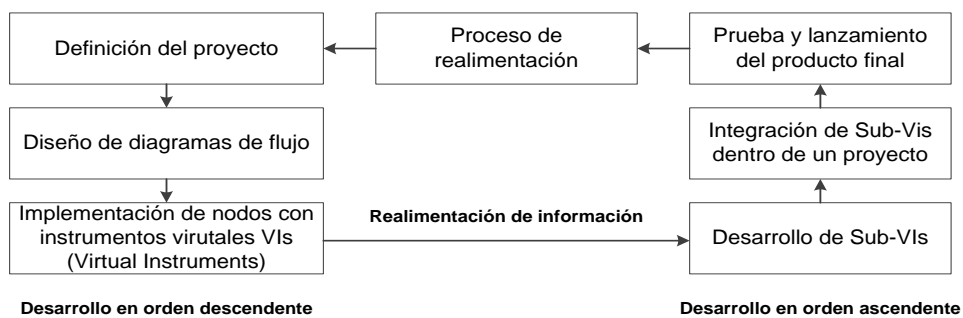


Figura 8: Diagrama de Bloques del Proceso de Diseño del Módulo de Adquisición de Datos Meteorológicos (National Instruments Corporation., 2004).

La Figura 9 muestra los sistemas y elementos que integran este módulo, los cuales son:

- Módulo Coordinador RF de Tx/Rx ZigBee FFD.
- Módulo de Tx/Rx Serial API.
- Módulo de Adquisición de Temperatura Relativa, Humedad Relativa y Nivel de Voltaje de Batería A.
- Módulo de Adquisición de Precipitación y Nivel de Voltaje de Batería B.
- Módulo de Presentación de Datos.

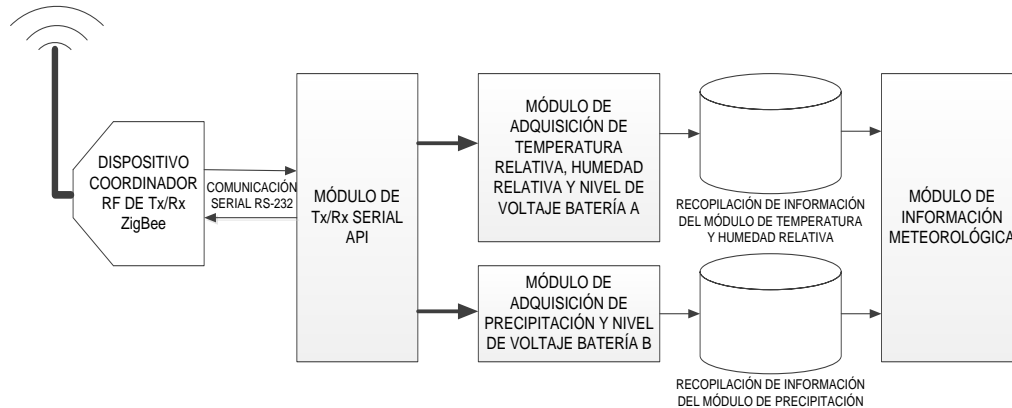


Figura 9: Sistemas y Elementos del Módulo de Adquisición de Datos.

El módulo coordinador ZigBee FFD, tiene como propósito recibir la información del módulo de precipitación y del módulo de temperatura y humedad relativa, para reenviar dicha información por medio de un interfaz RS-232 o USB al adquirente de datos en formatos de tramas API.

4.4 DISEÑO DEL MÓDULO DE TRANSMISIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS GPRS.

La recopilación de información meteorológica por parte de la central del INAMHI localizada en Quito, se realiza por medio de la red GPRS de Claro o Movistar, para lo cual es necesario la utilización de una solución que permitan la conexión punto a punto. La solución utilizada por el INAMHI es la M2M (Machine to Machine), la cual permite establecer una conexión punto a punto entre un dispositivos M2M, que en nuestro caso es el modem Tx/Rx Wavecom Fastrack y el servidor de información meteorológica a través del router GPRS marca Multitech, el cual ya se encuentra configurado y en funcionamiento. La Figura 10 muestra la solución M2M utilizando el protocolo TCP-IP.

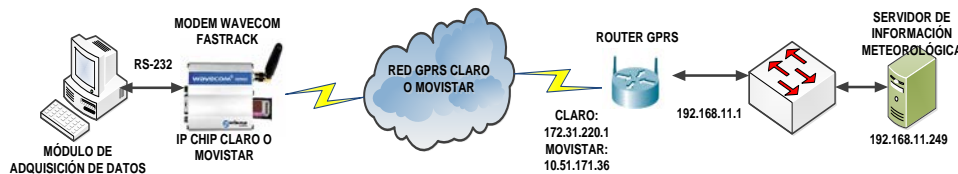


Figura 10: Solución M2M para Conexión Remota de Dos Máquinas Punto a Punto utilizando el Protocolo TCP/IP.

5. CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO.

5.1 CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.

La calibración de temperatura y humedad consiste en colocar el sensor bajo prueba en conjunto con un sensor patrón de referencia externo, dentro de un ambiente con temperatura estable y conocida, de tal manera que a continuación se procede a comparar entre la temperatura o humedad real del sensor patrón externo y la temperatura o humedad de lectura que indica el sensor bajo prueba. En caso de existir diferencias, que casi

siempre las hay, éstas serán anotadas, con el propósito de realizar los correspondientes ajustes en el dispositivo de lectura, que en este caso le corresponde al módulo de adquisición de datos de temperatura y humedad relativa previamente diseñado (Banda Barragán; 2011).

5.2 CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE PRECIPITACIÓN.

El proceso de calibración de acuerdo al manual de confirmación meteorológica para calibración de un sensor de precipitación (Fís. Banda Barragán, 2011) es el siguiente:

- 1) Preparación del Sensor.- Se debe inicialmente remover el colector de oro anodizado, y reemplazarlo con el embudo de calibración negro y la boquilla, que permitirán validar los resultados. Adicionalmente, se debe nivelar el sensor sobre una superficie lisa, que permita la recolección de datos de agua lluvia.
- 2) Reseteo del Contador y del Registrador.- Previo a la toma de medidas, se debe resetear el contador en cero y asegurarse de que el sensor, como el módulo de precipitación encargado de recolectar la información, se encuentren funcionando correctamente.
- 3) Medición de Agua.- Llenar un vaso graduado con 99ml de agua.
- 4) Vertido de Agua en el Embudo de Calibración.- Derramar toda el agua del vaso graduado, sobre el embudo de calibración con precisión y cuidado.
- 5) Conteo de Basculaciones.- Finalmente se debe realizar el conteo de basculaciones registradas por el módulo de precipitación. El número de basculaciones previstas para una cantidad de 99ml de agua es de 21, tomando en cuenta que en caso de registrar un mayor o menor número de basculaciones, el sensor de precipitación debe ser ajustado.

5.3 PRUEBAS DE RECEPCIÓN RSSI.

Las pruebas realizadas corresponden al nivel de recepción RSSI entre un módulo coordinador y un dispositivo final en una topología punto a punto en línea de vista hasta 100m de distancia según establece el estándar IEEE 802.15.4, mediante la utilización de antenas tipo goma omnidireccional de media longitud de onda y 2.4GHz de frecuencia. Se obtuvo como resultado que entre el 99 y 100% de los paquetes emitidos fueron recibidos con niveles RSSI ente -40 dBm y -55dBm.

5.4 PRUEBAS DE VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y PRECIPITACIÓN.

La validación de la información de temperatura y humedad, se realizó mediante un proceso de comparación de los valores obtenidos por el módulo de adquisición de datos, con los valores registrados por la estación Logotronic Ñaquito. Cabe destacar, que ambas estaciones se encuentran ubicadas en las instalaciones del INAMHI Quito y que los sensores de ambas estaciones se encuentran calibrados, luego de haber ingresado los coeficientes de calibración.

En este sentido, se procedió con la toma de valores de temperatura y humedad durante 2 días correspondientes a el 4 y 5 de enero del 2014, obteniendo una observación de 2880 valores de temperatura y humedad, lo cual significa el registro de una muestra cada minuto durante 48 horas.

En cuanto al sensor de precipitación, se cumplió con el rango de error permisible por medio del conteo de 21 basculaciones, luego de haber vertido 99 ml de agua en el embudo de calibración del sensor de precipitación previamente nivelado. De igual manera, se obtuvieron las 2880 muestras. Sin embargo, no se registraron basculaciones en la estación de referencia de Ñaquito, ni en el módulo de precipitación.

6. CONCLUSIONES.

- Tanto el diseño, como la implantación del prototipo, cumplen con el objetivo planteado referente a la implementación de un sistema inalámbrico orientado al monitoreo meteorológico, haciendo uso del estándar IEEE 802.15.4 y ZigBee que permite establecer un enlace en la banda libre ISM de 2.4GHz entre un módulo coordinador y dos módulos terminales que adquieren la información de temperatura, humedad

y precipitación para su correspondiente procesamiento y almacenamiento, de tal manera que el INAMHI obtiene la información meteorológica de estos tres parámetros a través de la red GPRS.

- Se concluye que el funcionamiento del prototipo es óptimo, luego de haber verificado la correcta ejecución del procesamiento, adquisición, recepción y transmisión de datos de todos los módulos y sistemas que conforman al mismo, durante 3 meses, tiempo en el cual se realizaron las pruebas y resultados del prototipo.
- De los resultados obtenidos de un conjunto de muestras registradas durante dos días consecutivos, de la comparación de valores de temperatura adquiridos por el prototipo y una estación de referencia del INAMHI, se observa que un 95.4% de los datos de temperatura son realmente efectivos y pueden ser utilizados por el INAMHI, ya que se encuentran dentro del rango de tolerancia estimado en: $x \pm 0.4^{\circ}\text{C}$. El 4.6% de datos restantes deben ser descartados ya que sobrepasan el umbral de tolerancia. Esto significa, que de las 2880 muestras registradas, aproximadamente 2753 son efectivas y 127 deben ser descartadas. Por lo tanto, se concluye que la adquisición de datos de temperatura es óptima en un 95.4%. Este valor debe incrementarse hasta obtener 1% de datos descartados, mediante el rediseño y ajustes tanto en el circuito interfaz de transductor, como en el programa de conversión ADC, que son secciones donde se detectaron errores luego de haber realizado pruebas y haber obtenido los correspondientes resultados de temperatura.
- Los resultados obtenidos de un conjunto de muestras registradas durante dos días consecutivos, de la comparación de valores de humedad adquiridos por el prototipo y una estación de referencia del INAMHI, muestran que un 92.1% de los datos de humedad son realmente efectivos y pueden ser utilizados por el INAMHI, ya que se encuentran dentro del rango de tolerancia estimado en: $x \pm 1.4\%$. El 7.9% de datos restantes deben ser descartados ya que sobrepasan el umbral de tolerancia. Esto significa, que de las 2880 muestras registradas, aproximadamente 2652 son efectivas y 228 deben ser descartadas. Por lo tanto, se concluye que la adquisición de datos de humedad es óptima en un 92.1%. Este valor debe incrementarse hasta obtener 1% de datos descartados, mediante el rediseño y ajustes tanto en el circuito interfaz de transductor, como en el programa de conversión ADC, que son secciones donde se detectaron errores luego de haber realizado pruebas y haber obtenido los correspondientes resultados de humedad.
- Finalmente, se concluye que a pesar de que el prototipo funcione correctamente en cuanto a la adquisición, recepción y transmisión de información meteorológica, se debe mejorar el procesamiento de la información hasta obtener un 99% de datos efectivos que pueden ser utilizados por el INAMHI.

REFERENCIAS

- Banda Barragán, W., (2011). *“Manual de Confirmación Meteorológica en Laboratorio: Capítulo 3 Calibración de Precipitación”*, Quito, Ecuador.
- Banda Barragán, W., (2011). *“Manual de Confirmación Meteorológica en Laboratorio: Capítulo 1 Calibración de Temperatura”*, Quito, Ecuador.
- Hidalgo, P. (2010). *“Folleto Telemática”*, Quito, Ecuador.
- National Instruments Corporation, (2004). *“LabView Basics I: Introduction Course Manual”*. National Instruments Corporation.
- National Instruments Corporation. (2004). *“LabVIEW Basics II: Development Course Manual”*, National Instruments Corporation.
- Sanders, G., Thorens, L., Reisky, M., Rulik, O. (2003). *“GPRS Networks”*. England: Wiley.
- Shahin, F. (2008). *“ZigBee Wireless Networks and Transceivers”*, Burlington, Elsevier.
- ZigBee Specification. (2013), [http:// www.zigbee.org](http://www.zigbee.org)

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.