

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
Escuela de Ingeniería Electrónica
Proyecto de Graduación



**Sistema de redes de sensores para la predicción y prevención de
deslizamientos de tierra, Etapa 1: Modelado matemático del factor de
seguridad**

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

Rodrigo Alfaro Bolaños
200517242

Cartago, Junio 2012

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRONICA
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 Tecnológico de Costa Rica.

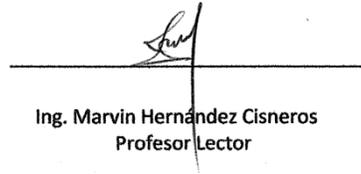
Proyecto: Sistema de redes de sensores para la predicción y prevención de deslizamientos de tierra, Etapa 1: Modelado matemático del factor de seguridad

Estudiante: Rodrigo Alfaro, Carnet: 200517242

Miembros de Tribunal:



Ing. Néstor Hernández
Profesor Asesor



Ing. Marvin Hernández Cisneros
Profesor Lector

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, 25 de Junio 2012

DECLARATORIA DE AUNTENTICIDAD

Declaro que el presente Anteproyecto 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 anteproyecto realizado y por el contenido expuesto del mismo

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Rodrigo Alfaro Bolaños

Cédula: 2-636-075

Carnet: 200517242

Cartago, 25 de Junio de 2011

Resumen

La comunidad de Jucó ubicada en el Valle de Orosi, Cartago, se encuentra expuesta al riesgo de deslizamientos de tierra o aludes, por lo tanto se pretende diseñar un sistema de monitorización de variables climáticas que permita por medio de la utilización de modelados matemáticos para deslizamientos, la prevención y predicción de este tipo de fenómenos. Esto con el fin de alertar a la población en caso de la necesidad de evacuar la zona activa.

Por medio de la utilización de una red de estaciones meteorológica inalámbricas se realiza la medición y monitorización en tiempo real de las variables en estudio. Dichas estaciones están interconectadas a un nodo central en el cual se tiene una unidad de control. En esta unidad de control se utiliza un modelado matemático que por medio de los datos obtenidos, genera diferentes alertas respecto a posibles deslizamientos de tierra con la finalidad de que la población tome las medidas necesarias para prevenir los efectos de este tipo de fenómenos naturales

Palabras clave: Alud, deslizamiento, red, estaciones meteorológicas inalámbricas, modelado matemático, medición, monitorización.

Abstract

Jucó community in Orosi Valley, Cartago, is exposed to a landslide risk, for that reason is intended to design a monitoring system of a weather variables that allows via mathematic landslide modeling, the prevention and prediction of this kind of phenomena, this in order to alert the Jucó population in case of the need to evacuate the active landslide zone.

Keywords: Landslide, wireless weather station network, mathematic model, measurement, monitoring.

Índice General

1.	Introducción.....	1
1.1.	Problema existente e importancia de su solución	1
1.2.	Solución seleccionada.....	1
2.	Meta y objetivos	3
2.1.	Meta.....	3
2.2.	Objetivo general.....	3
2.3.	Objetivos específicos	3
3.	Marco teórico	4
3.1.	Descripción del sistema	4
3.1.1.	Red de Sensores.....	4
3.1.2.	Monitorización, simulación y despliegue de datos.....	4
3.2.	Sensores Oregon Scientific.....	6
3.2.1.	Variables de medición.....	6
3.2.2.	Descripción de la consola o base	6
3.2.3.	Transmisión de datos	12
3.2.4.	Conexión con PC	13
3.3.	Modelado matemático: Pendiente infinita.....	13
3.3.1.	Factor de seguridad sin pendiente infinita.....	14
3.3.2.	Factor de seguridad con pendiente infinita, sin presión de poros	15
3.3.3.	Factor de seguridad con pendiente infinita y presión de poros.....	17
3.4.	Antecedentes bibliográficos.....	20
4.	Procedimiento y Metodología	21
4.1.	Reconocimiento y definición del problema	21
4.2.	Obtención y análisis de información	22

4.3.	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	22
4.4.	Implementación de la solución	23
4.5.	Reevaluación y rediseño	24
5.	Descripción de la solución	25
5.1.	Descripción del hardware	25
5.1.1.	Estaciones Oregon Scientific	25
5.1.2.	Descripción de software.....	26
6.	Análisis de resultados.....	31
6.1.	Estaciones meteorológicas.....	31
6.2.	Modelado matemático	32
6.3.	Software para medición de datos	33
7.	Conclusiones y recomendaciones	36
7.1.	Conclusiones	36
7.2.	Recomendaciones	37
8.	Bibliografía.....	38
9.	Apéndices	39
A.1.	Glosario, abreviatura y simbología	39
	Glosario.....	39
A.2.	Información de la empresa/institución.....	40
A.2.1.	Descripción de la institución	40
A.2.2.	Descripción del departamento en la que se realizó el proyecto.....	40
A.3.	Archivo de salida del programa Weather Station Data Logger	41
10.	Fórmulas:	43

Índice de Figuras

Figura 1.1. Solución seleccionada, diagrama de primer nivel	1
Figura 1.2. Estación meteorológica Oregon Scientific	2
Figura 3.1. Diagrama de primer nivel de la solución.....	4
Figura 3.2. Red de sensores, diagrama de segundo nivel	4
Figura 3.3. Monitorización, simulación y despliegue de datos, diagrama de segundo nivel	5
Figura 3.4. Estación meteorológica Oregon Cientific.....	7
Figura 3.5. Base o consola de la estación meteorológica	7
Figura 3.6. Despliegue principal de la consola Oregon Scientific	8
Figura 3.7. Temperatura, índice de calor, área de viento frío.....	9
Figura 3.8. Velocidad y dirección del viento.....	9
Figura 3.9. Barómetro / nivel de precipitación / intensidad UV	10
Figura 3.10. Reloj, alarma, calendario, fase lunar	11
Figura 3.11. Humedad, punto de rocío	12
Figura 3.12. Pantalla principal del Weather OS.....	13
Figura 3.13. Deslizamiento con superficie de falla plana.....	13
Figura 3.14. Componentes de la pendiente	14
Figura 3.15. Componentes de la pendiente (sin presión de poros).....	15
Figura 3.16. Parámetros de la pendiente sin presión de poros.....	16
Figura 3.17. Parámetros del modelo con pendiente infinita y presión de poros	17
Figura 4.1. Estación Oregon, compartimento para las baterías	22
Figura 5.1. Estación meteorológica Davis, modelo Vantage Pro 2	25
Figura 5.2. Topología de red estrella	26
Figura 5.3. Software WView, Linux	27
Figura 5.4. Software Ambient VWS, Linux.....	28
Figura 5.5. SB Weather, Windows	28
Figura 5.6. Weather Station Data Logger, Windows.....	29
Figura 5.7. Consola de salida del GITHub.....	30
Figura 6.1. Instalación de la estación 1 en el SESLab, TEC	32
Figura 6.2. Pantalla de error de conexión del WView.....	35

Índice de Tablas

Tabla 3.1. Variables de medición de las estaciones meteorológicas Oregon Scientific.....	6
Tabla 3.2. Descripción de despliegue principal	8
Tabla 3.3. Descripción de "Temperatura, índice de calor, área de viento frío"	9
Tabla 3.4. Descripción de: "Velocidad y dirección del viento"	10
Tabla 3.5. Descripción de: "Barómetro / nivel de precipitación / intensidad UV"	11
Tabla 3.6. Descripción: "Reloj, alarma, calendario, fase lunar"	11
Tabla 3.7. Descripción: "Humedad, punto de rocío"	12

1. Introducción

En este apartado se explicará 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

La comunidad de Jucó se encuentra ubicada al pie de las montañas del Valle de Orosi, por esta razón, la comunidad está expuesta al riesgo de posibles deslizamientos de tierra debido a que esta zona se caracteriza por tener un alto índice de precipitaciones durante la estación húmeda.

De esta situación nace la necesidad de desarrollar una herramienta que permita determinar el potencial peligro de deslizamientos en la zona con el fin de alertar a la comunidad en caso de la necesidad de evacuación.

Beneficios:

- Conservación de vidas humanas
- Prevención de posibles deslizamientos

1.2. Solución seleccionada

La solución planteada se divide en 3 partes funcionales:

- Sistema de red de sensores
- Monitorización, simulación y despliegue de datos (nodo central)
- Sistema de alarma para alertar de la posibilidad de un alud o deslizamiento

En la

Figura 1.1 se muestra el diagrama de bloques de primer nivel para la solución

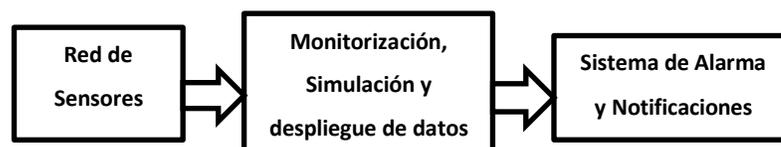


Figura 1.1. Solución seleccionada, diagrama de primer nivel

La solución planteada consiste en una red de sensores meteorológicos de la marca Oregon Scientific, los cuales se muestran en la Figura 1.2 (A). Estos sensores se conectan de forma inalámbrica a un nodo central por medio de una estación base o consola de la misma marca, la que se muestra en la Figura 1.2 (B). A su vez esta consola se conecta por medio del puerto USB a una computadora en donde se realizan tareas como recolección de datos, simulaciones de condiciones críticas, aplicación de modelos matemáticos, graficas de las variables medidas, creación de bases de datos de condiciones previas del sistema, despliegue de datos, alarmas tanto visuales como sonoras y factores de seguridad de pendiente, entre otros. La etapa del sistema de alarma y notificaciones es realizada por el estudiante Emanuel Zúñiga, como continuación del proyecto descrito en este informe, por lo que no será descrita en este el mismo.

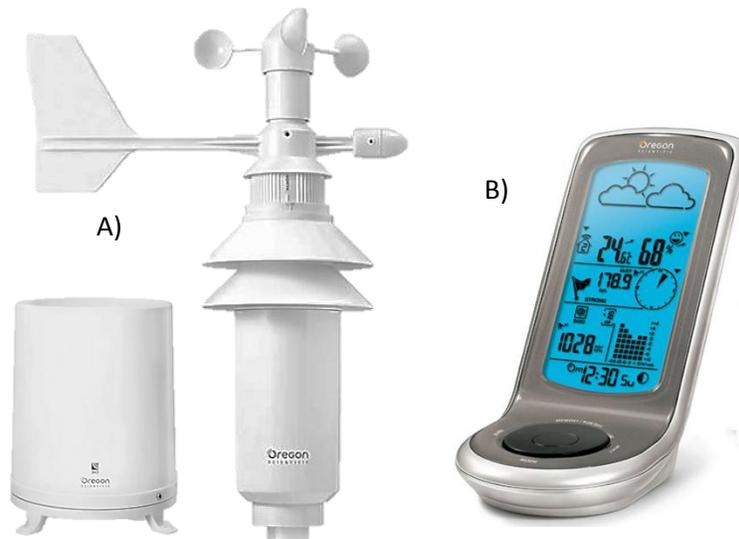


Figura 1.2. Estación meteorológica Oregon Scientific

2. Meta y objetivos

2.1. Meta

Diseñar e Instalar un sistema de monitorización, predicción y prevención de deslizamientos de tierra en la región de Jucó de Orosi para la vigilancia de los taludes activos.

2.2. Objetivo general

- Desarrollar un sistema de predicción y prevención de deslizamientos eficiente, que permita a la población de Jucó de Orosi poder ser alertada sobre la ocurrencia de este tipo de fenómenos

2.3. Objetivos específicos

- Implementar una red de sensores para la medición de variables físicas para la utilización de los datos obtenidos en el modelo matemático de predicción deslizamientos.
- Utilizar un modelo matemático para deslizamientos que se ajuste a la zona y a sus características y realizar diferentes simulaciones a partir de este modelo por medio de una base de datos que contenga las variables medidas
- Desarrollar e implementar e investigar una opción alternativa para el software de medición y despliegue de datos meteorológicos
- Mejorar la caracterización y predicción de deslizamientos con la toma de datos en períodos de tiempo mensuales y anuales para mejorar el modelado con respecto a los porcentajes de error en la medición de variables y obtención de factores de seguridad en función de las características propias de la zona y tiempo de operación del sistema.
- Diseñar una interfaz gráfica que permita el despliegue de los variables de medición, así como también alarmas visuales y el factor de seguridad de pendiente (esta parte se desarrolla en la segunda etapa del proyecto, desarrollada por el estudiante Emanuel Zúñiga).

3. Marco teórico

3.1. Descripción del sistema

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama de primer nivel del sistema:

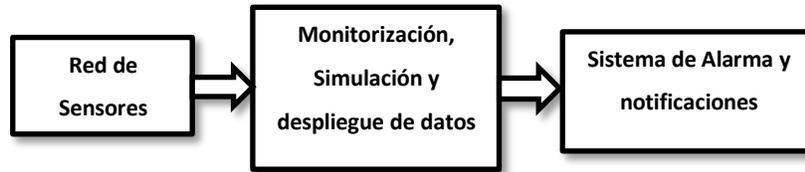


Figura 3.1. Diagrama de primer nivel de la solución

3.1.1. Red de Sensores

La red de sensores consta de dos etapas, la estación meteorológica y la consola que permite la conexión a la PC. El diagrama de bloque de esta etapa se muestra en la Figura 3.2.

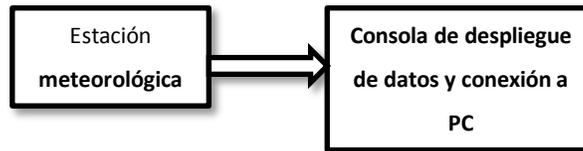


Figura 3.2. Red de sensores, diagrama de segundo nivel

3.1.2. Monitorización, simulación y despliegue de datos

Esta etapa del sistema consiste en una computadora con herramientas de software que permiten la obtención de los datos así como software de manipulación matemática para realizar simulaciones y diferentes operaciones sobre los datos obtenidos. El diagrama de segundo nivel de esta etapa se muestra en la Figura 3.3.

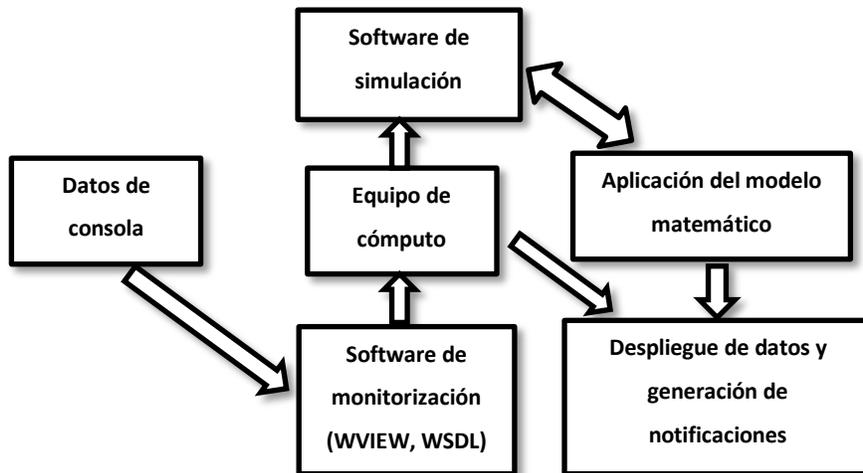


Figura 3.3. Monitorización, simulación y despliegue de datos, diagrama de segundo nivel

La etapa de monitorización y despliegue muestra los datos obtenidos de la red de sensores y monitorea los cambios en los mismos. En esta etapa es donde los datos se introducen en el modelo matemático para deslizamientos el cual devuelve un valor proporcional al riesgo de un alud o deslizamiento, de esta manera al tener un valor que represente un alto riesgo, se enviara una señal a la etapa de alarmas.

3.2. Sensores Oregon Scientific

3.2.1. Variables de medición

La red de sensores utiliza estaciones meteorológicas de la marca Oregon Scientific, modelo WMR100, para la recolección y envío de datos de las diferentes físicas que se requieren medir. En la Tabla se mencionan las diferentes variables que se pueden medir con este equipo.

Tabla 3.1. Variables de medición de las estaciones meteorológicas Oregon Scientific

Variables	Unidades
Temperatura interna (Base)	Grados Celsius (°C), grados Fahrenheit (°F)
Temperatura externa (Estación)	Grados Celsius/Fahrenheit
Presión atmosférica	Milímetros de mercurio(mmHg), pulgadas de mercurio (inHg), milibares /hectopascales (mb/hPa)
Humedad	Nivel alto, nivel medio, nivel bajo
Intensidad de rayos UV	Bajo, medio, alto, muy alto, extremadamente alto
Cantidad de precipitación	Pulgadas por hora (In/ hr), milímetros por hora (mm/hr)
Velocidad del viento	m/s, km/h, mph o nudos
Dirección del viento	N, NE, NO, E, O, S, SE, SO, también grados de desviación con respecto al norte
Fase lunar	

3.2.2. Descripción de la consola o base

Para la visualización de las diferentes condiciones meteorológicas, las estaciones que se muestran en la Figura 3.4 cuentan con una consola o base la cual recibe la información de forma inalámbrica y la despliega en una pantalla, la consola se muestra en la Figura 3.5.



Figura 3.4. Estación meteorológica Oregon Cientific



Figura 3.5. Base o consola de la estación meteorológica

En esta consola se pueden realizar las lecturas de todas las variables mencionadas en la Tabla 3.1, además se puede configurar para mostrar valores promedio, máximos y mínimos, así como también estadísticas de cada una de las variables por períodos dados de tiempo. En la Figura 3.6 se muestra el despliegue de la consola con la descripción de cada espacio numerado, estos se muestran en la Tabla 3.2

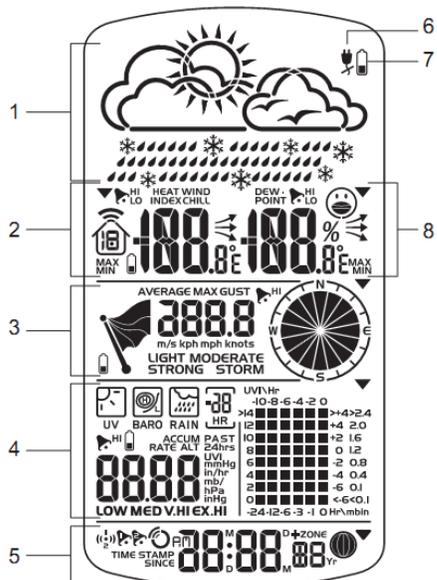


Figura 3.6. Despliegue principal de la consola Oregon Scientific

En la Tabla 3.2 se muestra la descripción de las partes señaladas en la Figura 3.6.

Tabla 3.2. Descripción de despliegue principal

N.	Descripción
1	Pronóstico del tiempo
2	Temperatura, índice de calor, area de viento frío
3	Velocidad y dirección del viento
4	Barómetro / nivel de precipitación / intensidad UV
5	Reloj / alarma / calendario / fase lunar
6	Ícono de conexión AC (cuando está conectado)
7	Ícono de batería baja
8	Humedad / punto de rocío

Cada uno de los campos de la Tabla 3.2 se describe a continuación.

Pantalla: Temperatura, índice de calor, área de viento frío

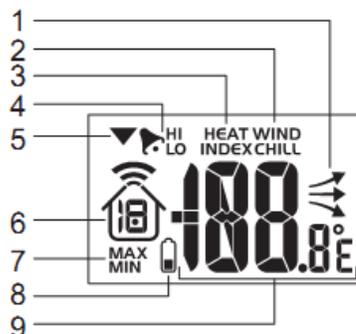


Figura 3.7. Temperatura, índice de calor, área de viento frío

En la Tabla 3.3 se muestra la descripción de los componentes señalados en la Figura 3.7

Tabla 3.3. Descripción de "Temperatura, índice de calor, área de viento frío"

N.	Descripción
1	Tendencia de temperatura
2	Nivel de viento frío, muestra temperatura
3	Índice de calor, muestra temperatura
4	Alto/bajo temperatura, índice de calor, índice de viento, alarmas colocadas
5	Ícono de área seleccionada
6	Canal de temperatura y humedad en interiores/exteriores
7	Máximo/Mínimo de temperatura
8	Batería de sensor externo baja
9	Temperatura C°/F°

Pantalla: Velocidad y dirección del viento

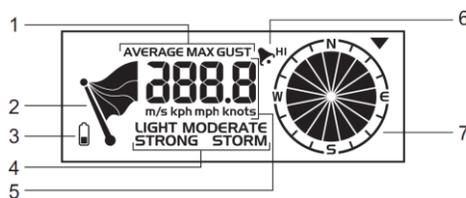


Figura 3.8. Velocidad y dirección del viento

En la Tabla 3.4 se muestra la descripción de las partes señaladas en la Figura 3.8.

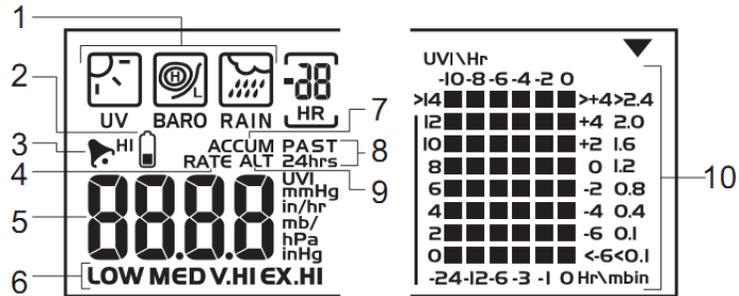


Tabla 3.4. Descripción de: "Velocidad y dirección del viento"

N.	Descripción
1	Niveles de velocidad el viento
2	Indicador del nivel de la velocidad del viento
3	Batería de sensor externo baja
4	Descripción del nivel de velocidad del viento
5	Lectura de la velocidad del viento
6	Alarma de ráfagas de viento altas fijada
7	Dirección del viento

Pantalla: Barómetro / nivel de precipitación / intensidad UV

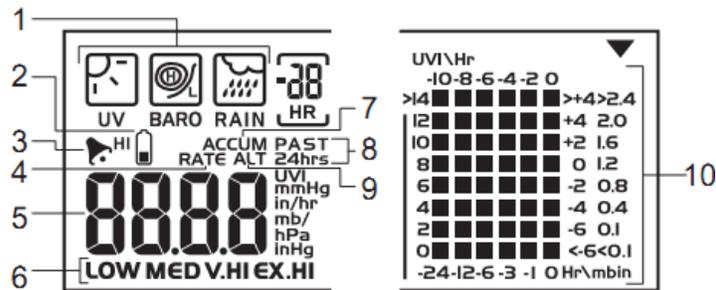


Figura 3.9. Barómetro / nivel de precipitación / intensidad UV

En la Tabla 3.5 se muestra la descripción de las partes señaladas en la Figura 3.9

Tabla 3.5. Descripción de: "Barómetro / nivel de precipitación / intensidad UV"

N.	Descripción
1	Lectura de Barómetro/Intensidad UV/Precipitación
2	Batería baja del sensor externo de UV/sensor de lluvia
3	Alarma de UV/Barómetro/Precipitación fijada
4	Rango de lluvia
5	Lectura de UVI / Presión barométrica / Precipitación
6	Indicador de nivel UV
7	Precipitación acumulada
8	Precipitación de las últimas 24 horas
9	Altitud
10	Histograma de barras de UVI / Presión barométrica / Precipitación

Pantalla: Reloj, alarma, calendario, fase lunar

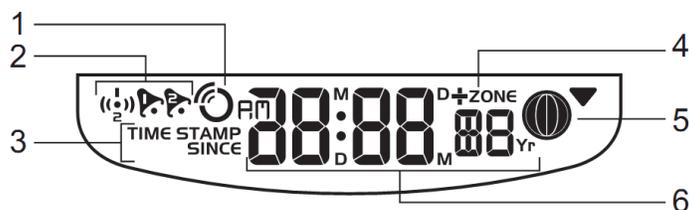


Figura 3.10. Reloj, alarma, calendario, fase lunar

En la Tabla 3.6 se muestra la descripción de las partes señaladas en la Figura 3.10

Tabla 3.6. Descripción: "Reloj, alarma, calendario, fase lunar"

N.	Descripción
1	Recepción de sincronización de reloj por radio
2	Alarmas 1 y 2 fijadas y mostrándose
3	Hora mostrada
4	Offset de la zona horaria
5	Fase lunar
6	Hora / Fecha / Calendario

Pantalla: Humedad, punto de rocío

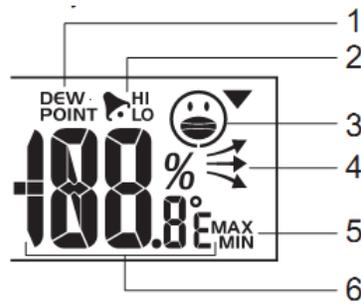


Figura 3.11. Humedad, punto de rocío

En la Tabla 3.7 se muestra la descripción de las partes señaladas en la Figura

Tabla 3.7. Descripción: "Humedad, punto de rocío"

N.	Descripción
1	Nivel de punto de rocío
2	Alarmas de Alto / Bajo de humedad y nivel de rocío fijadas
3	Nivel de confort
4	Tendencia de la humedad
5	Máximo / Mínimo de humedad
6	Lectura de la humedad

3.2.3. Transmisión de datos

Las estaciones Oregon Scientific transmiten datos de forma inalámbrica a la consola o base el cual función de receptor. A su vez, esta consola almacena los datos registrados en las últimas 24 horas. El manual del fabricante se especifica que la frecuencia de transmisión es de datos de 433Mhz, con una distancia de conexión de 100m en espacios abiertos.

Para la interconexión de las estaciones, cada consola cuenta con 10 canales, por lo cual, una sola consola puede tener conectadas 10 estaciones como las mostradas en la Figura 3.4.

3.2.4. Conexión con PC

Para la conexión con la PC, cada base cuenta con un puerto USB para este propósito. Se deben instalar los controladores para la base así como el software Weather OS de Oregon Scientific para poder ver los datos en pantalla. En la Figura 3.12 se muestra la pantalla principal del Weather OS



Figura 3.12. Pantalla principal del Weather OS

3.3. Modelado matemático: Pendiente infinita

El modelo de pendiente infinita, es un modelo aplicable a deslizamientos que se considera que poseen una superficie de falla plana, es decir, se considera que el deslizamiento ocurre sobre una superficie paralela al mismo. En la Figura 3.13 se muestra un deslizamiento con superficie de falla plana.

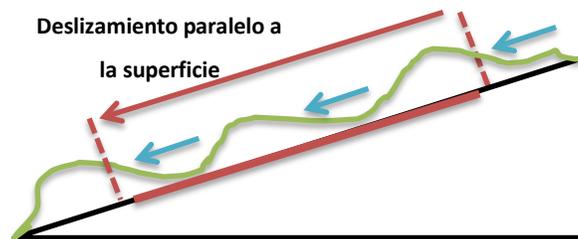


Figura 3.13. Deslizamiento con superficie de falla plana

3.3.1. Factor de seguridad sin pendiente infinita

Las diferentes componentes de la pendiente para modelo se muestran en la Figura 3.14

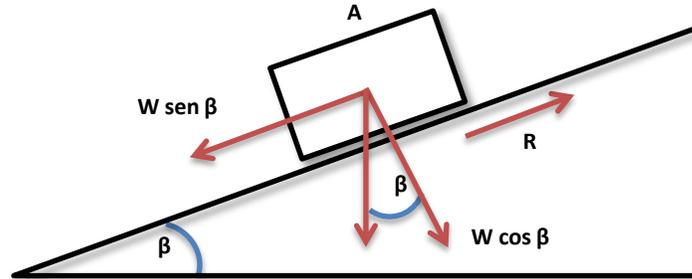


Figura 3.14. Componentes de la pendiente

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

Componente normal del peso: $W \cos \beta$

Fuerza de corte:

$$\sigma = \frac{W \sin \beta}{A} \quad (0.1)$$

Criterio de Mohr-Coulomb:

$$s = c + \sigma \tan \phi \quad (0.2)$$

Fuerza de la caída del bloque:

$$R = cA + W \cos \beta \tan \phi \quad (0.3)$$

Factor de seguridad

La ecuación (0.4) muestra el factor de seguridad:

$$FS = \frac{cA + W \cos \beta \tan \phi}{W \sin \beta} \quad (0.4)$$

Con:

- c : Cohesión en kPa
- ϕ : ángulo interno de fricción, en grados

3.3.2. Factor de seguridad con pendiente infinita, sin presión de poros

Las diferentes componentes de la pendiente, para modelo sin presión de poros, se muestran en la

Figura 3.15

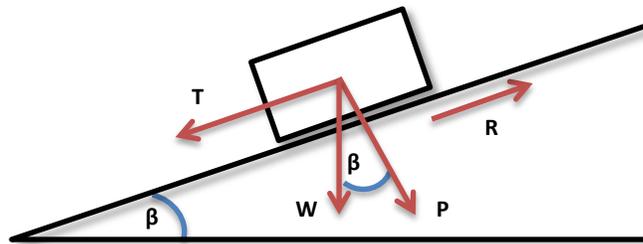


Figura 3.15. Componentes de la pendiente (sin presión de poros)

Siendo $W = \gamma Z$ Peso del bloque, con γ : unidad de peso del suelo en N/m^3

Componente de corte del peso:

$$T = W \sin \beta \quad (0.5)$$

Sustituyendo W :

$$T = \gamma Z \sin \beta \quad (0.6)$$

Componente normal del peso:

$$P = W \cos \beta \quad (0.7)$$

Sustituyendo W :

$$P = \gamma Z \cos \beta \quad (0.8)$$

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

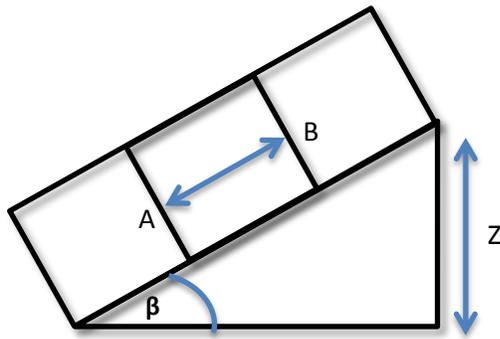


Figura 3.16. Parámetros de la pendiente sin presión de poros

Tenemos que:

$$AB = \frac{1}{\cos \beta} \quad (0.9)$$

Siendo el stress igual a fuerza entre área, se tiene la fórmula para el stress normal:

$$\sigma_n = \frac{P}{AB} \quad (0.10)$$

Sustituyendo A, B y P de (0.9) y (0.8):

$$\sigma_n = \frac{\gamma Z \cos \beta}{\frac{1}{\cos \beta}} = \gamma Z \cos^2 \beta \quad (0.11)$$

El stress de corte se representa por:

$$\tau = \frac{T}{AB} \quad (0.12)$$

Sustituyendo A, B y T de (0.9) y (0.6), respectivamente, se obtiene:

$$\tau = \frac{\gamma Z \sin \beta}{\frac{1}{\cos \beta}} = \gamma Z \cos \beta \sin \beta \quad (0.13)$$

Entonces, el factor de seguridad viene dado por:

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

$$FS = \frac{c' + \gamma Z \cos^2 \beta \tan \phi}{\gamma Z \cos \beta \sin \beta} \quad (0.14)$$

3.3.3. Factor de seguridad con pendiente infinita y presión de poros

El factor de seguridad con pendiente infinita y presión de poros es mejor que los factores de seguridad anteriores (secciones: 3.3.2 y 3.3.3), ya que relaciona la presión de poros y la presencia del agua en el nivel freático de causantes de la estabilidad de la montaña. En la figura N se puede observar un diagrama de los parámetros de este modelo.

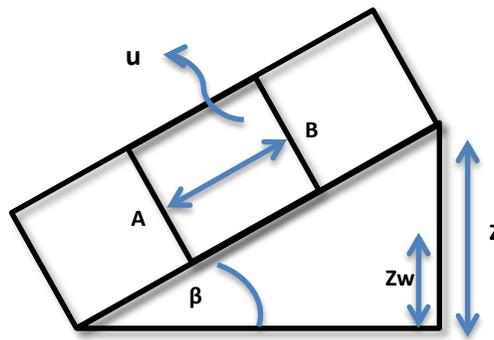


Figura 3.17. Parámetros del modelo con pendiente infinita y presión de poros

Componente normal del peso del agua

El peso del agua viene dado por: $W_w = \gamma_w Z_w$, si $m = \frac{Z_w}{Z}$, es la relación entre la altura de la pendiente y la altura del nivel freático, se tiene que:

$$W_w = \gamma_w Z m \quad (0.15)$$

$$P_w = W_w \cos \beta \quad (0.16)$$

Componente normal del peso del 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.

$$u = \frac{P_w}{AB} \quad (0.17)$$

$$u = \frac{\gamma_w Z m \cos \beta}{\frac{1}{\cos \beta}} \quad (0.18)$$

Entonces la presión de poros está dada por:

$$u = \gamma_w Z m \cos^2 \beta \quad (0.19)$$

Y el facto de seguridad con presión de poros está dado por:

$$FS = \frac{c' + (\gamma Z \cos \beta - u) \tan \phi}{\gamma Z \cos \beta \sin \beta} \quad (0.20)$$

Sustituyendo (0.19) en (0.20) se obtiene:

$$FS = \frac{c' + (\gamma - m \gamma_w) Z \cos^2 \beta \tan \phi}{\gamma Z \cos \beta \sin \beta} \quad (0.21)$$

La ecuación (0.21) tiene los siguientes 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. Con respecto al factor de seguridad, se tienen las siguientes relaciones:

FS > 1, Pendiente estable

FS = 1, Pendiente a punto de fallar

FS < 1, Pendiente inestable

3.4. Antecedentes bibliográficos

1. Arrieta, R. (2011). *Proyecto de investigación del sistema de monitorización y alarma contra los deslizamientos etapa 1*. Cartago.
2. Westen, C. v. (2005). Análisis Determinístico para el mapeo de Amenaza por Deslizamientos. Estudio de caso: Manizales, Colombia. Enschede, Holanda.
3. Chinchilla, R. M., & Huertas, G. P. (Mayo de 2004). *Documento Digitalizado de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias de Costa Rica (C.N.E.)*. Recuperado el 13 de Febrero de 2012, de <http://www.cne.go.cr/CEDO-Riesgo/2021.html>

4. Procedimiento y Metodología

4.1. Reconocimiento y definición del problema

Dado que el proyecto es una continuación de un proyecto anterior, se recopiló toda la información necesaria del proyecto *“Proyecto de investigación del sistema de monitorización y alarma contra los deslizamientos etapa I”* Realizado por el estudiante Randall Arrieta Duarte en el primer semestre del año 2011.

Algunos datos importantes tomados del proyecto anterior son las restricciones del sistema, que al tratarse de un sistema prototipo o de prueba, presenta restricciones con respecto al alcance de transmisión de datos del mismo.

Además de esto, se realizó una investigación de diferentes estudios que realizó la UCR en años anteriores respecto a deslizamientos que se dieron en la zona en el año 2003

Dada la topología de la zona en la que se pueden producir los deslizamientos, se tiene una restricción en cuanto a la distancia de transmisión de datos, la cual debe ser de al menos 200 metros. En este caso al tratarse de una solución a manera de prototipo, la distancia de transmisión de las estaciones Oregon, la cual es de 100 metros, funcionará para la realización de pruebas previas a la implementación, ya que para implementar el sistema necesitamos extender la cobertura de estas estaciones.

Otra de las limitaciones a tomar en cuenta es que las estaciones deben tener autonomía energética suficiente para que el proyecto sea viable, ya que por lo complicado el acceso a la zona, no se pueden realizar cambios a las baterías de las unidades en períodos de tiempo cortos (semanas, meses) sino que lo más adecuado es, si se presenta la necesidad, reemplazar las baterías de las estaciones una vez al año o menos. En la Figura 4.1 se puede observar el compartimiento para las baterías en una de las estaciones, cada una utiliza 4 baterías del tipo AA:



Figura 4.1. Estación Oregon, compartimento para las baterías

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 de este tipo de fenómenos. También se investigó acerca de los diferentes modelos de factores de seguridad que existen, toda dicha información se obtuvo visitando principalmente páginas de Internet, así como también consultando algunos libros sobre deslizamientos.

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 realizó 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.
- Se inició el trabajo de investigación sobre el funcionamiento de las estaciones Oregon Scientific, las cuales fueron suministradas por el Laboratorio de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad (SESLab), del Tecnológico de Costa Rica, para la toma de datos a modo de prototipo para la futura implementación.
- Luego de lograr establecer la conexión de las estaciones meteorológicas, se procedió a buscar un software para la toma de datos (Weather OS, Figura 3.12), ya que el software que proporciona el fabricante para tal propósito es muy limitado y no permite configuraciones personalizadas ni tampoco permite la obtención y registro de datos en periodos prolongados de tiempo de forma automática
- El último paso es realizar una interfaz gráfica que logré mostrar los datos medidos por las estaciones meteorológicas y que también permita la generación de alarmas y notificaciones acerca de potenciales peligros de deslizamiento. Además, este software permite el despliegue del factor de seguridad que resulta de la aplicación de modelado de deslizamientos a partir de los datos medidos o también la simulación de valores para probar el correcto funcionamiento de las alarmas y notificaciones. Esta última parte corresponde a la etapa de la cual se encarga Emanuel Zúñiga, cuyo proyecto forma parte complementaria de este.

4.5. Reevaluación y rediseño

Una de las mejoras al diseño trata de poner solución a la limitación de la distancia de transmisión. El uso de estaciones meteorológicas profesionales o la implementación de antenas y nodos intermedios de transmisión es una de las mejoras que se le pueden realizar al sistema

Además, el uso de baterías de larga duración y paneles solares es una posible solución para lograr una mayor autonomía del sistema en cuanto a energía.

Otro punto importante es la utilización de estructuras de montaje para las estaciones, ya que estas requieren estar a una altura de por lo menos 4 metros.

5. Descripción de la solución

5.1. Descripción del hardware

5.1.1. Estaciones Oregon Scientific

La monitorización de variables físicas es realizada por medio de las estaciones Oregon Scientific. A pesar de que estas estaciones vienen listas para usarse, al tratarse de estaciones usadas, fue necesario la calibración de las mismas utilizando una estación meteorológica profesional marca Davis, modelo Vantage Pro 2, Figura 5.1, la cual se encuentra en las instalaciones del SESLab en el TEC.



Figura 5.1. Estación meteorológica Davis, modelo Vantage Pro 2

Luego de la calibración de las estaciones, fue necesario configurar la base de las mismas para permitir la comunicación con la PC, además de instalar los controladores respectivos en la PC.

Las configuraciones de la consola se basaron en básicamente en la sincronización con la fecha y hora en las consolas para la creación correcta de las bases de datos. Además, en las consolas se pueden establecer alarmas para niveles bajos y altos de las variables medidas.

Topología de Red

Al contar con cuatro estaciones meteorológicas y tomando en cuenta la característica de la base de las estaciones de manejar varios canales de comunicación, se procedió a utilizar una conexión entre las cuatro estaciones y una de las bases, con lo que se conforma una topología de estrella, como la mostrada en la Figura 5.2.

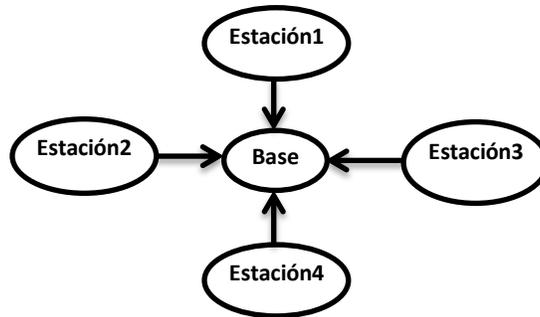


Figura 5.2. Topología de red estrella

Esta topología permite la medición de las variables para las cuatro estaciones actuales, con lo que facilita la creación de bases de datos para el análisis de las variables en diferentes puntos de la pendiente al ahora de la implementación real del sistema, lo que permite una mejor caracterización de la misma.

5.1.2. Descripción de software

Debido a las restricciones del software del fabricante, el Weather OS (Figura 3.12), se utilizaron diferentes alternativas de software libre sobre Ubuntu Linux y Windows para lograr la adquisición y el almacenamiento de datos. Entre los software que se utilizaron se encuentran: WView (Linux), Ambient VWS, GITHUB (Programa/script en C++ para uso de la adquisición de datos por puerto serie, originalmente creado en Linux y modificado para Windows), SB Weather, Weather Station Data Logger. La finalidad del uso de estos diferentes programas fue la de adquirir los datos de cada una de las estaciones y almacenarlos en una base de datos para que después estos datos sean mostrados y procesados en la interfaz gráfica que corresponde a la otra mitad del proyecto, desarrollada por el estudiante Emanuel Zúñiga.

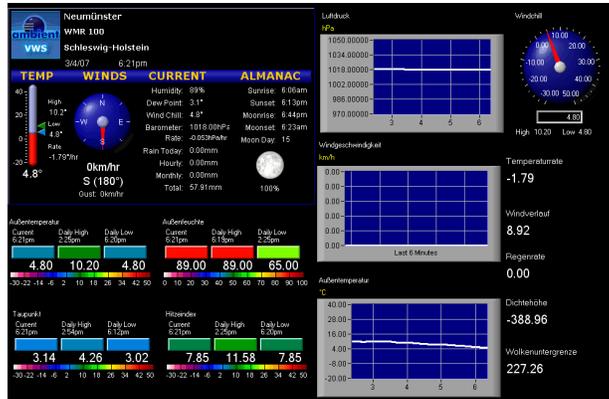


Figura 5.4. Software Ambient VWS, Linux

SB Weather

Este software que corre sobre el SO Windows, presenta una interfaz que muestra algunas gráficas de temperatura así como la velocidad y dirección del viento, pero carece de historiales o pronósticos del tiempo, además no permite la creación de bases de datos con la información medida. La pantalla principal del SB Weather se muestra en la Figura 5.5.

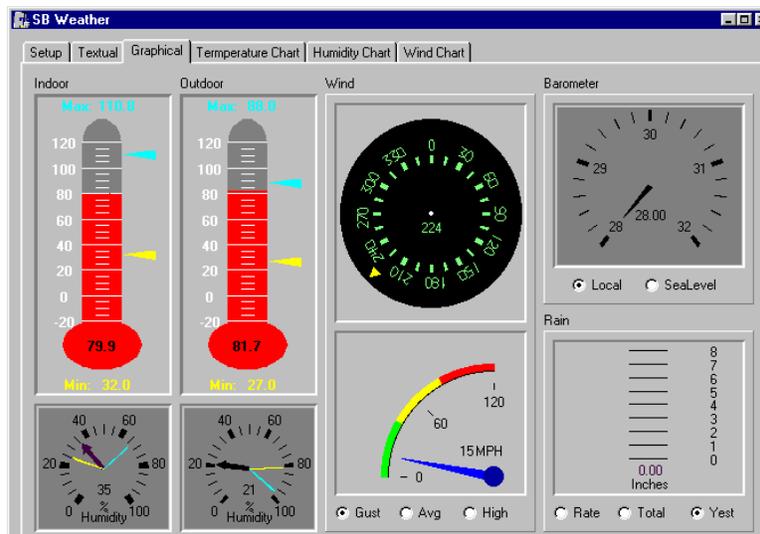


Figura 5.5. SB Weather, Windows

Weather Station Data Logger

El software Weather Station Data Logger, cuya pantalla principal se muestra en la Figura 5.6, corre sobre Windows. Este software muestra una gran cantidad de información de los datos que miden las estaciones, así como también muestra el estado de la conexión entre los diferentes sensores, además permite una gran cantidad de configuraciones. Este software además guarda una base de datos de las diferentes variables de medición en un archivo CSV o archivo separado por comas, lo que hace muy sencillo el manejo de datos para otras aplicaciones como también para su incorporación en la interfaz gráfica, segunda parte del proyecto.

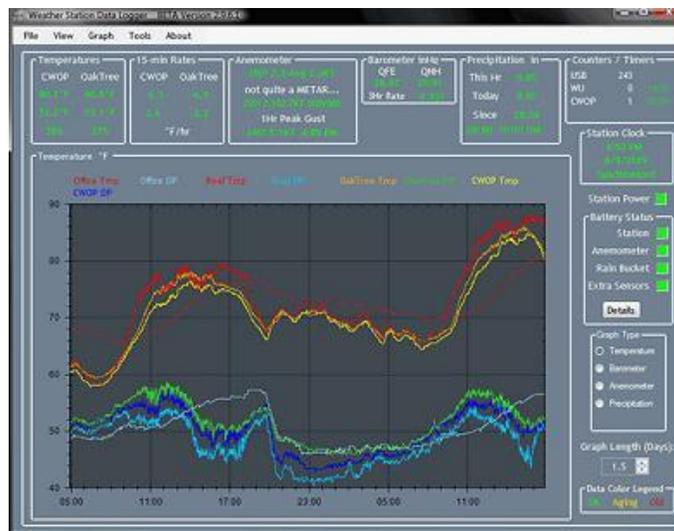


Figura 5.6. Weather Station Data Logger, Windows

GITHub

El GITHub es un pequeño programa escrito en C++ para la adquisición de datos desde el puerto serie por medio del uso de la biblioteca GIT para C++. El código de este programa fue modificado para utilizarlo en el proyecto de modo que además de conectar la estación por medio de comunicación serial, escribe los datos tomados en un archivo de texto. Este programa se ejecuta por medio de la línea de comandos de Linux, como si fuera un script, la modificación del mismo permite su uso sobre la plataforma Windows. En la Figura 5.7 se muestra la ejecución en consola del GITHub.

```
rgalfaro@einstein: /media/datos/Datos/Desktop/Informe Final
File Edit View Terminal Help
rgalfaro@einstein:~/Documents/Proyecto/GitHub$ rungit
Opening WPMR100... temp=23.9, humidity=60, dewpoint=16.0
USB found!
Initializing HID, please wait...
Data logging (loggs saved in ./data.log):
DATA[20120307195752]:type=TEMP,sensor=0,smile=1,trend=-,temp=23.9,humidity=60,dewpoint=16.0
DATA[20120307195803]:type=WIND,power=0,dir=SSW,speed=0.0,avgspeed=0.0
DATA[20120307195803]:type=TEMP,sensor=0,smile=1,trend=-,temp=23.9,humidity=60,dewpoint=16.0
DATA[20120307195812]:type=CLOCK,at=200601011209,powered=1,battery=0,rf=0,level=1
DATA[20120307195812]:type=TEMP,sensor=0,smile=1,trend=-,temp=23.9,humidity=60,dewpoint=16.0
DATA[20120307195812]:type=PRESSURE,pressure=867,forecast=0,altpressure=867,altforecast=3
DATA[20120307195817]:type=WIND,power=0,dir=SSW,speed=0.0,avgspeed=0.0
DATA[20120307195819]:type=TEMP,sensor=1,smile=1,trend=-,temp=23.0,humidity=65,dewpoint=16.0
DATA[20120307195822]:type=TEMP,sensor=0,smile=1,trend=-,temp=23.9,humidity=60,dewpoint=16.0
DATA[20120307195831]:type=WIND,power=0,dir=SSW,speed=0.0,avgspeed=0.0
DATA[20120307195832]:type=TEMP,sensor=0,smile=1,trend=-,temp=23.9,humidity=60,dewpoint=16.0
DATA[20120307195842]:type=TEMP,sensor=0,smile=1,trend=-,temp=23.9,humidity=60,dewpoint=16.0
```

Figura 5.7. Consola de salida del GitHub

El formato de salida del archivo generado por el GitHub es el que se muestra a continuación:

```
DATA[20120307195255]:type=WIND,power=0,dir=SSW,speed=0.0,avgspeed=0.0

DATA[20120307195301]:type=TEMP,sensor=1,smile=1,trend=-
,temp=22.8,humidity=66,dewpoint=16.0

DATA[20120307195309]:type=WIND,power=0,dir=SSW,speed=0.0,avgspeed=0.0

DATA[20120307195312]:type=CLOCK,at=200601011204,powered=1,battery=0,rf=0,level=1

DATA[20120307195312]:type=PRESSURE,pressure=867,forecast=0,altpressure=867,altforecast=3

DATA[20120307195323]:type=WIND,power=0,dir=SSW,speed=0.0,avgspeed=0.0
```

De los datos anteriores se puede ver que en el primer campo se tiene la fecha y hora de la toma de los datos, por ejemplo: *DATA[20120307195255]*, corresponde a la fecha del 7 de Marzo de 2012, hora: 19:52:55. Además, se muestran las lecturas para los diferentes valores (viento, temperatura, dirección del viento, presión, humedad, etc)

6. Análisis de resultados

6.1. Estaciones meteorológicas

La utilización de las estaciones meteorológica Oregon Scientific permitió una sencilla conexión y medición de los datos tomados. Sin embargo, las limitaciones de distancia de transmisión las hace poco viables para la implementación real del sistema en el área de estudio, Jucó, Orosi. Por otro lado, para funciones de estudio del modelado y creación de software de medición y creación de bases de datos para la predicción de condiciones meteorológicas, se vuelven una buena opción debido a su facilidad de uso.

Otro punto importante es que, una posible modificación con la instalación de una antena externa, permite la transmisión de datos a distancias mayores, esta opción se contemplará en las recomendaciones para las mejoras al sistema

Debido a las limitaciones de presupuesto y el estado de los equipos proporcionados para el proyecto (antigüedad, daños en algunos sensores, falta de cables y adaptadores de AC para la alimentación de los equipos, falta de calibración, falta de las estructuras de montaje originales), se debe tomar en cuenta que se pueden realizar importantes mejoras al proyecto. Algunas de las posibles mejoras son: el uso de paneles solares para la alimentación de las estaciones remotas, utilización de estaciones nuevas y/o reparaciones a los equipos existentes y la adquisición o fabricación de las estructuras de montaje de las mismas, las cuales constan de bases, tubos PVC, gomas metálicas. Este último punto es importante, ya que para la toma apropiada de los datos, según el manual del fabricante, las estaciones deben estar a una altura de por lo menos 4 metros. En la Figura 6.1 se puede ver la instalación de una de las estaciones en el SESLab en el TEC, la estación se encuentra a aproximadamente 2 metros del suelo.



Figura 6.1. Instalación de la estación 1 en el SESLab, TEC

6.2. Modelado matemático

Por motivos de simplicidad matemática se utiliza el modelo de pendiente infinita para caracterizar el tipo de deslizamiento que se da en la zona. Este modelado utiliza variables características de la zona para generar un factor de seguridad que cuantifica el riesgo de deslizamiento que se tiene el área respectiva donde se aplica el modelo.

En la segunda etapa de este proyecto, se utiliza el modelado para obtener el factor de seguridad utilizando las variables de la zona, así como también da la posibilidad de simular condiciones cambiando estas variables a disposición del usuario por medio de una interfaz gráfica. Esta etapa está a cargo del estudiante Emanuel Zúñiga, y es complementaria al proyecto descrito en este informe.

6.3. Software para medición de datos

Debido a las limitaciones del software del fabricante de las estaciones Oregon Scientific en cuanto a base de datos, configuración y visualización de la información, se realizó una investigación de opciones de software que fueran compatibles con las estaciones WMR 100 y que fueran opciones en software libre o freeware.

De esta investigación se analizaron las aplicaciones descritas en la sección 5.1.2. De estas aplicaciones, las que se seleccionaron para pruebas funcionales fueron, en Linux: WView y GitHub y en Windows: Weather Station Data Logger

Con respecto al software WView, este tiene una gran cantidad de configuraciones y opciones para la muestra de los datos por periodos diarios, mensuales y anuales, así como una interfaz gráfica que permite ver con gran facilidad el comportamiento y lectura en tiempo real de los datos. Otra de las características importantes es que permite subir a internet los datos, así mismo permite el acceso de forma remota para monitorear las variables medidas.

Una de las limitaciones de este software es su inestabilidad de conexión, ya que en las pruebas realizadas, el programa no lograba conectarse a la estación, esto en un 60% de los intentos de conexión, por lo que fue descartado para su uso de forma definitiva. En la figura se puede observar el error de conexión entre el programa y la estación meteorológica.

Otro punto importante es que la base de datos generada por el WView utiliza SQL, por lo que el manejo de esta base de datos para otro propósitos como utilización de los datos para uso en programas de análisis matemático o para utilizarlos en una interfaz gráfica diferente de la del WView, resulta complicado ya que hay que transformar esta base de datos en otro formato para poder realizar la manipulación de datos respectiva.

El software GITHub por su parte, utiliza algunas de las librerías de C++ para la comunicación serie y de esta manera logra la conexión y obtención de datos de las estaciones meteorológicas. La ventaja de este programa es que la conexión con la estación es muy estable, de las pruebas realizadas, el programa funcionó correctamente el 100% del tiempo, contrario al WView mencionado anteriormente.

Una de las limitaciones de este programa es que corre desde la consola, por lo cual no presenta ningún tipo de interfaz gráfica, como se puede observar en la Figura 5.7. A pesar de esta limitación, este programa despliega en pantalla, línea por línea, cada uno de los datos recibidos de las estaciones y los almacena en un archivo en formato txt, lo que permite el uso de estos datos en otras aplicaciones para su manejo y despliegue.

Otra ventaja de este programa es que, al estar escrito en C++, con ligeras modificaciones se puede utilizar también en la plataforma Windows.

Para Windows, se utilizó el programa Weather Station Data Logger, el cual presenta datos sobre el estado de conexión de las estaciones, además despliega gráficas con el comportamiento diario, mensual y anual de los datos, según la configuración del programa.

Una de las características más importantes de este programa, es que automáticamente genera una base de datos en formato de archivo separado por comas, o CSV, lo que permite usar estos datos en otros programas, como por ejemplo en la ya mencionada segunda etapa del proyecto, la GUI o interfaz gráfica de usuario desarrollada por el estudiante Emanuel Zúñiga.

Respecto a la GUI mencionada anteriormente, la cual es complemento de este proyecto, esta interfaz se encarga de desplegar el factor de seguridad así como también utilizar valores

ingresados por el usuario para el cálculo de este factor a manera de simulación de condiciones extremas. Además, esta interfaz presenta los datos tomados de las estaciones meteorológicas.

Una de las características de esta interfaz es la generación de alarmas por medio de redes sociales (Twitter, Facebook) así como también el envío de correos electrónicos acerca de las condiciones meteorológicas y el factor de seguridad. Las características de esta parte complementaria del proyecto se pueden ver en el informe de Emanuel Zúñiga para su parte correspondiente del proyecto.

The screenshot shows the 'System Status' page of the Oregon Scientific WMRUSB Weather Server and Site Generator. The page is divided into two main sections: 'System Status' and 'Services'.

System Status Section:

- wview is:** Stopped. A 'Start wview' button is visible.
- The latest wview version is:** (blank)
- Archive Database Records:** 109
- Archive Record Date Range:** February 15, 2012 - April 19, 2012
- HiLow Database Records:** 23
- NOAA Database Records (days):** 7

Services Section:

Service	Status	Message	Stat1	Value	Stat2	Value	Stat3	Value	Stat4	Value
wview	Error	stationinit failed	LOOP packets received	0	Archive packets generated	0				
html	Not Started									
alarms	Not Started									
cwop	Not Started									

Figura 6.2. Pantalla de error de conexión del WView

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones

- Las estaciones Oregon Scientific son adecuadas para el uso en pruebas al sistema a manera de prototipo, pero para implementación real deben ser sustituidas o modificadas para aumentar el rango de distancia de transmisión
- La recolección de variables físicas ayuda a visualizar y predecir el comportamiento del tiempo en la zona con lo que se pueden prevenir deslizamientos debidos a condiciones extremas en algunas de estas variables, como humedad, cantidad de precipitación y velocidad del viento
- El modelo de pendiente infinita permite obtener un factor de seguridad que relaciona las características de la zona de estudio con estabilidad de la pendiente en un área determinada
- Entre las opciones de software para medición y despliegue de datos se escogió el Weather Station Data Logger por la gran cantidad de información que despliega en pantalla, así como por su capacidad de almacenar datos automáticamente en un archivo de texto separado por comas, lo que hace muy sencillo el uso de los datos en otras aplicaciones.
- Con el acceso a una base de datos de las condiciones climatológicas, estos datos se pueden analizar matemáticamente para mejorar las predicciones del tiempo así como mejorar el modelado matemático y ajustarlo a las condiciones de la zona según el tipo de clima y la estación del año.
- El uso de una interfaz gráfica que despliegue el resultado del factor de seguridad, variables de medición, así como también alarmas y envío de alertas por medio de redes sociales y correo electrónico ayuda a la población a tomar las medidas de prevención de deslizamiento que sean necesarias, según el riesgo de deslizamiento.

7.2. Recomendaciones

- Utilizar paneles solares como método alternativo de alimentación de las estaciones meteorológicas
- Utilizar una antena que permita ampliar el rango de comunicación entre la estación meteorológica y la consola de datos.
- 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.
- Reemplazar las baterías de las estaciones meteorológicas por baterías de litio de larga duración.
- Investigar un modelo alternativo para el cálculo del factor de seguridad que se ajuste de mejor forma a la topología de la zona en comparación con el modelo de pendiente infinita
- Utilizar otra estaciones meteorológicas que permitan un alcance mayor en la transmisión de datos

8. Bibliografía

1. Arrieta, R. (2011). *Proyecto de investigación del sistema de monitorización y alarma contra los deslizamientos etapa 1*. Cartago.
2. Chinchilla, R. M., & Huertas, G. P. (Mayo de 2004). *Documento Digitalizado de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias de Costa Rica (C.N.E.)*. Recuperado el 13 de Febrero de 2012, de <http://www.cne.go.cr/CEDO-Riesgo/2021.html>
3. Kloess, G. (2012). *Oregon Scientific WMR100/WMR200/RMS300A USB protocol client*. Recuperado el 19 de Marzo de 2012, de barnybug/wmr100 · GitHub: <https://github.com/barnybug/wmr100>
4. Oregon Scientific. (2012). *Advanced Weather Station with Wireless Sensor Set & Mounting Package Model: WMR100N / WMR100NA USER MANUAL*. USA.
5. Oregon Scientific. (2012). *Oregon Scientific WMR100 Professional Wireless Weather Station*. Recuperado el 10 de Febrero de 2012, de <http://www.oregonscientificstore.com/Oregon-Scientific-WMR100-Professional-Wireless-Weather-Station.data>
6. Software Libre Community. (2012). *wview - Linux/FreeBSD/Unix/Mac OSX Weather Station Software*. Recuperado el 13 de Marzo de 2012, de <http://www.wviewweather.com/>
7. SourceForge. (2012). *Weather Station Data Logger*. Recuperado el 27 de Marzo de 2012, de <http://wmrx00.sourceforge.net/>
8. Westen, C. v. (2005). *Análisis Determinístico para el mapeo de Amenaza por Deslizamientos*. Estudio de caso: Manizales, Colombia. Enschede, Holanda.

9. Apéndices

A.1. 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/cm³

A.2. Información de la empresa/institución

A.2.1. Descripción de la institución

El Tecnológico de Costa Rica (TEC), 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.

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 reas 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.

A.3. Archivo de salida del programa Weather Station Data Logger

```
CULTURE;en-AU,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
UTC Offset, Temperature, Temperature  
Rate, Pressure, Wind, Rain, RainRate, UV,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
10, degC, degC_per_hr, hPa, knot, mm, mm_per_hr,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
Initial Total Rain, Initial Tipping Count Rain,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
0,0,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
Date, Time, Baro, QNH, Gust Speed, Gust Dir, Avg Speed, Avg Dir, Rain Rate, Rain, UV, Temp  
0, DewPt 0, RH 0, Temp 1, DewPt 1, RH 1, Temp 2, DewPt 2, RH 2, Temp 3, DewPt 3, RH 3, Temp  
4, DewPt 4, RH 4, Temp 5, DewPt 5, RH 5, Temp 6, DewPt 6, RH 6, Temp 7, DewPt 7, RH 7, Temp  
8, DewPt 8, RH 8, Temp 9, DewPt 9, RH 9, Temp 10, DewPt 10, RH 10  
  
02/01/2011,23:03:00,1002,1014,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
02/01/2011,23:04:00,1002,1014,,,,,,,,,26.2,18.61,63,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
02/01/2011,23:05:00,1002,1014,,,,,,,,,26.4,18.02,60,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
02/01/2011,23:06:00,1002,1014,,,,,628.91,0,,26.7,18.3,60,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
02/01/2011,23:07:00,1002,1014,,,,,628.91,0,,26.6,17.94,59,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
02/01/2011,23:08:00,1002,1014,,,,,,,,,26.4,17.75,59,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
02/01/2011,23:09:00,1002,1014,,,,,,,,,26.3,17.66,59,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
02/01/2011,23:10:00,1002,1014,,,,,,,,,26.1,17.47,59,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
02/01/2011,23:11:00,1001,1013,,,,,,,,,26,17.38,59,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
02/01/2011,23:12:00,1001,1013,,,,,,,,,25.85,17.24,59,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,  
  
02/01/2011,23:13:00,1001,1013,,,,,628.91,0,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
```

02/01/2011,23:14:00,1001,1013,,,,,628.91,0,,25.7,17.36,60,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

02/01/2011,23:15:00,1001,1013,,,,,,25.6,17.27,60,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

02/01/2011,23:16:00,1001,1013,,,,,,25.5,17.17,60,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

02/01/2011,23:17:00,1001,1013,,,,,,25.5,17.17,60,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

02/01/2011,23:18:00,1001,1013,,,,,,25.4,17.08,60,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

10. Fórmulas:

$$\sigma = \frac{W \sin \beta}{A} \quad (0.22)$$

$$s = c + \sigma \tan \phi \quad (0.23)$$

$$R = cA + W \cos \beta \tan \phi \quad (0.24)$$

$$FS = \frac{cA + W \cos \beta \tan \phi}{W \sin \beta} \quad (0.25)$$

$$T = W \sin \beta \quad (0.26)$$

$$T = \Upsilon Z \sin \beta \quad (0.27)$$

$$P = W \cos \beta \quad (0.28)$$

$$P = \Upsilon Z \cos \beta \quad (0.29)$$

$$AB = \frac{1}{\cos \beta} \quad (0.30)$$

$$\sigma_n = \frac{P}{AB} \quad (0.31)$$

$$\sigma_n = \frac{\Upsilon Z \cos \beta}{\frac{1}{\cos \beta}} = \Upsilon Z \cos^2 \beta \quad (0.32)$$

$$\tau = \frac{T}{AB} \quad (0.33)$$

$$\tau = \frac{\Upsilon Z \sin \beta}{\frac{1}{\cos \beta}} = \Upsilon Z \cos \beta \sin \beta \quad (0.34)$$

$$FS = \frac{c' + \sigma_n \tan \phi}{\tau} \quad (0.35)$$

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

$$W_w = \Upsilon_w Z m \quad (0.36)$$

$$P_w = W_w \cos \beta \quad (0.37)$$

$$u = \frac{P_w}{AB} \quad (0.38)$$

$$u = \frac{\Upsilon_w Z m \cos \beta}{\frac{1}{\cos \beta}} \quad (0.39)$$

$$u = \Upsilon_w Z m \cos^2 \beta \quad (0.40)$$

$$FS = \frac{c' + (\Upsilon Z \cos \beta - u) \tan \phi}{\Upsilon Z \cos \beta \sin \beta} \quad (0.41)$$

$$FS = \frac{c' + (\Upsilon - m \Upsilon_w) Z \cos^2 \beta \tan \phi}{\Upsilon Z \cos \beta \sin \beta} \quad (0.42)$$