

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN**

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE:

**MASTER EN REDES DE COMUNICACIÓN**

**TEMA:**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE  
SENSORES INALÁMBRICOS PARA ALERTA TEMPRANA DE  
DESLAVES”**

**AUTOR**

Carlos Alberto Reinoso Jerez

**DIRECTOR**

Gustavo Chafra Ph.D

Quito – 2013

## Agradecimiento

Agradezco a todos quienes apoyaron el desarrollo de este proyecto de investigación, en primer lugar a Dios quien hace posible la existencia, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por albergarme durante las horas académicas, al Dr. Gustavo Chafla PhD por su colaboración y disposición constante antes y durante el desarrollo de este Tesis, al International Centre for Theoretical Physics, por su constante apoyo académico durante los últimos 4 años. Sin duda un agradecimiento a mis Padres por su permanente preocupación, a mi hermana, mi cuñado por su voluntad de abrazarme a continuar y no abandonar el trabajo, a todos los familiares y amigos que siempre tuvieron una palabra de ánimo, y creer en el proyecto, y sin duda muy especialmente a mi amada esposa María Hortencia, por su incansable afán de animarme, mimarme y sobre todo por creer en mí.

## Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado al arduo esfuerzo de los estudiantes ecuatorianos que sacrifican horas, noches y días, persiguiendo el sueño que es mío también de construir un Ecuador en constante crecimiento y desarrollo.

Personalmente esta Tesis está dedicada a mi Padre, por haber sido quién me indujo por el fascinante camino de la ciencia, a mi Madre por ser el referente de que no existen imposibles si haces tu mejor esfuerzo, a mi hermana por ser un ejemplo de alcanzar con sacrificio constante los sueños, a mis sobrinos Isabella y Matías y a mi tierna y dulce esposa por iniciar una aventura en todos los aspectos de nuestras vidas, brindándome su emprendimiento, su sonrisa y su amor.

## Contenido del Trabajo

Agradecimiento.....	a
Dedicatoria .....	a

Resumen .....	i
Abstract.....	i
Introducción.....	ii
Justificación .....	iii
Antecedentes .....	vi
Objetivos.....	ix
Objetivo General: .....	ix
Objetivos Específicos: .....	ix
CAPÍTULO I .....	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes (análisis comparativo). .....	1
1.2 Sensores y transductores .....	3
1.2.1 Sensor.....	3
1.2.2 Transductor.....	3
1.3 Giroscopios .....	4
1.4 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	6
1.5 Acelerómetros. ....	8
1.5.1 Teoría de Operación.....	9
1.6 Inclínometro. ....	11
1.7 Unidad de Medición de Inercia (IMU).....	12
1.8 Microcontroladores.....	12
1.9 Micro controladores Arduino. ....	14
1.10 Microcontroladores FPGA .....	14
1.11 Interface de comunicaciones RS232.....	16
1.12 Interface de comunicaciones USB .....	17
1.13 Protocolos de comunicaciones .....	18
1.13.1 IEEE 802.11 .....	18
1.13.2 Red de Área Personal PAN IEEE 802.15.....	19
1.13.3 ZigBee 802.15.4.....	20
1.13.4 Redes Mesh (Malla).....	22
1.13.5 Red Celular.....	25
1.14 Cambio Climático.....	27
1.14.1 Adaptación al cambio climático.....	27
1.14.2 Estadística de deslaves y derrumbes en el Ecuador, Pichincha, Quito.....	28

1.15	Condiciones de construcción de la vialidad (ángulos de taludes, recomendaciones de construcción).....	31
1.15.1	Ladera o talud natural: .....	32
1.15.2	Talud artificial: .....	32
1.15.3	Tipos de fallas en los taludes de las vías terrestres: .....	32
1.16	Protocolo de alarma y manejo de riesgo de desastres naturales .....	34
CAPÍTULO II.....		37
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA .....		37
2.1	Diseño del Sistema de monitoreo. ....	37
2.2	Diseño del Nodo y Selección del Sensor. ....	38
2.2.1	Selección del Sensor .....	38
2.2.2	Sensor acelerómetro ADXL345.....	39
2.2.3	Radio de comunicaciones IEEE 802.15.4 XBee.....	42
2.2.4	Tarjeta de proyectos electrónicos Arduino Uno .....	45
2.2.5	Fuente de Energía para el nodo .....	46
2.3	Diseño del Coordinador .....	47
2.3.1	Módulo de Comunicaciones GPRS/GSM SIM900.....	47
2.3.2	Batería para el Coordinador de la Red Local.....	49
2.4	Diseño de la Estación de Monitoreo .....	49
2.5	Diseño de la red.....	50
2.5.1	XBee con protocolo ZigBee / IEEE 802.15.4.....	50
CAPÍTULO III.....		53
3.1	Construcción y Configuraciones del Nodo Sensor. ....	53
3.1.1	Preparación de la tarjeta PCB Arduino UNO .....	54
3.1.2	Preparación del Sensor ADXL 345.....	54
3.1.3	Preparación del Radio de comunicaciones XBee. ....	55
3.1.4	Encapsulado y Mimetizado de los Nodos .....	57
3.2	Construcción del Nodo Coordinador de la Red.....	57
3.2.1	Módulo de comunicaciones para Red Celular. ....	58
3.2.2	Fuente de energía para el Nodo Coordinador. ....	59
3.3	Programación de los Nodos Sensor y Coordinador. ....	60
3.3.1	Programación del Nodo Sensor .....	60
3.3.2	Programación para lectura del ADXL345 en Arduino. ....	62
3.3.3	Programación del Nodo Coordinador .....	65

3.4 Establecimiento de la Red Mesh ZigBee. ....	66
3.4.1 Preparación de la Red Local.....	66
3.5 Diseño de la Interface gráfica en LabVIEW .....	71
3.6 Pruebas en Laboratorio .....	72
3.7 Pruebas de Campo .....	74
Alcance máximo de comunicaciones ZigBee en línea de vista.....	75
Alcance máximo de comunicaciones ZigBee con Obstáculos. ....	76
3.8 Recepción de datos en Celular .....	77
3.9 Análisis comparativo de Costos Proyecto real .....	78
CAPÍTULO IV .....	80
4.1 Conclusiones .....	80
4.2 Trabajos futuros.....	81
CONTENIDO BIBLIOGRÁFICO:.....	i
BIBLIOGRAFÍA ESCRITA [1 - 40] .....	i
BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA [40 – 60].....	ii
ANEXOS .....	a
Anexo 1 .....	a
Arduino UNO – Microcontrolador ATmega 328 .....	a
Arduino MEGA 2560 .....	c
Acelerómetro ADXL345 .....	e
EFCOM SIM900 .....	g
XBee Serie 2 y XBee PRO Serie 2.....	h
Anexo 2 .....	j
Código de programación para ensamblador de Arduino Nodo. ....	j
Código de programación para ensamblador de Arduino Coordinador. ....	11
Código de programación por Bloques de Labview. ....	m
Anexo 3 .....	o
Fotografías pruebas en Laboratorio. ....	o
Fotografías pruebas en Campo. ....	p
Anexo 4 .....	r
Catálogo de productos Libelium .....	r

## Resumen

El presente trabajo de investigación presenta el diseño, la construcción y puesta en marcha de un sistema de monitoreo de deslaves, basado en sensores inalámbricos, que forma una red que opera 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 llamado coordinador, mismo que se convertirá en el enlace o Gateway entre la Red Local ZigBee y la red celular, para mediante esta última alcanzar una central de monitoreo y alerta temprana. Los dispositivos utilizados en este proyecto fueron los radios de comunicaciones XBee de Digi International, montados sobre PCB's Arduino, quienes controlan los sensores ADXL345 encargados de la medición de variaciones en la gravedad. Cada nodo es preparado para funcionar en zonas remotas por su encapsulamiento hermético y utilización de una fuente de energía recargable, sin que su costo sea elevado.

**Palabras Clave:** WNS, ZigBee, IEEE802.15.4, monitoreo, deslaves.

## Abstract

This research paper presents the design, construction and put in operation of a landslide monitoring system based on wireless sensors form a network that operates in the protocol IEEE802.15.4 (ZigBee). This network consists of nodes, which perform measurements of motion and tilt of risk areas. Information that is transmitted to a node called coordinator, it will become a link or gateway between the local network (ZigBee) and the cellular network, for using the latter reach a central monitoring and early warning. The devices used in this project were the communications radios XBee from Digi International, Arduino PCB, those who control the ADXL345 form Analog Devises, sensors responsible for measuring changes in gravity. Each node is ready to operate in remote areas for its hermetic encapsulation and use of a rechargeable power source, without the raise in cost.

**Keywords:** WNS, ZigBee, IEEE802.15.4, monitoring, landslides.

## Introducción

Este trabajo presenta, un sistema prototipo de red de sensores inalámbricos embebidos (WSN) para el monitoreo de la inclinación y deslizamiento del suelo. El fin principal es evitar incidentes o accidentes asociadas al riesgo de deslave o alud ocasionado por lluvias, de montañas aledañas a carreteras o viviendas. 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, y de igual manera considere un sistema de alertas dependientes de la información censada. La red consiste de un coordinador de datos quién de manera inalámbrica enviará las lecturas de cada nodo sensor, ubicado en posiciones estratégicas de la montaña. Cada nodo de la WSN consiste de un sensor (acelerómetro) que detecta el movimiento o inclinación y lo transmite de manera inalámbrica a un circuito llamado Coordinador, éste último posee una interface de comunicaciones móviles (GSM/GPRS) que envía la información mediante un SMS, a una central de monitoreo, para analizar el comportamiento de la zona monitoreada. Fue seleccionado la red SMS, por su fiabilidad y poca congestión en caso de emergencia o desastre.

Existen sistemas de monitoreo volcánico, que utilizan estaciones análogas y digitales basadas en inclinómetros, GPSs, etc., las cuales son de alto costo y dedicadas únicamente al monitoreo sísmico e hinchamiento de los flancos de los volcanes. Este trabajo persigue desarrollar un sistema de monitoreo de bajo costo, de tal manera, que en el caso de que la red local de sensores pierda un sensor por daño o robo, no afecte considerablemente al área monitoreada dedicada a los deslaves de tierras.

El Capítulo uno de este proyecto de tesis de maestría en redes de comunicación, describe las teorías, así como los trabajos realizados previamente, los cuales están relacionados con el tema, esto permitió el entendimiento del estado del arte respecto en este campo de los sensores inalámbricos. En el Capítulo dos, se detalla la selección de los diferentes dispositivos que fueron usados en la construcción del sistema, se detallan sus características, ya que de acuerdo a ellas, por ejemplo el consumo energético, permitió seleccionar el tipo de fuente de alimentación necesaria, también se planifica sus conexiones y las características del tipo de red que poseerá en protocolo ZigBee. En el Capítulo tres, se exponen los pasos de la

construcción, programación, ejecución y comprobación del funcionamiento del sistema. Ya en el Capítulo cuatro se presentan las conclusiones y las recomendaciones para trabajos futuros, cuyo horizonte se vio ampliado al finalizar el presente proyecto. Ya al final del documento se encuentra la respectivo Contenido Bibliográfico utilizado, para sustentar este documento, así como los respectivos Anexos, donde se detalla, la programación de los dispositivos, los diagramas de instrumentación virtual utilizados y algunas fotografías de las pruebas realizadas.

## Justificación

En la actualidad estamos experimentando una alteración en los parámetros del ambiente conocido como cambio climático. Esta alteración se presenta con intensas lluvias, sequías, vientos, deshielos excesivos, inundaciones, etc. A nivel mundial se hacen esfuerzos para detener los factores que son considerados como responsables de alterar el clima, pero las consecuencias enfrentadas en el presente, hacen necesario iniciar una estrategia inmediata de adaptación a este nuevo clima [1]. Nos encontramos viviendo a su vez, en la era de la tecnología y del internet, podemos utilizarlos a nuestro favor para enfrentar este nuevo reto. Motivado por los efectos recurrentes en nuestro país como inundaciones, y principalmente deslaves de lateras en carreteras. Surge la idea de tener información en tiempo real del comportamiento de una ladera durante la lluvia, para prevenir deslaves y evitar daños personales y materiales. Este trabajo busca utilizar la tecnología de comunicaciones disponible para crear una zona monitoreada con sensores, que trasmitan información a un sistema de alerta temprana.

No existen trabajos anteriores respecto a la medición de deslaves a nivel internacional de lo que se ha podido consultar, más que uno desarrollado en Filipinas del cual no hay mucha información, y únicamente se realizan campañas de prevención, evitando la construcción en laderas como lo hacen en Guatemala [33], de igual manera, 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 [34]. Por su parte el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, está dedicado principalmente a dos áreas, el monitoreo sísmico y el monitoreo volcánico, dejando al monitoreo de deslizamientos de lado.

En la actualidad los síntomas del calentamiento global se han presentado en todo el planeta y día a día se evidencian cada vez con mayor severidad. El aumento de lluvias, sumado a problemas de deforestación y la geografía altamente accidentada de nuestro país, han originado una desestabilización de las laderas en montañas, presentándose deslizamientos de tierras. Estos efectos adversos obstruyen vías de comunicación o afectan a poblaciones asentadas en sus inmediaciones, generando daños materiales y pérdidas de vidas humanas. La tendencia mundial del cual nuestro país también forma parte, está relacionado con las medidas a tomar para la adaptación al cambio climático [1]. Es por eso que este proyecto se enfoca en el diseño, construcción y respectivas comunicaciones inalámbricas de sensores de bajo costo, que pueden ser instalados en laderas de carreteras, en montañas cercanas a viviendas, es decir en ubicaciones que sugieren un alto riesgo de deslizamiento. Varios sensores enviarán señales de inclinación a un Router local. Este a su vez transmitirá la información registrada por los sensores, a un centro de monitoreo donde se registrarán, almacenarán, procesarán y los presentarán. Alertando oportunamente a las autoridades y ciudadanos para tomar medidas de prevención y de esta forma evitar desastres, de esta manera alcanzar la prevención de desastres naturales, *beneficiando* al pueblo ecuatoriano.

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, por lo que en porcentaje hablamos del 21.65% deslizamientos y 3% derrumbes.

La importancia de este proyecto radica en la utilización de la tecnología para evitar pérdidas y daños humanos y/o materiales, teniendo en cuenta que estamos respondiendo a la

necesidad de adaptarnos al nuevo clima. Cabe destacar que aparte del monitoreo volcánico es casi nula la intervención de sensores de inundación, deslave, gases contaminantes, para conformar un sistema de alerta temprana.

## Antecedentes

En lo referente al cambio climático experimentado, la Organización Mundial de la Salud informa que existe gran probabilidad de que los sistemas ambientales y ecosistemas continúen decayendo, constituyéndose una amenaza emergente para la salud pública, de manera que debemos considerar la protección de las poblaciones vulnerables [1]. Por otro lado existen esfuerzos para adaptarnos a este nuevo clima, como lo estipula la constitución política de nuestra república en su Artículo 395 [2]. A su vez el Ministerio del Ambiente creando su departamento de adaptación al cambio climático [3]. Éste ha llegado únicamente en lo referente al tema a proponer estudios y se ha enfocado en la capacitación, concienciación y algunos proyectos de mitigación [4]. Los cuales deben ser acompañados de recursos tecnológicos, como una red sólida de monitoreo de parámetros ambientales y modelización científica del clima. Solo por citar un caso, es Estados Unidos, se han creado departamento de alertas tempranas como en la ciudad de Nueva York, con el *NYWARN* que es la Red de Agencia de Respuesta temprana de Agua y Aguas servidas para alertar a la población civil de inundaciones mediante mensajes cortos de teléfono móvil SMS [5]. Por otro lado se han desarrollado sistemas de sensores cada vez más económicos, de igual manera transmisores en bandas ciudadanas, 802.11, 802.15 de bajo consumo energético, mismos que se pueden instalar, controlar y monitorear de manera remota diferentes tipos de parámetros como lo hacen investigadores en su trabajo sobre monitoreo de temperatura, estos sistemas son conocidos como Wireless Sensor Network WSN [6]. Existen varias plataformas de hardware desarrolladas para este objetivo como por ejemplo la SquidBee que es un sistema de fuente abierta donde se utilizan tres sensores inalámbricos, de humedad, temperatura y de luminosidad, mismos que envían sus registros utilizando el protocolo ZigBee, utilizando tecnología Arduino que incorpora microcontroladores donde se programan las mediciones de los diferentes sensores [7]. Ahora para encarar el problema de deslizamiento de las laderas de una montaña es necesario medir el movimiento, es decir el

cambio de velocidad (aceleración), inclinación, y posible caída libre. Todo esto se lo puede concentrar en un sensor como un inclinómetro óptico utilizado en vulcanología; sensores de posicionamiento basados en GPS, y el famoso giroscopio ampliamente utilizado en la aviación, etc. En el primer caso para largas distancias y el segundo con el problema de la precisión que es superior en el mejor de los casos de 3 metros. Es cuando pensamos en un sensor de inclinación basado en el cambio del vector gravedad, mismo que posee dirección vectorial  $-k$ , pero cuando existe una inclinación aparece una proyección del mismo en alguno de los ejes coordenados  $i, j$ , por lo que la búsqueda de los sensores se reducen al giroscopio y al acelerómetro [8]. El giroscopio, ampliamente usado en la aeronáutica, gracias a su momentum angular puede detectar su inclinación [9], y el acelerómetro en función del material piezoeléctrico que bajo una mínima presión genera una corriente en el sensor, donde se mide el movimiento de una mano mediante el uso de un acelerómetro [10]. En lo referente a comunicaciones móviles en el uso de emergencias, se han visto ampliamente utilizadas siempre que la cobertura se encuentre disponible, podemos constatar en la actualidad que el uso de dispositivos móviles para navegar en el internet o intercambiar información mediante el servicio GSM/ GPRS en nuestro país se ha difundido en gran medida como lo señala el índice mostrado en los reportes de la SUPERTEL [11]. Todo esto nos hace pensar en la alta disponibilidad de tecnología que hace factible e innovador esta propuesta de investigación en el área de las comunicaciones.

Trabajos anteriores referentes a este tipo de mediciones, se han realizado alrededor de aludes de nieve como lo hacen Biescas et al [12], donde utilizan estaciones analógicas Lennartz y estaciones digitales Teledyne-Geotech y Orion, para modelar el comportamiento de los aludes en el Valle de la Sionne (Alpezs Suizos), y en los valles de Boí Taüll y Núria (Pirineo catalán) al analizar las señales sísmicas para en el futuro hacer un mapa de zonas de aludes y también prevenir con alertas tempranas. De igual manera el monitoreo que se realiza a los volcanes por el Instituto Geofísico de la EPN, 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 GPSs, inclinómetros y pluviómetros en los flancos de los volcanes Cotopaxi y Tungurahua para su monitoreo [15]. De igual manera la Red Nacional de Acelerógrafos RENAC, tiene instaladas 42 estaciones a nivel nacional, destinados a la determinación de movimientos sísmicos únicamente [16]. Estas estaciones de monitoreo sísmico, están dedicadas solamente para este fin, y por otro lado no son diseñadas niconstruidas, sino compradas e instaladas, el costo de inclinómetros digitales para este fin superan los \$500 USD como promedio de marcas TURCK, ASM, Baumer, PePPerl+Fuchs, Kübler, o el GP2Lx USB Acelerometro que funciona únicamente acompañado por una computadora, a un costo que bordea los \$700 USD [17].

EL campo de las comunicaciones inalámbricas ha tenido un crecimiento impresionante en los últimos 20 años, y en el área de las telecomunicaciones ha sido el segmento con mayor velocidad de crecimiento en la industria. Sistemas de comunicaciones, celulares, satelitales, redes locales son herramientas fundamentales de la vida cotidiana de las personas en su trabajo y en su vida diaria. Este crecimiento puede ser explicado por cumplir con el paradigma de las 3A (anywhere, anytime, anyone) comunicación en cualquier lugar, a cualquier tiempo, con cualquiera.

Por otro lado después del ataque terrorista de 11 de septiembre, varias organizaciones solicitaron el desarrollo de sistemas de comunicación descentralizado, debido a que el 15% de oficiales de policía reporto fallas en las comunicaciones, después de caer la torre uno del World Trade Center. La topología Mesh brinda las rutas de redundancia apropiadas, que implica que aunque un dispositivo falle, la red continuará siendo operativa.

## Objetivos

### Objetivo General:

Diseñar, construir y probar un sistema prototipo de red de sensores inalámbricos embebidos (WSN) para prevenir accidentes mediante el monitoreo de la inclinación y deslizamiento de laderas, utilizando tecnología basada en el estándar IEEE 802.15.4/Zigbee y de comunicaciones móviles.

### Objetivos Específicos:

1. Analizar el estado del arte respecto al protocolo IEEE802.15.4, y los sensores disponibles que mejor se ajusten para la consecución del proyecto.
2. Diseñar, construir y probar un sistema de sensores acelerómetros inalámbricos, utilizando dispositivos de estándar de comunicaciones 802.15, que formen una red local de monitoreo y registren la inclinación o movimiento del suelo.
3. Diseñar un sistema de comunicaciones móviles GSM, que permita enviar la información registrada por la red de sensores locales a un centro de monitoreo, para su análisis.

### **Diseño y construcción de un prototipo de Sistema de Sensores Inalámbricos para alerta temprana de deslaves.**

Carlos Reinoso Jerez, Quito - Ecuador, [carlos\\_reinosoj@yahoo.com](mailto:carlos_reinosoj@yahoo.com), 098298223

# CAPÍTULO I

## CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes (análisis comparativo).

Vivimos en una época con grandes retos, y al mismo tiempo, con la oportunidad de solucionar problemas que nos afectan en el campo de los fenómenos naturales, especialmente por disponer de la tecnología, sea esta del hardware y software, que cada vez tiene mayores capacidades y menores costos. Gracias a aportes esporádicos de ayuda y cooperación con países desarrollados, sus aplicaciones están mucho más al alcance de países en vías de desarrollo como el nuestro, pero únicamente se evidenciaba avances en tecnologías de la información en corporaciones transnacionales o en instituciones muy particulares.

Un caso de los mencionados, es el del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, encargada del monitoreo de la actividad sísmica y volcánica, quienes mediante cooperación internacional, ha heredado, desde tecnologías muy antiguas hasta estaciones digitales de última generación. Esto ha permitido mantenernos informados únicamente en lo referente al comportamiento sísmico y volcánico de nuestro país. El monitoreo de información adicional, se han encargado al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), siendo una oficina gubernamental creada en el año 1961, quienes, hasta hace poco no recibían mayor apoyo económico por parte del estado, [38]. El INAMHI inició con el establecimiento de una red de equipos de medición hidro-meteorológica y con el paso del tiempo ha incluido en sus mediciones, parámetros ambientales, que en la actualidad les permite realizar un pronóstico climático en varias regiones del Ecuador. En el año 2012 se han instalado en Guayaquil 24 estaciones Logotronic de última generación [11]. Estas estaciones se encuentran brindando información de varios parámetros ambientales, para poder realizar el pronóstico climático, y que además incluyen módulos de comunicaciones como: GSM,

TCP/IP, satelital, con un costo en el mercado de [31]. En lo referente a las comunicaciones inalámbrica, el INAMHI se inició en la banda de la alta frecuencia (HF), llegando en su mejor momento a tener 35 estaciones sinópticas de transmisión de información meteorológica, en la actualidad cuenta con 9 estaciones vía voz por HF en la banda de 3 MHz – 30 MHz, con una velocidad de 1200 bps, que como sabemos variará de acuerdo al estado de la ionósfera, por último ha instalado una red de telecomunicaciones con fibra óptica denominadas, la Red Antisana, Red SAT Chone, Red SAT Coca. [10]

Otras entidades no gubernamentales como la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), y el Fondo para la protección del Agua (FONAG), también realizan monitoreo de parámetros hidrológicos, el primero la SENAGUA, delegó sus estaciones al INAMHI y el Segundo el FONAG, mantiene estaciones propias para su Programa de Vigilancia y Monitoreo de Áreas Prioritarias que se enfoca en la calidad y monitoreo del caudal de agua en los parques Antisana, Cayambe-Coca y Cotopaxi [39].

Todos estos esfuerzos para monitorear, son de vital importancia para el desarrollo de modelos hidrodinámicos, de vientos, porque están altamente relacionadas con la energía eólica, lluvias, y de predicción del clima, etc.

A partir de esta información, podemos concluir que de todas las institucionales a nivel nacional, ninguna se enfoca en el estudio de deslaves, mismos que están relacionadas con estructuras geológicas, de erosión y de lluvias, la Secretaría Técnica de Gestión de Riesgo, se encuentra en etapa de análisis estadísticos de los eventos adversos ya ocurridos en nuestro país. Cabe destacar que no se encuentra ningún proyecto hasta la fecha enfocado en esta importante área del monitoreo para alerta temprana de deslaves.

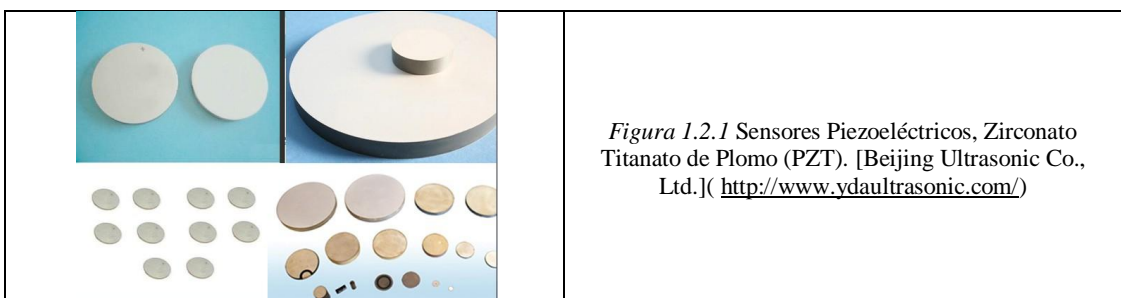
## 1.2 Sensores y transductores

Existen una gran cantidad de sensores y transductores, incluyendo los aspectos relacionados con su modelamiento, así como con las conexiones, interfaces y procesamientos en computadores.

Los sensores se basan en fenómenos físicos, por ejemplo los relacionados con la piezoelectricidad, donde pequeñas variaciones de esfuerzo sobre ellas, generan pequeñas cantidades de electricidad que deben ser respectivamente tratadas, para poder ser medidas y relacionadas con algún parámetro físico que se persigue medir, sea este esfuerzo, inclinación, giro, velocidad, temperatura, presión, etc. Es necesario en la actualidad, realizar conversiones de señales análogas a digital antes de hacer un acondicionamiento de señal [12].

### 1.2.1 Sensor.

Se denomina a un dispositivo, que convierte un parámetro, fenómeno físico o químico en una señal eléctrica o forma de respuesta, por ejemplo: un piezoeléctrico transforma una deformación mecánica en una señal eléctrica, o el mercurio en un termómetro varía su volumen por acción del cambio de temperatura. Se encuentran comercialmente disponibles gran variedad de sensores, como se puede apreciar en la *figura 1.2.1*.



*Figura 1.2.1* Sensores Piezoeléctricos, Zirconato Titanato de Plomo (PZT). [Beijing Ultrasonic Co., Ltd.]( <http://www.ydaultrasonic.com/>)

### 1.2.2 Transductor.

Es un dispositivo que convierte un tipo de energía de entrada, en uno de salida diferente o deseado, este puede estar formado por un sensor y un amplificador o junto a un filtro de

bandas, etc., podemos mencionar como ejemplo: un piezoeléctrico que puede generar una pequeña corriente eléctrica a partir de una deformación mecánica, esta señal eléctrica puede estar en el orden de los  $\mu\text{V}$  o  $\mu\text{A}$ , por lo que necesita ser amplificada para poder ser tratada e interpretada [12]. Podemos apreciar algunos modelos de transductores listos para su montaje en la *figura 1.2.2*.



### 1.3 Giroscopios

Se acredita su invención al físico francés Jean Bernard Léon Foucault en 1852, aunque hay indicios de dispositivos relacionados desde 1743 para navegación en el mar [40]. Son dispositivos basados en el momentum angular generado por la rotación de un objeto, de forma que presentan una inercia a continuar su movimiento de rotación frente a cambios en su orientación, de tal forma al medir la variación entre su momentum angular y la gravedad se lo aplica como estabilizador, como brújula que indica el norte geográfico. Este es una característica física intrínseca de los cuerpos en rotación. Independiente de la gravedad puede obtenerse fuerzas en diferentes direcciones. Uno de los más interesantes usos es el de permitir movimientos o giros de la estación espacial internacional.

En la actualidad se ha desarrollado circuitos embebidos integrados, que permiten incluir este sensor en varios dispositivos de uso común, a este circuito integrado se lo conoce como GYROCHIP, mismo que está basado, ya no en partes móviles, sino en materiales piezoeléctricos como el cristal de cuarzo. Sus aplicaciones se encuentran en el área de la

estabilización de antenas para comunicaciones satelitales, sistemas ópticos de línea de vista, seguidores de misiles, de igual manera en el control y guía de cohetes, misiles, aviones de combate [13].

Un giroscopio posee varios comportamientos como, la precesión y la nutación que es una pequeña oscilación durante la precesión, por estas características puede ser usado como una brújula sin necesidad del campo magnético, esto le permite ser usado en barcos, aviones, y naves espaciales como instrumento de guía y también para estabilización.

Basado en la inercia del momento angular podemos deducir la ecuación:

$$T = \frac{dL}{dt} = \frac{d(I\omega)}{dt} = I\alpha ; \quad \text{ec. 1.3.1}$$

donde T=Torque, L=momento angular, I=inercia,  $\omega$ =velocidad angular,  $\alpha$ = aceleración angular.

Lo que obtendremos es un torque perpendicular al eje de rotación, se puede comprobar por el producto cruz entre:

$$T = \Omega \times L \quad \text{ec. 1.3.2}$$

Esto resulta en una rotación alrededor de un eje perpendicular tanto a T como a L. Este movimiento es conocido como precesión, misma que tiene una velocidad  $\Omega$ . El modelo de un giroscopio clásico podemos observarlos en la *figura 1.3.1*





El torque en el giroscopio está escrito en función de la acción de la fuerza de gravedad dirigida hacia abajo en su centro de masa, y la otra debe ser por consiguiente hacia arriba. La rotación resultante de este torque no tiene dirección hacia abajo como esperaríamos, causando que el dispositivo se caiga (podemos imaginar en el juguete trompo). Sino

perpendicular al eje de rotación, lo que origina que este precesione, ahora si posee una inclinación  $\theta$  respecto al vector gravedad, la ecuación cambia por:

$$T = \Omega L \text{ Sen } \theta \quad \text{ec. 1.3.3}$$

Donde  $\theta$  es el ángulo entre el vector  $\Omega_P$  y  $L$ .

Dispositivos embebidos son construidos en la actualidad, como podemos observar en las *figuras 1.3.2 y 1.3.3*, con dos chips muy utilizados [14].

	<p><i>Figuras 1.3.2 MPU-3300 de la compañía IvenSense, utilizado en smartphones, controles de juegos.</i></p>
	<p><i>Figuras 1.3.3 GG5300 de la compañía HoneyWell, utilizado en la industria militar.</i></p>

## 1.4 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El sistema de posicionamiento global GPS, es una tecnología concebida en 1964 por Ivan Getting para la armada del ejército norteamericano y desarrollada por Broadford Parkinson para la fuerza aérea de los estados Unidos, al ubicar 24 satélites en órbita llamados NAVSTAR GPS, proyecto que inicia en 1973 de tal manera que siempre al menos 5 de ellos se encuentren enviando una señal de radio a los receptores que mediante triangulación y uso de relojes atómicos, son recibidos como un paquete o frame que incluye el tiempo y la ubicación de si mismo mediante un protocolo NTP, de tal forma que si el receptor identifica las posiciones de ellos, el puede conocer su propia ubicación[15]. Las trasmisiones no son perfectas y deben ser corregidas, una de las principales formas de disminuir el error es

calculando la diferencial de tiempo mediante estaciones terrestres que proporcionan un dato adicional a los receptores. Otra corrección es usando los satélites geostacionarios 135 y 138 que están ubicados justo sobre el la línea ecuatorial. Esta tecnología de posicionamiento al inicio de la historia fue concebida solo para uso militar, pero fue liberada para uso civil y que pueda ser utilizado por todo el mundo libre de costos, manejando claro una de las dos frecuencias de transmisión, porque la otra está reservada para uso militar exclusivamente. La Red NAVSTAR GPS sigue siendo administrada por la fuerza aérea norteamericana en la base Schriever ABF que es un centro de máxima seguridad en un lugar desconocido del estado de Colorado. Estos sistemas desde luego respetan correcciones relacionadas con la relatividad especial y general de Einstein y que al utilizar relojes atómicos llegan a una precisión de nanosegundos, aún así esto corrige el error en el posicionamiento de hasta 3 m sobre la superficie terrestre [16].

Los 24 satélites que conforman el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) fue denominada NAVSTAR (sinónimo de Control de Tiempo y Recorrido mediante Navegación Satelital), situados en una órbita a unos 20200 km. de la Tierra, transmiten a la tierra constantemente una señal que contiene información de posición y tiempo en cualquier lugar del planeta, de día o de noche y bajo cualquier condición meteorológica.

Los satélites transmiten constantemente en dos ondas portadoras. Estas ondas portadoras se encuentran en la banda L (utilizada para transmisiones de radio) y viajan a la Tierra a la velocidad de la luz. Dichas ondas portadoras se derivan de la frecuencia fundamental, generada por un reloj atómico muy preciso, sincronizados entre ellos [41].

- La portadora L1 es transmitida a 1575.42 MHz ( $10.23 \times 154$ ) CIVIL/ SPS
- La portadora L2 es transmitida a 1227.60 MHz ( $10.23 \times 120$ ) MILITAR/ P

De esto podemos concluir que no sería el mejor dispositivo de detección de deslizamientos, donde la diferencia de posición es menor a un metro, debido a que mayor tamaño es posible sea demasiado tarde ya que un deslave puede ser detectado con unos pocos centímetros de precisión, o la señal se encuentra variando continuamente en el tiempo, entregando datos erróneos a nuestra medición. Un ejemplo de satélite y de un receptor GPS lo podemos observar en la *figura 1.4.1* y *1.4.2*.

	<p><i>Figura 1.4.1 Satélite de La Red Navstar que transmite la información de posición y tiempo propio hacia la tierra. [www.miltonorellanam.blogspot.com]</i></p>
	<p><i>Figura 1.4.2 Dispositivo que recibe y procesa La información enviada por los satélites, mediante la cual calcula la suya propia. [www.en.wikipedia.org]</i></p>

## 1.5 Acelerómetros.

Son dispositivos basados en piezoeléctricos, de manera que son tan sensibles, que la fuerza de gravedad los puede afectar, en un rango de 1 g hasta 16 g, por lo que su rango de aplicación puede ir desde pequeños movimientos, hasta aceleraciones en aviones de alta velocidad, cohetes espaciales, autos de fórmula uno, etc. En la actualidad son ampliamente usados en teléfonos celulares, PDAs, ordenadores de mano, controles de juegos, etc. De tal manera que su alta sensibilidad nos acerca más a ser un candidato para nuestro trabajo.

Estos dispositivos basados en piezoeléctricos empiezan a ser ampliamente utilizados en respuesta a la alta resolución que poseen, estamos hablando de 3,9 mg/LSB lo que permite medir inclinaciones desde hasta 1 grado, funcionando linealmente para rangos de gravedad

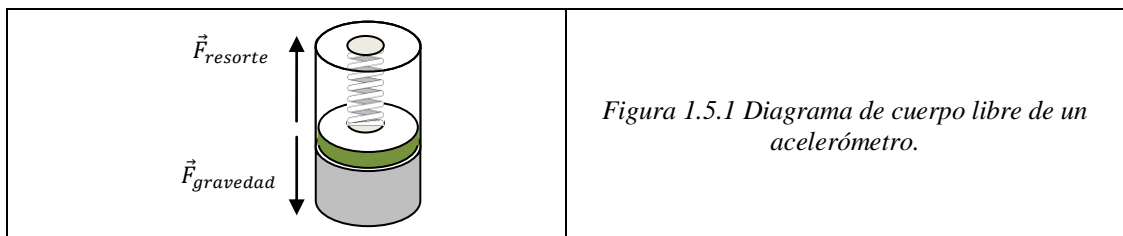
de ( $\pm 2 g$ ,  $\pm 4 g$ ,  $\pm 8 g$ , y  $\pm 16 g$ ). Incluso para aplicaciones que requieren una resolución aún mayor, esta puede ser alcanzada utilizando técnicas de sobre-muestreo [17].

Algunas funciones especiales se pueden también diseñar; por ejemplo detectar la presencia de actividad, inactividad o leves movimientos comparando la aceleración en cualquiera de los ejes con una aceleración ya establecida por el usuario definiendo un thresholds. Detectar uno o dos golpes en cualquier dirección. Sensible para detectar caída libre si el dispositivo está cayendo.

### 1.5.1 Teoría de Operación.

Un acelerómetro, realiza mediciones de dos maneras, ambas por aceleración dinámica, como resultado de un movimiento, impacto y aceleración estática como la gravedad, esto le permite al dispositivo a ser usado como un sensor de inclinación (ubicación, posición).

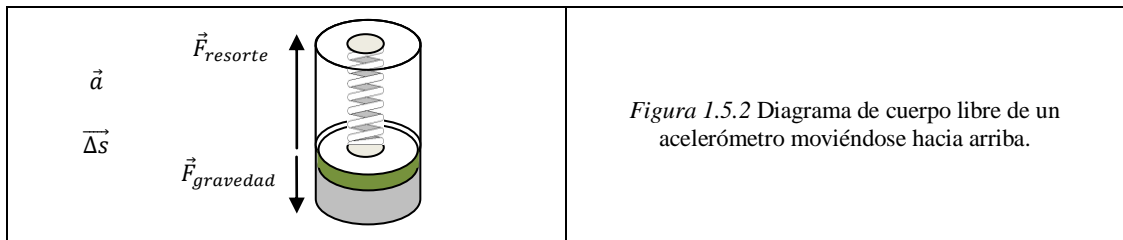
Si establecemos el diagrama físico de cuerpo libre de un acelerómetro como en la figura 1.5.1



Utilizando un arreglo de un resorte con una masa, podemos utilizando la ley de Hook (fuerza proporcional a la elongación del resorte):

$$\vec{F}_{resorte} = -k \Delta\vec{s}$$

Donde  $\Delta\vec{s}$  es el vector elongación o compresión del resorte, k es la constante propia del resorte, una especie de medida de la rigidez del mismo, el signo negativo en esta ecuación indica que la fuerza tiene dirección contraria a la elongación o compresión.



Además de las fuerzas, es necesario incluir el vector aceleración, ya que si existe un cambio de posición de la masa, indica que existió un movimiento y si antes se encontraba en equilibrio dinámico, es decir sin movimiento, entonces existió una aceleración y en este caso solo en dirección vertical [12]. Podemos entonces escribir la ecuación:

$$\vec{F}_{neta} = ma$$

$$\vec{F}_{resorte} - mg = ma$$

$$-k \Delta \vec{s} - mg = ma$$

$$a = \frac{k \Delta \vec{s}}{m} - g$$

El sensor en si es una estructura superficial micro-maquinada de poli-silicio en la parte superior de un wafer de silicio. Estos resortes de poli-silicio están suspendidos de una estructura sobre la superficie del wafer y provee una fuerza de resistencia contra la dirección en que se aplica la aceleración, podemos ver un circuito integrado con acelerómetro de 3 ejes en la *figura 1.5.6*.

La deflexión de la estructura es medida utilizando un capacitor diferencias que consiste de platos independientes fijos adjuntos para el movimiento de la masa. Deflexiones en la aceleración, la prueba de masa y el desbalance en el capacitor diferencia, resulta en una salida del sensor cuya amplitud es proporcional a la aceleración. Demodulación fase-sensitiva es usada para determinar la magnitud y polaridad de la aceleración [18].

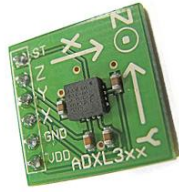


Figura 1.5.6 Circuito integrado con tratamiento de señal ADXL3, de 3 ejes de Analog Devices, imagen tomada de [www.robotappstore.com]

## 1.6 Inclinómetro.

Es un instrumento utilizado para medir la inclinación, elevación o depresión, estos dispositivos están diseñados en un inicio para la construcción y edificación, bien sea de carreteras, edificios, etc., basados en un inicio en la burbuja de aire en un medio acuoso, lo cual se utiliza hasta la actualidad por ser un instrumento práctico, para posicionar horizontalmente maquinaria o cualquier mueble. En la actualidad esta burbuja de aire que es reemplazada por acelerómetros, con su respectivo arreglo electrónico y de software que permita indicar el ángulo de inclinación con mayor precisión, es por ello que no profundizamos su análisis, podemos observar dos modelos comerciales en las figuras 1.6.1 y 1.6.2, el primero con sujetadores magnéticos y conexión de lectura, y el otro para ubicar con las manos.



Figura 1.6.1 The Alcons Inclino Meter™  
[<http://www.alconsaudio.com/site/TRN/technology.html>]



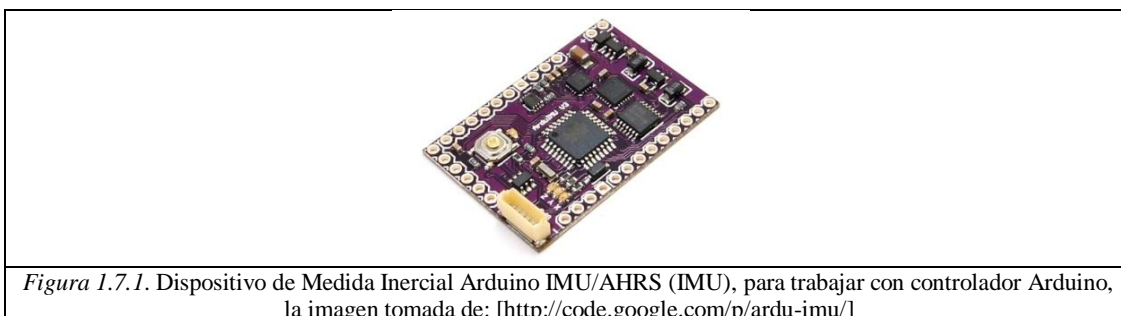
Figura 1.6.2 Digital Angel Protection(Inclino Meter)  
[<http://newdelhi.olx.in/digital-angel-protection-inclino-meter-iid-457970286>]

## 1.7 Unidad de Medición de Inercia (IMU).

Un núcleo de procesador integral en el chip, que incluye algoritmos para unir a las salidas del acelerómetro, el giroscopio y el magnetómetro va a proveer una funcionalidad de 9 grados de libertad para aplicaciones que incluyen smart phones, tablets, controles remotos, consolas de juegos, cámaras y videocámaras. Este tipo de dispositivo forma una completa unidad de medida inercial (IMU) [18].

La empresa Invensense trabajó junto a Apple Inc. Durante el desarrollo de las capacidades de movimiento para el iPhone 4, pero el contrato lo ganó la empresa STMicroelectronics NV, la misma que trabajará para el iPhone 5.

Probablemente este sistema integrado de 9 grados de libertad, sea suficiente para suplir las necesidades y requerimientos de los diferentes dispositivos tanto de uso personal como de guía y estabilización de vehículos terrestres, marinos, aéreos y espaciales, un modelo integrado de IMU para trabajar con controlador Arduino se puede observar en la *figura 1.7.1*.




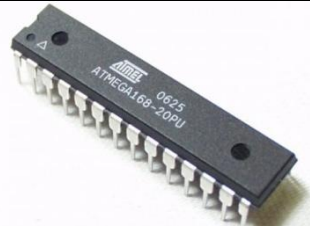
## 1.8 Microcontroladores.

Se trata de una combinación de dispositivos y circuitos digitales que permiten desarrollar una secuencia programada de operaciones con un mínimo de intervención humana. A la secuencia de operaciones se la llama programa. Este es un conjunto de instrucciones codificadas que se almacenan en una memoria interna. Es dispositivo en si es el corazón del

computador. La velocidad, su capacidad, etc; determinará las capacidades de operación que se busca desarrollar al diseñar un dispositivo.

Muchas de las características de un microprocesador no son accesibles de manera física, es decir sus circuitos lógicos responderán a una configuración externa mediante la utilización software. Esto significa que podemos afectar los circuitos internos del microprocesador por medio de un programa que se coloca en la memoria y para que sea ejecutado. Esto hace que un microprocesador sea versátil y flexible, es decir cuando queremos cambiar la operación del microprocesador, simplemente cambiamos el programa, lo logramos cuando alteramos la memoria ROM en la que se almacena el programa.

La función principal que debemos entender del funcionamiento de un microprocesador, consiste en buscar, traer y decodificar instrucciones del programa y después generar señales de control necesarios, que se encuentren en la unidad de almacenamiento donde se encontrarán la sección de registros para ejecutar estas instrucciones. [19], podemos observar dos tipos de microprocesadores uno de alta velocidad, capacidades y núcleos de procesamiento para un computador personal en la *figura 1.8.1* mientras que el otro es un microprocesador de bajas características para procesos más sencillo en la *figura 1.8.2*.

	<p><i>Figura 1.8.1</i> [<a href="http://www.intel.com/content/www/us/en/processors/core/core-i7-processor.html">http://www.intel.com/content/www/us/en/processors/core/core-i7-processor.html</a>]</p>
	<p><i>Figura 1.8.2</i> [<a href="http://www.atmel.com/devices/atmega168.aspx">http://www.atmel.com/devices/atmega168.aspx</a>]</p>

## 1.9 Micro controladores Arduino.

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto flexible de prototipaje electrónico, de fácil uso del hardware y el software. Pensado para artistas, diseñadores, investigadores y cualquiera que esté interesado en crear objetos o ambientes interactivos [42].

El sistema está diseñado para la entrada de señales, de una variedad de sensores que monitorean el medio y pueden afectarlo mediante salidas, controlando por ejemplo la iluminación, motores, y otros actuadores. El microcontrolador integrado se puede programar utilizando el lenguaje de programación *Arduino*, mismo que está basado en *Wiring*, podemos ver una placa integrada en la *figura 1.9.1*. Los dispositivos pueden trabajar de manera autónoma utilizando baterías, alimentación fija o comunicarse mediante un software en una computadora por ejemplo Flash, Processing, MaxMSP, CTU o la misma versión de Arduino [42].

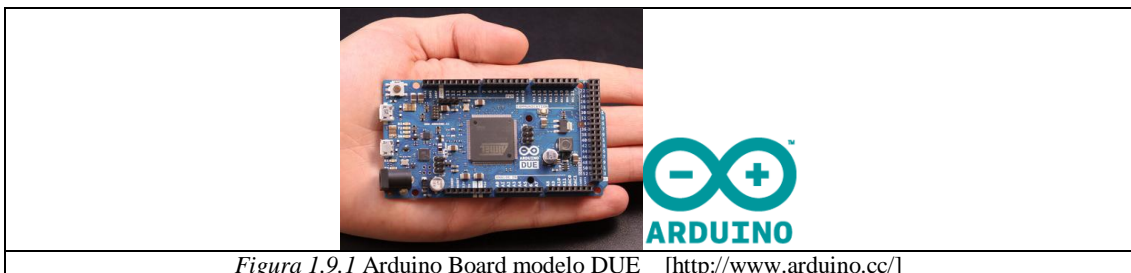


Figura 1.9.1 Arduino Board modelo DUE [<http://www.arduino.cc/>]

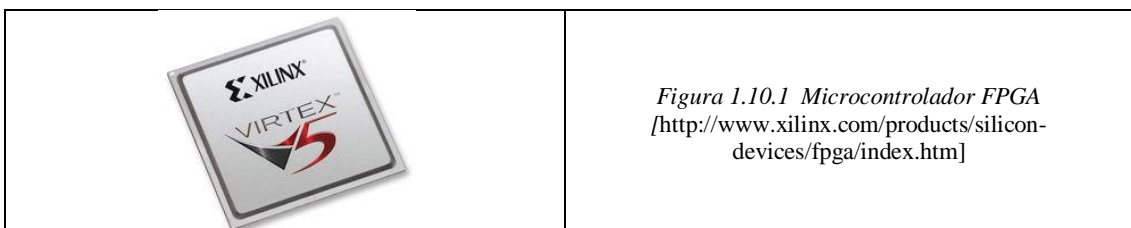
## 1.10 Microcontroladores FPGA

Ross Freeman, el cofundador de Xilinx, inventó el FPGA en 1985 y a diferencia de los procesadores que encuentra en una PC, a los FPGA se los puede re-programar. Son chips de silicio conocidos como Arreglos de Compuertas Programables de Campo (FPGAs), que al ser programados, el chip se vuelve a cablear para implementar su funcionalidad en lugar de ejecutar una aplicación de software a diferencia de los microcontroladores analizados en el

inciso anterior. National Instruments se ha asociado con Xilinx para ofrecer tecnología FPGA de vanguardia en una variedad de plataformas de hardware.

En el pasado, la tecnología de FPGA estaba disponible solamente para ingenieros con un profundo conocimiento del diseño de hardware digital. El surgimiento de herramientas de diseño de alto nivel, como NI LabVIEW, cambia las reglas de programación de FPGAs, ofreciendo nuevas tecnologías que convierten los diagramas de bloques gráficos en circuitos de hardware digital. Todos los productos de hardware NI FPGA son construidos en base a una arquitectura de Entrada/Salida reconfigurable (RIO), la cual tiene potentes procesadores de punto flotante, FPGAs reconfigurables y E/S modular. El hardware NI RIO, combinado con el software de diseño de sistemas LabVIEW, simplifica el desarrollo y acorta el tiempo de disponibilidad en el mercado, al diseñar aplicaciones avanzadas de control, monitoreo y pruebas [43].

De acuerdo a esta información un micro controlador es bueno para desarrollar aplicaciones de baja a mediana velocidad (entre unos 70 - 100 MHz) y un FPGA puede ser utilizado para mayores velocidades, esto es debido a su capacidad de configuración, en ciertos casos se los usan como coprocesador matemático de los mismos DSPs para poder resolver ecuaciones matemáticas de manera casi instantánea, se puede observar uno de los modelos de microprocesador FPGA de XILINX en la *figura 1.10.1*.



## 1.11 Interface de comunicaciones RS232

El protocolo de comunicaciones RS-232 rige los parámetros de la comunicación serial, es importante señalar que es una norma o estándar mundial. Mediante este protocolo de comunicación se estandarizan los siguientes parámetros: la velocidad de transferencia de datos (Tx y Rx), el control de dicha transferencia (hand-shake), niveles de voltaje utilizado, tipo de cableado permitido, las distancias entre equipos y el tipo de conectores utilizados.

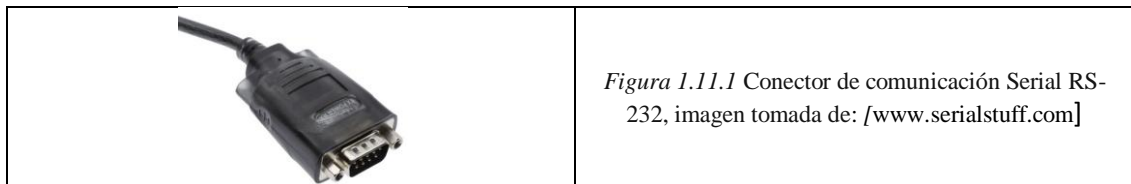
A nivel de software, la configuración principal que se debe dar a una conexión a través de puertos seriales. RS-232 es básicamente la selección de la velocidad en baudios (1200, 2400, 4800, etc.), la verificación de datos o paridad (paridad par o paridad impar o sin paridad), los bits de parada luego de cada dato (1 ó 2), y la cantidad de bits por dato (7 u 8), que se utiliza para cada símbolo o carácter enviado.

La Norma RS-232 fue definida para conectar un ordenador a un modem. Además de transmitirse los datos de una forma serial asíncrona, son necesarias una serie de señales adicionales, que se definen en la norma, utilizados para control. Las tensiones empleadas están comprendidas entre +15/-15 voltios [44], podemos observar un típico conector de comunicación RS-232 en la *figura 1.11.1*.

Señales eléctricas que se observan en el protocolo de la RS-232.

Request To Send	RTS	Señal que se envía de la computadora (DTE) al módem (DCE) para indicar que se quieren transmitir datos. Si el módem decide que esta OK, asiente por la línea CTS. Una vez la computadora prende la señal RTS, esperará que el módem asiente la línea CTS. Cuando la señal CTS es afirmado por el módem, la computadora empezará a transmitir datos
Clear To Send	CTS	Acuso de recibido por el módem después de recibir la señal de RTS indica que la computadora puede transmitir.
Data Terminal Ready	DTR	Esta línea de señal es afirmada por la computadora, e informa al módem que la computadora está lista para recibir datos
Data Set Ready	DSR	Esta línea de señal es afirmada por el módem en respuesta a una señal de DTR de la computadora. La computadora supervisa el estado de esta línea después de afirmar DTR para descubrir si el módem esta encendido.
Receive Signal	RSLD	Esta línea de control es afirmada por el módem e informa a la computadora que se

Line Detect		ha establecido una conexión física con otro módem. A veces se conoce como detector de portadora (CD). sería un error que una computadora transmita información a un módem si esta línea no esta prendida, es decir si la conexión física no funciona
Transmit Data	TD	la línea por donde el dato se transmite de un bit a la vez
Receive Data	RD	es la línea por donde el dato se recibe de un bits a la vez.



## 1.12 Interface de comunicaciones USB

El Universal Serial Bus (USB), es un bus de comunicaciones punto a punto ya que dado que el lugar de partida es el *host* (PC o *hub*), el destino es un periférico u otro *hub*. No hay más que un único *host* (PC) en una arquitectura USB.

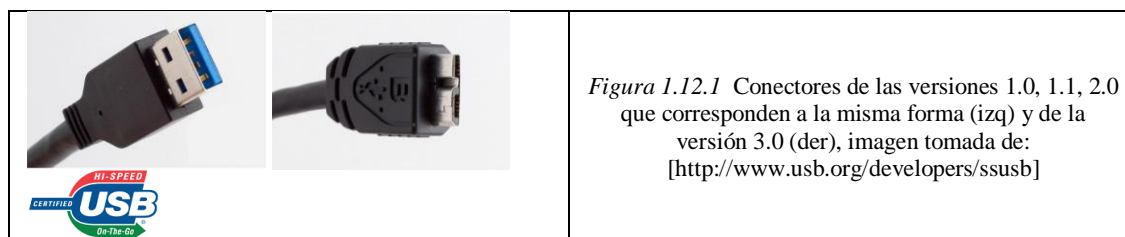
Los computadores personales estándar tienen un mínimo de dos tomas USB, lo que implica que, para permitir más de dos periférico simultáneamente, es necesario un *hub*. Algunos computadores personales y periféricos incluyen un *hub* integrado, por ejemplo, el teclado USB, al que se le puede conectar un Mouse USB. Los periféricos comparten la banda de paso del USB. El protocolo se basa en el llamado *paso de testigo* (*token*). El ordenador proporciona el testigo al periférico seleccionado y seguidamente, éste le devuelve el testigo una respuesta. Este bus permite la conexión y la des-conexión en cualquier momento sin necesidad de apagar el equipo.

Este tipo de bus de comunicaciones es muy popular, llegando a que la gran versatilidad disponible, permite que PDAs, teléfonos móviles y demás dispositivos se conecten utilizando esta arquitectura, se conocen de ahí los conectores miniUSB y el microUSB, como se ven en la *figura 1.12.1* [45].

Existen varias versiones de acuerdo a la velocidad de transmisión de datos, los que podemos apreciar en la *tabla 1.12.1*.

Versión de puerto	Velocidad máxima en Megabits por segundo	Velocidad máxima en (MegaBytes/segundo)
USB 1.0 (Low Speed)	1.5 Mbps	187.5 KB/s
USB 1.1 (Full Speed)	12 Mbps	1.5 MB/s
USB 2.0 (Hi-Speed)	480 Mbps	60 MB/s
USB 3.0 (Super Speed)	3200 Mbps / 3.2 Gbps	400 MB/s

Tablas 1.12.1, Velocidades de transmisión alcanzadas en las diferentes versiones.



## 1.13 Protocolos de comunicaciones

En la actualidad experimentamos la utilización de las redes de comunicación en todo momento, cuando observamos televisión, nos comunicamos telefónicamente, es decir las aplicaciones son innumerables, información, industria, televisión, radio, telefonía, correo electrónico, etc. Lo que guardan en común todas, es que participan los componentes: Origen de la información, canal o medio por el cual se transmite o viaja la información y destino que es quien recibe el mensaje.

Tenemos gran variedad de lenguajes de comunicación, a los cuales se los conoce como protocolos de comunicación, por lo cual, es necesario que para transmitir un mensaje el emisor y el receptor hablen el mismo idioma, por ejemplo el protocolo utilizado en el internet se ha tomado como estándar al TCP/IP, cuya ciclas significan Internet Protocol.

### 1.13.1 IEEE 802.11

Cuando en 1980 la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos FCC, tomo la decisión de autorizar una licencia libre para el uso de WLAN en la industria, salud e investigación, aparecieron varios problemas entre los más importantes fueron las interferencias, por lo cual se limitó la potencia de transmisión de las WLANs. Aún así se

empezó a utilizarla ampliamente, por lo que fabricantes empezaron a desarrollar equipos propietarios para estas áreas, mismas que entre ellos fueron incompatibles, fue cuando en 1980 se realizó el primer intento por definir un estándar, encargada al grupo de trabajo 802.4 de la IEEE, le mismo que encontró que no era posible estandarizar dichos protocolos propietarios, sino recomendó crear un nuevo estándar que se denominó el Grupo de Trabajo 802.11, quien sería responsable por la creación del estándar de comunicaciones a nivel de capa física [20], donde se desarrollaron algunos protocolos, entre ellos, el 802.Legacy con velocidades teóricas de 1 y 2 Mbps mediante comunicación infrarroja, luego la 802.11b en la misma frecuencia de transmisión que la anterior pero extendiéndola a 11 Mbps, luego la 802.11a con 54 Mbps, seguida de la 802.11g que llegó a los 100Mbps y finalmente a la 802.11n que bordeó los 300 Mbps, todos ellos con un alcance menor a los 100 metros, podemos observar mejor en la siguiente *tabla* comparativa 1.13.1:

Protocol	Release Date	Op. Frequency	Data Rate (Typ)	Data Rate (Max)	Range (Indoor)
Legacy	1997	2.4 -2.5 GHz	1 Mbit/s	2 Mbit/s	?
802.11a	1999	5.15-5.35/5.47-5.725/5.725-5.875 GHz	25 Mbit/s	54 Mbit/s	~30 meters (~100 feet)
802.11b	1999	2.4-2.5 GHz	6.5 Mbit/s	11 Mbit/s	~30 meters (~100 feet)
802.11g	2003	2.4-2.5 GHz	25 Mbit/s	54 Mbit/s	~30 meters (~100 feet)
802.11n	2008 (projected)	2.4 GHz or 5 GHz bands	200 Mbit/s	540 Mbit/s	~50 meters (~160 ft)

*Tabla 1.13.1* Cuadro comparativo entre los principales estándares IEEE 802.11, tomada de: [\[http://ieeestandards.galeon.com/aficiones1573579.html\]](http://ieeestandards.galeon.com/aficiones1573579.html)

En la actualidad este protocolo de comunicaciones inalámbricas es el más difundido a nivel mundial, los fabricantes se han apegado a él y su desarrollo ha dado importantes pasos en procesos de calidad de servicio, velocidades de transferencias, etc.

### 1.13.2 Red de Área Personal PAN IEEE 802.15

El siguiente paso dentro de las comunicaciones locales fueron las que se encuentran en un rango pequeño de alcance, es decir unos pocos metros. El primer intento de este protocolo se dio en 1994 por la compañía Ericsson, en búsqueda de comunicación entre dispositivos como manos libres con los teléfonos celulares, y lo denominaron Bluetooth en honor a un Rey que

unió a las tribus Vikingas. Este fue un estándar abierto por lo que fue adoptado por más de 100 empresas y se posicionó como una marca, la última revisión del protocolo fue en 2001 definiéndola que opere en la banda de 2.4 GHz, soportando 64 kbps para canales de voz y 721 kbps en comunicación asíncrona, soportando conexiones de 10m hasta 100m con 1mW de potencia.

Otro proyecto PAN (Personal Area Network) fue el HomeRF, que ofrece 32 Kbps para voz y hasta 10 Mbps para conexiones de datos. También operando en la banda de 2.4 GHz y con un alcance de hasta 50 m, fue necesario entonces la creación del grupo de trabajo IEEE 802.15 para estandarizar la interoperabilidad entre los dos proyectos [20/ Nicopolitidis, P. (2003), Wireless Networks, John Wiley & Sons, Ontario – Canada.].

### 1.13.3 ZigBee 802.15.4

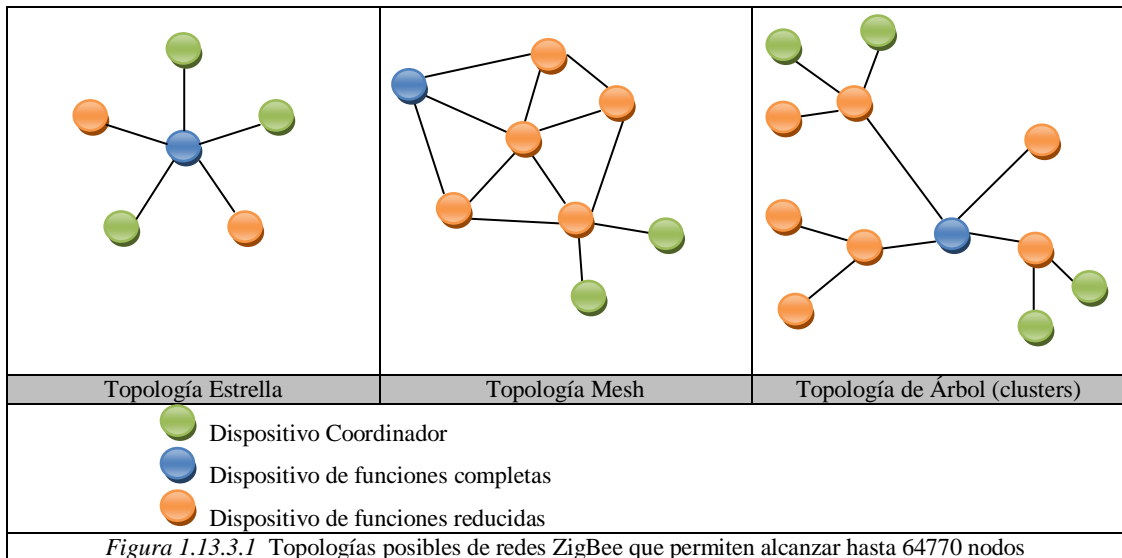
Este protocolo de comunicaciones nace de una necesidad básica que es prolongar el tiempo de uso de las baterías, es su primera etapa el protocolo personal BlueTooth consume a una alta velocidad las baterías de los dispositivos, es por ello que por ejemplo los head-set utilizados como dispositivos de manos libres para teléfonos celulares es necesario cargarlos diariamente. Es cuando el protocolo ZigBee que en la actualidad es requerido para una amplia variedad de dispositivos, que buscan principalmente tener una mayor vida útil de las baterías, y desde luego este hecho hace que su desarrollo se haya enfocado en que no utilice un gran ancho de banda como lo hace el BlueTooth.

El protocolo Zigbee fue diseñado bajo los parámetros mostrados en la *tabla 1.13.3.1*:

Característica	Valor
Ancho de banda de datos	10-115 kbits/s
Distancia	30 m
Nodos en una red	Hasta 255 (BlueTooth solo 8)
Vida útil de la batería	0.5 hasta 2 años
Espaciamiento entre canales	MHz

*Tabla 1.13.3.1* Características de funcionamiento del protocolo 802.15.4

En una red ZigBee pueden interactuar hasta 254 nodos, sin embargo, todo dependerá del tipo de topología sea adoptada según el caso, porque podrían pasar a ser 255 conjuntos (clusters), lo que nos permitiría alcanzar 64770 nodos. Las topologías conocidas son la estrella, malla (mesh) o en grupos de árboles como se puede observar en las *figuras 1.13.3.1*.

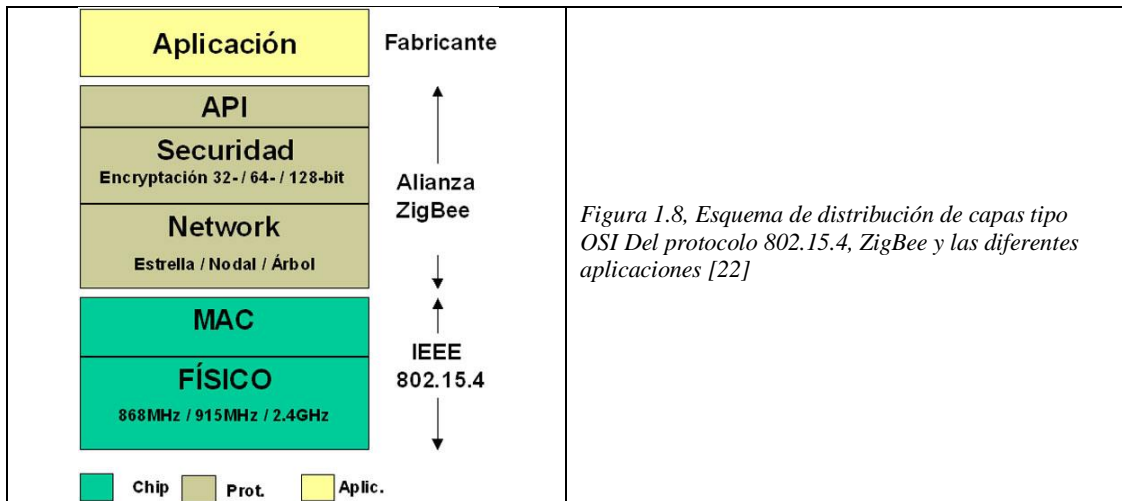


La gestión de acceso al medio lo realiza mediante CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) con lo que le es posible usar ranuras temporales TDMA (Time Division Multiple Access) [21].

La estandarización de Zigbee estuvo terminada para 2006, y los dispositivos en la actualidad están emergiendo en gran cantidad, esto debido a que el regreso de Bluetooth en nuevas versiones alcanzan objetivos de aumentar la vida útil de las baterías, debido a esto se ha hecho dificultoso el despunte del protocolo Zigbee, pero hay que señalar que los dispositivos Zigbee serán 3 veces más económicos que los Bluetooth, lo que lo hace atractivo y por último las nuevas versiones de firmware para algunos de ellos incluye el manejo de IPv6.

Es importante señalar que el protocolo IEEE 802.15.4 está basado en el modelo OSI, lo que le brinda una alta robustez y además la integración con otros protocolos de comunicaciones. Se define dos capas bajas: La capa física y la subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC)

en la capa de enlace de datos. Esta se encarga de aislar los detalles de configuración de las tecnologías física con la capa de acceso al medio. Estas capas son utilizadas por el protocolo ZigBee (IEEE802.15.4) para brindar soporte al trabajo en las aplicaciones. Podemos observar un esquema de capas en la siguiente figura.



#### 1.13.4 Redes Mesh (Malla)

La gran mayoría de redes de comunicaciones, funcionan en un modo administrativo utilizando un Access Point para comunicarse entre ellos, es decir una estación que sirva de intermediario entre las comunicaciones que reciba de un cliente (paquetes de información) y se los retrasmite a otro destinatario. Un ejemplo de esto se da en las comunicaciones celulares, por ejemplo si quiere un cliente A enviar un mensaje de texto o hacer a una llamada al cliente B que se encuentra a pocos pasos de él, el teléfono móvil del cliente A se conectará con una estación base que puede estar a unos cuantos kilómetros de distancia y luego esta estación base se comunica con el teléfono móvil del cliente B. Lógicamente podemos pensar que al estar estos clientes juntos, están mutuamente dentro del radio de alcance, por lo que no necesitarían de la estación base. Lo mismo sucede con los computadores, necesitan de una estación base para comunicarse aunque estén en la misma mesa, en otras palabras hablaríamos de una topología tipo estrella. Como ejemplo podemos

citar que una comunicación puede ser de 600 kbyte/s, la máxima velocidad en protocolo 802.11b, pero al tener que ser retransmitidos por la estación base la velocidad real entre dos clientes será de 300 kbyte/s [22].

Cuando configuramos una red ad-hoc no se tiene una relación jerárquica entre clientes, es decir las comunicaciones no serán maestro-cliente, sino cliente-cliente, en esta situación la velocidad de transmisión será máxima, pero lamentablemente los clientes ad-hoc no retransmiten datos por defecto, a menos, que se aplique enrutamiento. En esta configuración de enlaces, podemos llamar a cada cliente “nodo”, mismo que puede ser un teléfono celular, un laptop, un AP, etc., en fin un dispositivo que retransmita la comunicación ampliando de esta forma el rango de cobertura de la red, esta es la llamada red malla o Mesh, la cual mientras más nodos posea mayor será el rango de cobertura. También es lógico pensar que al utilizar la misma interfaz de radio, estarían saturando el ancho de banda disponible, por lo que si bien el rango de cobertura aumenta con los nodos, la velocidad de transmisión de datos será reducida. Esto podemos mejorar si se escriben las tablas de enrutamiento, pero como en la vida real los nodos, no son estables, es decir, pueden por interferencia desconectarse, moverse, apagarse, etc., la tabla de enrutamiento no será tampoco estable, por lo que fue necesario utilizar un protocolo de comunicaciones que permita que las tablas de enrutamiento vayan cambiando de manera dinámica con la red. Dentro de los protocolos más populares para este fin encontramos: AODV, BATMAN, BABEL, IEEE 802.11S, OLSR Y OPEN 802.11S. [46]

Los escenarios para los que fueron creadas las redes Mesh, de acuerdo al Grupo de Tareas, incluye una amplia gama de aplicaciones, en un inicio se contemplaba únicamente una red Mesh estática con infraestructura fija para: aplicaciones militares, servicios sociales, entretenimiento en el ambiente del hogar, acceso público, redes de oficina y empresas.

### **Red Mesh WPAN 802.15.5**

Estas redes mantienen topología Mesh, pero está disponible para redes inalámbricas de área personal (WPAN). La cobertura decrece con el incremento de la velocidad, obligando a reducir el rango del sistema de comunicaciones, por lo que por lo general las redes Mesh WPAN son típicamente redes cercanas, que no necesariamente necesitan un Gateway a internet, por otro lado es muy importante el incremento del tiempo de vida de la batería, lo que hace que la velocidad de transferencia sea baja, entendiendo que no tiene jerarquía.

Existen dos principales aplicaciones para las redes Mesh WPAN definidas en 802.5.5: aplicaciones de alta y baja velocidad. Redes de Sensores, como Zigbee, y redes de control y mantenimiento son ejemplos típicos del uso, de una baja velocidad, mientras que las aplicaciones de alta velocidad están relacionadas con la transferencia de video y voz en tiempo real, video juegos.

Las redes de comunicación se han desarrollado de una manera en la cual, prima la centralización, es decir que los dispositivos se conectan a una estación base principal, para interconectarse entre ellas. Entre ellas podemos citar a las que el mercado a posicionado en gran uso, Bluetooth (IEEE 802.15.1), aka WiMax (IEEE 802.16), y las redes personales de comunicación (WPAN IEEE 802.15.3), mismas que utilizan topologías tipo estrella con un controlador central, estación base o controlador Piconet [22], donde un Punto de Acceso (*Acces Point AP*) está presente como se puede ver en la *figura 1.13.3.2* y una topología Mesh en la *figura 1.13.3.3*.



	
<p><i>Figura 1.13.3.2.</i> Dispositivos conectados mediante una topología tipo estrella</p>	<p><i>Figura 1.13.3.3</i> Topología Mesh, tomado de: www.[criadoindomable.wordpress.com]</p>

Toda la información fluye a través de este AP, permitiendo las comunicaciones entre los diferentes dispositivos y de ahí incluso hacia el internet. Por otro lado los dispositivos que no trabajan de esta forma son los que se encuentra utilizando el protocolo IEEE 802.11 ad-mode, en las cuales la información viaja directamente de la fuente al destino.

### 1.13.5 Red Celular

El precursor o inventor de la telefonía es atribuida a Antonio Santi Giuseppe Meucci en el año 1857 en la Habana Cuba, quién por falta de \$250 USD no le fue posible patentar la invención del teléfono, pero la cámara de representantes de los Estados unidos le devolvió su posición como el definitivo inventos el 11 de junio de 2002 y no al famoso Alexander Graham Bell [23].

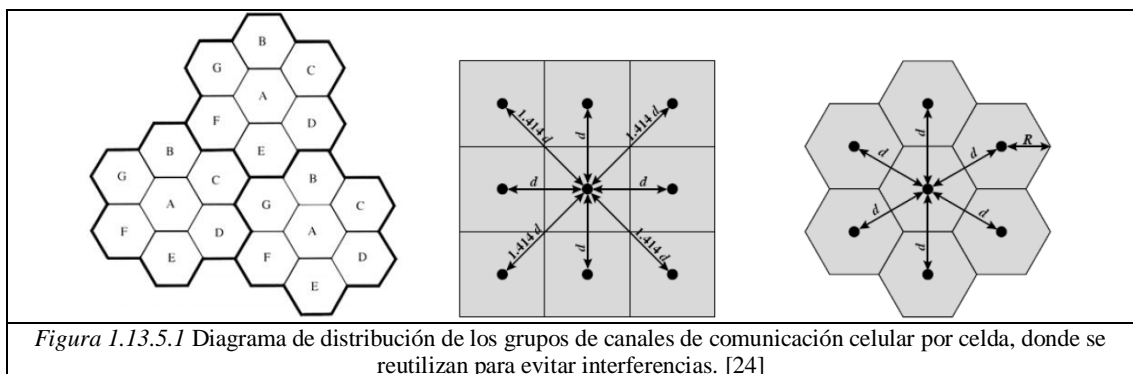
Desde que Marconi en 1897 demostró la posibilidad de comunicarse continuamente de manera inalámbrica con un barco en el canal inglés, la ciencia no ha descansado por afinar esta tecnología llevándonos en la actualidad hasta la posibilidad de una reconstrucción cuántica de la materia, lo cual conocemos con el nombre de tele transportación.

En el año de 1900 el Canadiense-Americano *Reginald Aubry Fessenden* hizo la primera transmisión der voz (una distancia que supero los 40 kilómetros utilizando una frecuencia portadora de 10 kHz [22]).

Por la urgencia y necesidad en la actualidad de que las comunicaciones sean más personales, le telefonía celular ahora incluye acceso a internet, esto permite ampliar las aplicaciones de comunicaciones como son de audio y video, mismas que son una realidad completamente

plausible y palpable, superando por mucho de esta manera a la telefonía fija, hoy por hoy casi cada ciudadano del mundo tiene acceso a uno o más teléfonos móviles personales.

La característica principal de que se llame comunicación celular es por la distribución de pequeñas regiones en las cuales se pueden reutilizar los grupos de canales de comunicación separada por longitudes lo suficientemente grandes para evitar interferencias, llamadas co-canales. Como podemos ver en la *figura 1.13.5.1*, la distribución de los canales de comunicaciones se las realiza de acuerdo al siguiente ejemplo, donde cada letra representa una celda donde se utilizan un grupo de canales, y se reutilizan donde vuelve aparecer. Por razones geométricas la cobertura más eficiente de los grupos de canales se las representa por un hexágono, con el cual se evitan solapamientos o áreas sin cobertura y en especial porque las distancias entre las antenas de cada célula equidistarían en esta forma entre ellas [24].



La comunicación móvil utiliza frecuencias de transmisión por las cuales tienen que pagarse una licencia a la Superintendencia de Telecomunicaciones. La tecnología que ha evolucionado en el tiempo, donde algunas de las cuales continúan funcionando, dependiendo del lugar y país, así que de manera general, las podemos catalogar como se observa en la tabla 1.15.3.1 [47]

<b>0G (radio telephones)</b>	MTS · MTA · MTB · MTC · IMTS · MTD · AMTS · OLT · Autoradiopuhelin
<b>1G</b>	<b>AMPS family</b> AMPS · TACS · ETACS
	<b>Other</b> NMT · Hicap · Mobitex · DataTAC
<b>2G</b>	<b>GSM/3GPP family</b> GSM · CSD
	<b>3GPP2 family</b> CdmaOne (IS-95)
	<b>AMPS family</b> D-AMPS (IS-54 and IS-136)
	<b>Other</b> CDPD · iDEN · PDC · PHS
<b>2G transitional (2.5G, 2.75G)</b>	<b>GSM/3GPP family</b> HSCSD · GPRS · EDGE/EGPRS
	<b>3GPP2 family</b> CDMA2000 1xRTT (IS-2000)
	<b>Other</b> WIDEN
<b>3G (IMT-2000)</b>	<b>3GPP family</b> UMTS (UTRAN) · WCDMA-FDD · WCDMA-TDD · UTRA-TDD LCR (TD-SCDMA)
	<b>3GPP2 family</b> CDMA2000 1xEV-DO (IS-856)
<b>3G transitional (3.5G, 3.75G, 3.9G)</b>	<b>3GPP family</b> HSDPA · HSUPA · HSPA+ · LTE (E-UTRA)
	<b>3GPP2 family</b> EV-DO Rev. A · EV-DO Rev. B
	<b>Other</b> Mobile WiMAX (IEEE 802.16e-2005) · Flash-OFDM · IEEE 802.20
<b>4G (IMT-Advanced)</b>	<b>3GPP family</b> LTE Advanced
	<b>WiMAX family</b> IEEE 802.16m
<b>5G</b>	<b>unconfirmed</b> unconfirmed

Tabla 1.15.3.1 Evolución y desarrollo de la tecnología celular [47]

## 1.14 Cambio Climático

Las sociedades del siglo 21 utilizamos diferentes tipos de energía en el 90% de nuestras actividades y servicios, tales como transporte, iluminación, comunicaciones, etc. De manera que es necesario generarla de alguna forma, energía que en un 85% proviene de la combustión de combustibles fósiles, lo que de acuerdo a Meinshausen et al [32], a hecho que el ciclo de efecto invernadero producido por un máximo histórico de 330 ppm de CO<sub>2</sub>, hoy se encuentre en 395 ppm, lo que ha originado cambios en los parámetros climáticos conocidos por el hombre, fuera de fechas y temporadas definidas, produciendo sequías como intensas lluvias, nos interesan en particular estas últimas, porque producen, desbordamiento de ríos en las zonas bajas como deslaves en zonas altas, causando muerte y destrucción, responsable en nuestro país de la mayoría de casualidades personales en territorio ecuatoriano de acuerdo a la SNRG [26].

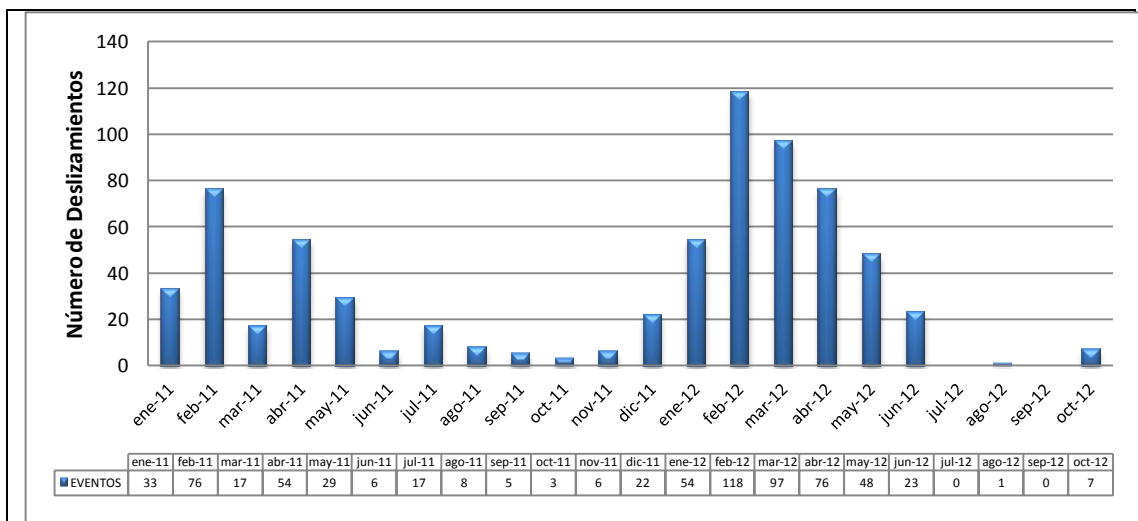
### 1.14.1 Adaptación al cambio climático.

Alrededor del mundo las condiciones climáticas han cambiado notablemente, por lo cual le hemos llamado, adaptación al cambio climático, a las estrategias que tomamos como

sociedades, para enfrentar este desafío, que de no gestionarse y desarrollarlo, puede crear pérdidas económicas considerables, por no estar preparados para efectos del cambio climático, entre ellas las fuertes lluvias, que complican ya por la geografía y geología de nuestro país problemas de deslaves que incluso ha sido responsable de la causa de muertes en varios países del mundo y en el nuestro, es por ello que con decreto ejecutivo No 1815 se declarase como política de Estado la adaptación y la mitigación al cambio climático [25], responsabilidad que estará delegada al Ministerio del Ambiente para la formulación y ejecución de una estrategia nacional y un plan que permita generar e implementar acciones y medidas tendientes a concienciar en el país la importancia de la lucha contra este proceso natural y antropogénico, misma que debe incluir una articulación interinstitucional en todos los niveles del Estado Ecuatoriano.

#### 1.14.2 Estadística de deslaves y derrumbes en el Ecuador, Pichincha, Quito.

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 [48], de los cuales 700 son deslizamientos de tierras y alrededor de 100 derrumbes, por lo que en porcentaje hablamos del 21.65% deslizamientos y 3% derrumbes como se puede ver en la *figura 1.16.2.1*:



*Figura 1.16.2.1* Gráfico estadístico del número de deslaves y derrumbes en el Ecuador por mes período enero-2011 octubre-2012.

La Secretaría Nacional de Riesgo define a los deslizamientos como movimientos de masas de tierra, lodo, roca y otros materiales, que se desprenden de una montaña o ladera y, por gravedad, se deslizan arrasando con la infraestructura que encuentran en los flancos, afectando a la existente al pie y en la corona de la misma. Señala que el catalizador de este fenómeno es la presencia de agua, sea superficial (lluvia) o subterránea y, por ello, la cantidad de eventos es mayor en las estaciones lluviosas, mismas que se puede evidenciar en la *figura 1.16.2.1*. No obstante, otros desencadenantes pueden ser: deterioro de las propiedades mecánicas de los materiales, vibraciones, movimientos sísmicos, erosión de taludes por viento y agua, la ocurrencia de otros deslizamientos junto, bajo o sobre el mismo, deforestación y remoción de vegetación, cortes, desbanques, rellenos y en general el mal uso del suelo y del agua por parte de la población [26].

La SNGR señala que las provincias con mayor reporte de deslizamientos son: Azuay, Esmeraldas, Manabí, Pichincha, Cañar, Loja y Napo. De las cuales la que en registro históricamente ha sufrido en mayor cantidad es Manabí.

También destacan que, existe evidencia que por no existir estudios de suelos que estén correlacionados con deslizamientos anteriores en ciertos lugares, se construye infraestructura sobre ellos, aumentando este vector de riesgo. Esto empeora cuando ejecutan obras en taludes y laderas de características anti-técnicas, de manera que los drenajes naturales son obstruidos, provocando infiltraciones peligrosas, también serían razones para considerar mayor riesgo [26].

Estos eventos han ocasionado: destrucción de viviendas, carreteras, puentes, sistemas de alcantarillado, acueductos y canales de riego, poliductos, gasoductos, oleoductos, redes de energía eléctrica, tierras cultivables, etc. Indican a manera de ejemplo, que las pérdidas relacionadas con deslizamientos durante el fenómeno de El Niño 1997-1998, en áreas cultivadas fueron del 42.5% de un total de 70.000 hectáreas afectadas. El resto de pérdidas se

debieron directamente a las inundaciones [27]. Otro hecho destacable es el caso del terremoto del Reventador en 1987, el cual produjo potentes deslizamientos que quitaron la vida a 3500 personas, destruyeron el sistema del oleoducto transecuatoriano SOTE, impidiendo el transporte de crudo y su exportación por varios meses, ocasionando cientos de millones de dólares en pérdidas al Ecuador.

Otro ejemplo histórico, es el deslizamiento que ocasionó el represamiento del río Paute sucedido en el sector de La Josefina en 1993, y afectó a zonas aledañas y su infraestructura, y además puso en peligro a la represa hidroeléctrica más importante del país. El deslizamiento causó uno de los represamientos naturales más grandes del mundo, con un volumen de 20 millones de m<sup>3</sup>, formando un lago de 200 millones de m<sup>3</sup> aguas arriba, que produjo la muerte de unas 100 personas, y destruyó más de 1000 hectáreas de tierras cultivables, infraestructura, e incluso la central termoeléctrica de la provincia.

La SNGR indica que la manera de identificar este tipo de amenaza es a través de estudios detallados de áreas potencialmente inestables, y de la elaboración de mapas de peligro de deslizamientos o de susceptibilidad de deslizamientos. En el Ecuador se han realizado algunos esfuerzos en este sentido, disponiéndose de mapas de peligro de la cuenca del Paute (3635 km<sup>2</sup>, Proyecto Precupa), Bahía de Caráquez (12 km<sup>2</sup>, EPN), Francisco de Orellana (60km<sup>2</sup>, UE), laderas del Pichincha (EMAAP-Q, IRD), Tosagua-Charapotó-Montecristi (50km<sup>2</sup>, Gobierno Nacional), Esmeraldas (120km<sup>2</sup>, BID, Proyecto Patra), y algunos en las provincias de Carchi e Imbabura [27].

Como ejemplo, en las *figuras 1.16.2.2 y 1.16.2.3* se presentan dos mapas de susceptibilidad de deslizamientos, el primero a escala local de una zona del país, y el segundo a escala nacional. Indican que queda mucho aún por estudiar, mapear y sobretodo difundir a las autoridades y comunidad, por lo que este proyecto busca justamente mantener monitoreadas las zonas de peligro, a fin de que este tipo de amenazas pueda ser tomado en cuenta de manera adecuada, para reducir el riesgo de desastre por deslizamientos. [26].

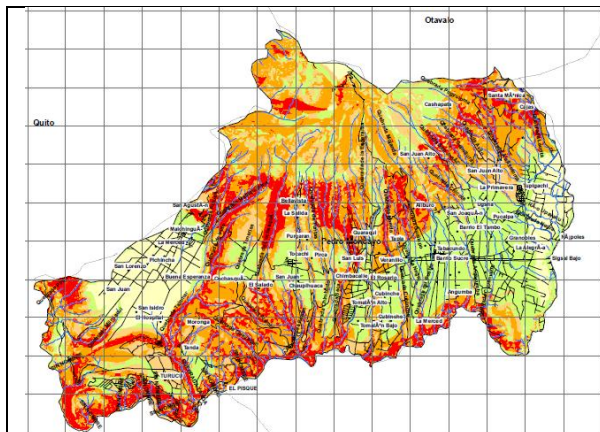


Figura 1.16.2.2. Mapa de Zonas propensas a deslizamientos de tierra Cantón Pedro Moncayo, Pichincha

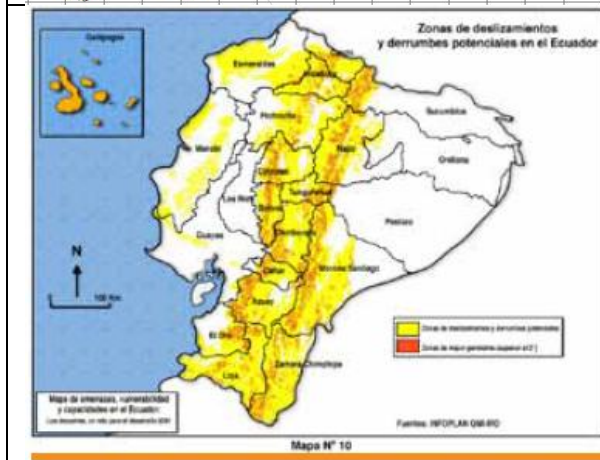


Figura 1.16.2.3. Potencial de deslizamientos en el Ecuador [Demoraes y D'ercole, 2001].

## 1.15 Condiciones de construcción de la vialidad (ángulos de taludes, recomendaciones de construcción).

En el aspecto relacionado a la construcción de carreteras, vías para trenes, canales de agua, es necesario atravesar zonas o regiones, donde la geología no es exactamente plana, es decir en especial nuestro país, la región sierra posee una geología muy accidentada, por lo cual el movimiento de tierras en la construcción vial constituye uno de los aspectos de mayor costo y además que debe mantener un equilibrio entonces entre factor económico y el nivel de riesgo que estos taludes pueden significar.

El talud se trata de cualquier tipo de superficie inclinada respecto a la horizontal que van adoptar permanentemente las masas de tierras. Estas se construyen a ambos lados de la vía de tal manera que garanticen la estabilidad de la obra. También deben ser incluidas

consideraciones necesarias para ampliaciones futuras de las vías y atenuar de la mejor forma la ocurrencia de accidentes ocasionados por la existencia de obstáculos en la vía.

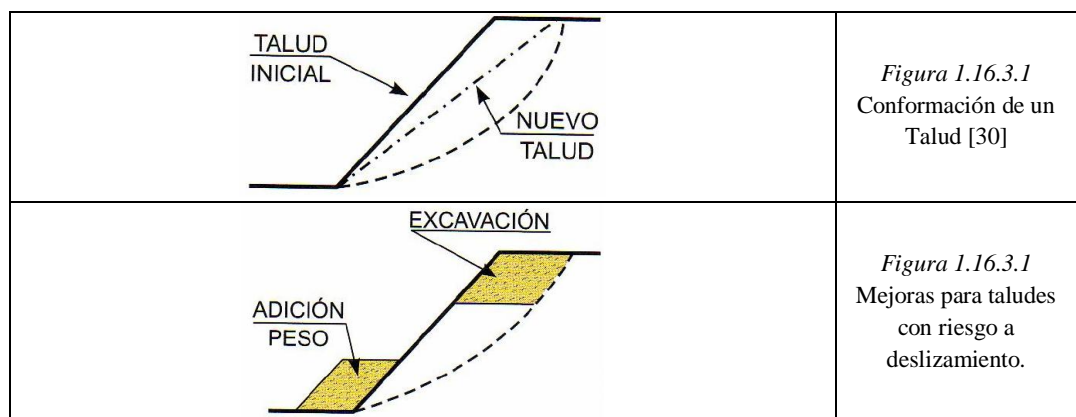
### 1.15.1 Ladera o talud natural:

Se conoce con este nombre cuando la formación del talud, aparece de forma natural sin intervención humana. Aquí tendrán mucha importancia los materiales de los que están formados, su historia geológica, como se formaron, y de las condiciones climáticas que le han afectado históricamente y también de la influencia recibida en el pasado y en el presente por el hombre.

### 1.15.2 Talud artificial:

Se lo conoce cuando es diseñado y construido por el hombre a partir del terraplén. Sin duda la construcción de un talud significa la construcción de una de las estructuras más complejas en la vialidad ya que en función de la geología del terreno se diseñará la inclinación y el corte apropiado de un terraplén. [28].

Diferentes inclinaciones de Talud	Diferente cantidad de masa de tierra movilizada	Diferente costo de la obra.
-----------------------------------	---	-----------------------------



### 1.15.3 Tipos de fallas en los taludes de las vías terrestres:

Estas están relacionadas principalmente a laderas naturales de las que ocurren sobre los taludes artificiales.

- a) Factores Geomorfológicos:

- a. Topografías de los alrededores del talud.
  - b. Distribución de las discontinuidades y estratificaciones.
- b) Factores internos:
- a. Propiedades mecánicas de los suelos constituyentes
  - b. Estados de esfuerzos actuantes.
  - c. Factores climáticos y concretamente el agua superficial y subterránea.

Entre las medidas más importantes que se hacen para que un talud sea estable en relación a la correspondiente geología, tipo de suelo es:

- Modificación de la geometría
- Medidas de drenaje
- Elementos estructurales resistentes
- Muros y elementos de contención
- Medidas de protección superficial



*Figura 1.16.3.3 Deslizamiento de materiales libres en una vía, tomado de [geotecnia-y-geologia.blogspot.com]*



*Figura 1.16.3.4 Recubrimiento de Talud, Paso lateral Ambato, [Diario la Hora, Jueves, 22 de Noviembre de 2012, Diario la Hora].*



### 1.16 Protocolo de alarma y manejo de riesgo de desastres naturales

Según la Secretaria Técnica de Gestión de Riesgo, las nuevas sociedades son llamadas actuar de manera proactiva antes que reactiva, lo cual constituye un fundamento del manejo del riesgo, en el cual se establecen principios fundamentales para entender que es el riesgo [26].

La existencia de peligros en los diferentes ámbitos del desarrollo humano es inevitable, sean estos de origen natural como antrópicos, por ejemplo, la existencia de un volcán activo es un peligro natural que no podemos evitarlo, el transporte de combustibles inflamables es un peligro de origen antrópico, el cual es necesario para el desenvolvimiento de las actividades de la sociedad. El riesgo sin embargo, va a depender del área y actores a quienes afecta este peligro [29] expliquemos esto con un ejemplo:

La actividad del volcán Sangay es constante y en cierta medida comparable a la del Tungurahua, con la diferencia de que los sectores que son vulnerables a este peligro volcánico son las poblaciones cercanas al mismo. Si comparamos las poblaciones vulnerables en número, las del Tungurahua son muy diferente a las del volcán Sangay, de tal forma que el volcán Tungurahua puede representar mayor nivel de riesgo que el Sangay.

PELIGRO	+	SECTOR/AREA VULNERABLE	=	NIVEL DE RIESGO
PELIGRO	+	FALTA DE PREVISIÓN	=	POSIBLE ACCIDENTE

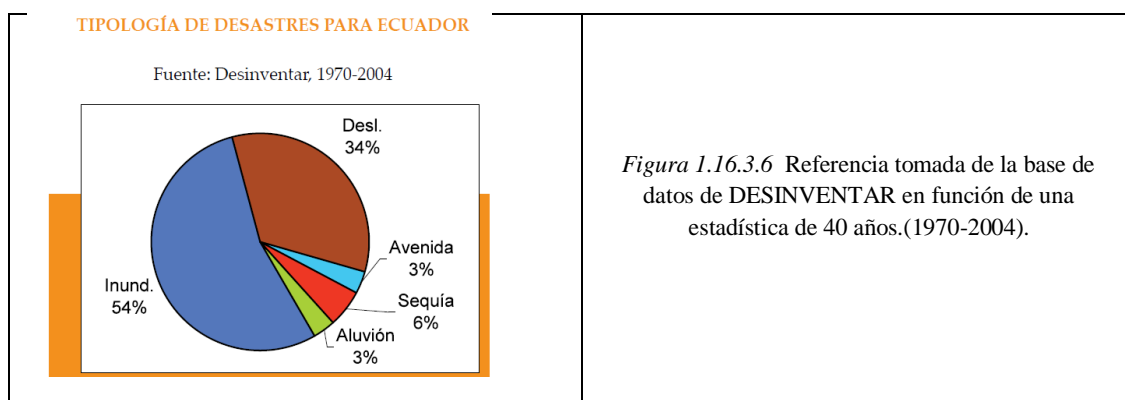
Figura 1.18.1 Cálculo esquemático del Riesgo

En la búsqueda de la disminución de riesgo, éste es posible analizarlo rápidamente mediante este simple cálculo esquemático *figura 1.18.1*, donde se ve que la variable de peligro no se puede cambiar, mientras que la vulnerabilidad si puede ser disminuida.

Para disminuir la vulnerabilidad, se establecen normas y procedimientos que conllevan el análisis y el planteamiento de estrategias frente al peligro, por ejemplo: que la población aledaña a un volcán conozca: manejo de una emergencia volcánica, las zonas de seguridad, medidas a tomar para disminuir su propia vulnerabilidad frente al evento adverso.

La filosofía de incorporar criterios de reducción del riesgo de desastre y evaluar su impacto en el desarrollo, debe contar con mecanismos sencillos e incluso rutinarios en el normal desenvolvimiento de las sociedades [26].

De los desastres en el Ecuador en orden de importancia, y en función de la influencia en los sectores vulnerables son: las inundaciones y los deslizamientos, como se puede observar en la *figura 1.18.12*.



Estos resultados estadísticos siguen una tendencia mundial, en los cuales los deslizamientos en nuestro país son los responsables de la mayor cantidad de víctimas y de igual manera la STGR indica que geográficamente Manabí es la provincia con mayor número de víctimas mortales por desastres causados por fenómenos naturales, seguida de Guayas y Pichincha. Vale la pena indicar que el fenómeno del niño ha sido precursor de desastres y damnificados,

lo que por ejemplo en 1997-1998 causaron daños acumulados del 14% del PIB del Ecuador [30].

El propósito de este trabajo es, reducir la vulnerabilidad de la zona o sector afectado por los deslizamientos de tierras, permitiéndoles a las autoridades competentes conocer el estado y comportamiento de los taludes y laderas, de tal manera que puedan tomar acciones tempranas frente al peligro y reducir de esta manera el riesgo de daños o catástrofes en nuestro país.

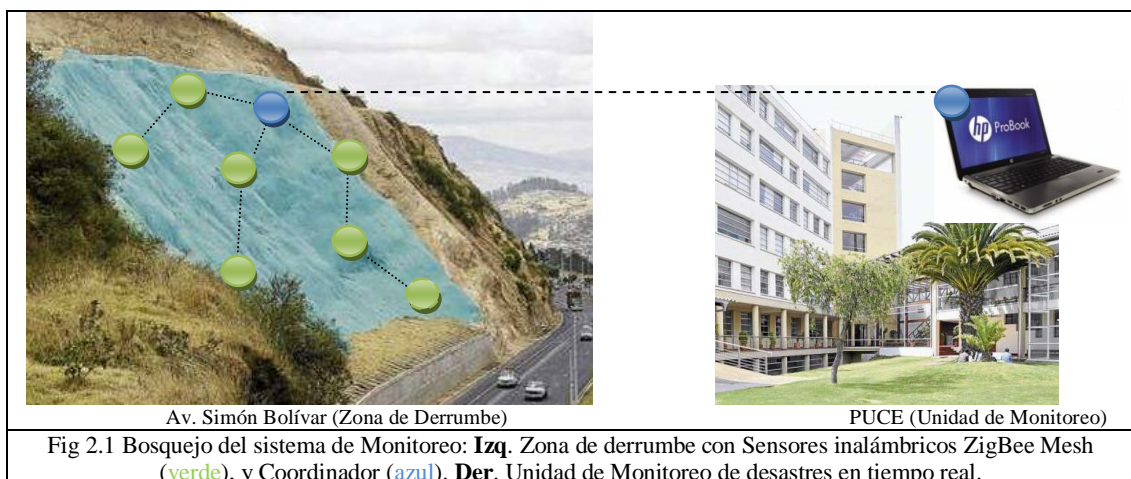
## CAPÍTULO II

El presente Capítulo, muestra el desarrollo realizado para el diseño, modelamiento y selección de sensores, módulos electrónicos, radios de comunicaciones con soporte de topología MESH, fuentes de energía incluyendo sus respectivas descripciones por capacidades y requerimientos. Además una visión del software necesario para administrar las características de los dispositivos, su programación y además las posibilidades de escalamiento necesarias para este prototipo.

### CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

#### 2.1 Diseño del Sistema de monitoreo.

Para el sistema de monitoreo, se seleccionarán diferentes dispositivos que cumplan con los objetivos del proyecto. Una idea clara del objetivo del proyecto, lo podemos ver en la *figura 2.1*, en ella se puede apreciar, la posible distribución de los nodos sensores (*en verde*) en una zona de riesgo, mismos que transmiten su registro a un nodo coordinador (*en azul*). Este último se encargará de enviar los registros de todos los nodos mediante una Red celular a una central de monitoreo, para su análisis y respectivas acciones parte de las autoridades o entidades pertinentes.



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* presenta las características necesarias para ser

usado en este proyecto. Para la red ZigBee con topología Mesh los dispositivos **XBee** de *Digi International*, son quienes prestan, el mejor soporte en lo referente a uso de la energía, capacidad, distancia etc. Para las comunicaciones GSM, el dispositivo **ECom SIM900** cumple con las expectativas necesarias. Finalmente para el monitoreo, el software de instrumentación virtual **LabVIEW** de *National Instruments*, permite presentar la información de manera amigable en un ordenador.

Los que en adelante se llamarán “Nodos”, serán quienes posean un Radio de comunicaciones dentro de la Red ZigBee, unos poseerán el 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 de esta última, se transmitirán los datos hasta el centro de monitoreo remoto. Todos estos componentes los veremos en detalle a continuación.

## **2.2 Diseño del Nodo y Selección del Sensor.**

El Nodo Sensor será el encargado de medir movimientos, en la zona donde sea ubicado de manera autónoma, y transmitir esta información hasta el coordinador de la Red Local PAN (*Personal Area Network*) mediante radios de comunicación ZigBee configurados para operar en topología Mesh. Estos Nodos deben cumplir características básicas como: fácil configuración, bajo costo y consumo energético. Es importante señalar que su característica de bajo costo está relacionada con la posibilidad de que el Nodo pueda ser: robado, destruido o dañado por encontrarse en una zona remota de riesgo de deslave.

### **2.2.1 Selección del Sensor**

En la investigación se identificó la necesidad de definir dos tipos de objetivos que cumplirán los nodos de monitoreo, sobre los cuales estará montado él o los sensores:

**Nodo Tipo 1:** Sensores para modelamiento físico de deslaves; este incluiría sensores que cubran los diferentes parámetros o variables que son incluidas, en la elaboración de modelos

estáticos y dinámicos de la geología de las zonas de riesgo de deslizamiento de tierras por ejemplo, una lista de estos parámetros se los puede ver en la *Tabla 2.1*.

PARÁMETRO	SENSORES
Cantidad de Agua	Sensores de Humedad y Pluviómetro
Temperatura	Termocupla, T45j
Acelerómetro	ADXL345 (Aceleraciones ejes x, y, z)
Localización	GPS (Posicionamiento Global)
Vibraciones de baja frecuencia	Micrófonos de electreto, sismógrafos
Esfuerzos verticales y horizontales de las capas superficiales	Galgas extensométricas, piezoléctricas.

Tabla 2.1 Parámetros para Modelamiento de Deslaves

**Nodo Tipo II:** Sensores para el monitoreo del comportamiento final de la capa superficial; mismo que informa de los efectos generales, de la combolución de todos los parámetros perseguidos por los nodos de modelamiento TIPO I. En otras palabras se necesita precisar si existe o no, muestras evidentes del inicio de un deslizamiento, por lo que se puede limitar los sensores a un simple sensor de movimiento *Tabla 2.2*:

PARÁMETRO	SENSORES
Acelerómetro	ADXL345 (Aceleraciones ejes x, y, z)

Tabla 2.2 Sensor de movimiento e inclinación

Con estas premisas, y el enfoque en el objetivo general del proyecto, de desarrollar una red local de sensores para el monitoreo y no para el modelamiento de deslizamientos de tierras, se ha seleccionado como sensor para el presente trabajo el acelerómetro piezoeléctrico **ADXL345** del fabricante *Analog Devices*, mismo que fue escogido por sus altas capacidades, costos, y ahorro de energía.

### 2.2.2 Sensor acelerómetro ADXL345.

El dispositivo **ADXL345** es un acelerómetro de 3 ejes, pequeño, delgado y en especial de bajo consumo de energía. Posee una altísima resolución, contando con 13 bits, las mediciones pueden alcanzar hasta  $\pm 16g$ . La salida digital está formada por un complemento Twos de 16 bits, y que es accesible desde sus pines de salida 3 o 4, o en la interface digital **I<sup>2</sup>C** o en la también soportada comunicación **SPI**.

El **ADXL345** está diseñado específicamente para dispositivos móviles. Mide la aceleración de la gravedad en una configuración estática, para usarlo como sensor de inclinación, o también para mediciones de aceleraciones dinámicas, como resultado del movimiento o de los impactos. Su alta resolución nos permite definir hasta 3.9 mg/LSB, lo que significa la relación entre mili gravedades por el bit menos significativo LSB. En otras palabras, si el acelerómetro tiene una resolución de 3.9 mg/LSB, entonces el bit menos significante en la salida cambia, si la aceleración es de 0.0039 g, o 3mg.

Es necesario para poder desarrollar la aplicación tener una idea de la magnitud o rango de gravedades que se buscaría medir, de tal manera que los cálculos y la matemática, se desarrollen coherentemente para evitar medidas muy por fuera de lo esperado, lo que nos lleva a pensar por sentido común que el fenómeno de los deslizamientos, aludes, etc, son manifestaciones naturales que son provocadas por la falta de adherencia del suelo, lo que desencadena una única fuerza que es la gravedad terrestre. Esto indica que el rango de medición no debería estar más allá de 2 gravedades.

En la mayoría de acelerómetros, giroscopios y su unificación en una unidad de medida inercial (IMU) utilizan unidades de medida notados como:

$$\frac{\text{mg}}{\text{LSB}} \quad \text{que significa:} \quad \frac{\text{mili gravedad}}{\text{Least Significant Bit}} = \frac{\text{mili gravedad}}{\text{Bit menos significativo}}$$

Podemos citar como ejemplo, un acelerómetro en un rango de medición de +/- 2g, es decir un rango de 4g, mismo que enviaría una señal de salida de 10bits:

10 bits generarían  $2^{10}$  valores posibles, es decir 1024 valores

$$2^{10} = 1024 \quad \text{de manera que} \quad \frac{4}{1024} = 0.0039\text{g} = 3.9 \text{ mg}$$

Bits	=	g
000000000	=	0.0
000000001	=	0.0039
000000010	=	0.0078
000000011	=	0.0117

Tabla 2.3 Correlación entre bits y valor en gravedad g. ( $g=9.8\text{m/s}^2$ )

Y así sucesivamente, de manera que, la gravedad va cambiando conforme el bit cambia, de ahí el término mg/LSB. En la realidad la gravedad es la que hace que el bit cambie, pero finalmente la relación es la misma.

Para encontrar el factor para un valor de 256 generado por 8 bits con una resolución de 3.9 mg/LBS se realiza el siguiente cálculo:

$$(256) \left( 3.9 \frac{\text{mg}}{\text{LBS}} \right) = 998.4 \text{ mg o } 0.998\text{g}$$

Luego simplemente podemos utilizar el valor  $g=9.81 \text{ m/s}^2$  como valor de la aceleración terrestre.

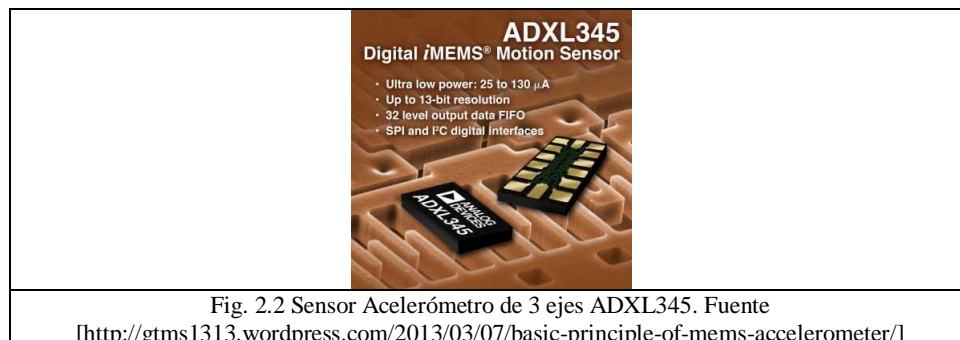


Fig. 2.2 Sensor Acelerómetro de 3 ejes ADXL345. Fuente  
[<http://gtms1313.wordpress.com/2013/03/07/basic-principle-of-mems-accelerometer/>]

En la sección 2.2.2 se expresó que el proyecto demanda únicamente la medición de movimiento, es decir, tenemos un valor referencial que no cambia de manera importante en el tiempo a menos que se suscite, el inicio de pequeños deslizamientos. Estos aparecerían como una anomalía en las mediciones, cuando se encuentren fuera del rango normal de referencia. Claramente pueden ser identificadas estas anomalías en una gráfica o automatizados mediante la activación de una alarma definida en el software de análisis de los datos, para nuestro caso será LabVIEW.

### Especificaciones del sensor ADXL345:

Estas especificaciones fueron tomadas de las Hojas de datos proporcionadas por el fabricante, mismas que se adjuntan completas el Anexo 1.

PARÁMETRO	CONDICIONES DE PRUEBA	TIPO		UNIDADES
Rango de Medida	Seleccionable	±2, ±4, ±8, ±16		g
No linealidad	Porcentaje total	±0.5		%
Error de alineamiento entre ejes		±0.1		Grados
Sensitividad de ejes cruzados		±1		%
RESOLUCIÓN DE SALIDA	CADA EJE			
Todos los rangos g	10-bits	10		Bits
Rango ±2 g	Resolución completa	10		Bits
Rango ±4 g	Resolución completa	11		Bits
Rango ±8 g	Resolución completa	12		Bits
Rango ±16 g	Resolución completa	13		Bits
SENSITIVIDAD	CADA EJE	MIN	MAX	UNIDAD
Salida X, Y, Z	Resolución completa	230	282	LSB/g
	±2 g, 10 bit resolución	230	282	LSB/g
	±4 g, 10 bit resolución	115	141	LSB/g
	±8 g, 10 bit resolución	57	71	LSB/g
	±16 g, 10 bit resolución	29	35	LSB/g
ENERGÍA				
En Modo medida	23 µA a 2.5V			
En Modo Standby	0.1 µA a 2.5V			
Alimentación	2 ~ 3.6 V			

Tabla 2.4 Características del Sensor Acelerómetro ADXL345.

El **ADXL345** soporta dos tipos de comunicaciones: SPI e I<sup>2</sup>C, para los cuales las conexiones de su pines son las siguientes: SDA por donde se transferirán los datos, el SCL que será el que reciba la señal de reloj desde el Arduino para la comunicación, y al SDA que puede servir para comunicación analógica. La alimentación se la realizará con 3 voltios, se puede apreciar en la *figura 2.3*.

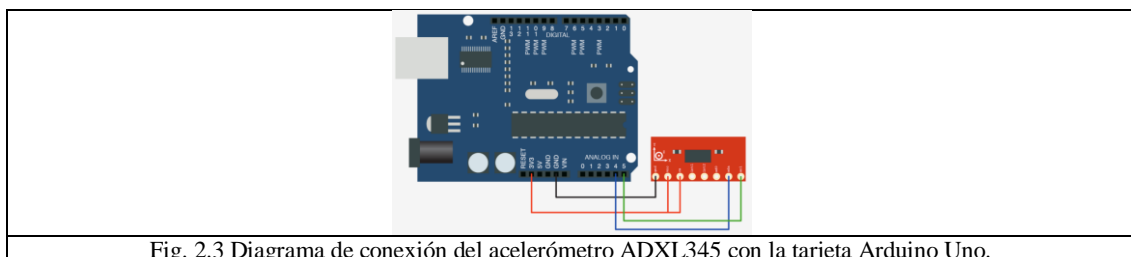


Fig. 2.3 Diagrama de conexión del acelerómetro ADXL345 con la tarjeta Arduino Uno.

### 2.2.3 Radio de comunicaciones IEEE 802.15.4 XBee.

#### *XBee y XBee Pro.*

Son módulos creados para operar en el protocolo ZigBee IEEE 802.15.4, y responder, a dos de necesidades principales en la construcción de dispositivos que son: bajo costo y bajo

consumo de energía. Es decir estos módulos utilizan una mínima cantidad de energía para operar, siendo una alternativa eficiente en la construcción de dispositivos que pueden ser instalados en ubicaciones remotas. Estos dispositivos no tendrán la necesidad de hacer mantenimiento de baterías en períodos cortos de tiempo. Estos módulos operan en una banda de frecuencia de 2.4 GHz, misma que es compatible con el protocolo IEEE 802.15.4. Las posibles configuraciones de estos dispositivos de acuerdo a su diseño son: Coordinador, Router y dispositivo final. Configurado como Nodo **Coordinador**, será el encargado de establecer y asignar el canal de comunicaciones de la red, estableciendo el **PAN ID**, luego de realizarlo, tomará funciones de router. Configurado como **Router**, puede crear o mantener información acerca de la mejor ruta para transmitir un paquete de información. De igual manera retransmitir paquetes de otros Routers o dispositivos finales. Y configurados como **Dispositivos Finales**, les estará permitido solo transmitir paquetes de información, esta es una ventaja, ya que al no retransmitir información, su consumo de energía es mínimo.

Cada uno de estos dispositivos, posee una dirección MAC única de 64 bits, y cuando se asocian a una red, el coordinador asignará una dirección única dentro de la red de 16 bits, es por ello que en una red ZigBee teóricamente se puede alcanzar  $2^{16}$  dispositivos asociados, es decir 65535 nodos. Los **XBee Serie 2**, tienen la capacidad de formar redes Mesh, esta característica es justamente por la cual hemos seleccionado estos dispositivos.



Fig 2.4 Radio XBee PRO Serie 2.

**Las especificaciones de los módulos Xbee y Xbee Pro son:**

Desempeño: XBee Serie 2	
Potencia de transmisión	1mW (+0 dBm)
Rango de alcance Urbano/puertas adentro	Hasta 100 ft (30 m)
Rango de alcance Campo abierto/ línea de vista	Hasta 300 ft (90 m)

Troughput	250 Kbps
Velocidad de datos en la interface física	hasta 115.2 Kbps
Frecuencia de funcionamiento	2.4 GHz
Sensibilidad del receptor	-92 dBm

Tabla 2.6 Especificaciones de desempeño del Radio XBee Serie 2.

Desempeño: XBee PRO Serie 2	
Potencia de transmisión	63 mW (+18 dBm) versión Norte Americana 10 mW (+10 dBm) versión Internacional
Rango de alcance Urbano/puertas adentro	Hasta 300 ft (90 m)
Rango de alcance Campo abierto/ línea de vista	Hasta 1 milla (1.6 km)
Troughput	250 Kbps
Velocidad de datos en la interface física	hasta 115.2 Kbps
Frecuencia de funcionamiento	2.4 GHz
Sensibilidad del receptor	-100 dBm

Tabla 2.7 Especificaciones de desempeño del Radio XBee Pro Serie 2.

Networking	
Tipo de Spread Spectrum	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
Topologías de Red	Point-to-point, point-to-multipoint, & peer-to-peer
Manejo del error	Reintentos & Acusos de recibo
Opciones de Filtrado	PAN ID, Canales, y direcciones de 64-bit
Capacidad de Canales	XBee: 16 canales XBee-PRO: 12 canales
Direcciones	65,000 direcciones disponibles para cada canal

Tabla 2.8 Especificaciones de Networking del Radio XBee y XBee PRO Series 2

Consumo de Energía	
Alimentación de Voltaje	XBee: 2.8 - 3.4 VDC XBee-PRO: 2.8 - 3.4 VDC XBee Footprint Recommendation: 3.0 - 3.4 VDC
Corriente del Transmisor	XBee: 45 mA (@ 3.3 V) boost mode 35 mA (@ 3.3 V) normal mode XBee-PRO: 215 mA (@ 3.3 V)
Corriente del Receptor	XBee: 50 mA (@ 3.3 V) XBee-PRO: 55 mA (@ 3.3 V)
Corriente cuando va a dormir	XBee: <10 $\mu$ A at 25° C XBee-PRO: <10 $\mu$ A at 25° C

Tabla 2.9 Especificaciones energéticas del Radio XBee y XBee PRO Series 2

Comunicaciones:	
Banda de Frecuencias	2.4000 - 2.4835 GHz
Opciones de interfase	3V CMOS UART

Tabla 2.10 Especificaciones de Comunicación del Radio XBee-Pro

Propiedades Física	
Tamaño	XBee: 0.960 in x 1.087 in (2.438 cm x 2.761 cm) XBee-PRO: 0.960 in x 1.297 in (2.438 cm x 3.294 cm)
Peso	0.10 oz (3g)
Opciones de antenna	U.FL, Polaridad inversa SMA (RPSMA), Antena tipo Chip y Antenna cableada para whip. Temperatura de operación: -40° C to 85° C (industrial)
Certificaciones	FCC: Yes IC: Yes Europe/ETSI: Yes Australia/Ctick: Yes RoHS: Compliant

Tabla 2.11 Especificaciones del Radio Xbee-Pro

### 2.2.4 Tarjeta de proyectos electrónicos Arduino Uno

Este dispositivo permitirá, controlar el funcionamiento del sensor acelerómetro de manera autónoma y también al radio de comunicaciones XBee. Controlará el sensor para que realice las respectivas mediciones y escribirá en el puerto de comunicaciones del Radio XBee, la información obtenida. En otras palabras este dispositivo constituye el cerebro que administrará el funcionamiento del nodo, sea configurado en modo Router o Coordinador.

Es una pequeña tarjeta con el microcontrolador Atmega 328 y con puerto USB para poder conectar a la computadora, dispone de un número de sockets donde se pueden conectar otros dispositivos electrónicos externos tales como motores, relays, sensores, diodos laser, parlantes, micrófonos, etc. La energía la obtiene mediante la misma conexión USB desde la computadora o con una batería. Pueden ser programados en un ordenador mediante un software ensamblador, distribuido gratuitamente por el fabricante, luego puede ser desconectado para trabajar de manera autónoma.



Además las tarjetas Arduino ofrecen un diseño de código abierto en su interface, de manera que, existe gran variedad de herramientas de software mediante los cuales se puede realizar la programación. Existe también una creciente comunidad alrededor del mundo que construye, programa y que de manera entusiasta, comparten sus experiencias a través del internet.

#### *Especificaciones del Arduino UNO.*

Característica	Valor
----------------	-------

Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-20V
Pines Digitales I/O	14 (De los cuales 6 proveen salida PWM)
Pines de entrada analógicos	6
Corriente DC por Pin I/O	40 mA
Corriente DC por Pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328) del cual 0.5 KB son usadas por el bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad del Reloj	16 MHz

Tabla 2.12 Especificaciones del Arduino UNO

Con estas características, el dispositivo que se utilizará como placas bases para la construcción de los Nodos será el Arduino. Nuevamente la característica principal, es el bajo consumo de energía, además de su versatilidad y compatibilidad con sensores y con módulos de comunicaciones en la plataforma 802.15.4. Por otro lado soporta protocolos de comunicaciones digitales SPI y I<sup>2</sup>C. Característica que poseen la mayoría de sensores como giroscopios, acelerómetros, unidades de medición de inercia, etc.

### 2.2.5 Fuente de Energía para el nodo

Debido a que el nodo se colocará directamente en la zona de riesgo de deslave, donde no será factible ni lógico, el despliegue de una red eléctrica. El Nodo debe ser energizado mediante el uso de una batería, misma que debe proporcionar la energía suficiente para alimentar la demanda de la tarjeta Arduino, el Radio de comunicaciones XBee y el Sensor acelerómetro ADXL345, para lo cual simplemente sumamos la demanda completa de corriente en funcionamiento, de acuerdo a las hojas de datos de los dispositivos antes mencionados y a partir de eso seleccionaremos equilibrando con costos la fuente de alimentación eléctrica.

Item	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [mW]
Arduino Uno	3.3	50	165.0
Radio XBee	3.3	45	148.5
Sensor ADXL345	3	0.023	0.069
TOTAL	3 ~ 4	95.023	313.57

Tabla 2.13 Cálculo de demanda energética del Nodo

De manera que, una batería que cubra la demanda del nodo, debe tener las siguientes características mínimas:

Voltaje [V]	3 ~ 5
Corriente [mA]	100
Potencia [mW]	~ 500

Tabla 2.14 Características mínimas de una batería para alimentación del Nodo.

Estas características son las de una batería de teléfono celular, por ejemplo la batería **BST-33** *Sony Ericsson* cumple con lo necesario. Es importante indicar que el proyecto puede tener un sistema de batería con recarga directa desde un pequeño panel solar, sin que esto represente un cambio importante en el costo, podemos ver en la tabla 2.15 las características de la batería **BST-33** de *Sony Ericsson*:

Voltaje [V]	3.60
Corriente [mA]	950.00
Potencia [mW]	3420.00

Tabla 2.15 Características de una batería BST-33 de Sony Ericsson para alimentación del Nodo.

## 2.3 Diseño del Coordinador

Sin duda se trata del dispositivo más importante del proyecto, debido a que este se encargará de organizar la PAN, y asignará las respectivas direcciones a cada miembro de la Red Local ZigBee. A su vez este se convertirá en el Gateway que utilizaremos para integrar las tecnologías de comunicaciones IEEE 802.15.4 y la GSM 3G. De manera que la información de los Nodos pueda salir de la Red Local (zona de riesgo) hasta una oficina o unidad de Monitoreo.

El Nodo **Coordinador** estará formado: de una tarjeta Arduino UNO, un Shield con el XBee montado en él, un módulo de comunicaciones SIM900 y la batería para alimentación.

Las características de los componentes como el Arduino UNO, el Radio XBee, se encuentran descritas en los componentes del Nodo Sensor, en el punto 2.2.

### 2.3.1 Módulo de Comunicaciones GPRS/GSM SIM900

Este dispositivo será el medio de enlace entre la red local (ZigBee) y la red celular (GSM), para que la información pueda ser enviada a una ubicación fuera de la zona de riesgo, y desde donde se pueda tomar acciones preventivas en caso de detectarse actividad.

En la actualidad existen disponibles varios módulos GSM/GPRS, pero por compatibilidad con nuestro sistema, seleccionaremos uno que sea controlado por la tarjeta Arduino Uno, y que posee la posibilidad de comunicarse en las 4 bandas de comunicación celular 850,900,1800 y 1900 MHz. El procesador de comunicaciones celulares SIM900, responde a comandos AT y su control es bastante simple, ya que dispone de un puerto UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) en el que, mediante programación establecida en el microcontrolador Arduino, se ejecutarán los respectivos comandos AT para controlar la comunicación GSM, y enviar los datos que recibe el Coordinador de la Red Local, utilizando SMS hasta la estación de Monitoreo Remoto.



Fig. 2.6 Módulo de comunicaciones GPRS/GSM ECom SIM 900

Se seleccionó la tarjeta **ECom V1,2** del proveedor *ElectFreak*, misma que está basada en el módulo SIM900, el cual soporta las 4 frecuencias mundiales de comunicaciones celulares. La tarjeta está preparada para conectarse a las tarjetas Arduino y ser controlada mediante el uso de simples comandos AT. Se pueden directamente cambiar la selección de los jumpers del puerto TX y RX para que coincidan con los pines de RX y TX de la tarjeta Arduino respectivamente. De esta manera se puede comunicar directamente con el PC mediante el micro FT232RL que le facilita la comunicación mediante puerto serial.

#### **Especificaciones del Módulo GPRS/GSM ECom:**

Característica	Valor
Bandas de Operación [MHz]	850 / 900 / 1800 / 1900
Compatibilidad	Arduino UNO / Arduino Mega
Puerto de Comunicación	Serial UART
Super Capacitor	Para alimentación del RTC
Encendido y Reseteo	Botones Manuales y Pines Digitales
Obedese a la Fase 2/2+ de GSM	- Class 4 (2 W @ 850/ 900 MHz) - Class 1 (1 W @ 1800/1900MHz)
Control mediante comandos AT	GSM 07.07 ,07.05 y comandos AT mejorado por ECOM.

Consumo Energético	1.5 mA (modo standby)
--------------------	-----------------------

Tabla 2.16 Especificaciones del módulo de comunicaciones GSM EFCOM SIM900

### 2.3.2 Batería para el Coordinador de la Red Local.

La batería debe suplir energía suficiente para el funcionamiento de los dispositivos conectados en el Nodo Coordinador. Debe soportar la etapa del muestreo, como también la transmisión de información mediante el Radio ZigBee y el módulo EFCOM. Adicionalmente tener también la posibilidad de ser recargables de manera que junto a una fuente de recarga fotovoltaica, pueda tener un largo tiempo antes de cualquier mantenimiento, si es posible superar un año antes de una parada obligada de mantenimiento del dispositivo.

Se utilizará una batería recargable NiCd de 9,6 V como fuente de energía, ya que el módulo EFCOM GSM/GPRS demanda 9V para su funcionamiento.

## 2.4 Diseño de la Estación de Monitoreo

Para la estación de monitoreo se ha seleccionado el software de instrumentación Virtual desarrollado por *National Instruments* denominado **LabVIEW**, debido a las altas prestaciones que posee para la adquisición de datos, su procesamiento y presentación en gráficas atractivas, haciendo la experiencia del usuario más agradable, de fácil utilización convirtiéndose en una interface saludable. Se ha propuesto que el análisis de los datos principalmente responden a la necesidad de monitorear cambios en la posición, inclinación, movimiento. Esto significa que lo que se evaluará será siempre las variaciones producidas en los ejes por ejemplo:

Ejes	Posición 1	Posición 2	$\Delta$	
Eje X	110	119	$\Delta x =  119 - 110 $	$\Delta x = 9$
Eje Y	005	006	$\Delta y =  006 - 005 $	$\Delta y = 1$
Eje Z	090	090	$\Delta z =  090 - 090 $	$\Delta z = 0$

Tabla 2.17 Ejemplo de procesamiento simple de la información del acelerómetro

La información recibida por un celular mediante mensajes simples SMS, o directamente en el puerto serial de comunicaciones del ordenador, serán procesados por LabVIEW y graficados de tal manera que podamos visualizar con claridad la variación en los ejes monitoreados por cada uno de los nodos. En el caso de este proyecto se construirán dos Nodos para el monitoreo.

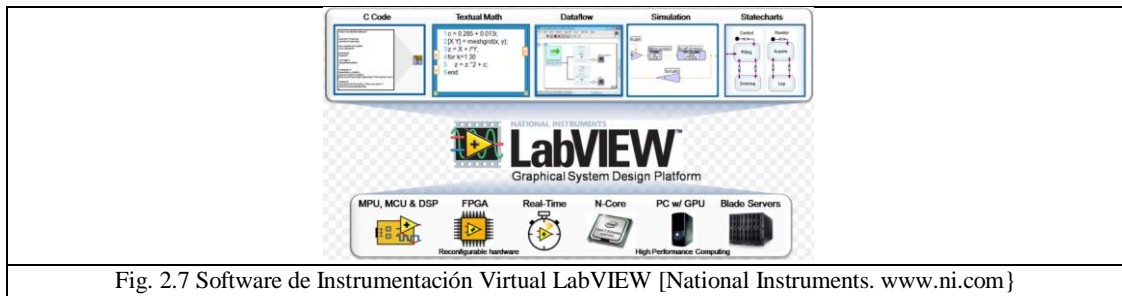


Fig. 2.7 Software de Instrumentación Virtual LabVIEW [National Instruments. www.ni.com}

## 2.5 Diseño de la red.

Como se había planteado desde el inicio de la investigación, es necesario desplegar, una red de sensores que permitan recoger datos del comportamiento de un talud, una montaña, incluso puede ser utilizado para el monitoreo de desbordamiento de ríos. Esto último en respuesta a una necesidad de alertas, como lo ocurrido en los meses de mayo y junio de 2013 en Europa Central.

La mencionada red, por encontrarse en lugares remotos, debe tener características especiales, estas especificaciones abordan temas como: bajo consumo eléctrico para que utilice batería como fuente de energía. Que permita formar una red de comunicaciones inalámbricas considerando alta redundancia, debido como hemos indicado que al estar en la zona de riesgo, pueden dañarse, destruirse o incluso ser robados. El bajo costo es importante para que pueda considerarse un presupuesto económico de reemplazo.

Una red Mesh ha sido considerada por el autor como la solución a la redundancia que se pretende alcanzar. Es por ello, que se ha seleccionado un Radio de comunicaciones que opere en esta topología. Las características antes mencionadas, las posee el módulo XBee de comunicaciones inalámbricas, diseñado en el protocolo IEEE 802.15.4 del fabricante *Digi Internacional*.

### 2.5.1 XBee con protocolo ZigBee / IEEE 802.15.4

Es un protocolo de comunicaciones, diseñado para un bajo consumo de energía, en especial cuando funciona en redes inalámbricas con topología MESH. Al ser este un protocolo

estandarizado, por lo general, todos los dispositivos ZigBee aunque de diferentes fabricantes, se pueden comunicar entre ellos.

ZigBee en la actualidad es ya un protocolo robusto basado en capas. Como sabemos tenemos nuestra capa física, encargada de la transmisión de la señal, lo cual es transparente para la capa de aplicación. ZigBee es un conjunto de capas construidas en la cima del protocolo 802.15.4, en las cuales se han adicionado tres cosas importantes:

### **Routing:**

Las tablas de enrutamiento permiten pasar mensajes por varios routers hasta entregarlo a su destinatario final.

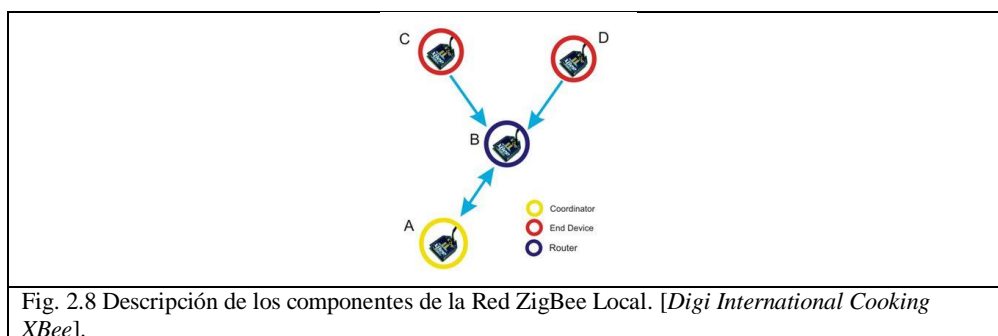
### **Creación de Redes Ad Hoc:**

Esta tarea es una de las innovaciones que posee ZigBee, pues se la realiza de manera completamente automática, sin la necesidad de intervención humana.

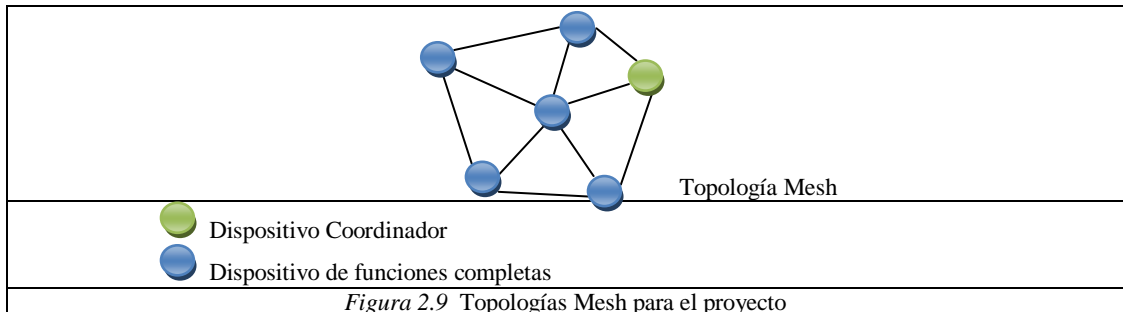
### **Red Mesh:**

Se trata de un proceso en el cual la red automáticamente identifica si algún nodo está perdido y reconfigura la red para reparar cualquier ruta perdida. En la red Mesh de ZigBee se pueden tener 3 tipos de dispositivos: Uno y solo un coordinador por red, varios Routers y varios dispositivos finales. Se ha seleccionado esta topología, porque como se ha explicado, al estar operando en lugares remotos, puede ocurrir algunas eventualidades, como descarga de batería, falla de funcionamiento, incluso robo del dispositivo, de tal manera que la red esté preparada para auto-configurarse y subsanar estos problemas automáticamente.

La topología que buscamos crear es la siguiente:



El diseño del prototipo incluirá tres nodos, un coordinador y dos nodos finales, con lo que podemos modelar una red MESH como se puede ver en la siguiente figura:



*Figura 2.9* Topologías Mesh para el proyecto

## CAPÍTULO III

En este capítulo se describe, la información relevante de la construcción real de los componentes de la red de monitoreo. Se describe detalladamente la construcción física, conexiones electrónicas, así como su debida programación y puesta en funcionamiento. Continúa con las pruebas de campo, donde se obtienen los resultados esperados. Este capítulo incluye también un análisis de costos comparativo, con una de las pocas empresas que podría ofrecer este tipo de dispositivos. Las conclusiones y algunas propuestas de trabajos futuros cierran el presente proyecto de investigación en el campo de las redes de comunicaciones.

### 3.1 Construcción y Configuraciones del Nodo Sensor.

Este dispositivo fue construido con base en la tarjeta **Arduino UNO**, en la cual fue montado un adaptador denominado **Shield** con sócalo compatible con el **Radio de Comunicaciones XBee**. El sensor de movimiento e inclinación **ADXL345** se conectó también a la tarjeta Arduino UNO. Por lo que esta última, al ser el cerebro del Nodo, en su microprocesador se escribió las líneas y comandos para controlar tanto al ADXL345 como al Radio de comunicaciones. EL sensor ADXL345 fue montado sobre una pequeña tarjeta de proyectos, como se puede observar en la *figura 3.3*.

El Nodo es alimentado por una batería de iones de litio recargable y finalmente es encapsulado completamente en una caja hermética para su protección. Se consideró la mimetización del mismo para evitar en alguna medida robos de los nodos.

El listado de los componentes del **Nodo Sensor** son los siguientes:

ITEM	Cantidad
PCB Arduino UNO, basado en Microcontrolador ATMEGA328	1
Tarjeta pequeña de Proyectos para albergar al Sensor ADXL345	1
Sensor acelerómetro ADXL345 de Analog Devices	1
Shield con sócalo para Radio de comunicaciones XBee compatible con Arduino	1

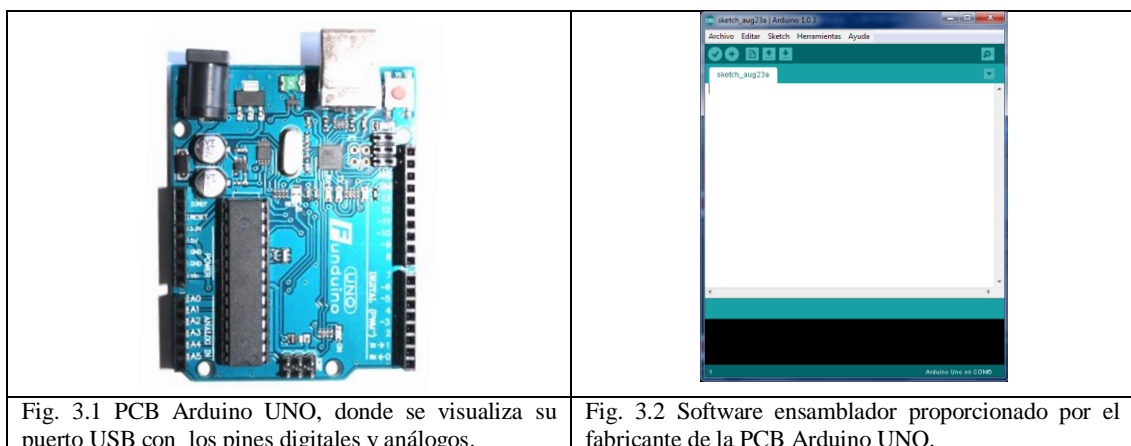
Radio de comunicaciones XBee de Digital Internacional	1
Batería recargable de Iones de litio Sony Ericsson de 3,6 V y 950 mA	1
Cables de conexión	

Tabla 3.1 Componentes del Nodo Sensor

### 3.1.1 Preparación de la tarjeta PCB Arduino UNO

Este dispositivo puede ser alimentado por una fuente de energía de 5 V, que puede ser suministrada a través de su puerto USB. De manera que, para su programación, simplemente se conectó dicha tarjeta al ordenador.

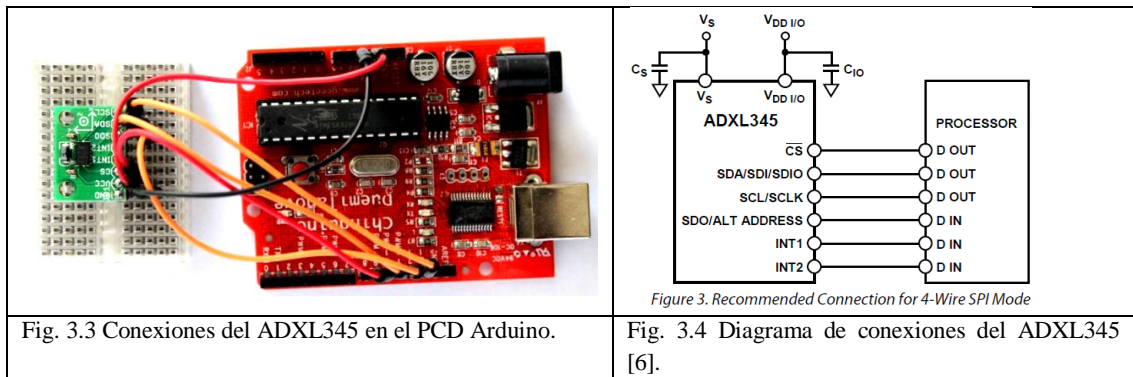
El microcontrolador Atmega328 (*cerebro de la PCB Arduino UNO*), se programa en lenguaje C, lo que facilita su uso. El software ensamblador fue proporcionado por el fabricante y disponible para descarga desde su página web [50]. Durante el desarrollo de este proyecto se encontró disponible la **versión Arduino 1.0.3**, en la que se escribió los comandos respectivos para el control y comunicación del ADXL345 con su respectiva asignación de los pines de conexión. El entorno de trabajo se puede observar en la siguiente *figura 3.2*:



### 3.1.2 Preparación del Sensor ADXL 345

El acelerómetro ADXL345 soporta comunicaciones SPI (*Serial Peripheral Interface*), de tal manera que la información viajara desde el sensor hasta el microcontrolador mediante una cadena (*string*) de datos, la cual contiene información del estado del sensor y los datos de medición de los tres ejes. Este string viajará de manera digital hasta los pines de la PCB

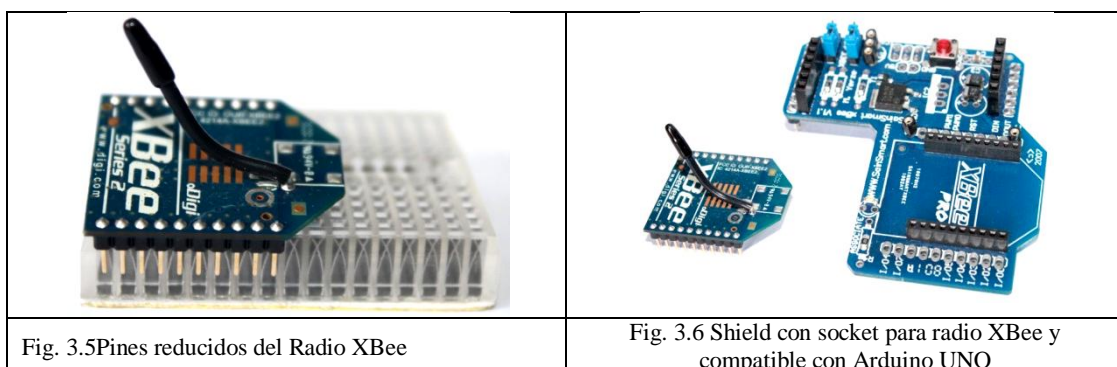
Arduino, como se puede ver en la *figura 3.3* que responde al diagrama de conexiones del ADXL345 mostrado *figura 3.4*.



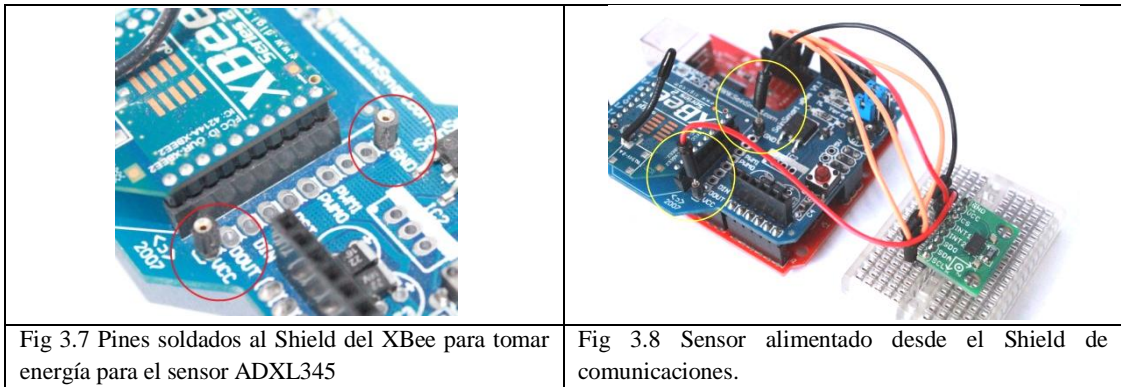
El sensor ADXL345 fue montado sobre una pequeña tarjeta de proyectos para facilitar las conexiones se puede ver en la parte izquierda de la *figura 3.3*.

### 3.1.3 Preparación del Radio de comunicaciones XBee.

Para el montaje del Radio de comunicaciones XBee de *Digital Internacional*, fue necesario adquirir una tarjeta adicional **Shield** que posee el socket compatible con el Radio, ya que la distancia entre los pines del Radio es menor al de las entradas del PCB Arduino o de una tarjeta de proyectos. Este adaptador Shield, además posee un regulador de voltaje que lo ajusta a 3.3V, voltaje recomendado para la alimentación del Radio. La incompatibilidad de los pines del Radio y una tarjeta de proyectos se puede ver en la *figura 3.5*, el Shield con socket compatible con XBee se puede apreciar en la *figura 3.6*. Finalmente este Shield es montado sobre la PCB Arduino con la cual es compatible.



Uno de los inconvenientes que se presentó fue que al colocar el Shield, quedaron bloqueados los pines de alimentación del Sensor ADXL345, pero se solucionó mediante la soldadura de unos pines en el Shield del Radio XBee, de donde tomamos los mismos 3.3 V para su alimentación, como se puede ver en la *figura 3.7* y en uso en la *figura 3.8*.



Finalmente utilizando parte de la tarjeta de proyectos donde está montado el sensor ADXL345, ubicamos las conexiones para la alimentación de la batería, desde ahí saldrán los cables para alimentar al Arduino UNO a través de su socket de alimentación como se puede ver en las figuras 3.9 y 3.10. Es importante señalar que no existe precisamente un estándar para el diseño y construcción de Nodos inalámbricos. Pero se consideró que al estar ubicados en lugares remotos, muchas veces de difícil acceso, las paradas por mantenimiento planificadas se realizarán con mayor facilidad, cuando solo se necesite desconectar cables y reemplazar componentes de ser necesario, para no desmontar el nodo y llevarlo a reparación en laboratorio.

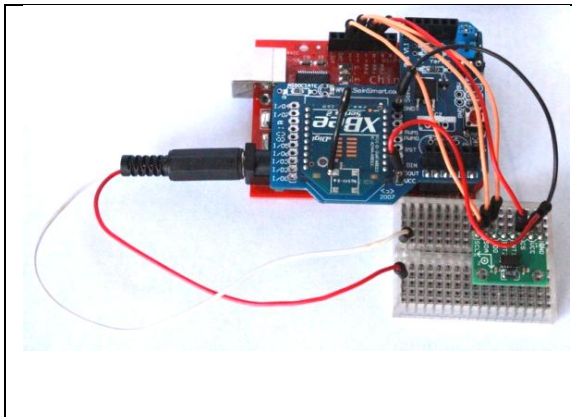


Fig 3.9 Conexiones para la alimentación desde la Batería

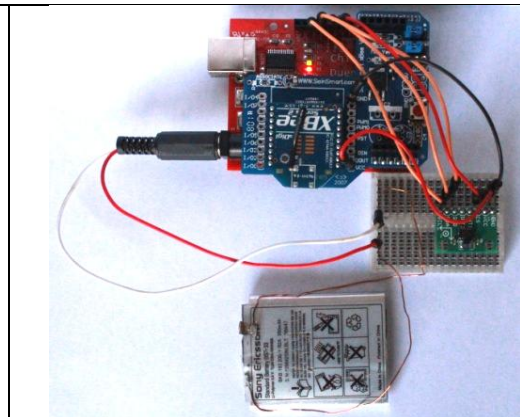


Fig 3.10 Entrada de la alimentación a la tarjeta Arduino UNO mediante Batería.

### 3.1.4 Encapsulado y Mimetizado de los Nodos

Debido a que el Nodo sensor se encontrará funcionando expuesto al ambiente, lluvia, polvo, etc. Es necesario colocarlo dentro de un contenedor que lo proteja de estas condiciones. Y al mismo tiempo, para reducir su atractivo de personas que consideren substraerlos, se propuso mimetizarlos como rocas, lo que significa camuflarlos o disfrazarlos, para que perduren alejados de robos el mayor tiempo posible. Es importante indicar que el costo por nodo no llega a superar al momento los \$100 USD, de manera que una pérdida por daño o robo no significaría el fin del proyecto económicamente hablando.

## 3.2 Construcción del Nodo Coordinador de la Red

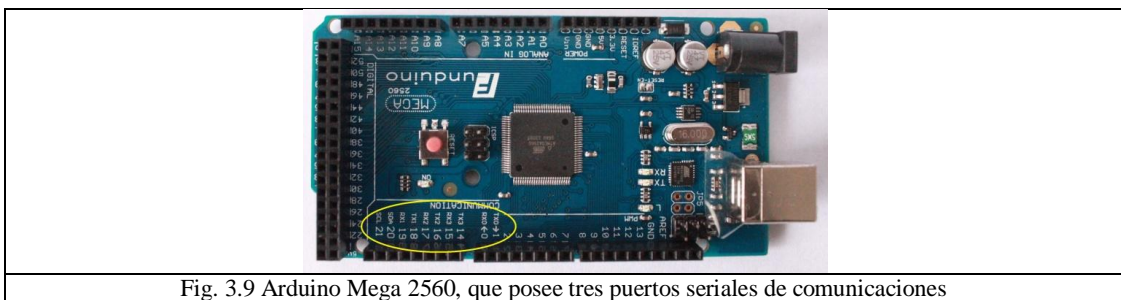
El **nodo coordinador** es un dispositivo fundamental de la red local, ya que se encargará de asignar direcciones a todos los **nodos sensores** para formar con ellos la Red local MESH, en protocolo ZigBee y luego de recibir toda los datos medidos por los nodos, se encargará de transmitirlos, utilizando la Red Celular hasta un centro de monitoreo y/o a las entidades de pertinentes para poder tomar acciones preventivas o remediales a tiempo.

Componentes del Nodo Coordinador	Cantidad
PCB Arduino Mega, basado en Microcontrolador ATMEGA 328	1
PCB Arduino UNO, basado en Microcontrolador ATMEGA328	1
Tarjeta pequeña de Proyectos para albergar al Sensor ADXL345	1
Módulo de comunicaciones ECom V1.2 GPRS/ GSM	1
Shield con sócalo para Radio de comunicaciones XBee compatible con Arduino	1
Radio de comunicaciones XBee de Digital International	1
Batería recargable de Nickel y Cadmio de 9.6 V de 4200 mA.	1
Cables de conexión	

Tabla 3.2 Componentes del Nodo Coordinador

El nodo coordinador también podría manejar sensores, pero para no crear complicaciones de programación y por ser parte fundamental del sistema de monitoreo, se consideró no instalarle ningún sensor para que su desempeño sea óptimo.

El coordinador á conectado al puerto serial de Radio XBee coordinador, a través uno de sus puertos seriales (*RX* y *TX*). Y debido a que el módulo EFCOM GSM, es controlado mediante comando AT en su puerto, es necesario, para evitar colisión de datos, que el microcontrolador, utilice un puerto independiente. Para esto es necesario, que siendo el PCB Arduino quien administra las comunicaciones y la programación, este último posea, 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*). Podemos observar la disponibilidad de estos puertos en la *figura 3.9*

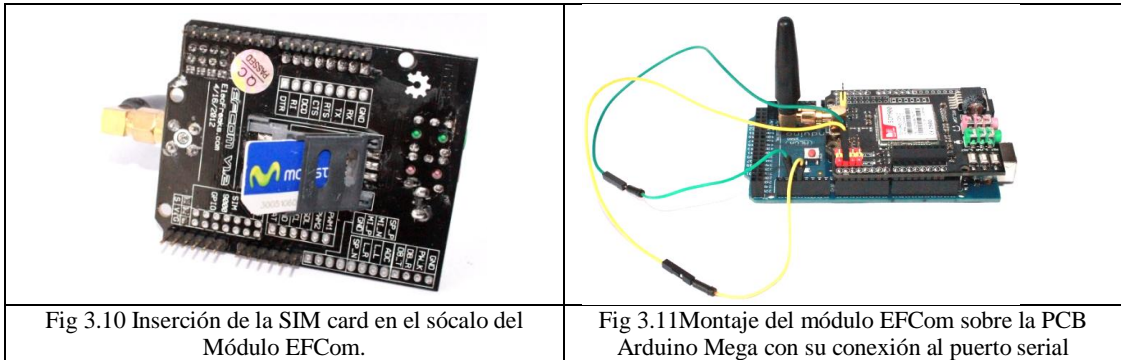


### 3.2.1 Módulo de comunicaciones para Red Celular.

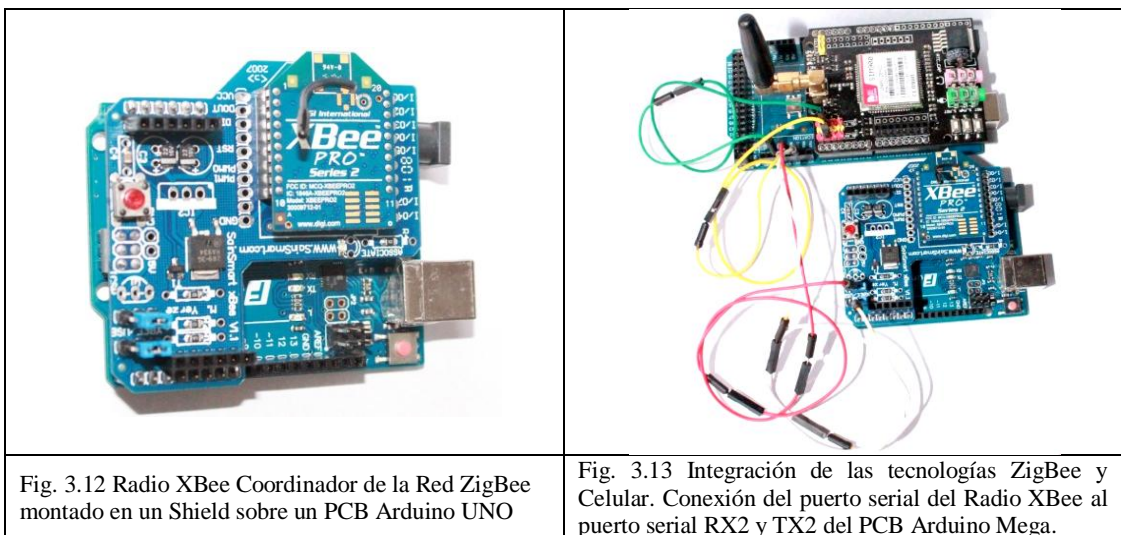
Colocamos una SIM Card (*Activada*) en el sócalo del módulo de comunicaciones celulares EFCOM SIM 900, con la capacidad de envío de mensajes activado, *figura 3.10*.

EL módulo de comunicaciones celulares EFCOM es compatible con la PCB Arduino Mega, por lo cual, fue montado directamente sobre ella. Se realizó una conexión mediante cables

entre los puertos RX y TX del módulo EFCOM y la PCB Arduino Mega en uno de sus puertos como se puede ver en la *figura 3.11*.



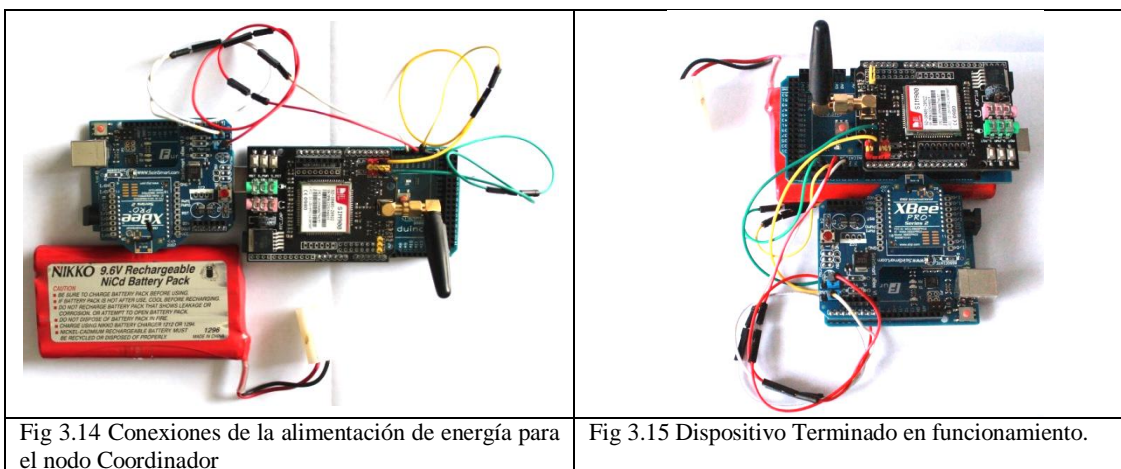
Luego se preparó el Radio XBee, que será el coordinador de la red Local en protocolo ZigBee. Este fue montarlo nuevamente en un Shield sobre una Arduino Uno (*figura 3.12*), mismo que fue utilizado para abrir el puerto de comunicaciones serial. Y mediante cables se conectó el puerto serial RX y TX del XBee a un puerto RX2 y TX2 del Arduino Mega, lo que se puede evidenciar en la *figura 3.13*



### 3.2.2 Fuente de energía para el Nodo Coordinador.

Finalmente se alimentó este dispositivo de acuerdo a las especificaciones del módulo EFCOM SIM900, con una batería de Nickel-Cadmio recargable de 9.6V, desde luego la Arduino

Mega posee reguladores de voltaje que bajan al nivel de operación a 5V para el Arduino Mega y 9V para el módulo ECom SIM 900. De igual forma la energía que se necesita para suministrar energía al Arduino UNO se tomará del Arduino Mega. La PCB Arduino UNO, juntamente con el Shiel para XBee suministrarán los 3,3 V requeridos por el Radio de comunicaciones XBee. El dispositivo final lo podemos observa en la *figura 3.14 y 3.15*.

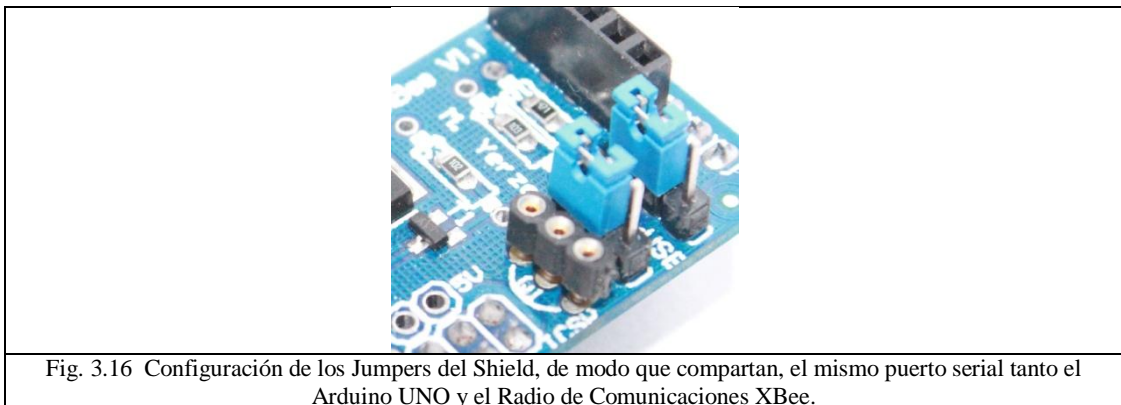


### 3.3 Programación de los Nodos Sensor y Coordinador.

#### 3.3.1 Programación del Nodo Sensor

La construcción física del nodo sensor, fue siempre de la mano de su respectiva programación, desde luego fue separada en este texto, para poder tratarla con mayor enfoque metodológicamente con detenimiento en esta sección del proyecto.

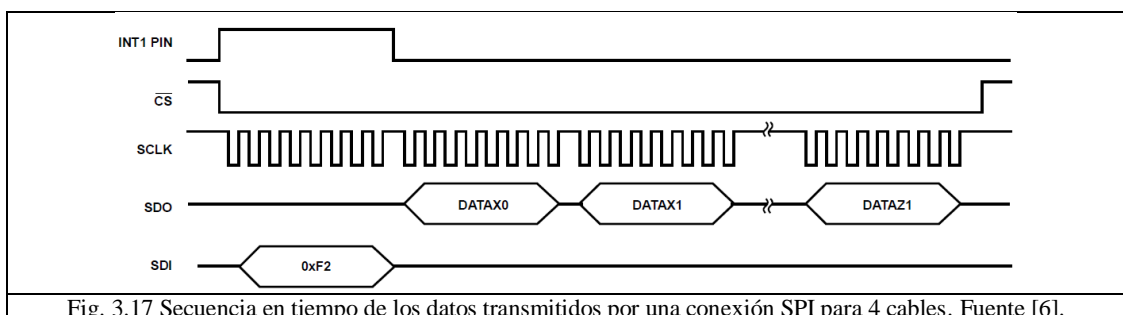
Se inició por el análisis del sensor acelerómetro ADXL345, en función de sus conexiones electrónicas, su alimentación de voltaje y específicamente su control, éste asociado al PCB Arduino UNO, el cual con su microcontrolador, proporcionará las instrucciones necesarias para: realizar medidas con el sensor, procesar la cadena de datos que el sensor entrega, los convierte en una estructura de fácil lectura, los almacena en una variable y los escribe en el puerto de comunicaciones serial, mismo que es compartido con el Radio de comunicaciones XBee. Con la ayuda de los jumpers que posee el Shiel (*figura 3.16*).



La cadena de datos enviadas de manera digital mediante la comunicación SPI, a los pines del PCB Arduino fue estructurada de la siguiente manera:

Item	Dirección	Descripción
char POWER_CTL	0x2D	Registro de control de alimentación de energía
char DATA_FORMAT	0x31	
char DATA_X0	0x32	X-Axis Data 0
char DATA_X1	0x33	X-Axis Data 1
char DATA_Y0	0x34	Y-Axis Data 0
char DATA_Y1	0x35	Y-Axis Data 1
char DATA_Z0	0x36	Z-Axis Data 0
char DATA_Z1	0x37	Z-Axis Data 1

Tabla 3.3 Orden del String de datos enviado desde el ADXL345



Los datos de los ejes se guardan en variables “x, y, z” definidas en el programa, para luego se imprimen en el puerto serial, de manera que se puede visualizar en un terminal cualquiera como en un ordenador, o para este caso, se lo pasa directamente al puerto serial del Radio XBee (*configurado como Router*) para transmitir al coordinador, la medición realizada por el acelerómetro.

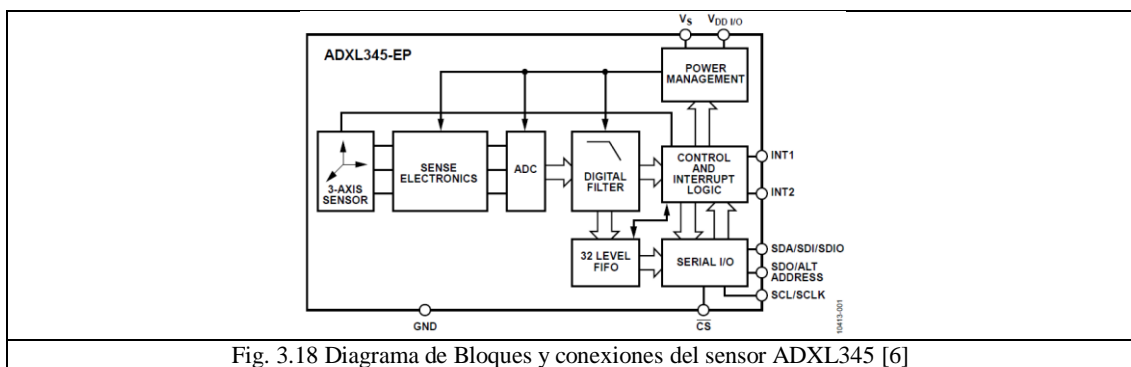
El código de programa que se desarrolló para el Nodo Sensor (*Anexo 2*), se escribió y grabó en el microcontrolador ATmega328 del Arduino UNO.

Lo que se indica principalmente son las siguientes directivas:

1. Abrir librerías que permitan comunicaciones SPI entre el acelerómetro ADXL 345 y el Arduino, librería disponible para 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.

### 3.3.2 Programación para lectura del ADXL345 en Arduino.

En este proceso, seleccionamos la librería SPI para utilizar las comunicaciones con el sensor ADXL345, en la programación buscamos tomar los datos medidos por el sensor de manera analógica, mismos que son transmitidos de manera digital mediante un paquete de datos en las cuales cada bit posee la información de los ejes. Su funcionamiento se puede observar en la *figura 3.18*



La programación mínima requerida se encuentra recomendada por el fabricante de la siguiente manera:

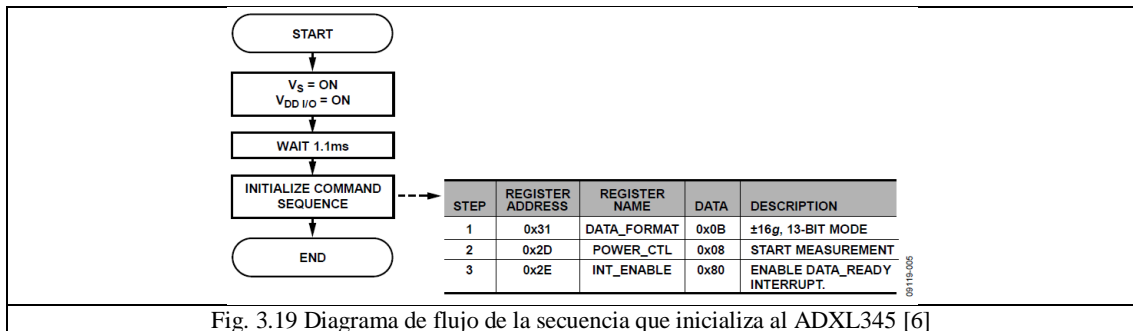


Fig. 3.19 Diagrama de flujo de la secuencia que inicializa al ADXL345 [6]

De manera que la programación inicial se escribió de la siguiente manera:

```
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 DATA_X0 = 0x32; //X-Axis Data 0
char DATA_X1 = 0x33; //X-Axis Data 1
char DATA_Y0 = 0x34; //Y-Axis Data 0
char DATA_Y1 = 0x35; //Y-Axis Data 1
char DATA_Z0 = 0x36; //Z-Axis Data 0
char DATA_Z1 = 0x37; //Z-Axis Data 1
```

Fig. 3.20 Primeras líneas de programación del sensor ADXL345 en el ensamblador de Arduino UNO

### Estructuración de los datos en el programa

Para facilitar el análisis de estas mediciones, se planificó la mejor manera de presentar los datos medidos por los sensores en cada uno de los ejes, y sus respectivas variaciones de posición. Los datos se imprimen en el puerto serial de la siguiente manera:

A:+002,-003,+111
A:+002,-004,+111

Que indica, el dato del **sensor A**, y los valores medidos en los ejes **x, y, z**. Estos valores están configurados entre **-256 y +256**.

Información transmitida por el módulo XBee operando en protocolo MESH hasta el coordinador de la red local, quien recibe la información de esta manera:

A:+002,-003,+111
------------------

B:-004,-023,+109
A:+002,-004,+111
B:-006,-023,+109

El criterio de la cadena de caracteres fue diseñado para que al recibir esta información se facilite su procesamiento informa lo siguiente:

A:+002,-003,+111
------------------

<b>A</b>	Nombre del nodo
<b>:</b>	Separador
<b>+</b>	Signo del valor
<b>2</b>	Dato del eje x
<b>,</b>	Separador
<b>-</b>	Signo del valor
<b>3</b>	Dato del eje y
<b>,</b>	Separador
<b>+</b>	Signo del valor
<b>111</b>	Dato del eje z

Tabla 3.4 Detalle del String de Datos de mediciones del Nodo “A” que se imprime en el puerto serial para transmisión.

Utilizando un software sencillo para leer el puerto serial del PC, utilizamos TeraTerm. En este, se puede observar la manera como se recibe la cadena de caracteres con los datos buscados, como se puede ver en la *figura 3.23*.

Los pasos sistemáticos se desarrollaron de la siguiente manera en el TeraTerm:

1. Se Abre TeraTerm.
2. Se selecciona el puerto USB donde el coordinador está conectado.
3. Se ajustaron los parámetros de comunicaciones: 9600bps, 1 bit parada, 8 bits de Datos, etc.
4. Y visualizan los datos de la siguiente manera:

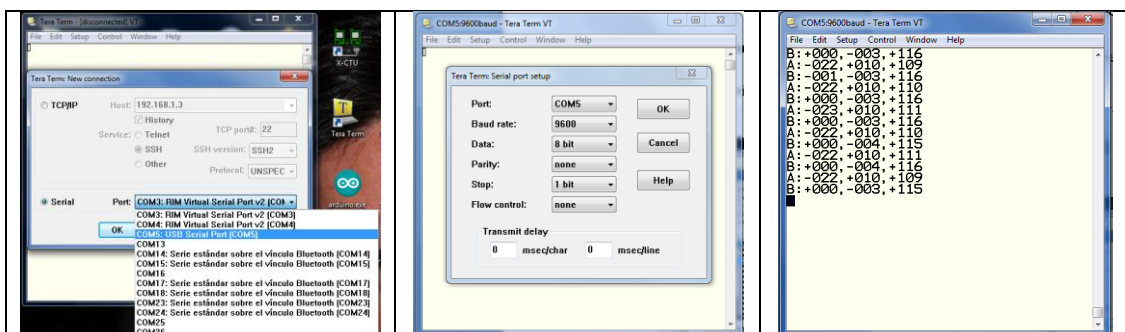


Fig 3.21 Selección Puerto de comunicaciones en TeraTerm.	Fig 3.22 configuración de los parámetros comunicación.	Fig 3.23 Lectura de datos recibidos de los nodos.
--	--	---

Una segunda función que se programó, fue la inicialización del puerto serial del Radio de comunicaciones XBee, para el cual únicamente se inicializó el puerto con una velocidad de 9600 bps.

### 3.3.3 Programación del Nodo Coordinador

La programación necesaria para este nodo, posee las siguientes directivas:

- a. Iniciar el puerto serial de comunicaciones entre el Arduino Mega y el Módulo de comunicaciones celulares EFCOM SIM900, el mismo que se fijó en 9600 bps.
- b. Iniciar el puerto serial de comunicaciones entre el Arduino Mega y el Radio de comunicaciones XBee, el cual también fue fijado en 9600 bps.
- c. Toma los datos provenientes del Radio XBee en el puerto RX2, TX2 y los almacena en una variable (var1).
- d. Controla mediante comandos AT en el puerto del EFCOM la inicialización del registro de la SIM CARD en la Red celular y se programa el envío de un SMS, al cual se le adjunta la información del Dato medido por el sensor (var1).
- e. Envía el dato almacenado en (var1) de los sensores, dirigido a un número telefónico de emergencia o a una central de monitoreo para el procesamiento de esta información.

Las líneas de programación completas se puede observar en el Anexo 2, es importante destacar, que fue necesario en el programa realizar una secuencia de operaciones para reconstruir el String de datos recibido del XBee para guardarlo en una variable, esto en virtud de que al puerto serial, llegan cada carácter en serie.

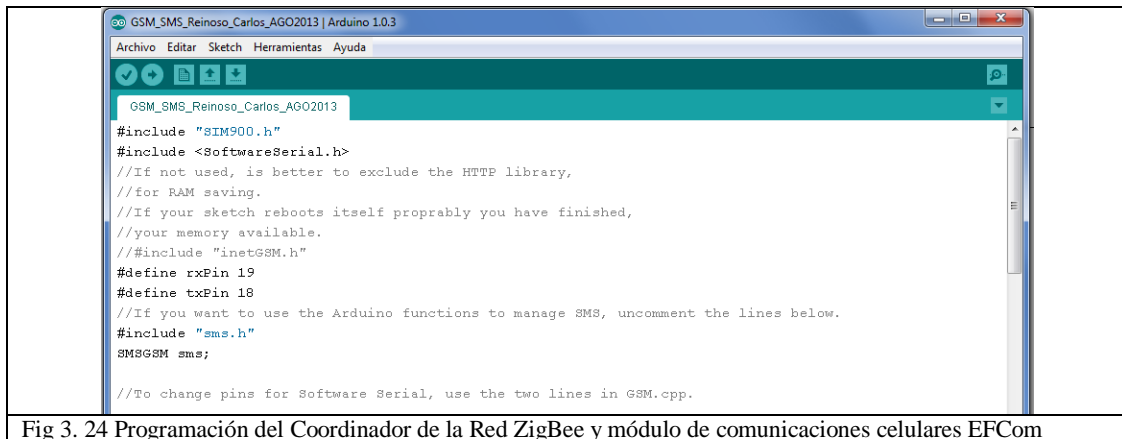


Fig 3. 24 Programación del Coordinador de la Red ZigBee y módulo de comunicaciones celulares EFCOM

### 3.4 Establecimiento de la Red Mesh ZigBee.

Unos 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. 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 presentar riesgo de deslizamiento.

Para lograr esto fue necesario, utilizar el software del fabricante conocido como **X-CTU** de *Digi Internacional*. En él se puede seleccionar las características y el **Firmware** que va a poseer cada nodo, y además, se actualiza en para nuevas versiones con correcciones y mejoras, partes del programa se puede observar en la *figura 3.25*.

#### 3.4.1 Preparación de la Red Local

##### *Programación del XBee*

Se desarrollaran dos programaciones importantes, uno para los nodos que monitorearán con el acelerómetro, que se lo definirá como **ROUTER A** y **ROUTER B**. Otro adicional para el **COORDINADOR**, quien recibirá estos datos y posteriormente los retransmitirá por el módulo **EFCOM GSM/GPRS**.

A partir de esto fue necesario, la adquisición de dispositivos **XBee Serie 2** del fabricante *Digi internacional*, debido a que esta versión soporta topología Mesh. También el **XBee PRO Serie 2**, para utilizarlo como coordinador, mismo que posee mayor rango de recepción y también soporta topología MESH por ser Serie 2.

En la parte posterior de los XBee se puede encontrar la dirección de 16 bit, la cual esta separada en una sección, denominada **alta** para todos los XBee de este fabricante; **0013A200** y continua con una sección denominada **baja**, misma que diferenciará a cada dispositivo.

En este proyecto se los identifica en la siguiente tabla:




Modelo	Nombre	Dirección 16 bits	Imagen
XBP-2Z	COORDINADOR	0013A200 <b>4060E34F</b>	
XB-24Z	ROUTER	0013A200 <b>402D8502</b>	
XB-24Z	ROUTER	0013A200 <b>403155CF</b>	

Tabla 3.5 Modelo, asignación de nombre y direcciones.

A cada uno se lo configuró, indicando en primer lugar al PAN ID (*Personal Area Networks Identification*) al que pertenecerán. Todos deben estar en el mismo PAN, de manera que el coordinador automáticamente seleccione el canal y asignará de una manera dinámica la dirección de 16 bit que cada Router poseerá dentro de la red PAN.

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

XBee	403155CF	2600	0013A200	4060E34F	AT-ROUTER (Mesh)
------	----------	------	----------	----------	---------------------

Tabla 3.6 Planificación de la configuración de la red Mesh PAN ZigBee

Como podemos observar no se planifica escribir en el coordinador DH ni DL, ninguna dirección, ya que el coordinador únicamente recibirá la información y no envía datos a los Routers.

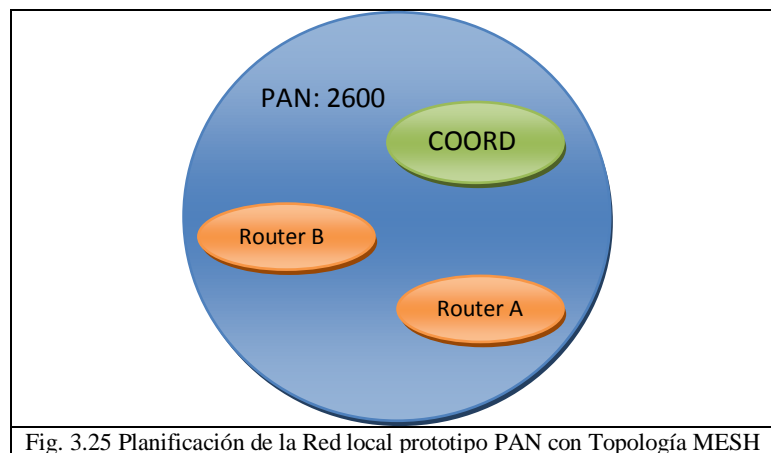


Fig. 3.25 Planificación de la Red local prototipo PAN con Topología MESH

El proceso sistemático realizado es el siguiente:

1. Se revisó el Radio XBee Pro Serie 2, y se tomó nota del número de serie de 16 bits impreso en la parte inferior del mismo “0013A200 4060E34F” (tabla 3.6), este será utilizado más tarde para configurar los Routers. Colocamos el radio coordinador en un dispositivo, llamado **Explorer**, de marca *UarstBee*, el cual sirve para comunicar directamente entre, el ordenador y el Radio XBee, para configurarlo con facilidad.
2. Se instaló el software proporcionado por el fabricante conocido como X-CTU, con el cual se pudo actualizar y cambiar el Firmware de los dispositivos XBee, y se asignaron los roles de Coordinador, Routers, etc. al cambiar el Firmware de ellos.
3. Se conectó el dispositivo Explorer con el Radio en él, al puerto USB del PC, y utilizando el X-CTU nos cercioramos de la comunicación, presionando el botón TEST, verificando los parámetros de comunicación.

4. Una vez comprobada la comunicación con el Radio, procedemos actualizar el Firmware del Coordinador utilizando la viñeta *Modem Configuration*, y seleccionando el firmware **ZIGBEE COORDINATOR AT**, cambiamos el PAN ID a **2600**, se presionó el botón *Write* para grabar en su memoria *ROM* esta configuración, se puede observar en la *figura 3.26 y 3.27*.
5. Luego seleccionamos la viñeta *Terminal* y configuramos el resto de parámetros de la *tabla 3.6*, mediante el uso de comandos AT, como se puede ver en la *figura 3.28*.
6. Se lo desmonta del dispositivo Explorer y estará listo para ser montado sobre el Shield para Radios XBee que estará conectado a la tarjeta Arduino Mega 2560.

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.

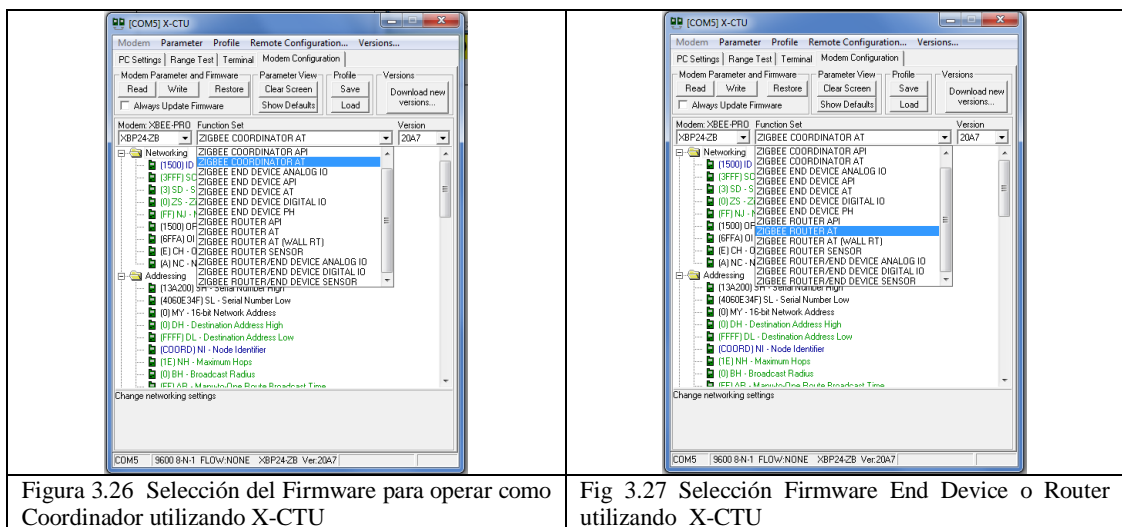


Figura 3.26 Selección del Firmware para operar como Coordinador utilizando X-CTU

Fig 3.27 Selección Firmware End Device o Router utilizando X-CTU

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:

Comandos AT en el puerto Serial de XBee para el <b>Coordinador</b>	
+++	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 realizada.

Tabla 3.7 Comandos AT para configuración del Coordinador

Comandos AT en el puerto Serial de XBee de los <b>Nodos</b>	
+++	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 realizada.

Tabla 3.8 Comandos AT para configuración de los Routers

A cada uno de estos comandos la respuesta del Radio fue **OK**, y no se asignan direcciones específicas a los Router, ya que el Coordinador será quién asigne una nueva dirección cuando exista un *handshake* entre ellos, en virtud de que están en la misma Red PAN 2600. De esta manera se pudo entender el funcionamiento de una red MESH auto-configurable.

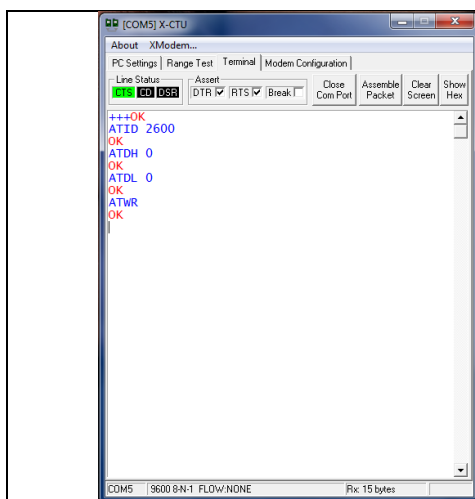


Fig 3.28 Comandos para configuración del Coordinador utilizando el Terminal de X-CTU

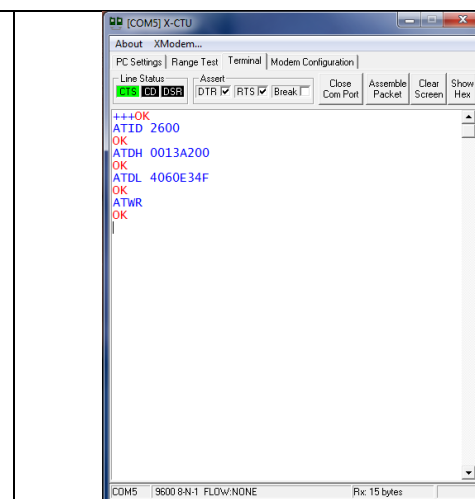


Fig 3.29 Comandos para configuración de los Routers utilizando el Terminal de X-CTU

### 3.5 Diseño de la Interface gráfica en LabVIEW

Como se lo presentó anteriormente, LabVIEW constituye un laboratorio de instrumentación electrónica virtual, con excelente prestaciones para desarrollo. Al mismo tiempo permitió integrar la toma de datos en tiempo real, mediante uno de los puertos disponibles en el PC. Desde luego el análisis y tratamiento de los datos, no son tema central de este proyecto de investigación, pero vale la pena demostrar el potencial que puede ofrecer este software para poder realizar proyectos de investigación, de modelamiento físico del comportamiento de deslizamientos, actividad sísmica, volcánica, niveles de ríos y mares, etc.

Básicamente el trabajo realizado con este software, fue el de realizar la programación virtual por bloques, empezando por preparar los puertos seriales del PC, para poder ser leídos y esta información, ser almacenada en variables que más tarde fueron filtradas, procesadas y graficadas. En el **Anexo 2**, se presenta el diagrama completo de programación realizado en LabVIEW como referencia para futuros proyectos.

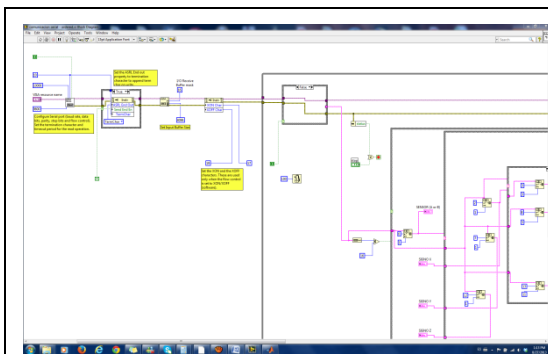


Fig 3.30 Programación por Bloques en LabVIEW

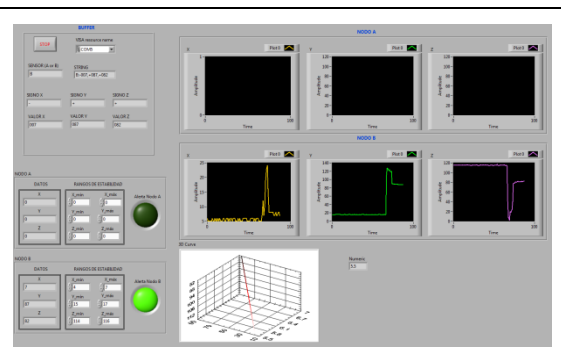


Fig 3.31 Interface en LabVIEW

Las figuras anteriores muestran lecturas de los sensores, las cuales pueden ser procesadas de la manera más conveniente. En el caso de este proyecto se desarrolló una interface de fácil uso, que posee información de los dos nodos en funcionamiento, y mediante programación

lógica, se activan luces en el panel (*Alarmas*), en caso de que la variación en el movimiento sobrepase un rango establecido por el usuario.

### 3.6 Pruebas en Laboratorio

Las primeras pruebas del desarrollo de este proyecto de investigación, fue realizado bajo cubierta, en el laboratorio, utilizando 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 esto se utilizó nuevamente el software TeraTerm, en el cual se pudo visualizar los datos que llegan al Coordinador de la Red ZigBee, de la siguiente manera;

1. El XBee coordinador se lo conecta mediante el Explorer directamente al puerto USB, este Shield 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, mismo que se denominaron “A” y “B”, se pudo ver como los Leds que indican asociación en los radios de comunicación XBee están encendidos.
3. Usando TeraTerm y seleccionando las características de comunicación: Puerto Com 5, luego ajustamos la velocidad a 9600 bps, bits de paridad 1 y sin 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 respectivos ejes.
5. Utilizando LabVIEW después de cerrar TeraTerm para evitar conflictos con el uso de puertos, se pudo visualmente ver como la información va graficándose en la pantalla, individualmente de acuerdo a la distribución de gráficas por nodo y sus respectivas alarmas de movimiento.

### ***Funcionamiento en Topología Estrella***

Se ubicaron los dos Nodos Routers a menos de 10 metros del Coordinador, de tal forma que la configuración automática será de tipo estrella, los datos se pueden apreciar en las figuras 3.32 y 3.33:

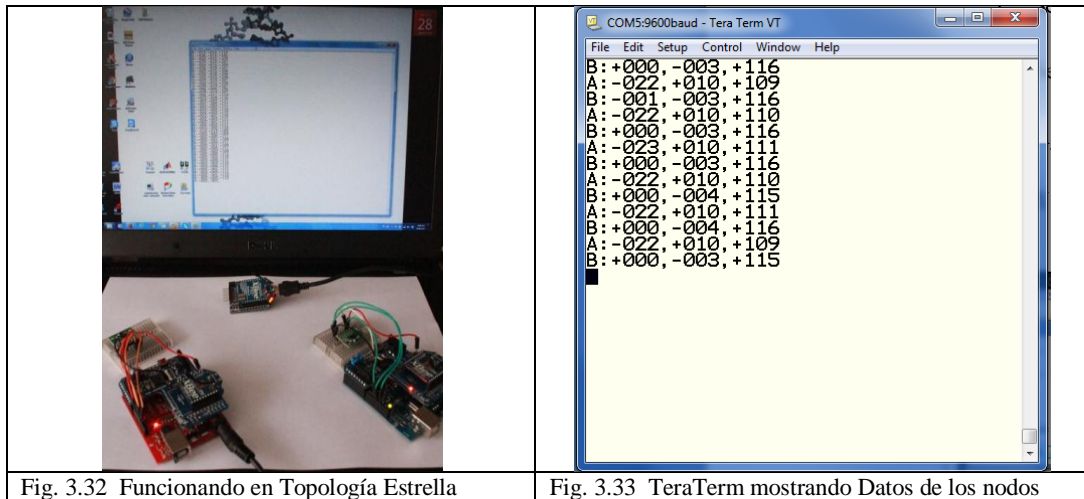


Fig. 3.32 Funcionando en Topología Estrella

Fig. 3.33 TeraTerm mostrando Datos de los nodos

### ***Funcionamiento en Topología MESH***

Para alcanzar este objetivo, y debido a las dimensiones reducidas del laboratorio se planificó distribuir los Nodos creando grandes atenuaciones, dentro de un departamento, de manera que sus paredes y puertas atenúen la señal de los Radios XBee de la siguiente manera:

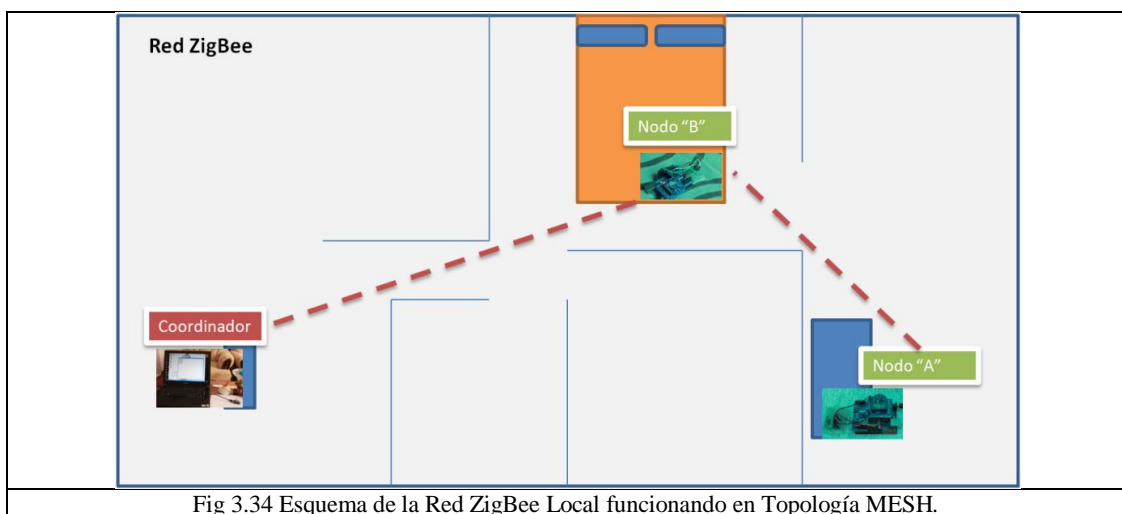
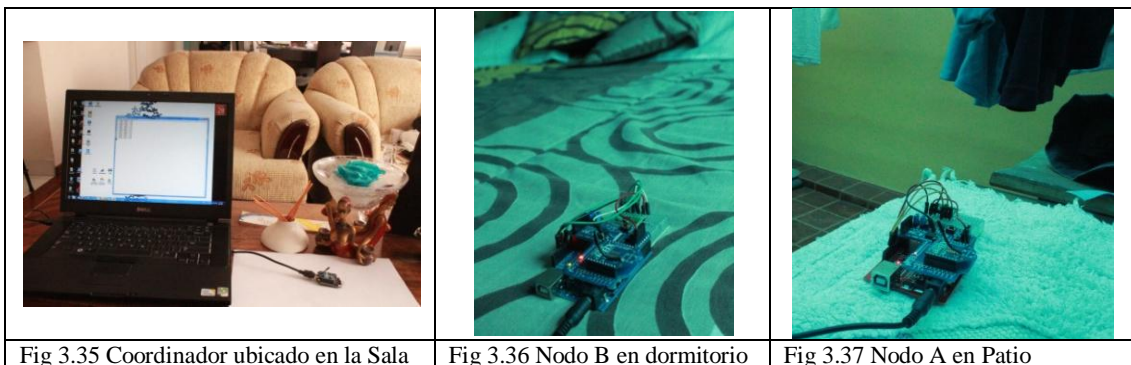


Fig 3.34 Esquema de la Red ZigBee Local funcionando en Topología MESH.

El proceso sistemático de la prueba fue la siguiente:

1. Se activó el Coordinador de la Red, luego activamos el nodo “A” (*de acuerdo a figura 3.34*), y se verificó en TeraTerm que no se reciban paquetes de información en el Coordinado.
2. Encendemos el nodo “B” (*a medio camino*), y se verificó en TeraTerm, que empezaron a llegar paquetes de información de Nodo “B”, y también del Nodo “A”, probando la retransmisión automática originada por la red Mesh.
3. Seguido de lo anterior, sin apagar ninguno de los nodos, se intercambiaron las posiciones de los Routers “A” y “B”, de manera que ahora el Router “B” alcance al Coordinador a través de “A” con una autoconfiguración automática.
4. Se desactivó el nodo “A” (*a mitad de camino*), y no se encontró ningún dato en el Coordinador, lo cual explica que el Router “B” tampoco puede alcanza al Coordinador si no es a través del Router “A”.

De esta manera se verificó el funcionamiento esperado de los nodos “A” y “B” configurados para operar en Topología MESH.



### 3.7 Pruebas de Campo

Desde luego uno de los éxitos del proyecto de investigación, es verificar su funcionamiento en el campo. Las pruebas se realizaron, primero respondiendo al requerimiento de conocer la distancia máxima de transmisión de la Red ZigBee. Luego se realizó otra prueba para

verificar el funcionamiento de la red en topología MESH, de tal manera que se auto configuren los Routers y puedan retransmitir los datos de las mediciones.

### Alcance máximo de comunicaciones ZigBee en línea de vista

Un parámetro muy importante es verificar 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 3.38*, 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; Inicio de falla en recepción de datos y pérdida total de transmisión de datos. Estos resultados se muestra en la *tabla 3.8*.

Línea de vista sin obstáculos	Metros
Empieza a fallar la recepción de Datos	~105
Perdida de la recepción de datos	~110

Tabla 3.8 Resultados de las pruebas de campo sobre el alcance de la red ZigBee.

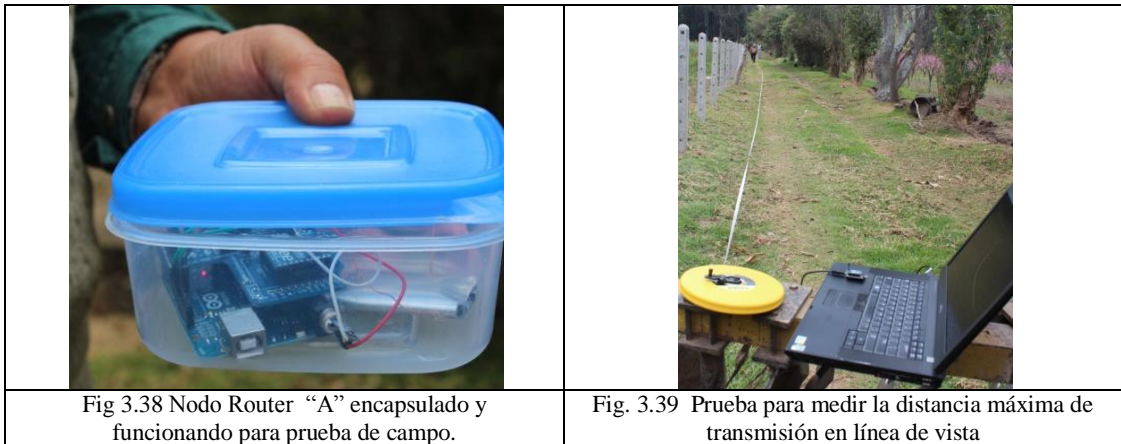


Fig 3.38 Nodo Router “A” encapsulado y funcionando para prueba de campo.

Fig. 3.39 Prueba para medir la distancia máxima de transmisión en línea de vista

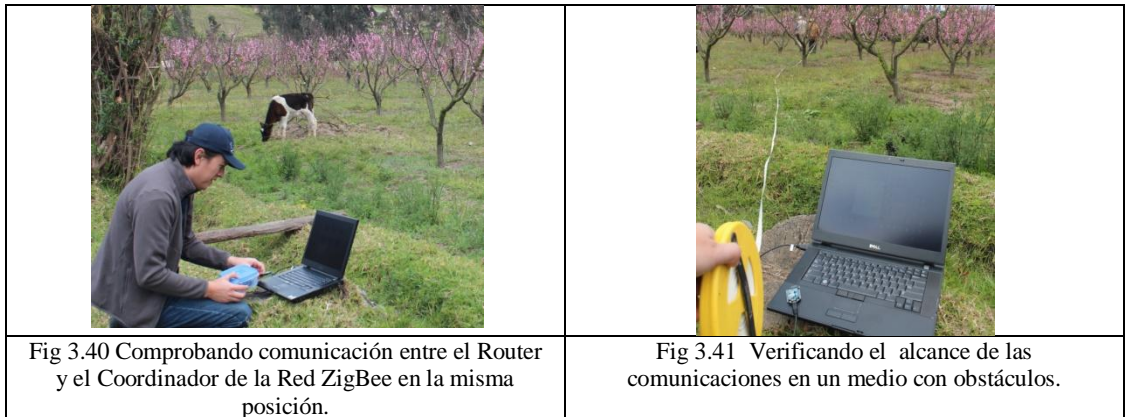
### Alcance máximo de comunicaciones ZigBee con Obstáculos.

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 de la red, por lo que es necesario tener la información de la distancia máxima de transmisión incluyendo obstáculos. Esta prueba se realizó para obtener esta valiosa información, misma que se describe en el siguiente procedimiento de la prueba realizada.

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 3.40.*
2. Se utilizó nuevamente la cinta métrica para medir se la distancia que el Router se aleja del Coordinador en medio de árboles (durazno) como se aprecia en la figura 3.41, hasta los puntos donde empezó a fallar la comunicación y cuando falló totalmente la comunicación de la Red ZigBee, obteniéndose los datos en la *tabla 3.9.*

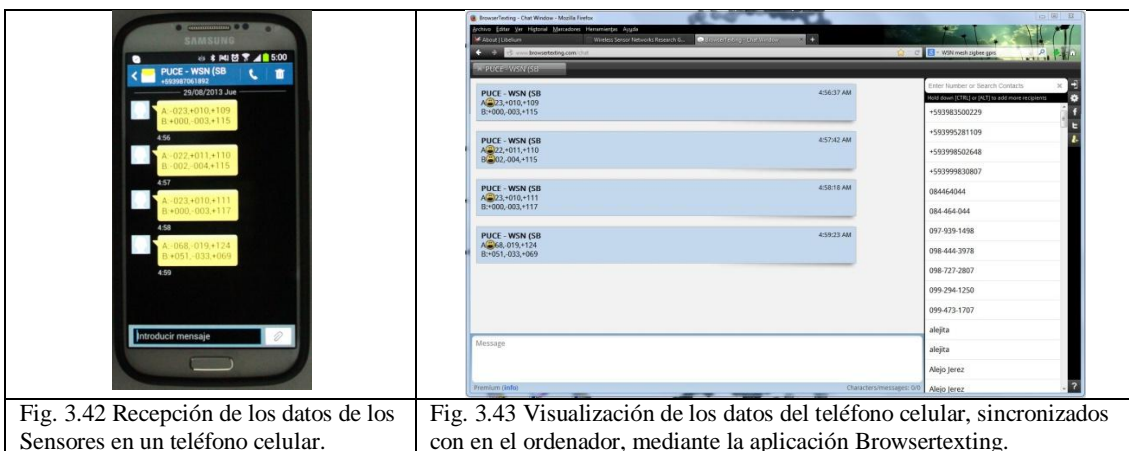
Campo con Obstáculos	Metros
Empieza a fallar la recepción de Datos	~50
Perdida de la recepción de datos	~55

Tabla 3.9 Resultados de las pruebas de campo sobre el alcance de la red ZigBee.



### 3.8 Recepción de datos en Celular



Uno de los pasos finales del presente proyecto de investigación, fue la comunicación entre el Coordinador de la **Red Local** y la **Red Celular** mediante el módulo **EFCOM SIM900**. A este último se le proporcionó, en su programación el número telefónico al cual se quiere transmitir, el mismo que estuvo sincronizado con un ordenador mediante la aplicación gratuita para Android, **Browsertexting**, disponible en [52] y en google play. La programación y la forma de procesar esta información en un computador o servidor, es tema ya de un nuevo proyecto de investigación, discutido en el punto 2 de la sección 3.11 Trabajos Futuros. Podemos ver en la *figura 3.42* la información de los Nodos recibidos como SMS en un teléfono Celular y en la pantalla del computador *figura 3.43*.



### 3.9 Análisis comparativo de Costos Proyecto real

El desarrollo del internet de las cosas, sin duda está a la vuelta de la esquina, y lo demuestran una creciente cantidad de proyectos de investigación y desarrollo de tecnología en diferentes lugares del mundo. Sin embargo las aplicaciones y fabricantes de soluciones complementarias, no se encuentran aún disponibles, ya que cada tópico de interés en los WSN, dependen de la realidad y enfoque de cada situación. Es por ello que no existe una oferta amplia de dispositivos relacionados con los fines que persigue este proyecto hasta el momento de su publicación. De las pocas empresas, es importante destacar a la empresa Española Libelium [50]. Quien al momento es por no decir la única empresa sólida que provee de soluciones integrales para diferentes tipos de proyectos, desarrollados exitosamente en España. De tal manera que nuestro análisis comparativo lo realizaremos con esta la mencionada empresa, señalando que no poseen un sistema similar, pero es suficiente para poder hacer una relación con prestaciones que sí posee.

Desde luego el análisis comparativo se lo realizará alrededor de los componentes semejantes en características, y valores, cuyos costos están tomados del catálogo de productos de Libelium, publicada en Junio 2013 y proporcionado por Libelium [33], mismos que se puede revisar en el Anexo 4.

			
Nodo Coordinador 802.15.4 – GSM/GPRS	\$ 120	Meshlium 802.15.4-PRO Mesh – 3G (MM802-3G)	(1150 □) = \$ 1500
Batería 6500mA + Solar Panel	\$ 40	Batería 6500mA + Solar Panel	\$ 40
Nodo Arduino + ZigBee	\$ 40	Plug & Sense AC ZB-PRO 5dbi (AC-ZB)	(370 □) = \$ 490
Sensor Acelerómetro ADXL345	\$ 10	Sensor acelerómetro no	(50 □) = \$ 67

(módulo)		disponible, proponemos un GPS	
Batería 3500mA + Solar Panel	\$ 20	Batería 3500mA + Solar Panel	\$ 20
Accesorios y cables	\$ 20	Accesorios y cables	\$ 20
Programación		Programación	
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 250</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2137</b>

Tabla 3.10 Comparación de costos de los elementos para un sistema similar de monitoreo

Para una escalabilidad de los sensores, es decir en un proyecto real, contando con al menos 10 nodos Routers, restamos el valor del módulo central y este valor multiplicamos por los 10 Routers sensores.



			
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	
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1420</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 7870</b>

Tabla 3.11 Comparación de costos de los elementos para un sistema con 10 nodos.

## CAPÍTULO IV

### 4.1 Conclusiones

Las conclusiones encontradas al finalizar el presente proyecto de investigación son muchas, en diferentes aspectos, empezando por el cumplimiento exitoso de los objetivos, otro en el de diseño electrónico, en la programación y también en la develación de un gran campo de trabajos futuros en el creciente mundo del internet de la cosas. A continuación mencionamos las conclusiones más importantes:

- Fue factible el establecimiento de una red local en protocolo 802.15.4 ZigBee operando en topología MESH, mediante la cual se enviaron datos de sensores de movimiento/inclinación, lo que indica que el sistema se encuentra listo para el monitoreo de algún tipo de amenaza natural como taludes en carreteras, desfiladeros, peñas y demás zonas de riesgo de deslave.
- Se comprobó que la Red Local, se auto-configura automáticamente, lo que asegura una autonomía de funcionamiento, teniendo redundancia local, a menos que exista una pérdida o daño del nodo coordinador, la red local no lo permite.
- Existió dificultad en el desarrollo de la escritura de los programas, al ser un entorno nuevo que debe considerar la inclusión de varias librerías, propias para el manejo de diferentes dispositivos.
- La tecnología disponible al momento prestó un contingente primordial, principalmente por ofrecer tecnología de código abierto, lo que facilita y permite su desarrollo y aplicaciones, como es el caso de las PCB Arduino, los radio de comunicaciones XBee, y los sensores, aunque fue necesaria su importación.
- 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 una infinidad de aplicaciones, no solo para servicios de prevención y

control de desastres, sino procesos de optimización de procesos industriales, en la eficiencia energética en edificios e instalaciones grandes con aire acondicionado, la domótica, respondiendo a la innovación en el internet de la cosas.

- 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, (se ha levantado un primer mapa de zonas con riesgo de deslave o derrumbe), por lo que el proyecto es una alternativa acertada y oportuna para su aplicación de inmediato en algún proyecto con la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo por ejemplo o una posible Unidad de Monitoreo de Riesgo y amenazas Naturales de la PUCE.
- Del análisis del costo de implementación de un Red con 10 nodos, claramente se puede ver una gran diferencia, misma que está relacionada con el tiempo de investigación, desarrollo y la producción de una marca propia como es Libelium, creando una atractiva iniciativa empresarial ecuatoriana
- Referente a los costos de construcción, instalación, operación del sistema de monitoreo, y la creciente necesidad de información en tiempo real, propone el nacimiento de una empresa que brinde sus servicios a nivel nacional, con grandes expectativas de crecimiento, y sin importantes inversiones.

## 4.2 Trabajos futuros

Con el desarrollo de este proyecto de investigación, se pudo encontrar varios campos de interés para su investigación y desarrollo, lo cuales se explican brevemente a continuación.

1. Utilizando los Radio XBee en configuración API se los pueden configurar remotamente, de manera que no exista necesidad siquiera de ir a las locaciones donde se encuentren instalados, facilitando su uso y adaptándolos a los cambios que la industria, la exploración lo requieran. Para ello se necesita instalar nuevas librerías en la programación del microcontrolador.

2. Levantamiento de un servidor Web para procesar información de sensores y crear una Red de emergencia con las diferentes entidades relacionadas, esto permitirá modelar el comportamiento de diferentes amenazas y peligros naturales, como volcanes, ríos, estructuras civiles, como puentes, edificios, etc.
3. Es importante destacar que el presente trabajo será el precursor de 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.
4. Se recomienda el análisis de la alternativa de comunicaciones de emergencia mediante SMS, como recomendó el Departamento de seguridad de la Estados Unidos, después del ataque del 11 de septiembre, ya que en caso de falla de comunicaciones, es probablemente la última en saturarse o fallar.
5. Desarrollo de un Estándar para la construcción de WSN. Es importante señalar que no existe precisamente un estándar para el diseño y construcción de Nodos inalámbricos, pero se consideró que al estar ubicados en lugares remotos, muchas veces de difícil acceso, las paradas por mantenimiento planificadas se realizarán con mayor facilidad al solo desconectar cables y reemplazar si de ser necesario componentes para no desmontar el nodo y llevarlo a solucionar en laboratorio, aspectos de utilización de la energía, relacionados con su autonomía deben ser analizados con mayor detenimiento.
6. 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 que en ella se dan.

7. El desarrollo de proyectos en el mejoramiento del 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.

Estas ideas, dan apenas una pauta de la gran cantidad de aplicaciones que apoyados en las redes inalámbricas de área personal PAN, integradas con IPv4, IPv6, Celular, puedan ser el catalizador del desarrollo de diversos espacios de nuestro país.

## CONTENIDO BIBLIOGRÁFICO:

### BIBLIOGRAFÍA ESCRITA

- [1] WHO (2009), Protecting Health From Climate Change: connecting science, policy and people, World Health Organization, WHO Press, Ginebra - Suiza
- [2] Asamblea Constituyente del Ecuador (2008), Constitución Política de la República del Ecuador, Título VII, Régimen del buen Vivir, Capítulo II Biodiversidad y Recursos Naturales, Art 395. Montecristi Ecuador
- [3] H Congreso Nacional (2004), CODIFICACIÓN 2004-019, Ley de Gestión Ambiental, Quito Ecuador
- [4] Won-Suk Jang (2008), Wireless Sensor Networks as a part of a web based building environmental monitoring system. Automation in Construction, Volume 17, Issue 6, August. Pages 729-736.
- [5] Barbour and Schmidt (2001), “Inertial Sensor Technology Trends”, IEEE Sensors Journal, Vol. 1, No. 4, pp. 332-336, DECEMBER.
- [6] Analog Devices (2011), Digital Accelerometer ADXL345 Data Sheet, Analog Devices Incorporated, Norwood, Massachusetts USA
- [7] Singh Ikraj (2011), Net Monitoring System Of Hand Motion Capture Through Accelerometer, California State University
- [8] Supertel (2012), Reporte de usa de dispositivos móviles e internet en el Ecuador, Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador. Quito Ecuador.
- [9] Biescas B. et all (2001), The spectrogram as a tool for seismic detection of snow avalanches (an example of a moving source), Dep. de Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona, Institut Fédéral pour l’Etude de la Neige et des Avalanches. Barcelona – España.
- [10] Cruz, E (2011), Transmisión de Datos Hidrometeorológicos, Revista 50 años INAMHI, Quito – Ecuador.
- [11] Revista INAMHI 51 años 4 agosto 2012 pag 15 Carlos Naranjo.
- [12] Neculescu Dan, (2002), MECHATRONICS, Prentice Hall Inc, New Jersey - USA
- [13] Manual BE Girochip BEI GYROCHIP™Model QRS11
- [14] Feynman Richard, (1962), Lecturas en Física, Volumen I, Sección 20-3, Addison-Wesley, Delaware-EUA.
- [15] Parker, Philip,(2007), GPs Webster’s Timeline History, ICON Group International, Inc. New York –USA
- [16] Reinoso, C (2011), Apuntes de Tecnología Inalámbrica por Ivan Bernal PhD, PUCE, Quito-Ecuador.
- [17] Tsuzuki, Fisher (2010), Oversampling Technique to Improve ADXL345 Output Resolution, Analog Devices, Norwood – USA.
- [18] Billingsley, J (2006), Essentials of Mechatronics, Wiley-Interscience, New Jersey – USA
- [19] Tocci, Ronald (2011), Sistemas Digitales, Prentice Hall, Mexico.
- [20] Nicopolitidis, P. (2003), Wireless Networks, John Wiley & Sons, Ontario – Canada.
- [21] Tafazolli Rahim (2006), Technologies for the Wireless Future, Vol 2, Wiley

- [22] Bernhard, h (2006), IEEE 802 Wireless Systems, Wiley, Ontario-Canada.
- [23] Rappaport, T.S (1995), Wireless Communications:Principles&Practice”. Prentice Hall.
- [24] Stuber, G. (1996), Principles of Mobile Communication Chapter 2, Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- [25] Correa, R (2009), Decreto Presidencial No 1815: Adaptación y Mitigación del Cambio Climático, Registro Oficial de la República del Ecuador, 1 de julio, Quito – Ecuador.
- [26] STGR, (2010), Guía de introducción de una Variable de Riesgo en Infraestructura, Secretaria Técnica de Gestión de riesgo Página 109-110, Publiasesores Cia. Ltda.Quito – Ecuador
- [27] STGR, (2005), Informe Fenómeno del Niño 1997-1998, Ex Defensa Civil del Ecuador, Quito-Ecuador.
- [28] Salvador, R (2009), Apuntes de Mecánica de Suelos I, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad Ingeniería. Quito – Ecuador.
- [29] OFDA/USAID, (2006), EDAN Manual de Campo, USAID, Lima-Perú
- [30] Silva, P (2010), SEMPLADES: Agenda Buen vivir Zona 1:Riesgos naturales, Imprenta Monsalve Moreno, Quito-Ecuador
- [31] Logotronic, (2011) Data sheet: Logotronic Climate Station Viena-Austria.
- [32] Meinshausen et al, (2009), Greenhouse emission targets for limiting global warming to 2° C, Macmillan Publisher, NATURE, vol 458. NY-USA.
- [33] Libelium (2013), Waspnote, Plug&Sense Cataloge, Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. Zaragoza- España.

## BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

- [30] Ministerio del Ambiente (2012), Cambio Climático, Adaptación, último Acceso el 6 junio de 2012 en: <http://www.ambiente.gob.ec/?q=node/878>.
- [31] NYWARN (2012), New York Water/Wastewater Agency Response Network (WARN), Último acceso el 6 de Junio de 2012 en: <http://www.nywarn.org/>.
- [32] Senets (2012), Sensor Network Research Group, University of Rostock, último acceso 6 junio 2012, Rostock – Germany en: [www.senets.org](http://www.senets.org) ,.
- [33] Portal Web de prevención de Desastres Naturales de Guatemala, último ingreso el 22 de Septiembre de 2012 en: <http://guiadesastres.260mb.com/3tipos.html>
- [34] Ilustre Municipio de D.M. de Quito, 2012, Página web Seguridad, Prevención de deslaves en el centro, último ingreso el 22 de septiembre de 2012 en: [www.noticiasquito.gob.ec/Noticias/news\\_user\\_view/prevención\\_de\\_deslaves\\_en\\_el\\_centro--2189](http://www.noticiasquito.gob.ec/Noticias/news_user_view/prevención_de_deslaves_en_el_centro--2189)
- [35] IG EPN, (2012), Sistema de alerta temprana y gestión del riesgo natural, Página Web, último ingreso 22 de septiembre 2012, en: [www.igepn.edu.ec/index.php/investigacion/proyectos/item/622-sistema-de-alerta-temprana-y-gestion-del-riezgo-natural.html](http://www.igepn.edu.ec/index.php/investigacion/proyectos/item/622-sistema-de-alerta-temprana-y-gestion-del-riezgo-natural.html)

- [36] IG EPN, (2012), Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC), último ingreso 22 de septiembre 2012, en: [www.igepn.edu.ec/index.php/redes-de-observacion/item/155-red-nacional-de-acelerografos-renac.html](http://www.igepn.edu.ec/index.php/redes-de-observacion/item/155-red-nacional-de-acelerografos-renac.html)
- [37] Sensor (2012), Productos y sensores, último acceso 22 de Septiembre de 2012, en: [www.monitoringstructures.com/products/gp21x-usb-accelerometer/](http://www.monitoringstructures.com/products/gp21x-usb-accelerometer/)
- [38] INAMHI, (2013), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, último acceso, 20 diciembre 2013 en: página web Inamhi en: <http://www.inamhi.gob.ec/index.php/conozca-el-inamhi>
- [39] Fondo Nacional del agua (2012), Programa de Vigilancia y Mnitoreo de Áreas Prioritarias, último acceso 20 Diciembre 2012 en: <http://www.fonag.org.ec/inicio/que-hacemos/programas.html>
- [40] Wikipedia, (2013), Gyroscope, Último acceso: <http://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope>.
- [41] CASCADA (2008), El Sistema de Posicionamiento Global y los Receptores Gps, fecha de ingreso 9 de Mayo de 2011. Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd9/gps.htm>.
- [42] Arduino (2013), Arduino Boards, último acceso 19 febrero 2013 en: <http://www.arduino.cc/>
- [43] National Instruments, (2013), Field Programmable Gate Array, National Instruments Corporation, <http://www.ni.com/fpga/esa/>
- [44] Red de Datos (2013), RS 232, último acceso febrero 19 2013 en: <http://rddatos.tripod.com/rs232.htm>
- [45] USB ORG (2013), Universal Serial Bus, USB Organization, Taiwan, último acceso el 19 de febrero de 2013. [www.usb.org](http://www.usb.org)
- [46] Batiste Albert (2011), Sevilla MESH , Sevilla –España, último acceso 20 febrero 2013 en: <http://sevillamesh.wordpress.com/>
- [47] Alt-Tab (2013), Interacción Humana con la Tecnología, último acceso 27/feb/2013 en: <http://alt-tab.com.ar/diferencias-entre-2g-2-5g-3g-3-5g-y-4g/>
- [48] SNGR (2012), Sistema Nacional de Información para la Gestión de Riesgo, SNGR, Ecuador, último acceso febrero 27 de 2013 en: [http://snigr.snriesgos.gob.ec/snigr\\_sig/](http://snigr.snriesgos.gob.ec/snigr_sig/)
- [49] Libelium (2013), Internet of Things Platform Provider, España, último acceso Agosto 28 de 2013 en: <http://www.libelium.com>
- [50] Arduino (2013), Printed Circuit Board Arduino. Itallia, último acceso 29 agosto 2013: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)
- [51] Sparkfun (2013), Tutoriales con el uso de ADXL345 y Arduino Uno. <https://www.sparkfun.com/tutorials/240>
- [52] Google (2013), Aplicación para sincronización de lectura de texto SMS en un ordenador, último acceso el 28 de agosto de 2013 en: [www.browsertexting.com](http://www.browsertexting.com)

## Anexo 1

### Arduino UNO – Microcontrolador ATmega 328

#### Features

- High Performance, Low Power AVR<sup>®</sup> 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
  - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
  - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C<sup>(1)</sup>
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Six PWM Channels
  - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
    - Temperature Measurement
  - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
    - Temperature Measurement
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I<sup>2</sup>C compatible)
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 23 Programmable I/O Lines
  - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
  - 1.8 - 5.5V for ATmega48PA/88PA/168PA/328P
- Temperature Range:
  - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
  - 0 - 20 MHz @ 1.8 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48PA/88PA/168PA/328P:
  - Active Mode: 0.2 mA
  - Power-down Mode: 0.1 µA
  - Power-save Mode: 0.75 µA (Including 32 kHz RTC)



**8-bit AVR<sup>®</sup>**  
**Microcontroller**  
**with 4/8/16/32K**  
**Bytes In-System**  
**Programmable**  
**Flash**

**ATmega48PA**  
**ATmega88PA**  
**ATmega168PA**  
**ATmega328P**

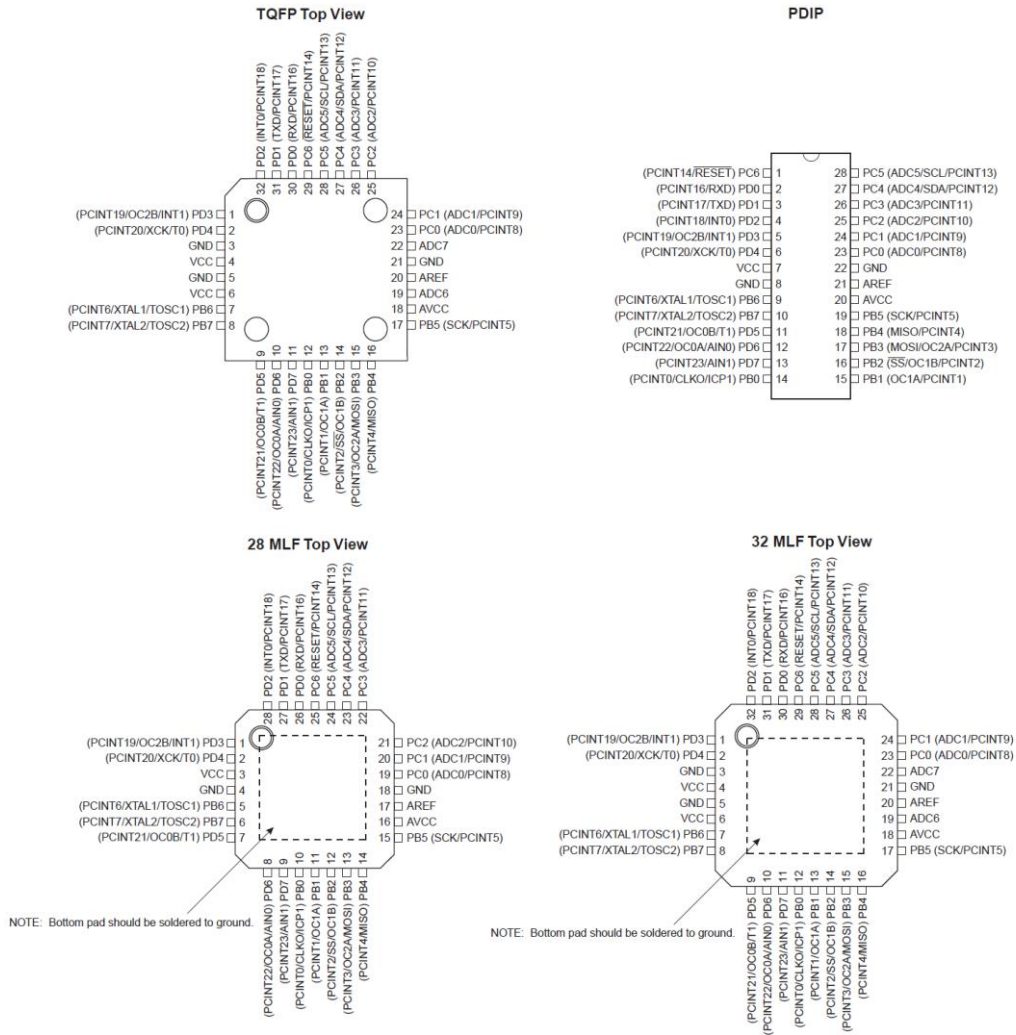
Rev. 8161D-AVR-10/09



# ATmega48PA/88PA/168PA/328P

## 1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48PA/88PA/168PA/328P



### Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 135 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
  - On-Chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 64K/128K/256KBytes of In-System Self-Programmable Flash
  - 4Kbytes EEPROM
  - 8Kbytes Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles:10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
    - Endurance: Up to 64Kbytes Optional External Memory Space
- Atmel® QTouch® library support
  - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
  - QTouch and QMatrix® acquisition
  - Up to 64 sense channels
- JTAG (IEEE std. 1149.1 compliant) Interface
  - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
  - Extensive On-chip Debug Support
  - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - Four 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare- and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Four 8-bit PWM Channels
  - Six/Twelve PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - Output Compare Modulator
  - 8/16-channel, 10-bit ADC (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - Two/Four Programmable Serial USART (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Byte Oriented 2-wire Serial Interface
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 54/86 Programmable I/O Lines (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
  - 64-pad QFN/MLF, 64-lead TQFP (ATmega1281/2561)
  - 100-lead TQFP, 100-ball CBGA (ATmega640/1280/2560)
  - RoHS/Fully Green
- Temperature Range:
  - -40°C to 85°C Industrial
- Ultra-Low Power Consumption
  - Active Mode: 1MHz, 1.8V: 500µA
  - Power-down Mode: 0.1µA at 1.8V
- Speed Grade:
  - ATmega640V/ATmega1280V/ATmega1281V:
    - 0 - 4MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
  - ATmega2560V/ATmega2561V:
    - 0 - 2MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
  - ATmega640/ATmega1280/ATmega1281:
    - 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V, 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V
  - ATmega2560/ATmega2561:
    - 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V



**8-bit Atmel  
Microcontroller  
with  
64K/128K/256K  
Bytes In-System  
Programmable  
Flash**

**ATmega640/V  
ATmega1280/V  
ATmega1281/V  
ATmega2560/V  
ATmega2561/V**

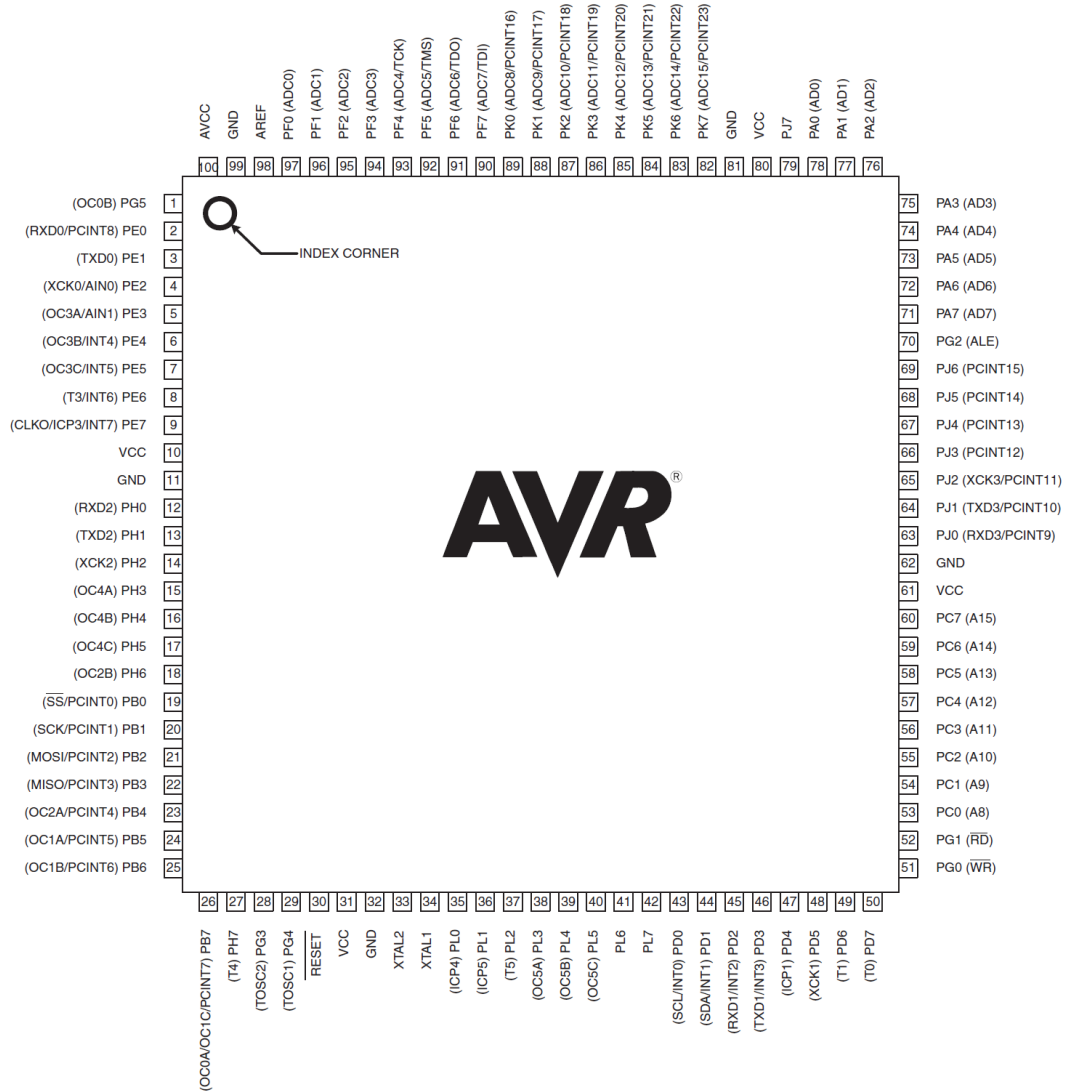
2549P-AVR-10/2012



# ATmega640/1280/1281/2560/2561

## 1. Pin Configurations

Figure 1-1. TQFP-pinout ATmega640/1280/2560



### ADXL345 Quick Start Guide

by Tomoaki Tusuzki

#### PHYSICAL MOUNTING

The ADXL345 is 3-axis accelerometer. The sensing axes are shown in Figure 1.

The ADXL345 senses positive acceleration when it is accelerated in the positive direction of the sensing axes. The user must be careful when sensing gravity because positive acceleration is sensed when the direction of the sensing axis is opposite to gravity. Figure 2 shows the output response to gravity.

The ADXL345 is supplied in a small, thin, 3 mm × 5 mm × 1 mm, 14-lead, plastic package. Refer to the ADXL345 data sheet for recommended printed circuit board land pattern.

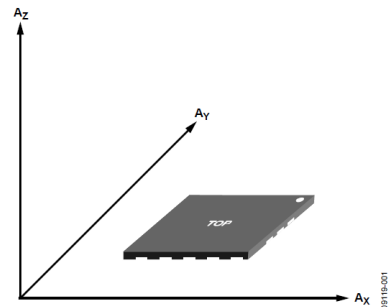


Figure 1. Sensing Axes of ADXL345

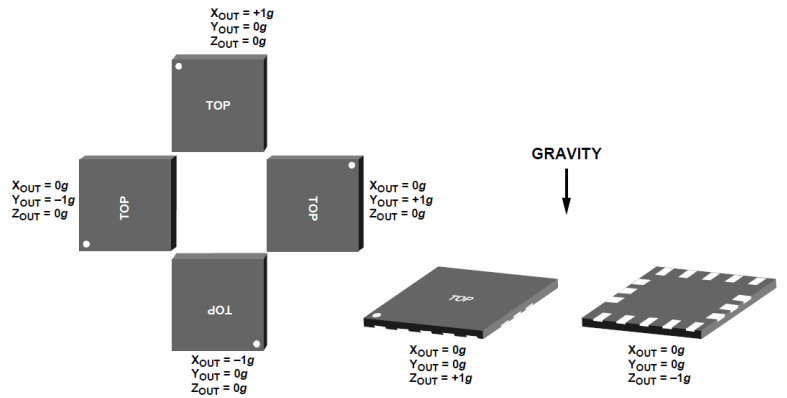


Figure 2. Output Response vs. Orientation to Gravity

**ELECTRICAL CONNECTION**

ADXL345 communication is done via either I<sup>2</sup>C or SPI (3- or 4-wire mode). Figure 3 shows the recommended electrical connections for 4-wire SPI mode. Note that the SDO pin can be disconnected when using 3-wire SPI mode.

Figure 4 shows the recommended electrical connection for I<sup>2</sup>C mode. The 7-bit I<sup>2</sup>C address for the device is 0x53, followed by the R/W bit. The user can select an alternate I<sup>2</sup>C address by connecting the SDO/ALT ADDRESS pin to the V<sub>DD I/O</sub> pin. The 7-bit I<sup>2</sup>C address for that configuration is 0x1D, followed by the R/W bit.

Refer to the ADXL345 data sheet for details on power supply decoupling.

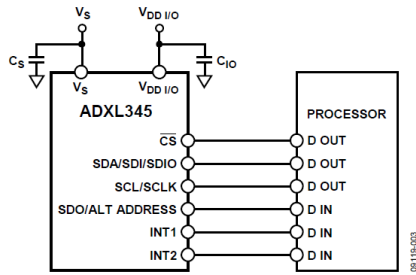


Figure 3. Recommended Connection for 4-Wire SPI Mode

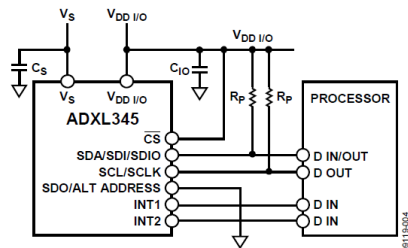


Figure 4. Recommended Connection for I<sup>2</sup>C Mode

**COMMUNICATION INTERFACE**

Table 1 gives the list of typical configuration settings for the master processor requirements for SPI communication with the ADXL345. These settings are normally in control registers. Refer to the ADXL345 data sheet for timing specification and a command sequence.

Table 1. SPI Settings

Processor Setting	Description
Master SPI Mode	ADXL345 operates as slave Clock polarity (CPOL) = 1 Clock phase (CPHA) = 1
Bit Sequence	MSB first mode

For I<sup>2</sup>C communication, refer to the ADXL345 data sheet and *UM10204 I<sup>2</sup>C-Bus Specification and User Manual*, Rev. 03—19 June 2007 for processor settings as well as timing specifications and a command sequence.

Sometimes it is important to confirm the validity of a communication sequence before going to the next design stage. This can be done by reading the DEVID register (Address 0x00). It is a read only register that contains 0xE5. If the data read from DEVID is not 0xE5, it is the indication that either the physical connection or command sequence is incorrect.

**INITIALIZATION**

Figure 5 shows the minimum initialization sequence. The ADXL345 operates in a 100 Hz ODR with a DATA\_READY interrupt on the INT1 pin during this start-up sequence. When setting other interrupts or using the FIFO, it is recommended that those registers used are set before the POWER\_CTL and INT\_ENABLE registers. Refer to the ADXL345 data sheet and the AN-1025 application note for other operation modes of ADXL345 and details about FIFO.

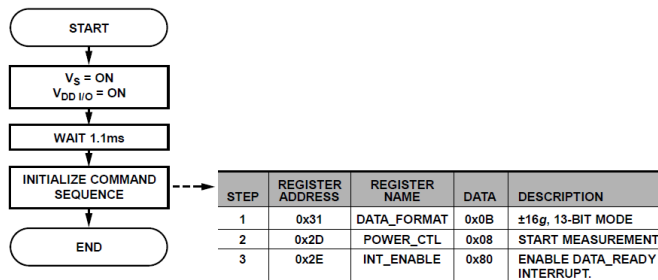


Figure 5. Minimum Initialization Sequence

## 5. Pining information

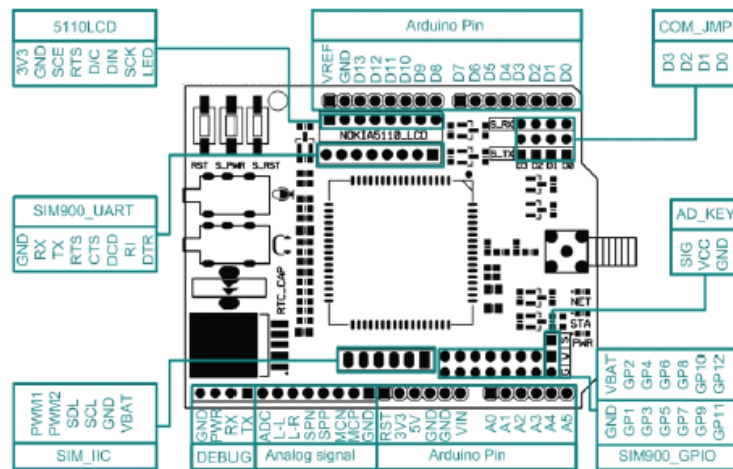


Figure 1 Top Map

TYPE	SYMBOL	DESCRIPTION
Arduino Pin	D0	Selectable communication pin, it can be selected as RX or TX
	D1	Selectable communication pin, it can be set as RX or TX
	D2	Selectable communication pin, it can be selected as RX or TX
	D3	Selectable communication pin, it can be selected as RX or TX
	D4	Connect to SIM900 UART Bus RI
	D5	Soft controlled Reset SIM900
	D6	Soft controlled Power on/off SIM900
	D7	-
	D8	-
	D9	Connect to 5110LCD Clock
	D10	Connect to 5110LCD Data
	D11	Connect to 5110LCD Data or Command selection
	D12	Connect to 5110LCD Reset
	D13	Connect to 5110LCD SCE
	A0	-
A1	-	
A2	-	

## XBee Serie 2 y XBee PRO Serie 2

XBee®/XBee-PRO® RF Modules - 802.15.4 - v1.xEx [2009.09.23]

### Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee®/XBee-PRO® RF Modules

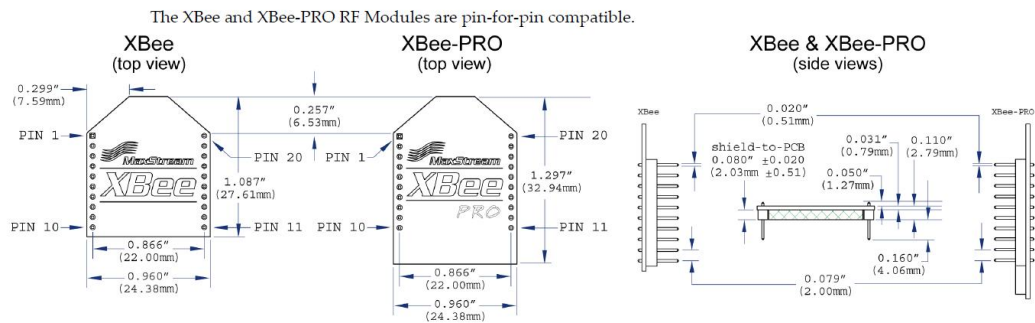
Specification	XBee	XBee-PRO
<b>Performance</b>		
Indoor/Urban Range	Up to 100 ft (30 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) International variant
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 300 ft (90 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) international variant
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	63mW (18dBm)* 10mW (10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
<b>Power Requirements</b>		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	250mA (@3.3 V) (150mA for international variant) RPSMA module only: 340mA (@3.3 V) (180mA for international variant)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 µA	< 10 µA
<b>General</b>		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector
<b>Networking &amp; Security</b>		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses
<b>Agency Approvals</b>		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*
Japan	R201WW07215214	R201WW08215111 (Max. 10 dBm transmit power output)*
Australia	C-Tick	C-Tick

\* See Appendix A for region-specific certification requirements.

Antenna Options: The ranges specified are typical when using the integrated Whip (1.5 dBi) and Dipole (2.1 dBi) antennas. The Chip antenna option provides advantages in its form factor; however, it typically yields shorter range than the Whip and Dipole antenna options when transmitting outdoors. For more information, refer to the "XBee Antennas" Knowledgebase Article located on Digi's Support Web site

### Mechanical Drawings

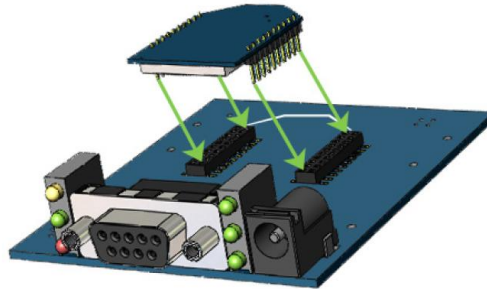
Figure 1-01. Mechanical drawings of the XBee®/XBee-PRO® RF Modules (antenna options not shown)



## Mounting Considerations

The XBee®/XBee-PRO® RF Module was designed to mount into a receptacle (socket) and therefore does not require any soldering when mounting it to a board. The XBee Development Kits contain RS-232 and USB interface boards which use two 20-pin receptacles to receive modules.

Figure 1-02. XBee Module Mounting to an RS-232 Interface Board.



The receptacles used on Digi development boards are manufactured by Century Interconnect. Several other manufacturers provide comparable mounting solutions; however, Digi currently uses the following receptacles:

- Through-hole single-row receptacles - Samtec P/N: MMS-110-01-L-SV (or equivalent)
- Surface-mount double-row receptacles - Century Interconnect P/N: CPRMSL20-D-0-1 (or equivalent)
- Surface-mount single-row receptacles - Samtec P/N: SMM-110-02-SM-S

Digi also recommends printing an outline of the module on the board to indicate the orientation the module should be mounted.

## Anexo 2

### Código de programación para ensamblador de Arduino Nodo.

```
1. //Añadimos la Librería SPI.h, que es la que se
   //encargará de manejar la comunicación con el
   //acelerómetro
2. #include <SPI.h>
3.
4. //Asignamos la señal para velocidad de reloj al
   //Pin 10.
5. int CS=10;
6.
7. //Listado de algunos registros disponibles en el
   //ADXL345.
8. //Para aprender más de los registros del
   //ADXL345, revisar el datasheet!
9. char POWER_CTL = 0x2D; //Registro de
   //control de alimentación de energía.
10. char DATA_FORMAT = 0x31;
11. char DATA_X0 = 0x32; //X-Axis Data 0
12. char DATA_X1 = 0x33; //X-Axis Data 1
13. char DATA_Y0 = 0x34; //Y-Axis Data 0
14. char DATA_Y1 = 0x35; //Y-Axis Data 1
15. char DATA_Z0 = 0x36; //Z-Axis Data 0
16. char DATA_Z1 = 0x37; //Z-Axis Data 1
17.
18. //En este buffer se quedan los datos leídos por
   //los registros del ADXL345.
19. char values[10];
20. //Las variables en las que se guardarán los
   //valores de los ejes utilizadas x,y, z del
   //acelerómetro.
21. int x,y,z,c;
22.
23. void setup(){
24. //Comando para iniciar las comunicaciones SPI.
25. SPI.begin();
26. //Configuración de la conexión SPI para el
   //ADXL345.
27. SPI.setDataMode(SPI_MODE3);
28. //Crea un comunicación Serial que mostrará los
   //datos en el terminal.
29. Serial.begin(9600);
30.
31. //Configura al PIN del chip como una salida
   //desde el Arduino.
32. pinMode(CS, OUTPUT);
33. //Antes que la comunicación empiece, el pin del
   //Chip Seleccionado necesita estar en modo HIGH.
34. digitalWrite(CS, HIGH);
35.
36. //Coloca el ADXL345 en un rango de +/- 4G
   //escribiendo el valor 0x01 en el registro
   //DATA_FORMAT.
37. writeRegister(DATA_FORMAT, 0x01);
38. //Coloca el ADXL345 en Modo Medición, al
   //escribir 0x08 en el registro POWER_CTL.
39. writeRegister(POWER_CTL, 0x08); //Modo
   //Medición
40. }
41.
42. void loop(){
43. //Leyendo los 6 bytes de datos del empezando
   //por los datos del registro DATA_X0 quien
   //entregará los valores de aceleración de los ejes
   //x,y,z del ADXL345.
44. //Los resultados de la operación de lectura van
   //a ser guardados en el buffer para los valores
   //values[] del buffer.
45. readRegister(DATA_X0, 6, values);
46.
47. x = ((int)values[1]<<8)|(int)values[0];
48. y = ((int)values[3]<<8)|(int)values[2];
49. z = ((int)values[5]<<8)|(int)values[4];
50.
51.
52. Serial.print("B");
53. Serial.print(":");
54. if(x>=0){
55. Serial.print("+");
56. c=digit(abs(x));
57. if(c==0){
58. Serial.print("00");
59. }
60. if(c==1){
61. Serial.print("00");
62. }
63. if(c==2){
64. Serial.print("0");
65. }
66. Serial.print(x,DEC);
67. }
68. else{
69. Serial.print("-");
70. c=digit(abs(x));
71. if(c==1){
72. Serial.print("00");
73. }
74. if(c==2){
75. Serial.print("0");
76. }
77. Serial.print(abs(x),DEC);
78. }
79. Serial.print(',');
80. if(y>=0){
81. Serial.print("+");
82. c=digit(abs(y));
83. if(c==0){
84. Serial.print("00");
85. }
86. if(c==1){
87. Serial.print("00");
88. }
89. if(c==2){
90. Serial.print("0");
91. }
92. Serial.print(y,DEC);
93. }
94. else{
95. Serial.print("-");
96. c=digit(abs(y));
```

```

97.   if(c==1){
98.     Serial.print("00");
99.   }
100.  if(c==2){
101.    Serial.print("0");
102.  }
103.  Serial.print(abs(y),DEC); }
104. Serial.print(',');
105. if(z>=0){
106.   Serial.print("+");
107.   c=digit(abs (z));
108.   if(c==0){
109.     Serial.print("00");
110.   }
111.   if(c==1){
112.     Serial.print("00");
113.   }
114.   if(c==2){
115.     Serial.print("0");
116.   }
117.   Serial.println(z,DEC);
118. }
119. else{
120.   Serial.print("-");
121.   c=digit(abs (z));
122.   if(c==1){
123.     Serial.print("00");
124.   }
125.   if(c==2){
126.     Serial.print("0");
127.   }
128.   Serial.println(abs(z),DEC);
129. }

```

```

130.
131. delay(1000);
132. }
133.
134.
135. void writeRegister(char registerAddress, char
    value){
136.   digitalWrite(CS, LOW);
137.   SPI.transfer(registerAddress);
138.   SPI.transfer(value);
139.   digitalWrite(CS, HIGH);
140. }
141.
142. void readRegister(char registerAddress, int
    numBytes, char * values){
143.   char address = 0x80 | registerAddress;
144.   if(numBytes > 1)address = address | 0x40;
145.   digitalWrite(CS, LOW);
146.   SPI.transfer(address);
147.   for(int i=0; i<numBytes; i++){
148.     values[i] = SPI.transfer(0x00);
149.   }
150.   digitalWrite(CS, HIGH);
151. }
152. int digit(int i){
153.   int c = 0;
154.   while(i>=1){
155.     i=i/10;
156.     c=c+1;
157.   }
158.   return c;
159. }

```

## Código de programación para ensamblador de Arduino Coordinador.

```

1.  #include "SIM900.h"
2.  #include <SoftwareSerial.h>
3.  //#include "inetGSM.h"
4.  #define rxPin 19
5.  #define txPin 18
6.  #include "sms.h"
7.  SMSGSM sms;
8.
9.  //To change pins for Software Serial, use the
    two lines in GSM.cpp.
10.
11. //GSM Shield for Arduino
12. //www.open-electronics.org
13. //this code is based on the example of Arduino
    Labs.
14.
15. // Declaración de las Variables y los tipos
16. char* texto[3]={"Datos Sensores\n"};
17. char var1[17];
18. char var2[17];
19. byte cont=0;
20. byte cont1=0;
21. char dato;
22. char num[20]="593998298223"; //Número de
    teléfono que recibirá el mensaje
23. int numdata;
24. boolean started=false;
25. char smsbuffer[160];

```

```

26. char n[20];
27.
28.
29. void setup()
30. {
31.   Serial2.begin(9600);
32.   //Serial connection.
33.   Serial.begin(9600);
34. };
35.
36.
37. void loop()
38. {
39.   if(Serial2.available(>0)
40.   {
41.     dato=Serial2.read();
42.     if (dato == 'A')
43.     {
44.       memset(var1, 0, sizeof(var1));
45.       for (cont=0;cont<18;cont++)
46.       {
47.         delay(5);
48.         var1[cont]=Serial2.read();
49.       }
50.     }
51.   }
52.   else
53.   {
54.     memset(var2, 0, sizeof(var2));

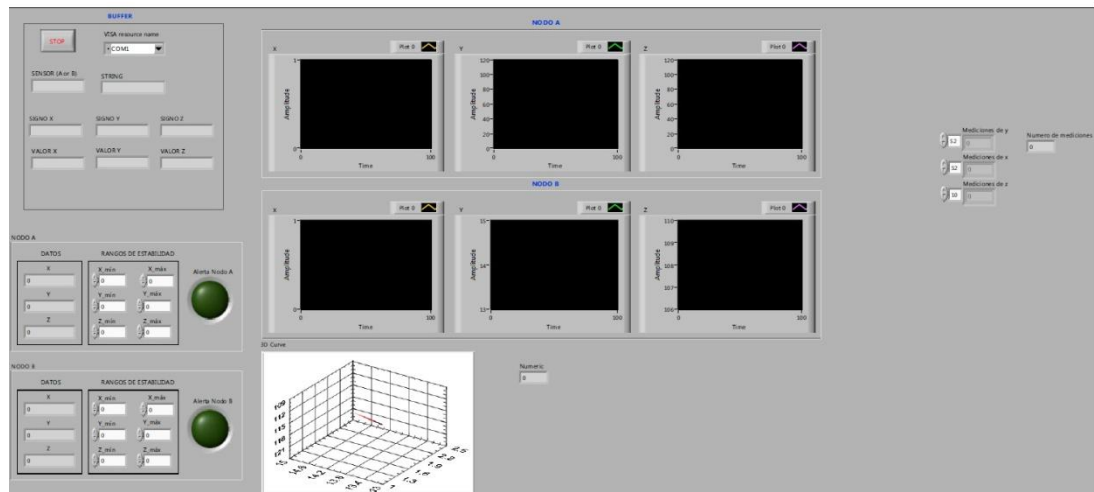
```

```
54.     for (cont1=0;cont1<18;cont1++)
55.     {
56.         delay(5);
57.         var2[cont1]=Serial2.read();
58.     }
59. }
60.
61. Serial.println(var1);
62. delay(100);
63. Serial.println(var2);
64. }
65.
66. delay(200);
67. Serial.println("Iniciando Comunicaciones
GSM");
68. Serial.println("Esperando SIM900....");
69. if (gsm.begin(2400))
70. {
71.     Serial.println("\nstatus=READY");
72.     started=true;
73. }
74. else Serial.println("\nstatus=IDLE");
75. if(started)
76. {
77.     if (sms.SendSMS(num, var1))
78.         Serial.println("\nSMS sent OK");
79. }
80.
81. };
```



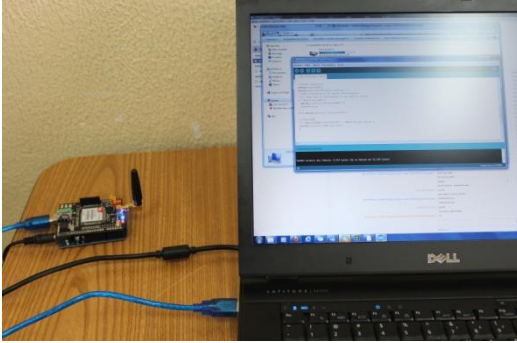
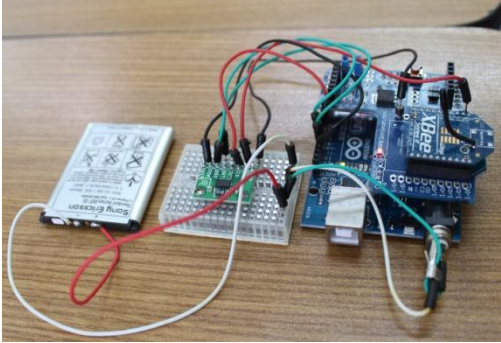

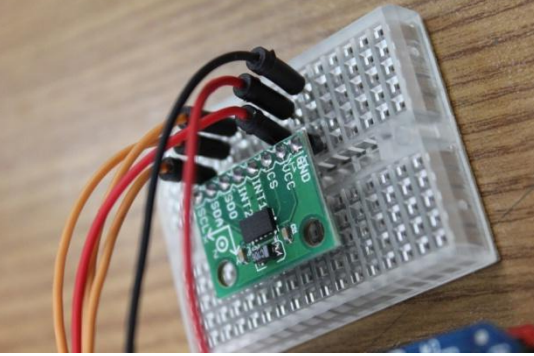
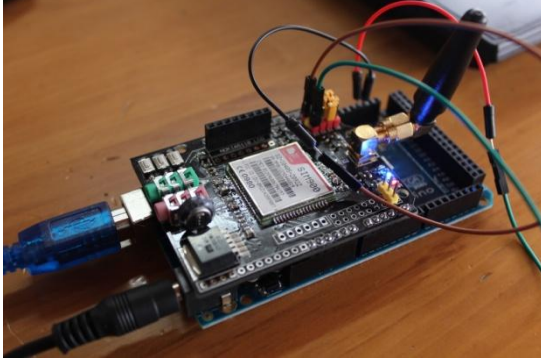
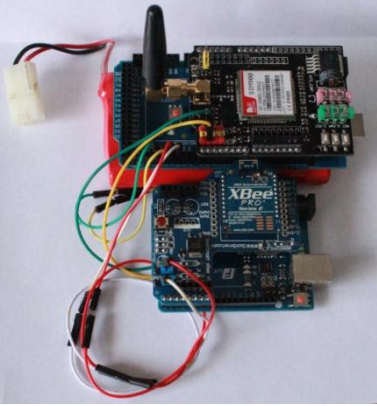
comunicacion serial - ordered.vi  
C:\Users\Carlos\Desktop\comunicacion serial - ordered.vi  
Last modified on 8/13/2013 at 6:12 PM  
Printed on 8/30/2013 at 1:01 PM

Front Panel



## Anexo 3

### Fotografías pruebas en Laboratorio.

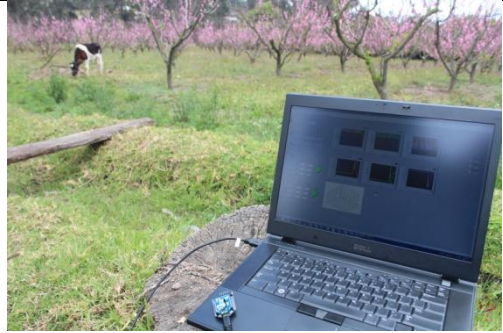
	
<p>Pruebas de envío de SMS en el módulo ECom SIM900 en Arduino UNO</p>	<p>Pruebas de alimentación y transmisión utilizando batería</p>
	
<p>Coordinador montado en el Shield Explorer de UarstBee</p>	<p>Conexiones del Sensor ADXL345</p>
	
<p>Pruebas de envío de mensaje desde ECom en Arduino MEGA 2560</p>	<p>Coordinador ZigBee y Gateway celular integrados.</p>

### Fotografías pruebas en Campo.

	
<p>Pruebas de transmisión con el encapsulamiento</p>	<p>Nodo encapsulado y transmitiendo</p>
	
<p>Pruebas de alcance máximo de transmisión en línea de vista. (Coordinador y Nodo a 50 cm)</p>	<p>Utilización de cinta métrica para medir la distancia máxima, 3 repeticiones .</p>



Conexión de la Batería del Nodo Sensor



Pruebas de transmisión y gráficas en LabView



Pruebas de transmisión con atenuación.  
Coordinador y Nodo a 50 cm.



Cinta métrica en medición del alcance de transmisión ZigBee con atenuación de señal

## Anexo 4

### Catálogo de productos Libelium

Meshlium Internet Gateway

Meshlium Model	WiFi AP (2.4GHz)	WiFi Mesh (2.4GHz / 5GHz)	802.15.4 ZigBee Radio	3G/GPRS	GPS	WiFi Scans	Bluetooth Scans	Ref.	Price
Meshlium ZigBee-PRO-AP	✓		✓					MZ	675 €
Meshlium 868-AP	✓		✓					M868	795 €
Meshlium 900-AP	✓		✓					M900	775 €
Meshlium 802.15.4-PRO-3G-AP	✓		✓	✓	Optional			M802-3G	895 €
Meshlium Digimesh-PRO-3G-AP	✓	✓		✓	Optional			MDM-3G	895 €
Meshlium ZigBee-PRO-3G-AP	✓		✓	✓	Optional			MZ-3G	895 €
Meshlium 868-3G-AP	✓		✓	✓	Optional			M868-3G	1.200 €
Meshlium 900-3G-AP	✓		✓	✓	Optional			M900-3G	1.050 €
Meshlium 802.15.4-PRO-Mesh-AP	✓	✓	✓					MM802	750€
Meshlium Digimesh-PRO-Mesh-AP	✓	✓						MMDM	750 €
Meshlium ZigBee-PRO-Mesh-AP	✓	✓	✓					MMZ	750 €
Meshlium 868-Mesh-AP	✓	✓	✓					MM868	975 €
Meshlium 900-Mesh-AP	✓	✓	✓					MM900	950 €
Meshlium 802.15.4-PRO-Mesh-3G-AP	✓	✓	✓	✓				MM802-3G	1.150 €
Meshlium Digimesh-PRO-Mesh-3G-AP	✓	✓		✓				MMDM-3G	1.150 €
Meshlium ZigBee-PRO-Mesh-3G-AP	✓	✓	✓	✓				MMZ-3G	1.150 €
Meshlium 868-Mesh-3G-AP	✓	✓	✓	✓				MM868-3G	1.200 €
Meshlium 900-Mesh-3G-AP	✓	✓	✓	✓				MM900-3G	1.150 €

More info: [www.libelium.com/meshlium](http://www.libelium.com/meshlium)

Confidential Document / Version: v4.4 / Date: June 2013  
This catalogue supersedes any previously released and is valid until publication of another to replace it.

# Aspmote Plug & Sense!



Communication options	Ref.	Price
Plug & Sense! EN 802.15.4-PRO 5dBi	EN-802	460 €
Plug & Sense! EN Digimesh-PRO 5dBi	EN-DG	460 €
Plug & Sense! EN ZB-PRO 5dBi	EN-ZB	460 €
Plug & Sense! EN WiFi 5dBi	EN-W	460 €
Plug & Sense! EN GPRS	EN-GPRS	460 €
Plug & Sense! EN 3G	EN-3G	635 €
Plug & Sense! EN 868 4.5dBi	EN-868	555 €
Plug & Sense! EN 900 4.5dBi	EN-900	495 €

Power options	Ref.	Price
6600mAh rechargeable battery + external solar panel 7V - 500mA	6600-EXT	65 €
6600mAh rechargeable battery + internal solar panel 6.5V - 205mA	6600-INT	36 €
6600mAh rechargeable battery + 220V adaptor + miniUSB cable	6600-220V	33 €
6600mAh rechargeable battery + 220V adaptor + miniUSB cable + plug adapter*	6600-220V-J	39 €
26Ah Non - rechargeable	6022	73 €

\* Includes adapter for the mains electricity in countries like USA, UK, Australia, Canada, China, Japan, Singapore or Hong Kong.

More info: [www.libelium.com/plug\\_&\\_sense](http://www.libelium.com/plug_&_sense)

Confidential Document / Version: v4.4 / Date: June 2013

This catalogue supersedes any previously released and is valid until publication of another to replace it.

# Meshlium Internet Gateway

Meshlium Scanner Model	WiFi AP (2.4GHz)	WiFi Mesh (2.4GHz / 5GHz)	802.15.4 ZigBee Radio	3G/GPRS	GPS	WiFi Scans	Bluetooth Scans	Ref.	Price
Meshlium Scanner AP	✓					✓	✓	MSCAN	890 €
Meshlium Scanner 3G-AP	✓			✓		✓	✓	MSCAN-3G	1.200 €
Meshlium Scanner 802.15.4-PRO-AP	✓		✓			✓	✓	MSCAN802	1.150 €
Meshlium Scanner Digimesh-PRO-AP	✓		✓			✓	✓	MSCANDM	1.150 €
Meshlium Scanner ZigBee-PRO-AP	✓		✓			✓	✓	MSCANZB	1.150 €
Meshlium Scanner 868-AP	✓		✓			✓	✓	MSCAN868	1.200 €
Meshlium Scanner 900-AP	✓		✓			✓	✓	MSCAN900	915 €

All Meshlium include a 18V – 220V power supplier and a POE and 8GB of storage for the operating system. The following accessories are optional:

Accessories	Ref.	Price
GPS	MGPS	50 €
16GB storage	M16GB	25 €
32GB storage	M32GB	65 €
220V AC adaptor – battery / car lighter connector (12V – 300W)	M220	50 €
Solar kit (12V – 20W): solar panel 20W + 220V inverter + battery charger	MSOLAR	350 €

More info: [www.libelium.com/meshlium](http://www.libelium.com/meshlium)

Confidential Document / Version: v4.4 / Date: June 2013  
This catalogue supersedes any previously released and is valid until publication of another to replace it.

26

Diseño y construcción de un prototipo de Sistema de Sensores Inalámbricos para alerta temprana de deslaves.

Carlos Reinoso Jerez, Quito – Ecuador (2013), [carlos\\_reinosoj@yahoo.com](mailto:carlos_reinosoj@yahoo.com), tf:  
593998298223