

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería Electrónica**



**Proyecto de investigación del sistema de monitorización y alarma contra los deslizamientos etapa I**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Randall Arrieta Duarte**

**Cartago, Junio de 2011**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

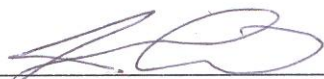
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**Tribunal Evaluador**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Jorge Chaves Arce

Profesor lector



Ing. Néstor Hernández Hostaller

Profesor lector



Ing. Marvin Hernández Cisneros

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 20 de junio 2011

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 20 de junio del 2011



Randall Arrieta Duarte

Cédula: 1-1184-0204

## **RESUMEN**

La comunidad de Jucó ubicada en el Valle de Orosí, se encuentran ante un posible riesgo de sufrir un deslizamiento de tierra, por lo tanto, el objetivo de este proyecto es mostrar las bases para el diseño de un sistema de monitorización y alarma contra los deslaves, alertando a la población para la evacuación en la zona activa.

Por medio de la utilización de sensores se mide las variables en estudio y además la implementación de una red inalámbrica para enviar los datos de los diferentes sensores a una unidad de control ubicada en una zona segura; dependiendo de los datos tomados se alerta a la población de un talud, por medio de alarmas sonoras y lumínicas ubicadas en la zona.

Palabras claves: talud, red inalámbrica, monitorización

## **ABSTRACT**

Jucó community located in the Orosí Valley, are facing a possible risk of a landslide, so the objective of this project is to show the basis for a design a monitoring and alarm system against landslides, alerting the population for evacuation in the hotspot.

Through the use of sensors measuring the variables under study and also the implementation of a wireless network to send data from different sensors to a control unit located in a safe area, depending of data taken is alerting the public of a slope, through sound and light alarms located in the area.

Key words: slope, wireless network, monitoring

## INDICE GENERAL

<b>Capítulo 1: Introducción</b> .....	<b>9</b>
1.1. Problema existente e importancia de su solución.....	9
1.2. Solución seleccionada .....	9
<b>Capítulo 2: Meta y objetivos</b> .....	<b>11</b>
2.1. Meta .....	11
2.2. Objetivo general .....	11
2.3. Objetivos específicos .....	11
<b>Capítulo 3: Marco teórico</b> .....	<b>13</b>
3.1. Descripción del sistema.....	13
3.1.1. Diagrama de bloques del primer nivel .....	13
3.1.2. Diagrama de segundo nivel del bloque de la pendiente.....	13
3.1.3. Diagrama de segundo nivel del bloque de la monitorización.....	14
3.1.4. Diagrama de segundo nivel del bloque de control.....	14
3.2. Waspnote .....	15
3.3. Red waspnote.....	18
3.4. Sensores .....	22
3.4.1. Sensor de humedad 808H5V5 .....	22
3.5. Modelo pendiente infinita.....	23
3.5.1. Factor de seguridad sin pendiente infinita.....	24
3.5.2. Factor de seguridad con pendiente infinita sin presión de poros .....	25
3.5.3. Factor de seguridad con pendiente infinita con presión de poros .....	27
3.6. Antecedentes bibliográficos.....	30
<b>Capítulo 4: Procedimiento metodológico</b> .....	<b>32</b>
4.1. Reconocimiento y definición del problema .....	32
4.2. Obtención y análisis de información .....	32
4.3. Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución .....	32
4.4. Implementación de la solución .....	33
4.5. Reevaluación y rediseño.....	33
<b>Capítulo 5: Descripción detallada de la solución</b> .....	<b>34</b>
5.1. Descripción del hardware .....	34
5.1.1. Acondicionador de señal CAS .....	34
5.2. Descripción del software .....	38
5.2.1. Creación de una red .....	38
5.2.2. Transmisión de información con waspnote.....	39
5.2.3. Sensor de humedad 808H5V5 .....	40
5.2.4. Interfaz de usuario.....	41

5.2.4.1.	Modulo.bas.....	41
5.2.4.2.	Formulario menú principal.....	41
5.2.4.3.	Formulario constantes.....	43
5.2.4.4.	Formulario factor.....	44
5.2.4.5.	Formulario conexión.....	49
<b>Capítulo 6: Análisis de resultados.....</b>		<b>54</b>
<b>Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones .....</b>		<b>58</b>
7.1.	Conclusiones.....	58
7.2.	Recomendaciones .....	58
<b>Bibliografía .....</b>		<b>60</b>
<b>Apéndices.....</b>		<b>62</b>
A1.	Glosario, abreviatura y simbología.....	62
A2.	Información de la empresa/ institución .....	63
A.2.1	Descripción de la institución .....	63
A.2.2	Descripción del departamento en la que se realizó el proyecto.....	63
<b>Fórmulas .....</b>		<b>64</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema de alarma contra deslizamientos.....	9
Figura 3.1 Sistema de alarma contra deslizamientos.....	13
Figura 3.2 Variables de monitorización de la pendiente.....	13
Figura 3.3 Diagrama de bloques de la monitorización del sistema.....	14
Figura 3.4 Diagrama de bloques de la unidad de control.....	14
Figura 3.5 Topología p2p.....	17
Figura 3.6 Topología de árbol.....	17
Figura 3.7 Topología de malla.....	17
Figura 3.8 Canales de frecuencia en la banda de 2,4 GHz.....	20
Figura 3.9 Transmisión con dispositivo waspmote con API header.....	22
Figura 3.10 Deslizamiento con superficie de falla plana.....	23
Figura 3.11 Componentes de la pendiente.....	24
Figura 3.12 Componentes de la pendiente.....	25
Figura 3.13 Parámetros de la pendiente.....	26
Figura 3.14 Parámetros de la pendiente infinita con presión de poros u.....	27
Figura 5.1 Diagrama de bloque del CAS, $VS = f(V\%RH)$ .....	35
Figura 5.2 Relación entre la humedad %RH y el voltaje de salida VS del CAS.....	35
Figura 5.3 Circuito acondicionador de señal.....	36
Figura 5.4 Diseño del impreso del circuito acondicionador de señal.....	37
Figura 5.5 Formulario del menú principal del programa.....	42
Figura 5.6 Formulario de la introducción de las constantes.....	44
Figura 5.7 Formulario factor que muestra los datos del factor de seguridad y riesgo.....	49
Figura 5.8 Formulario conexión mostrando la transmisión de los nodos y su respectivo nivel de batería.....	53
Figura 6.1 Acondicionador de señal implementado.....	54
Figura 6.2 Acondicionador de señal colocado en el waspmote.....	55

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1</b>	<b>Canales de frecuencia del protocolo 802.15.4 en la banda de 2,4 GHz.</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 5.1</b>	<b>Valores de tensión proporcionales a la humedad relativa del sensor H5V5.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 5.2</b>	<b>Parámetros del acondicionador de señal.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 5.3</b>	<b>Parámetros del acondicionador de señal implementado.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 6.1</b>	<b>Parámetros del acondicionador de señal para una humedad de 61% ..</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 6.2</b>	<b>Parámetros del acondicionador de señal para una humedad del 66% .</b>	<b>56</b>



## Capítulo 1: Introducción

En este apartado se explicara la importancia del sistema realizado y el problema en cuestión, además de los elementos empleados para su óptima solución.

### 1.1. Problema existente e importancia de su solución

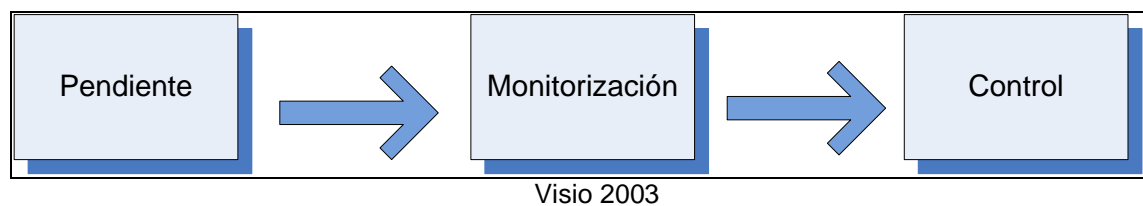
Debido a la ubicación de la comunidad de Jucó al pie de las montañas, esta situación presenta un claro problema, ya que la población se encuentra ante un grave peligro de ocurrencia de un deslizamiento de tierra, debido a las intensas lluvias de la zona.

Por lo tanto, la población necesita una herramienta tecnológica que sea capaz de determinar la estabilidad de la pendiente para alertar a la comunidad, de un posible talud, ofreciendo el tiempo suficiente para evacuar la zona y salvaguardar sus vidas, esta es la importancia del porqué se necesita con tanta urgencia un sistema de alerta de este tipo para disposición de la comunidad.

Beneficios:

- Conservar las vidas humanas
- Vivir plazeramente sin preocuparse por la situación

### 1.2. Solución seleccionada



**Figura 1.1** Sistema de alarma contra deslizamientos

Para solucionar el problema presentado, se pretende monitorear la pendiente seleccionada, por medio de sensores utilizando una red inalámbrica de waspmotes de la empresa Libelium, son dispositivos para transmitir inalámbricamente los datos provenientes de los sensores, con un alcance de por lo menos 500 metros de distancia desde la pendiente hacia la unidad de control que es la que genera las alarmas de alerta de un posible deslave de tierra.

## **Capítulo 2: Meta y objetivos**

### **2.1. Meta**

- Realizar la instalación del sistema de monitorización contra deslizamientos de tierra en toda la región de Orosí para la vigilancia de los taludes activos.

#### **Indicador**

Disminuir el costo total del sistema de monitorización sin afectar la calidad del mismo.

### **2.2. Objetivo general**

- Desarrollar un sistema de monitorización, con la capacidad de alertar a la comunidad de Jucó de sufrir un deslave, considerando las variables que lo causan.

#### **Indicador**

Midiendo un tiempo de respuesta mínimo desde que se toman las variables hasta el despliegue de las mismas en la interfaz gráfica, de por lo menos de 1 segundo.

### **2.3. Objetivos específicos**

#### **a. Objetivo de hardware**

- Diseñar un circuito acondicionador de señal para los sensores, con una salida de voltaje en el rango de [0V-3.3V] voltios.

#### **Indicador**

Medir el voltaje a la salida del acondicionador de señal determinando no sobrepasar el rango establecido.

### **b. Objetivo de software**

- Realizar una interfaz gráfica de usuario que permita visualizar las lecturas de las variables en estudio.

#### **Indicador**

Verificar si las lecturas de los sensores se muestran adecuadamente y en tiempo real.

### **c. Objetivo de implementación**

- Establecer una red inalámbrica de sensores, que nos permitan transmitir los datos con un alcance de por lo menos de 200 metros de distancia.

#### **Indicador**

Medir la distancia de transmisión desde la fuente hasta el receptor mayor a 200 metros.

- Seleccionar un modelo de estabilización de taludes que se adecue más a las condiciones geológicas del deslizamiento de la comunidad de Jucó.

#### **Indicador**

Medir el factor de seguridad del modelo en estudio determinando si es el más adecuado.

## Capítulo 3: Marco teórico

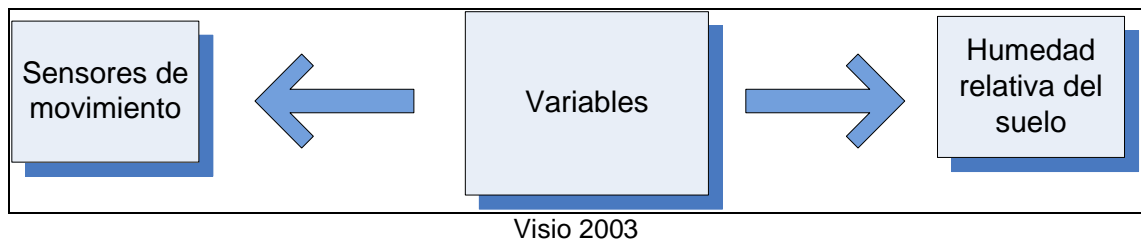
### 3.1. Descripción del sistema

#### 3.1.1. Diagrama de bloques del primer nivel



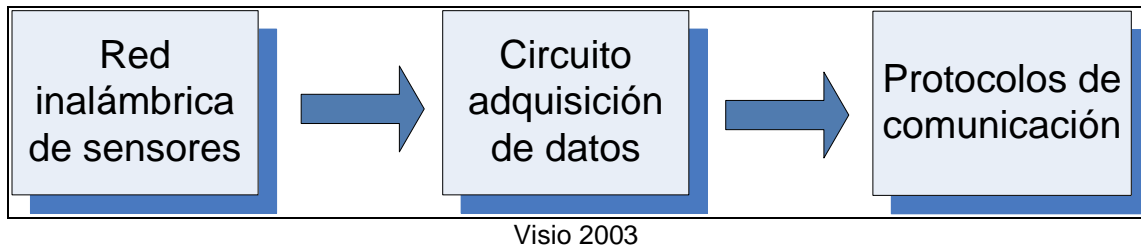
**Figura 3.1** Sistema de alarma contra deslizamientos

#### 3.1.2. Diagrama de segundo nivel del bloque de la pendiente



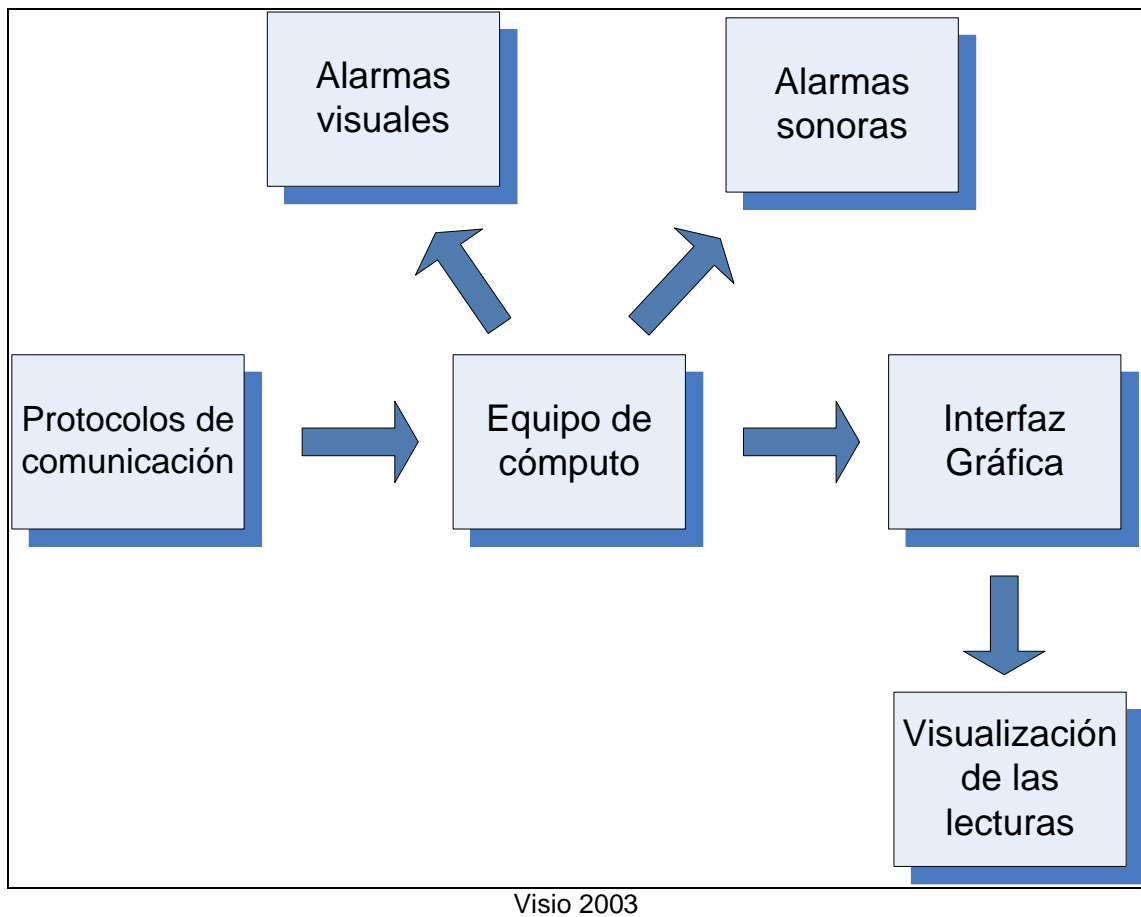
**Figura 3.2** Variables de monitorización de la pendiente

### 3.1.3. Diagrama de segundo nivel del bloque de la monitorización



**Figura 3.3** Diagrama de bloques de la monitorización del sistema

### 3.1.4. Diagrama de segundo nivel del bloque de control



**Figura 3.4** 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.

### **3.2. 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 monitorear diferentes tipos de variables en diferentes tipos de áreas, como por ejemplo en el medio ambiente, la agricultura y ganadería, logística, mercadeo entre otros.

## **Características generales**

Microcontrolador: ATmega1281

Frecuencia de operación: 8MHz

SRAM: 8KB

EEPROM: 4KB

FLASH: 128KB

SD Card: 2GB

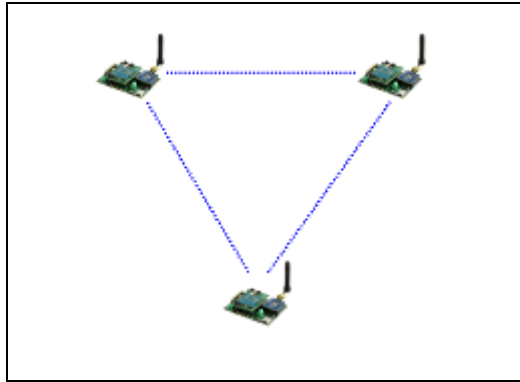
Peso: 20gr

Lo mejor de este dispositivo es su facilidad de ubicación en aéreas 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.

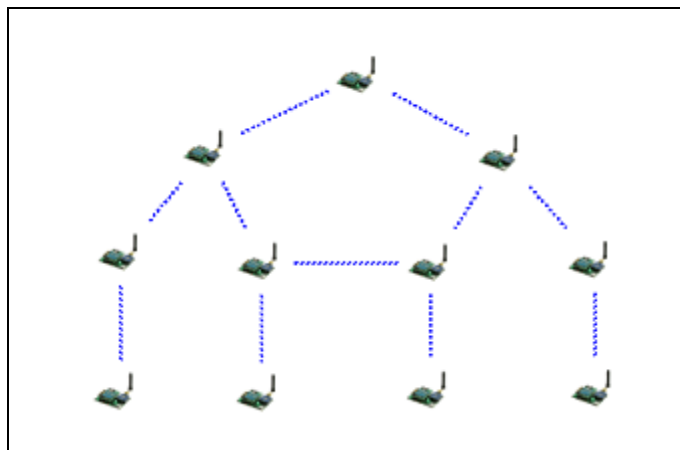
El modelo utilizado para el proyecto es XBee-802.15.4, con el protocolo de comunicación 802.15.4, utiliza la frecuencia de 2.4GHz, con una potencia de transmisión de 1mW y una sensibilidad de -92dB, alcanzando una distancia máxima de 500m.

Utiliza 3 diferentes tipos de topologías:

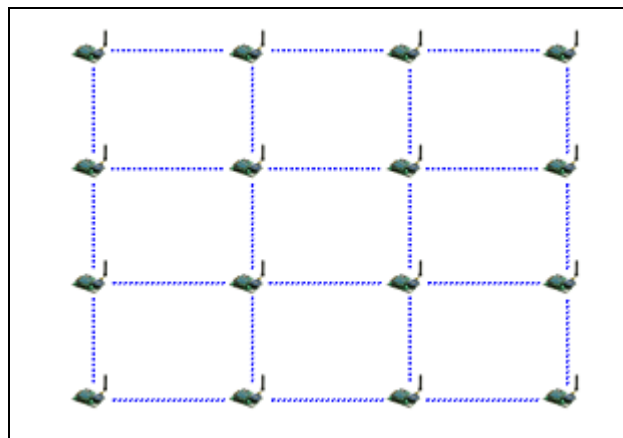




**Figura 3.5** Topología p2p



**Figura 3.6** Topología de árbol



**Figura 3.7** 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, amoníaco y etanol.

También existen la placa de eventos, la placa de prototipado, la placa de smart metering y la placa de agricultura.

El dispositivo waspmote 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.

### **3.3. Red waspmote**

Para crear una red se necesita que los módulos XBee se le escriban ciertos parámetros inicialmente, como 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 proporcionada 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.

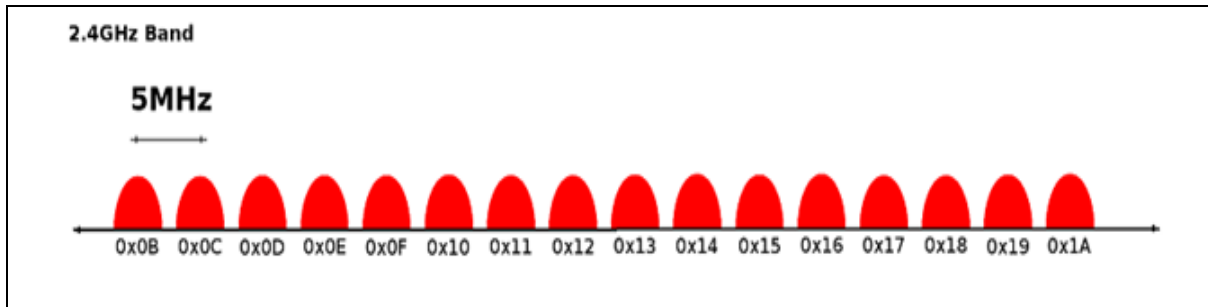
Ejemplo de uso

```
{  
  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 existan 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 3.8** Canales de frecuencia en la banda de 2,4 GHz

**Tabla 3.1** Canales de frecuencia del protocolo 802.15.4 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

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.

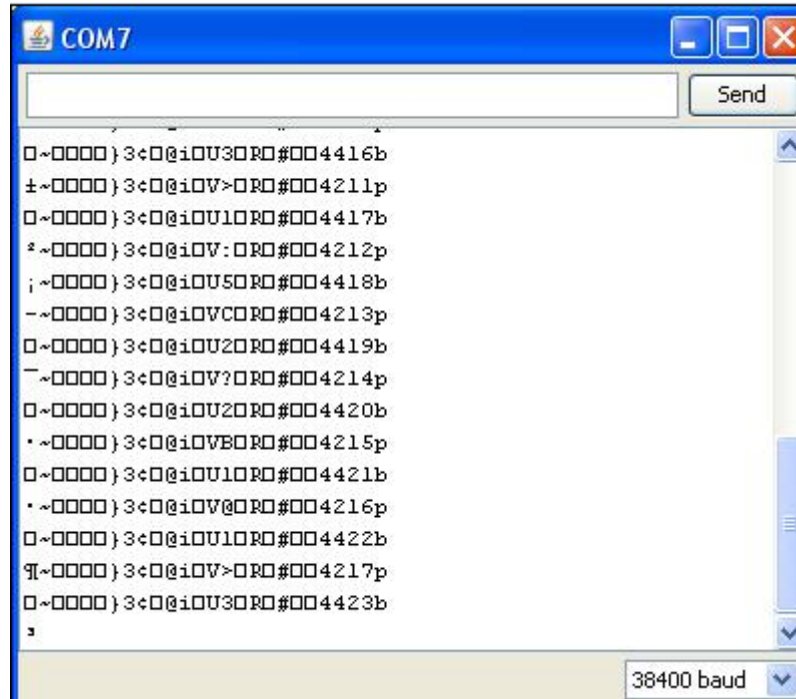


Figura 3.9 Transmisión con dispositivo waspmote con API header

### 3.4. Sensores

#### 3.4.1. 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

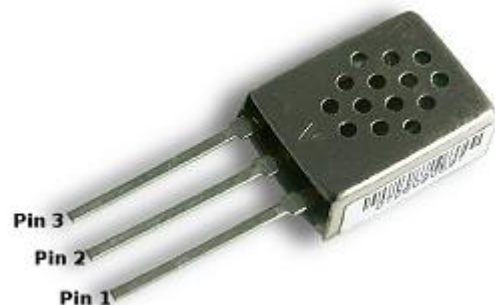
Alimentación: 5VDC  $\pm$  5%

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

Tiempo de respuesta: <15 segundos

Resolución: 31mV/1%RH

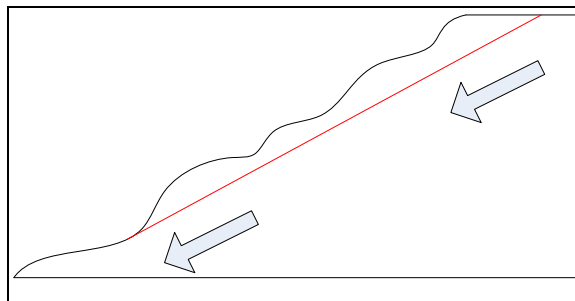
Valor de humedad: (voltaje del sensor-0,8)/31m



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.

### 3.5. Modelo pendiente infinita

Este 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.

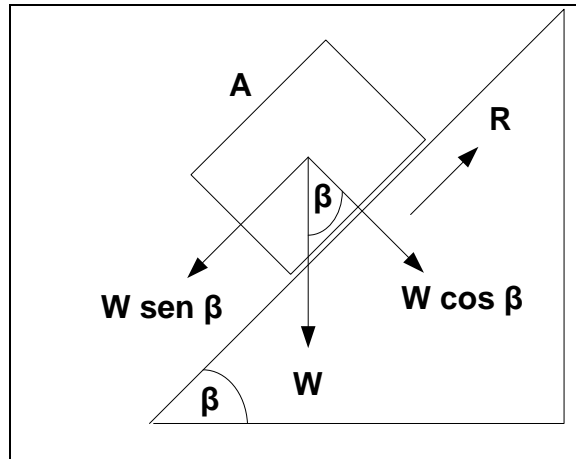


Visio 2003

**Figura 3.10** Deslizamiento con superficie de falla plana

### 3.5.1. Factor de seguridad sin pendiente infinita

#### Componentes del modelo



Visio 2003

Figura 3.11 Componentes de la pendiente

Componente de corte de peso  $W \sin \beta$

Componente normal del peso  $W \cos \beta$

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

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

$R$  es la fuerza que previene la caída del bloque

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



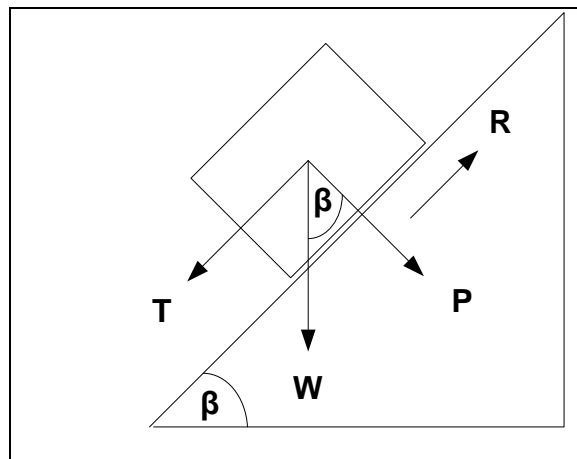
## Factor de seguridad

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

$c$  es la cohesión en [kPa]

$\phi$  es el ángulo interno de fricción en grados

### 3.5.2. Factor de seguridad con pendiente infinita sin presión de poros



Visio 2003

Figura 3.12 Componentes de la pendiente

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

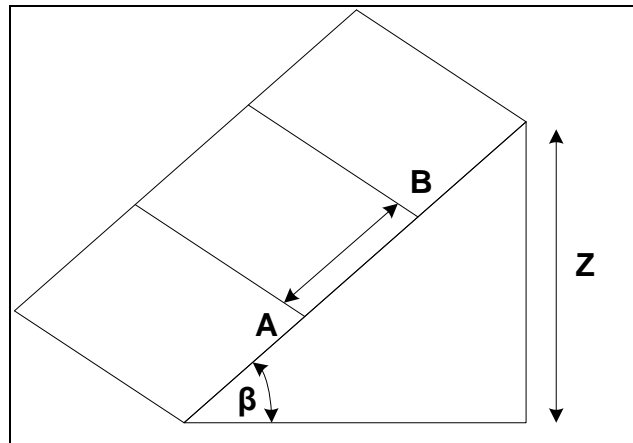
$$T = W \sin\beta \quad \text{Sustituyendo } W$$

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

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

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

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



Visio 2003

**Figura 3.13** Parámetros de la pendiente

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

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

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

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

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

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

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

$$\tau = \gamma Z \cos\beta \operatorname{sen}\beta$$

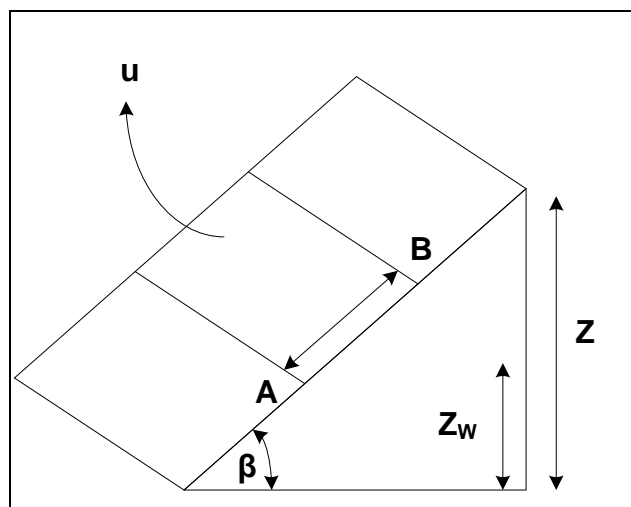
**Factor de seguridad**

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

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

### 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.



Visio 2003

**Figura 3.14** 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/m<sup>2</sup>]

$\gamma$  Peso unitario del suelo [N/m<sup>3</sup>]

$m$  Relación de alturas

$\gamma_w$  Peso unitario del agua [N/m<sup>3</sup>]

$Z$  Profundidad de la falla [m]

$\beta$  Inclinação de la pendiente (°)

$\phi$  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

### 3.6. Antecedentes bibliográficos

- 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/hm/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](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](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](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/waspmote/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 sobrentiende 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

### 5.1. Descripción del hardware

#### 5.1.1. 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 módulo 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.

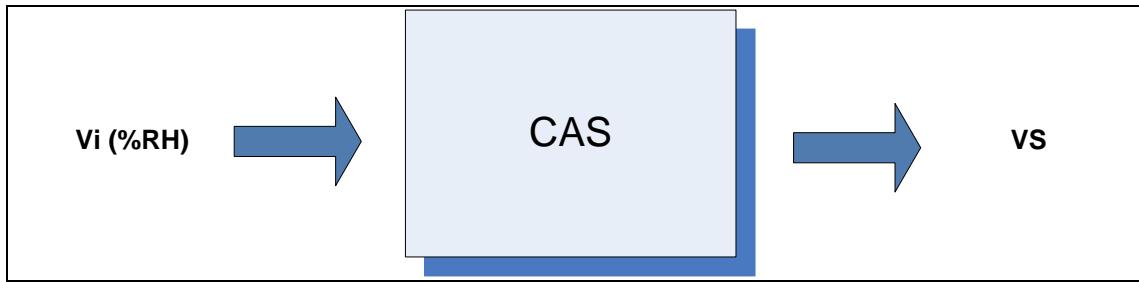
#### Procedimiento de diseño de un CAS para el sensor 808H5V5

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]

**Tabla 5.1** Valores de tensión proporcional a la humedad relativa del sensor H5V5.

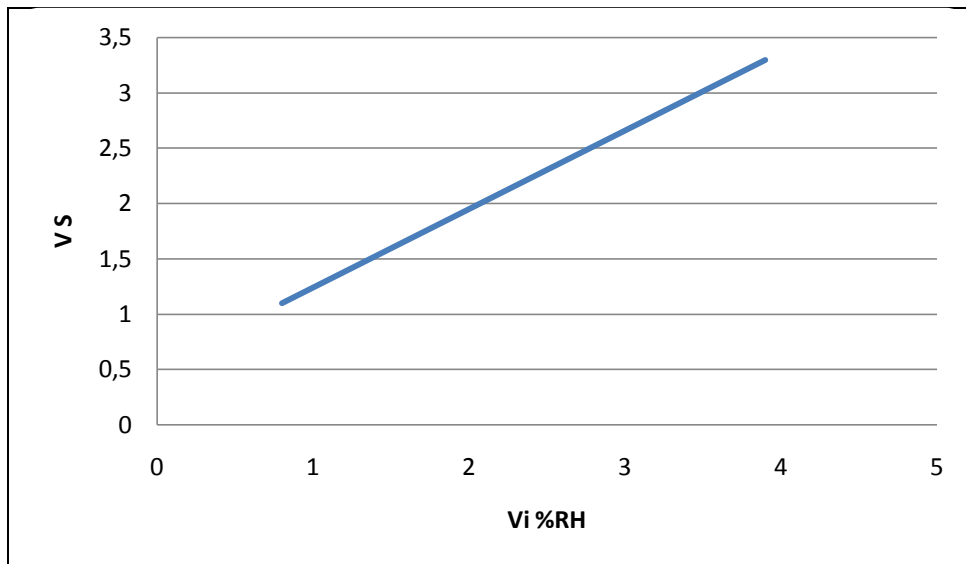
Humedad %	0	20	40	60	80	100
Voltaje [V]	0,8	1,42	2,04	2,66	3,28	3,9

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



Visio 2003

**Figura 5.1** Diagrama de bloque del CAS,  $V_S = f(V_{\%RH})$



Visio 2003

**Figura 5.2** Relación entre la humedad %RH y el voltaje de salida VS del CAS

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

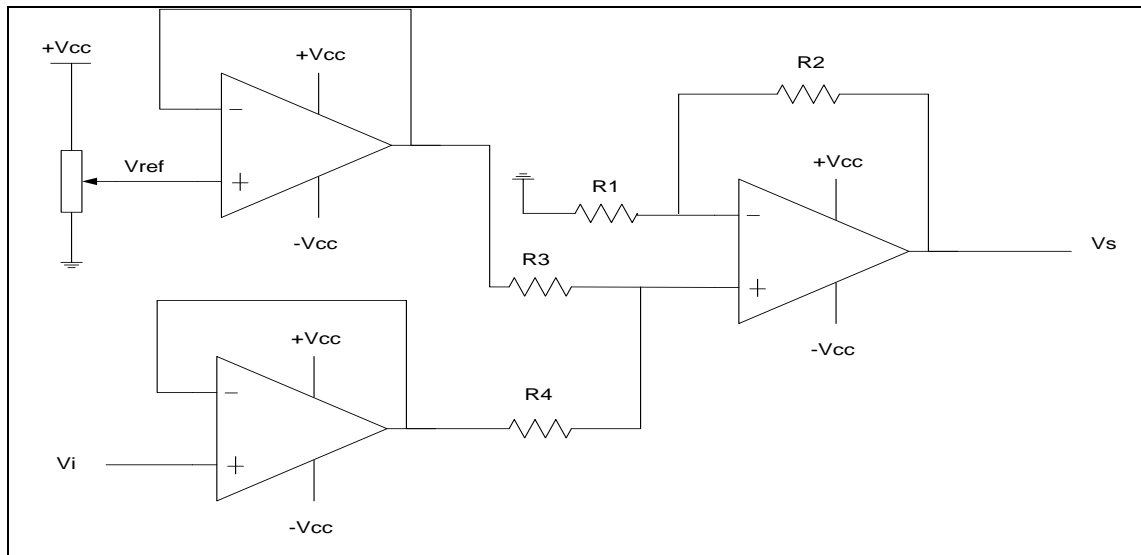
La pendiente es igual a la ganancia A del CAS

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

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



Visio 2003

**Figura 5.3** Circuito acondicionador de señal

**Tabla 5.2** Parámetros del acondicionador de señal

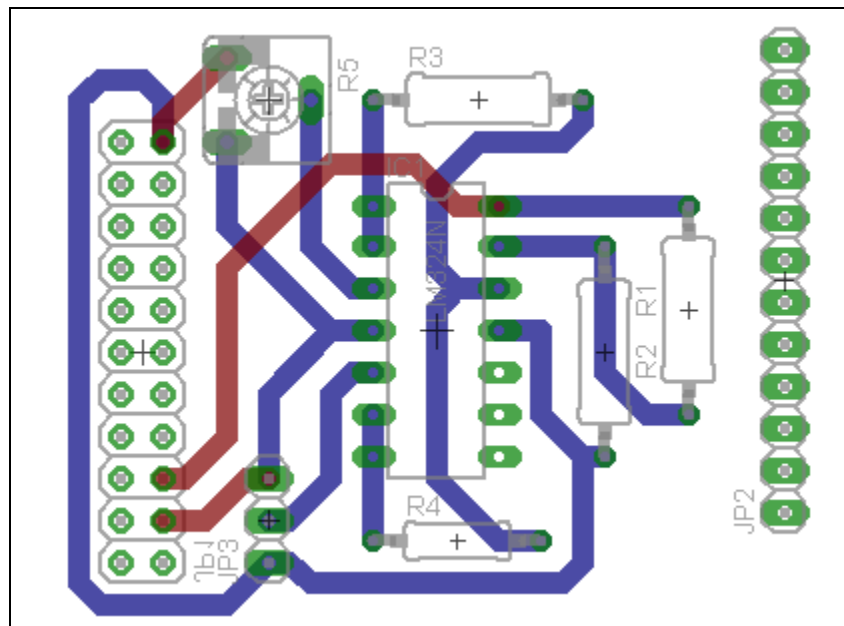
$A = 0,5 \left( \frac{R2}{R1} + 1 \right)$	$R1 = \frac{R2}{2A - 1}$
$R2 = R3 = R4 = 10k\Omega$	$V_s = A(Vi + Vref)$

**Tabla 5.3** Parámetros del acondicionador de señal implementado

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

Luego del diseño del acondicionador de señal, se implementó 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 realizó 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.



Eagle Layout Editor 5.9.0

**Figura 5.4** Diseño del impreso del circuito acondicionador de señal

## 5.2. Descripción del software

### 5.2.1. 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 módulo 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.

## 5.2.2. Transmisión de información con waspmote

Es importante entender de qué 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; seguidamente la instrucción `sprintf(aux,"%dB%c%c",data,'\r','\n');` 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 qué data es una variable tipo entera y %c es porque es un carácter, la B en %dB es un código para diferenciar la información de los diferentes nodos que se transmite al receptor Gateway.

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 adónde enviar la información.

### 5.2.3. 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 necesitemos, 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  $\text{voltaje} = (\text{adc} * 3.3) / 1023$ ; 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 tercera 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.

#### **5.2.4. 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 el botón de constantes, factor o conexión, se cierra el menú principal, se carga el formulario respectivo y se muestra.



Visual Basic 6.0

**Figura 5.5** 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/m<sup>2</sup>]

$Y$  Peso unitario del suelo [N/m<sup>3</sup>]

$Y_w$  Peso unitario del agua [N/m<sup>3</sup>]

$Z$  Profundidad de la falla [m]

$\beta$  Inclinação de la pendiente (grados)

$\phi$  Ángulo efectivo de la resistencia a la fricción (grados)

Aceptar

Limpiar

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

Visual Basic 6.0

**Figura 5.6** 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  
 Dim respuesta As Integer

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
A:          ' Vuelve a seleccionar puerto otra vez
For Puerto = 4 To 12      ' Elegir automáticamente puerto para conectarse
On Error GoTo C          ' 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
B:          ' Vuelve de Volver
Next
    If Puerto >= 12 Then ' Si no hay dispositivo conectado
        respuesta = (MsgBox("No hay Dispositivo conectado. ¿Desea Salir?",
vbYesNo))
        If respuesta = 6 Then
            End
        Else: GoTo A    ' 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 '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
C:
    Resume B      '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 está 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 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 MSComm1, 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 = MSComm1.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

```

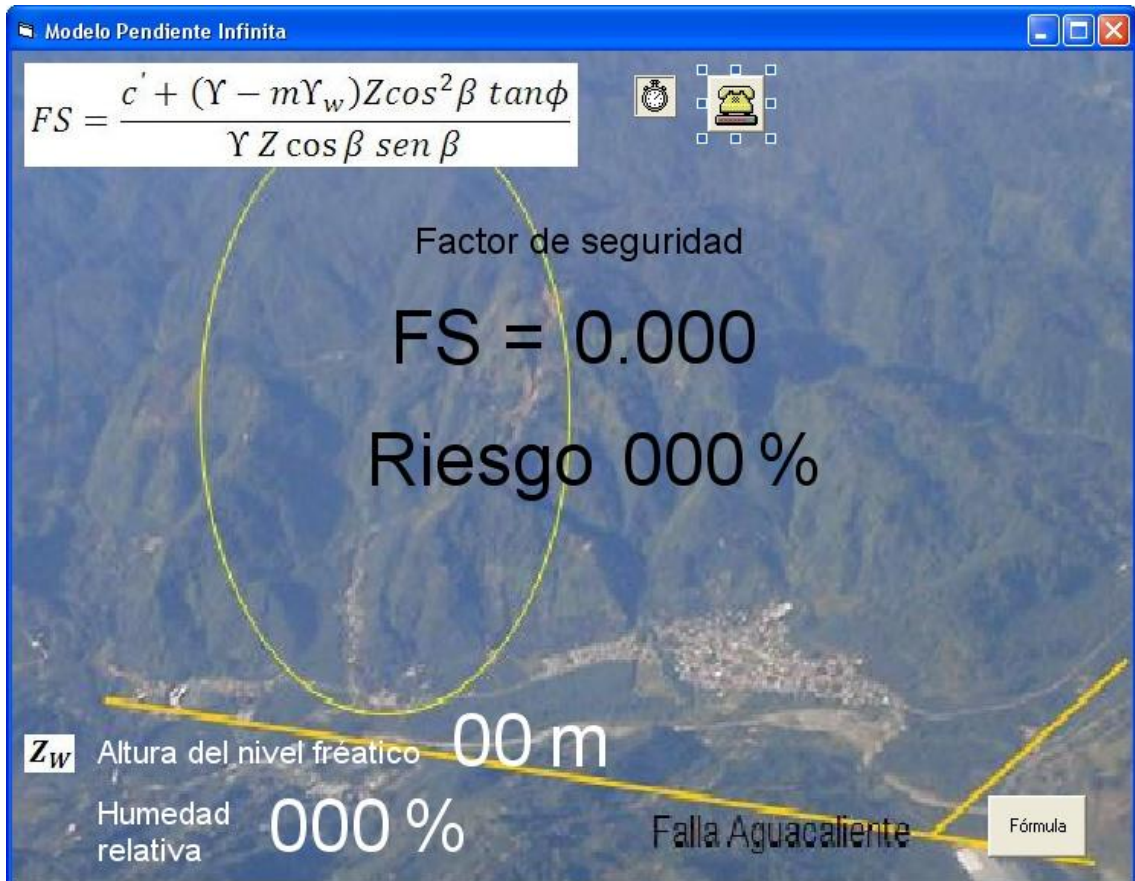


```

Unload Me
Else: Cancel = True
End If
End Sub

```

Para salir de la ventana de factor.



Visual Basic 6.0

**Figura 5.7** 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()  
A:           ' Vuelve a seleccionar puerto otra vez  
For Puerto = 4 To 12   ' Elegir automáticamente puerto para conectarse  
On Error GoTo C       ' 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  
B:           ' 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 A    ' 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  
C:  
    Resume B  
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 está 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.



Visual Basic 6.0

**Figura 5.8** 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 6.1** 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 6.2** 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, si no 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.

**Tabla 6.1** Parámetros del acondicionador de señal para una humedad de 61%

<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>
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 6.2** Parámetros del acondicionador de señal para una humedad del 66%

<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>
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

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 lo tanto el funcionamiento del circuito acondicionador de señal es el correcto.

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

### 7.1. 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.

### 7.2. 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.recursovisualbasic.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](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](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](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/waspmote/tutorial0003> Tutorial de la utilización del software de Digi para el manejo de los modulos 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  $1 \text{ gr/cm}^3$ .

Acondicionador de señal: 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 desarrolló 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.

## Fórmulas

$$\sigma = \frac{W \operatorname{sen}\beta}{A} \quad (3.1)$$

$$R = c A + W \cos\beta \tan\phi \quad (3.2)$$

$$s = c + \sigma \tan\phi \quad (3.3)$$

$$FS = \frac{c A + W \cos\beta \tan\phi}{W \operatorname{sen}\beta} \quad (3.4)$$

$$T = W \operatorname{sen}\beta \quad (3.5)$$

$$T = \gamma Z \operatorname{sen}\beta \quad (3.6)$$

$$P = W \cos\beta \quad (3.7)$$

$$P = \gamma Z \cos\beta \quad (3.8)$$

$$AB = \frac{1}{\cos\beta} \quad (3.9)$$

$$\sigma_n = \frac{P}{AB} \quad (3.10)$$

$$\sigma_n = \gamma Z \cos^2\beta \quad (3.11)$$

$$\tau = \frac{T}{AB} \quad (3.12)$$

$$\tau = \gamma Z \cos\beta \operatorname{sen}\beta \quad (3.13)$$

$$FS = \frac{c' + \gamma Z \cos^2\beta \tan\phi}{\gamma Z \cos\beta \operatorname{sen}\beta} \quad (3.14)$$



$$W_w = \gamma_w Z_w \quad (3.15)$$

$$P_w = W_w \cos\beta \quad (3.16)$$

$$P_w = \gamma_w Z m \cos\beta \quad (3.17)$$

$$u = \frac{P_w}{AB} \quad (3.18)$$

$$u = \gamma_w Z m \cos^2\beta \quad (3.19)$$

$$FS = \frac{c' + (\gamma - m \gamma_w) Z \cos^2\beta \tan\phi}{\gamma Z \cos\beta \sin\beta} \quad (3.20)$$

$$A = \frac{V_{S\text{MAX}} - V_{S\text{MIN}}}{V_{I\text{MAX}} - V_{I\text{MIN}}} \quad (4.1)$$

$$V_r = V_{S\text{Máx}} - A V_{I\text{Máx}} \quad (4.2)$$

$$A = 0,5 \left( \frac{R2}{R1} + 1 \right) \quad (4.3)$$

$$R1 = \frac{R2}{2A-1} \quad (4.4)$$

$$V_s = A(V_i + V_{ref}) \quad (4.5)$$