



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES PARA LA
TEMPRANA DETECCIÓN DE DESLIZAMIENTO DE TIERRAS Y
ROCAS EN LA VÍA PORTOVELO – ZARUMA”**

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

ADRIANA MALENA ANDA PINARGOTE

JORGE MARIO PASTOR LARREA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos infinitamente a Dios y a nuestras familias por ser un pilar importante en nuestra formación como profesionales, y por sentirse orgullosos de nosotros.

Agradecemos de manera especial al Ing. Steven Pichardo y al Ing. Guillermo Zambrano por ser los mejores compañeros de estudio y por brindarnos su apoyo incondicional en toda nuestra etapa estudiantil.

Al Ing. Washington Medina por compartir con nosotros sus conocimientos y ser una guía en este trabajo de investigación, brindándonos sus conocimientos y despejando nuestras dudas durante el desarrollo del proyecto.

Y agradecemos también a todos los profesores y compañeros que compartieron con nosotros clases, experiencias y conocimientos a lo largo de toda la carrera en la ESPOL.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestros padres por sus consejos y por siempre estar ahí para apoyarnos.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Ing. Washington Adolfo Medina Moreira

PROFESOR EVALUADOR

Francisco Novillo, PhD.

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....
Jorge Mario Pastor Larrea

.....
Adriana Malena Anda Pinargote

RESUMEN

El presente proyecto se ha desarrollado principalmente para introducir las tecnologías TIC (Tecnología de la Información y Comunicación) en la gestión de prevención de riesgos. La inclusión de un diseño de una red de sensores adecuados a la geología, electrónica y telecomunicaciones es de suma urgencia, necesario para alertar a las organizaciones competentes y que las actividades de rescate ante situaciones de desastre como deslizamiento de tierras, inundaciones, terremotos, entre otras, sean inmediatas.

Para el diseño se realizó un estudio del tramo de la carretera Portovelo-Zaruma en el cual se identificaron 3 zonas de posible deslizamiento de tierra. Luego se ubicaron estas zonas con su respectiva latitud, longitud y elevación, para las cuales de acuerdo al área de cada colina se colocó una cantidad finita de sensores acelerómetros para cubrir en su mayoría la superficie que pudiera ser afectada. De forma paralela se realizaron las simulaciones para analizar el rendimiento de la conectividad de la red de sensores y poder comprobar si existe radio enlace entre las motas, según el estándar de comunicación ZigBee.

En la última parte del diseño de la red, se configuró un nodo gateway con una salida hacia una red GSM/GPRS/EDGE. Además el diseño y la inclusión de los nodos repetidores localizados en los postes de la carretera garantizó la conectividad y redundancia de la red, para eso se realizaron simulaciones para variaciones en el escenario (peor e ideal), los cuales representan la variación de la potencia de ruido con factores climáticos que afecten de forma negativa la red. Finalmente con un análisis estadístico se concluye que la probabilidad y eficacia de conexión con el nodo coordinador aumenta con la presencia de nodos repetidores.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| DEDICATORIA | iii |
| TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN..... | iv |
| DECLARACIÓN EXPRESA | v |
| RESUMEN | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | xi |
| | |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 1 |
| 1.1 Antecedentes | 1 |
| 1.2 Planteamiento del Problema | 2 |
| 1.3 Justificación | 4 |
| 1.4 Objetivos | 5 |
| 1.4.1 Objetivo General | 6 |
| 1.4.2 Objetivo Específicos | 6 |
| 1.5 Metodología | 6 |
| 1.6 Alcance | 7 |
| | |
| CAPÍTULO 2 | 8 |
| 2. ESTADO DEL ARTE | 8 |
| 2.1 Protocolos de Comunicación | 11 |
| 2.1.1 IEEE 802.15.4 | 11 |
| 2.2 ZigBee | 12 |
| | |
| CAPÍTULO 3 | 13 |
| 3. PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED DE SENSORES PARA LA DETECCIÓN DE DESLIZAMIENTO DE TIERRA..... | 13 |
| 3.1 Escenario | 13 |
| 3.2 Criterios de Diseño | 17 |
| 3.3 Modelado | 19 |
| 3.4 Algoritmo | 20 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 4 | 21 |
| 4. RESULTADOS | 21 |
| 4.1 Localización de la red geográfica | 21 |
| 4.2 Diseño de los nodos | 23 |
| 4.2.1 Nodo sensor | 23 |
| 4.2.2 Nodo coordinador | 24 |
| 4.3 Elección del nodo gateway | 25 |
| 4.4 Diseño de la red | 27 |
| 4.4.1 Configuración de parámetros | 28 |
| 4.4.2 Fuente de alimentación | 28 |
| 4.5 Análisis y resultados | 32 |
| 4.5.1 Análisis de resultados con potencia de ruido baja..... | 33 |
| 4.6 Variación del escenario como solución al problema | 36 |
| 4.6.1 Ubicación geográfica de los nodos repetidores..... | 36 |
| 4.6.2 Diseño del nodo repetidor | 37 |
| 4.6.3 Rediseño de la red | 38 |
| 4.6.4 Análisis y resultados con la inclusión de los nodos repetidores | 39 |
| 4.6.5 Análisis zona 1 con nodos repetidores y potencia de ruido alta | 40 |
| 4.6.6 Análisis zona 2 con nodos repetidores y potencia de ruido alta | 41 |
| 4.6.7 Análisis zona 3 con nodos repetidores y potencia de ruido alta | 43 |
| 4.6.8 Análisis zona 1 con nodos repetidores y potencia de ruido baja | 44 |
| 4.6.9. Análisis zona 2 con nodos repetidores y potencia de ruido baja | 46 |
| 4.6.10 Análisis zona 3 con nodos repetidores y potencia de ruido baja | 47 |
| 4.7 Análisis Estadístico Comparativo | 49 |
| 4.8 Análisis de Presupuesto con nodos existentes en el mercado | 50 |
| | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 52 |
| BIBLIOGRAFÍA | 54 |
| ANEXOS | 57 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1: Capacidad de uso del suelo del cantón Portovelo | 3 |
| Figura 3.1: Vista satelital de la vía Portovelo - Zaruma | 13 |
| Figura 3.2: Vista satelital de las 3 zonas de riesgos en la vía Portovelo-Zaruma | 14 |
| Figura 3.3: Vista general de la zona 1 en la vía Portovelo - Zaruma | 15 |
| Figura 3.4: Vista general de la zona 2 en la vía Portovelo - Zaruma | 15 |
| Figura 3.5: Vista general de la zona 3 en la vía Portovelo - Zaruma | 16 |
| Figura 3.6: Diagrama de flujo general | 18 |
| Figura 3.7: Diagrama de flujo del algoritmo utilizado | 20 |
| Figura 4.1: Ubicación ideal de las motas en la zona 1 | 21 |
| Figura 4.2: Ubicación ideal de las motas en la zona 2 | 22 |
| Figura 4.3: Ubicación ideal de las motas en la zona 3 | 22 |
| Figura 4.4: Conexión electrónica para el nodo sensor | 24 |
| Figura 4.5: Conexión electrónica para el nodo coordinador | 25 |
| Figura 4.6: RD5000 ZigBee 2G/3G gateway..... | 27 |
| Figura 4.7: Diagrama de Bloques del Sistema | 27 |
| Figura 4.8: Diseño del circuito conmutador para 2 fuentes de alimentación..... | 29 |
| Figura 4.9: Esquemático de la etapa de ganancia de corriente | 29 |
| Figura 4.10: Esquemático de la etapa de regulación de voltaje | 30 |
| Figura 4.11: Esquemático de la etapa del conmutador | 31 |
| Figura 4.12: Vista de las motas de zona 1 y el coordinador (PNoise=-87.5dBm) | 33 |
| Figura 4.13: Vista de la conectividad entre las motas de la zona 1 | 34 |
| Figura 4.14: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 1 con el coordinador (PNoise= -87.5dBm) | 34 |
| Figura 4.15: Vista de las motas de la zona 2 y el coordinador (PNoise= -87.5dBm) | 35 |
| Figura 4.16: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 2 con el coordinador (PNoise= -87.5dBm) | 36 |
| Figura 4.17: Vista satelital de los postes y las 3 zonas de riesgos | 37 |
| Figura 4.18: Conexión electrónica para el nodo repetidor | 37 |
| Figura 4.19: Diagrama final de los bloques del sistema | 38 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.20: Esquema general de la red propuesta | 39 |
| Figura 4.21: Vista 3D (Matlab) de las motas, junto con 4 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 1 - PNoise=-78.5dBm) | 40 |
| Figura 4.22: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 1 con el coordinador (PNoise= -78.5dBm) | 41 |
| Figura 4.23: Vista 3D (Matlab) de las motas, junto con 2 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 2 - PNoise=-78.5dBm) | 42 |
| Figura 4.24: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 2 con el coordinador (PNoise= -78.5dBm) | 42 |
| Figura 4.25: Vista 3D (Matlab) de las motas, junto con 2 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 3 - PNoise=-78.5dBm) | 43 |
| Figura 4.26: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 3 con el coordinador (PNoise= -78.5dBm) | 44 |
| Figura 4.27: Vista 3D (Matlab) de las motas, junto con 4 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 1 - PNoise=-87.5dBm) | 44 |
| Figura 4.28: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 1 con el coordinador (PNoise= -87.5dBm) | 45 |
| Figura 4.29: Vista 3D (Matlab) de las motas, junto con 2 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 2 - PNoise=-87.5dBm) | 46 |
| Figura 4.30: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 2 con el coordinador (PNoise= -87.5dBm) | 47 |
| Figura 4.31: Vista 3D (Matlab) de las motas, junto con 2 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 3 - PNoise=-87.5dBm) | 48 |
| Figura 4.32: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 3 con el coordinador (PNoise= -78.5dBm) | 48 |
| Figura 4.33: Funciones de distribución acumulativa para el peor de los escenarios (Pnoise=-78,5dBm) con y sin nodos repetidores | 49 |
| Figura 4.34: Funciones de distribución acumulativa para un escenario ideal (Pnoise=-87,5dBm), con y sin nodos repetidores | 50 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Características del protocolo de comunicación IEEE 802.15.4..... | 12 |
| Tabla 2: Características del gateway RD5000 Zigbee | 26 |
| Tabla 3: Parámetros calculados en base al estándar Zigbee..... | 28 |
| Tabla 4: Especificaciones para el nodo sensor | 31 |
| Tabla 5: Especificaciones para el nodo coordinador | 32 |
| Tabla 6: Valores típicos de la sensibilidad, figura de ruido, SNR, y capacidad de canal para Zigbee 802.15.4 | 32 |
| Tabla 7: Costos de inversión y costos anuales para el diseño de red propuesto y una red utilizando componentes de la compañía Libelium | 51 |

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se detallará el problema planteado en el presente proyecto además de los objetivos, la metodología y las limitaciones del mismo. También se incluyen diferentes situaciones a considerar para plantear el diseño a realizar y se mencionan algunos antecedentes históricos de las zonas de estudio.

1.1 Antecedentes

Desde inicios de la colonia los cantones de Zaruma y Portovelo fueron centros de intensa actividad minera. La tecnología usada en la época de la conquista española (siglo XVI) fue de bajo nivel, por falta de equipos adecuados y poco conocimiento en procesos metalúrgicos. Este trabajo de explotación minera continuó a través de los años, después de independizarse de los españoles, a finales del siglo XIX vendrían empresas chilenas e inglesas. La empresa chilena no alcanza a establecerse formalmente debido a falta de capital, sin embargo sirvió como accionistas e intermediarios para formar una nueva compañía con capitales ingleses llamada “Great Zaruma Gold Mining Company Limited” o “La Gran Compañía Inglesa”. Posteriormente vendrían empresas como SADCO (South American Development Company) y CIMA (Compañía Industrial Minera Asociada) con tecnologías similares, hasta llegar al siglo XX, aplicando ciertas variantes como en la explotación del cuarzo [1].

Para la temporada invernal del periodo 2008 – 2014 el cantón Portovelo se ha visto afectado por deslizamientos que han ocasionado daños en la infraestructura a la vialidad, producción agrícola, ganadera y los bienes de varias familias que habitan la periferia en la zona urbana y en la zona rural. En marzo 2015 con lluvias de intensidad variable, en las zonas altas del cantón se produjeron deslizamientos por la inestabilidad de los taludes y la ocupación del borde de los cerros afectando no solo las vías de comunicación sino también viviendas asentadas en zonas vulnerables. Estos eventos derivaron que el Comité de Operaciones de Emergencia

Cantonal el 28 de marzo del 2015 declare en Emergencia el cantón de Portovelo por los efectos de la temporada invernal. [2]

Uno de estos eventos fue el deslizamiento de tierra que cubrió parte del cementerio de Portovelo, como lo expresa Ecuavisa en su página web el martes 11 de marzo de 2014 (Ver Anexo 3). Este deslizamiento se produjo por la acumulación de material aurífero de una escombrera situada en la parte superior del cementerio y deterioró más de una veintena de bóvedas. En la misma zona estos deslaves dejaron dos casas destruidas. Otro caso fue el que se informa en la misma página web de este medio el miércoles 20 de agosto de 2014, donde indica que algunos deslaves en Portovelo dejaron a 6 familias evacuadas y la vía de acceso cerrada. Los deslizamientos se efectuaron en el cerro de San José aproximadamente a las 04h00. El Comité de Operaciones de Emergencias (COE) cantonal activó dos meses de trabajo en el sector mientras se realizaban labores de limpieza.

Dado lo anterior la explotación de la minería en este sector desde los años 1500 hasta finales del siglo XIX han venido deteriorando el suelo, debido a las técnicas mineras usadas por nuestros antepasados ya que no eran adecuadas para la explotación de minerales y fueron degradando el sector provocando una serie de inestabilidades, y esto sumado a las fuertes temporadas invernales que ha atravesado el país ha causado una serie de deslizamientos que llegan a bloquear vías o destruir viviendas como los que fueron mencionados.

1.2 Planteamiento del problema

De acuerdo con los antecedentes mencionados, se conoce que las zonas altas de la provincia de El Oro correspondientes a los cantones Portovelo y Zaruma se encuentran situadas en un área de riesgo, debido a deslizamientos de tierras provocados por varios factores naturales o antrópicos. Las minas establecidas en esta zona de manera aleatoria, el uso inadecuado de la carga explosiva, excavaciones sin rumbo definido,

han provocado una serie de colapsos y hundimientos cerca de las ciudades de Portovelo y Zaruma, asimismo al deslizarse las masas de tierra obstaculizan carreteras, afectando además el comercio (transacciones mercantiles) y la economía de ambos lugares generando un gran impacto ambiental. Las excavaciones en esta zona llevaron a una alteración del estado inicial del terreno, lo que produce ciertos movimientos que dan un equilibrio tensional del suelo. Por ejemplo los grandes taludes de minería u obra civil pueden originar derrumbes y afectaciones a viviendas y otras instalaciones situadas cerca de la superficie del terreno. Situaciones que se agravan con mayor intensidad en la etapa invernal debido a las fuertes lluvias ya que las minas se fueron instalando de manera desordenada y sin ninguna entidad que lo regule o controle. [3][4]

Sin embargo se tienen también algunos aspectos positivos de la minería, como el turismo (Museo Mineralógico), las fuentes de ingresos y mejor calidad de vida, y aspectos negativos como los hundimientos, la ilegalidad y la contaminación del mercurio y cianuro, que se da en agua, suelos y atmósfera. [5]

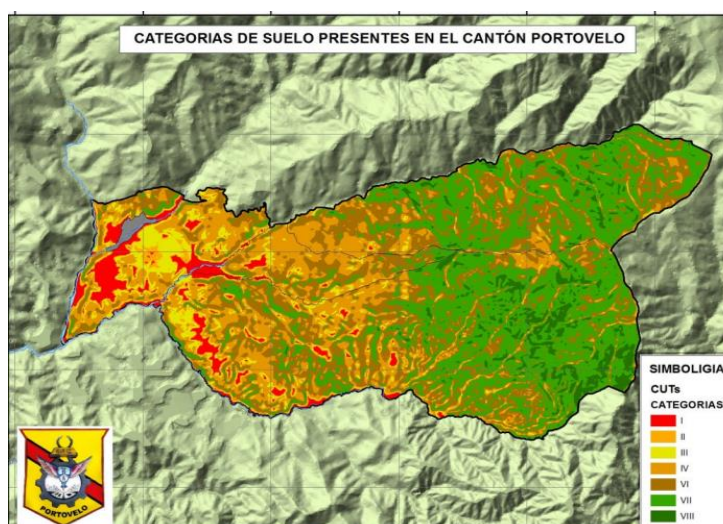


Figura 1.1: Capacidad de uso del suelo del cantón Portovelo [6]

Otra situación a considerar es el crecimiento poblacional que se va asentando de forma longitudinal a la cordillera y en algunos casos en tierras

inestables. En la mayoría del territorio del cantón de Portovelo predomina el tipo de suelo Clase VIII (como se observa en la Figura 1.1), que se caracteriza por áreas que deben mantenerse como páramo, vegetación arbustiva, árboles, o cobertura vegetal natural que proteja la erosión, mantenga la vida silvestre y las fuentes de agua. [6]

Con respecto al cantón Zaruma, el cual también se ha destacado por la actividad minera, la amenaza de movimientos de masa en el área urbana de la ciudad presenta porcentajes críticos que preocupan, ya que existe un tipo de riesgo "Alto" con un porcentaje del 50.73% que representa un área 3.51 km², un tipo de riesgo "Medio" con un porcentaje del 30.11%, un área de 2.64 km²; una amenaza "Baja" correspondiente a la parte central oriental de la ciudad (4.7%) con un área de 0.32 km². Pero vale destacar también el tipo de amenaza "Muy Alto", el cual tiene un porcentaje de 6.43%, y se lo ubica en dirección nor-oriental de la ciudad. La vía Portovelo-Zaruma, la cual permite el normal desarrollo de la ciudad de Zaruma, se ubica en un nivel de vulnerabilidad Alto ante amenaza de movimientos de masa, y los daños en este sector incluyen agrietamiento en la vía, hasta el colapso casi total de la misma. [7]

Por todo esto, la importancia del diseño de una tecnología preventiva con diferentes tipos de sensores adecuados a la geología, electrónica y telecomunicaciones es necesaria para alertar a los habitantes no solo de la zona urbana de estas ciudades sino de las personas que habitan en ciertos tramos de la carretera correspondiente al área rural, pudiendo evitar pérdidas irreparables.

1.3 Justificación

La inserción de la tecnología en la gestión de prevención de riesgos representa una mejora significativa en la comunicación y acceso a la información por parte de los pobladores en zonas propensas a desastres naturales. Los deslizamientos de tierra representan procesos geológicos destructivos que afectan a los seres humanos, por lo que es necesario

contar con alertas preventivas que minimicen la condición de vulnerabilidad de las zonas afectadas. [8]

En el Ecuador la gestión de riesgos constituye una política de Estado por mandato constitucional y es condición fundamental para el desarrollo del Buen Vivir. Acorde al artículo 389 de la Constitución de la República del Ecuador, el Estado garantiza la protección de las colectividades, parroquias y naturaleza frente a los efectos destructivos de los desastres naturales mediante la prevención ante riesgos, la posterior mitigación de desastres y el mejoramiento de las condiciones sociales y económicas de zonas vulnerables. [9]

Una solución ante los riesgos que produce el deslizamiento y movimiento de masas de tierra servirá como instrumento clave para la atención temprana a la población asentada en sectores considerados vulnerables a lo largo de la vía Portovelo – Zaruma, ya que se conoce que la zona aún no cuenta con un sistema de alerta ante este tipo de desastres. El cantón Portovelo cuenta con métodos artesanales de auscultación minera que se rigen únicamente para enviar datos desde escombreras, en su mayoría cuantifican la velocidad con la que la tierra se desliza sin embargo no alertan a la población. [10]

De forma paralela actuar a favor de una solución logrará permitir el traslado a tiempo de las familias afectadas hasta albergues provisionados por representantes del Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES) hasta que las labores de mitigación culminen.

1.4 Objetivos

A continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos para expresar el propósito central del proyecto.

1.4.1 Objetivo General

Diseñar una red de sensores para la detección de deslizamiento de tierras o rocas y servicio de alerta inmediata a los organismos competentes y pobladores asentados en zonas aledañas a los lugares de riesgo entre los cantones Portovelo y Zaruma.

1.4.2 Objetivos específicos

- Localizar las zonas vulnerables a deslizamientos de tierra o rocas para establecer la prioridad de ubicación de los sensores de aceleración.
- Proponer el uso de una tecnología inalámbrica para la comunicación entre los nodos finales que conforman la red y asegurar que exista línea de vista para cada uno de ellos.
- Simular la conectividad de la red propuesta mediante un software de fácil manejo para el análisis del comportamiento de la red cuando es sometida a cambios en el escenario.
- Diseñar un sistema que permita el comportamiento autónomo de los sensores de movimiento utilizando energía solar.

1.5 Metodología

Una solución al problema que representa el deslizamiento de tierras en la vía Portovelo - Zaruma deberá enmarcarse en una serie de pasos ordenados para la detección del mismo y se los detalla a continuación.

- Ubicación de nodos sensores separados a distancias convenientes que permitan cubrir en su totalidad al terreno afectado.

- Ubicación estratégica del nodo coordinador para la comunicación con el gateway y que reciba la señal proveniente de los nodos sensores o finales, se considerará ubicarlo en un poste a lo largo de la vía probando que siempre exista línea de vista entre las zonas de riesgos.
- Diseño de una red de alimentación autónoma para los nodos sensores ubicados en zonas de riesgo en la vía de Portovelo - Zaruma.
- Simulación del funcionamiento de la red de sensores mediante un software que permita modelar la topología usada y comprobar que exista conectividad entre sus componentes.

1.6 Alcance

La vía Portovelo - Zaruma tiene una longitud de aproximadamente 5,8 kilómetros por lo cual es importante señalar que una solución tecnológica deberá ser implementada en lugares estratégicos donde la probabilidad de que un deslave ocurra sea alta. Se realizó una investigación de campo y se observó que la vía cuenta con aproximadamente tres zonas de alto riesgo claramente identificadas con una señal vial, cada una de estas zonas es escasa en vegetación que proteja a la tierra con sus raíces y evite que ésta caiga y se deslice hacia la vía.

En estas tres zonas deberá llevarse a cabo la instalación de un número finito de sensores de movimiento que cubran el terreno en su totalidad y a la vez equipos de transmisión inalámbrica que envíen los valores medidos hacia el gateway del sistema, estos equipos deberán instalarse en postes o lugares altos que permitan tener línea de vista con los nodos finales. El presente diseño considerará las condiciones climáticas de la zona con potencias de ruido en condiciones ideales y en el peor de los casos. Las pruebas que se realizarán estarán relacionadas a la capa dos o capa física del sistema de comunicación a utilizar, comprobando la conectividad entre nodos mediante un software de fácil manejo.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

Años atrás, el poder prevenir un fenómeno natural constituía una tarea casi imposible de realizar; tal se podría decir que a la naturaleza era difícil manejarla. En la actualidad, con los avances tecnológicos se han superado estas barreras. La implementación de un sistema de redes de sensores para la predicción y prevención de los fenómenos naturales podría disminuir las consecuencias de los mismos.

De acuerdo a lo anterior tomamos de referencia situaciones que se han dado recientemente con respecto a deslizamientos de tierra, como la del sensor de vibración de fibra óptica presentado en el Show Internacional en Taipei (Septiembre 2010) el cual sirvió para la alerta temprana de deslizamiento de tierra. Este sensor desarrollado en 2008 fue capaz de detectar desprendimiento de rocas que estaban a punto de ocurrir en épocas de inundaciones, según el director del proyecto, Tsair-Chun Liang. Estos tipos de sensores fueron instalados y probados desde 2009 en una cuenca hidrográfica del Condado de Nantou Shenmu Village, área vulnerable a los deslizamientos de tierra durante fuertes lluvias. El sistema de captura transmite las frecuencias y amplitudes de la vibración entre las rocas y el suelo, a una estación de monitoreo a través del sistema de fibra óptica, además de estar almacenado en una caja de acero inoxidable. [11]

Los sensores de fibra óptica también pueden ser utilizados para detectar ciertos derrumbes, como en estructuras de edificios. El Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia y el Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón, ambos de la Universidad de Valencia de España, desarrollaron uno de estos sensores que proporcionan información relacionada al inicio del deterioro de una construcción. Cuenta con encapsulado óptico patentado por la Universidad. Se pueden colocar en vigas, paredes o cualquier punto débil que tenga el edificio. La fibra óptica permite una monitorización continua de los parámetros,

estas fibras predicen acerca de un posible derrumbe o colapso. Algunas de las características para definir esto son las tensiones que soporta, el sobrecargo de la estructura y la delimitación del lugar donde se identifica el problema. [12]

En un estudio en Quindío-Colombia se diseñó una red de sensores de larga distancia ya que el sector es sensible a riesgos de amenaza por terremotos y deslizamientos (generados por acumulación de agua por fuertes lluvias y/o sismos). Usando la tecnología ZigBee, permite comunicación a distancias de hasta 8km, además de no requerir licenciamiento de bandas. Las estaciones de monitoreo se basan en sistemas de muy bajo consumo de potencia como lo es Wasmote. Las herramientas utilizadas en la estación meteorológica fueron: hardware (Wasmote V1.0), Software (API V0.27), Radio de Comunicaciones (XBee 2,4GHz – ZigBee), Antena (5-15-24 dBi), Placa de Sensores (Agricultura V 2.0), Batería (6600mA) y Panel (3W-12V). La plataforma propuesta podría interconectarse con antenas de 19dBi, permitiendo la automatización de la información registrada. [13]

La teledetección en el espectro óptico para el reconocimiento y control de deslizamiento, se aplicó en el análisis de la reactivación del gran deslizamiento de Tessina, en los Alpes orientales italianos. Consiste en diversos métodos semiautomáticos de tratamiento digital de imágenes ópticas espaciales y aéreas, de diferente resolución espacial y cobertura espectral para el reconocimiento de deslizamientos de diferentes tipos. Se incorporan también métodos de segmentación textural de imágenes basados en su espectro de textura, para la detección principalmente de flujos de tierra y deslizamientos rotacionales, otros de realce textural de escarpes y bordes de deslizamiento, de realce espectral para la diferenciación de cuerpos deslizados y de visualización tridimensional. [14]

Otra de las tecnologías utilizadas para la identificación de deslizamientos de tierra es la LIDAR (Light Detection and Ranging), la cual se sostiene en una escala de paisaje. La misma fue creada por investigadores de la Universidad

de Oregón y la Universidad George Mason en los Estados Unidos. Según estas investigaciones se puede analizar y clasificar los riesgos de deslizamientos hasta un área de 50 millas cuadradas en aproximadamente 30 minutos. Básicamente este tipo de tecnología usa nuevas formas de utilizar la detección de la luz y radar, además elimina vegetación y otras obstrucciones para mostrar características geomorfológicas del área. Esta herramienta prácticamente nueva, según los expertos es el futuro en conocimiento de deslizamiento de tierra, y presentará ayuda para proyectos de carretera, puentes, uso del suelo, zonificación urbana, construcción y otras ramas. [15]

La comunidad de Jucó ubicada en el Valle de Orosi, Costa Rica, es otro caso de riesgo de deslizamiento de tierra, para la cual se han hecho investigaciones. El procedimiento trata sobre la monitorización de variables climáticas, utilizando modelos matemáticos con una red de estaciones meteorológicas inalámbricas, para la medición en tiempo real, en las que se utilizó sensores meteorológicos de la marca Oregón Scientific. Tiene algunas etapas como la obtención de datos por medio de herramientas de software de una computadora ubicada en la estación. Luego la etapa de monitorización en donde se muestran los datos de los sensores y los cambios que se registran, estos se introducen en el modelo matemático para deslizamientos para devolver un valor proporcional al riesgo de un alud, y en caso de un alto riesgo se envía una señal a la etapa de alarmas. Y la última etapa que es un despliegue de los datos y generación de notificaciones con un sistema de alarma. [16]

Ecuador asumió con responsabilidad la gestión de riesgos de desastres en el 2008. Las respuestas a inundaciones constituye un gran reto al mismo tiempo que se aprobaba una nueva constitución que recalca la reducción de riesgo como parte del buen vivir. Existen programas de protección social ante emergencias que brinda un piso de protección social a familias en situación de pobreza que han atravesado situaciones catastróficas (entre ellas el deslizamiento o derrumbes de tierra). [17]

Se conoce que tanto en los alrededores de Zaruma como de Portovelo se efectúa mucho movimiento minero. Esta intervención del hombre (desordenada) sumada a distintas condiciones geográficas como mal formación de taludes, ha dado inestabilidad en estas zonas, debido a erosión, deslizamientos y hundimientos. Se ha utilizado herramientas como el Sistema de Información Geográfica ArcGis9 para elaborar un Mapa de Zonificación de Riesgos Geodinámicos. Se han dado varias recomendaciones para estos sectores como la creación de canales de agua que bajan de la quebrada o colocar sub-drenes horizontales y así liberar agua almacenada en subsuelos producto de filtración del agua. La parte más afectada es el lado este del casco urbano de Portovelo, donde están los cerros en los que se realizan actividades mineras. [18]

2.1. Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación definen un conjunto de reglas para la transmisión y recepción de información dentro de una red ya que permiten definir la selección del camino de los datos, distinguir la dirección de destino, garantizar que el receptor se encuentre listo para recibir la información, asegurar el correcto uso del canal de comunicación, entre otras funciones. [23] Es importante utilizar el mismo protocolo de comunicación cuando se transmite y recibe un mensaje ya que el transmisor y receptor deben comunicarse en el mismo idioma. [22]

2.1.1 IEEE 802.15.4

Es un protocolo de comunicación perteneciente a la capa de red y de aplicación del modelo OSI (Open System Interconnection) [23], es altamente requerido para una amplia variedad de aplicaciones que buscan tener mayor vida útil en las baterías.

En la Tabla 1 se pueden observar las distintas características con las que opera el protocolo de comunicación IEEE 802.15.4

| Característica | Valor |
|-----------------------------|------------------------------|
| Ancho de Banda de Datos | 10-115 kbits/s |
| Nodos en una red | Hasta 255 (Bluetooth solo 8) |
| Esparcimiento entre canales | MHz |
| Vida útil de la batería | 0.5 hasta 2 años |
| Distancia | 30m |

Tabla 1: Características del protocolo de comunicación IEEE 802.15.4 [22]

Dependiendo del tipo de topología que se adopte para una red ZigBee se podrá conocer el número de nodos, algunas topologías que se podrían utilizar son las conocidas topología malla, mesh, árbol, que permitirán alcanzar hasta 64770 nodos. [22]

2.2 ZigBee

Es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance. Este término define un protocolo inalámbrico para la conexión de una red personal inalámbrica o WPAN (Wireless Personal Area Network). Es diferente de los otros estándares ya que soporta variadas aplicaciones con mejor conectividad que otros sistemas.

Es ideal para conexiones punto-punto y punto multipunto y opera en banda libre de ISM (Industrial, Scientific and Medical) 2.4Ghz en lo que respecta a conexiones inalámbricas. Otra característica importante es que para redes de baja tasa de transferencia de datos es un estándar óptimo, por lo que reduce tiempo de espera en el envío y recepción de paquetes. Además de no ser una tecnología muy costosa, es de construcción sencilla y de bajo consumo de energía. Llega a tener más de 65000 nodos distribuidos por subredes de 255 nodos, aunque tiene menor cobertura ya que pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN. [24]

CAPÍTULO 3

3. PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED DE SENSORES PARA LA DETECCIÓN DE DESLIZAMIENTO DE TIERRA.

En este capítulo se describirá con más detalle el escenario de la zona de estudio donde la red de sensores propuesta sería desplegada, también se revisará la secuencia de pasos a seguir para culminar con el diseño, se describirán los bloques que componen el sistema total de la red, así como los equipos que harán posible su funcionamiento y el sistema de alimentación eléctrica.

3.1 Escenario

La vía Portovelo - Zaruma tiene una longitud de aproximadamente 5,8 kilómetros, hacia un costado de la carretera se encuentran un sin número de colinas y sectores empinados con vegetación extensa y árboles densos y hacia el lado opuesto se encuentran viviendas, empresas mercantiles y demás.

En la Figura 3.1 se puede observar la vista aérea de la carretera marcada con color turquesa.

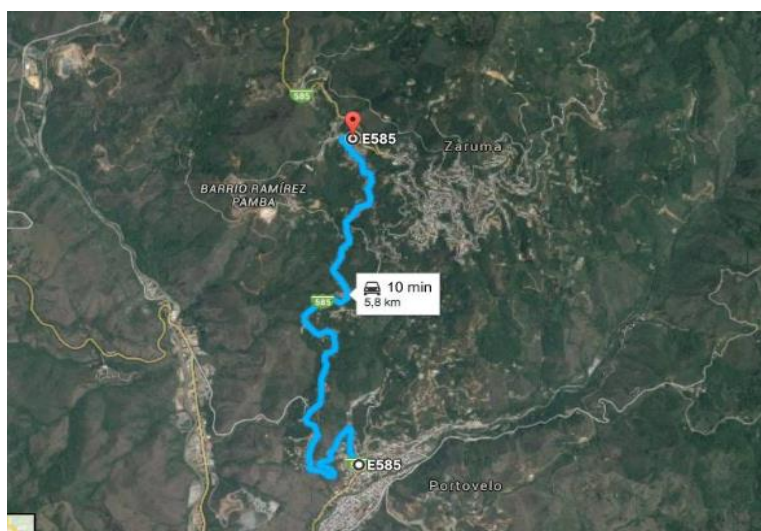


Figura 3.1: Vista satelital de la vía Portovelo - Zaruma

Se ha podido observar que a lo largo de la carretera, se encuentran tres sectores separados aproximadamente algunos metros de distancia. El tipo de suelo característico de estas tres zonas es de tipo arcilloso por lo tanto propenso a sufrir de corrimientos de tierra debido a la ausencia de raíces que aseguren la estructura del suelo. En la Figura 3.2 se observa el tramo Portovelo - Zaruma con sus tres zonas de peligro marcadas con una flecha roja.

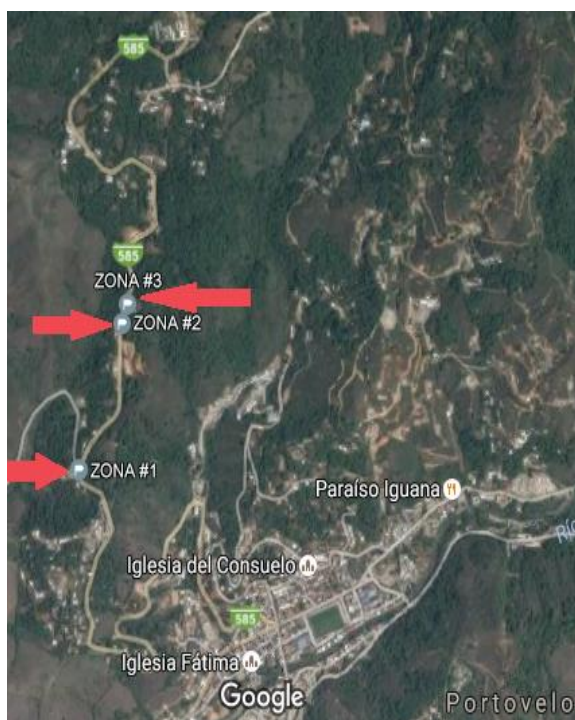


Figura 3.2: Vista satelital de las 3 zonas de riesgo en la vía Portovelo - Zaruma

La primera zona con un área de 132.53m^2 se encuentra ubicada a los 2 kilómetros iniciada la vía, la segunda zona con un área de $18,83\text{m}^2$ se encuentra en el kilómetro 2.5, y la tercera y última se encuentra luego de 100 metros de la segunda con un área de $135,38\text{m}^2$.

En la Figura 3.3 se observa la primera zona de estudio con sus principales características; esta zona será llamada como "Zona 1" a lo largo del presente trabajo.



Figura 3.3: Vista general de la zona 1 en la vía Portovelo - Zaruma

Latitud / Longitud: 3°42'40.7" Sur 79°37'27.0" Oeste

Ubicación: 2 kilómetros iniciada la vía Portovelo-Zaruma

Área aproximada: 132,53m²

Altura aproximada: 9.89m

Largo aproximado: 13.40m

Inclinación: 73.50°



Figura 3.4: Vista general de la zona 2 en la vía Portovelo - Zaruma

Latitud y Longitud: 3°42'25.5" Sur 79°37'22.0" Oeste

Ubicación: 2.5 Km (Vía Portovelo-Zaruma)

Área aproximada: 18,83m²

Altura aproximada: 4.4m

Largo aproximado: 4.28m

Inclinación: 82.59°

La Figura 3.4 muestra una vista general de la segunda zona de estudio que será llamada "zona 2".

La Figura 3.5 corresponde a la zona de estudio llamada "zona 3", seguida de sus principales características.



Figura 3.5: Vista general zona 3 en la vía Portovelo - Zaruma

Características:

Latitud y Longitud: 3°42'25.5" Sur 79°37'22.0" Oeste

Ubicación: Kilómetro 2.6 de la vía Portovelo-Zaruma

Área aproximada: 135,38 m²

Altura aproximada: 15.28 m

Largo aproximado: 8.86 m

Inclinación: 83.21 grados

3.2 Criterios de Diseño

Se mencionó en el capítulo 1 que la solución a la problemática deberá ser analizada dentro de una investigación de campo y de tipo bibliográfica. Por lo tanto se realizó un estudio sobre estándares para sistemas de comunicación con fuente de alimentación de baja potencia. Se realizó una visita a la vía Portovelo - Zaruma para observar las zonas que debían ser consideradas con mayor prioridad, de entre las cuales se seleccionaron tres debido a que tenían una inclinación mayor a 45° [9].

Una vez reconocidas, se procederá a trazar un rectángulo, que permitirá delimitar cada terreno para luego posicionar en el diseño las motas o nodos sensores sin que sobrepase el límite de la superficie de la zona de estudio, esto se logrará con ayuda de la herramienta Google Earth. Para la ubicación de motas en cada zona se calculó el área de las mismas para así poder estimar el número de motas por zona. Se tomaron coordenadas de la ubicación de cada nodo de la red y además de 3 puntos de referencia (uno por cada zona). En un punto central entre zona 1 y zona 2 y 3 se colocó el nodo coordinador con el propósito de asegurar línea de vista entre cada zona. Todas estas coordenadas de latitud y longitud fueron transformadas a coordenadas en metros con la ayuda de un software online y de los puntos de referencia ya tomados.

Al tener los nodos sensores posicionados en las tres zonas se realizará un análisis de conectividad donde se considerarán algunos valores para potencia de ruido para sistemas que trabajan bajo el protocolo de comunicación IEEE 802.15.4. Estos valores representan ruido alto y bajo lo que dará una referencia de cuál será la relación señal vs ruido con la que transmitirá cada mota.

Con el fin de obtener la potencia mínima de recepción de cada nodo sensor, su alcance máximo y por lo tanto el rendimiento general de la red se empleará un modelo de propagación adecuado para relacionar las pérdidas multirayecto con la distancia de cada enlace de comunicación,

tomando en cuenta modelos donde intervengan la vegetación y follaje característico del presente escenario, además que trabaje en la frecuencia de 2.4GHz ya que es una frecuencia muy utilizada para sistemas ZigBee (IEEE 802.15.4).

Para simular la intercomunicación entre cada nodo de la red se utilizó el software Matlab, debido a su fácil lenguaje de programación y la familiaridad con su uso académico. En este software se comprobarán que las posiciones de las motas tendrán línea de vista con su coordinador para asegurar que puedan llegar al nodo gateway desde cualquier camino utilizando el modelo de propagación elegido.

Para realizar el diseño de la red es importante establecer de manera ordenada los pasos a realizar. Mediante un diagrama de flujo se detalla gráficamente los pasos a seguir, como se muestra en la Figura 3.6

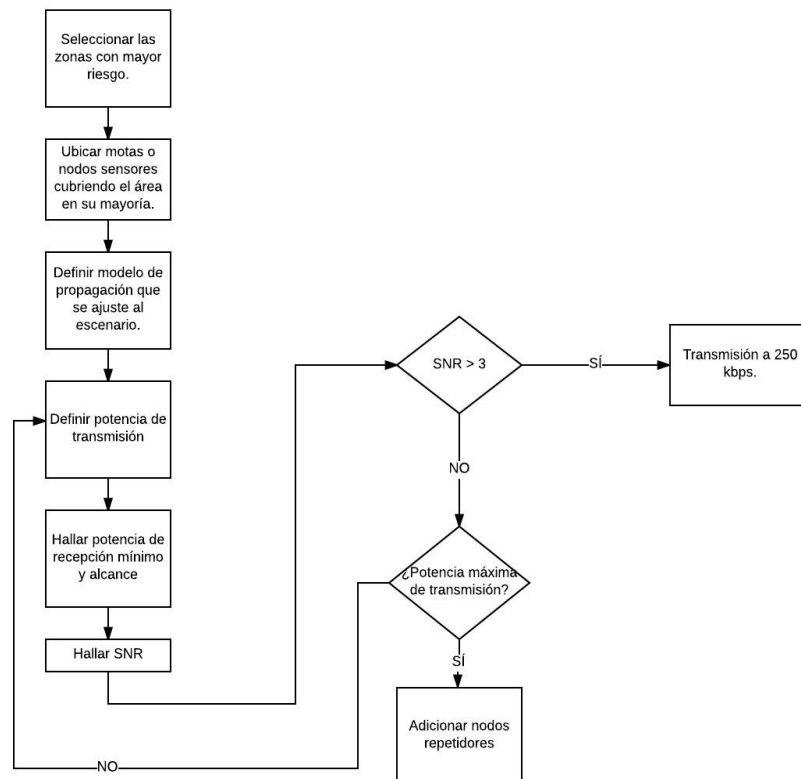


Figura 3.6: Diagrama de flujo general

3.3 Modelado

Con el fin de mejorar el diseño de un enlace inalámbrico se emplean modelos predictivos de las pérdidas de trayecto en un sistema de comunicación. Las fórmulas descritas a continuación se incluyen en el código de la simulación del software Matlab para poder realizar las pruebas de conectividad de la red. Es necesario aplicar una definición matemática que permita calcular la potencia de recepción mínima de cada mota o nodo sensor. Con la ecuación 3.1 se calculará la potencia de recepción P_r la cual se encuentra afectada por las pérdidas en el espacio libre, la ganancia de transmisión y recepción de las antenas y por la potencia transmitida.

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_o \quad (3.1)$$

Donde:

P_r : Potencia de recepción [dB]

P_t : Potencia de transmisión [dB]

G_t : Ganancia de transmisión [dB]

G_r : Ganancia de recepción [dB]

L_o : Pérdidas en el espacio libre [dB]

Luego para hallar las pérdidas por espacio libre para sistemas que trabajan con el estándar 802.15.4 se empleó la ecuación 3.2

$$L_o = -(33 \log \left(\frac{d}{8} \right) + 58.5) \quad (3.2)$$

El modelo de propagación a ser utilizado fue el modelo cercano a ITU, el cual se adapta a las condiciones del escenario ya que considera ambientes con vegetación y se la describe de la siguiente manera:

$$L = 0.2 F^{0.3} d^{0.6} [dB] \quad (3.3)$$

Donde F representa la frecuencia en MHz, siendo ésta un valor menor a 300 GHz y d la distancia.

3.4 Algoritmo

En la Figura 3.7 se detalla la serie de pasos utilizada en las simulaciones realizadas para el presente proyecto, comenzando con la inicialización de las variables, las diferentes matrices de distancia por cada zona hasta el nodo coordinador, luego se ingresan los cálculos de pérdida por espacio libre y pérdidas multirayecto según el modelo de propagación previamente definido. Finalmente según las condiciones que se presenten se establecen las potencias de recepción y alcance para cada nodo o de ser el caso la inclusión de nodos repetidores hasta lograr una conectividad exitosa.

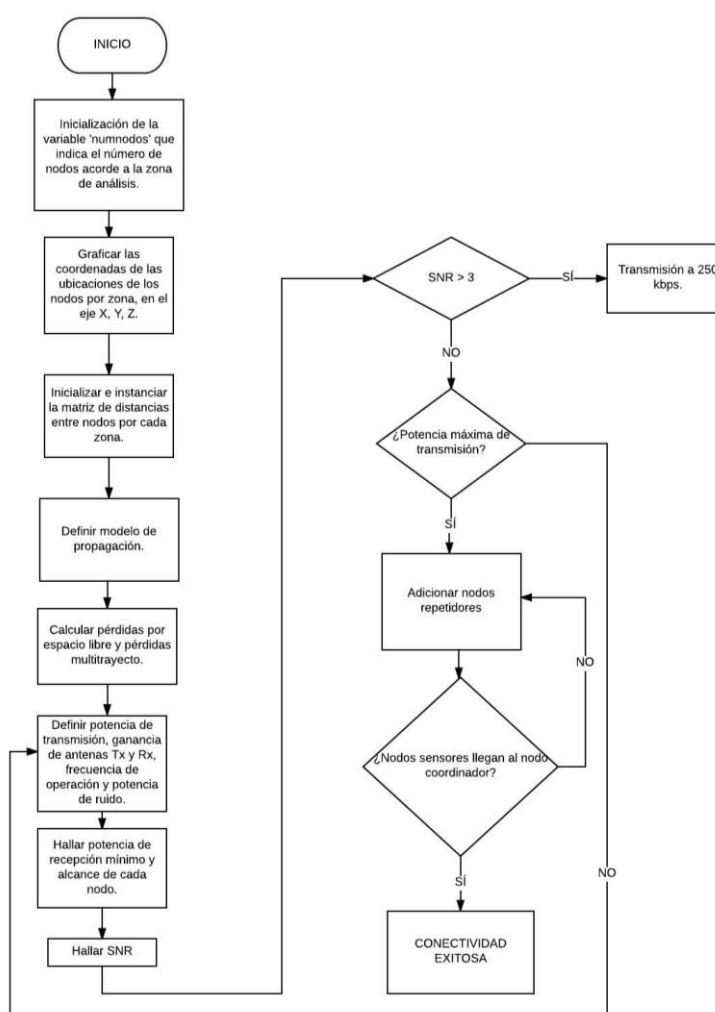


Figura 3.7: Diagrama de flujo del algoritmo utilizado

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

Este capítulo tendrá un enfoque en lo correspondiente al diseño de la mota, del nodo coordinador, nodo gateway y nodos repetidores, también en el análisis de la simulación con el software Matlab en cuanto a conectividad de la red total para cambios en el escenario, entre ellos simulaciones con potencia de ruido alta y baja. Estos resultados justificarán los criterios que han sido seleccionados para el diseño de la red.

4.1 Localización de la red geográfica

Para colocar acertadamente las motas en cada zona se utilizó una cantidad adecuada de éstas, dependiendo del área de cada una. Para la zona 1 y 3 se ubicaron ocho motas y para la zona 2 se colocaron seis. En un punto central entre las zonas 1, 2 y 3 se colocó el nodo coordinador con el propósito de asegurar línea de vista. Con la herramienta Google Earth se obtuvieron la latitud, longitud y elevación para cada mota y el coordinador. Además para poder realizar la simulación con el software Matlab se tomó un punto de referencia al que también se le obtiene la latitud y longitud y el cual servirá como punto de origen en las coordenadas XYZ.



Figura 4.1: Ubicación ideal de las motas en la Zona 1

En la Figura 4.1 se puede apreciar la ubicación de las motas para la zona 1 donde se utilizaron 8 motas para cubrir el área de este terreno.



Figura 4.2: Ubicación ideal de las motas en la Zona 2

En la Figura 4.2 se puede apreciar la ubicación de las motas para la zona 2 donde se utilizaron 6 motas para cubrir el área de este terreno.



Figura 4.3: Ubicación ideal de las motas en la Zona 3

En la Figura 4.3 se puede apreciar la ubicación de las motas para la zona 3 donde se utilizaron 8 motas para cubrir el área de este terreno.

Luego con la ayuda del software web “SunEarthTools” [20] se hace una conversión de las medidas de latitud y longitud en medidas UTM (Universal Transverse Mercator). Y finalmente haciendo una resta de coordenadas de cada mota con el punto de referencia por zona se pudo obtener las coordenadas XYZ de las motas para poder realizar la simulación en Matlab.

4.2 Diseño de los nodos

Para el diseño de cada nodo se eligieron distintos dispositivos adecuados para las necesidades y condiciones que presenta la red. El sensor ADXL345 es un dispositivo de bajo costo factor que es muy importante ya que al momento del deslizamiento es muy probable que el sensor reciba algún daño, este módulo mide aceleración en eje x, y, z, lo que permite realizar una mayor precisión en el sensado. Además posee comunicación serial y sobre todo es compatible con Arduino. Por otro lado la tarjeta Arduino UNO, la más sencilla y de menor costo, soporta protocolo de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface) y I²C (Inter-Integrated Circuit), con las que trabaja el sensor acelerómetro ADXL345 (Nodos Sensores). Pero el nodo coordinador utiliza la tarjeta Arduino MEGA debido a su conexión con el gateway mediante un puerto serial RS232 (Recommended Standard 232). Se utilizan módulos XBEE ya que tienen mayor alcance con bajo consumo de potencia y de energía (no supera los 4v). Los módulos XBEE Pro S2 son fáciles de configurar y trabajan a 2.4GHz, además posee un conector u.fl el cual es ideal para adaptar una antena a una caja hermética con orificio para colocar una antena externa. Por último un conversor de niveles lógicos para proteger al módulo transceptor de posibles niveles de voltaje que puedan afectar su rendimiento.

4.2.1 Nodo sensor

El nodo sensor estará conformado por el sistema embebido Arduino UNO, además del sensor de aceleración que permitirá interpretar las mediciones de la aceleración de deslizamiento de tierras y rocas,

también estará incluido el módulo RF XBee Series 2 con el conversor de niveles lógicos.

En la Figura 4.4 se observa la conexión entre los pines del controlador Arduino UNO y los diferentes módulos necesarios para crear el nodo final o nodo sensor, además del bloque de alimentación y la antena que se incorpora en el conector u.fl.

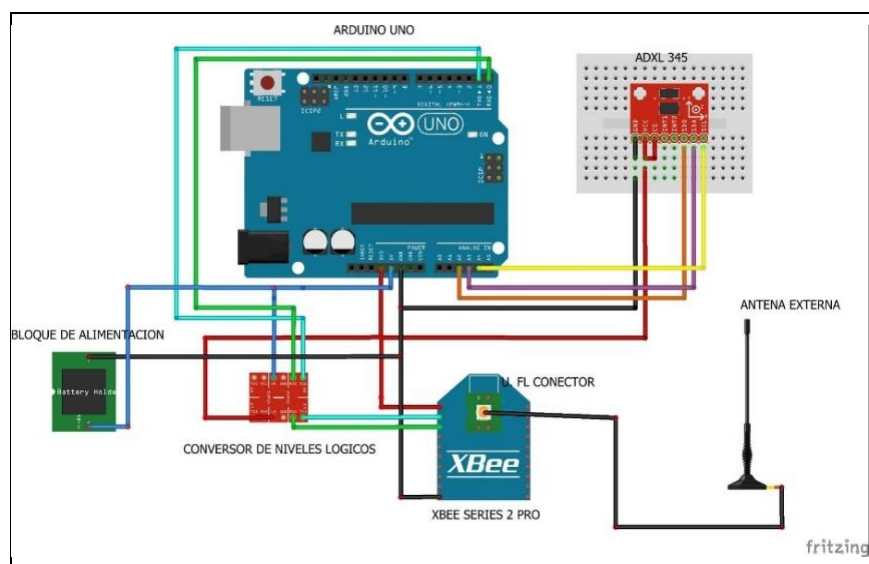


Figura 4.4: Conexión electrónica para el nodo sensor

4.2.2 Nodo coordinador

El nodo coordinador estará conformado por la tarjeta Arduino Mega, ya que esta tarjeta utiliza un conector de puerto serial rs232 para la conexión con el nodo Gateway, y el módulo RF XBee Series 2 con un conversor de niveles lógicos.

En la Figura 4.5 se observa la conexión entre los pines del controlador Arduino Mega y los módulos necesarios para crear el nodo coordinador, además del bloque de alimentación, la salida al Gateway y la antena que se incorpora en el conector u.fl.

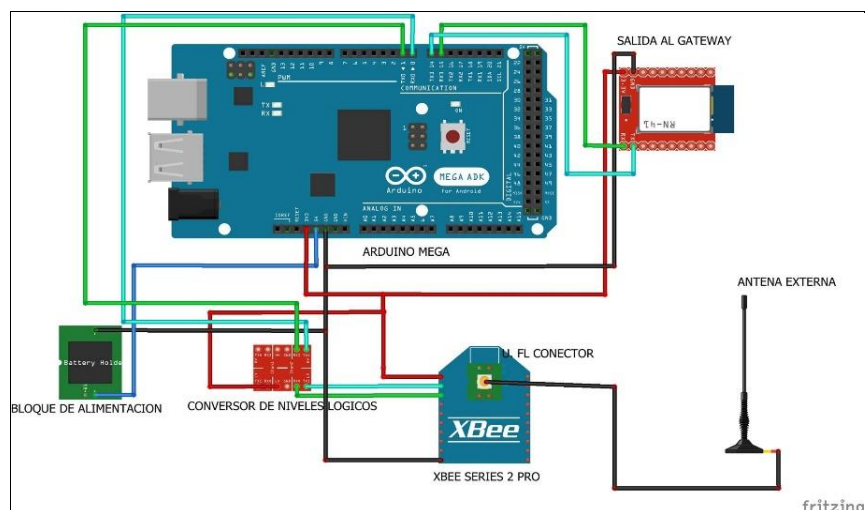


Figura 4.5: Conexión electrónica para el nodo coordinador

4.3 Elección del nodo gateway

Para la elección del nodo gateway, se prefirió uno con salida a frecuencias de bandas GSM/GPRS/EDGE (850 / 900 / 1800 / 1900MHz) debido a que son tecnologías que presentan menos fallas en zonas rurales, incluso la red GSM (Global System for Mobile) es la que permite realizar llamadas de emergencia cuando la cobertura celular de algunas compañías no está disponible. Por todo esto la vía de salida podría en un futuro servir para la construcción de un sistema de alerta ya sea por llamada o SMS (Short Message Service) para alertar a personas a sus celulares de los incidentes en la vía.

El gateway elegido fue el RD5000 de ZigBee 2G/3G (Figura 4.6) que se alimenta con un voltaje de +5V ~ +35V, el cual no tendrá ningún problema ya que se podría conectar mediante la energía pública que utiliza el poste. Además transmite en 2.4GHz y posee las siguientes características físicas y de RF en ZigBee y en GPRS/WCDMA como se observa en la Tabla 2.

| Características Físicas y Eléctricas | |
|---|--|
| Nombre | RD5000-ZigBee/3G Gateway |
| Dimensión | 126x65x28 mm |
| Peso | 178g (sin incluir la antena) |
| Alimentación | +5v - +35v |
| Interfaces | Standard RS232 connector x1 |
| | Standard SIM x1 |
| Interface de Antena | SMA hembra |
| Características ZigBee RF | |
| MAC | IEEE 802.15.4 |
| Frecuencia | 2400MHz - 2483.5MHz |
| Cantidad de canales | 16 |
| Ancho de Banda | 5MHz |
| Potencia de Transmisión | 20 dBm |
| Sensibilidad | -104 dBm |
| Velocidad Máxima | 250 kbps |
| Alcance Máximo | 1km |
| Red | Punto a punto / Topología Estrella o Malla |
| Seguridad | AES-128 |
| Características GPRS/WCDMA RF | |
| Red | 3G(WCDMA), 2G (GSM) |
| Frecuencia | - UMTS/HSDPA 900/2100 MHz - GSM/GPRS/EDGE 850/900/1800/1900MHz |
| Sensibilidad | -106 dBm |

Tabla 2: Características del gateway RD5000 ZigBee



Figura 4.6: RD5000 ZigBee 2G/3G gateway [19]

4.4 Diseño de la red

Se ha planteado una red híbrida, formada por una topología árbol de manera general donde cada rama de ésta se dirige a cada una de las 3 zonas de riesgos, esto debido a que no se consideró una salida por cada zona ya que las 3 sensores y miden la misma información (aceleración en coordenadas x, y, z). Y topología malla entre los nodos sensores de cada una de las zonas, ya que de esa forma hay redundancia en la red al momento de comunicarse hacia el nodo coordinador, cabe recordar que los módulos XBEE Pro S2 son capaces de construir sus propios caminos de enlaces hasta llegar a su destino.

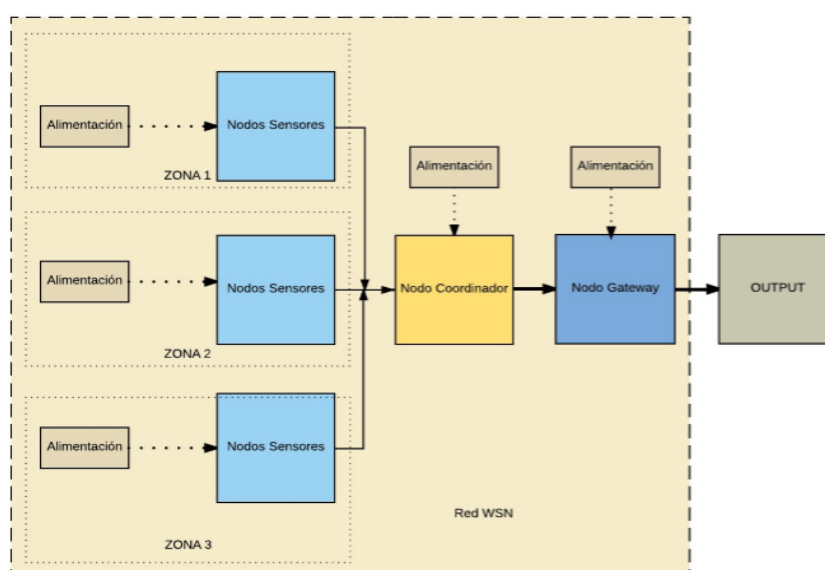


Figura: 4.7 Diagrama de bloques del sistema

En la red se usa la frecuencia 2.4 GHz que según el estándar brinda mejor capacidad de canal, se atenúa menos y logra mayor cobertura. Además es conocido que mundialmente opera en una banda libre. En la Figura 4.7 se presenta el diagrama de bloques del diseño total de la red.

4.4.1 Configuración de Parámetros

Se calcularon ciertos parámetros según el estándar IEEE 802.15.4 compatible con ZigBee. La Tabla 3 muestra una relación de la tasa de datos con los diferentes valores de potencia de ruido para diferentes rangos de SNR. Estos valores fueron utilizados para la simulación. Para este diseño propuesto en el presente proyecto la máxima tasa de datos que se podría dar es de 250Kbps sin embargo las simulaciones también muestran valores superiores de hasta 2Mbps en caso de cambiar de módulos o tecnologías que permitan mayor capacidad.

| SNR | Tasa de Datos [Kbps] | Pot Ruido [dBm] |
|--------|-----------------------|-----------------|
| 3 - 6 | 250 | -87,5 |
| 6 - 9 | 500 | -84,5 |
| 9 - 12 | 1000 | -81,5 |
| > 12 | 2000 | -78,5 |

Tabla 3: Parámetros calculados en base al estándar ZigBee

4.4.2 Fuente de Alimentación

Debido a que los nodos sensores estarán en la zona de riesgo estos deberán ser energizados mediante el uso de una batería. La batería deberá proporcionar la energía suficiente para alimentar la demanda de la tarjeta Arduino, los módulos XBee S2 Pro y los sensores de aceleración ADXL345.

Básicamente para alimentar los nodos sensores y coordinador, se utilizará un circuito conmutador para dos fuentes de alimentación (Figura 4.8), las cuales serán un panel solar y una batería LIPO (Litio y Polímero) recargable de 3 celdas (11.1v-12.6v).

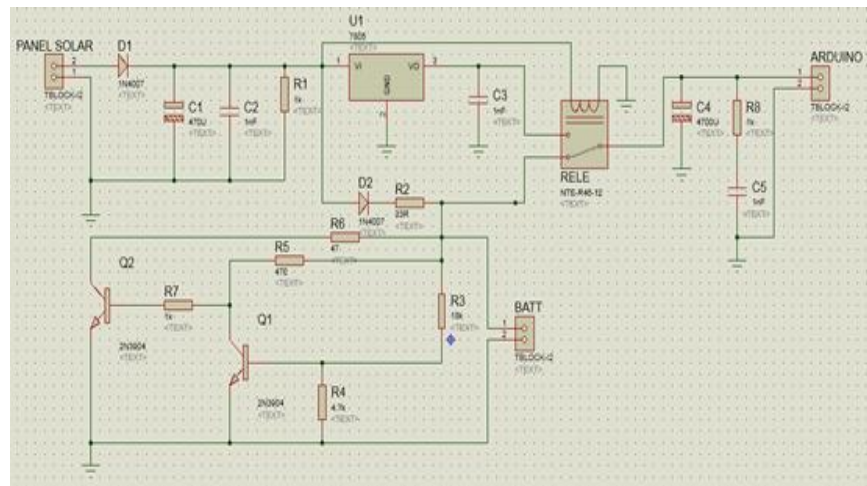


Figura 4.8: Diseño del circuito conmutador para 2 fuentes de alimentación

Para un mejor análisis se ha subdividido en etapas al circuito representado en la Figura 4.8.

- Ganancia de Corriente

En este bloque el panel solar se encarga de recargar la batería siempre y cuando esta no se encuentre al 100%. Se usan dos transistores para obtener la ganancia de corriente necesaria. (ver Figura 4.9)

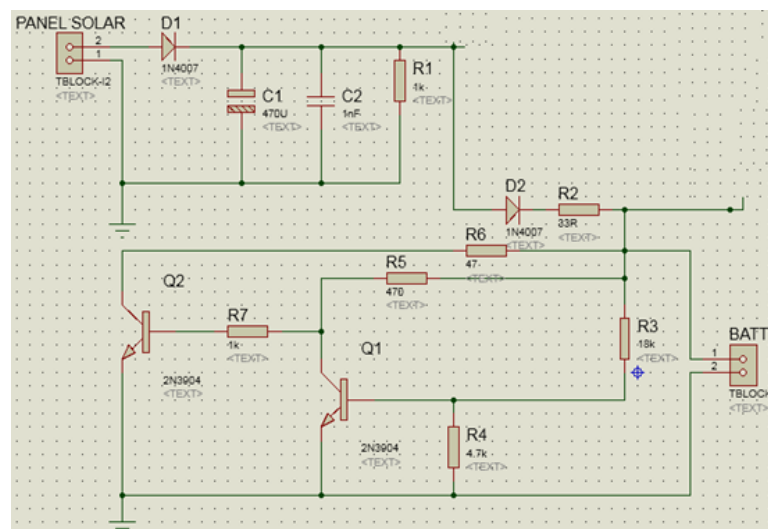


Figura 4.9: Esquemático de la etapa de ganancia de corriente

- Regulación de Voltaje

En lo que respecta al bloque de regulación de voltaje (Figura 4.10), el circuito recibe picos altos y bajos de voltaje, por lo que es necesario para que el voltaje esté estabilizado y libre de variaciones utilizando un regulador 7805. Esta estabilización es importante ya que protege a los equipos que serán alimentados en este caso el Arduino que necesitará un voltaje de 3.3V a pesar que este ya posee un regulador de voltaje.

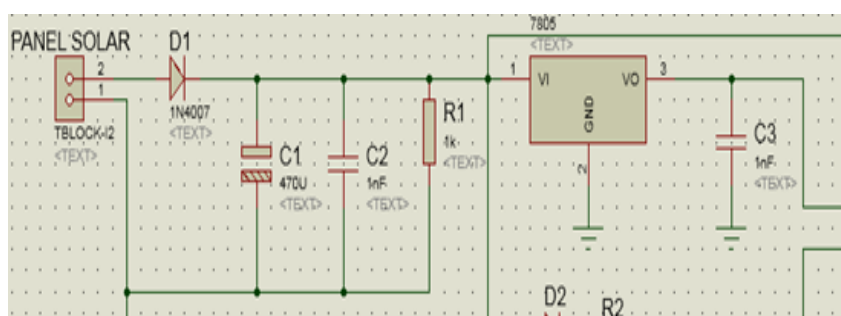


Figura 4.10: Esquemático de la etapa de regulación de voltaje

- Conmutador

Este bloque se trata estrictamente del comportamiento del Relé. Se utilizará el relé para mantener alimentado de una manera óptima la red de sensores, ya que normalmente los nodos serán alimentados por el panel solar hasta que el Relé identifique una caída significativa del voltaje de entrada por lo que éste conmutará y recibirá la energía de la batería. El relé utilizado depende del valor fijado en el regulador de voltaje (7805).

En la Figura 4.11 se puede observar la conexión del relé de 2 estados, en un caso se alimenta con el panel solar y para el otro caso con la batería, para luego pasar por un último circuito rectificador de voltaje y alimentar la tarjeta Arduino.

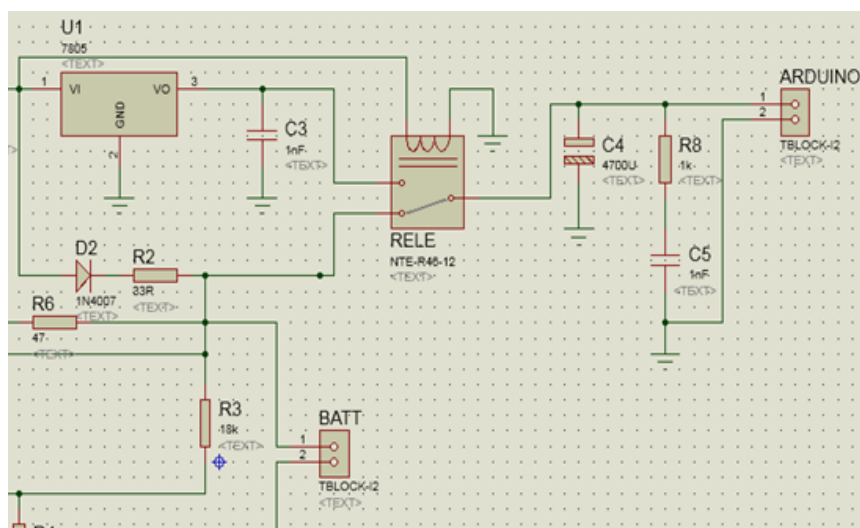


Figura 4.11: Esquemático de la etapa del conmutador

Para este circuito vale recalcar el uso y características generales del panel solar y la batería. El panel solar elegido es de marca solar plus de 12v y 25W policristalino. La batería utilizada es la LIPO (Litio y Polímero) de 3 celdas que proporcionan 11.1V-12.6V, este tipo de baterías son usadas comúnmente para alimentación de tarjetas Arduino y además son recargables, por lo que encaje con el diseño del circuito.

En las Tablas 4 y 5 se detallan las especificaciones del voltaje, la corriente y la potencia para cada dispositivo en las diferentes clases de nodos que tendrá la red.

| NODO SENSOR | | | |
|----------------|-------------|----------------|---------------|
| Dispositivo | Voltaje [v] | Corriente [mA] | Potencia [mW] |
| Arduino UNO | 3.3 | 50 | 165 |
| XBee S2 Pro | 3.4 | 45 | 153 |
| Sensor ADXL345 | 3 | 0.02 | 0.06 |
| TOTAL | 3 ~ 4 | 95.02 | 318.06 |

Tabla 4: Especificaciones para el nodo sensor

| NODO COORDINADOR | | | |
|------------------|-------------|----------------|---------------|
| Dispositivo | Voltaje [v] | Corriente [mA] | Potencia [mW] |
| Arduino MEGA | 3.3 | 50 | 165 |
| XBee S2 Pro | 3.4 | 45 | 153 |
| TOTAL | 3 ~ 4 | 95 | 318 |

Tabla 5: Especificaciones para el nodo coordinador

4.5 Análisis y resultados

Para las siguientes simulaciones realizadas en el software de Matlab un círculo de color azul indicará dónde se encuentra cada mota y el coordinador. Por otro lado las líneas entrecortadas que unen a cada uno de los dispositivos se mostrarán de diferentes colores, esto varía de acuerdo a la capacidad máxima de canal que pueden tener las motas en cuanto a su conectividad entre ellas, siendo magenta para un SNR mayor a 3 dB y menor a 6 dB con una capacidad de 250 Kbps, amarillo para un SNR mayor a 6 dB y menor a 9 dB con una capacidad de 500 Kbps, negro para un SNR mayor a 9 dB y menor a 12 dB con una capacidad de 1 Mbps y rojo para un SNR mayor a 12 dB con capacidad de 2 Mbps. En la Tabla 6 se observa que estos valores de SNR son típicos para sistemas compatibles con Zigbee 802.15.4

| Data Rate (kbits/sec) | SNR (Note 1) (dB) | NF (dB) | Sensitivity (dBm) |
|-----------------------|-------------------|---------|-------------------|
| 250 | 3 | 11.5 | -99 |
| 500 | 6 | 11.5 | -96 |
| 1000 | 9 | 11.5 | -93 |
| 2000 | 12 | 11.5 | -90 |

Tabla 6: Valores típicos de la sensibilidad, figura de ruido, SNR y capacidad de canal para Zigbee 802.15.4 [21]

Es importante recalcar que el diseño de la red de sensores propuesta tiene una capacidad máxima de canal de 250 kbps ya que ésta sería la máxima transmisión de datos que posee el módulo XBee Series 2 Pro escogido.

También se calcularán mediante un análisis estadístico, las probabilidades de que los nodos sensores tengan línea de vista con el coordinador y mantengan una relación señal versus ruido mayor a 3 dB ya que es el mínimo valor que permite el estándar IEEE 802.15.4. Además se mostrarán los resultados obtenidos con variaciones en el escenario.

4.5.1 Análisis de resultados con potencia de ruido baja

Las siguientes gráficas corresponderán a los resultados de las simulaciones para la zona 1. Con una potencia de ruido de -87.5 dBm que se puede traducir como un escenario ideal, con ausencia de lluvia, polvo o neblina se tiene lo siguiente:

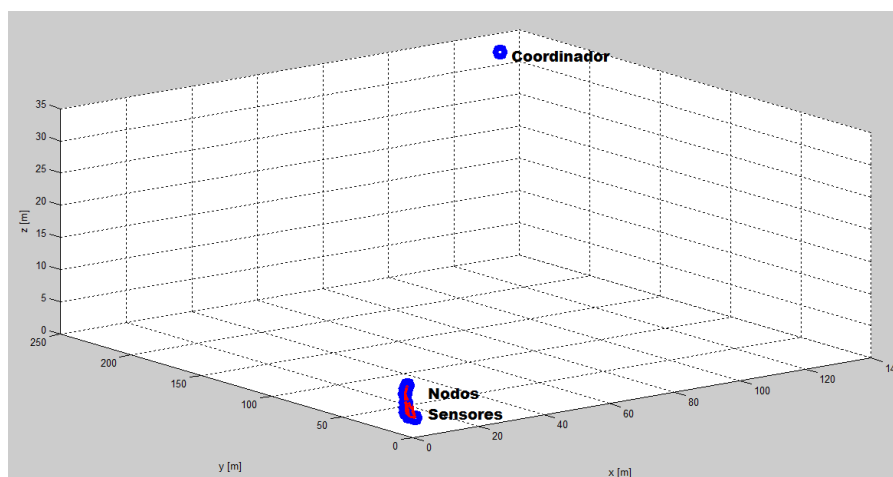


Figura 4.12: Vista de las motas de la zona 1 y el coordinador (PNoise = -87.5dBm)

Se observa en la Figura 4.12 que esta zona en el mejor de los escenarios, no existirá conexión con el coordinador, solo existe conexión entre motas como se puede observar en la Figura 4.13 con una capacidad de canal de 2Mbps, lo mismo sucede para la zona 3.

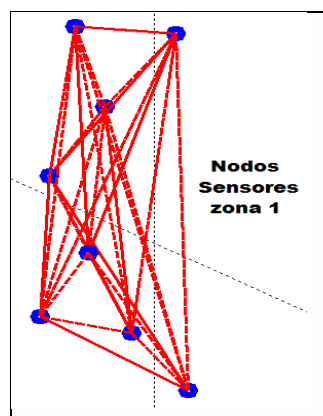


Figura 4.13: Vista de la conectividad entre las motas de la zona 1

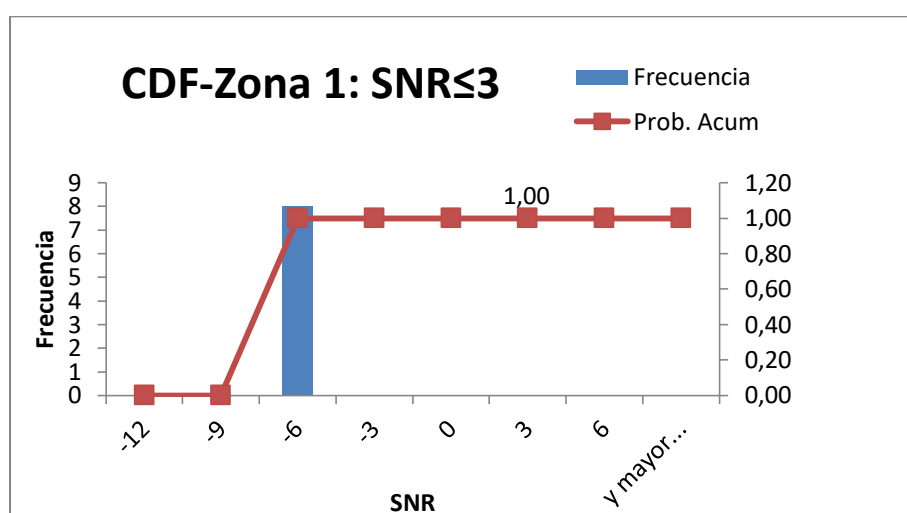


Figura 4.14: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 1 con el coordinador ($P_{\text{Noise}} = -87.5\text{dBm}$)

En la Figura 4.14 se puede observar que la probabilidad de que los nodos sensores lleguen al nodo coordinador es de 0, ya que $P(SNR \geq 3) = 1 - P(SNR \leq 3) = 1 - F(3) = 1 - 1 = 0$. La misma probabilidad presenta la zona 3 por lo que se comprueba entonces que todos los nodos, no tendrán conectividad hasta el coordinador bajo estas condiciones y el uso de repetidoras puede ser una solución.

Para los siguientes resultados se analizará la zona 2, en la Figura 4.15 se muestra la conectividad de los nodos sensores al coordinador con potencia de ruido de -87.5 dBm.

Se observa que los nodos sensores de esta zona presentan conectividad con el coordinador con una capacidad de canal de 250 Kbps, esto corresponde a un escenario ideal. Existe también una conectividad entre motas con un SNR mayor a 3 dB por lo que se colorea con rojo es decir un SNR mayor a 12 dB.

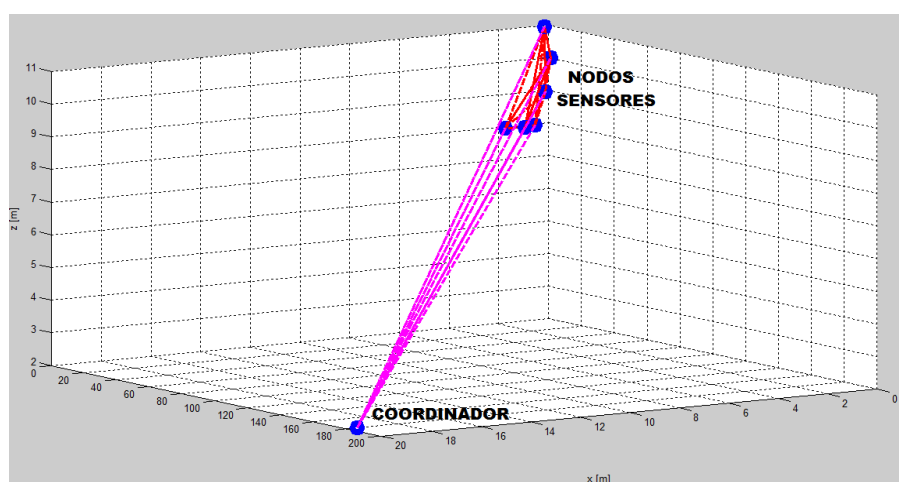


Figura 4.15: Vista de las motas de la zona 2 y el coordinador (Potencia de Ruido = -87.5 dBm)

En la Figura 4.16 se puede observar que la probabilidad de que los nodos sensores lleguen al nodo coordinador es de 1 , ya que $P(SNR \geq 3) = 1 - P(SNR \leq 3) = 1 - F(3) = 1 - 0 = 1$. Se comprueba entonces que el 100% de los nodos tendrán conectividad hasta el coordinador en el mejor de los escenarios. Sin embargo este porcentaje disminuye a 0 en el peor de los escenarios por tal motivo se plantea una solución a este inconveniente.

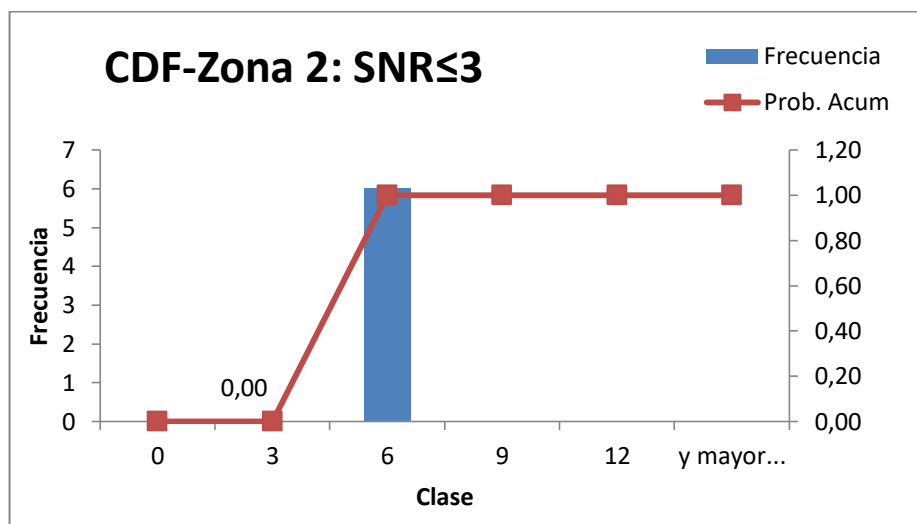


Figura 4.16: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 2 con el coordinador (PNoise= -87.5dBm)

4.6 Variación del escenario como solución al problema

Debido a la falta de conectividad de las motas con el coordinador tanto en la zona 1 como en la zona 3 en el mejor de los escenarios, es necesario la inclusión de algunas repetidoras tanto para tener conectividad con el nodo coordinador y además asegurar más de un camino de conexión en caso de que alguna repetidora presente una falla. Incluso los nodos de la zona 2 podrían perder totalmente la conectividad ya que el análisis realizado fue para un escenario ideal, y podría cambiar dadas las diferentes condiciones climáticas como neblina o lluvias. Se tomaron en cuenta los siguientes cambios.

4.6.1 Ubicación geográfica de los nodos repetidores

En la ubicación geográfica de los dispositivos de la red se tomaron en cuenta cada poste a lo largo de este tramo de la carretera, considerando el uso de repetidoras en cada uno de los postes para así, llegar al poste donde se encontrará el nodo coordinador y el gateway que representa la salida de la red. Tal como podemos observar en la Figura 4.17.

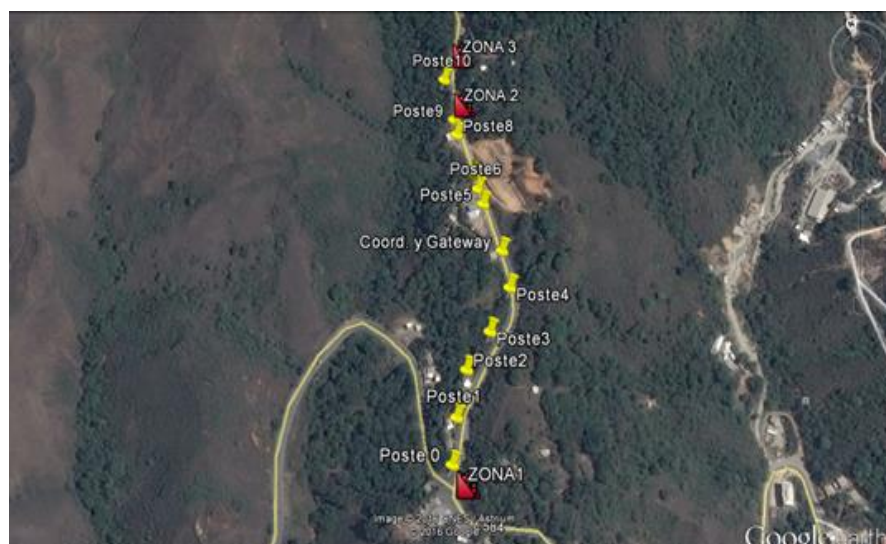


Figura 4.17: Vista satelital de los postes y las 3 zonas de riesgos

4.6.2 Diseño del Nodo repetidor

El nodo repetidor estará conformado por la tarjeta Arduino UNO, además estará incluido el módulo RF XBee Series 2 con un convertor de niveles lógicos pero ya no contiene al sensor ADXL ya que estos estarán ubicados en los postes y su objetivo es únicamente transmitir o recibir la información que reciben del nodo sensor.

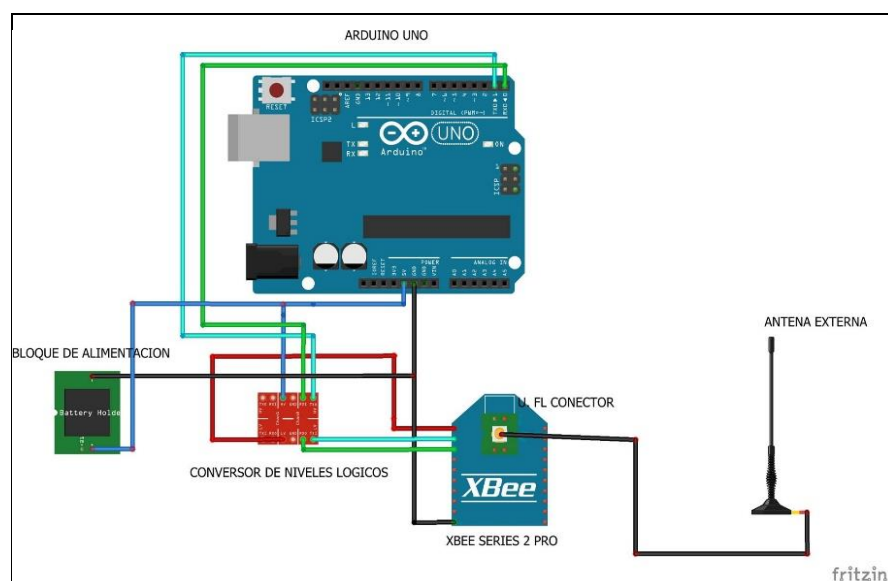


Figura 4.18: Conexión electrónica para el nodo repetidor

En la Figura 4.18 se observa la conexión entre los pines del controlador Arduino UNO y los módulos necesarios para crear el nodo repetidor además del bloque de alimentación y la antena que se incorpora en el conector u.fl.

4.6.3 Rediseño de la red

La red sigue manteniendo su forma híbrida con la única diferencia de que entre el nodo coordinador y nodos sensores se colocarán los nodos repetidores en postes a través de este tramo de carretera. Este cambio se realizó en las 3 zonas por lo que en la mayoría de los casos no solo se probó la cantidad necesaria para tener un solo camino de conexión con el nodo coordinador sino que para no depender solo de un camino desde los nodos sensores hacia el coordinador, se plantea el uso de más nodos repetidores los cuales serán de mucha ayuda, en caso de que exista alguna falla en cualquiera de los otros repetidores. De esa forma la red asegura redundancia y eficiencia.

En la Figura 4.19 se presenta el diagrama de bloques del diseño total de la red modificado con la inclusión del nodo repetidor.

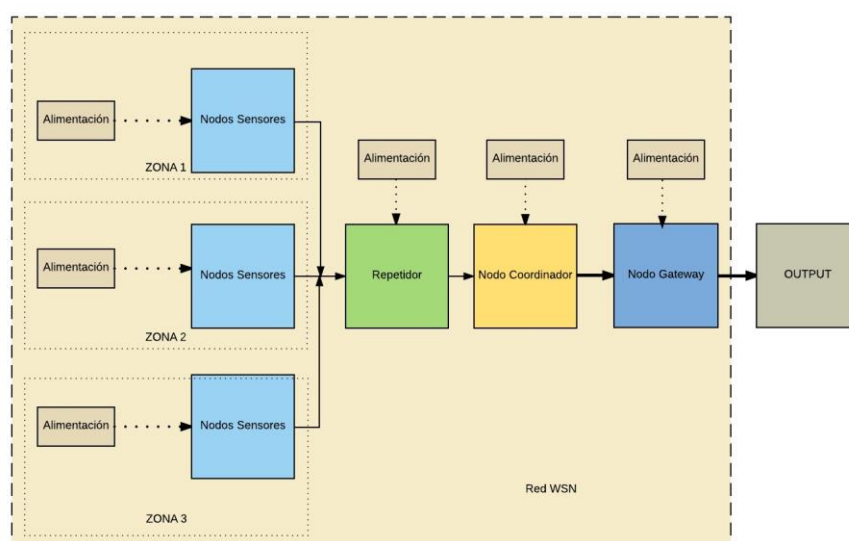


Figura: 4.19 Diagrama final de los bloques del sistema

En la Figura 4.20 se muestra un esquema general del rediseño de la red con la inclusión de los nodos repetidores por cada zona hasta llegar al nodo coordinador que a su vez se conecta con el gateway hacia una salida a una red GSM, GPRS o EDGE.

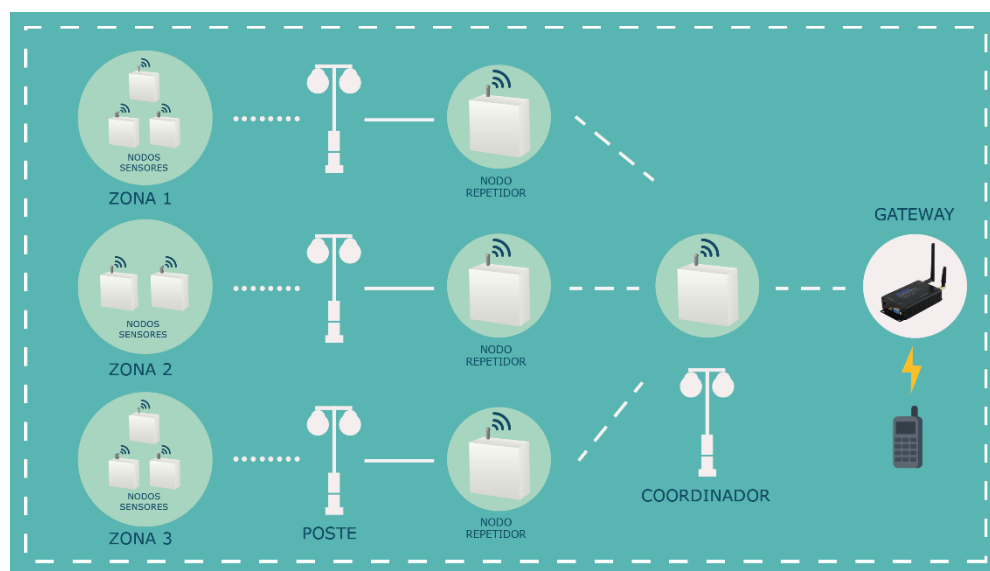


Figura 4.20 Esquema general de la red propuesta

4.6.4 Análisis y resultados con la inclusión de los nodos repetidores

Para las siguientes simulaciones realizadas en el software de Matlab se presenta un análisis con el peor y el mejor de los escenarios utilizando algunos nodos repetidores en los postes. El análisis en el peor de los escenarios se relaciona con una potencia de ruido de -78.5 dBm y el análisis en el mejor de los escenarios con una potencia de ruido de 87.5 dBm, basándose en el estándar IEEE 802.15.4. Se efectúa con cada uno de estos escenarios ya que se desea demostrar la conectividad en presencia de lluvia, neblina o polvo, factores que pueden afectar de manera negativa el rendimiento de la red (peor de los escenarios), y por otro lado en un escenario ideal, en ausencia de estos factores.

También se calcularán mediante un análisis estadístico, las probabilidades de que los nodos sensores y nodos repetidores tengan línea de vista con el coordinador y mantengan una relación señal versus ruido mayor a 3 dB ya que es el mínimo valor que permite el estándar Zigbee 802.15.4. Se demostrará finalmente el por qué se necesita el uso de repetidores.

4.6.5 Análisis zona 1 con nodos repetidores y potencia de ruido alta

En la Figura 4.21 con una potencia de ruido de -78.5 dBm se puede observar que existe conectividad entre los nodos sensores de la Zona 1 hasta los nodos repetidores del poste 1 y poste 2. También se observa que existe radioenlace entre repetidores adyacentes hasta llegar al nodo coordinador. Para llegar al nodo coordinador, los nodos sensores tienen varias rutas de conectividad de esa forma y con esa cantidad de nodos repetidores se asegura que los nodos sensores encuentren por lo menos un camino con el nodo coordinador ya que este no presenta una conexión directa con ellos.

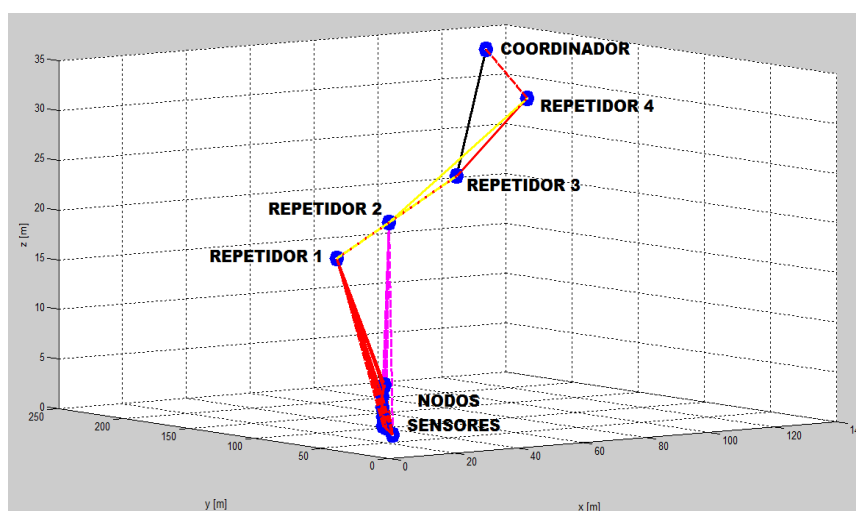


Figura 4.21: Vista 3D (Matlab) de las motas junto con 4 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 1 - $P_{\text{noise}}=-78.5$ dBm)

Mediante la función de distribución acumulada (Figura 4.22) se calculará la probabilidad de que el SNR tome un valor mayor a 3 dB, ya

que según el estándar Zigbee 802.15.4 es el valor mínimo permisible para que la comunicación supere al ruido existente.

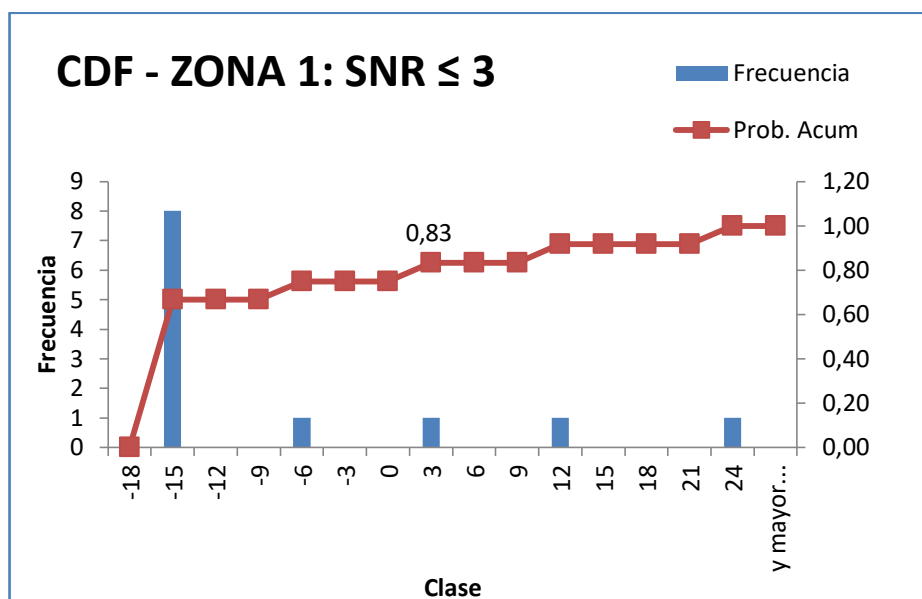


Figura 4.22: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 1 con el coordinador. (Pnoise=-78.5dBm)

La probabilidad que presenta la zona 1 para que exista conectividad con el coordinador con un SNR mayor a 3 dB es de $P(SNR \geq 3) = 1 - 0,83 = 0,17$ esto quiere decir que un 17% de los nodos tendrán conectividad con el nodo coordinador y este valor representa a los nodos repetidores 3 y 4 por lo tanto la comunicación para esta zona en las peores condiciones necesita obligatoriamente el uso de repetidoras para asegurar que los nodos sensores que pueden llegar a las repetidoras 1 y 2 lleguen a su vez a las repetidoras 3 y 4 y así mismo al nodo coordinador.

4.6.6 Análisis zona 2 con nodos repetidores y potencia de ruido alta

En la Figura 4.23 se observa que bajo las nuevas condiciones, los nodos sensores no encuentran al nodo coordinador directamente sino que deben ir por caminos adyacentes mediante las repetidoras 5 y 8, con este diseño se asegura más de un camino para llegar al nodo coordinador, transmitiendo a su vez con un valor de SNR alto.

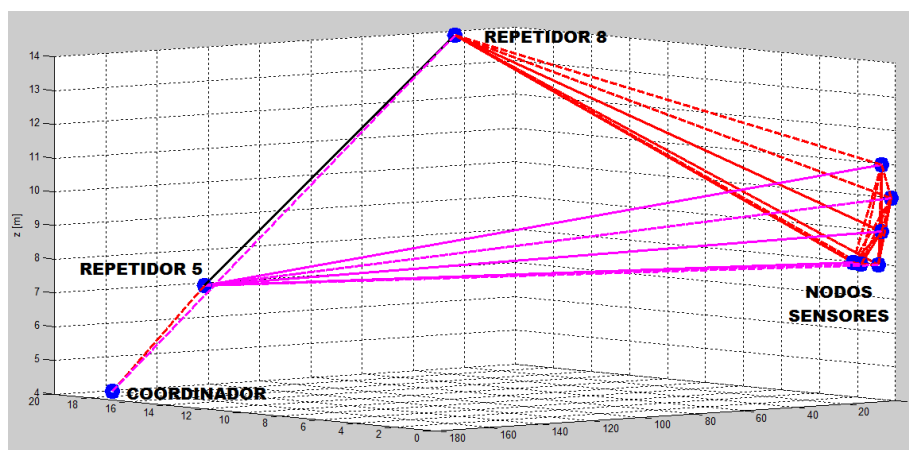


Figura 4.23: Vista 3D (Matlab) de las motas junto con 2 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 2 - $P_{noise} = -78.5\text{dBm}$)

Mediante la función de distribución acumulada se obtendrá la probabilidad de que los nodos sensores y nodos repetidores lleguen al coordinador con un SNR mayor a 3 dB valor mínimo permitido por el estándar Zigbee 802.15.4.

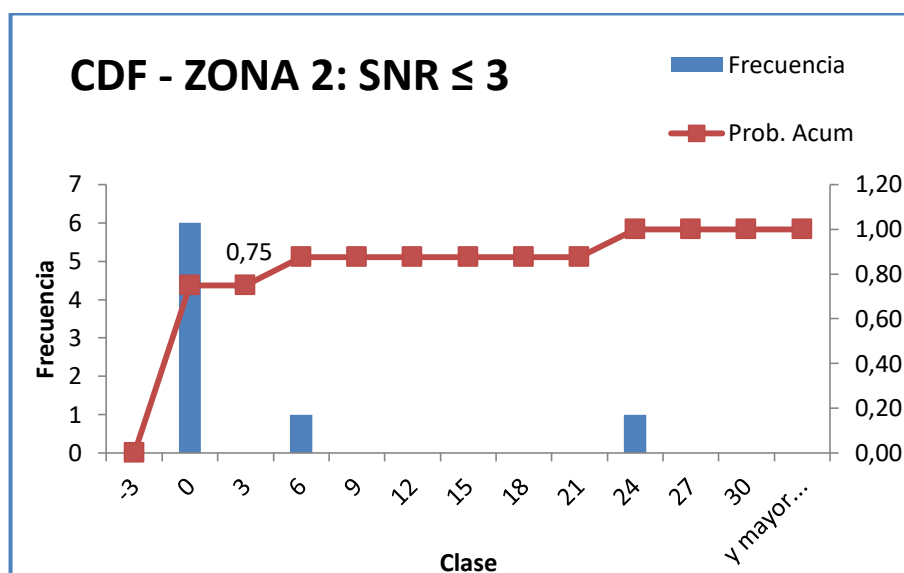


Figura 4.24: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 2 con el coordinador ($P_{noise} = -78.5\text{dBm}$)

Se observa en la Figura 4.24 que la probabilidad para que el SNR sea mayor a 3 es de $P(SNR \geq 3) = 1 - 0,75 = 0,25$ es decir que el 25% de los nodos que poseen un SNR mayor a 3 dB son representados por las

repetidoras 5 y 8, ya que los nodos sensores no poseen conexión directa con el nodo coordinador y de esta manera se justifica que el uso de repetidoras es una eficiente alternativa para que los nodos sensores lleguen al nodo coordinador.

4.6.7 Análisis zona 3 con nodos repetidores y potencia de ruido alta

Para la potencia de ruido de -78.5 dBm como se observa en la Figura 4.25 los nodos sensores no tienen conectividad directa con el nodo coordinador y necesitan de nodos repetidores para poder llegar a él. Así mismo, en comparación a los resultados obtenidos en condiciones ideales las conexiones para este caso tienen valores de SNR menores.

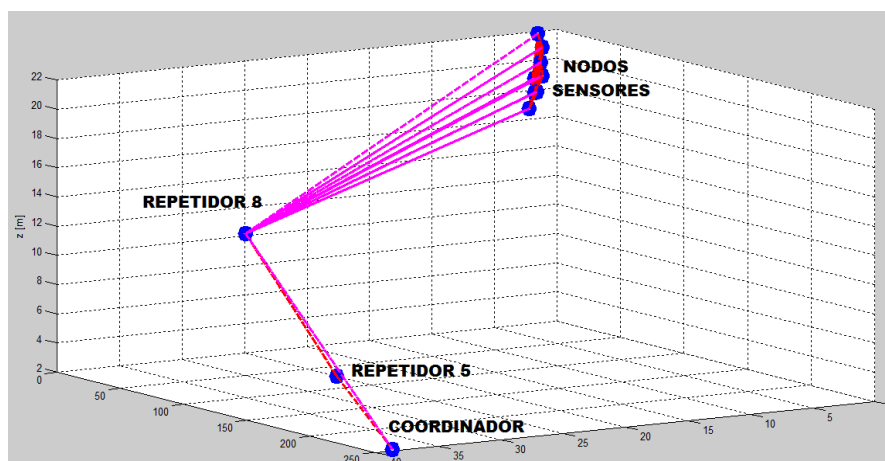


Figura 4.25: Vista 3D (Matlab) de las motas junto con 2 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 3 - Pnoise= -78.5 dBm)

Con la función de distribución acumulada se probará que para esta zona serán necesarios los repetidores. Se observa en la Figura 4.26 que la probabilidad de que el SNR sea menor a 3 dB es de 0.8 por lo tanto para obtener la probabilidad de que el SNR sea mayor e igual se tendría lo siguiente $P(SNR \geq 3) = 1 - 0.8 = 0.2$, lo cual se traduce en que tan solo el 20% representado por los nodos repetidores de la zona 3 pueden llegar al coordinador, esto justifica el uso de estos nodos para asegurar un camino alternativo desde los nodos sensores al nodo coordinador ya que entre ellos no existe una conexión directa.

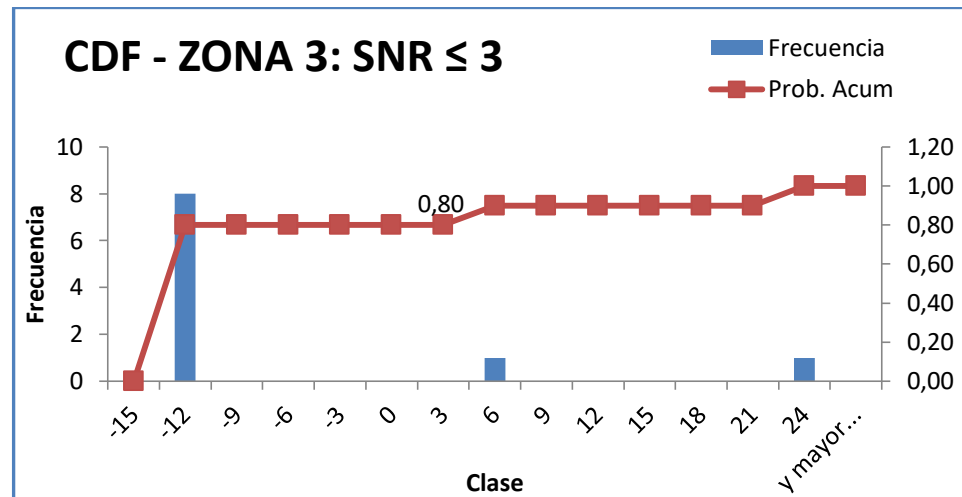


Figura 4.26: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 3 con el coordinador ($P_{\text{noise}} = -78.5 \text{ dBm}$)

4.6.8 Análisis zona 1 con nodos repetidores y potencia de ruido baja

Las siguientes gráficas corresponderán a los resultados de las simulaciones para la zona 1. Con una potencia de ruido de -87.5 dBm que se puede traducir como un escenario ideal, con ausencia de lluvia, polvo o neblina se tiene lo siguiente:

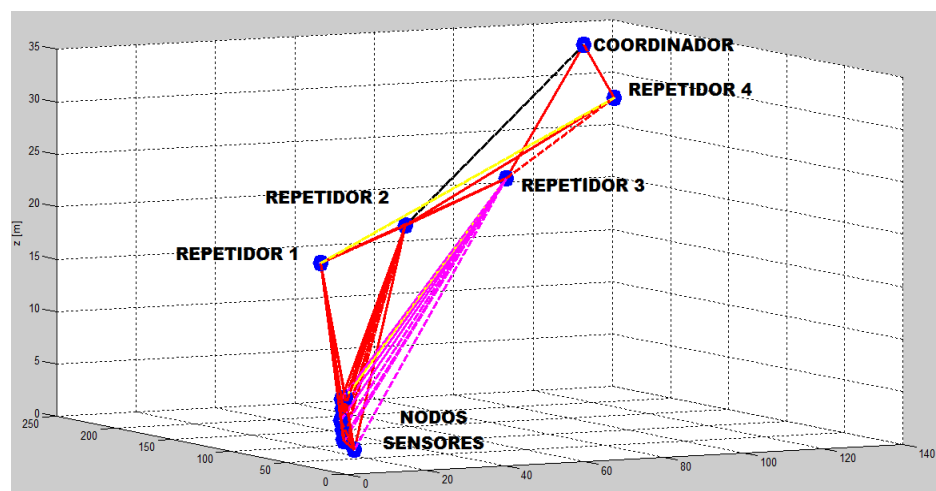


Figura 4.27 Vista 3D (Matlab) de las motas junto con 4 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 1 / $P_{\text{noise}} = -87.5 \text{ dBm}$)

En la Figura 4.27 con una potencia de ruido de -87.5 dBm se puede observar que los nodos sensores de la zona 1 presentan conectividad

hasta las repetidoras 1, 2, 3 y 4 con capacidades de canal de 250 kbps hasta de 2 Mbps. Se observa también que los repetidores tienen línea de vista con el nodo coordinador y que aportarán con caminos redundantes cuando alguno de ellos falle ya que por cualquier camino el nodo sensor puede encontrar al nodo coordinador.

Mediante la herramienta estadística de la Función de Distribución Acumulada llamada también CDF, se podrá calcular la probabilidad que existe para que los nodos tanto sensores como repetidores lleguen al coordinador, y se la podrá obtener gráficamente.

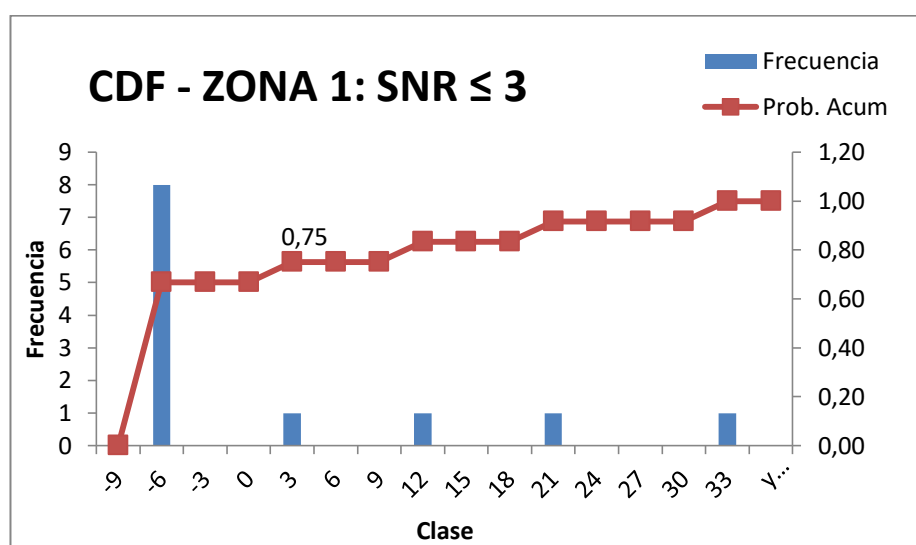


Figura 4.28: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 1 con el coordinador ($P_{noise} = -87.5$ dBm)

Se observa en la Figura 4.28 que la probabilidad que presenta la zona 1 para que exista conectividad con el coordinador con un SNR mayor a 3 dB es de $P(SNR \geq 3) = 1 - P(SNR \leq 3) = 1 - F(3) = 1 - 0,75 = 0,25$ y esto es equivalente al 25% de los nodos que conforman la zona 1. Se comprueba entonces que los nodos encontrarán más de un camino para llegar al coordinador bajo estas condiciones y que el uso de repetidoras forma un camino de respaldo para cuando alguno de los nodos falle o varíen algunos de los factores del escenario como el clima y que esto afecte a la conectividad de una forma negativa.

4.6.9 Análisis zona 2 con nodos repetidores y potencia de ruido baja

Para los siguientes resultados se analizará la Zona 2, en la Figura 4.29 se muestra la conectividad de los nodos sensores al coordinador con potencia de ruido de -87.5 dBm.

Para este caso, se ubicaron dos nodos repetidores para asegurar que los nodos sensores llegarán al coordinador, se puede observar que el “repetidor 5” asegura la conectividad con el coordinador con una capacidad de canal de 2 Mbps, valor suficiente para transmitir con el módulo transceptor escogido. También se observa que el Repetidor 6 permite tener un camino adicional desde los nodos sensores hacia el coordinador, suscitando la redundancia de la red.

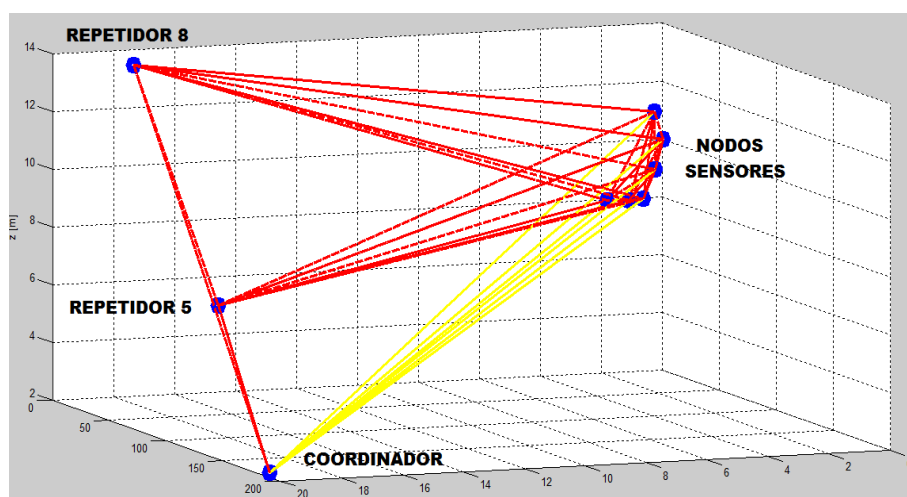


Figura 4.29: Vista 3D (Matlab) de las motas junto con 2 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 2 / Pnoise= -87.5dBm)

En la Figura 4.30 se mostrará la probabilidad de que los nodos se conecten con el nodo coordinador para un valor de señal vs ruido mínimo según el estándar Zigbee 802.15.4. Al obtener la probabilidad de que el SNR sea mayor a 3 dB se obtiene lo siguiente $P(SNR \geq 3) = 1 - 0 = 1$, lo cual representa que el 100% de los nodos que conforman la zona 2 tendrán conectividad con el nodo coordinador al trabajar con valores de SNR mayores a 3dB, esto no es problema para el módulo

transceptor escogido XBee Series 2 Pro, sin embargo el sistema está sujeto a cambios y se podría trabajar con módulos con mayor capacidad de transmisión ya que el escenario de análisis será el mismo.

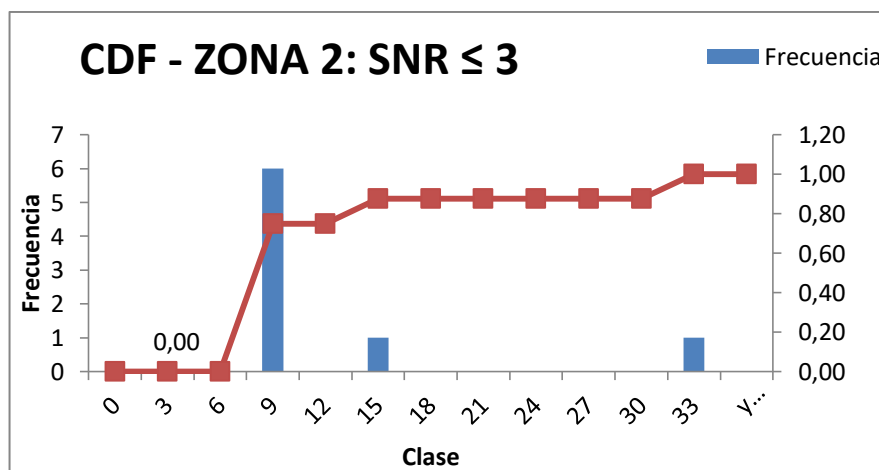


Figura 4.30: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 2 con el coordinador ($P_{\text{noise}}=-87.5\text{dBm}$)

4.6.10 Análisis zona 3 con nodos repetidores y potencia de ruido baja

Para la misma potencia de ruido de -87.5 dBm se analizará el rendimiento de la red para la Zona 3, en la Figura 4.31 se muestra la conectividad de los nodos sensores con el coordinador. Se observa también que los nodos repetidores ofrecen dos caminos de respaldo para llegar al nodo coordinador, por lo tanto los nodos sensores encontrarán más de un camino para llegar al nodo coordinador con un SNR mayor a 12 dB, sin embargo esta potencia de ruido presenta el mejor de los escenarios según el estándar Zigbee por lo que se debe tomar en cuenta que con otros valores de potencia la cantidad de repetidoras podrían variar.

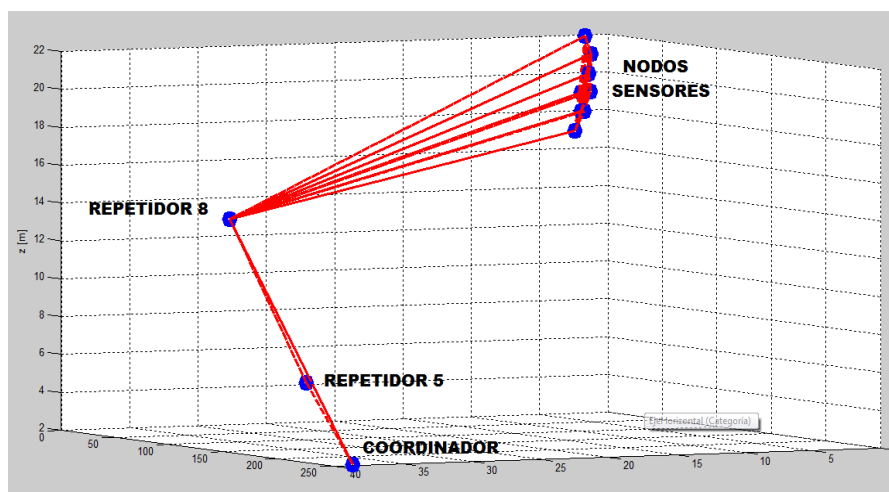


Figura 4.31: Vista 3D (Matlab) de las motas junto con 2 nodos repetidores y el nodo coordinador (Zona 3 / Pnoise=-87.5dBm)

En la Figura 4.32 se tiene que la probabilidad de que la zona 3 trabaje con un SNR mayor o igual a 3 dB es: $P(SNR \geq 3) = 1 - 0.80 = 0.20$, es decir que solo un 20% representa a los nodos que pueden llegar a transmitir con un SNR mayor a 3 dB como este porcentaje es pequeño se demuestra la necesidad de utilizar repetidoras como protección ante la pérdida de conectividad, es por esto que se han incluido dos repetidoras que aseguren un camino desde los nodos sensores al nodo coordinador ya que para esta zona los nodos sensores no presentan una conexión directa con el nodo coordinador.

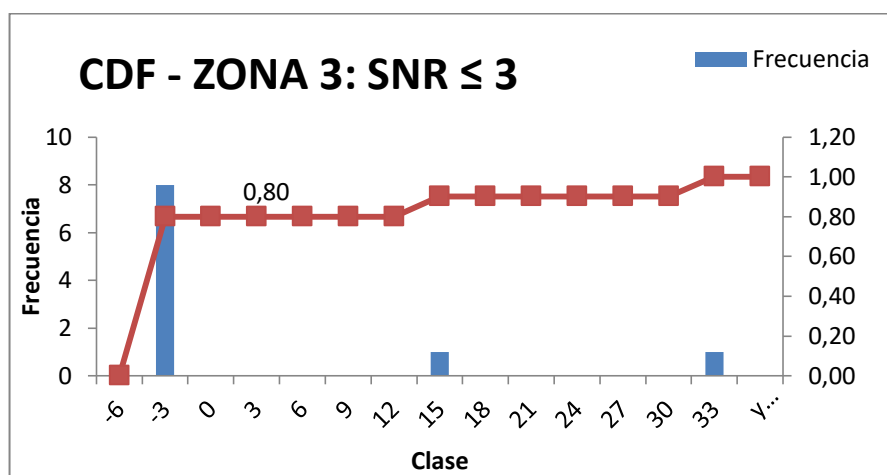


Figura 4.32: Función de distribución acumulada del SNR de la zona 3 con el coordinador (Pnoise=-87.5dBm)

4.7 Análisis Estadístico Comparativo

Finalmente, para tener una mejor apreciación de los análisis para cada uno de los casos simulados en el diseño de red propuesto, se comparó cada variación en los escenarios (con potencia de ruido alta y baja) con y sin nodos repetidores, presentando el porcentaje de nodos que tienen conectividad con el nodo coordinador con un SNR mayor a 3dB para cada uno de los casos.

En la Figura 4.33 se puede apreciar las funciones de distribución acumulada con y sin nodos repetidores para el peor de los escenarios (con potencia de ruido de -78,5dBm). Se observa que el porcentaje de los nodos de la red que presentarán una conectividad con el nodo coordinador con un SNR mayor a 3dB, aumenta en un 23% para el peor de los escenarios con la presencia de los nodos repetidores.

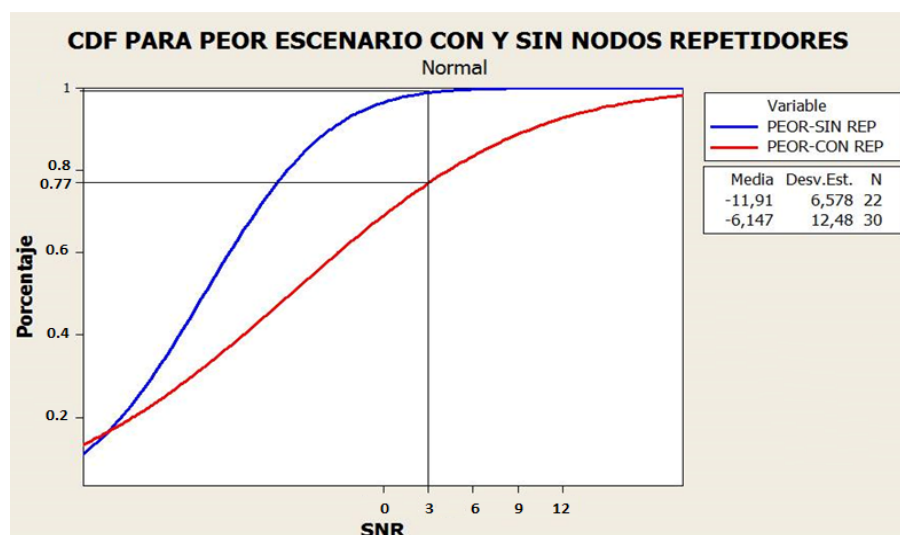


Figura 4.33: Funciones de distribución acumulativa para el peor de los escenarios ($P_{noise}=-78,5\text{dBm}$) con y sin nodos repetidores.

En la Figura 4.34 se puede apreciar las funciones de distribución acumulada con y sin nodos repetidores para un escenario ideal con una potencia de ruido medio de -83 dBm. Se observa que el porcentaje de los nodos de la red que presentarán una conectividad con el nodo coordinador

con un SNR mayor a 3dB, aumenta en un 40% para un escenario ideal con la presencia de los nodos repetidores.

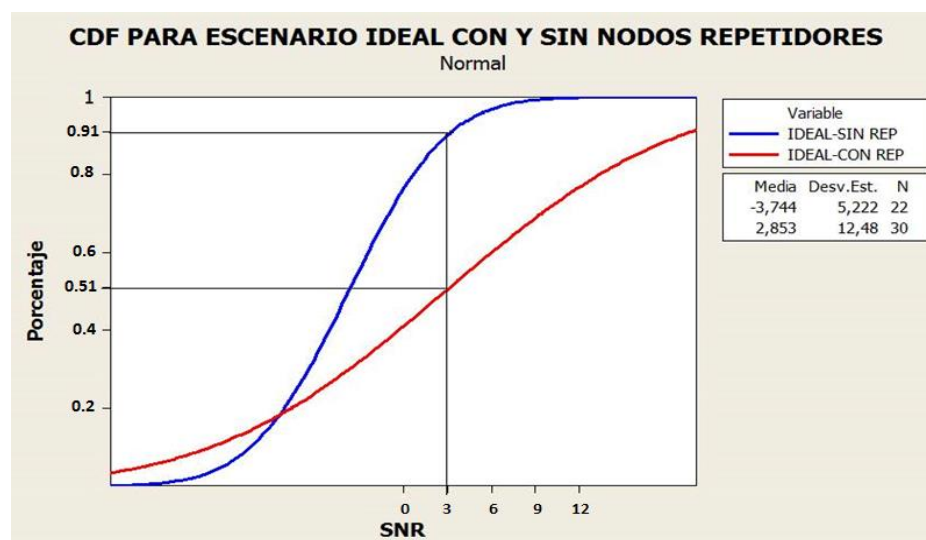


Figura 4.34: Funciones de distribución acumulativa para un escenario ideal ($P_{\text{noise}} = -87,5\text{dBm}$), con y sin nodos repetidores.

4.8 Análisis de Presupuesto con nodos existentes en el mercado

La compañía internacional española Libelium es conocida por producir y comercializar hardware y kits de desarrollo en software para aplicaciones de redes de sensores inalámbricos. En este subcapítulo se realizará una comparativa entre los elementos que constituyen la red propuesta y los dispositivos que ofrece la compañía Libelium en cuanto a sus precios.

Se debe recordar que una de las características de la red es su capacidad de crecer en un futuro por lo tanto cada uno de los valores de estos nodos deberán ser multiplicados a su vez por la cantidad real a utilizar. Adicionalmente a estos valores se debe añadir costos operacionales como por ejemplo instalación, mano de obra, programación entre otros.

El presente diseño es personalizado y se adapta estrictamente a las necesidades que se presentan, en comparación con nodos prediseñados de empresas que incluyen componentes más sofisticados y por ende

menos económicos para el desarrollo de este tipo de red para la detección de deslizamientos de tierra.

En la Tabla 7 se analizarán los costos totales de inversión y costo anual para cada red.

| COSTO DE INVERSIÓN DISEÑO PROPUESTO | | | | COSTO DE INVERSIÓN LIBELIUM | | | |
|-------------------------------------|-----|-------------|--------------------|---------------------------------|-----|-------------|---------------------|
| COMPONENTES DE LA RED | QTY | PU | PT | COMPONENTES DE LA RED | QTY | PU | PT |
| NODO SENSOR | 22 | \$ 156,00 | \$ 3.432,00 | NODO SENSOR | 22 | \$ 542,00 | \$ 11.924,00 |
| NODO COORDINADOR | 1 | \$ 179,00 | \$ 179,00 | NODO COORDINADOR | 1 | \$ 530,00 | \$ 530,00 |
| REPETIDOR | 9 | \$ 148,00 | \$ 1.332,00 | REPETIDOR | 9 | \$ 490,00 | \$ 4.410,00 |
| GATEWAY | 1 | \$ 500,00 | \$ 500,00 | GATEWAY | 1 | \$ 1.540,00 | \$ 1.540,00 |
| TOTAL EN COMPONENTES | | | \$ 5.443,00 | TOTAL EN COMPONENTES | | | \$ 18.404,00 |
| MANO DE OBRA | QTY | PU | PT | SOPORTE | QTY | PU | PT |
| ING. TELECOMUNICACIONES | 2 | \$ 1.000,00 | \$ 2.000,00 | SOPORTE TÉCNICO LIBELIUM | 1 | \$ 2.000,00 | \$ 2.000,00 |
| ING. EN MINAS | 1 | \$ 800,00 | \$ 800,00 | TOTAL MANO DE OBRA | | | \$ 2.000,00 |
| TOTAL MANO DE OBRA | | | \$ 2.800,00 | | | | |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | COSTOS DE IMPORTACION LIBELIUM | | | |
| COMBUSTIBLE | 5 | \$ 20,00 | \$ 100,00 | IMPORTACION | 1 | \$ 1.701,66 | \$ 1.701,66 |
| | | | | IMPUESTOS | | \$ 8.049,77 | \$ 8.049,77 |
| | | | | | | | \$ 9.751,43 |
| TOTAL COSTO DE INVERSIÓN | | | \$ 8.343,00 | TOTAL COSTO DE INVERSIÓN | | | \$ 30.155,43 |
| VIDA ÚTIL DE LA RED | | | | VIDA ÚTIL DE LA RED | 2 | | 3 |
| COSTO ANUAL | | | \$ 4.171,50 | COSTO ANUAL | | | \$ 10.051,81 |

Tabla 7: Costos de inversión y costos anuales para el diseño de red propuesto y una red utilizando componentes de la compañía Libelium.

Con respecto a la Tabla 7 se observa que el costo de inversión del diseño propuesto es mucho más económico que el obtenido con la compañía Libelium, a pesar de que la vida útil de la red de la compañía Libelium es un año mejor sus costos de inversión siguen siendo grandes, además de que este costo aumentaría su valor cuando la red requiera mantenimiento o reemplazo de equipos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con ayuda de la tecnología ZigBee se logró diseñar una red de sensores formada por nodos dispuestos en una topología híbrida (malla y árbol) que garantiza al menos un camino entre nodos sensores y nodo coordinador. Los resultados demostraron que a medida que existe un aumento en la potencia de ruido, distancia y pérdidas multitrayecto, la conectividad de los nodos sensores con el nodo coordinador disminuye, ya que se observó que el 48% de los nodos de las tres zonas redujo su capacidad de transmisión a un SNR menor a 3dB cuando el análisis cambió a las peores condiciones.

En las simulaciones para un escenario ideal las zonas 1 y 3 presentaron un 0% de nodos que se conectan al nodo coordinador; esto no sucedió en la zona 2 que tuvo un 100% de nodos conectados al coordinador en condiciones ideales. Por lo tanto, una manera de remediar la pérdida de conectividad en cada zona es la inclusión de nodos repetidores que adicionen redundancia a la red. En caso de falla en uno de estos, habrá otros caminos de respaldo para que los sensores de cada zona se comuniquen con el nodo coordinador.

Los resultados obtenidos permitieron concretar un diseño de red donde los nodos repetidores garantizaron la conectividad en cada una de las variaciones del escenario presentado. Con la inclusión de los nodos repetidores, el porcentaje de nodos que se podrán conectar al nodo coordinador con un SNR mayor a 3 dB mejoró en un 23% y 40% para escenarios con potencia de ruido alta y baja, respectivamente como se observa en las Figuras 4.33 y 4.34.

Es recomendable cuantificar la ocurrencia de eventos con un análisis de estadística descriptiva para las diferentes variables que se pueda considerar en este tipo de red. Además de realizar un análisis de interferencia en las zonas de riesgos para poder conocer con mayor certeza los canales que estarían desocupados para la transmisión de datos.

Los nodos sensores deben encapsularse en cajas que los proteja del polvo, lluvia o de ser sustraídos por personas, por lo que es recomendable camuflarlo en formas de vegetación o roca. Además en cada uno estos nodos se pueden adicionar módulos GPS que indiquen donde ha ocurrido el deslave asimismo una vez que suceda el deslizamiento y los nodos estén sepultados se podrán localizarlos con la ayuda de los módulos.

Como una variación en los sensores se recomienda usar otros tipos de dispositivos en vez de los acelerómetros, como los sensores de vibración previamente calibrados ya que podrían alertar el movimiento de algún camión pesado y no el movimiento provocado por deslizamientos de tierra.

Se podría considerar los mismos parámetros y procedimientos del presente proyecto para realizar un análisis comparativo con motas ya diseñadas sobre su eficiencia y valor económico y además efectuar junto a profesionales de la ingeniería civil un estudio de los diferentes tipos de suelo en zonas de riesgos para identificar y plantear de una manera más óptima la ubicación de los nodos sensores.

Bibliografía

- [1] G. Mora y R. Rodríguez (2008), Historia y Actualidad - Explotación Minera Cantones Zaruma y Portovelo Provincia de El Oro [Online]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/111174997/Historia-y-Actualidad-explotación-minera-Cantones-Zaruma-y-Portovelo-Provincia-de-El-Oro>
- [2] A. Camacho, Plan de contingencia interinstitucional fenómeno El Niño 2015, 1st ed. Portovelo, 2015.
- [3] M. Cornejo, *Ecuador avanza en gestión de riesgos*, 1st ed. Quito, 2008.
- [4] C. Navarro, *Auscultación de laderas inestables en minería y obra civil*, 1st ed. Barcelona, 2016.
- [5] F. Sandoval, *La pequeña minería en el Ecuador*, 1st ed. Ecuador, 2016.
- [6] R. López, *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*, 1st ed. Portovelo, 2014.
- [7] M. Cornejo, D. Zorrilla, N. Bermúdez, J. Estacio and I. Arrazola, *Identificación del territorio del cantón Zaruma*, 1st ed. Loja, 2012.
- [8] SEDI / Organización de los Estados Americanos Washington, DC – Agosto 2008 Tecnologías de la Información y la Comunicación para la Mitigación de Desastres Naturales.
- [9] F. Ayala and L. Vadillo, *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*, 1st ed. Madrid.
- [10] C. Mataix, *Técnicas de vegetación de taludes*, 1st ed. Madrid.

[11] Oficina Económica y Cultural de Taipei en México. (2010, Octubre 8). Ayuda sensor de vibración taiwanés a detectar tempranamente deslizamientos de la tierra [Online]. Disponible en:

<http://www.roc-taiwan.org/MX/ct.asp?xItem=162449&ctNode=3967&mp=342>

[12] ARQHYS. (2013). Sensores de fibra óptica para prevenir derrumbes [Online]. Disponible en: <http://www.arqhys.com/casas/sensores-fibra-optica.html>

[13] J.A. Ramírez, J.A. Buitrago, J.I. Marín, “Sensores de larga distancia usando Zigbee para el monitoreo y la gestión del riesgo en el departamento de Quindío-Colombia”. Rev. Invest. Univ. Quindío, vol. 25, Feb. 2014.

[14] J. Hervás de Diego, “Tratamiento digital de imágenes de teledetección en el espectro óptico para el reconocimiento y control de deslizamientos”. V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Noviembre 2001.

[15] M. Antonio. (2015, Agosto 28). Nueva tecnología en la identificación de deslizamientos de tierra [Online]. Disponible en: <http://marcoah.com.ve/2015/08/nueva-tecnologia-en-la-identificacion-de-deslizamientos-de-tierra/>

[16] R. A. Bolaños, “Sistema de redes para la predicción y prevención de deslizamientos de tierra, Etapa 1: Modelado matemático del factor de seguridad”. Tecnológico Costa Rica, Junio 2012.

[17] M. Cornejo. (2012). Ecuador avanza en gestión de riesgos [Online]. Disponible en: http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/Logros-SGR_finalok.pdf

[18] C. J. Pesantes, “Evaluación y zonificación de riesgos geodinámicas en el distrito minero Zaruma-Portovelo”. ESPOL, 2007.

[19] REXENSE Technology, *RD5000 - ZigBee 2G/3G gateway*, USA, 2016.

[20] "Coordenadas conversión de latitud y longitud, GPS, sexagesimals decimales DD DM DMS KML ICBM", *Sunearthtools.com*. [Online]. Available: <http://www.sunearthtools.com/dp/tools/conversion.php?lang=es>. [Accessed: 07- Sep-2016].

[21]

"Extending 2.4GHz ZigBee Short-Range Radio Performance with Skyworks SKY65344/SKY6543 Front-End Modules", Skyworks Solutions, Inc., 2011.

[22] C. Reinoso, "Diseño y construcción de un prototipo de sistema de sensores inalámbricos para alerta temprana de deslaves", Ingeniero, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2013.

[23] M. Morales, "Especificación y verificación de un protocolo de comunicación tolerante a fallas de desconexión para aplicaciones colaborativas", Ingeniera, Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2015.

[23] J. Dignani, "Análisis del protocolo Zigbee", Universidad Nacional de La Plata, 2012.

[24] C. Jácome, "Diseño e implementación de un prototipo de red inalámbrica tipo MESH, para el monitoreo y control de riegos en una amplia gama de sectores y cultivos (agrícola o florícola) del cantón Pujilí barrio Danzapamba", Escuela Politécnica del Ejército, 2013.

ANEXOS

ANEXO 1

COORDENADAS DE LATITUD, LONGITUD Y LA ELEVACIÓN, DE CADA MOTA DE LAS 3 ZONAS, SUS PUNTO DE REFERENCIA Y EL NODO COORDINADOR DE LA RED

Zona1:

Mota 1: 3°42'41.19"S 79°37'27.02"O elev: 766m
Mota 2: 3°42'41.23"S 79°37'27.09"O elev: 764m
Mota 3: 3°42'41.13"S 79°37'27.00"O elev: 765m
Mota 4: 3°42'41.17"S 79°37'27.01"O elev: 763m
Mota 5: 3°42'41.09"S 79°37'26.98"O elev: 762m
Mota 6: 3°42'41.03"S 79°37'26.94"O elev: 766m
Mota 7: 3°42'41.10"S 79°37'26.58"O elev: 761m
Mota 8: 3°42'41.29"S 79°37'27.03"O elev: 762m
Referencia: 3°42'40.72"S 79°37'26.86"O elev: 759m

Zona 2:

Mota 1: 3°42'27.60"S 79°37'22.31"O elev: 801m
Mota 2: 3°42'27.56"S 79°37'22.30"O elev: 800m
Mota 3: 3°42'27.61"S 79°37'22.31"O elev: 799m
Mota 4: 3°42'27.57"S 79°37'22.32"O elev: 798m
Mota 5: 3°42'27.59"S 79°37'22.36"O elev: 798m
Mota 6: 3°42'27.65"S 79°37'22.34"O elev: 798m
Referencia: 3°42'27.66"S 79°37'22.30"O elev: 790m

Zona 3:

Mota 1: 3°42'25.38"S 79°37'21.76"O elev: 812m
Mota 2: 3°42'25.33"S 79°37'21.74"O elev: 811m
Mota 3: 3°42'25.36"S 79°37'21.75"O elev: 810m
Mota 4: 3°42'25.41"S 79°37'21.77"O elev: 809m
Mota 5: 3°42'25.32"S 79°37'21.74"O elev: 809m
Mota 6: 3°42'25.37"S 79°37'21.76"O elev: 808m
Mota 7: 3°42'25.41"S 79°37'21.77"O elev: 808m
Mota 8: 3°42'25.45"S 79°37'21.79"O elev: 807m
Referencia: 3°42'25.20"S 79°37'21.69"O elev: 790m

Coordinador:

3°42'33.61"S 79°37'22.86"O elev: 792m

ANEXO 2

CÓDIGO EN MATLAB PARA LA SIMULACIÓN DE CONECTIVIDAD DE LOS NODOS

```

%% Número de Sensores: TRES ZONAS %%
num_ap=13; % Numero sensores de la zona 1(8 MOTAS, 4 REPETIDORES Y
COORD)
num_ap=9; % Numero sensores de la zona 2(6 MOTAS, 2 REPETIDORES Y
%COORD)%
num_ap=11; % Numero sensores de la zona 3 (8 MOTAS)
num_ap=34; % Numero nodos TOTALES

%% POSICIONES EN ZONA 1, 2, 3
% POSICIONES EN ZONA 1
P=[ 1.01 7.08 7 ; 0.34 5.86 5 ; 1.57 8.95 6 ; 1.34 7.74 4 ; 2.24
10.17 3 ; 3.46 12.05 7 ; 5.01 9.83 2 ; 0.67 4.09 3 ;17.46 82.01 18;
50.51 121.88 20; 85.88 156.20 23; 125.26 198.06 29; 129.66 239.73 33
];
% POSICIONES EN ZONA 2
P= [0.34 2.76 11; 0.01 1.55 10; 0.34 2.99 9; 0.67 1.77 8; 1.89 2.43
8; 1.23 4.31 8;19.3 126.79 7; 18.6 34.03 14;19.62 180.27 2];
%POSICIONES EN ZONA 3
P=[2.12 5.53 22; 1.56 3.98 21; 1.79 4.86 20; 2.45 6.41 19; 1.56
3.65 19; 2.12 5.19 18; 2.45 6.41 18; 3.01 7.63 17; 38.18 201.75 6;
37.49 122.98 14; 38.49 248.23 2];
P=P';
Pt=18; %[dBm]
Gt=5; %[dBi]
Gr=5; %[dBi]
f=2405; %[MHz]
Pnoise=-83; %[dBm]
plot3(P(1,:),P(2,:),P(3,:), 'bo','MarkerSize',10,'LineWidth',6) %%
Graficar los AP en el espacio
xlabel('x [m]'),ylabel('y [m]'),zlabel('z [m]'); grid on; hold on
%% Determinar las distancias %%
% dmax=6;
d=zeros(num_ap,num_ap);% el tama?o de esta matriz depende de la
cantidad de puntos que representen a los sensores.
for i=1:num_ap
    for j=1:num_ap
        d(i,j)=sqrt((P(1,i)-P(1,j)).^2+(P(2,i)-P(2,j)).^2+(P(3,i)-
P(3,j)).^2);
    end
end
end
%% Determinar perdidas de propagación Modelo ITU%%
%Pérdida en el espacio libre para sistemas compatibles con Zigbee
802.15.4

%L_0=64.71 %[db]; %promedio por zona

```

```

%para zona 1= 64.71
%para zona 2= 61.67
%para zona 3= 64.71

for i=1:num_ap
    for j=1:num_ap
        %Pérdidas del modelo de Propagación cercano a ITU
        L(i,j)=-(L_0 + (0.2*(f^0.3)*(d(i,j)^0.6)));
        end
    end
    %% Determinar Capacidad de Canal %%
    Pr=Pt+Gt+Gr+L; %[dB]
    S_N=Pr-Pnoise; %%Se obtiene el SNR característico del diseño
    %%El estándar (IEE 802.15.4) permite 4 valores de SNR para
    transmitir sin ruido
    S_N_1=3;
    S_N_2=6;
    S_N_3=9;
    S_N_4=12;
    B=3e6; %%Ancho de Banda para sistema Zigbee
    sp_f=8; %Factor espectro ensanchado más utilizado
    %% Velocidad de datos respecto al SNR obtenido %%
    for i=1:num_ap
        for j=1:num_ap
            if (i==j)
                CC(i,j)=0;
            elseif (S_N(i,j)>=3 && S_N(i,j)<6)
                CC(i,j)=250;
                plot3([P(1,i) P(1,j)], [P(2,i) P(2,j)], [P(3,i) P(3,j)], '-
-m', 'LineWidth', 2.5), hold on %magenta
            elseif (S_N(i,j)>=6 && S_N(i,j)<9)
                CC(i,j)=500;
                plot3([P(1,i) P(1,j)], [P(2,i) P(2,j)], [P(3,i) P(3,j)], '-
-y', 'LineWidth', 2.5), hold on %amarillo
            elseif (S_N(i,j)>=9 && S_N(i,j)<12)
                CC(i,j)=1000;
                plot3([P(1,i) P(1,j)], [P(2,i) P(2,j)], [P(3,i) P(3,j)], '-
-k', 'LineWidth', 2.5), hold on %negro
            elseif (S_N(i,j)>=12)
                CC(i,j)=2000;
                plot3([P(1,i) P(1,j)], [P(2,i) P(2,j)], [P(3,i)
P(3,j)], '--r', 'LineWidth', 2.5), hold on %rojo
            else
                CC(i,j)=0;
            end
        end
    end
end

```

ANEXO 3

NOTICIAS SOBRE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN EL CANTÓN
PORTOVELO

www.ecuavisa.com/articulo/noticias/nacional/55333-deslizamientos-tierra-cubrio-cementerio-portovelo-oro

Deslizamientos de tierra cubrió cementerio de Portovelo en El Oro

MARTES 11 DE MARZO DE 2014 12:18 PM



El fin de semana las lluvias causaron deslaves que dejaron dos casas destruidas en el mismo sector.

Compartir

Los deslizamientos de tierra a causa de las lluvias, provocan estragos en Portovelo, en la provincia de El Oro. El cementerio de esa localidad fue uno de los afectados.

www.ecuavisa.com/articulo/noticias/nacional/55333-deslizamientos-tierra-cubrio-cementerio-portovelo-oro

Compartir

Los deslizamientos de tierra a causa de las lluvias, provocan estragos en Portovelo, en la provincia de El Oro. El cementerio de esa localidad fue uno de los afectados.

Maribel Rojas, habitante del sector, visitó el campo santo para constatar los daños que dejó el lodo en las tumbas: "Está bajando mucha tierra y nuestras familiares están ahí", dijo con preocupación por el desastre que dejó el paso de la lluvia.

El deslizamiento de tierra producido por la acumulación de material aurífero de una escombrera situada en la parte superior del cementerio, causó el deterioro en más de una veintena de bóvedas.

Sorprendidos quedaron los familiares al ver piedras y palos sobre las tumbas de sus seres queridos. Entre lágrimas, Dolores Romero dijo que este fenómeno se repite todos los años: "Dicen que esta minado esto por dentro que están hundiéndose los cadáveres".

Mientras tanto, Ramiro Camacho, comandante del Cuerpo de Bomberos de Portovelo indicó que 4.000 familias se quedaron sin el líquido vital desde hace 72 horas debido a que maquinaria pesada de una compañía minera ingresó al canal y dañó las paredes laterales del acueducto.

"La gente está preocupada ante esta situación y viendo que las autoridades hasta el momento no manifiestan que día va a regularizarse", señaló Camacho.

Las familias esperan en las veredas con tanques, ollas y baldes a una de las tres motobombas que entregan agua puerta a puerta. Mientras un equipo de obreros del Municipio trabaja en la reparación de la planta de agua.

ETIQUETAS

PORTOVELO EL ORO DESLIZAMIENTO DE TIERRA DERRUMBE

www.ecuavisa.com/articulo/noticias/nacional/76726-deslaves-portovelo-deja-6-familias-evacuadas-acceso-cerrada


NOTICIAS
DEPORTES
ENTRETENIMIENTO

DESTACADOS
INFORME A LA NACIÓN
MEDIDAS ECONÓMICAS
DILMA ROUSSEFF

NOTICIAS

ACTUALIDAD
NACIONAL
INTERNACIONAL
SOCIEDAD

Lo último de Nacional



CORREA CONFÍA EN TRIUNFO ELECTORAL QUE PERMITA A PAÍS MANTENER EL PODER



EL CRUDO SUBE TRAS CUMBRE DE OPEP Y MERMA DE LOS STOCKS DE EE.UU.



EL GALLO DE FAMOSO HINCHA FRANCÉS NO PODRÁ ENTRAR A ESTADIOS EN EUROCOPA

Deslaves en Portovelo deja 6 familias evacuadas y la vía de acceso cerrada

MIÉRCOLES 20 DE AGOSTO DE 2014 04:55 PM



LO MÁS




NACIONAL
GOBIERNO ECUATORIANO SATISFACIDO

www.ecuavisa.com/articulo/noticias/nacional/76726-deslaves-portovelo-deja-6-familias-evacuadas-acceso-cerrada



Compartir     

La tierra del cerro San José en Portovelo, provincia de El Oro, sigue deslizándose; esta vez, varias familias tuvieron que ser evacuadas.

Los deslizamientos de tierra, palos y piedras mantienen alarmados a los habitantes del sector Curipamba. Miguel Freire cuenta que a las 04H00 tuvo que abandonar su casa por el riesgo de que su familia sea aplastada por los constantes deslaves. "Se sentía lo que se desprendía, había un estruendo y las piedras grandes caían al lado de la esquina de la casa".

En las faldas del cerro San José habitan 25 familias, seis de ellas fueron evacuadas a los hogares de familiares y una fue albergada en la casa comunal de la localidad. Los enseres y animales domésticos también fueron trasladados a otro sitio por el personal del Cuerpo de Bomberos, debido al riesgo de los derrumbes.

El Comité de Operaciones de Emergencia (COE) cantonal activó dos mesas de trabajo; mientras la maquinaria municipal realiza labores de limpieza en el sector.

Debido a la inestabilidad de la tierra, se mantiene cerrado el paso por la vía Portovelo-Salati, así lo dio a conocer Ramiro Camacho, comandante del Cuerpo de Bomberos de Portovelo. "Se está hablando posiblemente de alguna falla que tenga la parte superior del cerro, eso lo dictaminarían los ingenieros profesionales en esta situación".

Las familias del sector piden que se suspendan los trabajos de ampliación de la vía para que se garantice su seguridad, mientras un equipo técnico del Municipio realiza un recorrido para determinar las causas de los deslaves y la magnitud del riesgo.

 **ETIQUETAS:**

LO MÁS




Portable

Ma

ANEXO 4

PRECIOS DE EQUIPOS LIBELIUM PRESENTES EN EL MERCADO

| 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 € |

Models

| 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 € |

ANEXO 5

GLOSARIO

| | |
|------------------|---|
| TIC | (Tecnologías de la Información y la Comunicación) |
| SADCO | (South American Development Company) |
| CIMA | (Compañía Industrial Minera Asociada) |
| COE | (Comité de Operaciones de Emergencias) |
| LIDAR | (Light Detection and Ranging) |
| SPI | (Serial Peripheral Interface) |
| I ² C | (Inter-Integrated Circuit) |
| Hz | (Hertz) |
| KHz | (Kilohertz) |
| MHz | (Megahertz) |
| GHz | (Gigahertz) |
| MAC | (Media Access Control) |
| IEEE | (Institute of Electrical and Electronics Engineers) |
| API | (Application Programming Interface) |
| RF | (Radiofrecuencia) |
| dBm | (decibelio-milivatio) |
| mW | (megavatio) |
| RS232 | (Recommended Standard 232) |
| UTM | (Universal Transverse Mercator) |
| GSM | (Global System for Mobile) |
| GPRS | (General Packet Radio Service) |
| EDGE | (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) |
| SMS | (Short Message Service) |
| WCDMA | (Wideband Code Division Multiple Access) |
| LIPO | (Litio y Polímero) |
| SNR | (Signal to Noise Ratio) |
| WPAN | (Wireless Personal Area Network) |
| ISM | (Industrial, Scientific and Medical) |
| OSI | (Open System Interconnection) |