

PROTOTIPO DE SISTEMA DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA ALERTA TEMPRANA DE DESLAVES

PROTOTYPE OF WIRELESS SENSORS SYSTEM FOR EARLY LANDSLIDE ALERT

(Entregado 20/04/15) – Revisado 20/08/15)

GUSTAVO XAVIER CHAFLA ALTAMIRANO

Doctor en Telecomunicaciones – Coordinador del Programa de Maestría en Redes de Comunicaciones y Profesor Principal de la PUCE en la Facultad de Ingeniería. Actualmente vinculado a varios proyectos de Investigación Ligados al Desarrollo de las Telecomunicaciones y sus diferentes aplicaciones.

CARLOS ALBERTO REINOSO JEREZ

Magíster en Redes de Comunicaciones – Profesor Escuela Politécnica del Ejército, Politécnica Salesiana y Universidad Técnica de Cotopaxi. En la actualidad se encuentra haciendo sus estudios de doctorado en la Universidad de Viena en Austria en el área de la nanotecnología para el desarrollo de nuevos sensores.

HELEN MIRANDA RUIZ

Ingeniera en Electrónica y Computación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – ESPOCH en 2010. Actualmente se encuentra finalizando la Maestría en Redes de Comunicaciones de la PUCE. Ha estado vinculada a la Politécnica de Chimborazo - ESPOCH.

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR (PUCE) – ECUADOR
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO (ESPOCH) - ECUADOR**

gxchafla@puce.edu.ec
helenmirandar@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo de investigación contiene el diseño, construcción y pruebas de un sistema de monitoreo de deslizamientos, basado en sensores inalámbricos de una red operando en el protocolo IEEE802.15.4 (ZigBee), esta red está formada de nodos, los cuales realizan mediciones de movimiento e inclinación de zonas de riesgo, información que es transmitida a un nodo principal coordinador que se convertirá en el enlace o Gateway entre la Red Local ZigBee y la red celular, para alcanzar una central de monitoreo y alerta temprana, el sistema está basado en radios de comunicaciones XBee de Digi International y montados sobre PCB's Arduino para controlar los sensores ADXL345 encargados de la medición de variaciones en la gravedad (inclinación) a fin de alertar oportunamente a las autoridades y ciudadanos para tomar medidas de prevención de desastres naturales.

Palabras Claves: WNS, ZigBee, MESH, IEEE 802.15.4, monitoreo, deslizamientos, sensores.

ABSTRACT

This research contains the design, construction and testing of a system for monitoring landslides, based on wireless sensor network operating in the IEEE802.15.4 protocol (ZigBee), this network consists of nodes, which perform measurements movement and tilt of areas at risk, information is transmitted to a master coordinator node who will become the link or gateway between the local network ZigBee and cellular network to reach a central monitoring and early warning. The system is based on XBee Digi International radio communications and mounted on PCB Arduino to control sensors ADXL345 which are responsible for measuring variations in gravity (tilt) to provide early warning to the authorities and citizens to take action to prevent natural disasters.

Keywords: WNS, ZigBee, MESH, IEEE802.15.4, monitoring, landslides, sensors.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad estamos experimentando una alteración de los parámetros del ambiente, conocido como cambio climático, esta alteración se presenta con intensas lluvias, sequías, vientos, deshielos, inundaciones, etc. A nivel mundial se hacen esfuerzos para detener los factores que son considerados como responsables de alterar el clima, las consecuencias detectadas en el presente, hacen necesario aplicar una estrategia inmediata de adaptación a los cambios detectados (WHO Press, 2009). Por otra parte, nos encontramos viviendo en la era en la que la tecnología juega un papel primordial que puede ser utilizada a nuestro favor para enfrentar este nuevo reto. Motivado por los efectos climáticos recurrentes en nuestro país como inundaciones y principalmente deslaves de laderas en carreteras o viviendas, surge la necesidad de obtener información en tiempo real del comportamiento de estos fenómenos para prevenir deslaves y evitar daños personales y materiales. Se han registrado de acuerdo a la Secretaría de Gestión de Riesgo del Ecuador 3233 emergencias o eventos adversos entre el 3 de enero del 2011 y el 31 de Octubre de 2012, de los cuales 700 son deslizamientos de tierras y alrededor de 100 derrumbes (SNGR, 2013), por lo que en porcentaje hablamos del 21.65% deslizamientos y 3% derrumbes. (Véase Figura. 1).

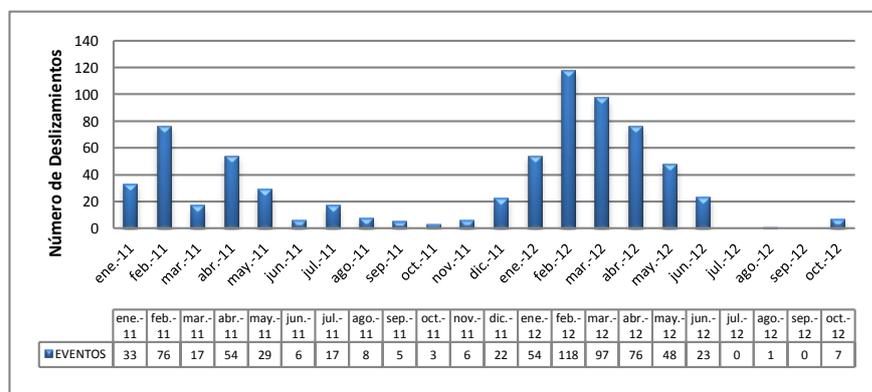


Figura 1. Estadísticas deslaves y derrumbes en el Ecuador

En Guatemala tenemos la presencia de campañas de prevención, evitando la construcción civil en laderas (Prevención de Desastres Naturales de Guatemala, 2002), a nivel nacional, las únicas acciones tomadas son la colocación de plásticos en las laderas que poseen peligro de deslave como lo informa Ilustre Municipio del D. M. de Quito en su portal web (Ilustre Municipio de D.M. de Quito, 2012). Por su parte el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, está dedicado principalmente a dos áreas, el monitoreo sísmico y el monitoreo volcánico, utiliza telemetría óptica para medir el hinchamiento de los costados del volcán, sensores sísmicos analógicos y digitales, además ha propuesto desarrollar un sistema de alerta temprana y gestión del riesgo natural, en el cual persiguen instalar GPS, inclinómetros y pluviómetros en los flancos de los volcanes Cotopaxi y Tungurahua para su monitoreo (IG EPN, 2012). En Estados Unidos, se ha creado un departamento de alerta temprana en la ciudad de Nueva York, llamado NYWARN Red de la Agencia de Respuesta temprana de Agua y Aguas servidas para alertar a la población civil de inundaciones mediante mensajes cortos de teléfono móvil SMS (NYWARN, 2012). Trabajos anteriores referentes a este tipo de mediciones, se han realizado alrededor de aludes de nieve como lo hacen Biescas et al (Biescas B. et all, 2001), donde utilizan estaciones analógicas Lennartz y estaciones digitales Teledyne-Geotech y Orión, para modelar el comportamiento de los aludes en el Valle de la Sionne (Alpez Suizos), y en los valles de Boí Taüll y Núria (Pirineo Catalán) analiza las señales sísmicas para en el futuro hacer un mapa de zonas de aludes y prevenir con alertas tempranas. De igual manera el monitoreo que se realiza a los volcanes por el Instituto Geofísico de la EPN, de igual manera la Red Nacional de Acelerógrafos RENAC, tiene instaladas 42 estaciones a nivel nacional, destinados a la determinación de movimientos sísmicos únicamente (Cruz, 2011).

La presente investigación abarca la planificación, construcción, programación y comprobación del funcionamiento de un sistema prototipo de red de sensores inalámbricos embebidos (WSN) para el monitoreo de la inclinación y deslizamiento del suelo, el sistema enviará la información registrada por los sensores a un usuario que tenga acceso a la red celular, desde cualquier dispositivo a las lecturas de monitoreo, la red consiste en un coordinador de datos el cual de manera inalámbrica enviará las lecturas de cada nodo sensor ubicado en posiciones estratégicas de la montaña. Cada nodo de la WSN consiste en un sensor (acelerómetro) que detecta el movimiento o inclinación, señal transmitida al circuito llamado Coordinador, este posee una interfaz de comunicación móvil (GSM/GPRS) que envía la información mediante un SMS a una central de monitoreo para el análisis de su comportamiento, fue seleccionada esta vía por la fiabilidad y poca congestión en caso de emergencia o desastre.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La opción para volver a un dispositivo autónomo son los microcontroladores Atmega montados en tarjetas de desarrollo electrónico conocidas como Arduino, de los sensores analizados, el ADXL345 de Analog Devices presentó las características necesarias para ser usado en este proyecto, para la red ZigBee con topología Mesh los dispositivos XBee de Digi

International dieron el soporte en lo referente al uso de la energía, capacidad, distancia, etc., para las comunicaciones GSM, se utilizó el dispositivo ECom SIM900, Finalmente para el monitoreo, el software de instrumentación virtual LabVIEW de National Instruments, permite presentar la información de manera amigable en un ordenador.

En la figura 2, en ella se puede apreciar, la distribución de los nodos sensores (en verde) en una zona de riesgo, que transmiten su registro a un nodo coordinador (en azul), este se encarga de enviar los registros de todos los nodos mediante la red celular a una central de monitoreo, para su análisis.

Los “Nodos”, tendrán una radio de comunicaciones dentro de la Red ZigBee, otros contarán con un sensor y transmitirán sus mediciones localmente utilizando la mencionada red Mesh al Nodo “Coordinador” que se convertirá en el Gateway entre la red local y una red celular. A través del Gateway, se transmitirán los datos hasta el centro de monitoreo remoto donde se registrarán, almacenarán, procesarán y presentarán mediante un acceso web los resultados a fin de alertar oportunamente a las autoridades y ciudadanos para tomar medidas de prevención de desastres naturales evitando pérdidas humanas y/o materiales.

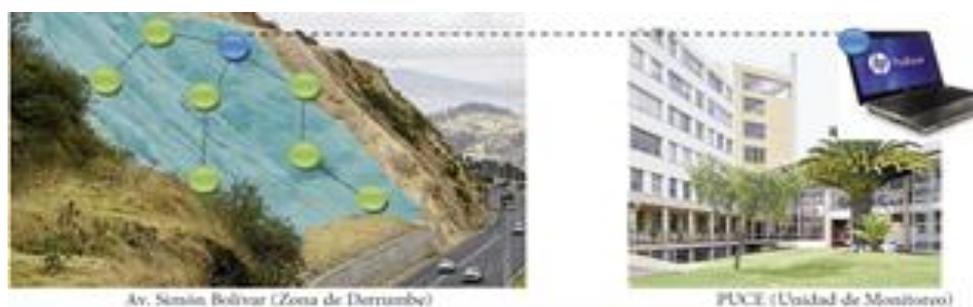


Figura 2. Bosquejo del sistema de Monitoreo: Izq. Zona de derrumbe con Sensores inalámbricos ZigBee Mesh (verde), y Coordinador (azul). Der. Unidad de Monitoreo de desastres en tiempo real

2.1. Nodo Sensor

Este dispositivo fue construido con base en la tarjeta Arduino UNO (Arduino, 2013), en la cual fue montado un adaptador denominado Shield con socalo compatible con el Radio de Comunicaciones XBee (Digi International, 2012). El sensor de movimiento e inclinación ADXL345 (Analog Devices, 2011) se conectó también a la tarjeta Arduino UNO, al ser el cerebro del Nodo, en su microprocesador se realizó la programación para controlar tanto al acelerómetro ADXL345 como la radio de comunicaciones. El sensor ADXL345 fue montado sobre una tarjeta de proyectos, figura 3. El Nodo es alimentado por una batería de iones de litio recargable y finalmente es encapsulado completamente en una caja hermética para su protección.

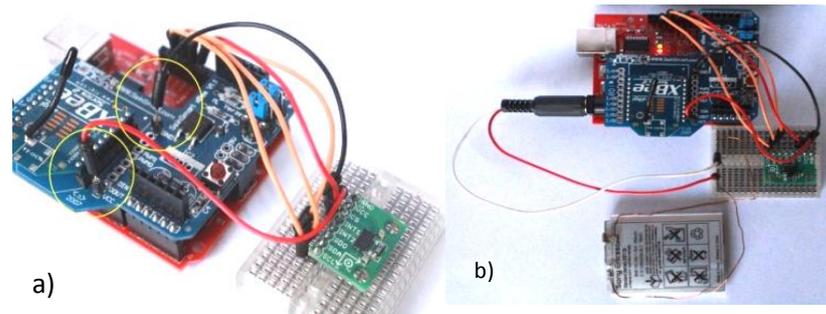


Figura 3. a) Pines soldados al Shield del XBee para tomar energía para el sensor ADXL345 y b) Entrada de la alimentación a la tarjeta Arduino UNO mediante Batería.

2.2. Nodo Coordinador

Es el dispositivo fundamental de la red local, se encarga de asignar direcciones a todos los nodos sensores para formar con ellos la red MESH usando el protocolo ZigBee (Singh Ikraj, 2011) luego de recibir todos los datos medidos por los nodos, se encargará de transmitirlo utilizando la red celular hasta un centro de monitoreo y/o a las entidades pertinentes.

El coordinador se ha conectado al puerto serial de Radio XBee a través de uno de sus puertos seriales (RX y TX), debido a que el módulo EFCOM GSM es controlado mediante comando AT en su puerto fue necesario para evitar colisión de datos que el microcontrolador utilizara un puerto independiente, por esta razón el PCB Arduino debe tener más de un puerto de comunicaciones serial, es así que se seleccionó al PCB Arduino Mega2560 en virtud de que esta tarjeta tiene tres puertos seriales independientes. Uno de ellos estará asignado a la recepción de datos desde la Red Local (Radio XBee), y otro tendrá una línea abierta para el control del módulo de comunicaciones con la red celular (Módulo EFCOM). (Véase Figura 4).

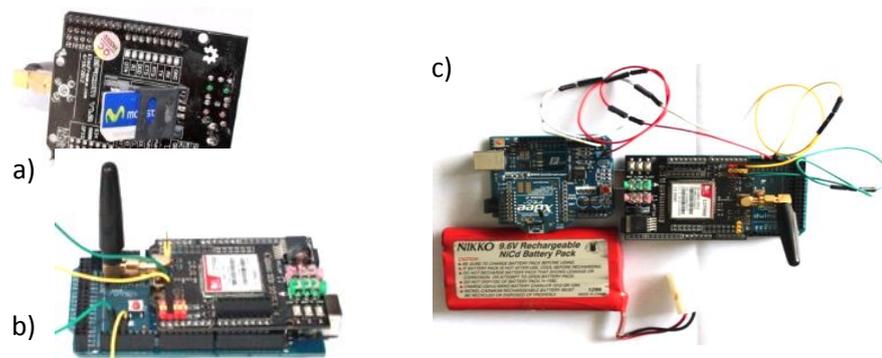


Figura 4 a) Inserción de la SIM card en el sócalo del Módulo EFCOM. b) Montaje del módulo EFCOM sobre la PCB Arduino Mega con su conexión al puerto serial, c) Conexiones de la alimentación de energía para el nodo Coordinador.

2.3. Programación

La medición de los ejes que realiza el acelerómetro realizada por el acelerómetro se guarda en sus respectivas variables “x, y, z” definidas en el programa, para luego transmitirse por el puerto serial hacia el puerto serial del Radio XBee (configurado como Router) y finalmente al nodo coordinador.

El código de programa que se desarrolló para el Nodo Sensor, se escribe en el microcontrolador ATmega328 del Arduino UNO, la estructura de los datos que entregan los sensores tiene información de su posición y variación lo que facilita su análisis, los datos se imprimen en el puerto serial.

Tabla 1

Datos impresos en el puerto serial

A:+002,-003,+111	A	Nombre del nodo
B:-004,-023,+109	:	Separador
A:+002,-004,+111	+	Signo del valor
B:-006,-023,+109	2	Dato del eje x
	,	Separador
	-	Signo del valor
	3	Dato del eje y
	,	Separador
	+	Signo del valor
	111	Dato del eje z

Izquierda: Lectura de los datos transmitidos desde los Nodos A y B. Derecha: Detalle de la composición de la cadena de datos recibidos del nodo A que se imprime en el puerto serial para transmisión.

El envío de la cadena de datos digital entre el microcontrolador y el sensor se realiza mediante la comunicación Serial Peripheral Interface (SPI) (Figura 5), la programación ejecuta las siguientes directivas: 1. Abrir librerías que permitan comunicaciones SPI entre el acelerómetro ADXL345 y el Arduino. 2. Inicializar el puerto serial de comunicaciones con una velocidad de 9600bps, 1 bit de parada y sin paridad. 3. Indicar las direcciones donde se encuentra la información medida de los ejes. 4. Escribirlas en variables temporales y luego imprimirlas en el puerto serial, para compartirlo con el Radio XBee.

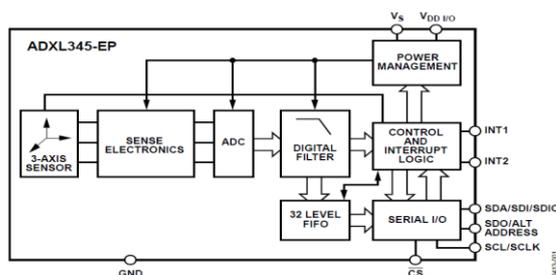
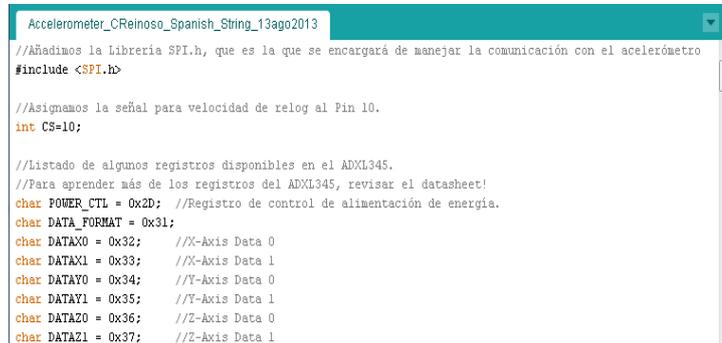


Figura 5. Diagrama de Bloques y conexiones del sensor ADXL345 (Tsuzuki, Fisher, 2010)

La programación desarrollada en el ensamblador de Arduino tiene disponibles librerías para el control de los diferentes dispositivos de hardware como el radio de comunicaciones Xbee, tipos generales de acelerómetros y radios de comunicaciones celulares, se pueden realizar modificaciones, de acuerdo a las necesidades y especificaciones del hardware usado. (Véase Figuras 6 y 7).

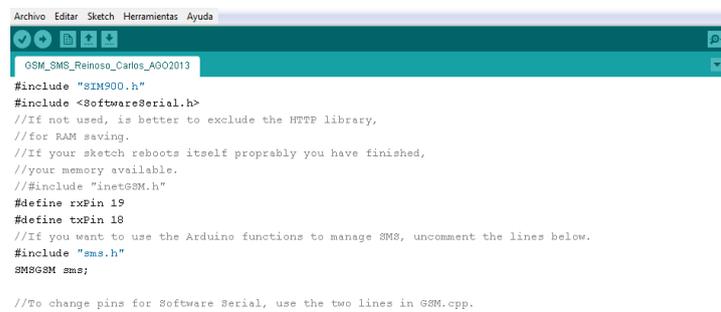


```
Accelerometer_CReinoso_Spanish_String_13ago2013
//Añadimos la librería SPI.h, que es la que se encargará de manejar la comunicación con el acelerómetro
#include <SPI.h>

//Asignamos la señal para velocidad de reloj al Pin 10.
int CS=10;

//Listado de algunos registros disponibles en el ADXL345.
//Para aprender más de los registros del ADXL345, revisar el datasheet!
char POWER_CTL = 0x2D; //Registro de control de alimentación de energía.
char DATA_FORMAT = 0x31;
char DATA0 = 0x32; //X-Axis Data 0
char DATA1 = 0x33; //X-Axis Data 1
char DATA2 = 0x34; //Y-Axis Data 0
char DATA3 = 0x35; //Y-Axis Data 1
char DATA4 = 0x36; //Z-Axis Data 0
char DATA5 = 0x37; //Z-Axis Data 1
```

Figura 6. Programación del sensor ADXL345 en el ensamblador de Arduino UNO



```
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
GSM_SMS_Reinoso_Carlos_AGO2013
#include "SIM900.h"
#include <SoftwareSerial.h>
//If not used, is better to exclude the HTTP library,
//for RAM saving.
//If your sketch reboots itself probably you have finished,
//your memory available.
#include "inetGSM.h"
#define rxPin 19
#define txPin 18
//If you want to use the Arduino functions to manage SMS, uncomment the lines below.
#include "sms.h"
MSGSM sms;

//To change pins for Software Serial, use the two lines in GSM.cpp.
```

Figura 7 Programación del Coordinador de la Red ZigBee y módulo de comunicaciones celulares EFCOM

Uno de los puntos principales de este proyecto fue la configuración de una red inalámbrica operando en el protocolo IEEE801.15.4, conocida como red ZigBee, con la particularidad de que estará configurada como una red MESH (Bernhard, 2006). Como ya se ha explicado, es una medida óptima para el monitoreo de sensores con alimentación autónoma y funcionando en localizaciones remotas como montañas, taludes, etc., es decir, en las zonas que presentan alto riesgo de deslizamiento.

El software del fabricante del Radio Xbee conocido como X-CTU de Digi Internacional permitió seleccionar las características y el Firmware de cada nodo, con la ventaja de su actualización en para nuevas versiones con correcciones y mejoras.

Se desarrollarán dos programaciones importantes, una para los nodos de monitoreo con el acelerómetro, que se lo definirá como ROUTER A y ROUTER B, y otra adicional para el

COORDINADOR, que recibirá los datos de los routers y posteriormente los retransmitirá por el módulo EFCOM GSM/GPRS.

Tomando en cuenta lo anteriormente dicho los dispositivos XBee Serie 2 del fabricante Digi Internacional, soportan la topología MESH, también el XBee PRO Serie 2, fue empleado como coordinador, mismo que posee mayor rango de recepción y también soporta topología MESH por ser Serie 2 [10], (Véase Tabla 2 y figura 8).

Tabla 2
Planificación de la configuración de la red Mesh PAN ZigBee

COORDINADOR	PAN-ID	DH (Address HIGH)	DL (Address LOW)	TOPOLOGÍA
XBee PRO 4060E34F	2600	0	0	AT- Coordinator (Mesh)
ROUTER A	PAN-ID	DH (Address HIGH)	DL (Address LOW)	TOPOLOGÍA
XBee 402D8502	2600	0013A200	4060E34F	AT-ROUTER (Mesh)
ROUTER B	PAN-ID	DH (Address HIGH)	DL (Address LOW)	TOPOLOGÍA
XBee 403155CF	2600	0013A200	4060E34F	AT-ROUTER (Mesh)



Figura 8. Planificación de la Red local prototipo PAN con Topología MESH

Mediante LABVIEW se realizó la programación virtual por bloques, empezando por preparar los puertos seriales del PC para lectura. Posteriormente esta información se almacenó para su filtrado, proceso y graficación (Véase Figura 9)

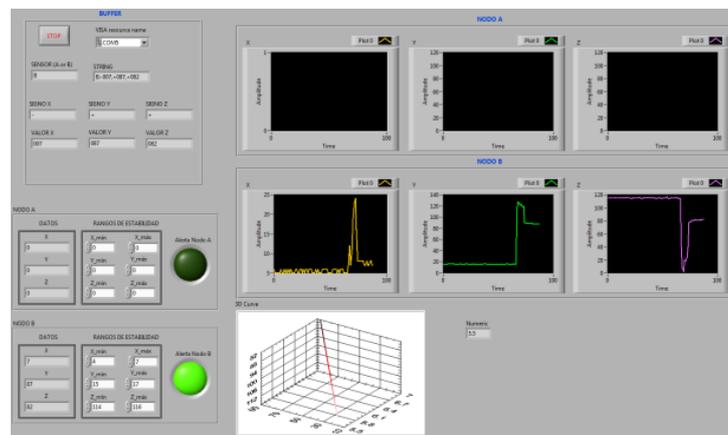


Figura 9. Desarrollo de un entorno de Panel de control en LABVIEW

2.4. Funcionamiento del prototipo

Se ubicaron los dos Nodos Routers a menos de 10 metros del Coordinador, de tal forma que formen una red automática tipo estrella y se observaron cómo los datos fueron llegando al puerto serial del coordinador (Ver figura 10):

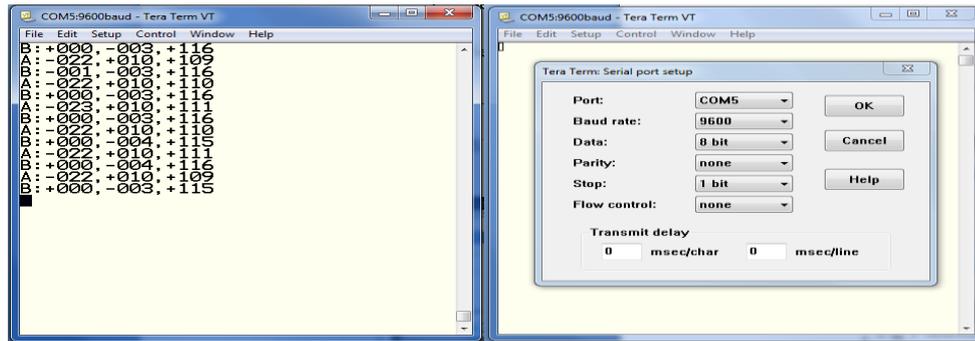


Figura 10. Cadenas de datos de los sensores en el puerto de comunicaciones seriales del PC

Para la comunicación entre el Coordinador de la Red Local y la Red Celular mediante el módulo ECom SIM900, es necesario proporcionar el número telefónico al cual se quiere transmitir, la comprobación de este funcionamiento se realizó utilizando el emulador Browsertexting, disponible en Google Play (Browsertexting Google , 2013).



Figura 11. Recepción de datos en el Celular y en Browsertexting.

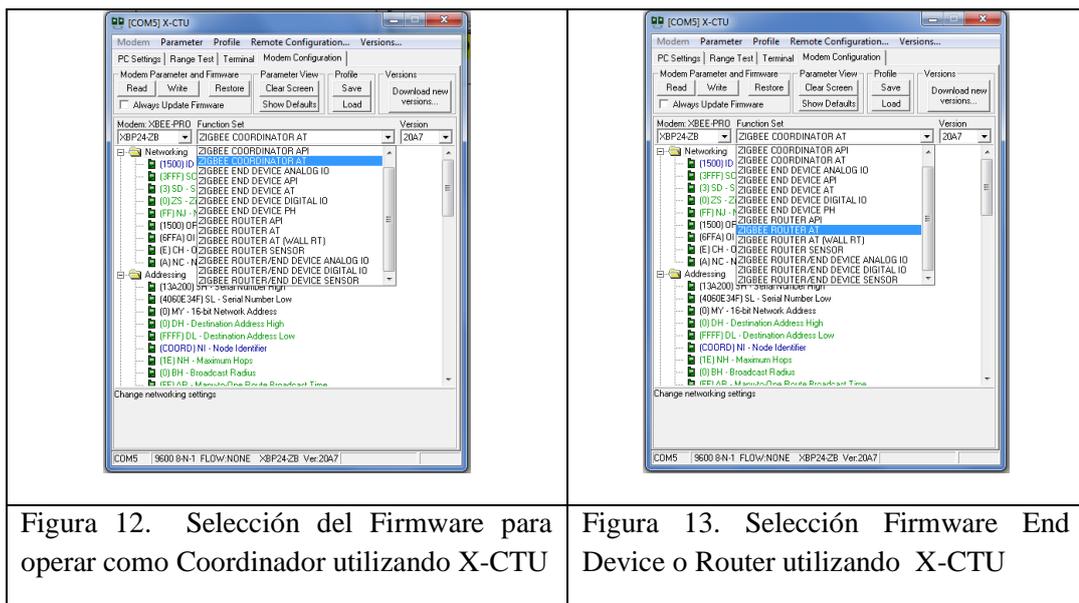
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Pruebas en Laboratorio

Las primeras pruebas del desarrollo de este proyecto de investigación, se realizaron en un entorno cerrado en el laboratorio y se utilizó una fuente de alimentación eléctrica, para configurar la red local, y de igual forma para el envío de los SMS con la información de los nodos. Para la monitorización de los resultados de la prueba y envío de comunicación entre nodos se utilizó el paquete TeraTerm, en el cual se pudo visualizar los datos que llegan al Coordinador de la Red ZigBee, realizando una prueba controlada de la siguiente manera:

1. El XBee coordinador se lo conecta mediante el Explorer (interfaz de la PC con XBee para pruebas) directamente al puerto USB, el Explorer posee un controlado FTDI para intercomunicar la señal TTD del XBee con el puerto serial, asignado como el Puerto de Comunicaciones COM 5 de la PC.
2. Energizamos los nodos que poseen los sensores, mismos que se denominaron “A” y “B”, se pudo identificar como los LEDs que indican asociación en los radios de comunicación XBee están encendidos.
3. Usando TeraTerm se seleccionaron las características de comunicación, así: Puerto Com 5, velocidad a 9600 bps, bits de paridad 1 y no paridad.
4. Se pudo visualizar como los datos enviados desde los sensores de sus respectivos nodos A” y “B”, aparecieron línea a línea con la información de sus ejes.
5. Utilizando LabVIEW se pudo observar gráficamente el flujo de información en pantalla así como también las alarmas de movimiento en caso de manipular los nodos.

Este procedimiento se lo realizó tanto para el Nodo Coordinador como para los Nodos “A” y “B”. Estos últimos se los configuró como ZIGBEE ROUTER AT.



Después de este proceso los Radios XBee estuvieron listos para ser configurados mediante la escritura de simples comandos AT en el terminal que también provee el software X-CTU. Esta configuración se la realizó utilizando los siguientes comandos:

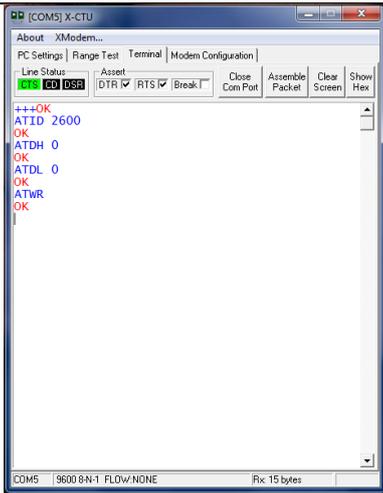
Tabla 3 Comandos AT para configuración del Coordinador

Comandos AT en el puerto Serial de XBee para el Coordinador	
+++	Inicia la comunicación con el Radio, mismo que debe responder con OK para indicar que está en modo escucha.
ATID 2600	Cambia la identificación de la Red PAN a 2600
ATDH 0	Cambia la mitad de dirección a ninguna específica
ATDL 0	Cambia la otra mitad de dirección a ninguna específica
ATWR	Escribe en la memoria del Radio la configuración

Tabla 4 Comandos AT para configuración de los Routers

Comandos AT en el puerto Serial de XBee de los Nodos	
+++	Inicia la comunicación con el Radio, mismo que debe responder con OK para indicar que está en modo escucha.
ATID 2600	Cambia la identificación de la Red PAN a 2600
ATDH 0013A200	Cambia la mitad de dirección a la primera parte de la dirección del Coordinador al que se quiere transmitir.
ATDL 4060E34F	Cambia la otra mitad de dirección a la segunda parte de la dirección del Coordinador al que se quiere transmitir
ATWR	Escribe en la memoria del Radio la configuración

Una vez ingresado los comandos se verifica la respuesta OK (figuras 14 y 15) y se espera a que la asignación de direcciones a los Routers sea automática y realizada por el nodo Coordinador, quien lo hace una vez que completa el proceso de Hand Shake en virtud de que están en la misma Red PAN, que en este caso corresponde al ID 2600, de esta manera se verificó la opción de autoconfiguración del sistema.

	
<p>Figura 14. Comandos para configuración del Coordinador utilizando el Terminal de X-CTU</p>	<p>Figura 15. Comandos para configuración de los Routers utilizando el Terminal de X-CTU</p>

Pudo comprobarse adicionalmente el establecimiento de una red local operando en topología MESH (bajo protocolo ZigBee), fue esta red la que permite el envío de la información de movimiento e inclinación de los sensores de la red.

3.2 Pruebas de Campo

Una de las aplicaciones más relevantes del prototipo es precisamente en el campo, de ahí que se procedió a verificar su funcionamiento en la interperie. Las pruebas se realizaron tomando en cuenta la distancia máxima de transmisión de la Red ZigBee para posteriormente pasar a la verificación de la red MESH de tal manera que se auto configuren los Routers y puedan retransmitir los datos de las mediciones.

3.2.1 Alcance máximo de comunicaciones ZigBee en línea de vista

Un parámetro fundamental de funcionamiento es la distancia máxima de transmisión en línea de vista, es importante destacar que para el desarrollo de estas pruebas los nodos ya están encapsulados en contenedores plásticos de protección, como se muestra en la *figura 16* y *17*, es decir que la atenuación producida por el encapsulado está también considerada. Los pasos sistemáticos que se realizaron es esta prueba son los siguientes:

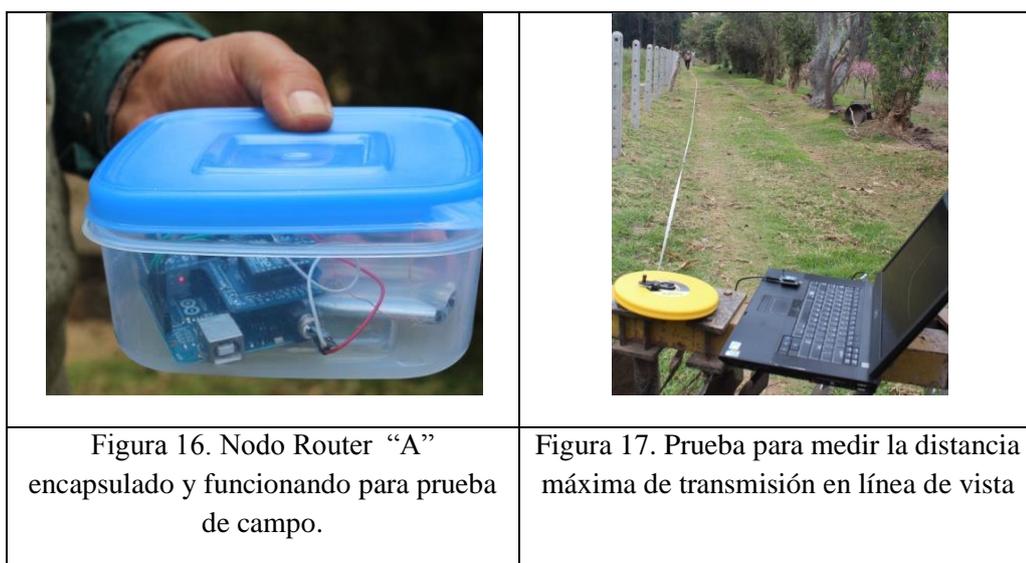
1. Se escogió un lugar apropiado para las pruebas, primero un lugar que no posea obstáculos que atenúen la señal de transmisión.
2. Se activó el Coordinador y el Router “A”, en una misma posición y se verificó la recepción de datos con TeraTerm.
3. Utilizando una cinta métrica, con capacidad de 50m, se alejó paulatinamente el Router del Coordinador, manteniendo contacto visual, hasta el momento en que se obtienen dos comportamientos en la recepción de los datos relacionados con

pérdida de paquetes (más del 40% del total transmitido) hasta la falla total en la recepción de datos. Estos resultados se muestra en la *tabla 5*.

Tabla 5.

Resultados de las pruebas de campo sobre el alcance de la red ZigBee

Línea de vista sin obstáculos	Metros
Pérdida de paquetes superior al 40%	~105
Perdida de la recepción de datos	~110



3.2.2 Alcance máximo de comunicaciones ZigBee con Obstáculos.

Cuando los dispositivos se encuentren instalados en alguna locación que pueda tener obstáculos como árboles, vegetación, etc., presentarán como es lógico, una atenuación de la señal de transmisión, por lo que es necesario tener la información de la distancia máxima incluyendo obstáculos. El procedimiento para obtener esta información se describe a continuación:

1. Se colocaron tanto el Router como el Coordinador activados en una misma posición, y se verificó la recepción de datos en el puerto de comunicaciones de la PC utilizando TeraTerm. *Figura 18*.
2. Se utilizó la cinta métrica para medir se la distancia que el Router se aleja del Coordinador en medio de árboles como se aprecia en la figura 19, hasta los puntos donde empezó a tener pérdida de paquetes hasta cuando falló totalmente la comunicación de la Red ZigBee, obteniéndose los datos en la *tabla 6*.

Tabla 6.

Resultados de las pruebas de campo sobre el alcance de la red ZigBee.

Campo con Obstáculos	Metros
Pérdida de paquetes superior al 40%	~50
Perdida de la recepción de datos	~55

	
<p>Figura 18. Comprobando comunicación entre el Router y el Coordinador de la Red ZigBee en la misma posición.</p>	<p>Figura 19. Verificando el alcance de las comunicaciones en un medio con obstáculos.</p>

De los resultados de las pruebas se pudo también determinar que la configuración de la red fue automática lo que asegura su funcionamiento aun en los casos donde uno de los sensores/nodos deje de funcionar, de hecho se realizaron varias pruebas eliminando intencionalmente alguno de los nodos y comprobando la autoconfiguración del sistema. La autoconfiguración da una cierta garantía de autonomía de funcionamiento al prototipo también en condiciones climáticas adversas, aunque siempre será necesario tomar las precauciones en cuanto a las cubiertas y capacidad de camuflaje según sea el caso.

Un aspecto importante a discutir en este tipo de prototipos es sin duda la disponibilidad de equipamiento y el precio, si bien es cierto el desarrollo del internet de las cosas está ganando espacio y lo demuestran una creciente cantidad de proyectos de investigación y desarrollo de tecnología en lugares de todo el mundo, sin embargo las aplicaciones y fabricantes de soluciones complementarias, no se encuentran aún disponibles, ya que cada tópico de interés en los WSN depende de la realidad, necesidad y enfoque de cada situación, es por ello que no existe una oferta amplia de dispositivos relacionados con los fines que persigue este proyecto, pero sin duda ésta tendencia cambiará.

Hablando exclusivamente respecto del precio, una de las empresas que provee soluciones integrales es la española Libelium (Libelium, 2013), tomando como referencia

los precios que ofrece la empresa se presenta a continuación un aproximado del precio de equipamiento de la solución donde se consideró una configuración con al menos 10 nodos Routers, cuya tabla de costos se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7
Comparación de costos de los elementos para un sistema con 10 nodos.



Nodo Coordinador 802.15.4 - GSM/GPRS	\$ 120	Meshlium 802.15.4-PRO Mesh - 3G (MM802-3G)	(1150 €) = \$ 1500
Batería 6500mA + Solar Panel	\$ 400	Batería 6500mA + Solar Panel	\$ 400
Nodo Arduino + ZigBee	\$ 400	Plug & Sense AC ZB-PRO 5dBi (AC-ZB)	\$ 4900
Sensor Acelerómetro ADXL345 (módulo)	\$ 100	Sensor acelerómetro no disponible, proponemos un GPS	\$ 670
Accesorios y cables	\$ 200	Accesorios y cables	\$ 200
Batería 3500mA + Solar Panel	\$ 200	Batería 3500mA + Solar Panel	\$ 200
Programación		Programación	
TOTAL	\$ 1420	TOTAL	\$ 7870

4. CONCLUSIONES

- Se comprobó que la Red Local, se autoconfigura automáticamente, lo que asegura una cierta independencia de funcionamiento, eso habilita incluso tener distintos nodos que aumenten la redundancia local. La autoconfiguración no es una opción en caso de falla del nodo coordinador.
- Fue posible demostrar que con la tecnología de código abierto disponible como es el caso de las PCB Arduino, de radio de comunicaciones XBee y sensores, se pudo implementar un prototipo para la monitorización de movimientos de tierra a un costo relativamente bajo.
- La red ZigBee, facilita la escalabilidad del uso de más nodos sensores, e incluso con la implementación de diferentes tipos de sensores en un mismo nodo, lo que abre las puertas a un campo más amplio de aplicabilidad no solo para servicios de prevención y control de desastres, sino procesos de optimización de aplicaciones industriales, en la eficiencia energética, domótica, respondiendo a la innovación en el internet de las cosas. Los diferentes parámetros, como temperatura, humedad, concentraciones de gases, y muchas más posibilidades de instrumentación que puede tener un nodo, sumado a la capacidad de transmitir de manera inalámbrica, hace que las aplicaciones en la industria sean enormes, especialmente en la optimización y mejora de procesos, entre otros.

- Se constató hasta la fecha de la publicación de este proyecto, que ninguna entidad a nivel nacional se encuentre monitoreando las ya definidas zonas de riesgo, por lo que el proyecto es una alternativa acertada y oportuna para su aplicación inmediata en proyectos relacionados con el monitoreo de riesgo y amenazas naturales.
- Existen también otras librerías para los equipos de radio XBee que incluso podrían habilitar su configuración remota, eliminando la necesidad de trasladarse a la ubicación física del equipo para reprogramarlos. En este proyecto se ha verificado una programación básica de los módulos pero sin duda la aplicabilidad es extensa.

5. RECOMENDACIONES

- Se puede considerar el levantamiento de un servidor Web para procesar la información de sensores y crear una red de emergencia con las diferentes entidades relacionadas, esto permitirá contar con estudios detallados enfocados desde diferentes aristas en relación a las amenazas y peligros presentes en locaciones del país.
- El presente trabajo debe considerarse como una base en proyectos de modelamiento de deslizamientos de suelo que incluyan parámetros como: tipos de suelo, ángulo de los taludes, vegetación presente, humedad (relacionada con la lluvia), volúmenes de tierra, etc. Es decir una línea de investigaciones en lo referente al suelo y su comportamiento, un campo muy poco desarrollado en la actualidad debido a la dificultad de tener información en tiempo real, pero necesario debido al cambio climático mundial y la seguridad de áreas vulnerables.
- Se recomienda un desarrollo de un estándar para la construcción de redes del tipo WSN, es importante señalar que no existe precisamente un estándar para el diseño y construcción de nodos inalámbricos donde un punto importante a considerar es la utilización de la energía para garantizar cierta autonomía del equipo.
- Se recomienda analizar la aplicabilidad de este prototipo por ejemplo para el monitoreo de riesgos naturales como erupciones volcánicas, desbordamiento de ríos, incendios forestales, contaminación de cuencas de agua o del aumento de gases contaminantes en el aire, etc. y así convertirse en herramientas que permitirán aportar en el estudio de estos fenómenos de forma más precisa.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- *Prevención de Desastres Naturales de Guatemala*. (2002). Recuperado el 22 de Septiembre de 2012, de <http://guiadesastres.260mb.com/3tipos.html>.
- Analog Devices. (2011). *Digital Accelerometer ADXL345 Data Sheet*. Norwood, Massachusetts USA.: Analog Devices Incorporated.

- Arduino . (2013). *Arduino Boards*. Recuperado el 19 de febrero de 2013, de <http://www.arduino.cc/>.
- Bernhard, H. (2006). *IEEE 802 Wireless Systems*. Ontario-Canada: Wiley.
- Biescas B. et all. (2001). *The spectrogram as a tool for seismic detection of snow avalanches (an example of a moving source)*. Barcelona – España: Dep. de Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona, Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches.
- Browsertexting Google . (2013). *Aplicación para sincronización de lectura de texto SMS en un ordenador*. Recuperado el 28 de agosto de 2013, de www.browsertexting.com
- Cruz, E. (2011). Transmisión de Datos Hidrometeorológicos. *Revista 50 años INAMHI*.
- Digi International. (2012). *XBee/XBee-PRO® 802.15.4 Professional Kit-Getting Started Guide*. USA.
- IG EPN. (2012). *Página Web Sistema de alerta temprana y gestión del riesgo natural*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2012, de www.igepn.edu.ec/index.php/investigacion/proyectos/item/622-sistema-de-alerta-temprana-y-gestion-del-riezgo-natural.html.
- Ilustre Municipio de D.M. de Quito. (2012). *Página web Seguridad, Prevención de deslaves en el centro*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2012, de www.noticiasquito.gob.ec/Noticias/news_user_view/prevención_de_deslaves_en_el_centro--2189.
- Libelium. (2013). *Internet of Things Platform Provider*. Recuperado el 28 de agosto de 2013, de <http://www.libelium.com>
- Libelium. (2013). *Wasp mote, Plug&Sense Cataloge*. Zaragoza - España: Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L.
- NYWARN. (2012). Recuperado el 6 de Junio de 2012, de New York Water/Wastewater Agency Response Network (WARN): <http://www.nywarn.org/>.
- Singh Ikraj. (2011). *Net Monitoring System Of Hand Motion Capture Through Accelerometer*. California State University.
- SNGR. (2013). *Sistema Nacional de Información para la Gestión de Riesgo*. Recuperado el 27 de Febrero de 2013, de http://snigr.snriesgos.gob.ec/snigr_sig/
- Tsuzuki, Fisher. (2010). *Oversampling Technique to Improve ADXL345 Output Resolution*. Norwood – USA: Analog Devices.
- WHO Press. (2009). *Protecting Health From Climate Change: connecting science, policy and people*. Ginebra – Suiza: Organization, World Health .