

Instituto Tecnológico de Costa Rica

**Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene
Ambiental**

Informe Final

**Sistema de monitoreo y alerta ante deslizamientos y
deslaves en la comunidad de Jucó de Orosi**

Investigadores:

Ing. Jorge Chaves Arce. M.Sc.
Escuela de Ingeniería en Seguridad
Ing. Nestor Hernández H.
Ing. Marvin Hernández .
Escuela de Ingeniería Electrónica

Período de Ejecución

2010 -2011

Tabla de contenido

1. Resumen	1
2. Introducción	2
3. Objetivos	5
4. Metodología	5
5. Resultados y discusión	6
6. Conclusiones y recomendaciones	15
7. Agradecimiento	17
8. Bibliografía	18
9. Apéndices	20

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Principales variables asociadas a la ocurrencia de deslizamientos.....	7
Cuadro 2 Niveles de alerta en función del factor de seguridad.....	14

Índice de figuras

Figura 1: Vista aerea de la comunidad de Jucó.....	3
Figura 2: Flujos de lodo en la comunidad de Jucó, 2003	4
Figura 3. Deslizamiento con superficie de falla plana	8
Figura 4. Componentes de la pendiente.....	8
Figura 5. Componentes de la pendiente sin presión de poro.....	9
Figura 6. Parámetros de la pendiente.....	10
Figura 7. Parámetros de la pendiente infinita con presión de poros.....	11

Actividad para el fortalecimiento de la investigación y la
extensión

Sistema de monitoreo y alerta ante deslizamientos y
deslaves

AUTORES Y DIRECCIONES

ING. JORGE CHAVES ARCE, M.SC. JCHAVES@ITCR.AC.CR.

ING. NESTOR HERNÁNDEZ NHERNANDEZ@ITCR.AC.CR

ING. MARVIN HERNÁNDEZ MARHERNANDEZ@ITCR.AC.CR

Resumen:

La comunidad de Jucó ubicada en el Valle de Orosí, de acuerdo con el registro histórico de eventos y al criterio de expertos y académicos, se encuentra expuesta a un alto riesgo de sufrir deslizamientos y deslaves de tierra. Es por tanto que el objetivo de este proyecto es proponer un sistema de monitoreo y alerta ante deslizamientos y deslaves que permita alertar a la población ubicada en las zonas de posible impacto de estos eventos. Por medio de la utilización de sensores se miden las variables que determinan la probabilidad de deslizamiento y además se propone la implementación de una red inalámbrica para enviar los datos de los diferentes sensores a una unidad de control ubicada en una zona segura. Con la inclusión de los datos monitoreados en un modelo matemático, se determina la probabilidad de deslizamientos o bien el movimiento del terreno y se alerta a la población.

Palabras claves: deslizamientos, deslaves, red inalámbrica, sistema de monitoreo

Abstrac

JUCO community located in the Orosi Valley , according to the historical record of events and the criteria of experts, is exposed to high risk of landslides and mudslides . It is therefore the *objective of this project is to propose a monitoring and alert for landslides and mudslides that allows alert the population in areas of potential impact of these events* . Through the use of sensors that determine the probability variables slide are measured and also the implementation of a wireless network is proposed to send the data from the different sensors to a control unit located in a secure area. With the inclusion of the monitored data into a mathematical model , the probability of landslides or ground motion is determined and public warning .

Keywords : landslides, mudslides , wireless network monitoring system

1. Introducción

El 31 de agosto del 2002 a la 1:45 a.m. en la comunidad de Orosi, Paraíso – Cartago y luego de varios días de intensos aguaceros, un deslizamiento y posterior deslave cobró la vida de 7 personas y prácticamente desapareció un caserío conocido como Altos de Loaiza, destruyendo 13 de las 20 viviendas existentes en ese lugar (Arguedas, 2002) . Este evento además de la emergencia que originó, obligó a realizar una serie de valoraciones en las montañas cercanas a los diferentes caseríos de ese distrito, determinándose evacuaciones preventivas de viviendas en otros sectores como la Ciudadela Murray y Quebrada Sánchez, debido al peligro inminente de nuevos deslizamientos y deslaves. (La Nación, 2002). Un año más tarde, fue la Comunidad de Jucó de Orosi la que se vio afectada por deslizamientos y deslaves, condición que ha prevalecido por varios años (Vizcaíno, 2005), convirtiendo a este caserío en el lugar de mayor riesgo por deslizamientos y deslaves del país. Más recientemente y como consecuencia de la tormenta tropical Tomas, se produjo la muerte de 21 personas y 15 desaparecidos por un deslizamiento y posterior deslave en San Antonio de Escazú barrio Los Roque y puso de manifiesto la magnitud del problema de exposición al riesgo de deslizamientos y deslaves en el que se encuentra un porcentaje importante de la población del país (Vargas, 2010).

La problemática de los deslizamientos y deslaves en Orosi ha sido catalogada por los especialistas en la materia y por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias como muy seria y le han dado la máxima prioridad. La Comunidad de Jucó se ubica en plena zona de tránsito de deslaves y además en la parte alta de sus montañas hay deslizamientos activos de gran magnitud (ver figura 1).



Fig. 1 Vista aérea de la Comunidad de Jucó

Jucó es la zona del Valle de Orosi, donde los deslizamientos y deslaves son más frecuentes y de mayor tamaño. En la Figura 2 se muestran los efectos de un gran deslizamiento y deslave ocurrido en el año 2003 que inhabilitó la carretera principal de Orosi y destruyó varios puentes. En esta comunidad como en otras comunidades del distrito de Orosi, el tiempo transcurrido entre la ocurrencia de un deslave que produzca una avalancha de lodo y su impacto en las comunidades es relativamente corto, de ahí la urgencia de contar con sistemas de monitoreo y alerta para que los pobladores puedan ponerse a salvo cuando se presentan estos fenómenos.

**Fig. 2**

Flujos de lodo en la comunidad de Jucó de Orosi, año 2003

Entre las variables que intervienen en el riesgo de deslizamiento en la zona están la alta precipitación, hay que recordar que en Orosi está la zona más lluviosa de Costa Rica, Tapantí con un promedio de lluvia de 7 mil milímetros/año (SINAC,2013). Las pronunciadas pendientes en sus laderas, el tipo de suelo, los desarrollos habitacionales en zonas de descargas aluviales, el mal uso del suelo y la alta sismicidad de la zona, también influyen en el riesgo de deslizamientos. Otra variable que debe considerarse dentro del riesgo de deslizamiento es la educación deficiente en materia de gestión del riesgo por parte de los habitantes, pues se enfocan mayoritariamente en aspectos de respuesta y menos en prevención.

Es importante señalar que hasta la fecha los sistemas de monitoreo y alerta existentes en el país dependen en gran medida de la intervención humana y por tanto tienen grandes deficiencias y poca cobertura, el sistema que se propone tiene la capacidad de monitorear las 24 horas del día, los 7 días de la semana y definirá una serie de acciones en función del cumplimiento de parámetros previamente establecidos, además tendrá la ventaja de que será accesible a las organizaciones comunales quienes deberán empoderarse de este proyecto.

2. Objetivos

2.1 General

Diseñar un sistema de monitoreo y alerta ante deslizamientos y deslaves para la comunidad de Jucó de Orosi, que sirva de modelo para otras zonas del distrito, del país y la Región.

2.2 Específicos

- Definir los parámetros y sus indicadores más importantes asociados al terreno y a las condiciones meteorológicas que determinan el riesgo de deslizamiento.
- Construir una red de detectores integrados en un sistema de monitoreo permanente de las variables críticas que intervienen en los deslizamientos.
- Definir los parámetros para establecer los diferentes niveles de alerta y comunicarlos a la población.
- Poner en funcionamiento el sistema a modo de prueba en las épocas más lluviosas en la zona, a saber agosto, setiembre y octubre.

3. Metodología

3.1 Tipo de estudio

Se realizó un estudio descriptivo, que permitió especificar a partir de una condición específica de riesgo de deslizamientos y deslaves en una comunidad una propuesta de sistema de monitoreo y alerta ante deslizamientos y deslaves.

3.2 Fuentes de información

Las principales fuentes primarias consultadas comprendieron libros, documentos oficiales que incluyen reportes e informes técnicos, información recopilada directamente en el campo, entrevistas con vecinos, entre otros.

4. Resultados y discusión

La comunidad de Jucó no sólo está expuesta al riesgo de deslizamientos y deslaves, además está ubicada aguas abajo del embalse El Llano propiedad del Instituto Costarricense de Electricidad que almacena un total de 500 000 m³ de agua (Canales, 2014) y que tendría en la micro-cuenca del río Jucó su principal ruta de desagüe en caso de accidente por fractura de alguna pared. También hay que considerar que Orosi es reconocido por su alta sismicidad y los sismos fuertes y terremotos son bastante probables. Estas condiciones de riesgo tan significativas deberían servir de justificación como para reubicar a todo el pueblo, sin embargo tal parece que a las autoridades del gobierno se les hace muy difícil este tipo de decisiones.

El sistema de monitoreo y alerta llega a constituirse en una medida compensatoria que permitirá a los vecinos de la Comunidad de Jucó una mejor calidad de vida y a la vez mejorar sus niveles de seguridad ante deslizamientos y deslaves.

El objetivo 1 se enfocó en definir los parámetros o variables asociadas a la ocurrencia de deslizamientos y deslaves, así como sus respectivos indicadores. Es importante resaltar la cantidad de variables que intervienen en el riesgo de deslizamientos, tanto los asociados a la probabilidad de ocurrencia de los eventos, como a la exposición de los habitantes.

Las variables que intervienen en la ocurrencia de deslizamientos son muchas, la pendiente de los taludes, el tipo de suelo, la cantidad de lluvia, actividades humanas en las zonas propensas a deslizamiento, nivel de actividad sísmica, entre otras. En el cuadro 1 se describen estas variables.

Cuadro 1
Principales variables asociadas a la ocurrencia de deslizamientos

Variable	Descripción	Indicador
Pendiente del terreno	Grado de inclinación con relación al plano horizontal	% de pendiente
Tipo de suelo	Características del suelo que le hacen ser vulnerable o resistente a la ocurrencia de deslizamientos.	Capacidad de saturarse de agua (Presión de poro)
Tipo de vegetación	Referida a la cobertura del suelo y profundidad de las raíces (amarre).	Profundidad esperada de las raíces
Infiltración de agua	Cantidad de agua que se filtra y satura el suelo	Volumen de agua en mm
Cercanía de la zona con focos o fuentes de vibraciones.	Cercanía con carreteras, industrias pesadas o fallas geológicas activas	Cercanía con fallas geológicas Cercanía con carreteras
Actividades humanas	Uso del suelo (deforestación, ganadería, prácticas agrícolas, etc)	Amigables o degradantes del ambiente

Con las variables previamente definidas y los indicadores es cuestión de establecer los parámetros críticos y su relación por medio de algún modelo matemático para determinar el nivel de riesgo de deslizamiento y deslave. De los modelos disponibles y luego de realizar las respectivas consultas a expertos de la Escuela de Geología de la UCR, se determinó que el “**Modelo de pendiente infinita**” usando la presión de poro es el que mejor se adapta a la situación de estudio.

Este modelo es aplicable a deslizamientos que se considera poseen una superficie de falla plana, es decir el deslizamiento ocurre sobre una superficie paralela a la superficie del mismo, tal y como se presenta en las montañas de la zona en estudio

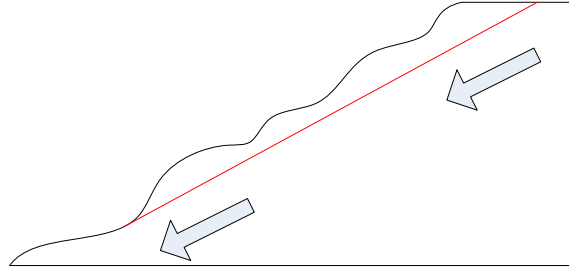


Figura 3. Deslizamiento con superficie de falla plana

Factor de seguridad sin pendiente infinita

Componentes del modelo

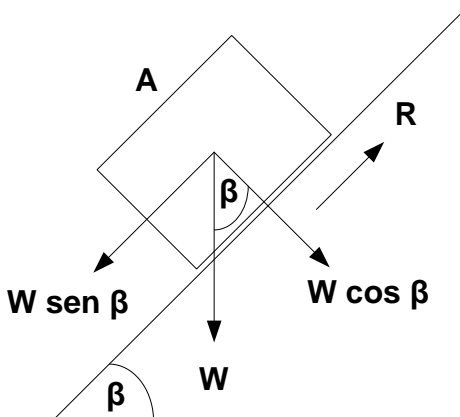


Figura 4. Componentes de la pendiente

Componente de corte de peso **$W \text{ sen } \beta$**

Componente normal del peso **$W \text{ cos } \beta$**

Fuerza de corte **$\sigma = \frac{W \text{ sen } \beta}{A}$**

Utilizando el criterio de Mohr – Coulomb **$s = c + \sigma \text{ tan } \phi$**

R es la fuerza que previene la caída del bloque

$$R = c A + W \text{ cos } \beta \text{ tan } \phi$$

Factor de seguridad

$$FS = \frac{c A + W \cos\beta \tan\phi}{W \operatorname{sen}\beta}$$

c es la cohesión en [kPa]

ϕ es el ángulo interno de fricción en grados

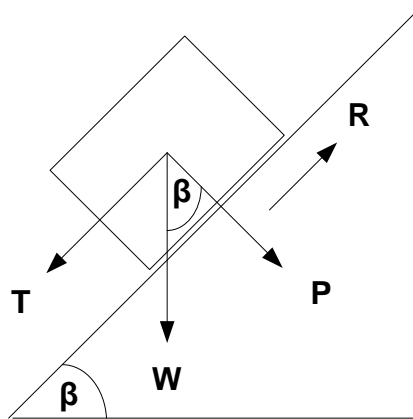
Factor de seguridad con pendiente infinita sin presión de poros

Figura 5. Componentes de la pendiente sin presión de poro

Sea $W = \gamma Z$ Peso del bloque γ = unidad de peso del suelo [N/m³]

$$T = W \operatorname{sen}\beta \quad \text{Sustituyendo } W$$

$$T = \gamma Z \operatorname{sen}\beta \quad \text{Componente de corte de peso}$$

$$P = W \cos\beta \quad \text{Sustituyendo } W$$

$$P = \gamma Z \cos\beta \quad \text{Componente normal de peso}$$

Las condiciones de la parte alta y baja de la pendiente son ignoradas

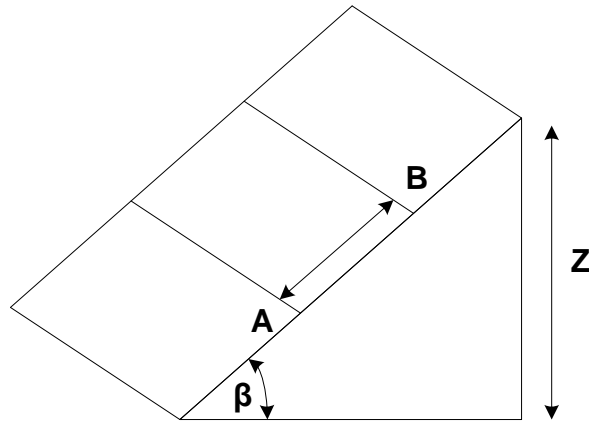


Figura 6. Parámetros de la pendiente

$$AB = \frac{1}{\cos\beta}$$

$$\text{Stress} = \frac{\text{fuerza}}{\text{área}}$$

Stress Normal $\sigma_n = \frac{P}{AB}$ sustituyendo

$$\sigma_n = \frac{Z \cos\beta}{\frac{1}{\cos\beta}}$$

$$\sigma_n = Z \cos^2\beta$$

Stress de Corte $\tau = \frac{T}{AB}$ sustituyendo

$$\tau = \frac{Z \sen\beta}{\frac{1}{\cos\beta}}$$

$$\tau = Z \cos\beta \sen\beta$$

Factor de seguridad

$$FS = \frac{c' + \sigma_n \tan\phi}{\tau}$$

$$FS = \frac{c' + \gamma Z \cos^2 \beta \tan \phi}{\gamma Z \cos \beta \sin \beta}$$

Factor de seguridad con pendiente infinita con presión de poros

Este factor de seguridad es mejor aún que los anteriores ya que relaciona la presión de poros y la presencia del agua del nivel freático causantes de la estabilidad de la montaña.

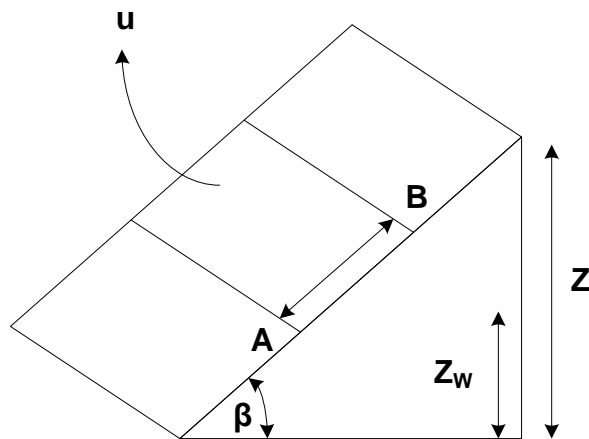


Figura 7. Parámetros de la pendiente infinita con presión de poros u

Componente normal del peso del agua

Peso del agua $W_w = \gamma_w Z_w$ si $m = \frac{Z_w}{Z}$ es la relación entre la altura de la pendiente y la altura del nivel freático

$$W_w = \gamma_w Z m$$

$$P_w = W_w \cos \beta$$

Componente Normal del peso de agua $P_w = \gamma_w Z m \cos \beta$

Presión de poros en AB

La presión de poros es la presión que ejerce el agua entre las partículas reduciendo la resistencia al cizallamiento y por tanto aumenta el riesgo de deslizamiento.

$$u = \frac{P_w}{AB}$$

$$u = \frac{\gamma_w Z m \cos\beta}{\frac{1}{\cos\beta}}$$

$$u = \gamma_w Z m \cos^2\beta \quad \text{presión de poro}$$

Factor de seguridad

$$FS = \frac{c' + (\gamma Z \cos^2\beta - u) \tan\phi}{\gamma Z \cos\beta \sin\beta}$$

Sustituyendo la presión de poros

$$FS = \frac{c' + (\gamma Z \cos^2\beta - \gamma_w Z m \cos^2\beta) \tan\phi}{\gamma Z \cos\beta \sin\beta}$$

$$FS = \frac{c' + (\gamma - m \gamma_w) Z \cos^2\beta \tan\phi}{\gamma Z \cos\beta \sin\beta}$$

Parámetros

c' Cohesión efectiva [N/m²]

γ Peso unitario del suelo [N/m³]

m Relación de alturas

γ_w Peso unitario del agua [N/m³]

Z Profundidad de la falla [m]

β Inclinação de la pendiente (°)

ϕ Ángulo efectivo de la resistencia a la fricción (°)

Analizando el factor de seguridad obtenido, como $m = \frac{Z_w}{Z}$ al aumento paulatino de las precipitaciones, el nivel freático Z_w aumenta y por ende m crece, disminuyendo el numerador conforme llueve, hasta el punto que el factor de seguridad podría volverse negativo.

Positivo $FS > 1$ Pendiente estable

$FS = 1$ Pendiente a punto de fallar

Negativo $FS < 1$ Pendiente inestable

El objetivo específico 2 se relacionaba con la construcción de una red de sensores integrados en un sistema de monitoreo permanente de las variables críticas que intervienen en los deslizamientos.

El sistema propuesto consiste en una red inalámbrica de sensores o WSN (Wireless Sensor Network), con nodos sensores en los sitios previamente escogidos y un nodo sumidero, que recolecta la información de cada nodo sensor. Cada nodo puede manejar hasta 4 sensores diferentes. Cada nodo se compone de una unidad de procesamiento, una unidad de radio (tranceptor o radio de doble vía), una unidad de manejo energético muy eficiente (de larga duración y bajo consumo) y una unidad de almacenamiento de datos. El nodo sumidero usualmente tiene menos restricciones energéticas porque puede localizarse en un sitio de fácil acceso a fuentes de alimentación tradicionales o contener unidades de recarga por medio de generadores fotovoltaicos o eólicos, por ejemplo.

Debido a que en el diseño del mismo se especifican una serie de variables y lenguaje técnico, las características del sistema y sus componentes se presentan de forma detallada en el Apéndice I.

El modelo para inferir las probabilidades de un deslizamiento se escogió luego de un escrutinio con especialistas en ese campo. En todo caso, el modelo debe ser ensayado in situ para evaluar sus ventajas y desventajas e incorporar elementos adicionales si fuese necesario. Los sensores recogen la información climatológica y del suelo y la envían en forma inalámbrica al sumidero. Luego, un software desarrollado para esta aplicación, calcula la probabilidad de un evento y si tal probabilidad sobrepasa un límite establecido

envía una alerta, para que un operador entrenado tome una decisión o contacte un organismo especializado.

El objetivo específico 3 relacionado con la definición de parámetros para establecer los diferentes niveles de alerta y comunicarlos a la población reviste de gran importancia, principalmente en lo concerniente a la comunicación con la comunidad expuesta, pues de nada servirá que los parámetros estén debidamente monitoreados y que el sistema genere alertas de deslizamientos, si esto no se transmite de manera inmediata a la comunidad que es la que corre riesgo.

Los datos de los sensores son enviados a un computador y en función de los parámetros del modelo de pendiente infinita se generan las alarmas. El computador maneja directamente una sirena y dispositivos visuales. En el mismo computador se puede programar una aplicación para enviar mensajes SMS directamente a teléfonos celulares. De esta manera se puede dar aviso a los integrantes de los Comités Comunales de Emergencia y a otras personas e instituciones clave para la preparación y respuesta a emergencias.

En el cuadro 2 se hace una propuesta de niveles de alerta y acciones a realizar por la comunidad.

Cuadro 2
Niveles de alerta en función del factor de seguridad

Valor factor de seguridad	Tipo de alerta	Acciones para la comunidad
$F_s < 1$	Ninguna	Actividades de capacitación y organización contra emergencias
$F_s = 1$	Alerta verde	Se avisa a los responsables del Comité Comunal de Emergencias.
$F_s > 1$	Alerta amarilla	Se avisa a la comunidad de la situación para que se mantengan alerta. Se contacta a la ayuda externa
$F_s > 1$ y verificación	Alerta roja	Se activa la sirena comunal Las personas se ubican en los lugares de refugio

visual		ubicados en la colina. Se llama a la ayuda externa
--------	--	--

En el objetivo 4 se propuso poner en funcionamiento el sistema a modo de prueba en las épocas más lluviosas en la zona, a saber agosto, setiembre y octubre. La idea inicial era llevar el equipo al campo y ubicarlo en la zona cercana a los deslizamientos, sin embargo los vecinos de Jucó nos manifestaron que no había cómo garantizar la seguridad del equipo y que era imposible para ellos proporcionarle vigilancia.

Lo anterior hizo que los investigadores a cargo decidieran probar el equipo y el modelo a nivel de laboratorio, colocando la estación en la parte externa de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Electrónica del TEC y realizando las pruebas planificadas. Como resultado final se comprueba que el equipo con los sensores adaptados y el modelo seleccionado funciona adecuadamente. En la sección de apéndices de este informe pueden observarse imágenes de las pantallas del software funcionando.

5. Conclusiones y recomendaciones

- Para el control efectivo de los riesgos se deben adoptar medidas de diferente naturaleza, algunas de ellas logran eliminar el peligro, sin embargo para la situación en estudio no es posible la aplicación de medidas que anulen por completo el riesgo de daños por deslizamientos y deslaves, pues estos son parte importante de la historia geológica del Valle de Orosi y de hecho son los que le han dado origen.
- La adopción de medidas de mitigación para estabilizar taludes se han venido aplicando con éxito por parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (A y A), esto porque se debe proteger el Acueducto Metropolitano Orosi, que abastece a cientos de miles de personas en el Valle Central y a un importante número de empresas de producción.
- El monitoreo de variables asociadas a los deslizamientos en las montañas ubicadas en la parte alta de la comunidad de Jucó se está llevando a cabo por parte del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y del Instituto Costarricense

de Acueductos y Alcantarillados (A y A). Sus monitoreos incluyen mediciones de precipitaciones, variaciones en las inclinaciones de los taludes y movimientos de masas entre otros. Ambas instituciones realizan estos controles para efectos de protección de sus obras de infraestructura (acueducto y líneas de transmisión) y asegurar la continuidad de sus servicios, sin embargo estos datos pueden resultar claves para la vida y seguridad de los vecinos de Jucó y del distrito de Orosi en general.

- Aunque el planteamiento inicial del proyecto era colocar el equipo directamente en la zona cercana a los deslizamientos, esto no fue posible porque no se podía garantizar la seguridad de los equipos, sin embargo las pruebas realizadas a nivel de laboratorio demuestran que las adaptaciones realizadas a la estación y el sistema propuesto funcionan correctamente.
- Un sistema de monitoreo y alerta ante deslizamientos no solo es pertinente para Jucó, que se califica como el peor caso; comunidades como Ciudadela Murray, Proyecto de vivienda OROKAY y otros también están expuestos a riesgos por deslizamientos y deslaves y expuestas es mucho mayor. Por tanto es imprescindible buscar espacios de trabajo conjunto con el A y A y el ICE para que vía acuerdos o convenios con las asociaciones de desarrollo integral se tenga acceso a la información de interés que ellos producen.
- Para el caso de la Comunidad de Jucó es claro que la mejor opción es el traslado de toda la comunidad hacia un lugar menos peligroso, pues todo el pueblo se ha desarrollado a lo largo de la calle principal que se ubica entre el Río Jucó y una colina alta ubicada al lado derecho del camino, por lo que podría considerarse que está dentro del cauce de ese río.

6. Agradecimientos

Al estudiante Sr. Randall Arrieta Duarte por su participación en este proyecto dentro del marco de su trabajo final de graduación de Licenciatura en Ingeniería Electrónica.

7. Referencias

BIBLIOGRAFÍA

- 1- Arguedas, C. (2002, 01 de Setiembre). *Desastres: Pánico y destrucción tras avalancha en Orosi*. *La Nación*, 1. Recuperado el 03 de Octubre del 2009, de http://www.nacion.com/ln_ee/2002/septiembre/01/pais2.html.
- 2- Canales, D. "Embalse de El Llano almacenará más agua para electricidad" *Periódico la República* 24 marzo 2014. Disponible en https://www.larepublica.net/app/cms/www/index.php/index.php?pk_articulo=28544
- 3- ESCALANTE, J.; HILJE, W.; LEIVA, D. Y RIVAS L. (2006). Factores de vulnerabilidad social ante desastres en la comunidad de la cuenca del río Jucó, ubicada en el Valle de Orosi, en la Provincia de Cartago. Memoria del Seminario de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Psicología y Sociología. Facultad de Ciencias Sociales, Escuela de Antropología y Sociología, Escuela de Psicología. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- 4- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. Parque Nacional Tapantí- Macizo de la Muerte, 2013 disponible en <http://www.sinac.go.cr/AC/ACLAP/PNTapantiMacizoMuerte/Paginas/default.aspx>
- 5- Vizcaíno, I. (2005, 05 de Noviembre). *Deslizamiento trastorna vida de habitantes en Jucó, Orosi*. *La Nación*, 1. Recuperado el 18 de Octubre del 2009, de http://www.nacion.com/ln_ee/2002/septiembre/01/pais2.html
- 6- Vargas, C. (2010, 05 de Noviembre). Aludes y lluvias dejan 21 muertes y 19 desaparecidos. *La Nación*, 1. Recuperado el 13 de Diciembre del 2010, de http://www.nacion.com/ln_ee/2002/septiembre/01/pais2.html
- 7- Vargas, O. (2009, 22 de Marzo). Terremoto de Cinchona causa 180 deslizamientos en montañas. *La Nación*, 1. Recuperado el 02 de febrero de 2010, de http://www.nacion.com/ln_ee/2002/septiembre/01/pais2.html

- 8- S.f. Reference Extended. Consultado el 25/4/2011. Recuperado de <http://arduino.cc/es/Reference/Extended> Tutorial de programación del microcontrolador Atmega del dispositivo waspmote.
- 9- S.f. Tutorial básico 5. Consultado el 15/3/2011. Recuperado de <http://www.recursosvisualbasic.com.ar/htm/tutoriales/tutorial-basico5.htm#str-val> Información acerca del manejo de cadenas de caracteres.
- 10- S.f. Waspote datasheet. Consultado el 26/4/2011. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/waspote/waspote-datasheet_eng.pdf Hoja de datos del dispositivo waspmote..
- 11- S.f. Waspote Guía Técnica. Consultado el 26/4/2011. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/waspote/waspote-technical_guide_eng.pdf Guía técnica del dispositivo waspmote.
- 12- S.f Inicio rápido. Consultado el 26/4/2011. Recuperado de <http://www.libelium.com/development/waspote/quickstart> Información acerca la utilización de Waspote Environment.
- 13- S.f Waspote 802.15.4 networking guide. Consultado 26/4/2011. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/waspote/waspote-802.15.4-networking_guide.pdf Documentación acerca de la creación de una red con dispositivos waspmotes
- 14- S.f Tutorial X-CTU. Consultado 26/4/2011. Recuperado de <http://www.libelium.com/development/waspote/tutorial0003> Tutorial de la utilización del software de Digi para el manejo de los módulos XBee.

APENDICE I

Descripción del sistema de monitoreo propuesto

Sistema de monitoreo y alerta propuesto

1.1. Descripción del sistema

3.1.1. Diagrama de bloques del primer nivel



Figura 2. Sistema de alarma contra deslizamientos

3.1.2. Diagrama de segundo nivel del bloque de la pendiente

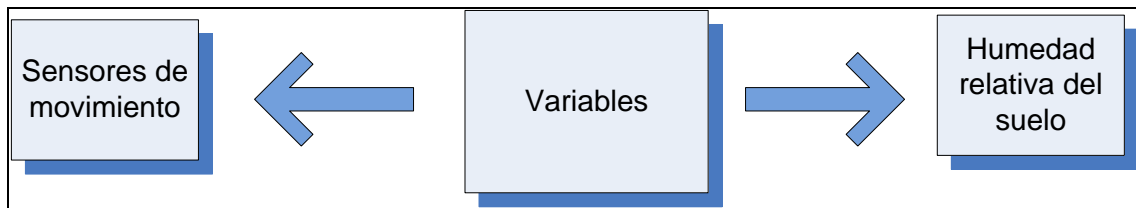


Figura 3. Variables de monitorización de la pendiente

3.1.3. Diagrama de segundo nivel del bloque de la monitorización

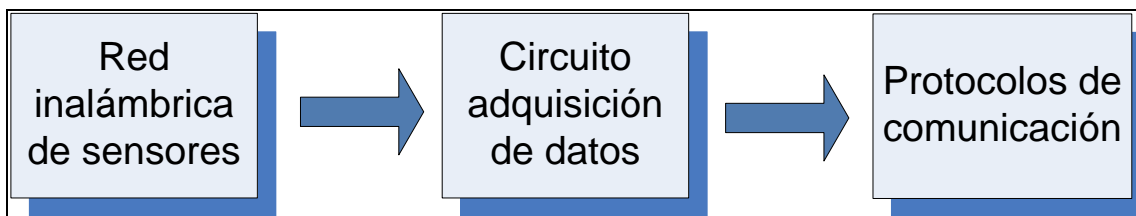


Figura 4. Diagrama de bloques del monitorización del sistema

3.1.4. Diagrama de segundo nivel del bloque de control

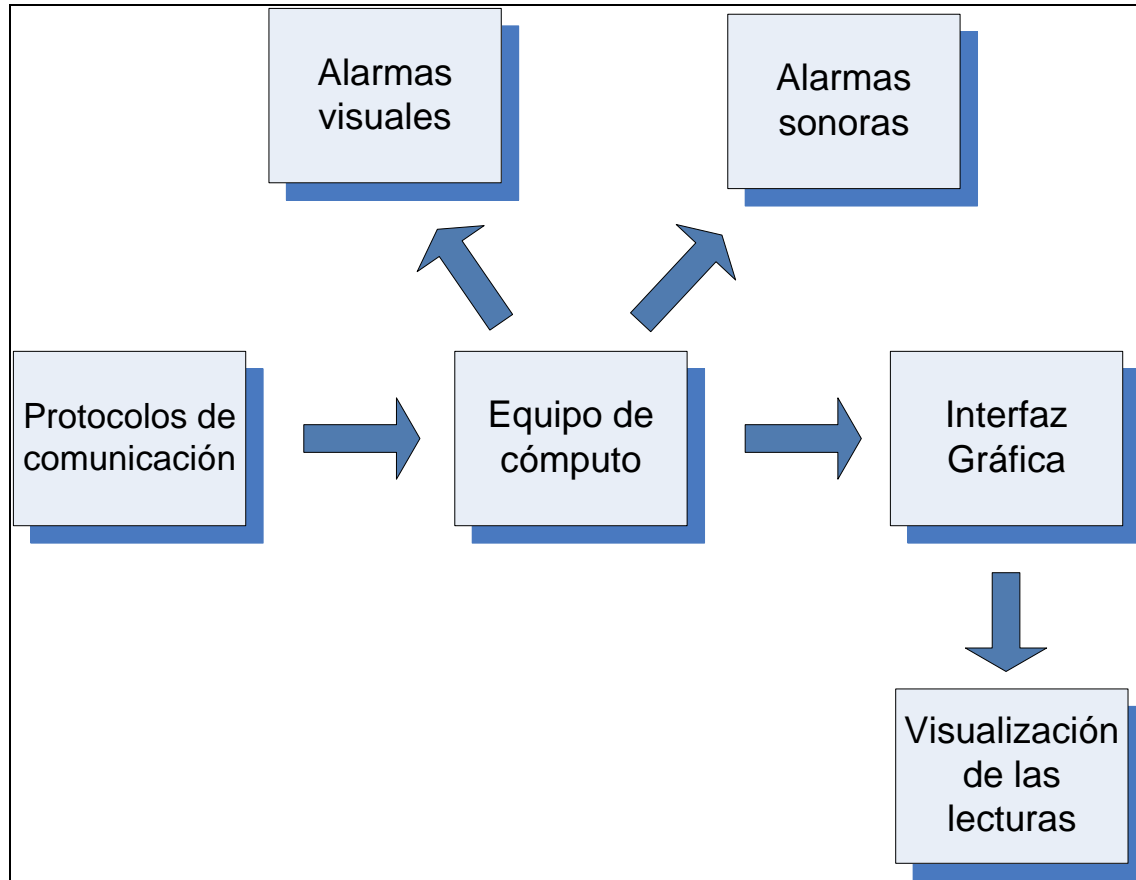


Figura 5. Diagrama de bloques de la unidad de control

En la figura 2, se muestra el diagrama de bloques del sistema, que consta de tres grandes bloques. El primer bloque llamado “bloque de la pendiente”, es donde se muestran las variables a censar, para determinar el movimiento de la pendiente.

En el segundo bloque se obtiene la monitorización de las variables de la pendiente; el censado de las variables se realiza por medio de sensores que se encuentran adaptados a un dispositivo capaz de transmitir inalámbricamente, con un alcance de 400 metros aproximadamente, luego por medio de un circuito de adquisición de datos, se obtienen las lecturas provenientes de los sensores, mostrándonos si existe movimiento en la montaña.

En el bloque de control, utilizando el protocolo de comunicación USB (Universal Serial Bus), se visualizan las lecturas provenientes de los sensores indicando si existe algún tipo de movimiento en la montaña, de ser así se activaran las alarmas

lumínicas como sonoras que alerten a la población de un eventual deslizamiento de tierra.

1.2. Waspnote

En el presente proyecto se utilizó los dispositivos waspmote de la empresa Libelium, ubicada en España, estos dispositivos se pueden utilizar en una amplia gama de aplicaciones, ya sea ubicados en interiores como en exteriores, se puede sensar diferentes tipos de variables en el medio ambiente, la agricultura y ganadería, logística, marketing entre otros.

Características generales

Microcontrolador: ATmega1281

Frecuencia de operación: 8MHz

SRAM: 8KB

EEPROM: 4KB

FLASH: 128KB

SD Card: 2GB

Peso: 20gr

Lo mejor de este dispositivo es su facilidad de ubicación en áreas de difícil acceso, y su amplio rango de distancia de comunicación, alcanzando hasta un máximo de 40Km de distancia con el modelo XBee-868, dependiendo del tipo de antena a utilizar.

El modelo utilizado para el proyecto es XBee-802.15.4, con el protocolo de comunicación 802.15.4, utiliza la frecuencia de 2.4GHz, con una potencia de transmisión de 1mW y una sensibilidad de -92dB, alcanzando una distancia máxima de 500m.

Utiliza 3 diferentes tipos de topologías:

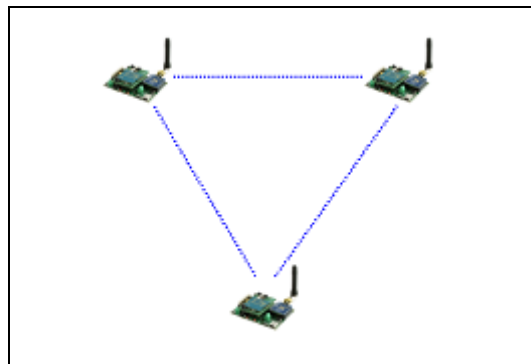


Figura 6. Topología p2p

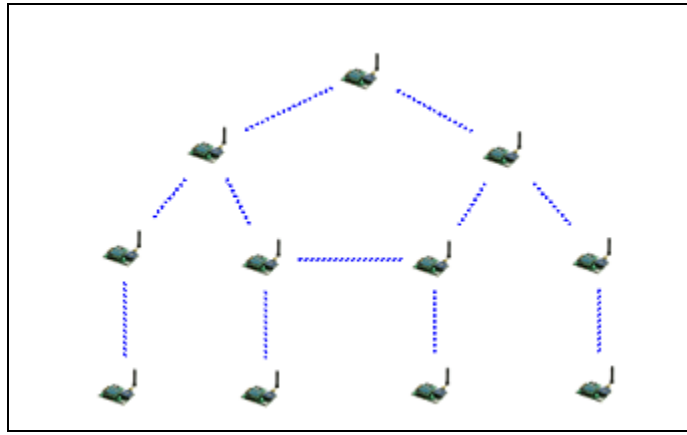


Figura 7. Topología de árbol

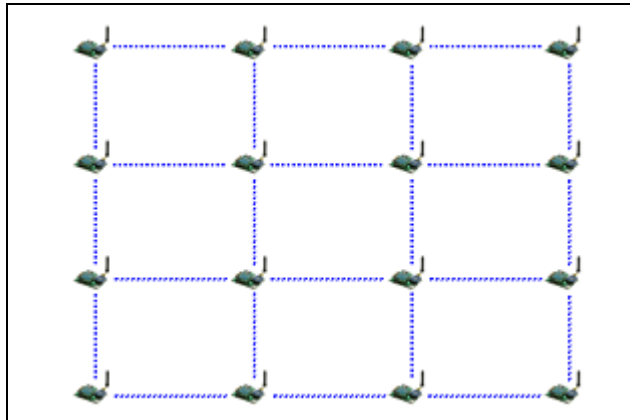


Figura 8. Topología de malla

Además posee otras características como la placa de sensores, que son una serie de placas que se le adaptan para la medición de diferentes variables, como la placa de gases midiendo diferentes tipos de variables entre ellas están: monóxido de Carbono, dióxido de Carbono, Metano, Oxígeno, Hidrógeno, Amoniaco, Etanol. También existen la placa de eventos, la placa de prototipado, la placa de smart metering y la placa de agricultura.

También el dispositivo trabaja con el Bluetooth, el GSM/GPRS y el GPS, en cuanto a las fuentes de alimentación, posee una batería de litio de 1150 mA, de 3.7 V, o se le puede colocar un panel solar de 12V 200mA, recargando la batería para su constante funcionamiento, también se recarga por medio del puerto USB de una computadora convencional.

1.3. Red waspmote

Para crear una red se necesita que los módulos XBee se le escriban ciertos parámetros inicialmente, que son el identificador de red, la selección del canal, la seguridad de la misma y la encriptación de los mensajes, además de colocar al receptor Gateway como coordinador de la red con la interfaz X-CTU, de Digi.

Dirección MAC

Es la dirección de 64 bits dividida en alto de 32 bits y en bajo de 32 bits, es una dirección única para cada nodo waspmote, no se puede modificar y es dada por el fabricante.

Ejemplo de uso

```
{
  Xbee802.getOwnMacLow(); //Obtiene la dirección MAC de 32 bits en bajo
  Xbee802.getOwnMacHigh();//Obtiene la dirección MAC de 32 bits en alto
}
```

En este ejemplo nos muestra cómo podemos obtener por software la dirección MAC del waspmote.

Pan id

Es un número de 16 bits que identifica una red de otras redes compuestas de waspmote, además todos los nodos que componen la red deben tener el mismo pan id. Se debe de utilizar un PAN ID por red y único.

Ejemplo de uso

```
{
```

```

panid = {0x50,0x54 }; // Arreglo que contiene el PAN ID
Xbee802.setPAN(panid); // Set el PAN ID
Xbee802.getPAN(); // Obtiene el PAN ID
}
    
```

Nota: si dos redes diferentes trabajan con el mismo PAN ID no significa que exista conflictos entre ellas, tal vez si existen interferencias si ambas redes transmiten en el mismo canal, si ocurre esta situación las dos redes diferentes se convertirán en la misma red, porque utilizan el mismo PAN ID y el canal de frecuencia.

Canal

El canal es el parámetro que define el canal de frecuencia que se utilizara para transmitir y recibir datos, el protocolo 802.15.4 define 16 canales libres que se pueden utilizar en la banda de frecuencias de 2,4 GHz -2,48 GHz y con un ancho de banda de 5 MHz por canal.

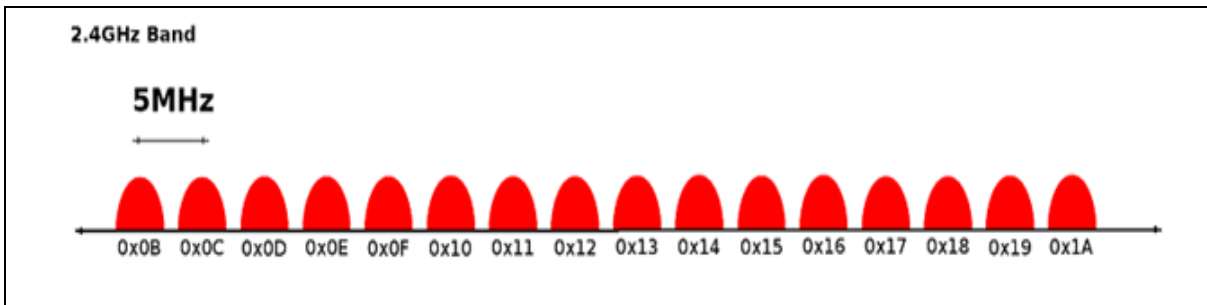


Figura 9. Canales de frecuencia en la banda de 2,4 GHz

Número de Canal	Frecuencia [GHz]	Soportado por
0x0B – Canal 11	2,400 – 2,405	Normal
0x0C – Canal 12	2,405 – 2,410	Normal / Pro
0x0D – Canal 13	2,410 – 2,415	Normal / Pro
0x0E – Canal 14	2,415 – 2,420	Normal / Pro
0x0F – Canal 15	2,420 – 2,425	Normal / Pro
0x10 – Canal 16	2,425 – 2,430	Normal / Pro
0x11 – Canal 17	2,430 – 2,435	Normal / Pro
0x12 – Canal 18	2,435 – 2,440	Normal / Pro
0x13 – Canal 19	2,440 – 2,445	Normal / Pro
0x14 – Canal 20	2,445 – 2,450	Normal / Pro
0x15 – Canal 21	2,450 – 2,455	Normal / Pro
0x16 – Canal 22	2,455 – 2,460	Normal / Pro
0x17 – Canal 23	2,460 – 2,465	Normal / Pro
0x18 – Canal 24	2,465 – 2,470	Normal
0x19 – Canal 25	2,470 – 2,475	Normal

0x1A – Canal 26	2,475 – 2,480	Normal
-----------------	---------------	--------

Tabla 1. Canales de frecuencia del protocolo 802.15.4 en la banda de 2,4 GHz

Ejemplo de uso

```
{
Xbee802.setChannel(0x0B); // Set el canal
Xbee802.getChannel(); // Obtener el canal
}
```

Seguridad activada con codificación

Cuando se activa la codificación se permite el cifrado AES de 128 bits en los módulos XBee, usando su dirección de 64 bits como la dirección de origen para los paquetes RF.

Ejemplo de uso

```
{
Xbee802.encryptionMode(1);
}
```

Transmitir sin caracteres de header

Para lograr este tipo de transmisión sin los caracteres de header se debe cambiar en el receptor Xbee Gateway, utilizando la interfaz de Digi (X-CTU), la (2) AP – API Enable y colocar 0 – API DISABLED, como también los end device que deben tener esta configuración (2) AP – API Enable, luego utilizar la función `xbee802.send(“Dirección MAC del receptor Gateway”, arreglo de caracteres)`; y así solo nos transmite la información almacenada en arreglo de caracteres.

Estos parámetros se pueden escribir de dos maneras, la primera es programar el dispositivo waspmote con dichos valores, luego de esto se coloca la antena con el módulo XBee y se enciende el dispositivo corriendo el programa y automáticamente queda guardado en el módulo.

La segunda manera y la mejor es utilizando X-CTU, que es un software realizado por Digi los fabricantes de los módulos XBee.

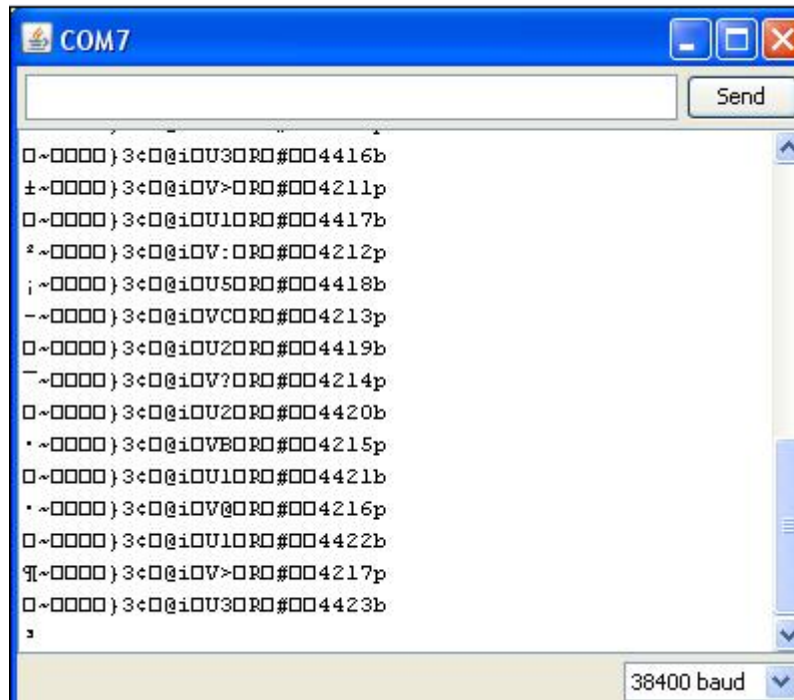


Figura 10. Transmisión con dispositivo waspmote con API header

1.4. Sensores

1.4.1. Sensor de humedad 808H5V5

Con respecto a los sensores se utilizó el sensor de humedad 808H5V5, con las siguientes características:

Rango de medida: [0-100%] RH

Señal de salida: [0,8-3,9V]

Consumo típico: 0,38 mA

Consumo máximo: 0,5 mA

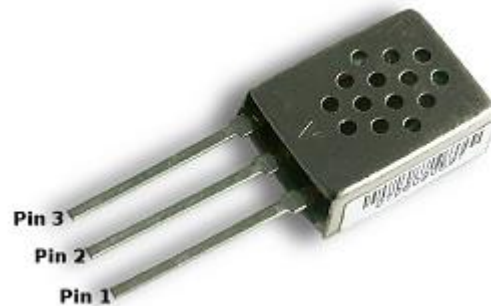
Alimentación: 5VDC \pm 5%

Temperatura de operación: -40°C - 85°C

Tiempo de respuesta: <15 segundos

Resolución: 31mV/1%RH

Valor de humedad: (voltaje del sensor-0,8)/31m



En este sensor su salida es un valor analógico, que es un valor de tensión proporcional al rango de medida de la humedad relativa, es decir para 0% de humedad el valor de voltaje es de 0,8 voltios y para 100% es de 3,9 voltios, cuyo tiempo de respuesta es de 15 segundos máximo; el sensor posee tres patillas el

pin 3 es donde se conecta la tierra de la fuente de alimentación, el pin 1, se conecta la terminal positiva de la fuente y el pin 2 es la salida del valor analógico proporcional a la humedad relativa presente en el ambiente captada por el sensor.

5.5. Modelo pendiente infinita

Es modelo es aplicable a deslizamientos que se consideran que poseen una superficie de falla plana, es decir se considera que el deslizamiento ocurre sobre una superficie paralela a la superficie del mismo.

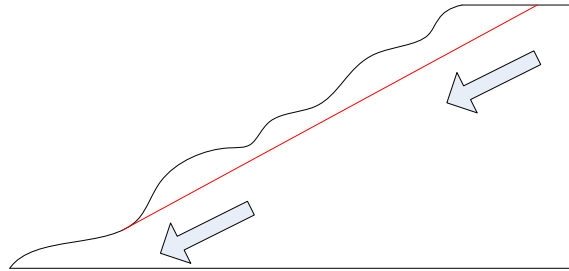


Figura 11. Deslizamiento con superficie de falla plana

6.5.1. Factor de seguridad sin pendiente infinita

Componentes del modelo

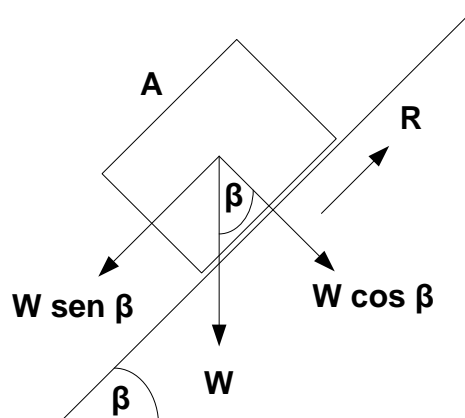


Figura 12. Componentes de la pendiente

Componente de corte de peso **$W \text{ sen } \beta$**

Componente normal del peso **$W \text{ cos } \beta$**

Fuerza de corte $\sigma = \frac{W \text{ sen } \beta}{A}$

Utilizando el criterio de Mohr – Coulomb $s = c + \sigma \text{ tan } \phi$

R es la fuerza que previene la caída del bloque

$$R = c A + W \text{ cos } \beta \text{ tan } \phi$$

Factor de seguridad

$$FS = \frac{c A + W \text{ cos } \beta \text{ tan } \phi}{W \text{ sen } \beta}$$

c es la cohesión en [kPa]

ϕ es el ángulo interno de fricción en grados

6.5.2. Factor de seguridad con pendiente infinita sin presión de poros

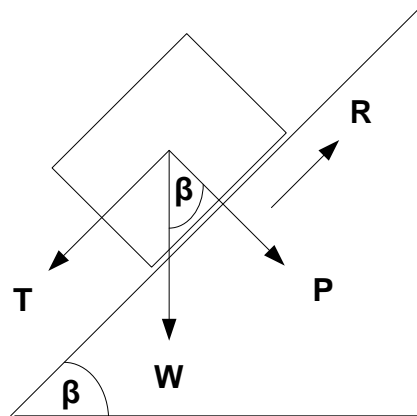


Figura 13. Componentes de la pendiente

Sea $W = \gamma Z$ Peso del bloque γ = unidad de peso del suelo [N/m^3]

$$T = W \operatorname{sen}\beta \quad \text{Sustituyendo } W$$

$$T = \gamma Z \operatorname{sen}\beta \quad \text{Componente de corte de peso}$$

$$P = W \operatorname{cos}\beta \quad \text{Sustituyendo } W$$

$$P = \gamma Z \operatorname{cos}\beta \quad \text{Componente normal de peso}$$

Las condiciones de la parte alta y baja de la pendiente son ignoradas

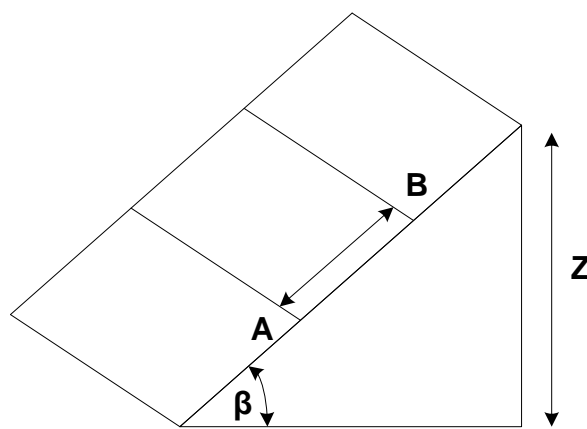


Figura 14. Parámetros de la pendiente

$$AB = \frac{1}{\cos\beta}$$

$$\text{Stress} = \frac{\text{fuerza}}{\text{área}}$$

$$\text{Stress Normal } \sigma_n = \frac{P}{AB} \text{ sustituyendo}$$

$$\sigma_n = \frac{\gamma Z \cos\beta}{\frac{1}{\cos\beta}}$$

$$\sigma_n = \gamma Z \cos^2\beta$$

$$\text{Stress de Corte } \tau = \frac{T}{AB} \text{ sustituyendo}$$

$$\tau = \frac{\gamma Z \sin\beta}{\frac{1}{\cos\beta}}$$

$$\tau = \gamma Z \cos\beta \sin\beta$$

Factor de seguridad

$$FS = \frac{c' + \sigma_n \tan\phi}{\tau}$$

$$FS = \frac{c' + \gamma Z \cos^2\beta \tan\phi}{\gamma Z \cos\beta \sin\beta}$$

3.5.3. Factor de seguridad con pendiente infinita con presión de poros

Este factor de seguridad es mejor aún que los anteriores ya que relaciona la presión de poros y la presencia del agua del nivel freático causantes de la estabilidad de la montaña.

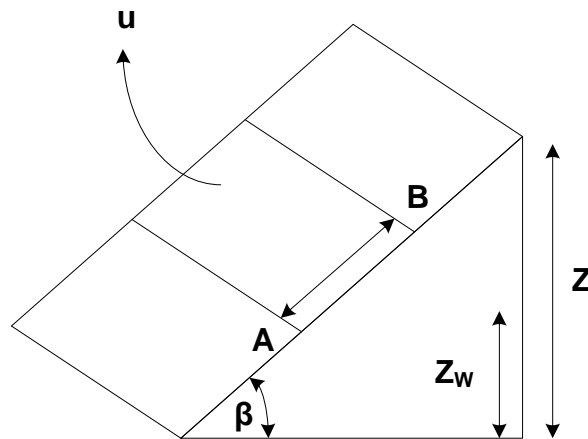


Figura 15. Parámetros de la pendiente infinita con presión de poros u

Componente normal del peso del agua

Peso del agua $W_w = \gamma_w Z_w$ si $m = \frac{Z_w}{Z}$ es la relación entre la altura de la pendiente y la altura del nivel freático

$$W_w = \gamma_w Z m$$

$$P_w = W_w \cos\beta$$

Componente Normal del peso de agua $P_w = \gamma_w Z m \cos\beta$

Presión de poros en AB

La presión de poros es la presión que ejerce el agua entre las partículas reduciendo la resistencia al cizallamiento.

$$u = \frac{P_w}{AB}$$

$$u = \frac{\gamma_w Z m \cos\beta}{\frac{1}{\cos\beta}}$$

$$u = \gamma_w Z m \cos^2\beta \quad \text{presión de poros}$$

Factor de seguridad

$$FS = \frac{c' + (\gamma Z \cos^2\beta - u) \tan\phi}{\gamma Z \cos\beta \sin\beta}$$

Sustituyendo la presión de poros

$$FS = \frac{c' + (\gamma Z \cos^2\beta - \gamma_w Z m \cos^2\beta) \tan\phi}{\gamma Z \cos\beta \sin\beta}$$

$$FS = \frac{c' + (\gamma - m \gamma_w) Z \cos^2\beta \tan\phi}{\gamma Z \cos\beta \sin\beta}$$

Parámetros

c' Cohesión efectiva [N/m²]

γ Peso unitario del suelo [N/m³]

m Relación de alturas

γ_w Peso unitario del agua [N/m³]

Z Profundidad de la falla [m]

β Inclinación de la pendiente (°)

ϕ Ángulo efectivo de la resistencia a la fricción (°)

Analizando el factor de seguridad obtenido, como $m = \frac{Z_w}{Z}$ al aumento paulatino de las precipitaciones, el nivel freático Z_w aumenta y por ende m crece, disminuyendo el numerador conforme llueve, hasta el punto que el factor de seguridad podría volverse negativo.

Positivo $FS > 1$ Pendiente estable

$FS = 1$ Pendiente a punto de fallar

Negativo $FS < 1$ Pendiente inestable

6.6. Referencias bibliográficas

- 1) S.f. Reference Extended. Consultado el 25/4/2011. Recuperado de <http://arduino.cc/es/Reference/Extended> Tutorial de programación del microcontrolador Atmega del dispositivo waspmote.
- 2) S.f. Tutorial básico 5. Consultado el 15/3/2011. Recuperado de <http://www.recursosvisualbasic.com.ar/htm/tutoriales/tutorial-basico5.htm#str-val> Información acerca del manejo de cadenas de caracteres.
- 3) S.f. Waspote datasheet. Consultado el 26/4/2011. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/waspote/waspote-datasheet_eng.pdf Hoja de datos del dispositivo waspmote.
- 4) S.f. Waspote Guía Técnica. Consultado el 26/4/2011. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/waspote/waspote-technical_guide_eng.pdf Guía técnica del dispositivo waspmote.
- 5) S.f. Inicio rápido. Consultado el 26/4/2011. Recuperado de <http://www.libelium.com/development/waspote/quickstart> Información acerca la utilización de Waspote Environment.
- 6) S.f Waspote 802.15.4 networking guide. Consultado 26/4/2011. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/waspote/waspote-802.15.4-networking_guide.pdf Documentación acerca de la creación de una red con dispositivos waspmotes
- 7) S.f Tutorial X-CTU. Consultado 26/4/2011. Recuperado de <http://www.libelium.com/development/waspote/tutorial0003> Tutorial de la utilización del software de Digi para el manejo de los modulos XBee.

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1. Reconocimiento y definición del problema

Se realizaron varias visitas a la comunidad de Jucó en Orosí, haciendo visitas de campo, observando la falla activa del deslizamiento, además el comité comunal de Orosí, nos sugirieron la falta de un sistema de alarmas, que no cuentan por el momento, la gente nos decía que con un sistema de este tipo pueden estar un poco más seguro y más tranquilos aunque siempre con la precaución del caso. En cuanto a la definición de las restricciones del sistema, debido a la ubicación del deslizamiento en estudio se sobreentiende que necesitábamos transmitir a una distancia de por lo menos 200 metros o más desde el talud hacia la zona segura.

4.2. Obtención y análisis de información

La obtención de la información se realizó por medio de una investigación acerca de los deslizamientos, que tipos existen, cuales son las causas que lo generan y las consecuencias, también se investigó acerca de los diferentes modelos de factores de seguridad que existen, toda dicha información se obtuvo visitando páginas de internet.

4.3. Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Las diferentes partes que componen al sistema se simularon y se realizaron pruebas concretas para establecer si cumplían con lo que se pretendía realizar, además se fueron probando etapa por etapa hasta que la solución fuera la más eficiente y acertada.

Cuando se tuvo todo el sistema en su totalidad se simuló todas las etapas al mismo tiempo para determinar si la solución al problema se había alcanzado de la mejor manera posible.

4.4. Implementación de la solución

Para la implementación de la solución se siguió el siguiente procedimiento de actividades:

Se empezó a realizar una investigación acerca de los diferentes modelos de factores de seguridad, dependiendo de las condiciones reunidas por el deslizamiento de la comunidad de Jucó, una vez que se obtuvo se empezó a determinar si era viable el modelo en estudio en cuanto a la escogencia de los diferentes sensores para el sistema.

Luego se empezó a trabajar con la red waspmote de la empresa Libelium, para crear una red de sensores inalámbricos con sus respectivos parámetros de configuración de red.

Seguidamente se trabajó con los sensores acoplándolos al dispositivo waspmote, y realizando algún tipo de circuito de acople si se necesitaba, el cual se realizó un acondicionador de señal desde el diseño, hasta su implementación en un circuito impreso.

Cuando estas actividades llegaron a su final solo faltaba por realizar una interfaz de usuario para el manejo de los datos entrantes de la red, para el cálculo del factor de seguridad y la activación de las alarmas que pueden ser sonoras o lumínicas según convenga.

4.5. Reevaluación y rediseño

Una mejora que me parece importante al sistema es aumentar la distancia de transmisión desde el deslizamiento hacia la zona segura, también sería muy recomendable incorporar la activación de una alarma independiente del factor de seguridad para cubrir la actividad sísmica causante de un deslizamiento.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

3.1. Descripción del hardware

3.1.1. Acondicionador de señal CAS

El sensor de humedad 808H5V5, con el rango de voltaje a la salida del sensor, de [0,8-3,9V], siendo este un valor analógico, debemos convertirlo en un valor digital para utilizarlo con el waspmote de la empresa Libelium, se utiliza el modulo del convertidor analógico a digital (ADC) del mismo cuya rango de operación es de [0 – 3.3V], pero el valor máximo de salida de sensor es de 3,9 voltios, debemos diseñar un acondicionador de señal, para que la salida de tensión del sensor cuando alcance su valor máximo, tengamos a la entrada del ADC el valor de 3,3 voltios.

Procedimiento de diseño de un CAS para el sensor 808H5V5

1. Se define el rango de medida de la variable del sensor: [0-100%] RH
2. Se define la salida de voltaje del transductor: [0,8-3,9V]

Humedad %	0	20	40	60	80	100
Voltaje [V]	0,8	1,42	2,04	2,66	3,28	3,9

Tabla 2. Valores de tensión proporcionales a la humedad relativa del sensor H5V5.

3. Definición de la salida del acondicionador de señal: [1,1-3.3V]
4. Determinar la relación entre la salida VS y la entrada del CAS %RH

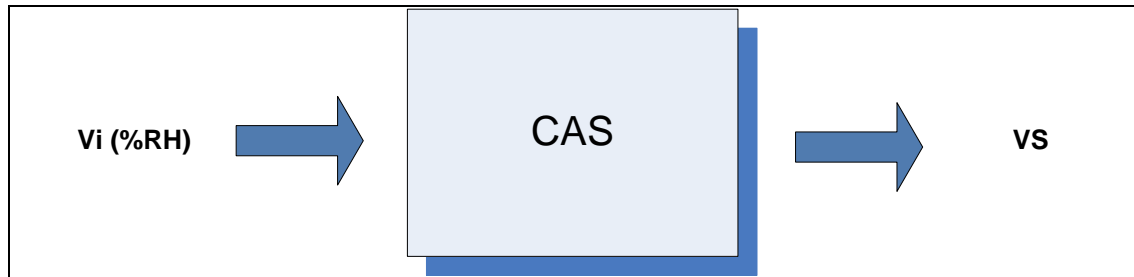


Figura 16. Diagrama de bloque del CAS, $VS = f(V\%RH)$

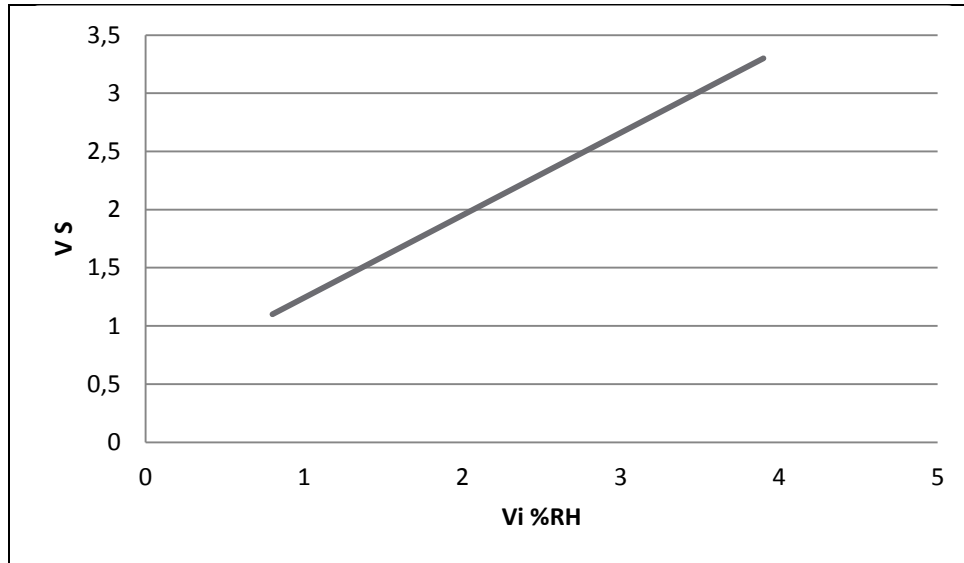


Figura 17. Relación entre la humedad %RH y el voltaje de salida VS del CAS

5. Se calcula los parámetros del CAS con la figura 16.

La pendiente es igual a la ganancia A del CAS

$$A = \frac{V_{S\ MAX} - V_{S\ MIN}}{V_{I\ MAX} - V_{I\ MIN}}$$

La intersección con el eje y corresponde al valor del voltaje de referencia V_r

$$V_r = V_{S\ Máx} - A V_{I\ Máx}$$

6. Circuito CAS

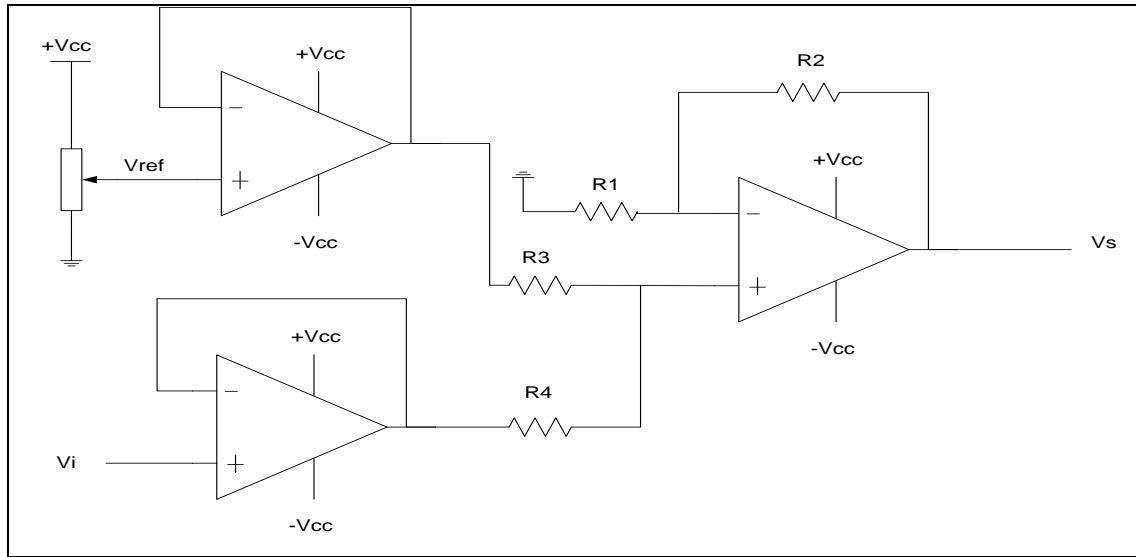


Figura 18. Circuito acondicionador de señal

$A = 0,5 \left(\frac{R2}{R1} + 1 \right)$	$R1 = \frac{R2}{2A - 1}$
$R2 = R3 = R4 = 10k\Omega$	$V_s = A(V_i + V_{ref})$

Tabla 3. Parámetros del acondicionador de señal

Parámetro	Medida
Voltaje de entrada [V]	[0,80-3,90]
Voltaje de salida [V]	[1,12-3,30]
Ganancia A	≈0,71
Vr [V]	≈0,53
Vref [V]	≈0,75
R1 [kΩ]	23,90
R2 [kΩ]	9,95
R3 [kΩ]	9,94
R4 [kΩ]	9,97

Tabla 4. Parámetros del acondicionador de señal implementado

Luego del diseño del acondicionador de señal, se implemento el circuito de la figura 17 con el integrado LM324 el cual es un integrado que posee cuatro amplificadores operacionales, además tiene la ventaja de ser alimentado con una sola fuente de 5 voltios cd, en vez de utilizar fuentes duales.

El circuito impreso se realizo utilizando el software Eagle Layout Editor 5.9.0, es un programa para realizar el diseño del circuito impreso, una vez que se tenga el diseño mostrado en la figura 18, se envía al laboratorio de impresos para su realización.

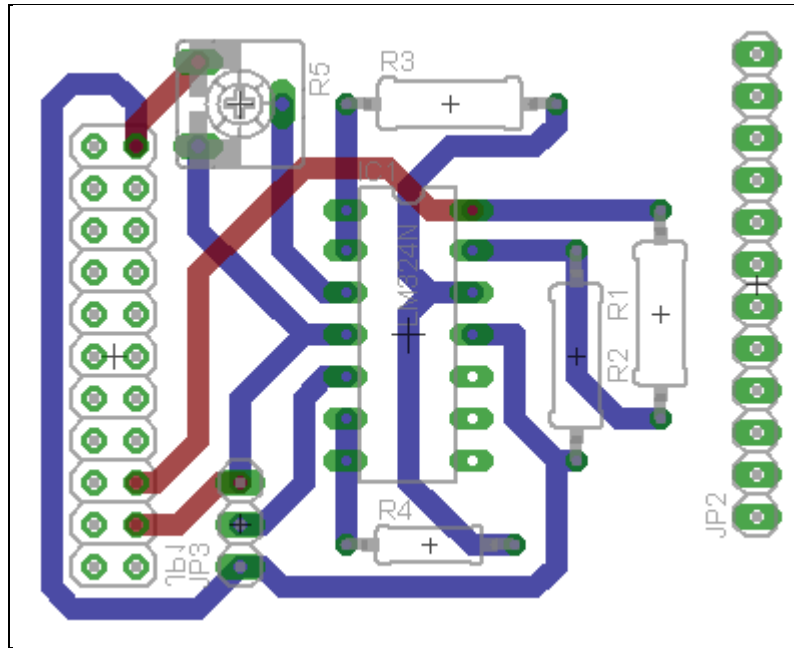


Figura 19. Diseño del impreso del circuito acondicionador de señal

3.2. Descripción del software

3.2.1. Creación de una red

Para la creación de una red waspmote se necesitan primeramente ciertos parámetros para su configuración, que son el identificador de red, la escogencia del canal y la seguridad.

Código:

```
void red(){
  // Chosing a channel : channel 0x0B
  xbee802.setChannel(0x0B);
  // Chosing a PANID : PANID=0x5054
  xbee802.setPAN(PANID);
  // Enabling security : KEY="RandallKey"
  xbee802.encryptionMode(1);
  // xbee802.setLinkKey(KEY);
  xbee802.writeValues();
  delay(1000);
}
```

La función red tiene como fin grabar en el modulo del XBee los parámetros del canal, panid y habilita la seguridad de la red, la instrucción `xbee802.writeValues()`; se encarga de escribir en los registros correspondientes del módulo XBee de Digi los valores anteriores para la correcta operación de la red, es importante que dicha función sea exactamente la misma en todos los nodos que componen la red.

3.2.2. Transmisión de información con waspmote

Es importante entender de que manera se transmite la información los nodos waspmote, como se convierten los datos para ser enviados inalámbricamente.

Código:

```
void enviar(){
  char aux[100];
  int data=600;
  data++;
  sprintf(aux,"%dB%c%c",data,'\r','\n');
  xbee802.send("0013A20040691655",aux);//MAC ADDRESS DEL RECEPTOR
  GATEWAY
  delay(1000);
}
```

Para enviar información del nodo transmisor al receptor Gateway, primeramente se crea un arreglo de caracteres con un tamaño a su escogencia, el cual se llama aux, esto nos sirve para almacenar la información a enviar en el arreglo, luego de esto se declara la variable que queremos enviar; luego la instrucción `sprintf(aux,"%dB%c%c",data,'\r','\n');` me convierte variables en decimal en una cadena de caracteres almacenándolos en aux, debido a que los nodos solo transmiten cadenas de caracteres.

Es importante que en esta instrucción la parte `"%dB%c%c",data,'\r','\n'`, que se encuentra entre comillas dobles se debe de colocar un signo de porcentaje y después el tipo de variable, es decir %d por que data es una variable tipo entera y %c es por que es un carácter, la B en %dB es un código para diferenciar la información de los diferentes nodos que se transmite al receptor Gateway. Después la instrucción `xbee802.send("0013A20040691655",aux);` es la encargada de transmitir el arreglo de caracteres aux al receptor Gateway; se debe de colocar entre los paréntesis la dirección Mac del módulo XBee del Gateway, para saber a donde enviar la información.

3.2.3. Sensor de humedad 808H5V5

El software utilizado para el sensor de humedad se realiza utilizando el lenguaje de programación de alto nivel C++, se creó una rutina para determinar el valor de la humedad relativa obtenida mediante el transductor. La rutina es la siguiente:

Código:

```
void humedad(){
  int adc=0;
  int humedad=0;
  float voltaje=0;
  adc = analogRead(ANALOG1);
  voltaje = (adc*3.3)/1023;
```

```

humedad = (voltaje-1.1)/0.022;
sprintf(aux,"%dp%c%c",humedad,'\r','\n');
xbee802.send("0013A20040691655",aux);//MAC ADDRESS DEL RECEPTOR
GATEWAY
delay(2000);
}

```

El valor analógico proveniente del acondicionador de señal, se lee por medio del pin Analog 1, dicho pin se debe de establecer como pin de entrada ya que le va a entrar un valor analógico, para hacer esto se utiliza la instrucción `pinMode(ANALOG1, INPUT)`. Además se establece la alimentación para el acondicionador de señal, la cual la misma placa waspmote nos proporcionara con un valor de 5 voltios, los cuales son suficientes para alimentar el circuito, en este caso se establece el pin `SENS_PW_5V`, como salida ya que nos entregará un voltaje con la instrucción, `pinMode(SENS_PW_5V, OUTPUT)`; luego de esto debemos activarlo obteniendo 5 voltios constantes, los cuales serían 4,93 voltios, utilizando la instrucción `digitalWrite(SENS_PW_5V, HIGH)`.

Con respecto a la rutina primero se crean 3 variables que utilizaremos para guardar los valores necesarios que necesitamos, en la primera se declara la variable `adc` como un integer que es una variable entera de 16 bits, en esta variable se guardara el valor leído por el convertidor analógico – digital (ADC) que es un número entre [0 -1023], de esta forma el ADC lee el valor de voltaje en el pin de entrada ANALOG 1; en la segunda variable transformamos el valor entero leído por el ADC en el valor de voltaje pero ya digitalmente, dicha variable se declara en coma flotante es decir nos guarda un valor con números decimales, en la instrucción `voltaje = (adc*3.3)/1023`; se multiplica por 3,3 ya que es el valor máximo del ADC, y así tenemos un valor digital comprendido entre [0-3,3V] voltios y en la tercer variable obtenemos el valor de la humedad relativa, solo que aquí la resolución del sensor cambia debido al rango de salida del acondicionador de señal que es [1,1-3,3V] voltios.

3.2.4. Interfaz de usuario

En este apartado se explicará el código para la realización de la interfaz de usuario realizada en Visual Basic 6.0 que muestra la información proveniente de la red waspmote.

5.2.4.1. Modulo.bas

Código:

```

Global T0 As Long: Global T1 As Long: Global T3 As Long: Global T4 As Long
Global T5 As Long: Global T6 As Long: Global R5 As Single: Global R6 As Single

```

En este apartado el modulo.bas, se declaran cualquier tipo de variables de manera global, es decir se pueden utilizar en cualquier parte del programa que se requieran.

5.2.4.2. Formulario menú principal

Código:

```
Private Sub MnuConexión_Click()  
Unload MDIPrincipal  
Load Conexion  
Conexion.Show  
End Sub
```

```
Private Sub MnuConstantes_Click()  
Unload MDIPrincipal  
Load Constantes  
Constantes.Show  
End Sub
```

```
Private Sub MnuFactor_Click()  
Unload MDIPrincipal  
Load factor  
factor.Show  
End Sub
```

Cada vez que se presiona un botón ya sea constantes, factor, conexión, se cierra el menú principal, se carga el formulario respectivo y se muestra.



Figura 20. Formulario del menú principal del programa**5.2.4.3. Formulario constantes****Código:**

```
Private Sub Command1_Click()
T0 = Val(Text(0)): T1 = Val(Text(1))
T3 = Val(Text(3)): T4 = Val(Text(4))
T5 = Val(Text(5)): T6 = Val(Text(6))
Unload Me
End Sub
```

En esta función cuando se introduzcan los datos en las casillas de texto, los datos se almacenan en las variables globales del programa desde T0 a T6, cuando se hace click en el botón aceptar.

Código:

```
Private Sub Command2_Click()
Text(0) = "": Text(1) = "": Text(3) = ""
Text(4) = "": Text(5) = "": Text(6) = ""
End Sub
```

Al presionar el botón limpiar, las casillas de texto se borran si tienen información contenida en ellas.

Código:

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
If MsgBox("¿Desea regresar al menu principal?", _
vbQuestion + vbYesNo, "Mensaje") = vbYes Then
Load MDIPrincipal
MDIPrincipal.Show
Unload Me
Else: Cancel = True
End If
End Sub
```

Cuando se quiera salir de la pantalla de introducción de constantes, al presionar en la x, le aparece una caja de mensaje preguntando ¿Desea regresar al menú principal?, si la respuesta es sí, carga la ventana del menú principal, la muestra y cierra la ventana de introducción de constantes.

Modelo Pendiente Infinita

c' Cohesión efectiva [N/m²]

γ Peso unitario del suelo [N/m³]

γ_w Peso unitario del agua [N/m³]

Z Profundidad de la falla [m]

β Inclinação de la pendiente (grados)

ϕ Ángulo efectivo de la resistencia a la fricción (grados)

Aceptar

Limpiar

$$FS = \frac{c' + (\gamma - m\gamma_w)Z \cos^2 \beta \tan \phi}{\gamma Z \cos \beta \sin \beta}$$

Figura 21. Formulario de la introducción de las constantes

5.2.4.4. Formulario factor

Código:

Option Explicit

Dim T2 As Single

Dim u As Integer

Dim Valor As String

Dim Cadena As String

Dim Lectura As Integer

Dim Zw As Long

Dim i As Integer

Dim c As Integer

Dim d As Integer

Dim x As Integer

Dim e As Integer

Dim a As Integer

Dim Puerto ' Número de Puerto para selección automática

Declaramos las variables a utilizar en el formulario factor

Código:

```
Private Sub Form_Load()
```

```
  Constantes.Text(0) = T0
```

```
  Constantes.Text(1) = T1
```

```
  Constantes.Text(3) = T3
```

```
  Constantes.Text(4) = T4
```

```
  Constantes.Text(5) = T5
```

```
  Constantes.Text(6) = T6
```

```
  200:          ' Vuelve a seleccionar puerto otra vez
```

```
  For Puerto = 4 To 12    ' Elegir automáticamente puerto para conectarse
```

```
  On Error GoTo Volver    ' Si no encuentra puerto (Error) va a Volver
```

```
  MSComm1.CommPort = Puerto ' Elegir un puerto
```

```
  MSComm1.PortOpen = True  ' Abrir el puerto para provocar error y que salte
```

```
  MSComm1.PortOpen = False ' Cerrar el puerto para provocar error y que salte
```

```
  MSComm1.PortOpen = True  ' Abrir el puerto si no hubo error
```

```
  Exit For          ' Sale del For Next
```

```
  100:          ' Vuelve de Volver
```

```
Next
```

```
  If Puerto >= 12 Then ' Si no hay dispositivo conectado
```

```
  Dim Respuesta As Integer
```

```
  Respuesta = (MsgBox("No hay Dispositivo conectado. ¿Desea Salir?",  
vbYesNo))
```

```
  If Respuesta = 6 Then
```

```
  End
```

```
  Else: GoTo 200    ' Vuelve a seleccionar puerto otra vez
```

```
  End If
```

```
End If
```

```
MSComm1.DTREnable = False ' Opción si o no
```

```
MSComm1.RTSEnable = False ' Opción si o no
```

```
MSComm1.Handshaking = comNone ' Opción; hay 4 distinas
```

```
MSComm1.InputLen = 0 'Establece el número de caracteres 0 no la limita
```

```
MSComm1.InputMode = comInputModeText ' Opción modo texto
```

```
MSComm1.Settings = "38400,n,8,1" ' Opción 2400,9600, 28800, 56000, 115200
```

```
Exit Sub    ' Para que no entre la ejecución a Volver
```

```
Volver:
```

```
  Resume 100          'Vuelve al For Next
```

```
End Sub
```

En esta rutina el programa empieza a buscar el número de puerto automáticamente, solo sí el Gateway se encuentra conectado a la computadora abriendo un puerto serial, de no ser así se muestra un mensaje de error diciendo que la operación solo es válida cuando el puerto esta abierto.

Luego de encontrar el número de puerto correcto del Gateway, se empieza a establecer las propiedades del control MSCComm1, que es un control para escuchar el puerto serie del Gateway, entre las propiedades más importantes tenemos que establecer la velocidad del puerto 38400 bps, la paridad que en este caso es sin paridad, la cantidad de bits 8 y el bit de parada.

Código:

```
Private Sub tiempo()
a = a + 1
If (a = 3) Then
i = e
c = d
End If
Call frecuencia
End Sub
```

La rutina tiempo es el control de la cantidad de variables a utilizar la rutina frecuencia.

Código:

```
Private Sub frecuencia()
If i = 0 Then GoTo Label
If i = 1 Then GoTo Label
Valor = Cadena
Valor = Left(Valor, i - 1)
Valor = Mid(Valor, c + 1)
Lectura = Val(Valor)
If (a = 2) Then Zw = Lectura
Label(a).Caption = Lectura
Call factors
Valor = ""
If a = 3 Then Call Timer1_Timer
Call tiempo
Label:
End Sub
```

En frecuencia se encuentra de la variable cadena que es un string, capturada por el control MSCComm1, el valor enviado por la transmisión de los nodos al Gateway, es decir en cadena se puede almacenar por ejemplo "B10A52%" "C60p47%", con los valores numéricos de i y c, que son las posiciones en la cadena de los caracteres A y B respectivamente, con estos valores recortamos la cadena hasta obtener el número 10 almacenándolo en valor, pero como es un string, lo convertimos en un dato numérico para utilizarlo en el procedimiento factors.

Código:

```
Private Sub Timer1_Timer()
Timer1.Enabled = True
Cadena = MSCComm1.Input
```

```

i = InStr(Cadena, Chr(65)) 'A
e = InStr(Cadena, Chr(112)) 'p
c = InStr(Cadena, Chr(66)) 'B
d = InStr(Cadena, Chr(67)) 'C
a = 2
Call frecuencia
End Sub

```

Este procedimiento es el tiempo de la ejecución del ciclo completo del programa, es una especie de lazo o ciclo infinito, que además también se lee la entrada del puerto com del Gateway y lo que haya en el buffer se almacena en la variable cadena, obteniendo las posiciones de los caracteres A,p,B,C para su posterior utilización.

Código:

```

Private Sub factors()
Dim factor As Single
Dim seguridad As String
Dim resolucion As Single
Dim riesgo As Integer

'T0 = cohesión efectiva [N/m2]
'T1 = peso unitario del suelo [N/m3]
'T2 = relación de alturas Zw/Z
'T3 = peso unitario del agua [N/m3]
'T4 = profundidad de la falla [m]
'T5 = inclinación de la pendiente grados
'T6 = Angulo efectivo de la resistencia a la fricción grados

T2 = Zw / T4
R5 = T5 * 3.141592654 / 180 'De grados a radianes
R6 = T6 * 3.141592654 / 180 'De grados a radianes
factor = (T0 + (T1 - T2 * T3) * T4 * Cos(R5) * Cos(R5) * Tan(R6)) / (T1 * T4 *
Cos(R5) * Sin(R5))
seguridad = Str(factor)
seguridad = Left(seguridad, 5)
If (factor >= 1) Then
resolucion = 71 / 9500
riesgo = (fmax - factor) / resolucion
Else: riesgo = 100
End If
Label(5).Caption = seguridad
Label(1).Caption = riesgo
End Sub

```

En factors se calcula el factor de seguridad y el riesgo de deslizamiento, con las variables introducidas en la ventana de constantes y la variable Zw recibida del waspmote.

Código:

```
Private Sub Command1_Click()
If (u = 0) Then
Image9.Visible = True
u = u + 1
GoTo r
End If
If (u = 1) Then
Image9.Visible = False
u = 0
End If
r:
End Sub
```

Este código es para la visualización de la fórmula del modelo de pendiente infinita presionando el botón formula de la ventana de factor.

Código:

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
If MsgBox("¿Desea regresar al menú principal?", _
vbQuestion + vbYesNo, "Mensaje") = vbYes Then
If MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.PortOpen = False
End If
Load MDIPrincipal
MDIPrincipal.Show
Unload Me
Else: Cancel = True
End If
End Sub
```

Para salir de la ventana de factor.

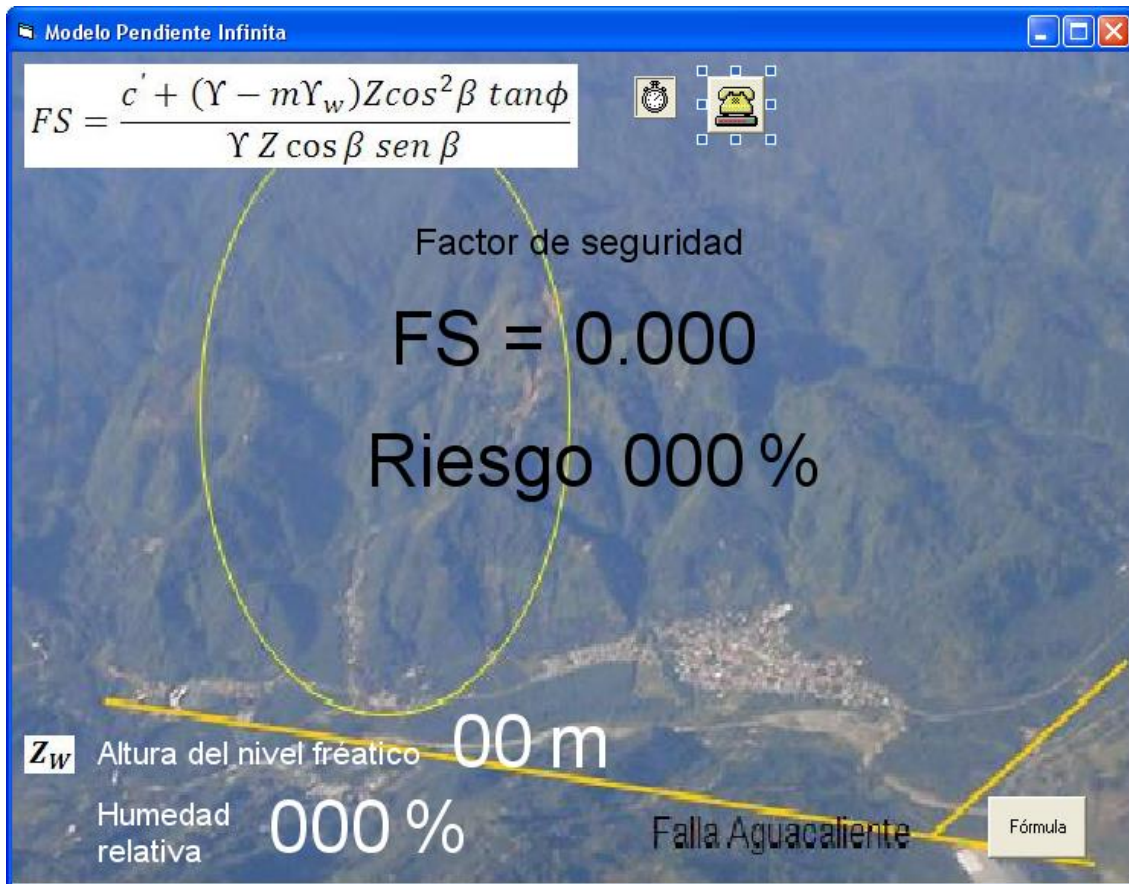


Figura 22. Formulario factor que muestra los datos del factor de seguridad y riesgo

5.2.4.5. Formulario conexión

Código:

Option Explicit

Dim Valor As String, Cadena As String, Codigo As String

Dim Codigo2 As String, Codigo3 As String, N1 As String, N3 As String

Dim i As Integer

Dim e As Integer

Dim a As Integer

Dim Puerto ' Número de Puerto para selección automática

Declaración de las variables locales a utilizar en el formulario

Código:

```
Private Sub Form_Load()
```

```
200:           ' Vuelve a seleccionar puerto otra vez
```

```
For Puerto = 4 To 12 ' Elegir automáticamente puerto para conectarse
```

```
On Error GoTo Volver ' Si no encuentra puerto (Error) va a Volver
```

```
MSComm1.CommPort = Puerto ' Elegir un puerto
```



```

MSComm1.PortOpen = True ' Abrir el puerto para provocar error y que salte
MSComm1.PortOpen = False ' Cerrar el puerto para provocar error y que salte
MSComm1.PortOpen = True ' Abrir el puerto si no hubo error
Exit For ' Sale del For Next
100: ' Vuelve de Volver
Next
    If Puerto >= 12 Then ' Si no hay dispositivo conectado
        Dim Respuesta As Integer
        Respuesta = (MsgBox("No hay Dispositivo conectado. ¿Desea Salir?",
vbYesNo))
        If Respuesta = 6 Then
            End
        Else: GoTo 200 ' Vuelve a seleccionar puerto otra vez
        End If
    End If
MSComm1.DTREnable = False ' Opción si o no
MSComm1.RTSEnable = False ' Opción si o no
MSComm1.Handshaking = comNone ' Opción; hay 4 distintas
MSComm1.InputLen = 0 ' Opción lago cadena; 0 no la limita
MSComm1.InputMode = comInputModeText ' Opción texto o binario
MSComm1.Settings = "38400,n,8,1" ' Opción 2400,9600, 28800, 56000, 115200
Exit Sub ' Para que no entre la ejecución a Volver
Volver:
    Resume 100
End Sub

```

En esta rutina el programa empieza a buscar el número de puerto automáticamente, solo sí el Gateway se encuentra conectado a la computadora abriendo un puerto serial, de no ser así se muestra un mensaje de error diciendo que la operación solo es válida cuando el puerto esta abierto. Luego de encontrar el número de puerto correcto del Gateway, se empieza a establecer las propiedades del control MSComm1, que es un control para escuchar el puerto serie del Gateway, entre las propiedades más importantes tenemos que establecer la velocidad del puerto 38400 bps, la paridad que en este caso es sin paridad, la cantidad de bits 8 y el bit de parada.

Código:

```

Private Sub frecuencia()
Valor = Left(Cadena, i)
Codigo = Right(Valor, 1)
N1 = Mid(Cadena, i + 1, 3)
If i = 0 Then N1 = ""
Valor = Left(Cadena, e)
Codigo3 = Right(Valor, 1)
N3 = Mid(Cadena, e + 1, 3)
If e = 0 Then N3 = ""
Call color

```

End Sub

En esta rutina se obtiene el carácter código del dato enviado por el waspmote, y además el valor del nivel de batería de los nodos waspmote que se encuentran transmitiendo en la red.

Código:

```
Private Sub Timer1_Timer()
    Timer1.Enabled = True
    Cadena = MSComm1.Input
    i = InStr(Cadena, Chr(65)) 'A
    e = InStr(Cadena, Chr(112)) 'p
    Call frecuencia
End Sub
```

Aquí obtenemos la posición de los caracteres A, p en la cadena de entrada leída por el control MSComm1, si no los encontrara tanto i como e serían 0.

Código:

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
    If MsgBox("¿Desea regresar al menú principal?", _
        vbQuestion + vbYesNo, "Mensaje") = vbYes Then
        If MSComm1.PortOpen Then
            MSComm1.PortOpen = False
        End If
        Load MDIPrincipal
        MDIPrincipal.Show
        Unload Me
    Else: Cancel = True
    End If
End Sub
```

Para salir de la ventana de conexión.

Código:

```
Private Sub color()
    If (Codigo = "A") Then
        Shape3.FillColor = &HFF00&
    Else: Shape3.FillColor = &HFF&
    End If
    If (Codigo2 = "b") Then
        Shape4.FillColor = &HFF00&
    Else: Shape4.FillColor = &HFF&
    End If
    If (Codigo3 = "p") Then
        Shape5.FillColor = &HFF00&
    Else: Shape5.FillColor = &HFF&
    End If
    Label(0).Caption = N1
```

```
Label(2).Caption = N3  
End Sub
```

En esta rutina comparamos los caracteres obtenidos anteriormente con el carácter A, b y p, si se cumple la condición el shape círculo de la ventana conexión cambia de color rojo a color verde, esto lo que quiere decir es que el nodo se encuentra transmitiendo, además con la label(0) y label(2) se puede visualizar el porcentaje del nivel de batería de los nodos waspmotes.



Figura 23. Formulario conexión mostrando la transmisión de los nodos y su respectivo nivel de batería

Capítulo 6: Análisis de resultados

En la figura 24, se muestra el diseño del circuito final con los componentes debidamente soldados a la placa.

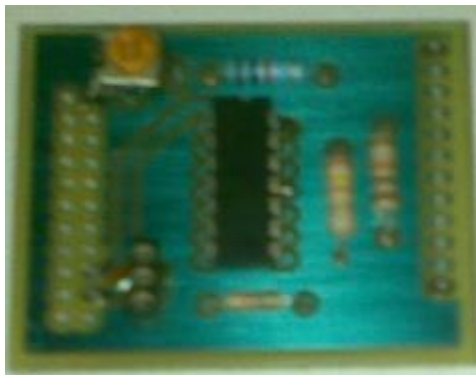


Figura 24. Acondicionador de señal implementado

Es importante recabar que la escogencia de los valores de las resistencias son lo más parecidas y cercano a un valor de $10k\Omega$, todas ellas se midieron con un multímetro digital, además se escogió un potenciómetro de un tamaño pequeño debido al espacio que se tiene disponible, también el potenciómetro es de precisión para ayudar a establecer el valor analógico de referencia.

A la hora de la implementación, el diseño del acondicionador de señal es el adecuado pero hubo problemas en el rango de salida del acondicionador, la salida no estaba en el rango de diseño véase la tabla 4, este problema se debe a que el valor máximo de salida del sensor al entrar en el pin positivo en el seguidor de tensión no teníamos el mismo valor reflejado en la salida del seguidor de voltaje y por ende la salida del acondicionador no era de 3,3V, para el voltaje de entrada máximo del sensor.

Esto ocurre por qué la alimentación del integrado LM324N, es de 4,93V, que es la que entrega el waspmote, y no es suficiente para valores de voltaje mayores a

3,7V que es el voltaje máximo que se veía reflejado a la salida del seguidor de voltaje, por ende se decidió no utilizar el seguidor de voltaje del sensor, por lo tanto el voltaje del sensor se colocó en la resistencia directamente.

En la figura 25, se muestra el circuito colocado en la placa del waspmote de la empresa Libelium.



Figura 25. Acondicionador de señal colocado en el waspmote

La salida del acondicionador de señal la lee el pin Analog1 del waspmote, dicha lectura se digitaliza y se transmite por medio del módulo XBee que se puede apreciar en la figura 25.

Con respecto al sensor de humedad no se soldó a la placa del circuito impreso, sino que se coloca en un conector, se pensó de esta forma para que si en un futuro el sensor se daña se pueda cambiar con facilidad.

Parámetro	Medida
Vcc [V]	4,93
Vsensor [V]	2,69
Vcas [V]	2,44
VR1 [V]	1,70
VR2 [V]	0,71
VR3 [V]	0,95

VR4 [V]	0,97
%RH sensor	60,96
%RH cas	60,91
%Error	0,08

Tabla 5. Parámetros del acondicionador de señal para una humedad de 61%

Parámetro	Medida
Vcc [V]	4,93
Vsensor [V]	2,87
Vcas [V]	2,57
VR1 [V]	1,81
VR2 [V]	0,76
VR3 [V]	1,05
VR4 [V]	1,07
%RH sensor	66,77
%RH cas	66,81
%Error	0,06

Tabla 6. Parámetros del acondicionador de señal para una humedad del 66%

En las tablas 5 y 6, se muestran los datos experimentales del acondicionador de señal con diferentes lecturas del sensor de humedad, podemos notar la variación del voltaje de salida del acondicionador de señal con respecto al voltaje de salida del sensor; al voltaje de salida del cas si le restamos el voltaje de la resistencia R1 tenemos el voltaje en la resistencia R2, cuyo resultado concuerda con el mostrado en la tabla 6.

Por otra parte se aprecia que el porcentaje de error de ambas tablas es muy bajo, lo que indica que la medida de humedad del sensor con respecto a la medida de humedad del acondicionador de señal son valores bastantes cercanos por ende el resultado de humedad del cas es confiable.

La existencia de esas variaciones de porcentajes de humedad relativa, ocurren debido a la variación de los valores de las resistencias y el diseño del circuito integrado LM324N.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- No utilizar el circuito integrado LM324N en modo seguidor de voltaje si se alimenta con un voltaje de 5 voltios aproximadamente o si tiene limitaciones con la fuente de poder.
- El diseño del acondicionador de señal es el adecuado, pero debido a limitaciones de la fuente de poder y utilizando el LM324N, el rango de salida esperado no es el correcto.
- Realizar una transmisión de información por medio de paquetes sin utilizar la API header es mucho más eficiente que utilizarla, además la programación de la captura de datos se hace menos compleja en la interfaz de usuario.
- La medición del factor de seguridad nos proporciona una probabilidad de la estabilidad de la montaña indicándonos la existencia de riesgo de deslizamiento.

5.2. Recomendaciones

- Utilizar paneles solares para alimentar los waspmotes, cargando la batería del dispositivo constantemente.

- Diseñar un circuito divisor de tensión reemplazando el acondicionador de señal, debido a las limitaciones de la fuente.
- Realizar un circuito impreso y una rutina de programación, acoplándolo al waspmote para calibrar los sensores en caso que se necesite.
- Integrar en el sistema un circuito de alarmas independiente del factor de seguridad en caso de una actividad sísmica.
- Validar el modelo de factor de seguridad por medio de un deslizamiento a escala y realizar una comparación con otros tipos de factores de seguridad.

Bibliografía

- 1) S.f. Reference Extended. Consultado el 25/4/2011. Recuperado de <http://arduino.cc/es/Reference/Extended> Tutorial de programación del microcontrolador Atmega del dispositivo waspmote.
- 2) S.f. Tutorial básico 5. Consultado el 15/3/2011. Recuperado de <http://www.recursosvisualbasic.com.ar/htm/tutoriales/tutorial-basico5.htm#str-val> Información acerca del manejo de cadenas de caracteres.
- 3) S.f. Wasmote datasheet. Consultado el 26/4/2011. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/wasmote/wasmote-datasheet_eng.pdf Hoja de datos del dispositivo waspmote.
- 4) S.f. Wasmote Guía Técnica. Consultado el 26/4/2011. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/wasmote/wasmote-technical_guide_eng.pdf Guía técnica del dispositivo waspmote.
- 5) S.f. Inicio rápido. Consultado el 26/4/2011. Recuperado de <http://www.libelium.com/development/wasmote/quickstart> Información acerca de la utilización de Wasmote Environment.
- 6) S.f. Wasmote 802.15.4 networking guide. Consultado 26/4/2011. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/wasmote/wasmote-802.15.4-networking_guide.pdf Documentación acerca de la creación de una red con dispositivos waspmotes
- 7) S.f. Tutorial X-CTU. Consultado 26/4/2011. Recuperado de <http://www.libelium.com/development/wasmote/tutorial0003> Tutorial de la utilización del software de Digi para el manejo de los módulos XBee.

Apéndices

A1. *Glosario, abreviatura y simbología*

Glosario

Cohesión efectiva: atracción intermolecular por el cual los elementos de un cuerpo se mantienen unidas.

Peso unitario del suelo: es el peso, por unidad de volumen, de la parte sólida (partículas) de un *suelo*

Peso unitario del agua: es el peso de la unidad de volumen del agua; normalmente igual a 1 gr/cm^3 .

Acondicionador de señal: es un circuito que dependiendo de la entrada que puede ser voltaje o corriente, cambia su valor de salida en función de la entrada.

Convertidor analógico digital (ADC): es un circuito que recibe una señal de voltaje analógica y la convierte en discreta.

Registro: es un espacio de memoria capaz de almacenar información.

Resistencia: es una medida de la oposición que ofrece un conductor al paso de la corriente.

Transductor: es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente a la salida.

Potenciómetro: es un dispositivo capaz de variar la medida de la resistencia.

A2. Información de la empresa/ institución

A.2.1 Descripción de la institución

El Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), fue creado el 10 de junio de 1971, mediante la Ley No.4777, es una de las cuatro universidades públicas del país, es una institución nacional autónoma de la educación superior universitaria, principalmente se dedica a formar profesionales en diversas áreas, también se dedica a la investigación y la extensión de la tecnología. Se ubica

A.2.2 Descripción del departamento en la que se realizó el proyecto

El presente proyecto se desarrollo en el Laboratorio de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad (SESLab), es un laboratorio que se dedica a la investigación teniendo como objetivo el desarrollo de sistemas electrónicos para potenciar la sostenibilidad de procesos, entornos o sistemas físicos.

En el SESLab trabaja estudiantes de pregrado y postgrado, profesores e ingenieros de diferentes áreas las cuales son: Electrónica, Diseño Industrial, Construcción y Ciencias Biológicas.

Actualmente, se desarrollan proyectos de investigación financiados por entes gubernamentales, organizaciones internacionales sin fines de lucro y la industria privada.

SESLab pertenece a la Escuela de Ingeniería en Electrónica y se encuentra localizado en las instalaciones de dicha Escuela, en el Campus Central, Cartago, Costa Rica.

