



INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU
Dirección de Asuntos Académicos

**COMPENDIO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
REALIZADOS POR ESTUDIANTES
DURANTE EL AÑO 2007**

Volumen 9

Editor
Hernando Tavera

Lima - Perú
Enero 2008

PRESENTACION

El volumen 9 de la serie “*Compendio de Trabajos de Investigación realizados por estudiantes durante el año 2007*”, reúne los diversos trabajos técnico-científico realizados por estudiantes universitarios durante su permanencia en el Instituto Geofísico del Perú (IGP) en el año 2007. Como cada año, los estudiantes ingresan al IGP a través de la Dirección de Asuntos Académicos (DAA), para realizar sus estancias y tienen como procedencia las especialidades de Física, Geofísica, Geología, Meteorología e Ingeniería Electrónica de las diferentes Universidades existentes en el país. Estos estudiantes desarrollan en el IGP un determinado tema de investigación durante un periodo de 3 meses para luego presentar sus resultados en un informe técnico-científico. Estos informes son entregados a la DAA, quien a su vez los publica a manera de artículos en el presente *Compendio*.

La tarea de divulgar el conocimiento en forma de trabajos científicos, es uno de los objetivos que el IGP esta cumpliendo con meritorio esfuerzo y obtiene como resultado la formación de nuevos profesionales capaces de realizar trabajos de investigación de alto nivel. De esta manera el IGP contribuye en mejorar la capacidad científica de estos profesionales en el campo de la geofísica.

En este *Compendio* se presenta diecisiete trabajos elaborados por estudiantes que realizaron sus estancias en los Observatorios de Jicamarca, Ancon, Mayorazgo y Huayao - Huancayo. Los temas tratados fueron Pronóstico del Tiempo y Clima, Alta Atmósfera, Sismología y Astronomía. Muchos de los trabajos que se presentan en este *Compendio* han sido punto de partida para que algunos estudiantes profundicen sus investigaciones e inicien la elaboración de su tesis profesional. Asimismo, es este volumen se incluye un trabajo invitado que trata sobre la simulación numérica del tsunami de 1746 a cargo de la Dirección de Hidrografía de la Marina de Guerra del Perú.

En general los temas de investigación y el contenido de los artículos que se presentan en este *Compendio* son de responsabilidad del investigador que tuvo a su cargo la formación del estudiante; mientras que el comité editorial se limito a organizar la estructura del artículo de acuerdo al formato del *Compendio*.

El Comité Editorial del Volumen 9 de estos *Compendios*, agradece al Dr. Hernan Montes (Director Técnico del IGP) por su confianza y apoyo a los investigadores del IGP por ayudar con la edición del *Compendio* revisando los trabajos, y a los estudiantes por el empeño puesto en la aventura de investigar y escribir sus resultados, siendo el único camino para llegar a descubrir todo lo enigmático que nos ofrece la naturaleza.

El Editor

INDICE

Medidas de Seeing del Cerro Jicamarca. <i>Edwin W. Choque Quispe</i>	9
Diseño e implementación de un software para la detección automática de explosiones cromosféricas y flares. Parte I. <i>Denis P. Cabezas Huaman</i>	17
Espectrógrafo astronómico de baja resolución. <i>Jesús A. Dalmau Cam</i>	25
Monitoreo hidrológico en zonas susceptibles a deslizamientos. <i>Walter N. Cahuana Ochoa</i>	33
Deslizamientos en los Valles Majes - Sigvas y Vitor. <i>Walter N. Cahuana Ochoa</i>	49
Diseño de una interfase gráfica de usuario (GUI) en Matlab para el cálculo y visualización de correlaciones lineales de un campo con un punto. <i>Camilo León Huaca</i>	73
Análisis de temperaturas a profundidad, a superficie y al aire en volcanes Misti y Chachani y en la estación de la Pampilla (MAP) Arequipa. <i>Liliana R. Torres Velarde</i>	89
Diseño de un controlador de radar de 16 canales en FPGA, para una Institución Científica en el Perú. <i>Joel I. Muñoz Quispe</i>	125
Caracterización de interferómetros de Fabry Perot a partir de sus interferogramas. <i>Shy Flores Daorta</i>	131
Estudio de la factibilidad del mejoramiento de las comunicaciones vía el electrochorro ecuatorial empleando diversidad. <i>Nadia Yoza Mitsuichi</i>	139
Clasificación de las señales sísmicas del Volcán Misti usando información de una de la Red Telemétrica: Enero a Marzo 2007. <i>Liliana R. Torres Velarde</i>	153
Diseño de una Tarjeta Electrónica para Piranómetros. <i>John R. Condezo Pomalaya</i>	167
Cálculo de las coordenadas heliográficas de las manchas solares observadas en la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica y modelo de nuevas plantillas para el Formato del Registro de Manchas Solares. <i>Maria V. Gutierrez Escate</i>	183
TRABAJO INVITADO	
Simulación Numérica del Tsunami del Callao de 1746. <i>Cesar Jimenez y Erick Ortega</i>	191

MEDIDAS DE SEEING DEL CERRO JICAMARCA

EDWIN WILBER CHOQUE QUISPE
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Universidad Nacional del Callao
edwin2ch@hotmail.com

Investigación dirigida por: Dr. José Ishitsuka Iba
Dirección de Investigación en Astronomía
Observatorio de Ancón

RESUMEN

Una forma de evaluar la calidad del cielo para observaciones astronómicas en el rango visible o infrarrojo es a través del seeing. En el presente trabajo presentamos las medidas preliminares para la determinación del seeing en el cerro Jicamarca. Las observaciones se hicieron en el mes de septiembre y el valor obtenido del seeing en el filtro visible es de 3.61" como máximo y con un mínimo de 2.48".

Las observaciones fueron realizadas usando una cámara CCD (Charge Coupled Device), modelo ST-7, una rueda de filtros marca SBIG modelo CFW8 y un telescopio refractor marca Takahashi de 90mm de apertura y 1000 mm de distancia focal.

INTRODUCCIÓN

Para hacer observaciones astronómicas o en todo caso instalar nuevos telescopios en un determinado lugar, es indispensable conocer el grado de turbulencia atmosférica (*seeing*) del lugar, la transparencia de la atmósfera y el nivel de luminosidad del fondo del cielo, de acuerdo a ello dependerá la calidad de los datos de la observación astronómica Pereyra (2003).

La luz proveniente de un objeto celeste (ondas electromagnéticas), son afectadas por la atmósfera terrestre, variando su dirección y su intensidad. En ambos casos existe un termino constante y otro aleatorio Dalmau (2004):

*Cambio de dirección del rayo de luz:

termino constante refracción

variación aleatoria *Seeing*

*Decremento de intensidad:

termino constante extinción

Fluctuaciones aleatorias centelleo

El modelo estándar para *seeing* astronómico, desarrollado por Tatarski (1961) y Fried (1965), esta basado en el trabajo de Kolmogorov (1941) sobre la turbulencia atmosférica. El análisis ha sido revisado en detalle por Roddier (1981). El resultado crucial es que la propagación de la turbulencia en el modelo de Kolmogorov esta dado por la función de estructura $D_p(r)$ de las perturbaciones de la fase del frente de onda $p(r)$ y que depende de la escala de separación r según Kolmogorov (1941):

$$D_p(r) = \langle [p(r') - p(r' - r)]^2 \rangle = 6.88 (|r|/r_0)^{5/3} \quad (1)$$

donde la escala de longitud r_0 es conocido como el parámetro de Fried, y es una medida de la intensidad de las distorsiones

del *seeing*. Para esta función de estructura, el *seeing* limitado por FWHM (Full width at half maximum) en integraciones largas y para un telescopio con diámetro mucho mayor que r_0 , entonces:

$$FWHM = 0.98 \lambda / r_0(z) \quad (2)$$

Donde λ es la longitud de onda de la observación y $r_0(z)$ indica la dependencia de r_0 con la distancia cenital. Es importante notar que la FWHM observada será igual a la predicha por la ecuación (2). Para comparar medidas de *seeing* a diferentes distancias cenitales z , debemos corregirlas usando la formula:

$$r_0(\text{cenit}) = r_0(z) \sec(z)^{0.6}$$

La ecuación (2) será:

$$FWHM = 0.98 \lambda \sec(z)^{0.6} / r_0(\text{ceni}) \propto \sec(z)^{0.6} \quad (3)$$

$$FWHM_{\text{corregido}} = FWHM_{\text{observado}} / \sec \quad (4)$$

Para distancias cenitales $z < 60^\circ$, podemos considerar la aproximación plano-paralela de la atmósfera, donde la masa de aire X que tiene que atravesar la luz de la estrella queda definida, Fried (1965):

$$X = \sec(z)$$

$$\sec(z) = (\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H) \quad (5)$$

Donde ϕ es la latitud del observador, δ es la declinación del objeto y H es el ángulo horario del objeto.

Limite de resolución del telescopio

Para determinar el limite de resolución angular del telescopio usamos el criterio de Rayleigh[5]:

$$R = \frac{1.22 \lambda \times 206265}{D}$$

(6)

Donde:

λ : es la longitud de onda (560nm en el visible)

D: es la abertura del telescopio

Para nuestras observaciones usamos un telescopio de 90mm de abertura y 1000mm de distancia focal.

Reemplazando en la ecuación (6) obtenemos $R = 1.57''$.

Este valor nos indica que con un telescopio de esta abertura, no es posible medir los perfiles estelares cuyo FWHM sea menor que $1.57''$.

DATOS OBSERVACIONALES

Las observaciones se realizaron en el Cerro Jicamarca – Radio Observatorio de Jicamarca ($11^\circ 57' 19''$ latitud sur, $76^\circ 51' 24''$ latitud oeste; 1117 msnm), localizado en San Juan de Lurigancho – Chosica, Lima-Peru, durante las noche de 12-14 de Septiembre del 2007. Se utilizaron los siguientes equipos:

Telescopio	
Marca:	Takahashi
Modelo:	TS
Tipo:	Refractor
Abertura:	90mm
Distancia focal:	1000mm
Montura:	Ecuatorial

Cámara CCD	
Marca:	SBIG
Modelo:	ST7
Chip:	KodakKAF-0400 (765x510pixeles)
Tamaño de pixel:	9 μ x9 μ

Rueda de Filtro	
Marca:	SBIG
Modelo:	CFW8
Filtros:	V y B Johnson –Morgan

Para las medidas se usaron los filtros B(azul) y V(visual), del sistema Johnson – Morgan, instalados en una rueda de filtros, la cual esta montada dentro de la cámara CCD.

La cámara CCD al igual que la rueda de filtros es controlado a través del software de control CCDOPS (ver. 5.36) instalado en una computadora portátil (laptop) y la

conexión es por el puerto paralelo.

La localización de los objetos estelares fue hecha manualmente utilizando un buscador guía montado al telescopio y para la ubicación de estrellas de estudio se utilizo un catalogo de estrellas y el software de Earth Centered Universe Ver. 3.2. La distancia focal de la cámara más la del telescopio determinó una escala de placa de 1,85639"/píxel en resolución media. El campo total de cielo cubierto por el CCD y telescopio es de 23.7'x15.8'.

El sistema de enfriamiento termoeléctrico de la cámara puede enfriar 25° C por debajo de la temperatura de ambiente, la temperatura de operación fue de 5°C bajo cero en todas las observaciones.

El software de adquisición de datos es el CCDOPS Ver. 5.36-NT, instalado en el sistema operativo Windows en una computadora portátil (laptop Pentium III), así mismo las imágenes captadas por la CCD fueron almacenadas en el disco duro para su posterior reducción y análisis.

Se instaló y alineó el telescopio correctamente, de modo que el ángulo formado entre el eje de ascensión recta con la horizontal que debe corresponder con la latitud del lugar de observación. Se comprobó el paralelismo entre el eje tubo del telescopio y el eje del buscador.

La primera noche de observación el cielo estuvo despejado, sin embargo para la segunda noche tuvimos un cielo parcialmente despejado.

Se obtuvieron datos de las estrellas SAO

67174 y SAO 40186 del tipo espectral A0V y G5III respectivamente.

Después de tomar las imágenes de las estrellas, también se tomaron imágenes oscuras(darks) con la finalidad de sustraer a una imagen cruda la agitación térmica de electrones y tomas iluminadas (flats) es decir exponer al sensor CCD una

iluminación uniforme donde el objetivo es obtener un mapa de sensibilidad espacial del sensor Galadi (1998).

Tabla 1. Lista de estrellas observadas

Observación (1)	Estrella (2)	A.R. ₂₀₀₀ (3)	Dec. ₂₀₀₀ (4)	T.E. (5)	Filtro (6)	día (7)	Hora local (8)	X (9)	fwhm obs (10)	Fwhm cor (11)
1	SAO 67174	18 36 56.34	+38 47 01.29	A0V	V	13/09/2007	20:50:48	1.12	3.52	3.14
							21:05:07	1.13	4.11	3.64
							21:09:38	1.14	4.98	4.37
							21:18:46	1.15	3.55	3.09
							21:23:17	1.16	4.95	4.27
							21:27:11	1.17	4.09	3.50
							21:32:06	1.17	4.43	3.78
							21:54:26	1.21	3.22	2.66
							21:59:04	1.23	3.05	2.48
							22:03:08	1.23	4.24	3.45
					22:09:50	1.25	4.45	3.56		
					22:13:35	1.26	4.63	3.68		
					B	13/09/2007	20:52:26	1.12	4.24	3.79
							21:06:40	1.14	3.94	3.46
							21:10:43	1.14	3.66	3.21
							21:20:07	1.15	2.60	2.26
							21:24:55	1.17	4.98	4.26
							21:29:13	1.17	3.66	3.13
							21:33:22	1.18	3.83	3.25
							21:55:31	1.22	4.24	3.48
22:00:13	1.23	4.33	3.52							
22:10:46	1.25	2.64	2.11							
22:14:37	1.27	5.00	3.94							
2	SAO 40186	05 16 41,36	+45 59 52,77	G5III	V	14/09/2007	05:20:28	1.13	4.63	4.10
							05:22:45	1.12	4.07	3.64
							05:24:39	1.12	4.37	3.90
							05:27:01	1.12	4.97	4.43
							05:21:48	1.13	2.90	2.57
					B	14/09/2007	05:23:43	1.12	3.96	3.54
							05:26:05	1.12	3.35	2.99
							05:27:52	1.12	4.26	3.80

- (1): numero de observación
- (2): estrella observada SAO (Smithsonian Astrophysical Observatory Star Catalog)
- (3): ascensión recta
- (4): declinación
- (5): tipo espectral
- (6): filtro
- (7): día de observación

- (8): hora local
- (9): masa de aire
- (10): full width at half maximum (fwhm), Ancho total a media altura observado
- (11): full width at half maximum (fwhm), Ancho total a media altura corregido

REDUCCION Y ANALISIS DE DATOS

Para la reducción y análisis de las imágenes digitales se utilizó una PC con

sistema operativo Linux Ubuntu Ver.6.10, y el software IRAF Ver. 2.12. (Image Reduction and Analysis Facility), es un

software de propósito general para la reducción y análisis de datos astronómicos. IRAF es escrito por el IRAF programming group en NOAO (Nacional Optical Astronomy Observatory) en Tucson, Arizona. NOAO es operado por AURA (Association of Universities for Research in Astronomy, Inc.) bajo

acuerdo operativo con la NSF (National Science Foundation).

A las imágenes registradas las llamamos imágenes crudas a ellas debemos corregir los *darks* y *flats*. En la Figura 1 detallamos la rutina.

Esquema de Reducción de Imágenes

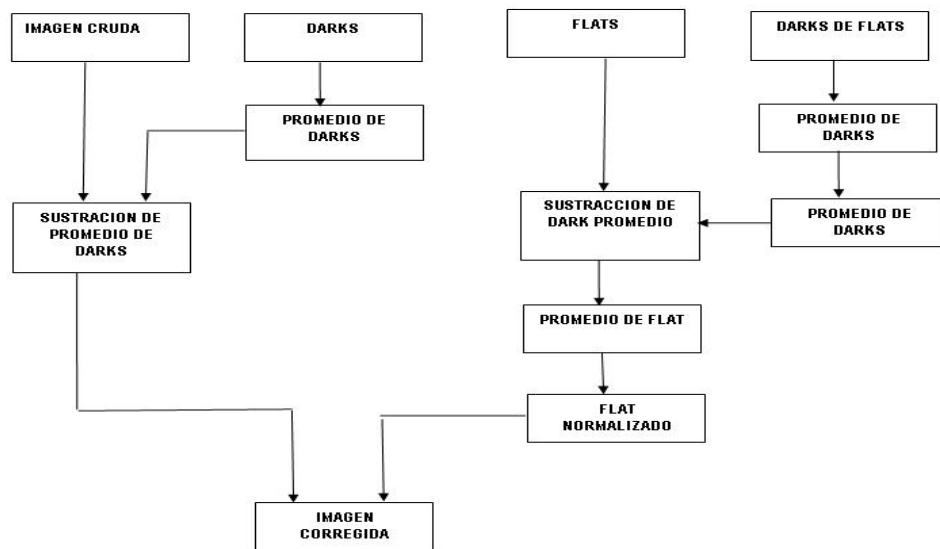


Figura 1. Este esquema muestra la rutina de la reducción de imágenes astronómicas.

Luego es necesario calcular la masa de aire para cada imagen. Para calcular correctamente la masa de aire es necesario que la hora local de observación lo expresemos en tiempo sideral. Teniendo las coordenadas geográficas del lugar de observación, podemos calcular la masa de aire utilizando la ecuación (5).

Medida de Seeing

A cada una de las imágenes reducidas se determina el FWHM. La Figura 2 muestra una imagen estelar típica producida por el

CCD. La Figura 3 muestra el perfil estelar que representa los valores de intensidad de los pixeles alrededor del centroide en función de la distancia radial. El ajuste de esta distribución es de tipo gaussiana de donde obtenemos el FWHM. Se obtiene usando la rutina **daedit** de IRAF. El *Seeing* observado medido de esta forma y el valor corregido de acuerdo a la ecuación (4) están indicados en la Tabla 1 y en las columnas 10 y 11

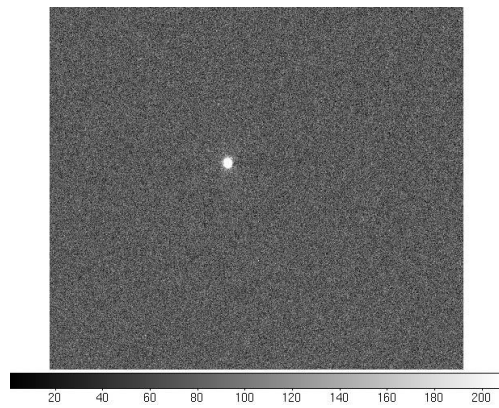


Figura 2. Imagen de la estrella SAO 67174 (vega) de la constelación Lyra, tomada con la cámara CCD con el filtro visible, el 13 de septiembre del 2007 con tiempo de exposición de 0.13 segundos.

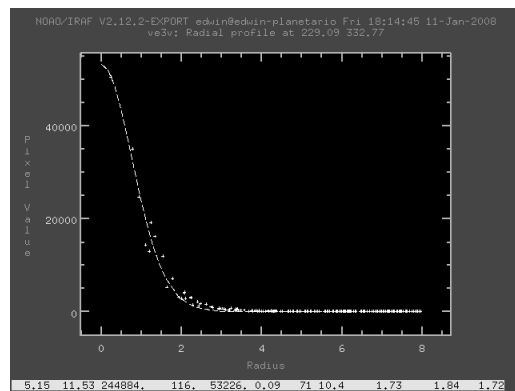


Figura 3. Perfil radial para la imagen estelar de la estrella SAO 67174 y ajuste de gaussiana para obtener el FWHM.

	Mínimo	Máximo	Promedio
B	2.11''	4.26''	3.29''
V	2.48''	4.43''	3.61''

Tabla 2. Estadística de los valores de seeing corregidos (por la masa de aire) para cada filtro, para el cerro Jicamarca, para el 12 – 14 de septiembre del 2007.

	Mínimo	Máximo	Promedio
B	1.98''	4.49''	2.94''
V	1.76''	3.88''	2.71''

Tabla 3. Estadística de los valores de seeing corregidos (por la masa de aire) para cada filtro, medidos para el Observatorio de Huancayo para el 17 y 18 de septiembre del 2001 Pereyra (2003).

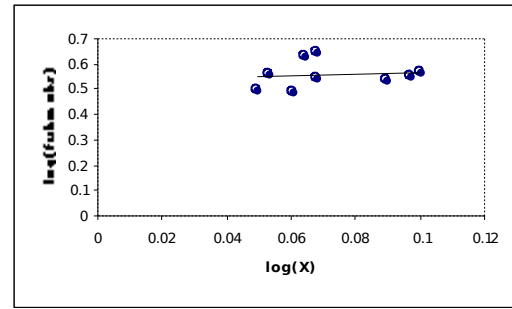


Figura 4. Dependencia $\log(\text{fwhm obs})$ vs. $\log(X)$ para los datos de la muestra tomados con el filtro V (visual). Con una pendiente de 0.3416 ± 0.015 .

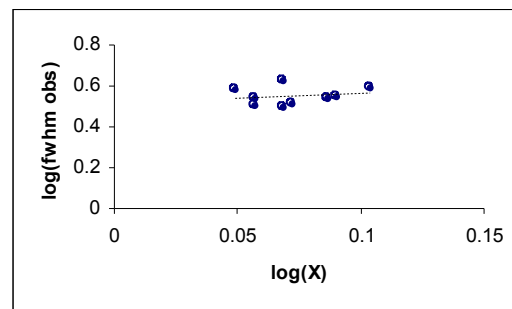


Figura 5. Dependencia de $\log(\text{fwhm obs})$ vs. $\log(X)$ para todos los datos tomados con el filtro B(azul), con una pendiente de 0.5291 ± 0.0453

CONCLUSIONES

En esta primera parte de mediciones prelimares de *seeing* que se hizo en el cerro Jicamarca, tomadas las imágenes con una cámara CCD. De acuerdo a los perfiles estelares caracterizados por la FWHM usados para la medida de *seeing*, como resultados obtuvimos valores medios de *seeing* de 3.6'', 3.29'' medidos en los filtros V y B respectivamente. Así mismo obtuvimos una medida mínima de 2.11'' medido en el filtro B. Por falta de motor de seguimiento automático en la montura ecuatorial nuestras imágenes las integramos con tiempos de exposición cortas (0.12 y 0.13 segundos), por la misma razón se eligió estrellas brillantes

como Vega y Capela de una magnitud visual de 0.1 y 1 respectivamente. Las condiciones de cielo durante la observación no fueron tan buenas como suelen ser en otras épocas, de acuerdo a las experiencias de los miembros del Radio Observatorio Jicamarca el mejor cielo es por los meses de Junio y Julio. Comparando con las medidas hechas en el Observatorio de Huancayo (ver Tabla 3) no se ven grandes diferencias. Es necesario realizar un mayor número de medidas para representar una mejor medida de *seeing* en el cerro Jicamarca.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios en primer lugar por que me da la vida, salud y siempre me ayuda en los momentos más necesarios.

Al Instituto Geofísico del Perú y en particular al “Área de Astronomía” que me permitieron desarrollar el tema. Mi agradecimiento especial al Dr. José Ishitsuka Iba y al Dr. Mutsumi Ishitsuka Komaki por todo el apoyo que me brindo, a todo el personal que labora en el Observatorio de Ancón, por su amistad y colaboración y al personal del Radio

Observatorio de Jicamarca quienes me ayudaron a trasladar los equipos y me dieron las facilidades para hacer las mediciones.

A mi familia por la comprensión y estima, por que están siempre en los buenos y malos momentos.

BIBLIOGRAFIA

- Dalmau A. y Pereyra A. (2004). TECNIA, Vol 14- Nro 1 paginas 77, “calibraciones fotométricas astronómicas en el Observatorio de Huancayo”
- Fried. D. (1965). J. Opt. Soc. Am.. 55.1427.
- Galadi E. y Ribas I. (1998). Manual practico de Astronomía con CCD.
- García de la Rosa I. (1989): Instituto de Astrofísica de Canarias.
- Kolmogorov A. (1941). In Tikhomirov, V.M., ed, Selected works of A.N. Kolmogorov, mathematics and its applications (Soviet series), Kluwer Academic press (1991).
- Pereyra A. y Baella N. (2003). REVCUNI, Vol 7, “Medidas de Seeing en el Observatorio de Huancayo”.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA LA DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE EXPLOSIONES CROMOSFÉRICAS Y FLARES

Parte I

DENIS PAVEL CABEZAS HUAMÁN

Facultad de Ciencias

Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" de Ica.

dpavelch@gmail.com

*Investigación dirigida por: Dr. José Ishitsuka Iba
Msc. Hugo Trigo
Dirección de Investigación en Astronomía
Observatorio de Ancón*

RESUMEN

La porción superior de la cromosfera solar se caracteriza por tener una estructura muy variable, presentan variados fenómenos ocasionados por la gran actividad solar. Una forma de comprender el hecho que esta actividad libera continuamente gran cantidad de energía al espacio estelar es justamente, analizando los mecanismos que conllevan a la formación de fenómenos tales como: Manchas Solares, Flares, Protuberancias, Eyección de Masa Coronal, etc. Por cierto tales fenómenos son ocurrencias que se dan en tiempos muy breves, el tiempo de vida de un Flare es relativamente corto que va desde algunos segundos hasta minutos, en algunos casos. Nuestro objetivo es hacer un análisis detallado de los Flares, para tal efecto se empleará como herramienta, una cámara CCD (Charge Coupled Device), marca Sony modelo XC-77, para la obtención de imágenes del fenómeno. La cámara trae consigo una lista de funciones para elaborar un software a la medida de nuestro requerimiento, y controlar diversas funcionalidades de la CCD.

INTRODUCCION

Se conoce con el nombre de Regiones Activas (ARs, del inglés Active Regions), aquellas zonas del Sol donde se desencadenan diversos fenómenos estrechamente relacionados a la actividad solar. Los Flares son uno de los tantos fenómenos que toman lugar en la superficie solar. Es usual encontrar Flares, en las proximidades de aquellas regiones donde los campos magnéticos varían notablemente a causa de los flujos emergentes, principalmente observados en la cromósfera.

Los Flares son detectados por varios métodos: instrumentos de monitoreo o seguimiento del Sol en H_{α} , rayos X y ondas de radio. El monitoreo óptico es

limitado por estar sujeto a las condiciones climáticas. La detección con rayos X se da en el rango de los índices altos y bajos.

El monitoreo por microondas es más completa, se utilizan varias longitudes de onda para obtener información tridimensional del fenómeno.

¿CÓMO ES QUE OCURRE UN FLARE?

Para describir cómo es que ocurre un Flare, se tendría que recurrir a las ecuaciones de Magnetohidrodinámica (MHD), que describen casi con exactitud el comportamiento de éste tipo de fenómenos; sin embargo ésta vez nos limitaremos a hacer una descripción genérica del fenómeno.

La actividad del Flare estaría ligado a un factor crucial, el campo magnético cambiante, producto de la gran actividad solar. Usualmente estos campos envuelven los flujos magnéticos emergentes de las capas internas del Sol, pero algunas veces

tales flujos se descomponen o entran en un estado de decadencia en las que intervienen procesos netamente físicos, Priest (1982) .(Ver Figura 1).

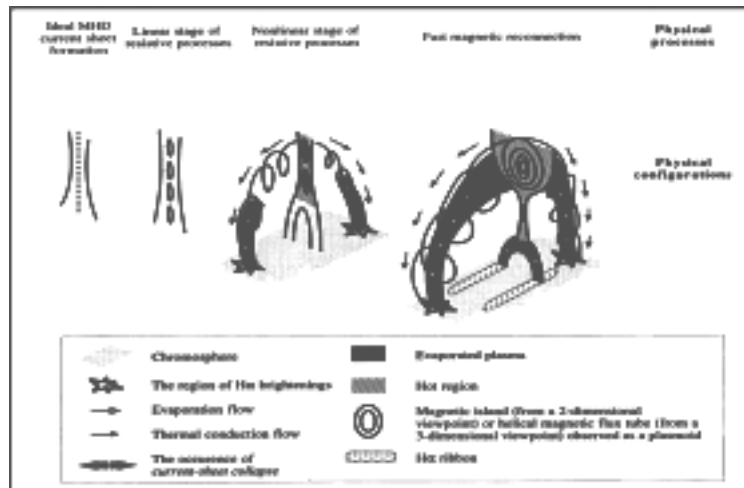


Figura 1. Ilustración esquemática de las etapas severas y procesos físicos en el desarrollo del Flare. (Magara y Shibata, 1999)

Seguidamente se hace una descripción de los procesos que intervienen:

La primera etapa es la Formación Ideal MHD Capa-Corriente; durante esta fase los procesos resistivos son infinitos, en tanto la estructura coronal mantiene una evolución cuasi-estática ideal MHD. A su vez una capa de corriente es formada en medio de los flujos magnéticos, el espesor de esta capa siempre yace en el rango de valores macroscópicos. Luego se origina el Proceso Resistivo Lineal; aquí existe una resistividad finita relativamente pequeña en la corona. Éste es el inicio de la inestabilidad, generando pequeñas islas magnéticas. Usualmente este proceso tiene un período relativamente largo, sin

embargo la cantidad de energía termal y cinética producida es pequeña comparada con la etapa o el Proceso no Lineal. La larga duración de este proceso es responsable en parte de la formación del pre-Flare, Kuiper (1953).

Más tarde tomará lugar el Proceso Resistivo no Lineal; es un estado donde se origina una coalescencia, entre las islas magnéticas, produciendo suficiente energía termal. Además una porción de flujo de calor, fluye desde las regiones calientes hacia la cromósfera, causando el destello en H_{alfa} y por consiguiente la evaporación del plasma en la cromósfera. Por tanto la transición de la distribución energética aumenta hasta llevarse a cabo

una rápida Reconexión Magnética, que permite una violenta liberación de energía. Simultáneamente se producen eyecciones de partículas altamente energéticas [3]. Los electrones viajan muy rápidamente, en algunos casos con velocidades de hasta 50000 km/s.

Liggett y Zirin (1985) demostraron que existe una fuerte tendencia de que el flujo magnético en las ARs erupcione, generándose violentos gradientes de campos ascendentes hacia la superficie, este hecho provoca rompimientos abruptos de las líneas de campo, dando lugar a la formación de destellos de luz en H_{α} y por consiguiente Flares.

La fuente energética de los Flares es producto de la reconexión magnética, sin embargo los detalles de los mecanismos de la aceleración no están completamente claros hasta hoy, Zirin (1988).

FLARES CROMOSFÉRICOS

Un Flare cromosférico es un estallido de luz (Ver Figura 2) cuyo mecanismo es producto de la reconexión, generado en un arco coronal o por el choque de dos arcos. A causa del estallido, se produce un enorme flujo de partículas energéticas, electrones e iones, con energías que están por encima de los 10 MeV, y nucleones de algunos cientos de MeV. Las partículas muy rápidamente se termalizan hasta llegar a los niveles del plasma, cuya temperatura es de al menos 10 millones de grados kelvin aproximadamente.

Las partículas aceleradas se propagan hacia los pies del arco, donde al igual que los electrones, al chocar con la superficie cromosférica, producen destellos de bandas en H_{α}

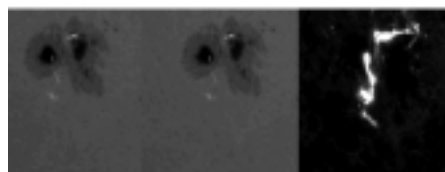


Figura 2. Imagen de un Flare en luz blanca, debidamente procesada, obtenida el 25 de Agosto del 2001 (16:29:26 UT). De "Transition Region and Coronal Explore" (TRACE) and Yohkoh Observations.

El espectro visible de la cromosfera está compuesto por un continuo muy débil, y un gran número de líneas de emisión brillantes y superpuestas a él, es débil porque el gas cromosférico es muy transparente a la mayoría de las longitudes de onda del visible, y al ser poco absorbente, es también poco emisor. Una de las líneas de emisión cromosféricas más importantes es la línea H_{α} de la serie de Balmer del Hidrógeno (6563 Å). Es un fenómeno que tiene lugar en la cromósfera-corona, por ello las observaciones han sido realizadas principalmente en H_{α} , pero aún así es incompleta, porque sólo muestra la parte inferior del fenómeno que ocurre en las capas más altas, García de la Rosa (1989). Ciertamente los Flares son más visibles, sólo por su línea de emisión, por tanto se han obtenido excelentes imágenes en la línea H_{α} . Para nuestros estudios emplearemos un Filtro birrefringente de

transmisión, centrado en la línea de absorción H_{α} , este filtro deja pasar la zona del espectro cercana a la del Hidrógeno alfa. Si se hacen capturas de imágenes en esa longitud de onda (6563 Å) se obtendrían fotografías de la cromósfera y por consiguiente de Flares.

IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE.

El Çoelostato es un instrumento que permite proyectar la imagen del disco solar en una cierta dirección, mas adelante se dan mas detalles del equipo en conjunto; si proyectáramos dicha imagen sobre el sensor CCD de una cámara, y ayudado por un software específico se consigue obtener la imagen de la superficie solar en tiempo real. La cámara CCD marca Sony, modelo XC – 77, provisto de un chip CCD de 10.0 x 8.2 mm, consta además de una Librería Dinámica de Enlace (DLL, del inglés Dinamic Link Library) para desarrollar diversas aplicaciones para el control de la cámara. Nuestra necesidad es de contar con un software que sea capaz de: capturar imágenes de un modo automático las explosiones que se producen en la cromósfera, y analizar algunas características de dichas imágenes tales como: el tiempo de vida del fenómeno, las dimensiones de las estructuras presentes, a consecuencia del gran estallido que se produce, entre otros.



Figura3. Cámara CCD marca Sony XC-77

Se emplea el lenguaje Visual C++ como herramienta para el desarrollo del software, para tal efecto se creó una clase 'CAMARA_CCD', en la que incluimos una lista de funciones propias de la cámara como:

```
hArtCamSdk = NULL;
//Handle' del DLL.
hACam = NULL;
// 'Handle' de la CCD (Sony XC-77)

ArtCam_Initialize = NULL;
ArtCam_GetDllVersion = NULL;
//Versión del DLL.

ArtCam_GetWaitTime = NULL;
ArtCam_GetSamplingRate= NULL;
ArtCam_GetColorMode = NULL;
ArtCam_GetBrightness = NULL;
ArtCam_GetContrast = NULL;
ArtCam_SetWaitTime = NULL;
ArtCam_SetSamplingRate = NULL;
ArtCam_SetColorMode = NULL;
ArtCam_SetBrightness = NULL;
ArtCam_SetContrast = NULL;
ArtCam_Capture = NULL;
ArtCam_SnapShot = NULL;
ArtCam_Close = NULL;
ArtCam_GetLastError = NULL;
ArtCam_Release = NULL;
```

Dicha lista facilita la construcción del resto del código fuente para el programa.

Para complementar mejor la de idea de analizar los datos obtenidos, se tomó en

cuenta que las imágenes conseguidas con la cámara sean del formato FITS (Flexible Image Transport System), que es un tipo de archivo mas empleado por la comunidad astronómica, que a su vez facilita el análisis y tratamiento de imágenes.

FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA

Seguidamente se hace una descripción general de los pasos que debería obedecer el programa. Detectar un Flare es un tanto dificultoso, por el hecho de que el fenómeno es impredecible y de muy corta duración. Una solución a éste inconveniente sería 'espíar al Sol'; la idea consiste en estar pendiente durante todo el día de los tantos sucesos que se desencadenan en el Sol.

1. Para empezar, se debe confirmar la orientación Este – Oeste de la imagen del disco solar en la CCD y guardar la imagen, ésta primera imagen servirá para hacer una comparación con el nivel del brillo del fondo del cielo.

2. Determinación de la posición heliográfica de las Regiones Activas (ARs) encontradas.

3. Calcular el brillo del área central del disco solar, si el brillo es más bajo que el umbral del cielo debido a la nubosidad, se tendrá que interrumpir y volver al inicio del programa, hasta conseguir un brillo por encima del umbral; de lo contrario el programa seguirá la secuencia.

4. Detectar el limbo solar, calcular la coordenada central del disco y el radio solar expresado en unidad de píxeles así como en milímetros.

El aspecto más importante en este tipo de análisis, es la realización de cálculos y estimaciones de las características intrínsecas del Flare, tales como el de estimar el tamaño aparente y verdadero de las ARs, el tiempo de duración, así como también obtener el nivel del brillo. Si las condiciones son favorables y los niveles del brillo del disco solar están por encima del umbral, el programa debe operar automáticamente en el “Modo Flare”, cuya subrutina está orientada básicamente a obtener imágenes de Flares con altos niveles de brillo, establecer el tiempo de inicio y final del fenómeno.

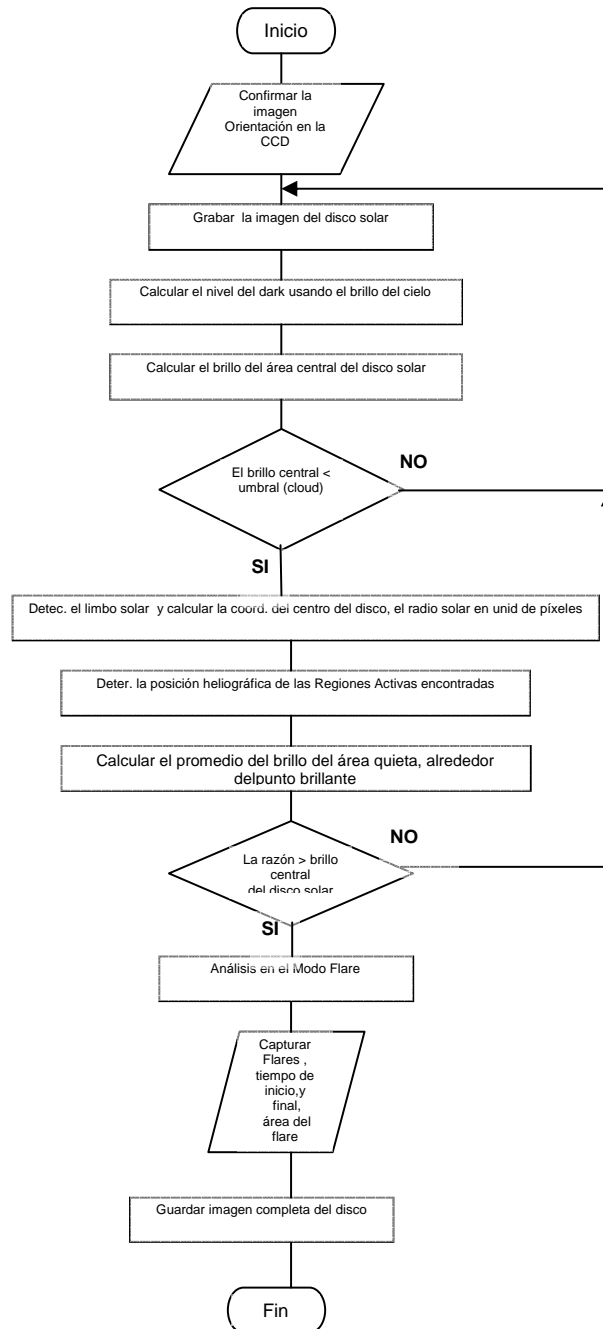


Figura 4. Diagrama de flujo de la secuencia a seguir por el programa.

OPERACIÓN DEL SISTEMA EN CONJUNTO

El sistema de detección automática de Flares, consta de lo siguiente: un Çoelostato, lente objetivo, un filtro birrefringente H_{α} y la cámara CCD. El equipo en conjunto estará en operación en

la futura Estación Solar en la ciudad de Ica. El Çoelostato consta de dos espejos planos de 32 cm de diámetro, su función básicamente consiste en fijar la luz del Sol en una dirección específica. El espejo Primario receptiona los haces de luz provenientes del sol, mientras que la labor

del espejo Secundario es transferir los rayos de luz hacia el lente objetivo, el cual será el encargado de formar la imagen del disco solar.

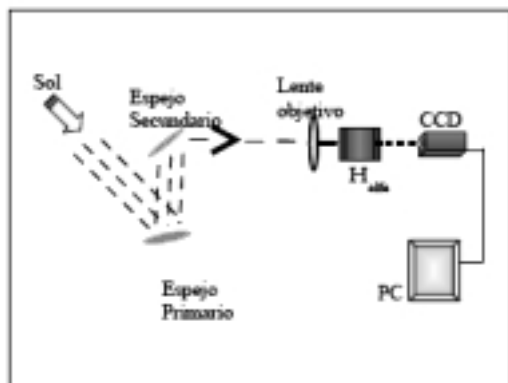


Figura 5. Representación y distribución de funcionamiento del sistema en conjunto.

CONCLUSIONES

El resultado parcial o de primera etapa es que se concluyó con la primera fase del software, se obtuvieron imágenes de prueba del disco solar con la cámara CCD, y lo que está pendiente es la inclusión en el software las opciones para el análisis de imágenes. Actualmente se está desarrollando la siguiente etapa del proyecto, y posteriormente daremos a conocer los resultados obtenidos.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Geofísico del Perú por darme el apoyo y las facilidades en mi estancia como practicante.

Al Dr. José Ishitsuka y al Msc. Hugo Trigoso, por brindarme la oportunidad y

por estar a cargo de mi capacitación en el Observatorio de Ancón.

A todo personal del Observatorio de Ancón por darme las facilidades del caso. Finalmente y no menos importante a Mario Zegarra Valles, por el apoyo en la construcción y desarrollo de la primera parte del software.

BIBLIOGRAFÍA

- García de la Rosa, I., (1989): Apuntes de Física Solar, Cap. 6, Instituto Astrofísico de Canarias, España.
- Kuiper, P. (1953): The Sun Chap. 6 Sec. 3. Edited by Gerard P. Kuiper. The University of Chicago Press.
- Ligget, M., y Zirin, H., (1985): Solar Physic. Pages, 51, 97.
- Magara T. y Shibata, K.: Evolution of Eruptive Flares II. Enhanced Resistivity. Edited by The Astrophysical Journal. 199.
- Priest, E., (1982): Solar Magnetohydrodynamics. Chap. 10. Edited by B.M. McCormac, Lockheed Palo Alto Research Laboratory, Calif., U.S.A.
- Zirin, H., (1988): Astrophysics of the Sun. Chap. 11. Edited by Cambridge University Press.

ESPECTRÓGRAFO ASTRONÓMICO DE BAJA RESOLUCIÓN

JESÚS ANTONIO DALMAU CAM

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ciencias

dalmai@uni.edu.pe

Investigación dirigida por: Dr. José Ishitsuka Iba
Dirección de Investigación en Astronomía
Observatorio de Ancón

RESUMEN

El presente trabajo muestra el diseño y montaje de un espectrógrafo de baja resolución capaz de medir temperaturas superficiales de estrellas y composición química. Para implementar el espectrógrafo se utilizó los equipos de fotometría del Grupo Astronomía (Facultad de Ciencias - UNI), un colimador y una red de difracción, estos últimos se adquirieron especialmente para el proyecto. El espectrógrafo se probó durante las noches de marzo y octubre del 2005 en el Observatorio John A. Fleming (IGP) en la ciudad de Huancayo - Perú.

INTRODUCCION

La espectroscopia astronómica ha permitido a los astrónomos conocer muchas propiedades de los cuerpos celestes que no podían ser inferidas de la fotometría como: velocidad de desplazamiento y rotación, edad, composición química, temperatura, etc.

Espectros estelares

Los espectros estelares presentan una distribución continua de energía originada por la radiación de su núcleo y unas líneas de emisión o absorción sobre este continuo, producto de los elementos químicos en sus capas más externas (atmósfera estelar).

La Figura 1 muestra el perfil espectral (diagrama de intensidad a lo largo del eje de dispersión) y el espectro propiamente dicho de la estrella Rigel.

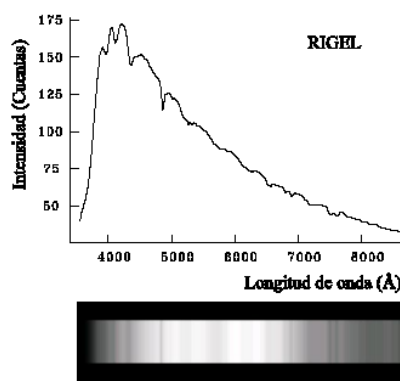


Figura 1. El continuo y líneas de absorción de Rigel registradas en el Observatorio de Huancayo.

La distribución de energía del núcleo es en primera aproximación la de un cuerpo negro, la cual está regida por la Ley de Planck.

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (1)$$

Donde I es la intensidad y sólo depende de la temperatura. Al integrar sobre todas las longitudes de onda se obtiene la Ley de Stefan-Boltzmann:

$$F = Z \infty 0 I(_)d_ = _T4 \quad (2)$$

Donde F es el flujo total de un cuerpo negro, es la constante de Stefan-Boltzmann y T temperatura absoluta del cuerpo negro. Al comparar el flujo de un cuerpo negro con el flujo de una estrella de radio R, la ecuación 2 queda:

$$L = 4 _R2 _T4 \text{ eff} \quad (3)$$

Donde L es la luminosidad de la estrella y Teff la temperatura efectiva o superficial de la estrella. Estos dos parámetros físicos son importantes al momento de situar una estrella en el Diagrama Hertzsprung-Russel (diagrama de evolución estelar).

Clasificación Espectral

Clasificación Morgan-Keenan (H. Karttunen, 1992), según su luminosidad:

Ia+ : Hipergigantes

I : Supergigantes

II : Gigantes brillantes

III : Gigantes

IV : Subgigantes

V : Enanas

VI : Subenanas

Según su temperatura superficial (Clasificación de Harvard):

O : $_ 25000$ K

B : $_ 15000$ K

A : $_ 9000$ K

F : $_ 7000$ K

G : $_ 5500$ K

K : $_ 4000$ K

M : $_ 3000$ K

Estas clases representadas por letras mayúsculas, contienen subclases que varían entre 0 y 9. Cero para las más calientes y nueve para las más frías. Así por ejemplo, la clasificación espectral para estrellas de tipo B de mayor a menor temperatura sería: B0, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8 y B9.

DATOS OBSERVACIONALES

Las observaciones se realizaron en el Observatorio de Huancayo John A. Fleming (12.02'12" latitud sur; 75.19'07" longitud oeste; 3300 msnm) durante las noches del 25, 26, 29 de marzo y 1, 6, 7 de octubre de 2005. El equipo utilizado para la implementación del espectrógrafo fueron los siguientes:

- Telescopio Schmidt Cassegrain de 8"
- Cámara CCD de 16 bits
- Carrusel de filtros con filtros UBVR1
- Doblete acromático de f/9
- Red de difracción de 500 líneas/mm

Debido a la configuración óptica del espectrógrafo (Figura 2), el espectro se forma en una superficie curva provocando un espectro desenfocado sobre la superficie plana del detector.

Para minimizar este efecto (C. Buil) se utilizó un colimador (doblete acromático) antes de que la luz llegue a la red de difracción.

Se registraron aproximadamente 12 espectros de una misma estrella, cada uno de ellos a diferentes posiciones de foco del telescopio con la finalidad de encontrar el

foco más representativo para el amplio rango de longitudes de onda cubiertas.

Además de los espectros estelares, se grabaron flats de una lámpara halógena (flats) y flats del cielo (skyflats). Para cada tipo de imagen (espectros, flats y skyflats), también se registraron sus respectivos darks. Estas imágenes complementarias son las habituales en la reducción de datos con imágenes CCD.

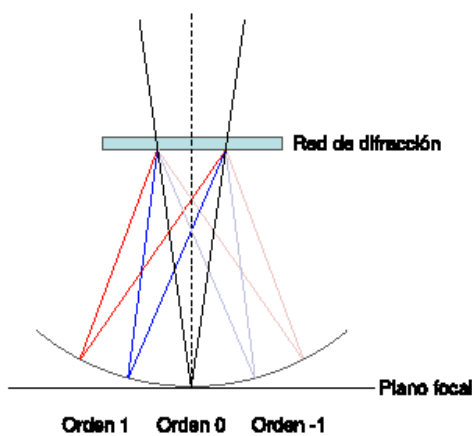


Figura 2. Esquema del sistema óptico del espectroscopio sin el colimador.

Las estrellas observadas se muestran en la Tabla 1 y fueron elegidas por su brillo intenso (magnitud negativa o cercana al cero) y por tener diferentes tipos espectrales. La Tabla 2 es un resumen de la cantidad de imágenes grabadas, el tiempo de exposición empleada por imagen, fecha y hora local de observación (GMT-5).

REDUCCION DE DATOS

El proceso de reducción y análisis de espectros digitales fue realizado en el sistema operativo GNU/Linux Ubuntu 7.04 usando el software IRAF v 2.12 (J. Barnes, 1992). A diferencia de la

reducción típica de fotometría (D. Galadi, 1998): darks (imagen con el obturador cerrado para eliminar el ruido térmico de la cámara) y flats (imagen casi sobreexpuesta para uniformizar la sensibilidad superficial de la cámara), en espectroscopia se requiere los skyflats a fin de encontrar la función de iluminación, que no es más que la luz del cielo dispersada por la red de difracción y registrada en el detector.

La multiplicación del flat normalizado por la función de iluminación dará el Flat Perfecto o Superflat que servirá para corregir las imágenes de la variación de sensibilidad superficial del detector.

Calibraciones del espectro

El siguiente paso es convertir la escala del eje de dispersión de píxeles a longitudes de onda. Esto se logra identificando, por comparación, algunas líneas del espectro registrado con su tipo espectral (P. Massey, 1992).

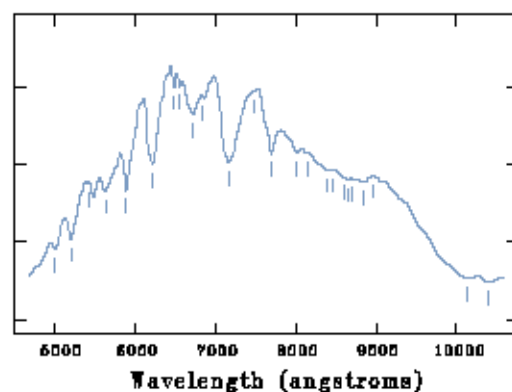


Figura 3. Calibración en longitud de onda para el espectro de Betelgeuse

Nombre	Tipo Espectral	Magnitud Visual	Coordenadas FK5	
			AR (J2000)	DEC (J2000)
Rigel	B8Ia	0.12	05 14 32.27	-08 12 05.9
Vega	A0V	0.03	18 36 56.34	+38 47 01.3
Canopus	F0II	-0.72	06 23 57.11	-52 41 44.4
Betelgeuse	M2Iab	0.58	05 55 10.31	+07 24 25.4

Tabla 1. Estrellas de estudio.

Nombre	Número de toma	Tiempo de Exposición (s)	Fecha de observación	Hora de observación Local (hh:mm:ss)
Rigel	11	40	27-09-2005	02:54:12 a 03:04:01
Vega	10	20	21-09-2005	22:49:14 a 22:55:00
Canopus	13	40	27-09-2005	03:40:18 a 03:52:02
Betelgeuse	12	40	27-09-2005	03:16:08 a 03:26:54
Darks	10	40	27-09-2005	04:04:53 a 04:13:38
Flats	20	0.3	27-09-2005	04:39:07 a 04:44:58
Darks	20	0.3	27-09-2005	04:53:20 a 04:59:11
Skyflats	20	0.12	27-09-2005	05:47:59 a 05:53:44
Darks	20	0.12	27-09-2005	05:55:05 a 06:00:51

Tabla 2. Tiempos de exposición y número de tomas por imágenes.

El resultado de la calibración en longitud de onda para Betelgeuse se muestra en la Figura 3.

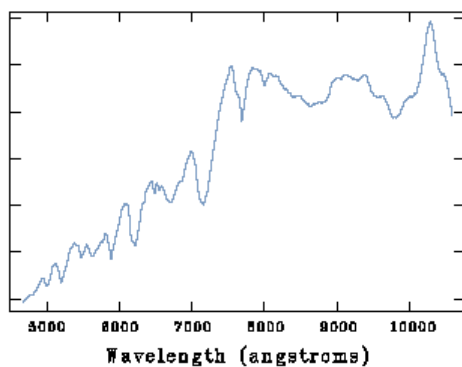


Figura 4. Espectro de Betelgeuse corregido de la variación de sensibilidad espectral del detector.

Finalmente, para corregir las variaciones de sensibilidad espectral del detector (las cámaras CCDs no tienen la misma eficiencia cuántica para todas las longitudes de onda), se compara la forma del perfil espectral registrado con su tipo espectral. La Figura 4 muestra esta corrección aplicada a Betelgeuse.



Figura 5. Comparación de espectros antes y después de la reducción de datos.

La Figura 5 muestra los espectros antes y después de la reducción de datos.

En los perfiles espectrales no se muestra la escala del eje Y puesto que no se hizo la calibración en flujo.

CALCULOS Y RESULTADOS

Una vez corregidos los espectros se pueden realizar algunos cálculos para caracterizar al espectrógrafo y deducir algunas propiedades físicas de las estrellas.

Parámetros del espectrógrafo

Básicamente son tres los parámetros para caracterizar al espectrógrafo: dispersión ($\text{A}^\circ/\text{pixel}$), resolución (A°/A) y rango cubierto por cuadro (A°/A). El primero de ellos se calcula en base a la conversión de escala de píxel a longitudes de onda. El segundo en base al FWHM medido en líneas de absorción aisladas, en nuestro caso en H_γ ($6563 \text{ A}^\circ/\text{A}$) de las estrellas Rigel y Canopus.

Finalmente el rango cubierto se calcula en base al mínimo y máximo de λ por cuadro en cada una de las cuatro estrellas analizadas. La Tabla 3 muestra estos parámetros.

Parámetro	Teórica	Exper
Dispersión (A/px)	7.62	6.94
Resolución (A)	26.25	41.08
Rango (A)	5523	5306

Tabla 3. Parámetros del espectrógrafo.

Como referencia la resolución de los espectrógrafos de la compañía SBIG son 15° A para el modelo DSS y $5,7^\circ \text{ A}$ para el modelo SGS.

Composición química de la estrella

Al eliminar la contribución del continuo vía software se puede visualizar mejor la absorción de elementos químicos presentes en la atmósfera de la estrella.

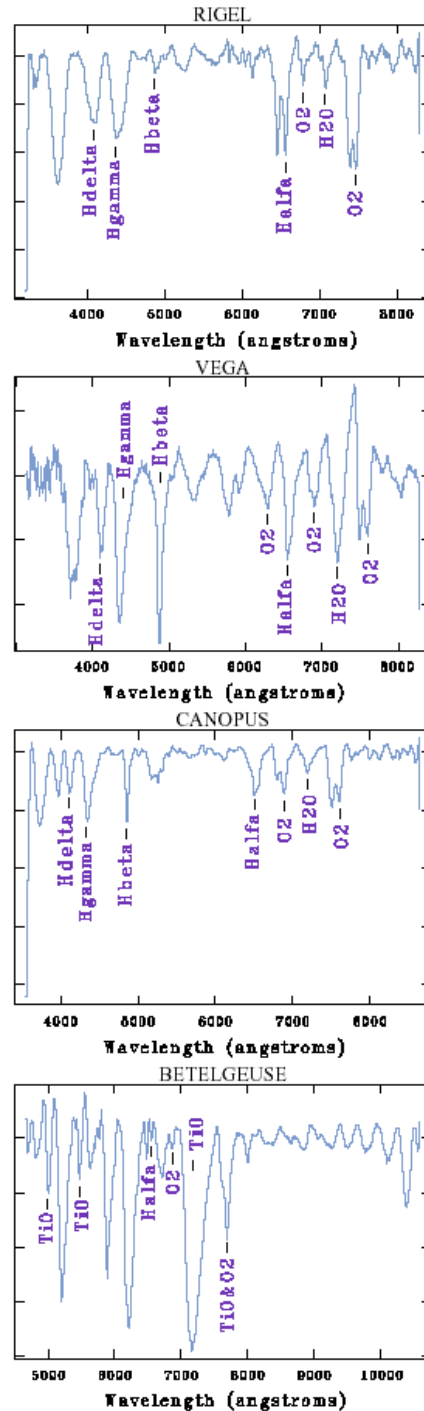


Figura 6. Elementos químicos más abundantes en las estrellas analizadas.

Dada la resolución del espectrógrafo sólo se pudo identificar los elementos químicos

con líneas de absorción fuerte (Figura 6).

En las estrellas blancas o azules se encuentra presente las líneas de Hidrógeno (Serie de Balmer). H_γ (6563 ° A), H_β (4861 ° A), H_α (4102 ° A).

En la estrella más fría se presentan metales como el óxido de titanio (TiO) a diferentes longitudes de onda (4995, 5470, 7200 y 7610 ° A).

Por otra parte las líneas telúricas (líneas de absorción de la atmósfera terrestre), también son notorias. Estas líneas telúricas son más bien bandas, ya que el O₂ y el H₂O son moléculas, por consiguiente tiene un patrón de absorción ancho.

Temperatura superficial

La temperatura superficial de las estrellas se calculó al trazar curvas de radiación de cuerpo negro a los espectros corregidos (Figura 7). Dichas temperaturas superficiales o efectivas están muy cercanas al valor de referencia dado por su tipo espectral. Para obtener temperaturas acordes a la realidad, se debe de tener especial cuidado en la elección del rango espectral del ajuste.

Estrella	Temperaturas (K)	
	Efectiva	Referencia
Rigel	11026	11000
Vega	9423	9300
Canopus	7377	7700
Betelgeuse	3250	2905

Tabla 4. Temperaturas superficiales de las estrellas analizadas.

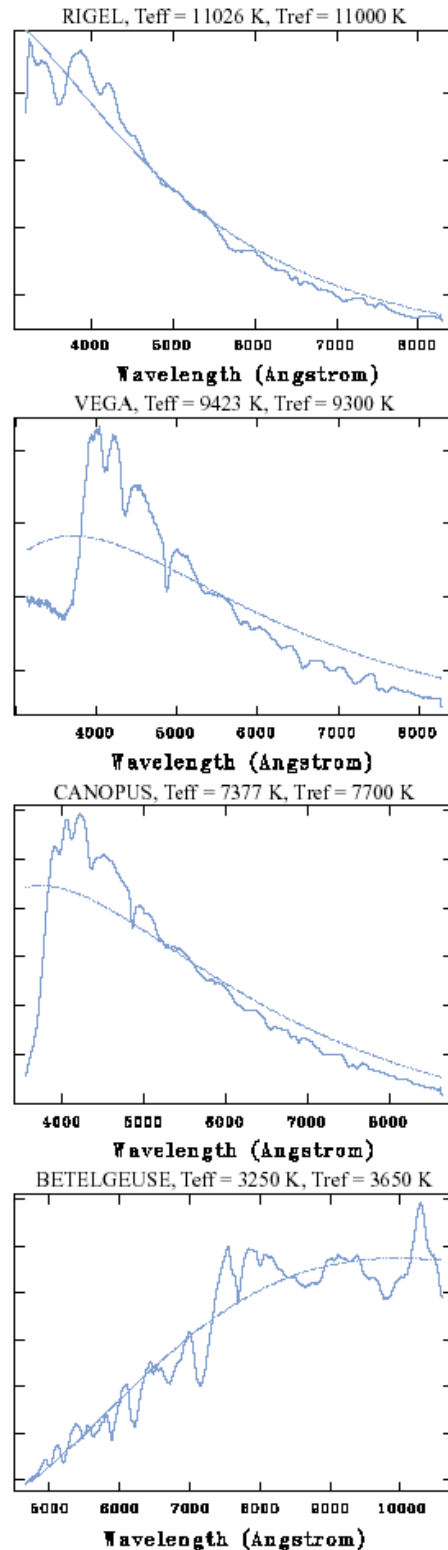


Figura 7. Temperaturas superficiales o efectivas de las estrellas analizadas

AGRADECIMIENTOS

El autor está especialmente agradecido al personal del Observatorio de Huancayo por su colaboración para la realización de este trabajo, así como al personal del Observatorio de Ancón por su revisión. Un agradecimiento al Grupo Astronomía de la UNI por el préstamo de sus equipos y en especial al Dr. Antonio Pereyra por su asesoramiento.

Este trabajo ha hecho uso de la base de datos SIMBAD, operada por el CDS (Centre de Données astronomiques de Strasbourg), Estrasburgo - Francia.

CONCLUSIONES

Se pudo registrar y procesar el espectro de una estrella con el espectrógrafo de baja resolución. Al no tener una rendija (slit) la resolución del espectrógrafo es baja pero suficiente como para determinar elementos químicos presentes en la atmósfera de las estrellas. También se pudo calcular la temperatura superficial de estrellas dentro del margen de temperaturas dado su tipo

espectral. Al calibrar las estrellas con su Tipos espectrales y no con lámparas de calibración, se pierde la posibilidad de medir velocidades de desplazamiento (redshift o blueshift). El costo del equipo es relativamente bajo, \$70 vs \$1595 (modelo SGS) ó \$4995 (modelo SGS) de la compañía SBIG.

BIBLIOGRAFIA

- Baladí, D. (1998): Manual práctico de astronomía con CCD. Ediciones Omega, pp 19-25.
- Barnes, J. (1992): Iraf Tutorial. Iraf Group, <http://iraf.noao.edu>
- Buil, C.: Spectroscopy, CCD and Astronomy (Home Page). <http://www.astrosurf.com/buil>
- Karttunen, H. (1992): Fundamental Astronomy.(Springer), 4ta Edición, Cap 8,pp 203-205.
- Massey, P. (1992): A User's guide to reducing slit spectra with IRAF. IRAF Group, <http://iraf.noao.edu>

MONITOREO HIDROLÓGICO EN ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS

WALTER NELSON CAHUANA OCHOA

*Estudiante de Ingeniería Geológica
Universidad Nacional San Agustín de Arequipa
wcahuana@unsa.edu.pe*

*Prácticas dirigidas por: Ing. Juan Carlos Gómez Ávalos
Dirección de Investigación en Geodesia y Geología
Sede Central del Instituto Geofísico del Perú*

RESUMEN

La aplicación del monitoreo hidrológico tiene por finalidad mantener un control sobre zonas susceptibles a ocurrir deslizamientos provocados por las precipitaciones intensas y prolongadas. Estudios en Malasia y Singapur contaron con instrumentación (piezómetros, tensiómetros) para estudiar laderas, ubicados a diferentes profundidades resultados que demuestran que las medidas de la succión (presiones negativas en épocas de sequía) son óptimas que aquellos ubicados a mayor profundidad y disminuye cuando comienzan el periodo de lluvia y el ascenso del nivel freático; condiciones que contribuye a la inestabilidad de laderas. El Servicio Geológico de Estados Unidos USGS lleva a cabo monitoreo automático en tiempo real de un número considerable de deslizamientos así como el control de la presión de los poros y el grado de humedad del suelo. Por lo anterior el monitoreo de la succión y principalmente de la variación de la presión de poro, resultan indispensables para conocer la resistencia de los suelos en el control de la inestabilidad de laderas.

INTRODUCCIÓN

Es necesario conocer las zonas susceptibles a deslizamientos en una etapa temprana, a través de investigaciones e inspecciones periódicas y así prevenir posibles desastres. Diversos instrumentos se han desarrollado para detectar los movimientos masivos de laderas, la presión y el grado de humedad haciendo un seguimiento de las condiciones del suelo.

Una manera de poder mitigar los daños causados por estos fenómenos es aplicar un monitoreo hidrológico para controlar, conocer y predecir deslizamientos producidos por lluvias. La combinación de los instrumentos electrónicos junto con las técnicas de telecomunicación y el envío de

información por medio de control remoto permite el análisis preliminar de la evolución del fenómeno de remoción en masa, ligados a un sistema de alarma en zonas susceptibles a deslizamientos.

En el siguiente trabajo se tiene los casos registrados en Malasia, Singapur y EE.UU., los que hicieron un seguimiento del cambio de presiones y grado de humedad debido a la saturación del suelo provocado por las lluvias que guarda relación con la ocurrencia de deslizamientos.

MARCO TEÓRICO

Los deslizamientos son movimientos en masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de

falla delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera. Los deslizamientos pueden ser desencadenados tanto por: precipitaciones intensas, cambios en el nivel del agua dentro del terreno, actividad sísmica, actividad volcánica y cambios en el ambiente natural, como por actividades humanas y en menor proporción por el deshielo.

Las zonas susceptibles a deslizamientos son aquellas que están propensas a ocurrir estos fenómenos como:

- * Laderas compuestas por suelos arcillosos, limosos, depósitos de gravas, rocas alteradas, fracturadas vulnerables a la erosión y la saturación en presencia del agua
- * Zonas de antiguos deslizamientos
- * A lo largo o en la base de taludes, laderas de montañas y orillas de barrancos.
- * A lo largo o en la base de cuencas de drenaje menores u otras depresiones
- * En el tope o en la base de antiguos taludes de relleno
- * En el tope o en la base de cortes en taludes empinados

A continuación los instrumentos utilizados para el monitoreo hidrológico en zonas susceptibles a deslizamientos y el sistema automático de control de los datos obtenidos por telemetría de la presión y grado de humedad de suelo.

Aparatos de medición

Pluviómetro

Es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la medición de la precipitación. La precipitación pluvial se mide en términos de la altura de la lámina de agua, y se expresa comúnmente en milímetros. Los aparatos están expuestos a la intemperie, consta de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de la lluvia (Figura 1). Cuando el equipo mencionado usa un registrador automático para medir constantemente la lámina de lluvia en intervalos tan pequeños como un minuto de duración se llama pluviógrafo (Figura 2).



Figura 1. *Pluviómetro común para la medición del grado de precipitación*



Figura 2. *Pluviógrafo con sistema de reloj integrado*

Para ello al equipo se le incorpora un sensor que convierte la intensidad o nivel de la lluvia en una señal medible. Utilizando el pluviógrafo se conoce la intensidad de precipitación, que se define como la altura de precipitación entre el tiempo en que se origina (Δt).

Piezómetro abierto tipo Casagrande

Instrumento que permiten medir la presión de agua contenida en los poros del suelo (presión positiva), cuyos resultados son expresados en metros equivalente a la presión. Al igual que los tensiómetros, los piezómetros son dispositivos que se instalan en el interior de la masa del suelo (figura 3), los piezómetros generalmente se colocan dentro de un bulbo poroso confinado en su base y lateralmente por el propio suelo, y en su parte superior mediante un sello formado artificialmente.

Este método de instalación permite que los piezómetros sólo respondan a la presión del agua que se transmite al bulbo poroso en el que se aloja el dispositivo de medición para que sólo respondan a la presión del agua, y no a presiones de agua correspondientes a otras elevaciones (Dunnicliff, 1993).

Tensiómetro (Sensor de succión) SR1000

Instrumento que se utiliza para medir las tensiones que se generan en el agua atrapada en los espacios capilares de una masa de suelo, cuyas medidas son expresadas en Kpa.



Figura 3. Piezómetro de tubo abierto tipo Casagrande con punta porosa plástica (Dunnicliff, 1993)

Con la llegada de las lluvias, la succión o presión negativa en el agua contenida en el subsuelo se pierde, e incluso se genera una presión positiva (presión de poro). Este aumento de la presión de poro reduce la resistencia del subsuelo favoreciendo la inestabilidad de laderas, el instrumento esta conformado por un tubo hermético con una punta de cerámica porosa en la base, un manómetro cerca de la tapa y una tapa-sello hermética (Figura 4).

Water content reflectometer CS615

Instrumento muy útil el cual proporciona medidas sobre el contenido volumétrico del agua (grado de humedad) en los poros del suelo expresados en %, esto quiere decir el volumen de agua que ocupa con respecto al volumen del suelo en un momento dado.



Figura 4. Elementos que componen un tensiómetro.

Usando las técnicas del TDR (time domain reflectometry) permite deducir la constante dieléctrica de un material a la propagación de las ondas, ya que guarda relación la constante dieléctrica con el grado de humedad del suelo (figura 5). El TDR es una nueva tecnología que permite la supervisión en profundidad del movimiento de una ladera a través de la conducción de pulsos eléctricos donde se registra, ubica las deformaciones del suelo con prontitud y exactitud.

Este instrumento esta conformado por dos varillas metálicas insertadas dentro del suelo que actúan como guías para la propagación de un pulso electromagnético

enviado desde un osciloscopio. Cuando el pulso electromagnético encuentra una discontinuidad, parte de la energía es devuelta hacia el osciloscopio, atenuándose el voltaje del mencionado pulso (Nielsen et al., 1995).

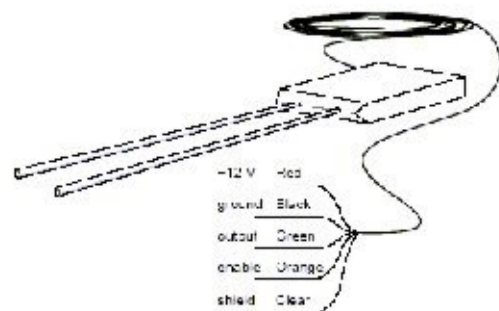


Figura 5. Water Content Reflectometer CS615 (Campbell Scientific, Inc.,1996)

Correlación de instrumentos

Piezómetros abierto tipo Casagrande	Tensiómetros SR1000	Water content reflectometer CS615
- Operación simple - costo de instalación factible - alta confiabilidad - permite medir presiones positivas - no existe problemas de corrosión - no requiere mantenimiento	- Operación simple - costo de instalación factible - fiabilidad muy alta - permite medir presiones positivas y negativas - rango de medición (0 -90cbar) - vida útil muy larga - mantenimiento bajo	- Lecturas son muy rápidas - usando la técnica del TDR (<i>Time domain reflectometry</i>) permite deducir la constante dieléctrica de un material que guarda relación con el contenido de humedad. - su precisión depende de la calibración general, textura y composición mineral del tipo de suelo ($\pm 2\%$)

Sistemas automáticos de monitoreo

De otro lado la integración de la hidrología con la ingeniería ha conducido al uso imprescindible del computador en el procesamiento de información existente y en la simulación de ocurrencia de eventos futuros. En los Estados Unidos de América se lleva a cabo el monitoreo en tiempo real de un número considerable de deslizamientos. Así para ayudar a reducir el riesgo que poseen estas laderas, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), en cooperación con otras agencias actúa con prontitud para proveer el monitoreo continuo en tiempo real, deformaciones en el terreno, presiones de poro, precipitación, aceleraciones del terreno (Figura 6).

Los datos obtenidos se transmiten a las computadoras del USGS en un intervalo de 10 minutos, bajo condiciones normales. El USGS opera un número considerable de monitoreos de deslizamientos en tiempo real, algunos incluso con acceso del público en general a través de Internet.

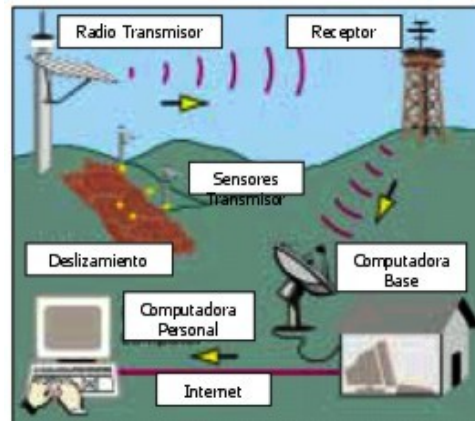


Figura 6. Red de la USGS para la transmisión en tiempo real de datos de deslizamientos de ladera.

Características de los sistemas de control remoto.

La USGS para el monitoreo de deslizamientos cuenta con:

- Operación de manera continúa
- Operación totalmente automatizada
- Programación periódica de medidas, ordenación de los puntos de medida por unidad de tiempo y de aparato.
- Configuración de la transferencia de datos
- Convertir los datos a unidades ingenieriles.
- Representación de valores diarios
- Imprimir los datos para luego publicarlos en Internet

METODOLOGÍA

Para el *monitoreo de la presión del agua en el subsuelo* se debe de tomar en cuenta las fluctuaciones en los niveles del agua dentro del terreno, provocadas por las variaciones estacionales y los cambios climáticos, que generan diferentes estados de esfuerzos en la masa del suelo. En tiempos de sequía el suelo se mantiene parcialmente saturado, lo que provoca presión negativa en el agua contenida en sus poros, favoreciendo con ello el aumento de su resistencia cortante.

La instalación de los instrumentos deben de estar tanto en el pie como en la cima de la ladera, con ello se tendrá un control general que abarque el área propensa al deslizamiento. *Los piezómetros como los tensiómetros* tienen que contar con transductores eléctricos o sensores que les permita transmitir su información a distancia para su respectiva recepción y análisis, deben ser colocados a diferentes profundidades con la finalidad de hacer un seguimiento de los niveles del agua, estado de presiones y grado de humedad del suelo.

El water content reflectometer puede ser instalado de manera perpendicular o subparalela a la ladera con la finalidad de medir el contenido volumétrico del agua en los poros del suelo pero tomando en cuenta la composición litológica de la ladera ya que puede verse afectada sus

lecturas con el cambio de la constante dieléctrica de los distintos material que pueden estar conformando la zona de estudio .

Para el monitoreo fue empleado un *sistema automático de adquisición de datos*, el cual permite un monitoreo prácticamente continuo y que resuelve los problemas de confiabilidad, accesibilidad y seguridad. La lectura de estos transductores será registrada automáticamente, con una periodicidad establecida (10 ó 30 minutos) atendiendo a la rapidez en el cambio de la succión medida (Mendoza, Domínguez , Noriega , Guevara. 2002).

APLICACIONES DE MEDICIONES DE PRESIÓN DEL AGUA Y DE PRECIPITACIÓN

Malasia

El objetivo fue estudiar la variación de la precipitación pluvial y la succión en el terreno en laderas de ese país. Las succiones fueron medidas con tensiómetros y bloques mátricos o de humedad, instalados a diferentes profundidades; y la precipitación con un pluviómetro de cubeta automático. En la Figura 7 muestra el arreglo esquemático de la instrumentación de campo, así como un detalle en un sitio de colocación de piezómetros, pluviómetros y tensiómetros (Faisal, 2000).

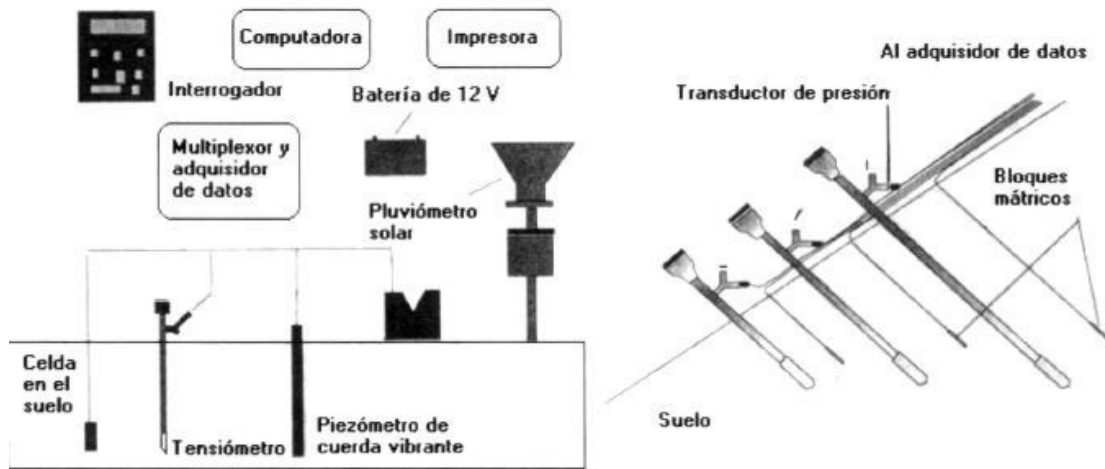


Figura 7. Esquema de la instrumentación de una ladera en Malasia, con la aplicación de pluviómetros, piezómetros, tensiómetros conectados a un sistema de medición automático (Faisal, 2000)

El sistema de adquisición de datos funciona con una unidad de energía solar, la ladera estudiada forma parte de un corte en una autopista en Malasia, constituida con suelos residuales. En la Figura 8 se presenta su sección y el arreglo de los sensores donde P1 y P2 representa la posición de los piezómetros, instrumentación para la medición de la succión con la configuración siguiente en cada posición, S1 a S4 tensiómetro y termómetro a 30, 92 y 124 cm de profundidad.

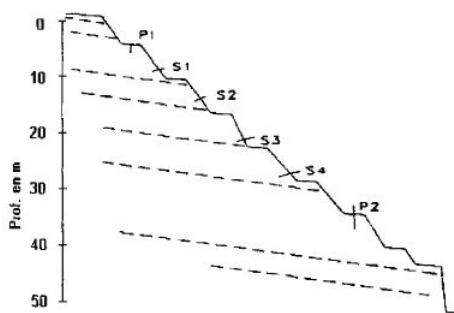


Figura 8. Sección transversal del corte y arreglo de instrumentos (Faisal, 2000)

En la Figura 9 da cuenta de las respuestas de los tensiómetros ubicados en la berma 4, se distingue que las lecturas de succión para los sensores más superficiales son mayores que los relativamente más profundos. Además la respuesta debida a la lluvia es menos pronunciada conforme aumenta la profundidad; así mismo al ocurrir un cierto lapso sin lluvia, se aprecia un aumento de succión, y una reducción repentina con la ocurrencia de lluvias.

Estos hechos muestran que antes de que se desarrolle presión positiva en el agua, produce reducción de la resistencia cortante de los suelos al punto de provocar la falla de una ladera, *la condición de inestabilidad se inicia con la reducción de la presión negativa o succión*. En efecto, debe de recordarse que el mecanismo de falla de una ladera comúnmente se inicia con la infiltración de agua de lluvia que causa una reducción de la succión mátrica

en la zona de suelo no saturado; y con ello una disminución de los esfuerzos efectivos.

Singapur

En efecto las mediciones de succión en Singapur muestran sin duda que el ascenso del nivel freático, resultado de la precipitación pluvial (figura 10), provoca una disminución de la succión (Deutscher, 2000).

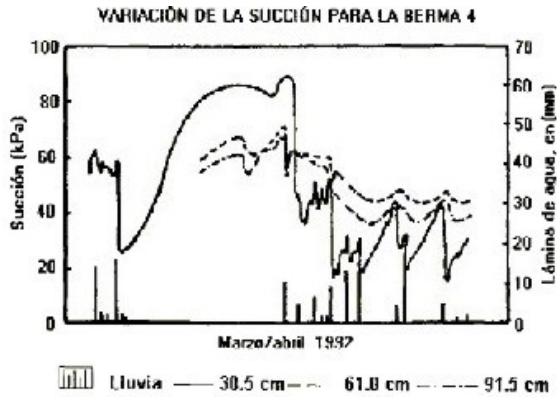


Figura 9. Evolución de la succión mátrica en la berma 4, en el lapso de marzo-abril, 1992 (Faisal, 2000)

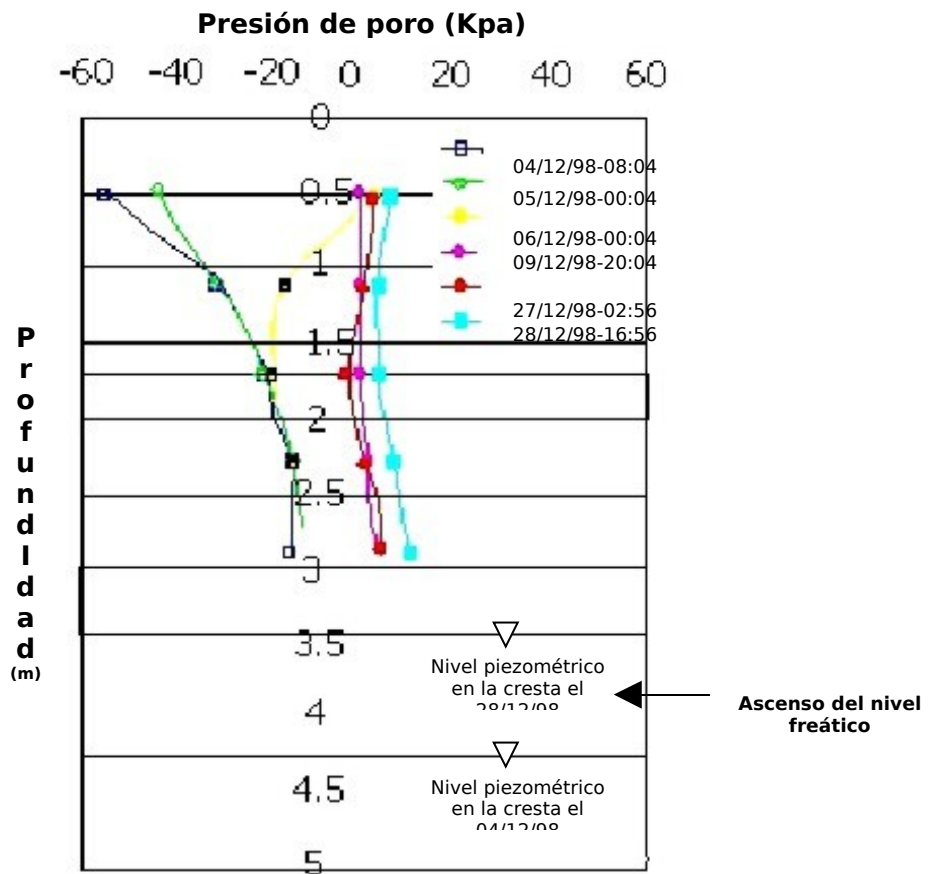


Figura 10. Evolución de la presión en el agua del suelo de una ladera en Singapur (Deutscher, 2000)

Estos resultados nos indican también que existen periodos o tiempos clave que deben considerarse en el programa de monitoreo estos son:

- Al final de un periodo seco prolongado, cuando las presiones en el agua se encuentran en un mínimo (esto es estabilidad de laderas en un máximo)
- Siguiendo un evento o una serie de eventos de lluvias intensas, cuando la presión en el agua alcanza un máximo (estabilidad de ladera en un mínimo)
- Durante un evento de lluvia intenso, cuando la distribución de la presión en el agua se encuentra en transición.

APLICACIÓN DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE MONITOREO

Se tiene el caso de los deslizamientos ocurridos en lugares cercanos a las ciudades de Edmonds y Everett, Washington. (EE.UU.), donde se aplico un monitoreo hidrológico con la utilización de varios equipos los cuales lograron determinar el grado de humedad del suelo debido a las precipitaciones intensas y prolongadas que guarda relación con el número de deslizamientos ocurridos en la zona, para lo cual se aplicaron una serie de instrumentos (piezómetros, tensiómetros, water content reflectometer) cuyos datos son enviados por telemetría para su proceso e interpretación (L. Baum, P McKenna, W Godt, L Harp y McMullen.2004).

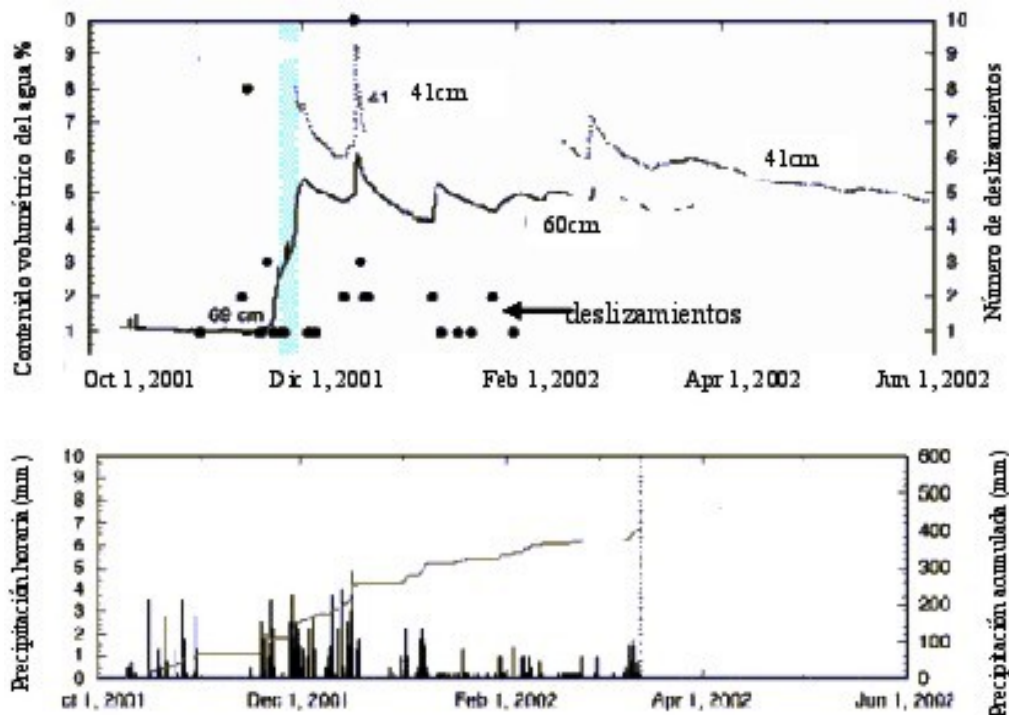


Figura 12. Precipitación horaria y medición de la humedad del suelo por medio de water content reflectometer colocados a 41 y 69cm de profundidad en Edmonds, Washington, EE.UU. Observación desde 10 de octubre de 2001 al 31 de mayo de 2002 (Chleboard, 2003; Chleborad, A.F., U.S. Geological Survey, 2004)

Estación de lluvia periodo (2001-2002)

En Edmonds y Everett el monitoreo se hace durante el invierno, estación lluviosa entre 2001-2002 indica que la humedad se propaga hacia abajo del suelo en ambos lugares.

Edmonds

Las mediciones del contenido volumétrico del agua o el grado de humedad del suelo se realizó a profundidades de 41 a 69cm durante la estación de lluvia (2001-2002), que muestra la evidencia de la propagación de la humedad frente a la intensidad de las precipitaciones, duración y antecedentes de la humedad del suelo (Figura 12).

Tres sensores fueron instalados a partir de octubre 2001 (water content reflectometer), la obtención y almacenamiento de datos tuvieron valores óptimos a menor profundidad del suelo ubicados a 41cm y que el flujo de agua es menor a profundidades mayores a dicha distancia. La base de datos obtenida fue a partir del 10 de octubre de 2001 al 31 de mayo de 2002.

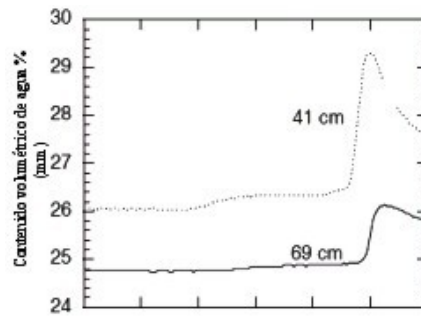


Figura 13. Incremento del grado de humedad en su punto máximo a 41cm de profundidad que a 69cm (Chleboard, 2003; Chleborad, A.F., U.S. Geological Survey, 2004)

Everett

Se instalaron varios equipos (water content reflectometer) durante la estación lluviosa entre los años 2001-2002, ubicados a profundidades entre 46 y 74cm entre mediados de octubre y principios de noviembre cuyos resultados sobre el grado de humedad del suelo en Everett es superior a la registrada en Edmonds (figura 14). La razón principal es el contenido de arcilla que afecta su constante dieléctrica aumentando su valor, por lo cual se especifica la calibración del suelo medidas exactas sobre la humedad del suelo.

A profundidades de 74cm hay mayor contenido de humedad debido a las condiciones de los poros y el contenido de arcilla del suelo (figura 15). El water content reflectometer ha registrado relativos cambios de humedad a través del tiempo entre el 10 de octubre de 2001 al 29 de mayo de 2002.

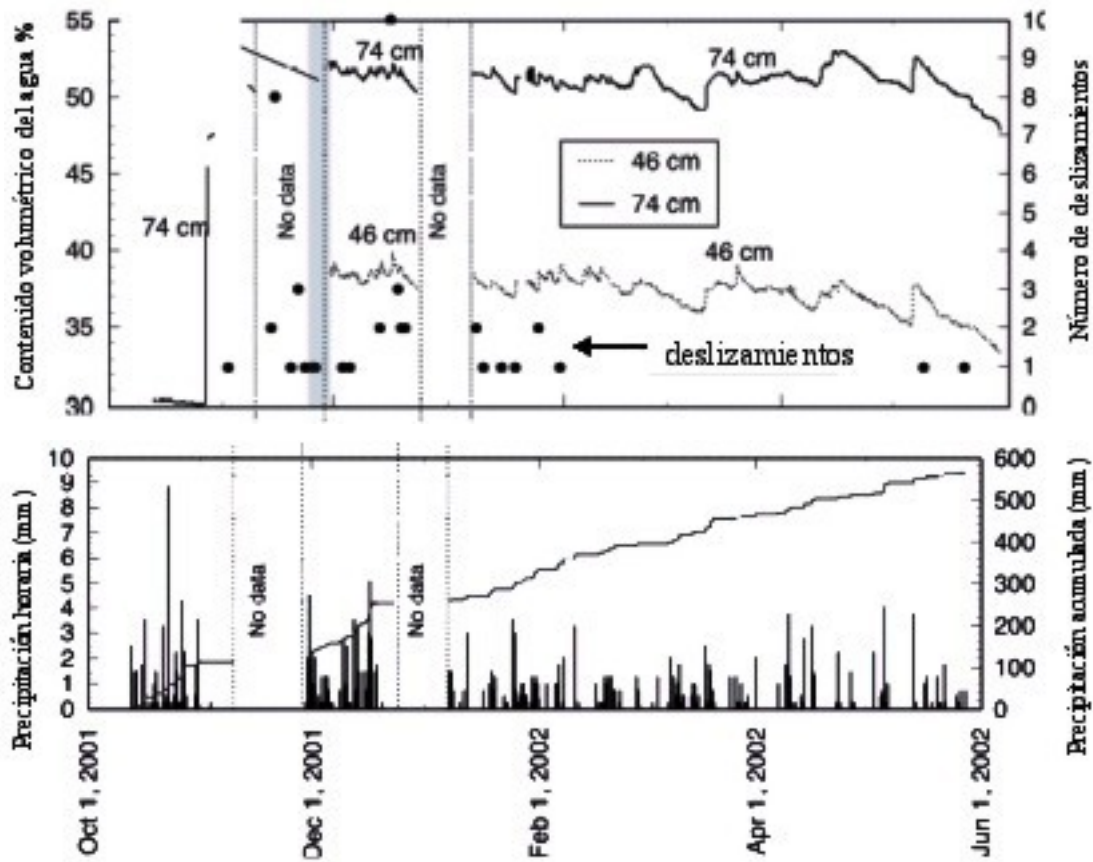


Figura 14. Precipitación horaria y medición de la humedad del suelo por medio de water content reflectometer colocados a 46 y 74cm de profundidad en Everett, Washington, EE.UU. Observación desde 10 de octubre de 2001 al 29 de mayo del 2002, (Chleboard, 2003; Chleborad, A.F., U.S. Geological Survey, 2004)

Muchos deslizamientos ocurrieron en el área de Edmonds y Everett a lo largo del periodo de monitoreo. Los dos lugares guardan una correlación entre la actividad de los deslizamientos, el tiempo de las precipitación, la presión de los poros con lo que se arma una base de datos que guarda relación con los fenómenos de remoción en masa. La intensidad de las precipitaciones a contribuido al cambio en las condiciones del suelo asociados a los deslizamientos ocurridos en Edmonds y Everett.

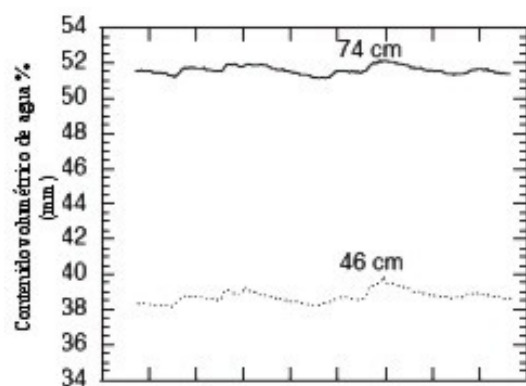


Figura 15. Incremento del grado de humedad en su punto máximo a 74cm de profundidad que a 46cm debido a las condiciones del suelo (Chleboard, 2003; Chleborad, A.F., U.S. Geological Survey, 2004)

DISCUSIÓN

De las aplicaciones mencionadas la más apropiada para tener un monitoreo hidrológico en zonas susceptibles a deslizamientos de forma automática sobre el control de la evolución de las condiciones del suelo causados por las precipitaciones intensas y prolongadas y que a la vez están relacionadas con la ocurrencia de deslizamientos es el aplicado por la USGS el cual hace un tratamiento de la información en tiempo real, ya que sus sistemas e instrumentación son adecuadas para el análisis e interpretación de los datos obtenidos por telemetría de los equipos de medición de la presión y grado de humedad del suelo, haciendo seguimiento del mismo con un intervalo de 10 minutos.

Sobre todo en el uso del tensiómetro y el water content reflectometer ya que son los primeros en detectar el cambio del estado de tensiones o presiones del suelo cuando acontecen las precipitaciones con lo que se consigue un sistema de alerta ante posibles desastres. Pero también se debe de tomar en cuenta los resultados obtenidos en Malasia y Singapur quienes demostraron la relación que existe entre la disminución de la succión con la ocurrencia de las precipitaciones intensas y prolongadas con lo que se prevé y toma medidas necesarias para implementar un sistema de monitoreo hidrológico en las zonas susceptibles a deslizamientos

APLICACIONES EN NUESTRO PAÍS

El Perú aún no cuenta con organismos que realicen o apliquen sistemas automáticos de monitoreo ante la posible ocurrencia de deslizamientos. En forma general el monitoreo hidrológico en nuestro país esta a cargo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), con la ayuda de la red nacional de estaciones de observación (climatología sinóptica, pluviométrica, hidrológica limnimétrica, limnigráfica) y con la obtención de imágenes del satélite GOES 10, cuyas imágenes son necesarias para el pronóstico del tiempo.

En base a los registros de precipitación y de su grado de intensidad este organismo prevé y toma acciones ante la posible ocurrencia de deslizamientos, aludes, inundaciones y sobresaturación de embalses coordinando con Defensa Civil, Ministerio de Agricultura, PREDES con la finalidad de mitigar posibles daños a la comunidad.

La utilización de piezómetros, tensiómetros mayormente se da en el sector privado y en la estabilidad de presas como por ejemplo Pillones en Arequipa inaugurada el 15 de agosto del 2006 con el propósito de monitorear su comportamiento se han instalado diversos instrumentos (piezómetros hidráulicos tipo Casagrande, piezómetros eléctricos de cuerda vibrante) que proporcionan información confiable que ayudarán a

evitar condiciones de inestabilidad peligrosas de la estructura.

Por otra parte las zonas vulnerables a la ocurrencia de deslizamientos (INDECI, 2004) y en los que se debe de prever un monitoreo hidrológico son:

- Callejón de Huaylas (departamento de Ancash)
- Sector: Pasco-Huánuco-Tingo María-Pucallpa (departamentos de Pasco, Huánuco-Loreto)
- Cuenca del río Mantaro (departamentos de Junín, Huancavelica y Ayacucho)
- Cuenca del río Rímac (departamento de Lima)
- Sector: Chalhuanca- Abancay-Cusco (departamentos de Apurímac y Cusco)
- Cuenca del río Vilcanota (departamento de Cusco)
- Sector: Tarapoto-Moyobamba-Pedro Ruiz-Corral Quemado (departamentos de Amazonas, San Martín)
- Sector: Olmos-Corral Quemado-Bagua Chica-Estación 6 del ONP- Sarameriza (departamentos de Lambayeque, Cajamarca, Amazonas)
- Sector: Tarma-La Merced-Satipo y el ramal La Merced-Oxapampa-Pozuzo (departamentos de Pasco y Junín)
- Sector: Cuyo-Cuyo-Sandia-San Juan del Oro-río Heath (departamento de Puno)
- Sector: Macusani-San Gabán- Olacocha-Puente Otorongo (departamento de Puno)
- Sector: Urcos- Quincemil- Puente Inambari- Mazuko-Puerto Maldonado

(Departamentos de Cusco y Madre de Dios)

- Sector: Otuzco-Usquil- Villarreal (La Libertad)
- Sector: Chuquicara - Pallasca-Conchucos (departamento de Ancash)

Para ello existen entidades con las que cuenta el Perú quienes realizan estudios de los peligros geológicos para determinar sus efectos potenciales en la comunidad y el medio ambiente, para la prevención y mitigación a favor de la comunidad, la salud y el desarrollo de la población como:

- INGEMMET (Mapas de susceptibilidad de deslizamientos)
- Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica y Mitigación de Desastres (CISMID-UNI)
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)
- Instituto Nacional de Recursos Naturales(INRENA)
- Instituto Geofísico del Perú IGP (trabajos a niveles de cuenca como en el valle del Colca – Arequipa)
- Así como la participación de universidades estatales del país

CONCLUSIONES

Uno de los factores naturales más importantes que ocasionan la inestabilidad de laderas son las lluvias intensas y prolongadas. La medición por medio del pluviómetro, piezómetro, tensiómetro, water content reflectometer proporciona medidas para conocer las posibles causas

de la inestabilidad de laderas de una manera temprana, y así reducir sus efectos.

- La instrumentación de laderas ha tenido mejoras recientes, y la aplicación creciente de la tecnología computacional ha podido desarrollar sistemas automáticos de medición y monitoreo en zonas susceptibles a deslizamientos, sistemas avanzados, en que los datos son procesados para predecir la ocurrencia de fallas, y están ligados a una alarma o sistema de precaución.

- Con la llegada de las lluvias, la succión o presión negativa en el agua contenida en el subsuelo se pierde, e incluso se genera una presión positiva (presión de poro). Este aumento de la presión de poro reduce la resistencia del subsuelo favoreciendo la inestabilidad de laderas.

- Las medidas obtenidas con los tensiómetros y piezómetros para los casos registrados en Malasia y Singapur fueron de gran utilidad ya que demostraron la relación que existía entre la disminución de la succión debido a ocurrencia de las precipitaciones. Por otro lado el water content reflectometer utilizado en Edmond y Everett demostró la propagación de la humedad, debido a las fluctuaciones del agua identificado a menor profundidad. Instrumentos conectados a un sistema automático de monitoreo lo que permite un seguimiento en tiempo real de los deslizamientos.

- Se distingue que las lecturas de succión para los instrumentos ubicados a poca profundidad del subsuelo son mayores que

los relativamente más profundos como los registrados por el water content reflectometer. Además la respuesta debida a la lluvia es menos pronunciada conforme aumenta la profundidad; así mismo al ocurrir un cierto lapso sin lluvia, se aprecia un aumento de succión, y una reducción repentina con la ocurrencia de lluvias.

RECOMENDACIONES

- El uso de pluviómetros, piezómetros, tensiómetros, water content reflectometer requiere siempre de supervisión ya que cada uno proporciona información que complementa en forma oportuna para la interpretación y obtención de los resultados obtenidos en el monitoreo hidrológico en zonas susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos; como son las mediciones de los tensiómetros quienes son los primeros en detectar el cambio de la presión de los poros al empezar la estación de lluvia.

- Un sistema de supervisión ideal para la temprana advertencia de actividad de deslizamientos consistiría en estaciones continuas en la supervisión de la precipitación y humedad del suelo de la superficie y el subsuelo, para obtener una base de datos confiable para la supervisión científica a largo plazo sobre la actividad de deslizamientos.

- El monitoreo hidrológico debe de realizarse al final de un periodo seco prolongado, cuando las presiones en el agua se encuentran en un mínimo (esto es estabilidad de laderas en un máximo), y

también siguiendo un evento o una serie de eventos de lluvias intensas, cuando la presión en el agua alcanza un máximo (estabilidad de ladera en un mínimo).

- Antes de llevar a cabo el monitoreo hidrológico se debe de hacer un reconocimiento geológico de la zona de estudio, ya que pueden intervenir diversos factores causantes de deslizamientos como sistemas de fallamiento, infiltraciones de aguas superficiales provenientes de las actividades de riego, tipo de suelo, topografía, etc.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geofísico del Perú por permitirme realizar mis prácticas Pre-Profesionales en el Área de Investigación en Geodesia y Geología, al Ing. Juan Carlos Gómez Ávalos por su orientación y guía para realizar este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

Baum, L., McKenna, P., Godt, W., Harp, L. y McMullen, (2001): Hydrologic Monitoring of Landslide-Prone Coastal Bluffs near Edmonds and Everett, Washington, 1-17.

Campbell Scientific, INC., (1996): CS615 Water Content Reflectometer Instruction Manual, version 8221-07:Logan Utah, Campbell Scientific, INC. 4.

Chleborad, A., (2003): Preliminary evaluation of a precipitation threshold for anticipating the occurrence of landslides in the Seattle, Washington, Area: U.S. Geological Survey Open-File Report 03-463, 39p.

Deutscher, M., Gasmó, J., Rahario, H., Leong, E. y Tang, S., (2000): "Field measurements of pore-water pressure profiles in residual soil slopes of the Bukit Timah Granite Formation, Singapore". *Unsaturated Soils for Asia*, Rahardo, Toll & Leong (eds), Balkema, 777-782.

Dunnicliff, J. (1993): "Geotechnical Instrumentation for Monitoring field Performance", John Wiley & Sons, Inc. New York.

Mendoza, J., Domínguez, L., Noriega, I., Guevara, E. México DF, MX. 2002, Monitoreo de laderas con fines de evaluación y alertamiento. 36, 46-54.

Nielsen, D., Lagae, H. y Anderson, R., (1995): Time domain reflectometry measurements of surface soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:103-105.

Sistema Nacional de Defensa Civil, (2004): Tomo II. Plan nacional para la prevención y atención de desastres, 32-33.

DESLIZAMIENTOS EN LOS VALLES MAJES - SIGUAS Y VÍTOR

WALTER NELSON CAHUANA OCHOA

*Estudiante de Ingeniería Geológica
Universidad Nacional San Agustín de Arequipa
wcahuana@unsa.edu.pe*

*Investigación dirigida por: Ing. Juan Carlos Gómez Ávalos
Dirección de Investigación en Geodesia y Geología
Sede Central del Instituto Geofísico del Perú*

RESUMEN

Los valles de Majes, Siguas y Vítor en el departamento de Arequipa son considerados zonas de peligro, debido a los fenómenos de geodinámica externa que se producen en las laderas de dichos valles. Es probable que la inestabilidad de laderas se de por las filtraciones que se han registrado en las irrigaciones vecinas como el Proyecto Majes - Siguas (Primer Etapa), La Joya y La Cano, pero aún faltan estudios para determinar el problema y las causas que generan los deslizamientos en los valles de Majes-Siguas y Vítor. Como resultado de los deslizamientos sucede el ensanchamiento y colmatación de los ríos Siguas y Vítor, aumentando así el peligro de inundación. Además los efectos se han manifestado en los anexos y sectores de los valles como la Sub-Estación Sociedad Eléctrica SEAL (valle de Majes), Santa Ana y Pachaquí (valle de Siguas) y La Cano y Pie de Cuesta (valle de Vítor). Para resolver o mitigar estos problemas, las soluciones son de naturaleza interdisciplinaria con aspectos geológicos, geofísicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, geotécnicos y agrícolas, a la vez se propondrá alternativas para contrarrestar el problema, el análisis implica un reconocimiento geológico de las zonas susceptibles a los deslizamientos y las soluciones para lograr la estabilidad del talud debe de tomar en cuenta: el aumento de la resistencia del suelo mediante un adecuado sistema de drenaje, disminuir los esfuerzos actuantes mediante el cambio de la geometría del talud para reducir su altura y aumentar los esfuerzos de confinamiento mediante la construcción de muros de gravedad, pantallas atirantadas o bermas hechas del mismo suelo.

INTRODUCCION

Las filtraciones debido al uso desmedido de recursos hídricos aplicado al Proyecto de Irrigación Majes-Siguas (Primera Etapa) donde cada parcela recibe a 0.7 m³/ha/día de agua ya que lo normal es 0.57 m³/ha/día, es probable que sea el causante de una serie de impactos hidrogeológicos y medio ambientales en los anexos de los valles. Al parecer estos impactos no habían sido identificados durante la fase de planeamiento y construcción del proyecto en el año 1983, manifestándose después de muchos años de operación, al igual que las irrigaciones como La Joya y La Cano en el valle de Vítor; cuyos registros de filtración y el proceso continuo de los

deslizamientos a partir del año 1940 (Flores N. y Maggiolo P. 1975).

En el Perú los peligros geológicos como deslizamientos, derrumbes, desprendimiento de rocas y erosión de laderas, se producen en gran parte de sus 106 cuencas hidrográficas. Su incidencia se localiza principalmente en los flancos y laderas de fuerte pendiente en los valles de la costa y la selva alta, así como en los acantilados del litoral y en los cortes de carretera donde las condiciones litológicas, precipitaciones pluviales, le son favorables. Los deslizamientos constituyen rupturas de grandes masas de suelos, rocas, rellenos artificiales o combinaciones de estos, que se desplazan pendiente abajo

en un talud natural o artificial. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2005)

UBICACIÓN

El valle de Majes se encuentra en la provincia de Caylloma y los valles de Sigwas y Vítor en la provincia de Arequipa departamento de Arequipa, siendo accesibles por el tramo Arequipa-Camaná de la carretera Panamericana Sur como se

muestra en la figura 1. A lo largo del valle de Sigwas se encuentran los anexos al margen derecho aguas abajo del río Sigwas: San Juan de Pachachí, Santa Ana, Tambillo entre otros y en el valle de Vítor los sectores de La Cano y Pie de Cuesta, los cuales son afectados por las filtraciones y el proceso continuo de los deslizamientos.



Figura 1. Mapa de ubicación de los valles Majes, Sigwas y Vítor departamento de Arequipa.

ASPECTOS GENERALES

Proyecto Integral Majes – Sigwas

El Proyecto Majes-Sigwas en su visión integral, se concibe como un proyecto de desarrollo regional de propósitos múltiples que integra las actividades agrícolas, pecuarias, industrial, energética. La concepción de la Ingeniería Hidráulica del proyecto Majes es la regulación y derivación de recursos hídricos de las

cuenca altas de los ríos Colca y Apurímac, hacia el río Sigwas a través de un sistema hidráulico de almacenamiento y regulación de las aguas en dos represas; la represa de Condoroma concluida totalmente y la represa de Angostura a ser construida en la segunda etapa, y distribuir las en la irrigación de hasta 65,000 hectáreas de tierras nuevas en las

Pampas de Majes y Sigwas, a través de 101 Km. de túneles y canales.

Complementariamente, el proyecto ha previsto el uso del agua en la generación de energía eléctrica a gran escala. (ProInversión, Gobierno Regional de Arequipa y Reseña Histórica del distrito de Majes).

Estratigrafía del área de estudio

En el área afloran rocas sedimentarias del Paleógeno – Neógeno como la Formación Moquegua compuesta por los miembros superior e inferior del mismo nombre, el conglomerado aluvial pleistocénico y depósitos recientes (figura 2). A continuación se describe cada uno de ellos (Ministerio de Energía y Minas).

Formación Moquegua (Paleógeno - Neógeno)

a) Miembro Inferior. Su litología consiste de areniscas arcósicas de grano medio a conglomerático, arcillas que se intercalan con láminas de yeso y conglomerados que son abundantes y poco consolidados.

b) Miembro Superior. Estos sedimentos se encuentran distribuidos en ambos márgenes del río Sigwas, compuesto por areniscas blanco grisáceas de grano fino a

medio, con algunos horizontes de conglomerados cuyos clastos son redondeados a subredondeados.

Conglomerado aluvial pleistocénico

Se encuentra en gran parte de las pampas costaneras, yace en discordancia sobre la Formación Moquegua y se encuentra en parte cubierto por depósitos eólicos o aluviales más recientes, esta ligeramente consolidado formado por clastos redondeados a subredondeados de gneis, granito, riolita, traquita, andesita y cuarcita, con intercalaciones lenticulares de arcillas grises y cenizas blanquecinas (Fernández, E. 1997).

Terrazas Fluviales

Están constituidas por un alto porcentaje de arcilla y rodados ígneos angulosos y poco pulimentados, dicha textura evidencia que el depósito se ha formado por procesos aluviales en el curso del río Sigwas.

Coluvios

Formados por desprendimientos de los clastos del conglomerado aluvial pleistocénico, estos depósitos suprayacen al miembro superior de la formación Moquegua.

Edad		Serie	Unidades Litoestratigraficas	Descripcion Litologica	Columna Estratigrafica	
Era	Sistema					
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depositos recientes	Arenas eolicas, coluvios, depositos fluviales y rodados igneos		
		Pleistoceno				Conglomerado aluvial pleistocenoico
	Paleogeno - Neogeno	Paleoceno Mioceno	Formacion Moquegua	Superior	Areniscas blancas grisaceas con intercalaciones de arcillas y tufos volcanicos	
				Inferior	Areniscas y arcillas rojas, conglomerados, yeso	

INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU	
AREA DE GEODESIA Y GEOLOGIA	
COLUMNA ESTRATIGRAFICA LOCAL	
FUENTE:	MNERSTERIO DE ENERGIA Y MINAS
DIBUJO:	Walter Calusana Ochoa
FECHA:	05 de Diciembre de 2007
VALLE DE MAJES, SIGUA Y VITOR	
FIGURA	
2	

Figura 2. Columna Estratigráfica local.

GEODINAMICA EN LOS VALLES MAJES Y SIGUAS

Deslizamientos

Han tenido una actuación decisiva en el desarrollo de las vertientes de los valles, estos deslizamientos en los valles de Majes y Siguas, se producen probablemente a la infiltración de las aguas que usan para el riego de las parcelas, las mismas que actúan sobre el conglomerado aluvial pleistocénico de naturaleza permeable hasta alcanzar a las areniscas feldespáticas con niveles de yeso y arcillas del miembro superior de la Formación Moquegua, estas se comportan como semi-impermeables y una vez saturadas de agua se forma un nivel freático; además las areniscas feldespáticas con matriz arcillosa facilitan

la formación de una pasta que sirve como lubricante al contacto con la capa impermeable compuesta de arcillas. (Comunicación oral con Ing. José Cuadros, docente de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa)

Filtraciones

El uso desmedido de recursos hídricos debido al riego por gravedad y aspersión utilizados en la irrigación del proyecto Majes – Siguas (Primera Etapa), es posible que haya provocado la inestabilidad de laderas y que haya motivado a la generación de filtraciones que se exponen en la parte inferior del talud de la margen derecha aguas abajo del río Siguas (figura 3).



Figura 3. Vista satelital de las aguas producto de las filtraciones que se resumen en el curso del río Sigwas, valle de Sigwas, departamento de Arequipa.

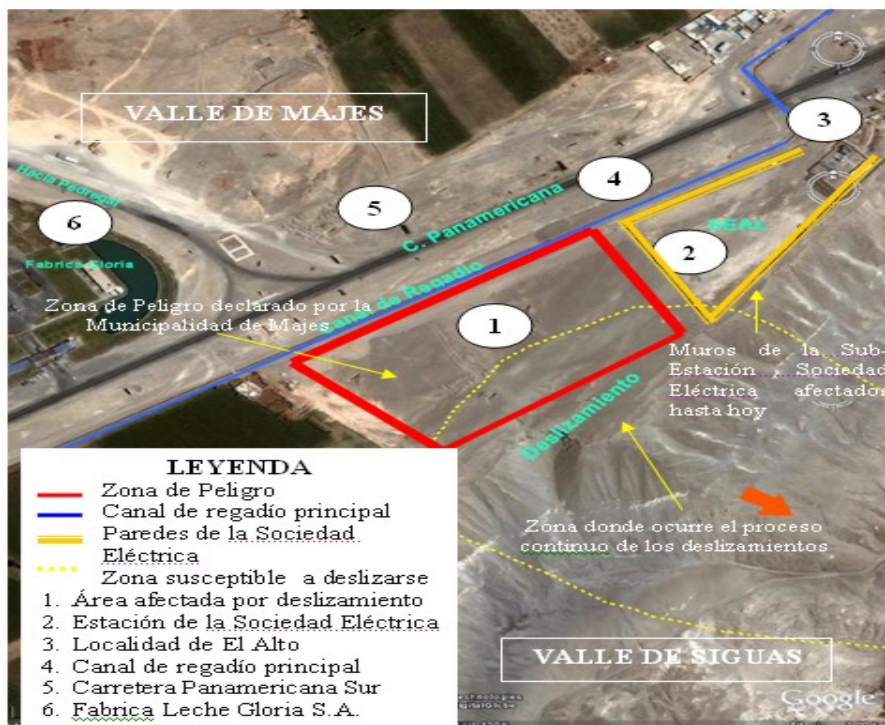


Figura 4. Vista satelital del lugar donde ocurren los deslizamientos entre la carretera Panamericana Sur y el tramo hacia la localidad de El Pedregal, la Sub-Estación Sociedad Eléctrica y la localidad de El Alto (valle de Majes) donde se tiene además las zonas que pueden ser afectadas en el futuro por el proceso continuo de los deslizamientos y que repercute en el valle de Sigwas.

VULNERABILIDAD FÍSICA

Valle de Majes - Sigwas

La inestabilidad de laderas en las pampas de Majes y los hechos registrados por el proceso continuo de los deslizamientos y que han repercutido en el valle de Sigwas, se han detectado daños en los muros de la Sub-Estación de la Sociedad Eléctrica, además se ha demarcado una Zona de Peligro por parte de la Municipalidad de Majes, que esta cerca a un tramo del canal de regadío principal, este continuo proceso además podría provocar daños en el futuro a la carretera Panamericana Sur, la Fábrica Leche Gloria S.A. y el pueblo de El Alto como se muestra en la figura 4.

Como se comento al principio los deslizamientos en el valle de Majes y que repercute en el valle de Sigwas, es probable que se dieron debido al uso desmedido del agua de riego hacia las irrigaciones Majes-Sigwas, la cual filtra a través de las unidades litológicas presentes en la zona como el conglomerado aluvial pleistocénico con matriz arenosa y continua sobre los estratos subyacentes del Miembro Superior de la Formación Moquegua conformado por areniscas con intercalaciones de arcilla y tufos volcánicos que se comportan como una

capa permeable que al llegar a niveles arcillosos, estos impiden que el agua infiltre; por consiguiente se acumula el agua dando pase a la formación de un nivel freático, cuya humedad producto de las filtraciones se exponen aguas abajo del margen derecho del curso del río Sigwas. Dicho esto se pierde el grado de cohesión entre las partículas generando inestabilidad de laderas (derrumbes y deslizamientos), como se muestra en la figura 5.

A continuación se tiene dos croquis que demuestran un antes y un después la zona afectada por el deslizamiento provocado probablemente por la sobresaturación del suelo producto del agua de riego por gravedad y aspersión aplicado al proyecto de irrigación Majes-Sigwas (figura 6a), como se menciona aún faltan estudios que demuestren las causas que generaron la inestabilidad de la ladera. Todo el volumen de masa de suelo deslizado afecto parte de un tramo de la carretera carrozable hacia el anexo de Pachaquí, como también todo este volumen aproximado de 1'500 000 m³ de suelo y las aguas producto de las filtraciones, están próximos al curso del río Sigwas (figura 6b).



Figura 5. Vista del deslizamiento registrado desde el 2004 en el margen derecho aguas abajo del río Sigüas, donde se señala la zona donde aparecen las filtraciones, así como los lugares susceptibles a ser perjudicados.

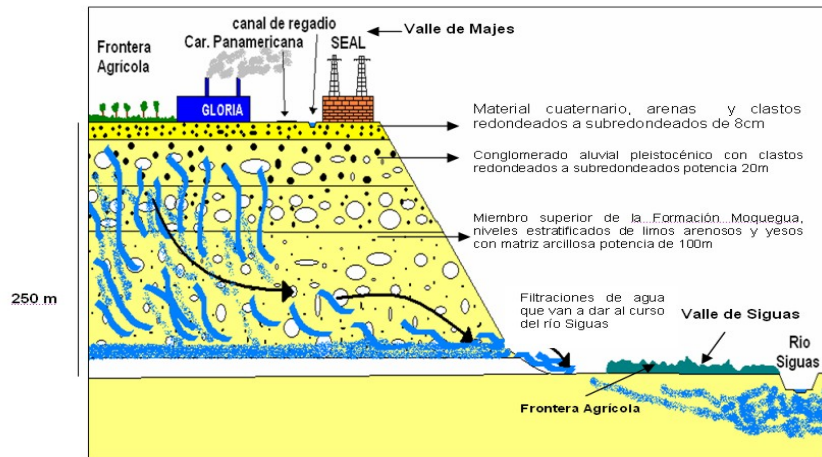


Figura 6a. Esquema que muestra la zona antes del deslizamiento en el valle de Majes y tiene repercusión en el valle de Sigüas (Ochoa, 2007).

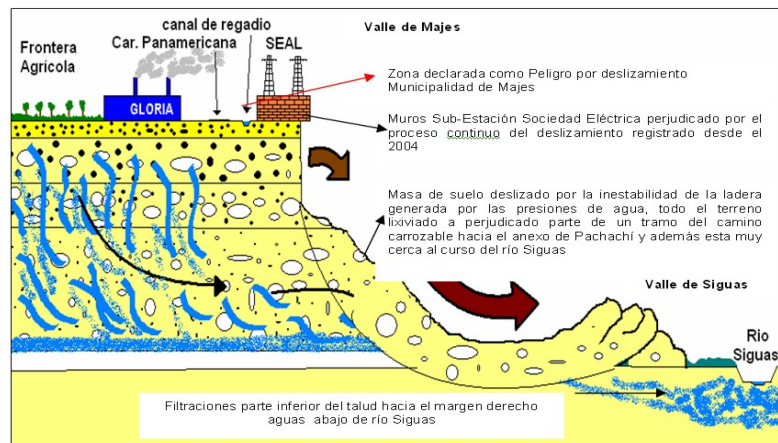


Figura 6b. Esquema que muestra la zona después del deslizamiento y esta cerca a la Sub-Estación Sociedad Eléctrica y la localidad de El Alto en el valle de Majes y repercute en el valle de Sigüas (Ochoa, 2007).

La Sociedad Eléctrica (SEAL), ha sido la entidad afectada por estar cerca al área del deslizamiento como se aprecia en la figura

7, como las uniones de las paredes están separándose, se indica la distancia de separación con su respectiva fecha.



Figura. 7. Separación de las uniones de una parte del muro de la Sub-Estación Sociedad Eléctrica SEAL que se encuentra en la Zona de Peligro demarcado por la Municipalidad de Majes debido al proceso continuo del deslizamiento registrado desde el 2004.

Como medida urgente se ha planteando que el valle de Sigwas sea declarado en emergencia por el Sistema Nacional de Defensa Civil. Dentro del planteamiento se está proponiendo la erradicación de los agricultores del valle de Sigwas, la habilitación de fondos para realizar los estudios de taludes en las pampas de Majes.

San Juan de Sigwas

En el sector de San Juan de Sigwas existen los anexos de Pachaquí y Santa Ana, ambos ubicados río abajo del puente Tambillo (figura 8). En diciembre de 2004

ocurrió un deslizamiento de 1'500 000m³ de tierra pertenecientes a las pampas de Majes. En julio y octubre de ese año paso lo mismo en el sector de Santa Ana, donde cayeron 2'150 000 m³ de tierra. La causa de estos deslizamientos se estima que fue debido a las filtraciones generada por el exceso de agua empleado para el riego de las parcelas en la sección D de la irrigación Majes-Sigwas, todas las parcelas reciben un módulo superior a 0.7 m³/ha/día de agua ya que lo normal es 0.57 m³/ha/día. Además como se menciono las aguas producto de las filtraciones se resumen en el río Sigwas (figura9).



Figura 8. Muestra la ubicación de la sección D y el anexo de Pachaquí, valle de Sigwas.

Hechos.- El día 08 de febrero de 2005 a las 09:30 horas, se produjo un deslizamiento de tierras sobre varias viviendas, provocado posiblemente por las filtraciones de agua del Proyecto de Irrigación Majes-Siguas (Primera Etapa)

Daños.- 24 personas afectadas, 05 viviendas afectadas.

Los deslizamientos ocurridos en Santa Ana han significado la pérdida de 14 Has de cultivo y la muerte de 20 cabezas de ganado.



Figura 9. Agua producto de las filtraciones que se dirigen al curso del río Sigwas, valle de Sigwas.

Valle de Vítor

El valle de Vítor tiene una extensión de 2,624 hectáreas de las cuales 2,070 hectáreas se encuentran bajo riego. El

impacto más significativo es el deterioro progresivo de la calidad del agua superficial y los deslizamientos registrados en el sector La Cano (figura 10).

Esto se debe principalmente a la lixiviación del suelo, las sales contenidas en las unidades litológicas sedimentarias de la Formación Moquegua de la zona, sales que están disueltas en las aguas de las filtraciones producto de las irrigaciones de La Joya y La Cano, así como la

formación de una laguna en el valle de Vítor (figura 11 y 12), estos procesos de drenaje y contaminación de las aguas superficiales comienzan a partir del año 1940, y en La Cano a partir del año 1975 (Flores N. y Maggiolo P. 1975).



Figura 10. Deslizamiento del talud en el sector La Cano con sus respectivas unidades litológicas valle de Vítor (Flores N. y Maggiolo P. 1975)



Figura 11. Laguna que se ha formado por las filtraciones en el sector La Cano, valle de Vítor .



Figura 12. Laguna originada por las aguas resumidas producto de las filtraciones en el sector La Cano así como la pequeña laguna en el fondo izquierdo de la imagen.

Según testigos presenciales las filtraciones en las cuestas vecinas a La Joya, particularmente en la localidad de Pie de Cuesta (figura 13), comenzaron alrededor del año 1956. Con el tiempo las

filtraciones se canalizaron en sendos cursos de agua, los cuales bajan torrencialmente y van a aumentar directa o indirectamente el caudal del río Vitor (Flores N. y Maggiolo P. 1975).



Figura 13. Deslizamiento en el sector Pie de Cuesta, valle de Vitor (Flores N. y Maggiolo P. 1975).

ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA CONTRARRESTAR EL PROBLEMA

Análisis

Es necesario formular estrategias para mitigar los peligros geológicos e impactos hidrogeológicos y ambientales negativos de las irrigaciones de Majes – Siguas (valle de Majes y Siguas), La Joya y La Cano (valle de Vitor). La investigación de las causas que producen inestabilidad de laderas implica el reconocimiento geológico de las zonas donde ocurren los deslizamientos bajo condiciones de saturación, poniendo especial énfasis en los tipos de suelos y rocas susceptibles a los deslizamientos, sus espesores y la facilidad o dificultad para el drenaje del agua intersticial, con el apoyo de métodos geofísicos y geotécnicos, que permitan realizar los análisis de estabilidad de ladera y recomendar los trabajos para mitigar los daños que puedan ser ocasionados por los deslizamientos (León. 1996).

a) Reconocimiento Generales: En los reconocimientos generales de las laderas susceptibles a deslizamientos (valle de Majes, Siguas y Vitor) es necesario identificar los siguientes aspectos importantes:

* Relieve topográfico, geomorfología y pendientes escarpadas.

* El conocimiento existente respecto a las pampas, su génesis, composición estratigráfica, y propiedades geológicas.

* Grado de meteorización o alteración de las rocas.

* Estructuras de las rocas, orientación de planos de fallas.

* Aspectos hidrogeológicos, nivel freático, manantiales y vías de drenaje.

* Vegetación presente en las laderas y grado de inclinación de los árboles.

* Usos actuales del suelo.

* Cantidad de lluvia que usualmente cae sobre la zona.

* Procesos erosivos, tectónicos y sísmicos actuantes sobre la zona

* Modificaciones del relieve causadas por los procesos naturales y antrópicos.

* Identificación de los deslizamientos actuales o antiguos y sus causas.

* Daños visibles en las estructuras, las deformaciones de los taludes tales como agrietamiento, depresiones, expansiones, rotura de pavimentos o protecciones de tuberías de conducción, etc.

b) Investigaciones detalladas: Una vez identificadas las zonas susceptibles a deslizamientos se debe proceder a estudiar detalladamente sus condiciones sub-superficiales, a fin de determinar los volúmenes de suelos o de rocas expuestos a deslizamientos, ya que la magnitud del riesgo y de los daños dependerá de los volúmenes de materiales deslizantes.

La caracterización geomecánica e hidrogeológica se realiza en el campo, mediante las observaciones de afloramientos, exploración geofísica, sondeos mecánicos con ensayos de penetración estándar, calicatas para descripción, muestreo y ensayos de laboratorio que complementan la caracterización de los materiales (León, 1996).

Soluciones

Tan pronto se compruebe que hay indicios de peligro de inestabilidad en un determinado talud, se debe buscar la mejor solución y considerar los aspectos de costo, naturaleza de las obras afectadas (tanto en la cresta como en el pie del talud), tiempo estimado en el que se puede presentar el problema, disponibilidad de los materiales de construcción, etc (Hunt, 1984). En las soluciones propuestas se debe considerar

- Aumentar la resistencia del suelo: son las soluciones que aplican drenaje en el suelo para bajar el nivel freático o la inyección de sustancias que aumentan la resistencia del suelo, tales como el cemento u otro conglomerante.
- Disminuir los esfuerzos actuantes en el talud; soluciones tales como el cambio de la geometría del talud mediante el corte parcial o total de éste a un ángulo menor o la remoción de la cresta para reducir su altura.
- Aumentar los esfuerzos de confinamiento (σ_3) del talud: se puede lograr la

estabilización de un talud mediante obras, como los muros de gravedad, las pantallas atirantadas o las bermas hechas del mismo suelo.

Cambio de la geometría

El cambio de la geometría de un determinado talud puede realizarse (figura 14a) mediante soluciones tales como la disminución de la pendiente a un ángulo menor, la reducción de la altura (especialmente en suelos con comportamiento cohesivo) y la colocación de material en la base o pie del talud (construcción de un berma); en esta última solución es común usar material de las partes superiores del talud.

La consecuencia directa de realizar un cambio favorable en la geometría de un talud es disminuir los esfuerzos que causan la inestabilidad y, en el caso de la implantación de una berma el aumento de la fuerza resistente.

Drenaje

La presencia de agua es el principal factor de inestabilidad en la gran mayoría de las pendientes de suelo o de roca con mediano a alto grado de meteorización. Por lo tanto, se han establecido diversos tipos de drenaje con diferentes objetivos (figura 14b). A continuación se exponen los tipos de drenaje más usados para estabilizar taludes.

* Drenaje subhorizontales: son métodos efectivos para mejorar la estabilidad de taludes inestables o fallados. Consiste en

tubos de 5cm o más de diámetro, perforados o cubiertos por un filtro que impide su taponamiento por arrastre de finos. Se instalan con una pequeña pendiente hacia el pie del talud, penetran la zona freática y permiten el flujo por gravedad del agua almacenada por encima de la superficie de falla. El espaciamiento de estos drenajes depende del material que se esté tratando de drenar y puede variar desde tres a ocho metros en el caso de arcillas y limos, hasta más de 15 metros en los casos de arenas más permeables.

* Drenajes transversales o interceptores: se colocan en la superficie del talud para proporcionar una salida al agua que pueda infiltrarse en la estructura del talud o que pueda producir erosión en sus diferentes niveles. Las zonas en las que es común ubicar estos drenajes son la cresta del talud para evitar el paso hacia su estructura (grietas de tensión), el pie del talud para recolectar aguas provenientes de otros drenajes y a diferentes alturas del mismo.

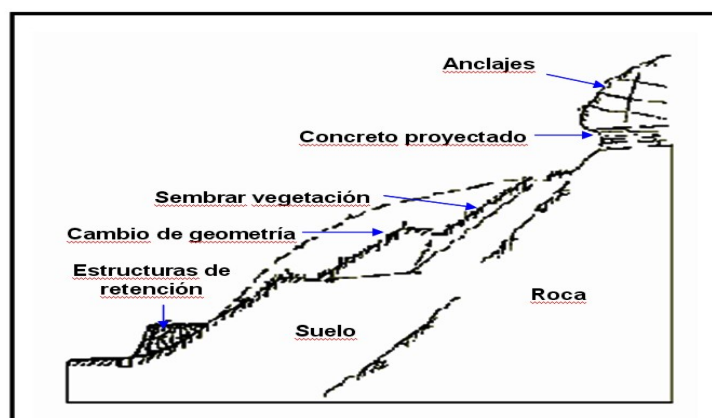


Figura 14a. Cambio de la geometría del talud con la finalidad de disminuir los esfuerzos que causan la inestabilidad y así como la aplicación de anclajes y concreto reforzado (Hunt, 1984).

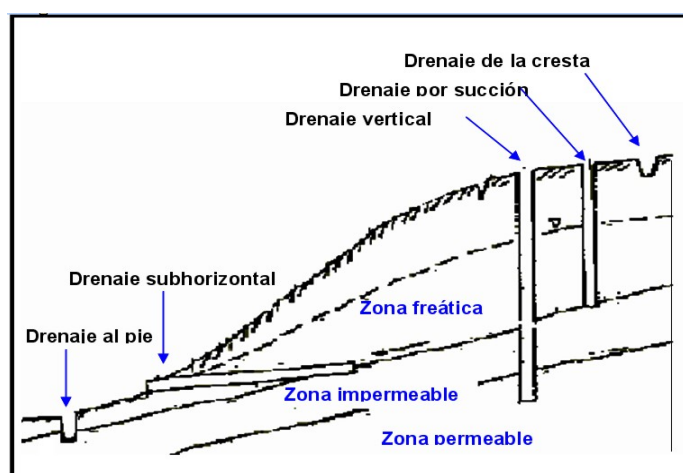


Figura 14b. Adecuada implementación de drenajes con la finalidad de aumentar la resistencia del suelo para bajar el nivel freático (Hunt, 1984).

Soluciones estructurales

Este tipo de soluciones generalmente se usa cuando hay limitaciones de espacio o cuando resulta imposible contener un deslizamiento. El objetivo principal de las estructuras de retención es incrementar las fuerzas resistentes de forma activa (peso propio de la estructura, inclusión de tirantes, etc.) y de forma pasiva al oponer resistencia ante el movimiento de la masa de suelo (Hunt, 1984).

Entre las soluciones estructurales más usadas se encuentran las siguientes:

Muros en cantiliver: los muros en cantiliver (figura 15), hechos de concreto armado, son más económicos porque son del mismo material del relleno, el que aporta la mayor parte del peso requerido.

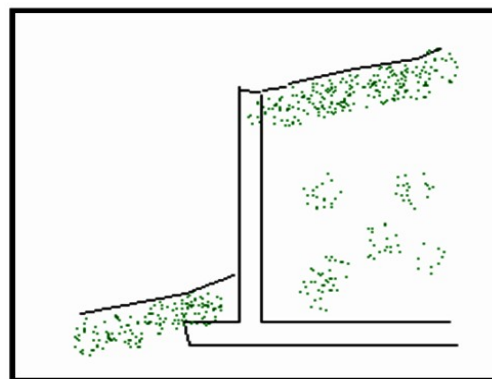


Figura 15. Muro de cantiliver con la finalidad de aumentar los esfuerzos de confinamiento del talud (Hunt, 1984).

Muro de gavión: muro que no posee ningún agente cohesionante más que la malla que une los gaviones, permite el paso de agua a través de los mismos. Estos muros además de ser comparativamente económicos, tienen la ventaja de tolerar grandes deformaciones sin perder resistencia (figura 16).

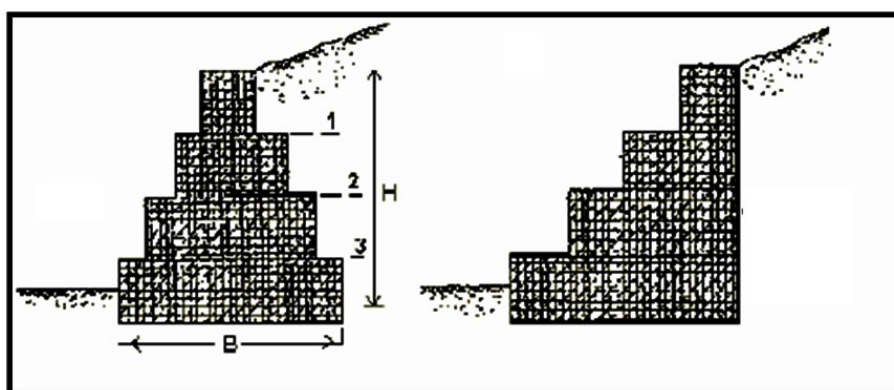


Figura 16. Perfil del muro de gaviones el cual permite contener grandes deformaciones sin perder resistencia (Hunt, 1984).

* Pantalla: consisten de una malla metálica sobre la cual se proyecta concreto (shotcrete) recubierto toda la cara del talud. Es común “atirantar” esta corteza de concreto armado mediante anclajes que

atravesan completamente la superficie de falla para posteriormente ser tensados y ejercer un empuje activo en dirección opuesta al movimiento de la masa de suelo. La figura 17 muestra el corte típico de una pantalla atirantada.

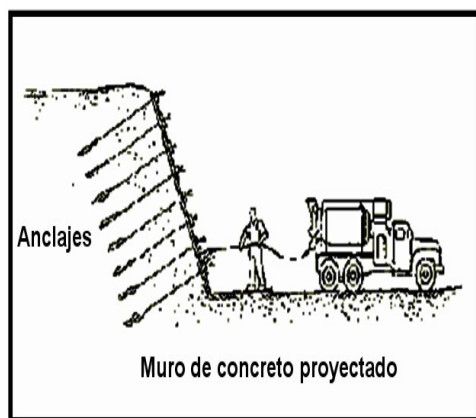


Figura 17. Muro de concreto reforzado el que ejerce mayor empuje en dirección opuesta al movimiento de la masa del suelo (Hunt, 1984).

Actividades realizadas por el Gobierno Regional de Arequipa y AUTODEMA

En el año 2007 se vienen realizando trabajos en acción conjunta con el Gobierno Regional de Arequipa, el Ministerio de Agricultura y AUTODEMA sobre un monitoreo constante del comportamiento de las filtraciones y de la geodinámica en el valle de Sigwas, labores de inspección, control y evaluación de las estaciones de monitoreo existentes y medición e instalación de nuevas estaciones topográficas; así como el control de la salinidad a través de la toma de muestras de agua de los diferentes sectores de filtración existentes para los correspondientes análisis de laboratorio (conductividad eléctrica, calidad del agua, pH, etc.) y medición periódica de caudales (aforos).

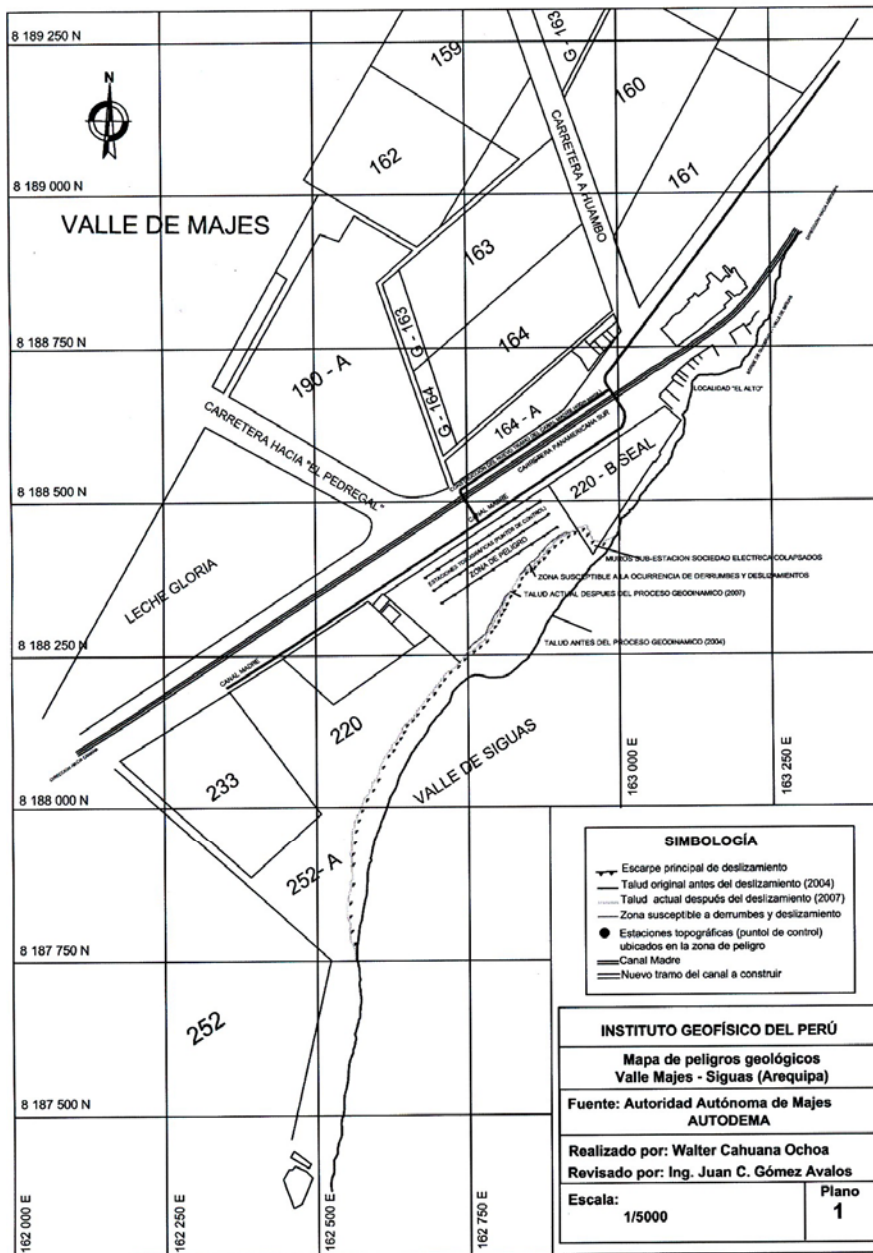
Así mismo se efectúan evaluaciones de calidad de agua de los ríos Sigwas, Vitor y

Quilca, para establecer los efectos de las filtraciones en los terrenos de cultivo del valle de Quilca. Todo este conjunto de labores está a cargo del Ing. Julio Cuadros Escobedo y técnicos capacitados para tal propósito.

El estudio de filtraciones de agua se hace mediante la determinación de la evolución de la conductividad eléctrica en los sectores que están en la margen derecha aguas abajo del río Sigwas como: Vivíchez, Capellán, El Zarzal, Yungas, Hornillos, San Juan de Pachaquí y Santa Ana (Tablas 1, 2 y 3) las que demuestran el aumento de la conductividad eléctrica debido al incremento del agua producto de las filtraciones con respecto al tiempo

Por otro lado se están desarrollando estudios sobre el avance de material producto de los deslizamientos en el anexo El Zarzal, Pachaquí y Santa Ana usando puntos topográficos controlados por estaciones totales para hacer un seguimiento del grado de deformación del suelo. De igual manera se está abriendo paso a un nuevo tramo del canal madre que abastece de agua a las parcelas de aproximadamente 400m de longitud, esta obra tiene por objeto reemplazar a un tramo del mismo que se encuentra en la "zona de peligro por derrumbes" y que colinda con la Sub-Estación Sociedad Eléctrica (Plano N° 1 Mapa de peligros geológicos esta construcción es para prevenir las posibles fisuras y grietas que

puedan generarse debido al proceso continuo de los deslizamientos.



Estación de Muestra	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Vivichez					8.49	9.51	9.32					
Capellanía	7.92	8.7	8.65	8.42	8.65	8.97	9.12					
Zarzal I	13.05	14.62	14.62	14.18	14.39	14.58	19.61					
Zarzal II	12.24	13.05	13.14	12.41	13.98	13.47	21.99					
Yungas I	13.37	15.27	14.64	14.38	14.71	26.6	26.35					
Yungas II						4.72	28.96					
Hornillos I						19.83	19.14					
Hornillos II						14.84	15.81					

Tabla 1. Conductividad eléctrica - filtraciones valle de Sigwas y Quilca 2007

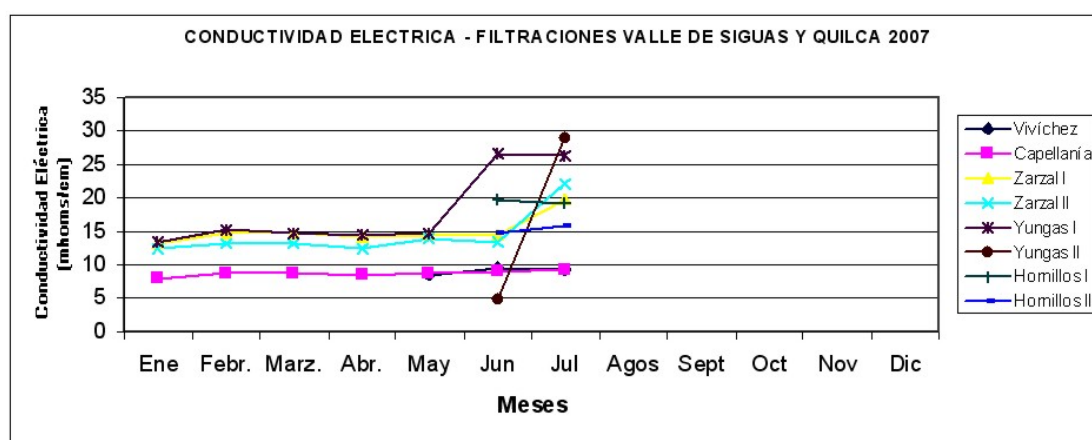


Tabla 2. Conductividad eléctrica de las aguas de filtraciones en el Valle de Sigwas 2007

Estación de Muestra	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
San Juan I	15.08	16.75	16.23	16.07	15.95	15.98	15.54					
San Juan Lago I						17.85	15.67					
San Juan Lago II						17.91	17.94					
Pachaqui I	12.89	14.21	13.61	13.58	12.98	11.84	11.54					
Pachaqui II	13.47	11.47	10.57	10.66	10.26	10.59	10.09					
Pachaqui III	9.89	13.41	13.61	13.57	13.52	13.47	12.87					
Pachaqui IV			10.52	10.44	10.21	10.18	9.55					

Estación de Muestra	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Santa Ana I			10.77	10.65	10.19	9.53	9.37					
Santa Ana II					10.28	10.25	10.21					
Santa Ana Lago I					10.98	11.08	10.63					
Río Sigwas Punte		1.1	0.61	1.25	1.15	1.18	1.31					
Río Sigwas Santa Ana		4.81	1.69	7.09	7.53	7.61	8.95					

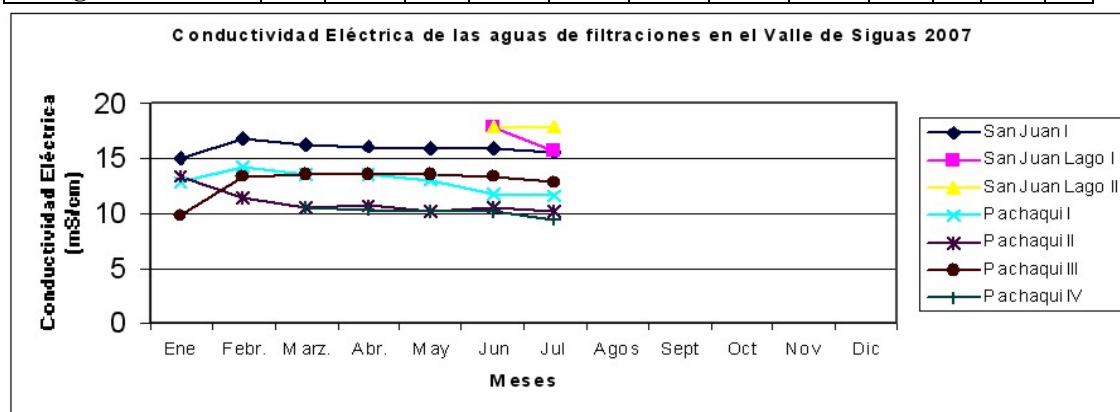
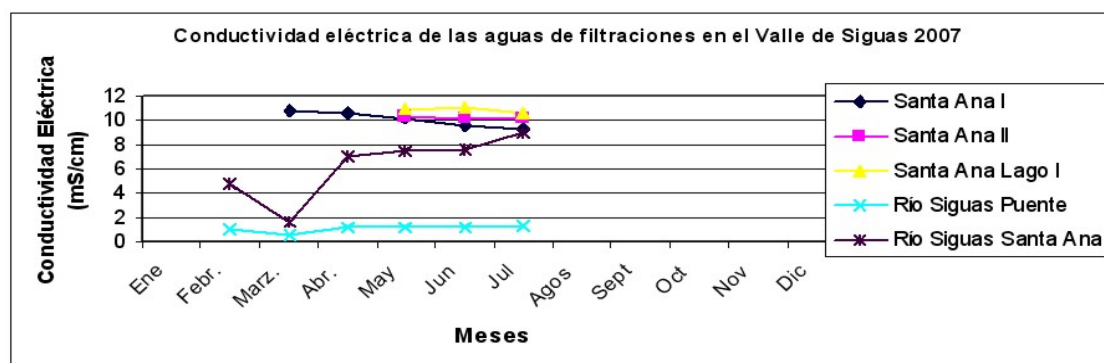


Tabla 3. Conductividad eléctrica de las aguas de filtraciones en el Valle de Sigwas 2007.



CONCLUSIONES

Los deslizamientos y filtraciones registrados en los valles de Majes, Sigwas y Vitor es posible que se haya generado por el uso desmedido de recursos hídricos aplicado al proyecto de irrigación Majes Sigwas (Primera Etapa), La Cano y La Joya, pero aún faltan estudios que demuestren las verdaderas causas que originaron estos fenómenos.

La zona demarcada como peligro por deslizamientos por parte de la Municipalidad de Majes limita con el canal principal de regadío de la irrigación Majes-Sigwas y la Sub-Estación Sociedad Eléctrica (SEAL); entidad que se ve afectada por el proceso continuo de los deslizamientos, cuyos muros están separándose y parte de ello han colapsado.

Estos deslizamientos que han repercutido en el valle de Siguan, el Sistema Nacional de Defensa Civil ha declarado en emergencia dicho valle, donde además se propone la erradicación de los agricultores del valle de Siguan, la habilitación de fondos para realizar los estudios de taludes en las pampas de Majes.

El análisis sobre las alternativas propuestas para contrarrestar los problemas generados por los deslizamientos y filtraciones, debe de tomar en cuenta las investigaciones de las causas que producen inestabilidad de laderas que implican el reconocimiento geológico de las zonas donde ocurren los deslizamientos bajo condiciones de saturación, poniendo especial énfasis en los tipos de suelos y rocas susceptibles a los deslizamientos, sus espesores y la facilidad o dificultad para el drenaje del agua intersticial, con el apoyo de métodos geofísicos y geotécnicos, que permitan realizar los análisis de estabilidad de ladera y recomendar los trabajos para la prevención de los deslizamientos

Las soluciones propuestas tienen la finalidad de aumentar la resistencia del suelo mediante una adecuada implementación de drenajes tanto subhorizontales como transversales, disminuir los esfuerzos actuantes en el talud mediante el cambio de la geometría del talud reduciendo su altura y aumentar los esfuerzos de confinamiento (σ_3) del talud para lograr su estabilización mediante obras, como los muros en

cantiliver, gaviones, las pantallas atirantadas o las bermas hechas del mismo suelo pero siempre y cuando estas obras puedan adecuarse cuando se logre determinar las verdaderas causas que generaron los problemas de deslizamientos y filtraciones en los valles de Majes, Siguan y Vitor.

RECOMENDACIONES

Tener en cuenta y hacer un seguimiento del flujo de aguas en laderas, inspeccionar las corrientes de agua en la cima y en el pie de cuesta, los sistemas de drenaje, notando su gasto y variación mediante el estudio de aforos en el canal principal de regadío.

Los estudios de geotecnia deben buscar establecer el factor de seguridad de los taludes, tanto en el sector Pie de Cuesta, La Cano en el valle de Vitor y sobretodo en los taludes de los valles Majes y Siguan.

Al colocar una estructura con un material de muy baja permeabilidad, como el concreto, al frente de un talud de suelo que almacene agua en su estructura, es muy probable que aumente la presión hidrostática en la parte posterior del muro. Para evitar este problema se debe colocar drenajes subhorizontales a diferentes alturas del muro con el objetivo de disipar el exceso de presión.

Se debe de prever acciones con la finalidad de reducir y mitigar riesgos y

daños futuros hacia el canal principal de regadío hacia la irrigación Majes-Siguas, la carretera Panamericana Sur, la localidad de El Alto y sobretodo socorrer a las poblaciones que puedan ser afectadas por estos fenómenos (deslizamientos y filtraciones) tanto en el valle de Majes-Siguas y Vítor.

Se debe de realizar Sondaje Eléctrico Vertical (SEV) con la finalidad de determinar la resistividad del suelo al paso de la corriente eléctrica y de esta manera conocer los niveles estratigráficos como también la presencia de agua y su profundidad en la zona de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geofísico del Perú por permitirme realizar mis prácticas Pre-Profesionales en el Área de Investigación en Geodesia y Geología, al Ing. Juan Carlos Gómez Ávalos por su orientación y guía para realizar este informe.

BIBLIOGRAFÍA

Comité Regional de Defensa Civil, Plan Regional de Prevención y Atención de Desastres, Región Arequipa, Enero 2005. Pág. 15-20

Fernández, E. (1997). Investigación del conglomerado colapsable de La Cano,

Vítor, Arequipa. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

Flores N., y Maggiolo O. (1975). Reconocimiento geotécnico de la margen izquierda del río Vítor en el sector donde se han producido deslizamientos que afectan al canal de irrigación "La Cano" y al poblado de "Pie de Cuesta."

Hunt, N. (1984). Métodos para estabilizar taludes. Capítulo 3, Guía para identificar problemas de deslizamientos, páginas 38-41.

León, A. (1996). Estudio Geológico y Corrección Deslizamientos Taludes Loma de Miranda. Santo Domingo, Rep. Dominicana, páginas 7-8.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Capítulo 10 - Análisis Ambiental y Vulnerabilidad, Peligros Naturales del País y Riesgos Relativos a la red de Transporte, Deslizamientos y Derrumbes Junio 2005, Pág. 15-20

ProInversión, Gobierno Regional del Departamento de Arequipa, Proyecto de Irrigación Majes.

<http://www.proinversion.gob.pe/0/0/modulos/JER/PlantillaFichaHijo.aspx?ARE=0&PFL=0&JER=240>

ANEXOS FOTOGRAFICO



Imagen A. Vista aérea del deslizamiento de Pie de Cuesta, valle de Vitor, Arequipa.



Imagen B. En el sector La Cano, el deslizamiento está próximo al río Vitor, valle de Vitor.

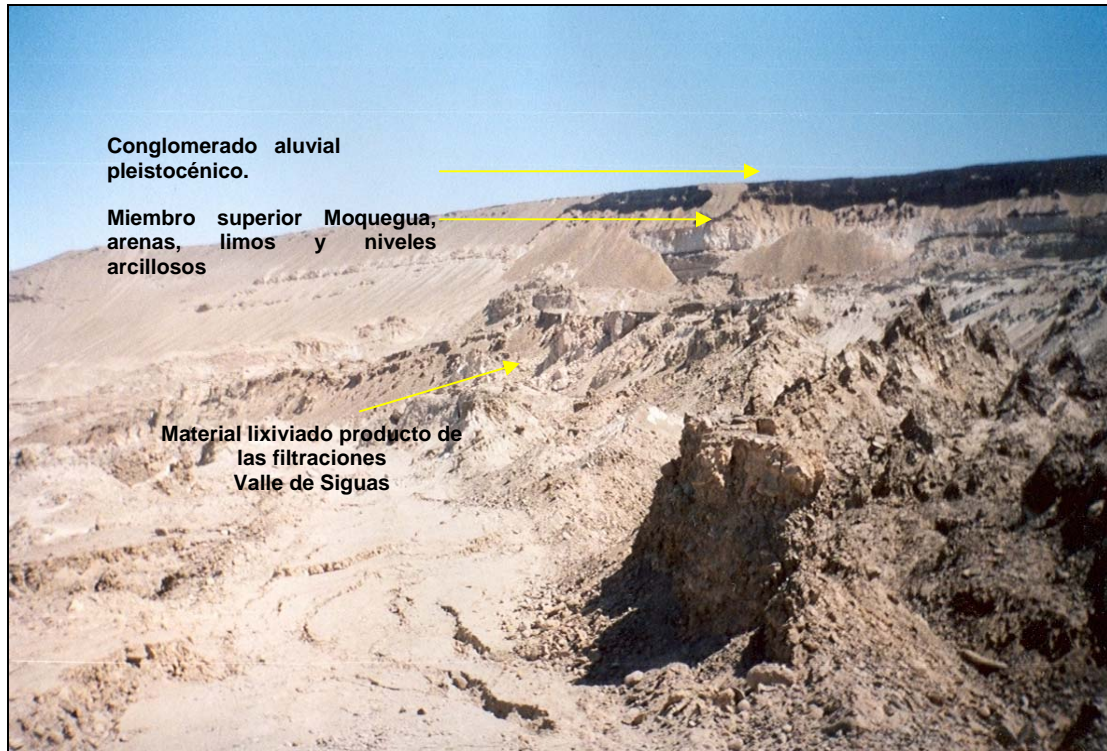


Imagen C. Vista de los deslizamientos desde la parte inferior del valle de Siguan.



Imagen D. Deslizamiento en progreso en el sector La Cano, grietas y fisuramiento en el suelo.

DISEÑO DE UNA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO (GUI) EN MATLAB PARA EL CÁLCULO Y VISUALIZACIÓN DE CORRELACIONES LINEALES DE UN CAMPO CON UN PUNTO

CAMILO LEÓN HUACA
Escuela Profesional de Ingeniería Física
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional de Ingeniería
camilocloud9@gmail.com

Investigación dirigida por: Lic. Raúl Chávez
Dra. Yamina Silva
Dirección de Investigación sobre Prevención de Desastres Naturales

RESUMEN

Generalmente, para proceder a realizar el cálculo de correlación lineal entre una variable local (serie de tiempo) y una variable global (serie de campos), con ciertas características específicas como por ejemplo: el intervalo de tiempo de las series, selección de una región, el uso de lags (desfases), etc. es por sí mismo un trabajo largo y difícil ya que esto requiere escribir múltiples sentencias para las operaciones de lectura, escritura, cálculo y visualización de resultados, los cuales se realizan en los entornos de Unix o Windows .

Para superar dichas dificultades, se diseñó y programó una Interfaz Gráfica de Usuario (Graphical User Interface – GUI) en el entorno de Matlab, el cual permitirá al potencial usuario realizar cálculos de correlación lineal, con su respectivo nivel de significancia estadística entre las variables locales y globales que él seleccione y además podrá visualizar sus resultados para su posterior uso en modelos climáticos.

INTRODUCCIÓN

Viendo la necesidad de acelerar el proceso de tratamiento de información meteorológica para el cálculo de correlaciones lineales y significancia estadística así como el poder obtener dichos resultados sin la necesidad de que se escriban ordenes, sentencias o comandos de programación, ya que de por sí es un proceso largo y cansado, lo que induce muchas veces a cometer errores, se llegó a desarrollar una interfaz gráfica de usuario que se encargue de dichas tareas.

Esta interfaz (GUI) surge como una alternativa al uso del GRADS (Grid Analysis and Display System, el cual es

una herramienta interactiva usada para el fácil acceso, manipulación y visualización de datos científicos de la tierra) en la realización de estas tareas.

Para el desarrollo del GUI se utilizó como base el Matlab 7, que puede correr tanto en entorno Windows como Linux, lo que le da una mayor ventaja en su aplicación.

DEFINICIONES

Será necesario definir las variables y conceptos utilizados para el desarrollo del GUI, como son:

Series de tiempo

Llamamos *Serie de Tiempo* a un conjunto de mediciones de cierto fenómeno o

experimento registradas secuencialmente en el tiempo.

Uno de los problemas que intenta resolver las series de tiempo es el de predicción. Esto es dado una serie $\{x(t_1), \dots, x(t_n)\}$, el objetivo de interés del *análisis de series temporales* son describir el comportamiento de la serie, investigar el mecanismo generador de la serie temporal, buscar posibles patrones temporales que permitan sobrepasar la incertidumbre del futuro.

Variable local

Es aquella serie de tiempo cuya variable es registrada u obtenida de manera directa o indirecta de una estación meteorológica en un punto o zona geográfica específica del globo terrestre. En nuestro caso la serie de datos están ordenadas de manera mensual.

Variable global

Es aquella serie de tiempo cuya variable es registrada u obtenida de manera directa o indirecta para todos los puntos o zonas del globo terrestre en donde dicha variable posee significado físico. Dichas zonas son

definidas en una grilla a diferentes niveles que cubre todo el globo. En nuestro caso la serie de datos están ordenadas de manera mensual.

Esta serie de datos también recibe el nombre se *serie de campos*.

Lag

El termino *Lag* se usa específicamente para indicar el desfase (el cual puede ser diario, mensual, anual, etc. y en nuestro caso es negativo, lo que indica retraso) que se establece en la variable global(predictor) con respecto a la variable local (predictando) para realizar el cálculo de correlaciones.

El tipo de *lag* definido para nuestro caso será mensual.

Cálculo del coeficiente de correlación lineal

Cuando se desea cuantificar la relación lineal entre dos variables. El parámetro que mide tal relación es el coeficiente de correlación lineal “R”, el cual está definido de la siguiente manera:

$$-1 \leq R = \frac{Cov(X, Y)}{s_X s_Y} = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}) * (Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} * \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}} \leq 1$$

Aquí, R está definido como el cociente entre la covarianza y las desviaciones típicas de ambas variables.

Realizando un análisis concreto de R:

Si $R = 1$, existe dependencia funcional, todos los puntos del diagrama de dispersión de (X_t, Y_t) están situados en una línea recta creciente. En este caso se dice que existe una correlación positiva perfecta.

Si $0 < R < 1$, la correlación es positiva y será llamada débil, moderada o fuerte según se aproxime más a 1.

Si $R = 0$, no existe correlación lineal, pero puede existir correlación curvilínea.

Si $-1 < R < 0$, la correlación es negativa y será llamada débil, moderada o fuerte según se aproxime más a -1.

Si $R = -1$, existe dependencia funcional, todos los puntos del diagrama de dispersión de (X_t, Y_t) están situados en una línea recta decreciente.

Lo que hay que tener muy en claro es que “R” no nos proporciona ninguna explicación física entre las variables.

Cálculo del coeficiente de correlación lineal

Es el cálculo de los coeficientes de correlación lineal que se realiza entre la serie de tiempo de la variable local y la serie de tiempo de cada punto de grilla definida para la variable global. Por lo tanto se obtendrá un coeficiente de correlación lineal en cada punto de grilla

del planeta donde se encuentre definida la serie de tiempo para la variable global.

Calculo de la significancia estadística

El cálculo de significancia estadística nos da la probabilidad de que el resultado del cálculo de correlación no haya sido producto del azar.

Para ello se emplea la prueba t-student con $n-2$ grados de libertad, donde n es el tamaño de la serie.

En nuestro caso graficaremos curvas de contorno para los niveles de significancia del 90%, 95% y 99%.

DESARROLLO DEL GUI

Para entender el funcionamiento de una interface de usuario, necesitamos conocer algunos puntos básicos en su creación.

La interface de usuario está conformada por un conjunto de “*objetos de control*” (llamados simplemente *objetos*) que se encuentran ubicados en una ventana, y que sirven como nexo de comunicación entre el usuario y un conjunto de programas que nos ayudan a realizar cálculos, muestreos, visualizaciones, etc. de manera muy eficiente y controlada.

Diseño de la interface

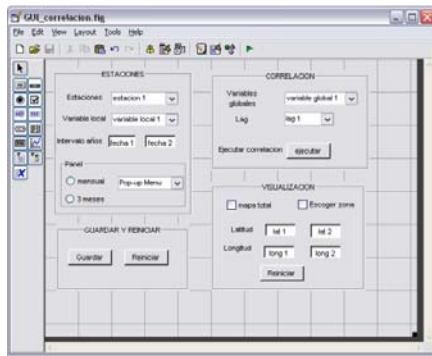


Figura 1. Plantilla de diseño de la interface

El diseño de la presente interface de usuario fue realizado en una plantilla especial de Matlab.

En la Figura 1 se puede observar una *barra de control* la cual contiene diversos *objetos de control* a colocar en la plantilla de diseño.

Los objetos colocados tienen distintos modos de funcionamiento predeterminados por Matlab, la capacidad de ejecutar tareas programadas por el diseñador, así como distintas formas de ser activado para cumplirlas.

Aquí se tiene un listado de las tareas generales:

Realizar la lectura de directorios existentes en una dirección específica.

Realizar la lectura de propiedades y contenidos de archivos específicos existentes.

Almacenar datos de entrada introducidos por el usuario desde el teclado.

Habilitar, deshabilitar *objetos* o modificar valores almacenados por los mismos.

Llamar a funciones y comandos existentes en los archivos de Matlab.

Realizar tareas con tan solo un click del mouse sobre algunos objetos.

Realizar muestreos de resultados así como sus respectivos almacenamientos a disco.

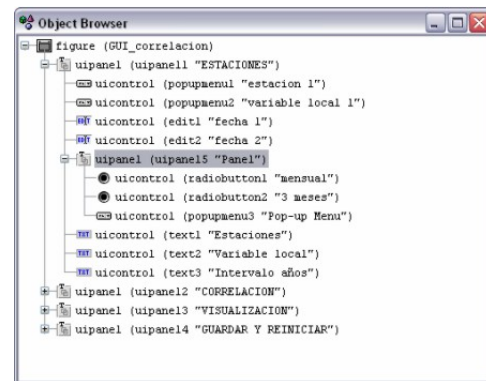


Figura 2: Jerarquía de disposición de los elementos de la interface

En la Figura 2 se presenta la jerarquía en la cual están dispuestos los diversos *objetos* que conforman la interface.

En el trabajo de programación, cada uno de estos elementos va a estar relacionado o controlado tanto por el usuario como por otros objetos incluidos en la misma interface.

Programación de la interface

Al crear una interface, Matlab crea automáticamente un Script en donde se realizará el trabajo de programación.

La programación de la interface de usuario tiene dos campos fundamentales:

La programación de las componentes u *objetos* de la interface, la cual comprende el establecimiento de propiedades físicas

como el color, tamaño, posición, los modos de activación y habilitación así como la interacción de cada objeto con los restantes en la interface.

La programación de las funciones y comandos que van asociados a cada objeto de la interface y que se activan cuando son invocadas. Este campo de la programación es el más largo de todo el proceso.

La programación de ambos campos son fundamentales en la elaboración de la interface ya que van a permitir tanto la facilidad de uso como la eficiencia y rapidez necesaria para procesar los datos.

INTERACCIÓN CON EL GUI

Aquí se presenta el diseño terminado de la interface de usuario, la que nos permitirá realizar cálculos de coeficientes de correlación lineal espacial con fines de uso meteorológico.

Ventana principal

En la Figura 3 se pueden observar todas las componentes que conforman la ventana principal.

Los nombres de los objetos que están incluidos son:

Cuadros de texto no modificable (**Static text**), se usan para escribir los títulos y etiquetas de los objetos de la interface.

Barra de menú (**Popup menu**), el cual muestra una lista de *opciones* cuando es presionado. Generalmente se usa esta barra de menú cuando la lista de variables es muy grande. El tipo de selección que realiza es *exclusivo*.

Botones de presión (**Pushbutton**), los cuales generan una acción cuando se realiza un click con el mouse sobre ellos.

Cuadros de entrada de texto (**Edit text**), el cual permite al usuario introducir o modificar entradas de texto en la interface desde el teclado.

Cuadros de elección (**Checkbox**), estos dispositivos son usados cuando se provee al usuario de opciones de elección independientes.

Botones de elección exclusivo (**Radiobutton**), estos objetos son parecidos a los Checkbox pero, están entendidos para ser mutuamente exclusivos en un grupo de radiobuttons (al hacer click con el mouse sobre un radiobutton, este se activa mientras que el resto nó); el programador es el encargado de definir esta tarea. Los radiobuttons se usan cuando se tienen pocas alternativas de elección.

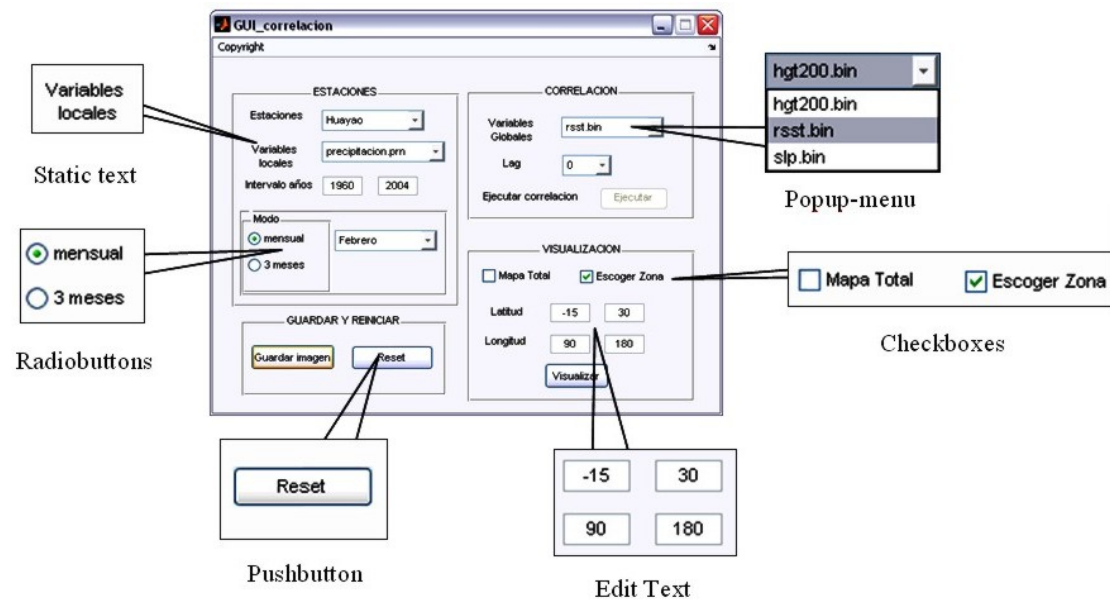


Figura 3. Ventana principal donde se muestran sus principales componentes.

Como usar la interface

El buen uso de la interface gráfica de usuario GUI para el cálculo de los coeficientes de correlación lineal espacial así como su posterior visualización comprende una serie de etapas a seguir, cuyos detalles se muestran a continuación:

1. Entorno de trabajo “Matlab”

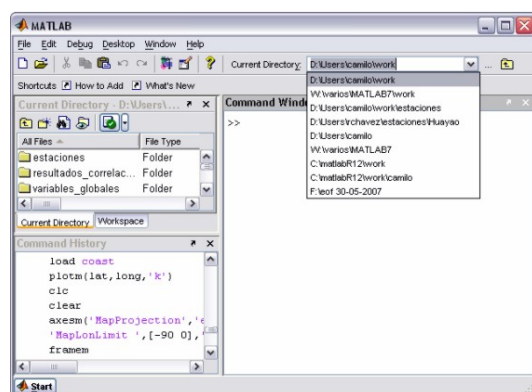


Figura 4. Entorno de trabajo en matlab

La interface sólo puede abrirse y funcionar desde el entorno de trabajo de Matlab (Figura 4).

En el *Current Directory* se observa el directorio principal donde están almacenadas las carpetas de trabajo.

Se distinguen 3 carpetas importantes, que se aprecian en el lado izquierdo de la figura, cuyos nombres son: *estaciones*, *resultados_correlaciones* y *variables_globales* respectivamente, los cuales necesariamente tienen que existir cuando se trabaje con la interface.

2. Accediendo a la interface

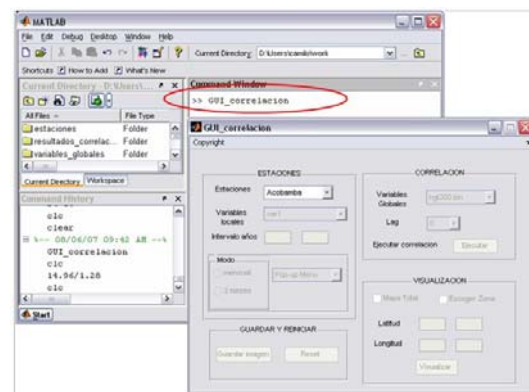


Figura 5. Abriendo la interface.

Para poder acceder a la interface, tan solo se tiene que escribir *GUI_correlacion* en la ventana de comando, y automáticamente se abrirá la interface (Figura 5).

Se observa que tan sólo la barra de menú *Estaciones* se encuentra activado, esto es por que la activación de los demás *objetos* será de manera gradual, conforme los objetos anteriores sean activados o en todo caso sus valores de entrada sean adecuados.

3. Menú “Estaciones”

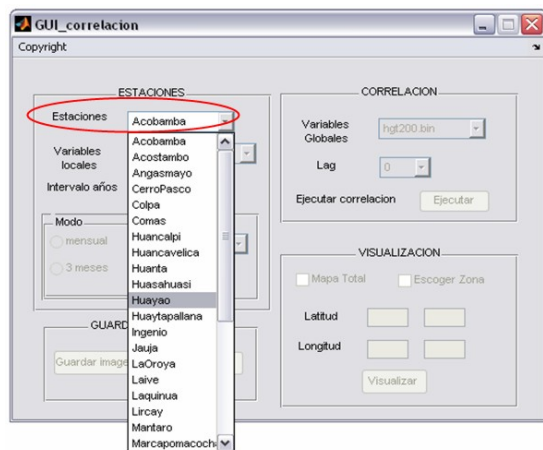


Figura 6. Mostrando el menú estaciones en la interface

En el menú *Estaciones* se tiene una lista de estaciones meteorológicas registradas en el directorio “estaciones”, donde cada elemento de la lista es a su vez un directorio donde se almacenan los datos locales (variables locales).

Se puede agregar a *estaciones* un número indefinido de carpetas, las cuales se van ordenando de modo alfabético en el menú

respectivo cuando la interface es actualizada (Figura 6).

La lista de estaciones se actualiza cuando la interface es abierta o reiniciada.

4. Menú “Variables Locales”

Después de haber escogido una *estación*, la lista de nombres de las variables locales que esta contiene se cargan de inmediato en el menú *variables locales* (Figura 7).

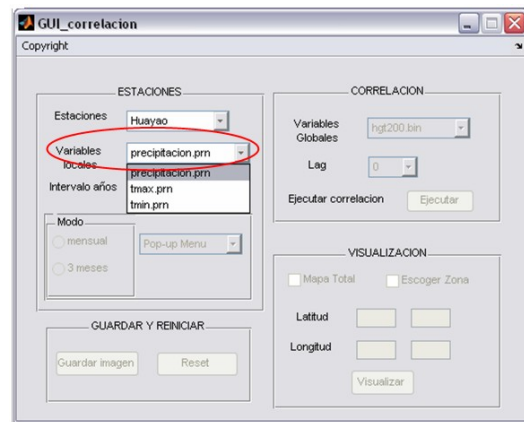


Figura 7. Mostrando el menú variables locales

Year	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4	Value 5	Value 6
1960	88.4	112.5	39.1		115.1	51
1961	199.6	165	101.1		97.7	144.2
1962	92.2	110.4	140.9		71	99.2
1963	183.8	114	144		62.1	96.6
1964	99	74.8	127.4	• • •	93.5	99.6
1965	93.6	124.8	117.3		68.2	80.3
1966	102.2	42.5	67.8		64.8	112.3
1967	107.5	142.9	184.7		43.6	65.5
1968	152.2	93.8	118.5	• • •	42.2	65
1969	51.9	78.1	59		78.3	106
1970	178.4	121	69.5		37.5	115.2
1971	84.1	177.6	150		68.3	82.4
1972	94.3	121.9	148	• • •	45.7	140.4
1973	152.8	153.7	137.1		39.8	87.9
1974	154.9	176.8	66.9		54.2	62.1
1975	83.6	120.1	162.6		65.5	111.4
1976	52.7	126.7	133.5	• • •	56.1	103.8
1977	85.5	124.6	124		125.6	89.9
1978	226	93.3	66.2		134.9	84.9
1979	129.4	80.3	108.7	• • •	76	61.9
1980	59.9	87.5	185.4		51.5	76.4
1981	119.6	239.7	104.6		72.2	137
1982	118	112.9	65.5		77.8	87
1983	124.8	55.4	120.6		52.7	35.1
1984	170.9	227.2	141.9		162.3	58.1
1985	77	161.5	80.5		89.1	136.9
...

Figura 8. Contenido de una variable local

El archivo de cada variable local está en formato de texto, el cual contiene un registro mensual desde Enero hasta Diciembre de los valores de dicha variable, los cuales están ordenados año por año, como se puede apreciar en la Figura 8.

5. Elección del intervalo de años a trabajar



Figura 9. Eligiendo el intervalo de años

Los cuadros de texto para la colocación de los años quedan habilitadas después de realizar la elección de la variable local.

El intervalo de fechas válido para cada variable local es automáticamente mostrado en una ventana de información, y sus valores extremos son establecidos por defecto en los cuadros de entrada respectivos (*Edit text*).

El orden de colocación de las fechas es siempre de menor a mayor.

El intervalo de años elegido en esta etapa se

usará también para acotar la serie de campos de la variable global (Figura 9).

Solo se admiten entradas numéricas, escribiendo los años con sus dígitos completos.

No se admiten valores de entrada que se encuentren fuera del intervalo especificado, de lo contrario aparecerá una ventana de información indicando el error cometido (Figura 10).

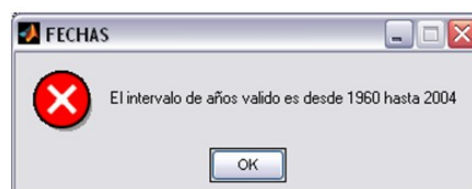


Figura 10. Mensaje de alerta

Tampoco se admite que estos cuadros de entrada permanezcan vacíos, si esto sucediera, automáticamente aparecerá una ventana de información con una solicitud para que se rellene el cuadro respectivo, de lo contrario no se podrán habilitar los siguientes *objetos* de la interface (Figura 11).



Figura 11. Mensaje de alerta

6. Agrupamiento de la serie de tiempo

Luego de que las fechas han sido correctamente colocadas, los radiobuttons

que detallan los modos de agrupamiento son habilitados.

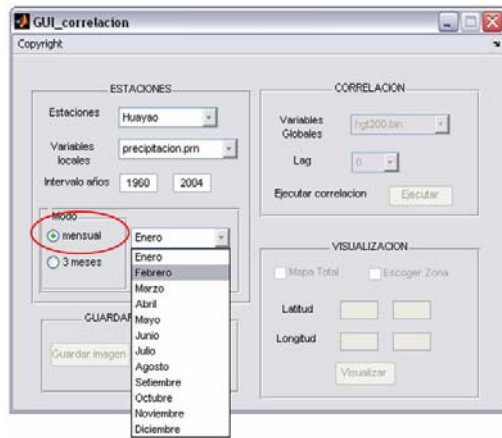


Figura 12. Escogiendo el modo mensual

Mensual

Con la elección del modo de agrupamiento “mensual”, se habilita el menú que contiene la lista de meses desde Enero hasta Diciembre, uno de los cuales el usuario escogerá para definir el mes con el que desea trabajar en toda la serie temporal de la variable local.

Por ejemplo, en la Figura se eligió una serie temporal que contiene todos los datos de Febrero desde 1960 hasta el 2004 (Figura 12).

Grupos de 3 meses

Con la elección del modo de agrupamiento “3 meses”, se habilita el menú que contiene una lista de grupos de 3 meses, uno de los cuales el usuario escogerá para especificar la serie de tiempo acumulada (o promediada) de 3 meses en la variable local. Por ejemplo si escojo J-A-S (Julio-Agosto-Septiembre), se obtendrá una serie de tiempo el cual contendrá el acumulado

de Julio, Agosto, Septiembre para todos los años en el intervalo elegido.

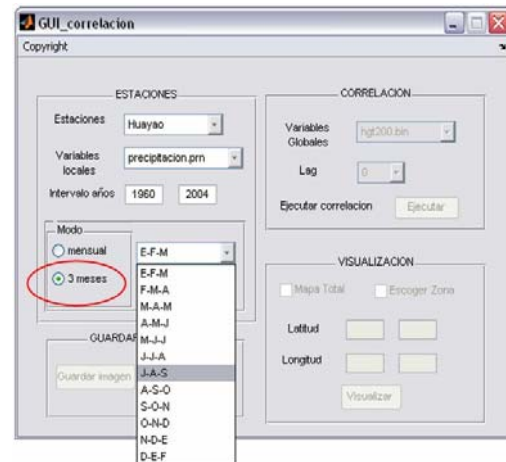


Figura 13. Escogiendo el modo de 3 meses

7. Menú “Variables Globales”

Después de la elección del modo de agrupamiento para la variable local, la interface habilita el menú que contiene la lista de variables globales, dichas variables se encuentran alojadas en el directorio *variables globales*.

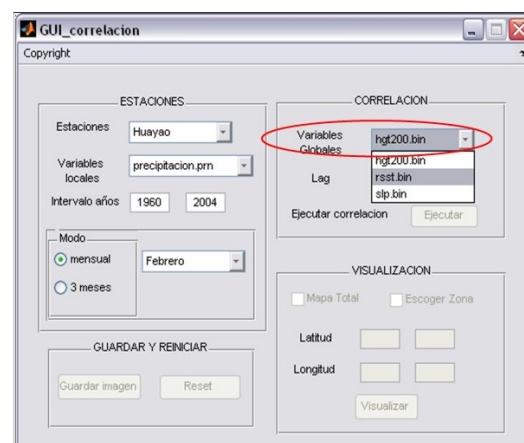
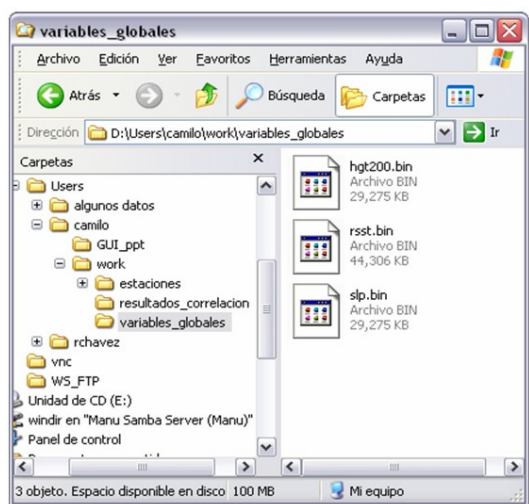


Figura 14. Escogiendo el modo de 3 meses

Al hacer click con el mouse en la variable global elegida, sus valores en la serie de campos que se encuentran dentro del

intervalo de fechas especificado son cargados automáticamente para su posterior procesamiento. El modo de agrupamiento de los datos es mensual.

Hay que tener en cuenta que la serie de campos esta especificada para un solo nivel de medición.

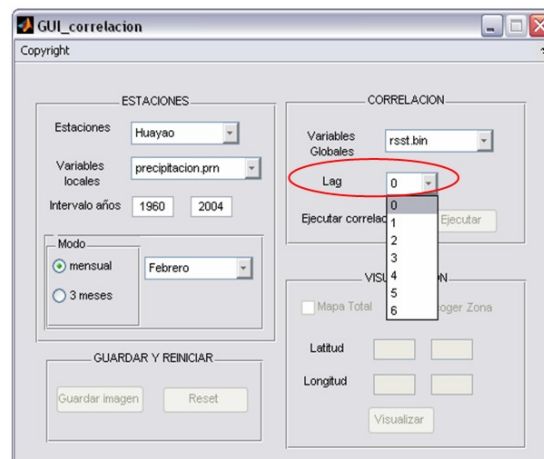


8. Menú “Lag”

Después de elegir la variable global con la que se va a trabajar, se procede a escoger el *Lag*, el que dará el valor del retraso mensual con el cual la variable global se ubicará con respecto a la variable local para el cálculo del coeficiente de correlación.

Por ejemplo, en la Figura derecha, se tiene la serie temporal del mes de Febrero para la variable local, si se escoge lag = 0 entonces esta serie se correlacionará con la serie de campos del mes de Febrero de la variable global; si se escogiera lag = 1, se correlacionaría con la serie de campos del mes de Enero para la variable global, etc. Dicho valor de Lag se almacena para ser usado en la siguiente etapa.

Usualmente, en los cálculos de correlación, el valor usado *por defecto* para el Lag es cero (0).



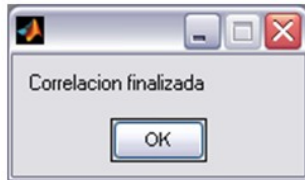
9. Ejecutar Correlación

Con el *Lag* ya escogido, se procede a ejecutar el cálculo de correlación, para esto tan solo se tiene que hacer click con el mouse sobre el botón “Ejecutar”.

El cálculo de la correlación es efectuado para todo el globo terrestre.

Si se deseara realizar algún cambio en algún cuadro de entrada o en algún menú previo a la ejecución de la correlación, entonces también se tendrá que realizar las actualizaciones respectivas en las *entradas* que son afectadas por dicho cambio.





Cuando la correlación se ejecuta correctamente, aparece un mensaje el cual informa sobre el éxito del cálculo realizado.

La correlación no se ejecutará si la serie de tiempo de la variable local o la serie de campos de la variable global están llenos de valores indeterminados (definidos como valores NaN en Matlab), seguido a esto, aparecerá un mensaje indicando la situación actual y con la indicación de reiniciar la interface, para lo cual el botón "Reset" es habilitado automáticamente. Al final del cálculo de correlación, automáticamente se habilitan los modos de visualización.



10. Visualización "Mapa total"

La opción de visualización Mapa Total se emplea para graficar el mapa de correlación de manera total, es decir a lo largo de todo el globo terrestre.

Se usa el modo de proyección *cilíndrica equidistante* para graficar el mapa.

Al activar el checkbox *Mapa Total*, aparece una ventana con el mensaje de

información sobre como manejar esta opción.



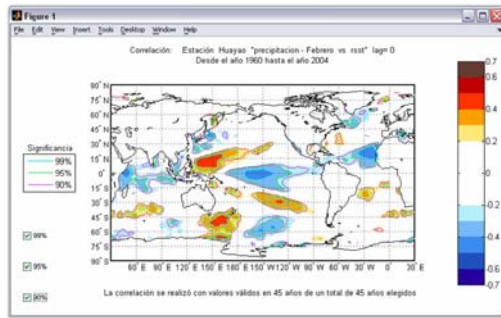
La única entrada activada es la de elección de la *Longitud*, la cual establece la longitud que corresponde a la línea de meridiano que estará ubicado en el extremo izquierdo del mapa.

El valor de la longitud válido para la visualización se encuentra en el intervalo de -180° hasta 180° .

Después de haber colocado el valor numérico respectivo en la longitud, para poder visualizar el mapa, basta con hacer click con el mouse en el botón **visualizar**.

Aquí se tiene la imagen del mapa de correlación en el modo de visualización "**mapa total**".

En el lado derecho del mapa se puede apreciar la *barra de colores* en donde se indican los colores usados en el mapa.



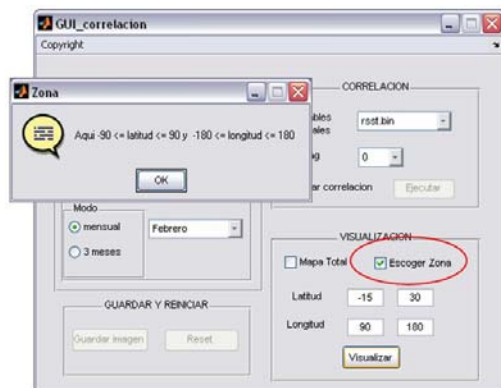
Los valores etiquetados en la barra van desde -0.7 hasta 0.7 .

Se puede apreciar que el valor de la longitud en el extremo izquierdo del mapa es 30° .

Como elemento adicional se tienen las líneas de contorno que identifican las zonas donde se tienen *significancias* de 90%, 95% y 99%, las 3 alineas de contorno están identificadas con 3 colores diferentes. La visualización de alguna o todas las líneas es a elección del usuario.

11. Visualización “Escoger Zona”

La opción de visualización **Escoger Zona** se emplea para graficar el mapa de correlación escogiendo la zona geográfica de interés.

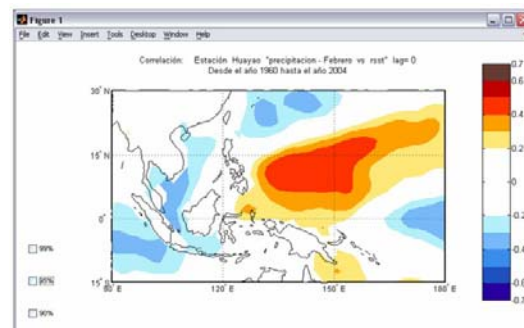


Al activar esta opción, se habilitan los cuadros de entrada tanto para colocar las latitudes y longitudes que definirán la zona deseada.

Los valores de latitudes validos van desde -90° hasta 90° y el orden de colocación de los mismos van de menor a mayor (de izquierda a derecha).



Los valores de longitudes validos van desde -180° hasta 180° y el orden de colocación de los mismos puede ser de menor a mayor o de mayor a menor.

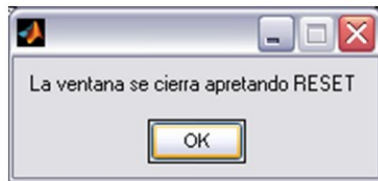


En caso de que alguna entrada tanto en la latitud como en la longitud se encuentre fuera del intervalo especificado, aparecerá un ventana de información la cual mostrará indicaciones sobre el error cometido.

En la Figura ubicada en el lado derecho se tiene el mapa de la zona escogida donde se

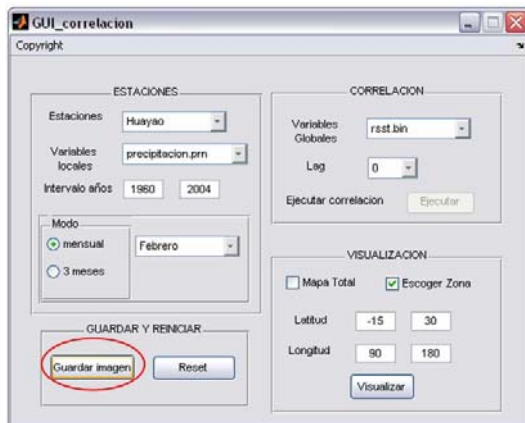
observan altos índices de correlación la cual está acotada entre las latitudes de -15° a 30° y entre las longitudes de 90° a 180° .

12. Intentando cerrar la ventana de visualización



La interface esta programada para que la ventana de visualización no pueda ser cerrada hasta que la interface sea reiniciada.

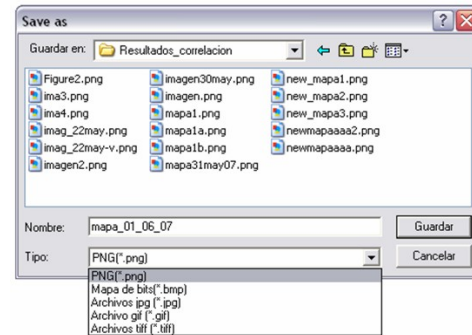
13. Procediendo a **Guardar la Imagen y Reiniciar la Interface**



Después de realizada la visualización, los botones **Guardar imagen y Reset** son habilitados.

Al hacer click con el mouse sobre el botón *Guardar imagen*, se abre un *cuadro de dialogo* en el cual se especifica un nombre

para la imagen, su extensión o formato y se escoge el directorio donde se desea guardar el archivo.

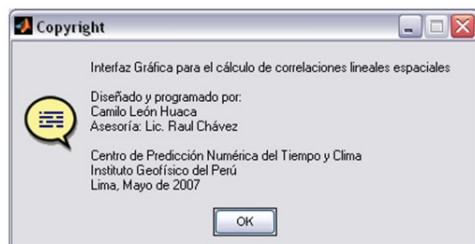


Después de esto, se puede proceder a reiniciar la interface. Para realizar esta acción, tan solo se tiene que hacer click con el mouse sobre el botón *Reset* lo que producirá que la interface vuelva a su estado inicial y que se cierre la ventana donde se visualiza el mapa.

14. Copyright

Como información final al usuario, se tiene la ventana de *Copyright*, la cual aparece al hacer click con el mouse en el objeto del mismo nombre que se encuentra en la parte superior izquierda de la interface.

En esta ventana se encuentran algunos datos referentes a la elaboración del programa como los autores, el lugar y fecha de desarrollo de la interface.



CONCLUSIONES

Ventajas y facilidades en el uso de la Interface

La interface de usuario posee un diseño muy sencillo.

Los objetos de la interface se van habilitando de manera progresiva.

No hay necesidad de introducir en la interface o en su programa mayores detalles o información adicional de las variables.

Las variables locales están en formato de texto por lo que su tratamiento es mucho mas sencillo usando la interface.

Se pueden añadir libremente muchas carpetas y archivos sin necesidad de modificar el programa de la interface.

Manejo muy practico en la visualización de los mapas de correlación.

Con las ventajas señaladas, el ahorro de tiempo en el procesamiento es realmente significativo.

¿Desventajas?

La interface trabaja de manera muy específica, solo arroja un resultado por proceso.

El proceso en el cual las variables globales se cargan al sistema, demora unos segundos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geofísico del Perú por permitirme desarrollar este trabajo, el cual contribuye de manera importante en mi formación académica.

BIBLIOGRAFIA

- Gutiérrez, J., Cano, R., Cofiño, A. y Sordo, C. (2004). *Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas*. Monografías del Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente.
- Mathworks Inc.- Guia para el diseño y programación de Interfaces Gráficas de Usuario en Matlab 7.0

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA LA DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE EXPLOSIONES CROMOSFÉRICAS Y FLARES

Parte I

DENIS PAVEL CABEZAS HUAMÁN

Facultad de Ciencias

Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" de Ica.

dpavelch@gmail.com

*Investigación dirigida por: Dr. José Ishitsuka Iba
Msc. Hugo Trigoso
Dirección de Investigación en Astronomía
Observatorio de Ancón*

RESUMEN

La porción superior de la cromosfera solar se caracteriza por tener una estructura muy variable, presentan variados fenómenos ocasionados por la gran actividad solar. Una forma de comprender el hecho que esta actividad libera continuamente gran cantidad de energía al espacio estelar es justamente, analizando los mecanismos que conllevan a la formación de fenómenos tales como: Manchas Solares, Flares, Protuberancias, Eyección de Masa Coronal, etc. Por cierto tales fenómenos son ocurrencias que se dan en tiempos muy breves, el tiempo de vida de un Flare es relativamente corto que va desde algunos segundos hasta minutos, en algunos casos. Nuestro objetivo es hacer un análisis detallado de los Flares, para tal efecto se empleará como herramienta, una cámara CCD (Charge Coupled Device), marca Sony modelo XC-77, para la obtención de imágenes del fenómeno. La cámara trae consigo una lista de funciones para elaborar un software a la medida de nuestro requerimiento, y controlar diversas funcionalidades de la CCD.

INTRODUCCION

Se conoce con el nombre de Regiones Activas (ARs, del inglés Active Regions), aquellas zonas del Sol donde se desencadenan diversos fenómenos estrechamente relacionados a la actividad solar. Los Flares son uno de los tantos fenómenos que toman lugar en la superficie solar. Es usual encontrar Flares, en las proximidades de aquellas regiones donde los campos magnéticos varían notablemente a causa de los flujos emergentes, principalmente observados en la cromósfera.

Los Flares son detectados por varios métodos: instrumentos de monitoreo o seguimiento del Sol en H_{α} , rayos X y ondas de radio. El monitoreo óptico es

limitado por estar sujeto a las condiciones climáticas. La detección con rayos X se da en el rango de los índices altos y bajos.

El monitoreo por microondas es más completa, se utilizan varias longitudes de onda para obtener información tridimensional del fenómeno.

¿CÓMO ES QUE OCURRE UN FLARE?

Para describir cómo es que ocurre un Flare, se tendría que recurrir a las ecuaciones de Magnetohidrodinámica (MHD), que describen casi con exactitud el comportamiento de éste tipo de fenómenos; sin embargo ésta vez nos limitaremos a hacer una descripción genérica del fenómeno.

La actividad del Flare estaría ligado a un factor crucial, el campo magnético cambiante, producto de la gran actividad solar. Usualmente estos campos envuelven los flujos magnéticos emergentes de las capas internas del Sol, pero algunas veces

tales flujos se descomponen o entran en un estado de decadencia en las que intervienen procesos netamente físicos, Priest (1982) .(Ver Figura 1).

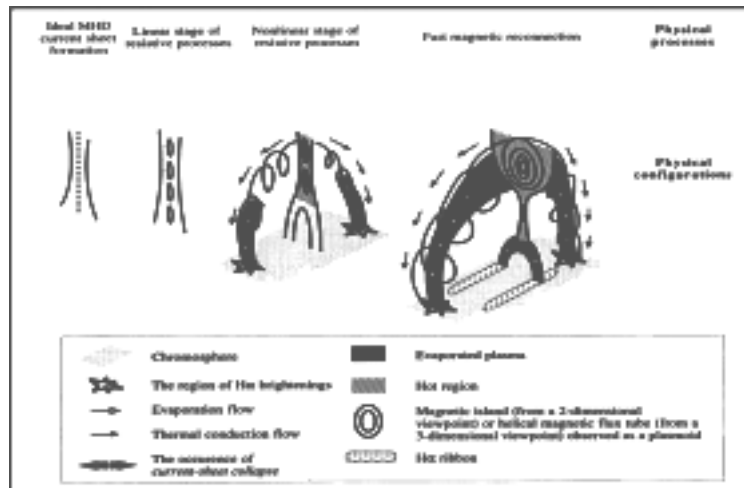


Figura 1. Ilustración esquemática de las etapas severas y procesos físicos en el desarrollo del Flare. (Magara y Shibata, 1999)

Seguidamente se hace una descripción de los procesos que intervienen:

La primera etapa es la Formación Ideal MHD Capa-Corriente; durante esta fase los procesos resistivos son infinitos, en tanto la estructura coronal mantiene una evolución cuasi-estática ideal MHD. A su vez una capa de corriente es formada en medio de los flujos magnéticos, el espesor de esta capa siempre yace en el rango de valores macroscópicos. Luego se origina el Proceso Resistivo Lineal; aquí existe una resistividad finita relativamente pequeña en la corona. Éste es el inicio de la inestabilidad, generando pequeñas islas magnéticas. Usualmente este proceso tiene un período relativamente largo, sin

embargo la cantidad de energía termal y cinética producida es pequeña comparada con la etapa o el Proceso no Lineal. La larga duración de este proceso es responsable en parte de la formación del pre-Flare, Kuiper (1953).

Más tarde tomará lugar el Proceso Resistivo no Lineal; es un estado donde se origina una coalescencia, entre las islas magnéticas, produciendo suficiente energía termal. Además una porción de flujo de calor, fluye desde las regiones calientes hacia la cromósfera, causando el destello en H_{alfa} y por consiguiente la evaporación del plasma en la cromósfera. Por tanto la transición de la distribución energética aumenta hasta llevarse a cabo

una rápida Reconexión Magnética, que permite una violenta liberación de energía. Simultáneamente se producen eyecciones de partículas altamente energéticas [3]. Los electrones viajan muy rápidamente, en algunos casos con velocidades de hasta 50000 km/s.

Liggett y Zirin (1985) demostraron que existe una fuerte tendencia de que el flujo magnético en las ARs erupcione, generándose violentos gradientes de campos ascendentes hacia la superficie, este hecho provoca rompimientos abruptos de las líneas de campo, dando lugar a la formación de destellos de luz en H_{α} y por consiguiente Flares.

La fuente energética de los Flares es producto de la reconexión magnética, sin embargo los detalles de los mecanismos de la aceleración no están completamente claros hasta hoy, Zirin (1988).

FLARES CROMOSFÉRICOS

Un Flare cromosférico es un estallido de luz (Ver Figura 2) cuyo mecanismo es producto de la reconexión, generado en un arco coronal o por el choque de dos arcos. A causa del estallido, se produce un enorme flujo de partículas energéticas, electrones e iones, con energías que están por encima de los 10 MeV, y nucleones de algunos cientos de MeV. Las partículas muy rápidamente se termalizan hasta llegar a los niveles del plasma, cuya temperatura es de al menos 10 millones de grados kelvin aproximadamente.

Las partículas aceleradas se propagan hacia los pies del arco, donde al igual que los electrones, al chocar con la superficie cromosférica, producen destellos de bandas en H_{α}

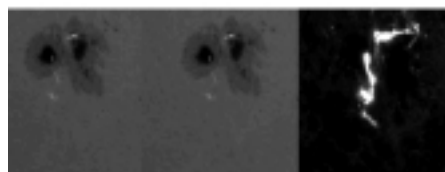


Figura 2. Imagen de un Flare en luz blanca, debidamente procesada, obtenida el 25 de Agosto del 2001 (16:29:26 UT). De "Transition Region and Coronal Explore" (TRACE) and Yohkoh Observations.

El espectro visible de la cromosfera está compuesto por un continuo muy débil, y un gran número de líneas de emisión brillantes y superpuestas a él, es débil porque el gas cromosférico es muy transparente a la mayoría de las longitudes de onda del visible, y al ser poco absorbente, es también poco emisor. Una de las líneas de emisión cromosféricas más importantes es la línea H_{α} de la serie de Balmer del Hidrógeno (6563 Å). Es un fenómeno que tiene lugar en la cromósfera-corona, por ello las observaciones han sido realizadas principalmente en H_{α} , pero aún así es incompleta, porque sólo muestra la parte inferior del fenómeno que ocurre en las capas más altas, García de la Rosa (1989). Ciertamente los Flares son más visibles, sólo por su línea de emisión, por tanto se han obtenido excelentes imágenes en la línea H_{α} . Para nuestros estudios emplearemos un Filtro birrefringente de

transmisión, centrado en la línea de absorción H_{α} , este filtro deja pasar la zona del espectro cercana a la del Hidrógeno alfa. Si se hacen capturas de imágenes en esa longitud de onda (6563 Å) se obtendrían fotografías de la cromósfera y por consiguiente de Flares.

IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE.

El Çoelostato es un instrumento que permite proyectar la imagen del disco solar en una cierta dirección, mas adelante se dan mas detalles del equipo en conjunto; si proyectáramos dicha imagen sobre el sensor CCD de una cámara, y ayudado por un software específico se consigue obtener la imagen de la superficie solar en tiempo real. La cámara CCD marca Sony, modelo XC – 77, provisto de un chip CCD de 10.0 x 8.2 mm, consta además de una Librería Dinámica de Enlace (DLL, del inglés Dinamic Link Library) para desarrollar diversas aplicaciones para el control de la cámara. Nuestra necesidad es de contar con un software que sea capaz de: capturar imágenes de un modo automático las explosiones que se producen en la cromósfera, y analizar algunas características de dichas imágenes tales como: el tiempo de vida del fenómeno, las dimensiones de las estructuras presentes, a consecuencia del gran estallido que se produce, entre otros.



Figura3. Cámara CCD marca Sony XC-77

Se emplea el lenguaje Visual C++ como herramienta para el desarrollo del software, para tal efecto se creó una clase 'CAMARA_CCD', en la que incluimos una lista de funciones propias de la cámara como:

```
hArtCamSdk = NULL;
//Handle' del DLL.
hACam = NULL;
// 'Handle' de la CCD (Sony XC-77)

ArtCam_Initialize = NULL;
ArtCam_GetDllVersion = NULL;
//Versión del DLL.

ArtCam_GetWaitTime = NULL;
ArtCam_GetSamplingRate= NULL;
ArtCam_GetColorMode = NULL;
ArtCam_GetBrightness = NULL;
ArtCam_GetContrast = NULL;
ArtCam_SetWaitTime = NULL;
ArtCam_SetSamplingRate = NULL;
ArtCam_SetColorMode = NULL;
ArtCam_SetBrightness = NULL;
ArtCam_SetContrast = NULL;
ArtCam_Capture = NULL;
ArtCam_SnapShot = NULL;
ArtCam_Close = NULL;
ArtCam_GetLastError = NULL;
ArtCam_Release = NULL;
```

Dicha lista facilita la construcción del resto del código fuente para el programa.

Para complementar mejor la de idea de analizar los datos obtenidos, se tomó en

cuenta que las imágenes conseguidas con la cámara sean del formato FITS (Flexible Image Transport System), que es un tipo de archivo mas empleado por la comunidad astronómica, que a su vez facilita el análisis y tratamiento de imágenes.

FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA

Seguidamente se hace una descripción general de los pasos que debería obedecer el programa. Detectar un Flare es un tanto dificultoso, por el hecho de que el fenómeno es impredecible y de muy corta duración. Una solución a éste inconveniente sería 'espíar al Sol'; la idea consiste en estar pendiente durante todo el día de los tantos sucesos que se desencadenan en el Sol.

1. Para empezar, se debe confirmar la orientación Este – Oeste de la imagen del disco solar en la CCD y guardar la imagen, ésta primera imagen servirá para hacer una comparación con el nivel del brillo del fondo del cielo.

2. Determinación de la posición heliográfica de las Regiones Activas (ARs) encontradas.

3. Calcular el brillo del área central del disco solar, si el brillo es más bajo que el umbral del cielo debido a la nubosidad, se tendrá que interrumpir y volver al inicio del programa, hasta conseguir un brillo por encima del umbral; de lo contrario el programa seguirá la secuencia.

4. Detectar el limbo solar, calcular la coordenada central del disco y el radio solar expresado en unidad de píxeles así como en milímetros.

El aspecto más importante en este tipo de análisis, es la realización de cálculos y estimaciones de las características intrínsecas del Flare, tales como el de estimar el tamaño aparente y verdadero de las ARs, el tiempo de duración, así como también obtener el nivel del brillo. Si las condiciones son favorables y los niveles del brillo del disco solar están por encima del umbral, el programa debe operar automáticamente en el “Modo Flare”, cuya subrutina está orientada básicamente a obtener imágenes de Flares con altos niveles de brillo, establecer el tiempo de inicio y final del fenómeno.

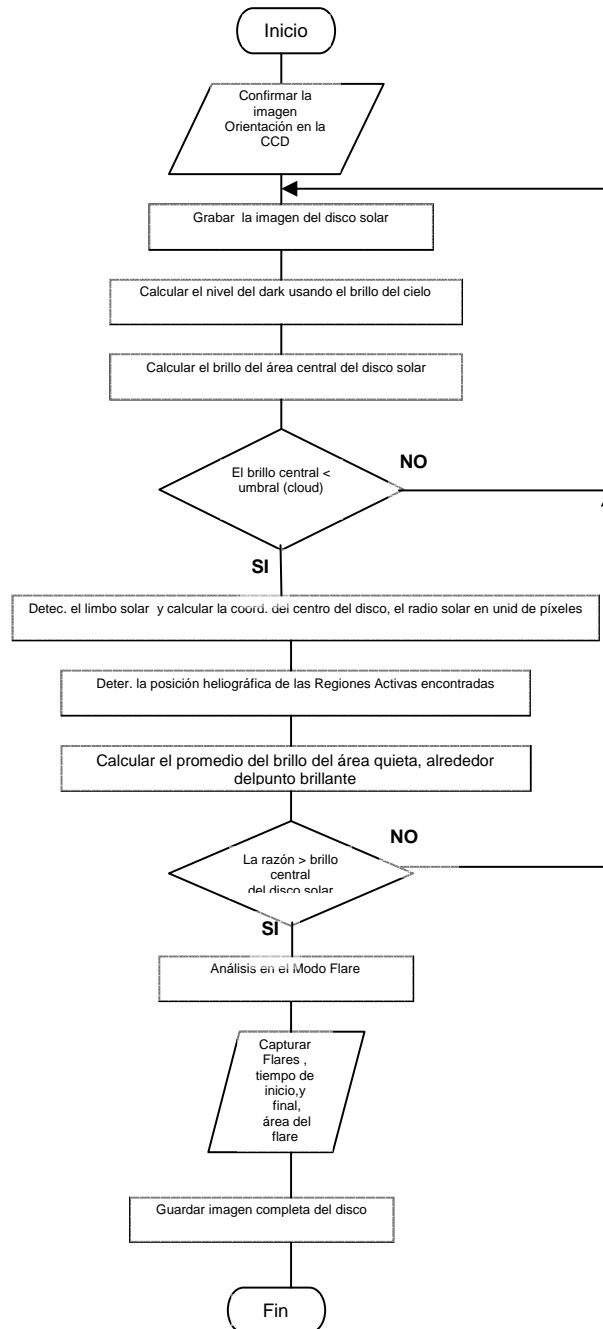


Figura 4. Diagrama de flujo de la secuencia a seguir por el programa.

OPERACIÓN DEL SISTEMA EN CONJUNTO

El sistema de detección automática de Flares, consta de lo siguiente: un Çoelostato, lente objetivo, un filtro birrefringente H_{α} y la cámara CCD. El equipo en conjunto estará en operación en

la futura Estación Solar en la ciudad de Ica. El Çoelostato consta de dos espejos planos de 32 cm de diámetro, su función básicamente consiste en fijar la luz del Sol en una dirección específica. El espejo Primario receptiona los haces de luz provenientes del sol, mientras que la labor

del espejo Secundario es transferir los rayos de luz hacia el lente objetivo, el cual será el encargado de formar la imagen del disco solar.

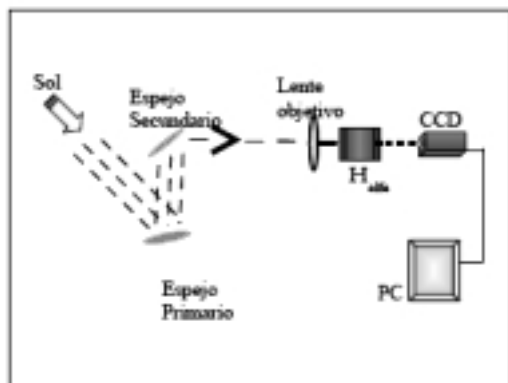


Figura 5. Representación y distribución de funcionamiento del sistema en conjunto.

CONCLUSIONES

El resultado parcial o de primera etapa es que se concluyó con la primera fase del software, se obtuvieron imágenes de prueba del disco solar con la cámara CCD, y lo que está pendiente es la inclusión en el software las opciones para el análisis de imágenes. Actualmente se está desarrollando la siguiente etapa del proyecto, y posteriormente daremos a conocer los resultados obtenidos.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Geofísico del Perú por darme el apoyo y las facilidades en mi estancia como practicante.

Al Dr. José Ishitsuka y al Msc. Hugo Trigo, por brindarme la oportunidad y

por estar a cargo de mi capacitación en el Observatorio de Ancón.

A todo personal del Observatorio de Ancón por darme las facilidades del caso. Finalmente y no menos importante a Mario Zegarra Valles, por el apoyo en la construcción y desarrollo de la primera parte del software.

BIBLIOGRAFÍA

- García de la Rosa, I., (1989): Apuntes de Física Solar, Cap. 6, Instituto Astrofísico de Canarias, España.
- Kuiper, P. (1953): The Sun Chap. 6 Sec. 3. Edited by Gerard P. Kuiper. The University of Chicago Press.
- Liggett, M., y Zirin, H., (1985): Solar Physic. Pages, 51, 97.
- Magara T. y Shibata, K.: Evolution of Eruptive Flares II. Enhanced Resistivity. Edited by The Astrophysical Journal. 199.
- Priest, E., (1982): Solar Magnetohydrodynamics. Chap. 10. Edited by B.M. McCormac, Lockheed Palo Alto Research Laboratory, Calif., U.S.A.
- Zirin, H., (1988): Astrophysics of the Sun. Chap. 11. Edited by Cambridge University Press.

ESPECTRÓGRAFO ASTRONÓMICO DE BAJA RESOLUCIÓN

JESÚS ANTONIO DALMAU CAM

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ciencias

dalmau@uni.edu.pe

Investigación dirigida por: Dr. José Ishitsuka Iba
Dirección de Investigación en Astronomía
Observatorio de Ancón

RESUMEN

El presente trabajo muestra el diseño y montaje de un espectrógrafo de baja resolución capaz de medir temperaturas superficiales de estrellas y composición química. Para implementar el espectrógrafo se utilizó los equipos de fotometría del Grupo Astronomía (Facultad de Ciencias - UNI), un colimador y una red de difracción, estos últimos se adquirieron especialmente para el proyecto. El espectrógrafo se probó durante las noches de marzo y octubre del 2005 en el Observatorio John A. Fleming (IGP) en la ciudad de Huancayo - Perú.

INTRODUCCION

La espectroscopia astronómica ha permitido a los astrónomos conocer muchas propiedades de los cuerpos celestes que no podían ser inferidas de la fotometría como: velocidad de desplazamiento y rotación, edad, composición química, temperatura, etc.

Espectros estelares

Los espectros estelares presentan una distribución continua de energía originada por la radiación de su núcleo y unas líneas de emisión o absorción sobre este continuo, producto de los elementos químicos en sus capas más externas (atmósfera estelar).

La Figura 1 muestra el perfil espectral (diagrama de intensidad a lo largo del eje de dispersión) y el espectro propiamente dicho de la estrella Rigel.

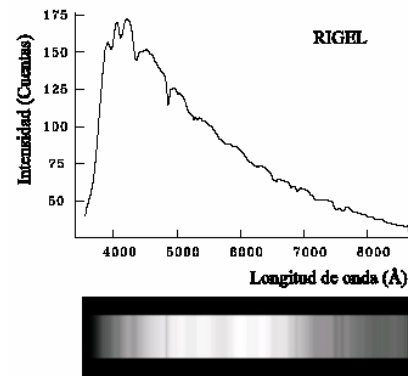


Figura 1. El continuo y líneas de absorción de Rigel registradas en el Observatorio de Huancayo.

La distribución de energía del núcleo es en primera aproximación la de un cuerpo negro, la cual está regida por la Ley de Planck.

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (1)$$

Donde I es la intensidad y sólo depende de la temperatura. Al integrar sobre todas las longitudes de onda se obtiene la Ley de Stefan-Boltzmann:

$$F = Z \infty 0 I(_)d_ = _T^4 \quad (2)$$

Donde F es el flujo total de un cuerpo negro, es la constante de Stefan-Boltzmann y T temperatura absoluta del cuerpo negro. Al comparar el flujo de un cuerpo negro con el flujo de una estrella de radio R, la ecuación 2 queda:

$$L = 4 _R^2 _T^4 \text{ eff} \quad (3)$$

Donde L es la luminosidad de la estrella y Teff la temperatura efectiva o superficial de la estrella. Estos dos parámetros físicos son importantes al momento de situar una estrella en el Diagrama Hertzsprung-Russel (diagrama de evolución estelar).

Clasificación Espectral

Clasificación Morgan-Keenan (H. Karttunen, 1992), según su luminosidad:

Ia+ : Hipergigantes

I : Supergigantes

II : Gigantes brillantes

III : Gigantes

IV : Subgigantes

V : Enanas

VI : Subenanas

Según su temperatura superficial (Clasificación de Harvard):

O : $_ 25000$ K

B : $_ 15000$ K

A : $_ 9000$ K

F : $_ 7000$ K

G : $_ 5500$ K

K : $_ 4000$ K

M : $_ 3000$ K

Estas clases representadas por letras mayúsculas, contienen subclases que varían entre 0 y 9. Cero para las más calientes y nueve para las más frías. Así por ejemplo, la clasificación espectral para estrellas de tipo B de mayor a menor temperatura sería: B0, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8 y B9.

DATOS OBSERVACIONALES

Las observaciones se realizaron en el Observatorio de Huancayo John A. Fleming (12.02'12" latitud sur; 75.19'07" longitud oeste; 3300 msnm) durante las noches del 25, 26, 29 de marzo y 1, 6, 7 de octubre de 2005. El equipo utilizado para la implementación del espectrógrafo fueron los siguientes:

- Telescopio Schmidt Cassegrain de 8"
- Cámara CCD de 16 bits
- Carrusel de filtros con filtros UBVR
- Doblete acromático de f/9
- Red de difracción de 500 líneas/mm

Debido a la configuración óptica del espectrógrafo (Figura 2), el espectro se forma en una superficie curva provocando un espectro desenfocado sobre la superficie plana del detector.

Para minimizar este efecto (C. Buil) se utilizó un colimador (doblete acromático) antes de que la luz llegue a la red de difracción.

Se registraron aproximadamente 12 espectros de una misma estrella, cada uno de ellos a diferentes posiciones de foco del telescopio con la finalidad de encontrar el

foco más representativo para el amplio rango de longitudes de onda cubiertas.

Además de los espectros estelares, se grabaron flats de una lámpara halógena (flats) y flats del cielo (skyflats). Para cada tipo de imagen (espectros, flats y skyflats), también se registraron sus respectivos darks. Estas imágenes complementarias son las habituales en la reducción de datos con imágenes CCD.

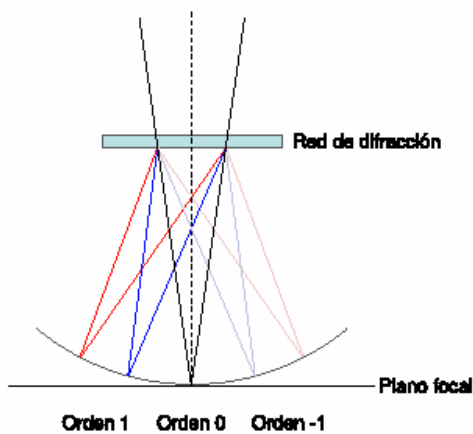


Figura 2. Esquema del sistema óptico del espectroscopio sin el colimador.

Las estrellas observadas se muestran en la Tabla 1 y fueron elegidas por su brillo intenso (magnitud negativa o cercana al cero) y por tener diferentes tipos espectrales. La Tabla 2 es un resumen de la cantidad de imágenes grabadas, el tiempo de exposición empleada por imagen, fecha y hora local de observación (GMT-5).

REDUCCION DE DATOS

El proceso de reducción y análisis de espectros digitales fue realizado en el sistema operativo GNU/Linux Ubuntu 7.04 usando el software IRAF v 2.12 (J.

Barnes, 1992). A diferencia de la reducción típica de fotometría (D. Galadi, 1998): darks (imagen con el obturador cerrado para eliminar el ruido térmico de la cámara) y flats (imagen casi sobreexpuesta para uniformizar la sensibilidad superficial de la cámara), en espectroscopia se requiere los skyflats a fin de encontrar la función de iluminación, que no es más que la luz del cielo dispersada por la red de difracción y registrada en el detector.

La multiplicación del flat normalizado por la función de iluminación dará el Flat Perfecto o Superflat que servirá para corregir las imágenes de la variación de sensibilidad superficial del detector.

Calibraciones del espectro

El siguiente paso es convertir la escala del eje de dispersión de píxeles a longitudes de onda. Esto se logra identificando, por comparación, algunas líneas del espectro registrado con su tipo espectral (P. Massey, 1992).

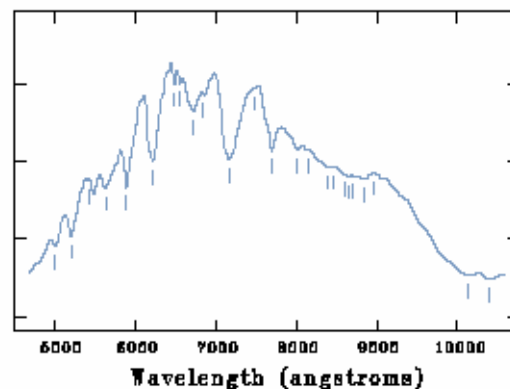


Figura 3. Calibración en longitud de onda para el espectro de Betelgeuse

Nombre	Tipo Espectral	Magnitud Visual	Coordenadas FK5	
			AR (J2000)	DEC (J2000)
Rigel	B8Ia	0.12	05 14 32.27	-08 12 05.9
Vega	A0V	0.03	18 36 56.34	+38 47 01.3
Canopus	F0II	-0.72	06 23 57.11	-52 41 44.4
Betelgeuse	M2Iab	0.58	05 55 10.31	+07 24 25.4

Tabla 1. Estrellas de estudio.

Nombre	Número de toma	Tiempo de Exposición (s)	Fecha de observación	Hora de observación Local (hh:mm:ss)
Rigel	11	40	27-09-2005	02:54:12 a 03:04:01
Vega	10	20	21-09-2005	22:49:14 a 22:55:00
Canopus	13	40	27-09-2005	03:40:18 a 03:52:02
Betelgeuse	12	40	27-09-2005	03:16:08 a 03:26:54
Darks	10	40	27-09-2005	04:04:53 a 04:13:38
Flats	20	0.3	27-09-2005	04:39:07 a 04:44:58
Darks	20	0.3	27-09-2005	04:53:20 a 04:59:11
Skyflats	20	0.12	27-09-2005	05:47:59 a 05:53:44
Darks	20	0.12	27-09-2005	05:55:05 a 06:00:51

Tabla 2. Tiempos de exposición y número de tomas por imágenes.

El resultado de la calibración en longitud de onda para Betelgeuse se muestra en la Figura 3.

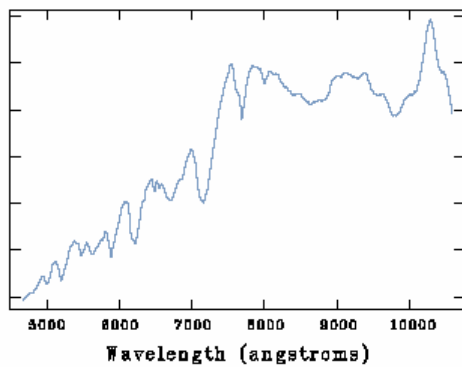


Figura 4. Espectro de Betelgeuse corregido de la variación de sensibilidad espectral del detector.

Finalmente, para corregir las variaciones de sensibilidad espectral del detector (las cámaras CCDs no tienen la misma eficiencia cuántica para todas las longitudes de onda), se compara la forma del perfil espectral registrado con su tipo

espectral. La Figura 4 muestra esta corrección aplicada a Betelgeuse.



Figura 5. Comparación de espectros antes y después de la reducción de datos.

La Figura 5 muestra los espectros antes y después de la reducción de datos.

En los perfiles espectrales no se muestra la escala del eje Y puesto que no se hizo la calibración en flujo.

CALCULOS Y RESULTADOS

Una vez corregidos los espectros se pueden realizar algunos cálculos para caracterizar al espectrógrafo y deducir algunas propiedades físicas de las estrellas.

Parámetros del espectrógrafo

Básicamente son tres los parámetros para caracterizar al espectrógrafo: dispersión (A°/A), resolución (A°/A) y rango cubierto por cuadro (A°/A). El primero de ellos se calcula en base a la conversión de escala de píxel a longitudes de onda. El segundo en base al FWHM medido en líneas de absorción aisladas, en nuestro caso en H_γ ($6563 \text{ A}^\circ/\text{A}$) de las estrellas Rigel y Canopus.

Finalmente el rango cubierto se calcula en base al mínimo y máximo de λ por cuadro en cada una de las cuatro estrellas analizadas. La Tabla 3 muestra estos parámetros.

Parámetro	Teórica	Exper
Dispersión (A/px)	7.62	6.94
Resolución (A)	26.25	41.08
Rango (A)	5523	5306

Tabla 3. Parámetros del espectrógrafo.

Como referencia la resolución de los espectrógrafos de la compañía SBIG son 15° A para el modelo DSS y $5,7^\circ \text{ A}$ para el modelo SGS.

Composición química de la estrella

Al eliminar la contribución del continuo vía software se puede visualizar mejor la absorción de elementos químicos presentes en la atmósfera de la estrella.

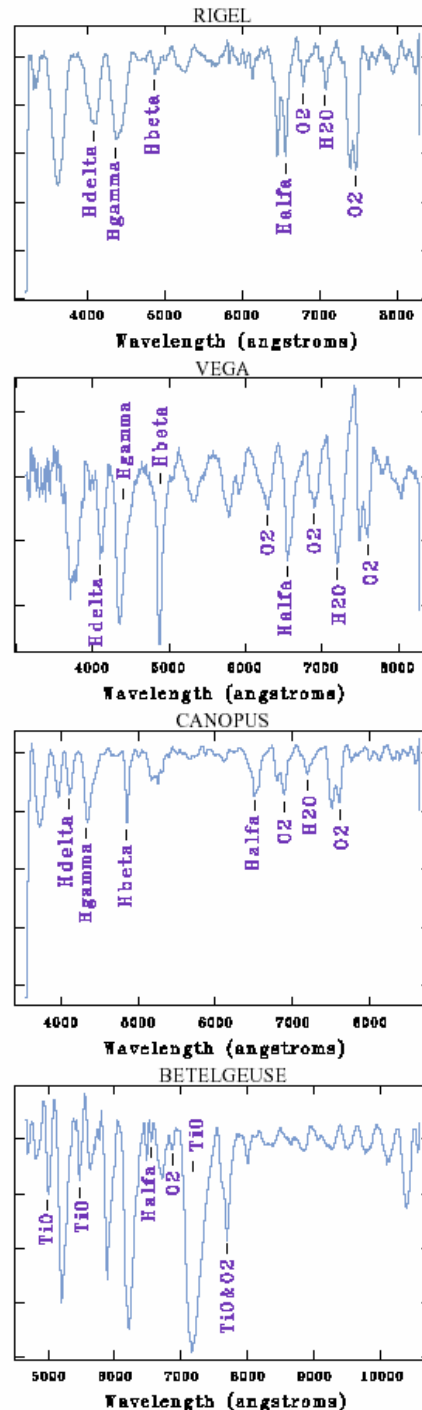


Figura 6. Elementos químicos más abundantes en las estrellas analizadas.

Dada la resolución del espectrógrafo sólo se pudo identificar los elementos químicos con líneas de absorción fuerte (Figura 6). En las estrellas blancas o azules se encuentra presente las líneas de Hidrógeno (Serie de Balmer). H_γ (6563 ° A), H_β (4861 ° A), H_α (4102 ° A).

En la estrella más fría se presentan metales como el óxido de titanio (TiO) a diferentes longitudes de onda (4995, 5470, 7200 y 7610 ° A).

Por otra parte las líneas telúricas (líneas de absorción de la atmósfera terrestre), también son notorias. Estas líneas telúricas son más bien bandas, ya que el O₂ y el H₂O son moléculas, por consiguiente tiene un patrón de absorción ancho.

Temperatura superficial

La temperatura superficial de las estrellas se calculó al trazar curvas de radiación de cuerpo negro a los espectros corregidos (Figura 7). Dichas temperaturas superficiales o efectivas están muy cercanas al valor de referencia dado por su tipo espectral. Para obtener temperaturas acordes a la realidad, se debe de tener especial cuidado en la elección del rango espectral del ajuste.

Estrella	Temperaturas (K)	
	Efectiva	Referencia
Rigel	11026	11000
Vega	9423	9300
Canopus	7377	7700
Betelgeuse	3250	2905

Tabla 4. Temperaturas superficiales de las estrellas analizadas.

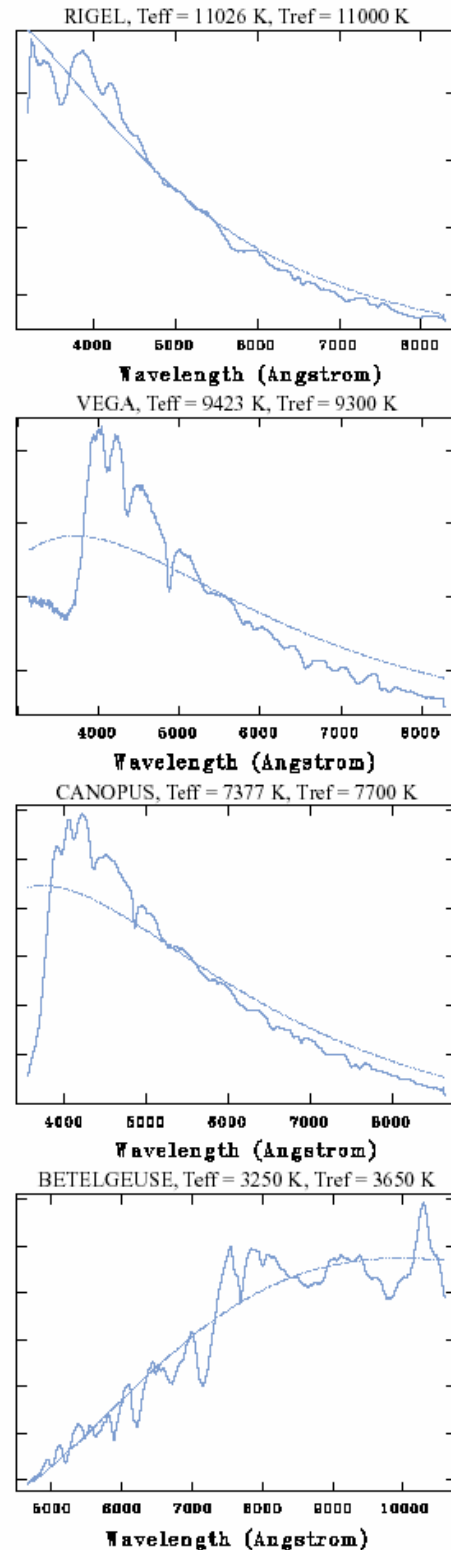


Figura 7. Temperaturas superficiales o efectivas de las estrellas analizadas

AGRADECIMIENTOS

El autor está especialmente agradecido al personal del Observatorio de Huancayo por su colaboración para la realización de este trabajo, así como al personal del Observatorio de Ancón por su revisión. Un agradecimiento al Grupo Astronomía de la UNI por el préstamo de sus equipos y en especial al Dr. Antonio Pereyra por su asesoramiento.

Este trabajo ha hecho uso de la base de datos SIMBAD, operada por el CDS (Centre de Données astronomiques de Strasbourg), Estrasburgo - Francia.

CONCLUSIONES

Se pudo registrar y procesar el espectro de una estrella con el espectrógrafo de baja resolución. Al no tener una rendija (slit) la resolución del espectrógrafo es baja pero suficiente como para determinar elementos químicos presentes en la atmósfera de las estrellas. También se pudo calcular la temperatura superficial de estrellas dentro del margen de temperaturas dado su tipo espectral. Al calibrar las estrellas con su

Tipos espectrales y no con lámparas de calibración, se pierde la posibilidad de medir velocidades de desplazamiento (redshift o blueshift). El costo del equipo es relativamente bajo, \$70 vs \$1595 (modelo SGS) ó \$4995 (modelo SGS) de la compañía SBIG.

BIBLIOGRAFIA

- Baladí, D. (1998): Manual práctico de astronomía con CCD. Ediciones Omega, pp 19-25.
- Barnes, J. (1992): Iraf Tutorial. Iraf Group, <http://iraf.noao.edu>
- Buil, C.: Spectroscopy, CCD and Astronomy (Home Page). <http://www.astrosurf.com/buil>
- Karttunen, H. (1992): Fundamental Astronomy.(Springer), 4ta Edición, Cap 8,pp 203-205.
- Massey, P. (1992): A User's guide to reducing slit spectra with IRAF. IRAF Group, <http://iraf.noao.edu>

MONITOREO HIDROLÓGICO EN ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS

WALTER NELSON CAHUANA OCHOA

*Estudiante de Ingeniería Geológica
Universidad Nacional San Agustín de Arequipa
wcahuana@unsa.edu.pe*

*Prácticas dirigidas por: Ing. Juan Carlos Gómez Ávalos
Dirección de Investigación en Geodesia y Geología
Sede Central del Instituto Geofísico del Perú*

RESUMEN

La aplicación del monitoreo hidrológico tiene por finalidad mantener un control sobre zonas susceptibles a ocurrir deslizamientos provocados por las precipitaciones intensas y prolongadas. Estudios en Malasia y Singapur contaron con instrumentación (piezómetros, tensiómetros) para estudiar laderas, ubicados a diferentes profundidades resultados que demuestran que las medidas de la succión (presiones negativas en épocas de sequía) son óptimas que aquellos ubicados a mayor profundidad y disminuye cuando comienzan el periodo de lluvia y el ascenso del nivel freático; condiciones que contribuye a la inestabilidad de laderas. El Servicio Geológico de Estados Unidos USGS lleva a cabo monitoreo automático en tiempo real de un número considerable de deslizamientos así como el control de la presión de los poros y el grado de humedad del suelo. Por lo anterior el monitoreo de la succión y principalmente de la variación de la presión de poro, resultan indispensables para conocer la resistencia de los suelos en el control de la inestabilidad de laderas.

INTRODUCCIÓN

Es necesario conocer las zonas susceptibles a deslizamientos en una etapa temprana, a través de investigaciones e inspecciones periódicas y así prevenir posibles desastres. Diversos instrumentos se han desarrollado para detectar los movimientos masivos de laderas, la presión y el grado de humedad haciendo un seguimiento de las condiciones del suelo.

Una manera de poder mitigar los daños causados por estos fenómenos es aplicar un monitoreo hidrológico para controlar, conocer y predecir deslizamientos producidos por lluvias. La combinación de los instrumentos electrónicos junto con las técnicas de telecomunicación y el envío de

información por medio de control remoto permite el análisis preliminar de la evolución del fenómeno de remoción en masa, ligados a un sistema de alarma en zonas susceptibles a deslizamientos.

En el siguiente trabajo se tiene los casos registrados en Malasia, Singapur y EE.UU., los que hicieron un seguimiento del cambio de presiones y grado de humedad debido a la saturación del suelo provocado por las lluvias que guarda relación con la ocurrencia de deslizamientos.

MARCO TEÓRICO

Los deslizamientos son movimientos en masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de

falla delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera. Los deslizamientos pueden ser desencadenados tanto por: precipitaciones intensas, cambios en el nivel del agua dentro del terreno, actividad sísmica, actividad volcánica y cambios en el ambiente natural, como por actividades humanas y en menor proporción por el deshielo.

Las zonas susceptibles a deslizamientos son aquellas que están propensas a ocurrir estos fenómenos como:

- * Laderas compuestas por suelos arcillosos, limosos, depósitos de gravas, rocas alteradas, fracturadas vulnerables a la erosión y la saturación en presencia del agua
- * Zonas de antiguos deslizamientos
- * A lo largo o en la base de taludes, laderas de montañas y orillas de barrancos.
- * A lo largo o en la base de cuencas de drenaje menores u otras depresiones
- * En el tope o en la base de antiguos taludes de relleno
- * En el tope o en la base de cortes en taludes empinados

A continuación los instrumentos utilizados para el monitoreo hidrológico en zonas susceptibles a deslizamientos y el sistema automático de control de los datos obtenidos por telemetría de la presión y grado de humedad de suelo.

Aparatos de medición

Pluviómetro

Es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la medición de la precipitación. La precipitación pluvial se mide en términos de la altura de la lámina de agua, y se expresa comúnmente en milímetros. Los aparatos están expuestos a la intemperie, consta de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de la lluvia (Figura 1). Cuando el equipo mencionado usa un registrador automático para medir constantemente la lámina de lluvia en intervalos tan pequeños como un minuto de duración se llama pluviógrafo (Figura 2).



Figura 1. *Pluviómetro común para la medición del grado de precipitación*



Figura 2. *Pluviógrafo con sistema de reloj integrado*

Para ello al equipo se le incorpora un sensor que convierte la intensidad o nivel de la lluvia en una señal medible. Utilizando el pluviógrafo se conoce la intensidad de precipitación, que se define como la altura de precipitación entre el tiempo en que se origina (Δt).

Piezómetro abierto tipo Casagrande

Instrumento que permiten medir la presión de agua contenida en los poros del suelo (presión positiva), cuyos resultados son expresados en metros equivalente a la presión. Al igual que los tensiómetros, los piezómetros son dispositivos que se instalan en el interior de la masa del suelo (figura 3), los piezómetros generalmente se colocan dentro de un bulbo poroso confinado en su base y lateralmente por el propio suelo, y en su parte superior mediante un sello formado artificialmente.

Este método de instalación permite que los piezómetros sólo respondan a la presión del agua que se transmite al bulbo poroso en el que se aloja el dispositivo de medición para que sólo respondan a la presión del agua, y no a presiones de agua correspondientes a otras elevaciones (Dunnicliff, 1993).

Tensiómetro (Sensor de succión) SR1000

Instrumento que se utiliza para medir las tensiones que se generan en el agua atrapada en los espacios capilares de una masa de suelo, cuyas medidas son expresadas en Kpa.



Figura 3. Piezómetro de tubo abierto tipo Casagrande con punta porosa plástica (Dunnicliff, 1993)

Con la llegada de las lluvias, la succión o presión negativa en el agua contenida en el subsuelo se pierde, e incluso se genera una presión positiva (presión de poro). Este aumento de la presión de poro reduce la resistencia del subsuelo favoreciendo la inestabilidad de laderas, el instrumento esta conformado por un tubo hermético con una punta de cerámica porosa en la base, un manómetro cerca de la tapa y una tapa-sello hermética (Figura 4).

Water content reflectometer CS615

Instrumento muy útil el cual proporciona medidas sobre el contenido volumétrico del agua (grado de humedad) en los poros del suelo expresados en %, esto quiere decir el volumen de agua que ocupa con respecto al volumen del suelo en un momento dado.

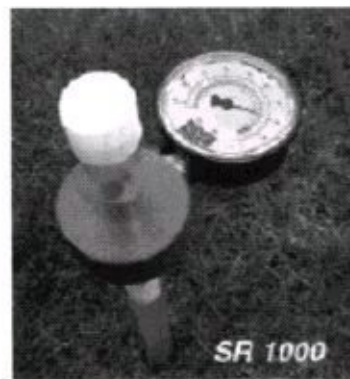


Figura 4. Elementos que componen un tensiómetro.

Usando las técnicas del TDR (time domain reflectometry) permite deducir la constante dieléctrica de un material a la propagación de las ondas, ya que guarda relación la constante dieléctrica con el grado de humedad del suelo (figura 5). El TDR es una nueva tecnología que permite la supervisión en profundidad del movimiento de una ladera a través de la conducción de pulsos eléctricos donde se registra, ubica las deformaciones del suelo con prontitud y exactitud.

Este instrumento esta conformado por dos varillas metálicas insertadas dentro del suelo que actúan como guías para la propagación de un pulso electromagnético

enviado desde un osciloscopio. Cuando el pulso electromagnético encuentra una discontinuidad, parte de la energía es devuelta hacia el osciloscopio, atenuándose el voltaje del mencionado pulso (Nielsen et al., 1995).

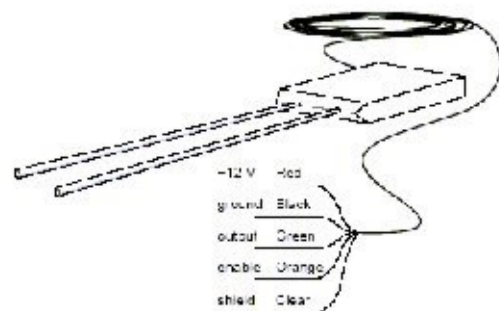


Figura 5. Water Content Reflectometer CS615 (Campbell Scientific, Inc.,1996)

Correlación de instrumentos

Piezómetros abierto tipo Casagrande	Tensiómetros SR1000	Water content reflectometer CS615
- Operación simple - costo de instalación factible - alta confiabilidad - permite medir presiones positivas - no existe problemas de corrosión - no requiere mantenimiento	- Operación simple - costo de instalación factible - fiabilidad muy alta - permite medir presiones positivas y negativas - rango de medición (0 -90cbar) - vida útil muy larga - mantenimiento bajo	- Lecturas son muy rápidas - usando la técnica del TDR (<i>Time domain reflectometry</i>) permite deducir la constante dieléctrica de un material que guarda relación con el contenido de humedad. - su precisión depende de la calibración general, textura y composición mineral del tipo de suelo ($\pm 2\%$)

Sistemas automáticos de monitoreo

De otro lado la integración de la hidrología con la ingeniería ha conducido al uso imprescindible del computador en el procesamiento de información existente y en la simulación de ocurrencia de eventos futuros. En los Estados Unidos de América se lleva a cabo el monitoreo en tiempo real de un número considerable de deslizamientos. Así para ayudar a reducir el riesgo que poseen estas laderas, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), en cooperación con otras agencias actúa con prontitud para proveer el monitoreo continuo en tiempo real, deformaciones en el terreno, presiones de poro, precipitación, aceleraciones del terreno (Figura 6).

Los datos obtenidos se transmiten a las computadoras del USGS en un intervalo de 10 minutos, bajo condiciones normales. El USGS opera un número considerable de monitoreos de deslizamientos en tiempo real, algunos incluso con acceso del público en general a través de Internet.

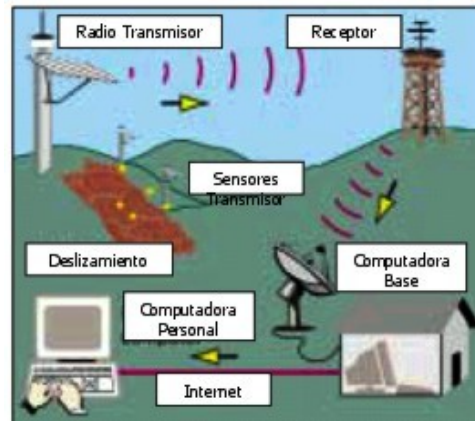


Figura 6. Red de la USGS para la transmisión en tiempo real de datos de deslizamientos de ladera.

Características de los sistemas de control remoto.

La USGS para el monitoreo de deslizamientos cuenta con:

- Operación de manera continúa
- Operación totalmente automatizada
- Programación periódica de medidas, ordenación de los puntos de medida por unidad de tiempo y de aparato.
- Configuración de la transferencia de datos
- Convertir los datos a unidades ingenieriles.
- Representación de valores diarios
- Imprimir los datos para luego publicarlos en Internet

METODOLOGÍA

Para el *monitoreo de la presión del agua en el subsuelo* se debe de tomar en cuenta las fluctuaciones en los niveles del agua dentro del terreno, provocadas por las variaciones estacionales y los cambios climáticos, que generan diferentes estados de esfuerzos en la masa del suelo. En tiempos de sequía el suelo se mantiene parcialmente saturado, lo que provoca presión negativa en el agua contenida en sus poros, favoreciendo con ello el aumento de su resistencia cortante.

La instalación de los instrumentos deben de estar tanto en el pie como en la cima de la ladera, con ello se tendrá un control general que abarque el área propensa al deslizamiento. *Los piezómetros como los tensiómetros* tienen que contar con transductores eléctricos o sensores que les permita transmitir su información a distancia para su respectiva recepción y análisis, deben ser colocados a diferentes profundidades con la finalidad de hacer un seguimiento de los niveles del agua, estado de presiones y grado de humedad del suelo.

El water content reflectometer puede ser instalado de manera perpendicular o subparalela a la ladera con la finalidad de medir el contenido volumétrico del agua en los poros del suelo pero tomando en cuenta la composición litológica de la ladera ya que puede verse afectada sus

lecturas con el cambio de la constante dieléctrica de los distintos material que pueden estar conformando la zona de estudio .

Para el monitoreo fue empleado un *sistema automático de adquisición de datos*, el cual permite un monitoreo prácticamente continuo y que resuelve los problemas de confiabilidad, accesibilidad y seguridad. La lectura de estos transductores será registrada automáticamente, con una periodicidad establecida (10 ó 30 minutos) atendiendo a la rapidez en el cambio de la succión medida (Mendoza, Domínguez , Noriega , Guevara. 2002).

APLICACIONES DE MEDICIONES DE PRESIÓN DEL AGUA Y DE PRECIPITACIÓN

Malasia

El objetivo fue estudiar la variación de la precipitación pluvial y la succión en el terreno en laderas de ese país. Las succiones fueron medidas con tensiómetros y bloques mátricos o de humedad, instalados a diferentes profundidades; y la precipitación con un pluviómetro de cubeta automático. En la Figura 7 muestra el arreglo esquemático de la instrumentación de campo, así como un detalle en un sitio de colocación de piezómetros, pluviómetros y tensiómetros (Faisal, 2000).

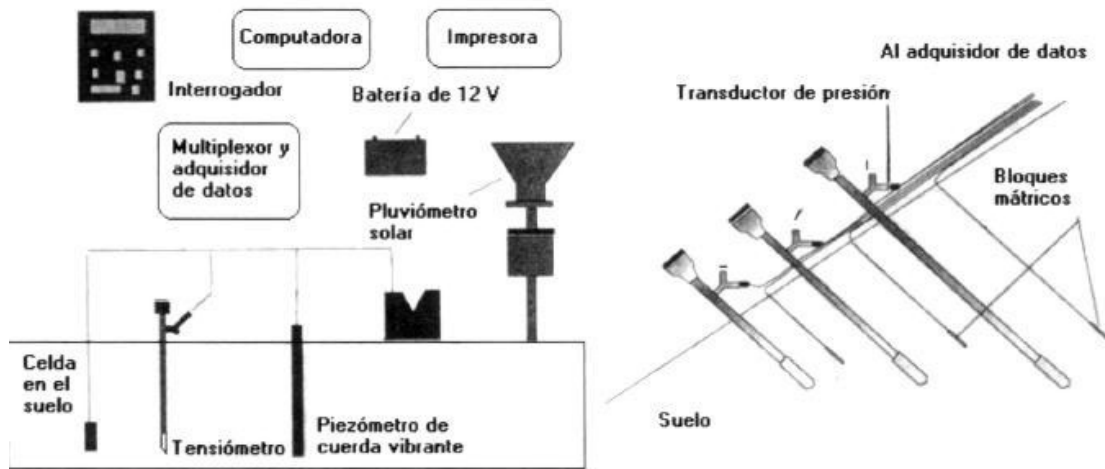


Figura 7. Esquema de la instrumentación de una ladera en Malasia, con la aplicación de pluviómetros, piezómetros, tensiómetros conectados a un sistema de medición automático (Faisal, 2000)

El sistema de adquisición de datos funciona con una unidad de energía solar, la ladera estudiada forma parte de un corte en una autopista en Malasia, constituida con suelos residuales. En la Figura 8 se presenta su sección y el arreglo de los sensores donde P1 y P2 representa la posición de los piezómetros, instrumentación para la medición de la succión con la configuración siguiente en cada posición, S1 a S4 tensiómetro y termómetro a 30, 92 y 124 cm de profundidad.

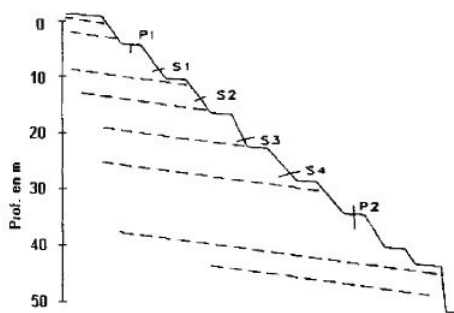


Figura 8. Sección transversal del corte y arreglo de instrumentos (Faisal, 2000)

En la Figura 9 da cuenta de las respuestas de los tensiómetros ubicados en la berma 4, se distingue que las lecturas de succión para los sensores más superficiales son mayores que los relativamente más profundos. Además la respuesta debida a la lluvia es menos pronunciada conforme aumenta la profundidad; así mismo al ocurrir un cierto lapso sin lluvia, se aprecia un aumento de succión, y una reducción repentina con la ocurrencia de lluvias.

Estos hechos muestran que antes de que se desarrolle presión positiva en el agua, produce reducción de la resistencia cortante de los suelos al punto de provocar la falla de una ladera, *la condición de inestabilidad se inicia con la reducción de la presión negativa o succión*. En efecto, debe de recordarse que el mecanismo de falla de una ladera comúnmente se inicia con la infiltración de agua de lluvia que causa una reducción de la succión mátrica

en la zona de suelo no saturado; y con ello una disminución de los esfuerzos efectivos.

Singapur

En efecto las mediciones de succión en Singapur muestran sin duda que el ascenso del nivel freático, resultado de la precipitación pluvial (figura 10), provoca una disminución de la succión (Deutscher, 2000).

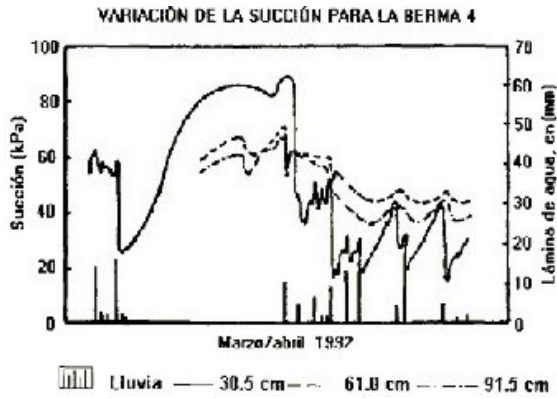


Figura 9. Evolución de la succión mátrica en la berma 4, en el lapso de marzo-abril, 1992 (Faisal, 2000)

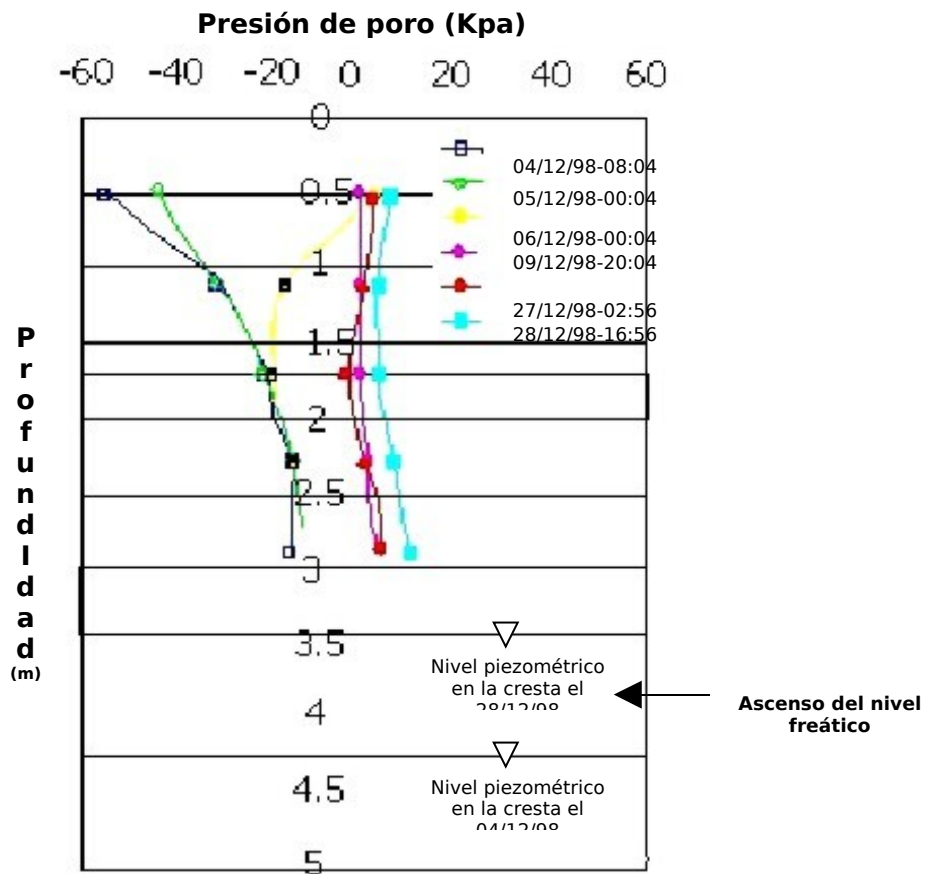


Figura 10. Evolución de la presión en el agua del suelo de una ladera en Singapur (Deutscher, 2000)

Estos resultados nos indican también que existen periodos o tiempos clave que deben considerarse en el programa de monitoreo estos son:

- Al final de un periodo seco prolongado, cuando las presiones en el agua se encuentran en un mínimo (esto es estabilidad de laderas en un máximo)
- Siguiendo un evento o una serie de eventos de lluvias intensas, cuando la presión en el agua alcanza un máximo (estabilidad de ladera en un mínimo)
- Durante un evento de lluvia intenso, cuando la distribución de la presión en el agua se encuentra en transición.

APLICACIÓN DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE MONITOREO

Se tiene el caso de los deslizamientos ocurridos en lugares cercanos a las ciudades de Edmonds y Everett, Washington. (EE.UU.), donde se aplico un monitoreo hidrológico con la utilización de varios equipos los cuales lograron determinar el grado de humedad del suelo debido a las precipitaciones intensas y prolongadas que guarda relación con el número de deslizamientos ocurridos en la zona, para lo cual se aplicaron una serie de instrumentos (piezómetros, tensiómetros, water content reflectometer) cuyos datos son enviados por telemetría para su proceso e interpretación (L. Baum, P McKenna, W Godt, L Harp y McMullen.2004).

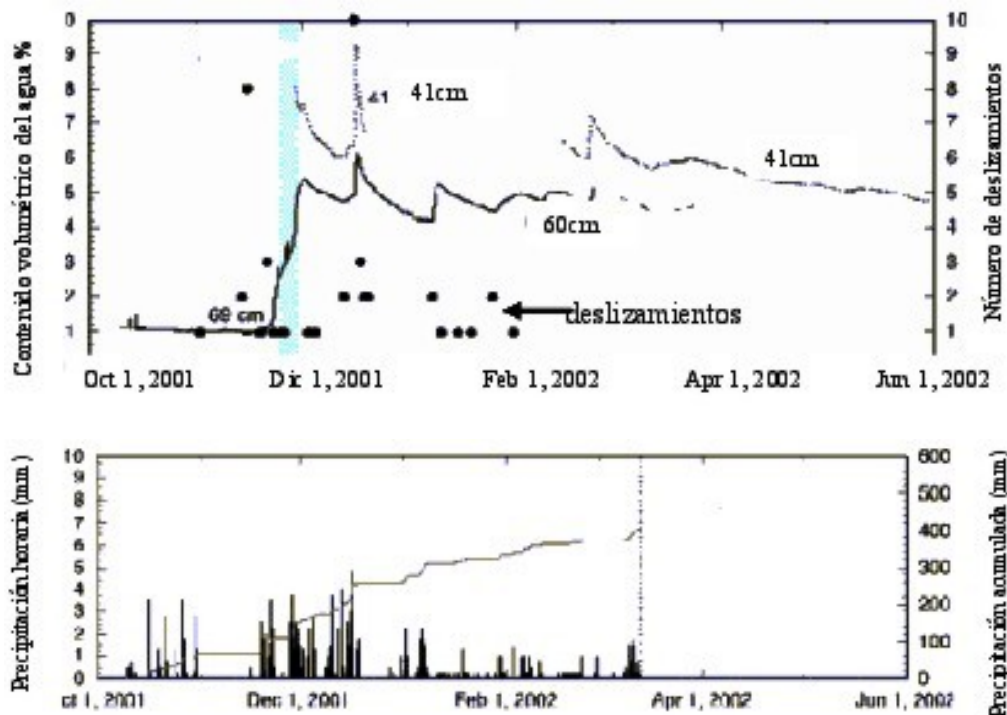


Figura 12. Precipitación horaria y medición de la humedad del suelo por medio de water content reflectometer colocados a 41 y 69cm de profundidad en Edmonds, Washington, EE.UU. Observación desde 10 de octubre de 2001 al 31 de mayo de 2002 (Chleboard, 2003; Chleborad, A.F., U.S. Geological Survey, 2004)

Estación de lluvia periodo (2001-2002)

En Edmonds y Everett el monitoreo se hace durante el invierno, estación lluviosa entre 2001-2002 indica que la humedad se propaga hacia abajo del suelo en ambos lugares.

Edmonds

Las mediciones del contenido volumétrico del agua o el grado de humedad del suelo se realizó a profundidades de 41 a 69cm durante la estación de lluvia (2001-2002), que muestra la evidencia de la propagación de la humedad frente a la intensidad de las precipitaciones, duración y antecedentes de la humedad del suelo (Figura 12).

Tres sensores fueron instalados a partir de octubre 2001 (water content reflectometer), la obtención y almacenamiento de datos tuvieron valores óptimos a menor profundidad del suelo ubicados a 41cm y que el flujo de agua es menor a profundidades mayores a dicha distancia. La base de datos obtenida fue a partir del 10 de octubre de 2001 al 31 de mayo de 2002.

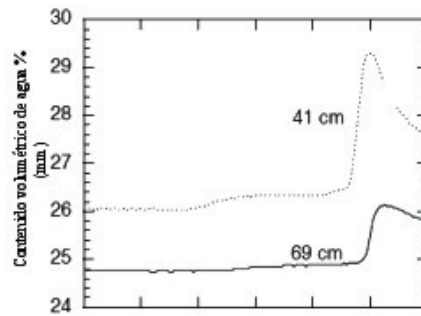


Figura 13. Incremento del grado de humedad en su punto máximo a 41cm de profundidad que a 69cm (Chleboard, 2003; Chleborad, A.F., U.S. Geological Survey, 2004)

Everett

Se instalaron varios equipos (water content reflectometer) durante la estación lluviosa entre los años 2001-2002, ubicados a profundidades entre 46 y 74cm entre mediados de octubre y principios de noviembre cuyos resultados sobre el grado de humedad del suelo en Everett es superior a la registrada en Edmonds (figura 14). La razón principal es el contenido de arcilla que afecta su constante dieléctrica aumentando su valor, por lo cual se especifica la calibración del suelo medidas exactas sobre la humedad del suelo.

A profundidades de 74cm hay mayor contenido de humedad debido a las condiciones de los poros y el contenido de arcilla del suelo (figura 15). El water content reflectometer ha registrado relativos cambios de humedad a través del tiempo entre el 10 de octubre de 2001 al 29 de mayo de 2002.

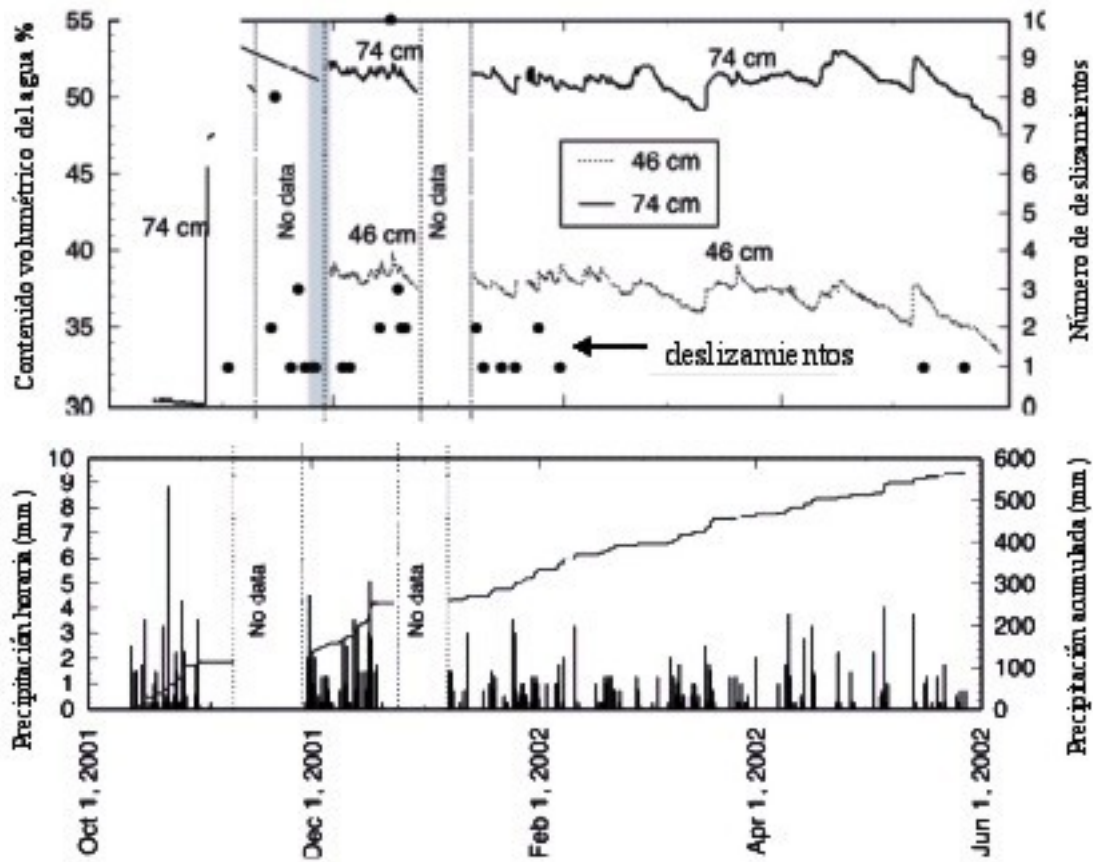


Figura 14. Precipitación horaria y medición de la humedad del suelo por medio de water content reflectometer colocados a 46 y 74cm de profundidad en Everett, Washington, EE.UU. Observación desde 10 de octubre de 2001 al 29 de mayo del 2002, (Chleboard, 2003; Chleborad, A.F., U.S. Geological Survey, 2004)

Muchos deslizamientos ocurrieron en el área de Edmonds y Everett a lo largo del periodo de monitoreo. Los dos lugares guardan una correlación entre la actividad de los deslizamientos, el tiempo de las precipitación, la presión de los poros con lo que se arma una base de datos que guarda relación con los fenómenos de remoción en masa. La intensidad de las precipitaciones a contribuido al cambio en las condiciones del suelo asociados a los deslizamientos ocurridos en Edmonds y Everett.

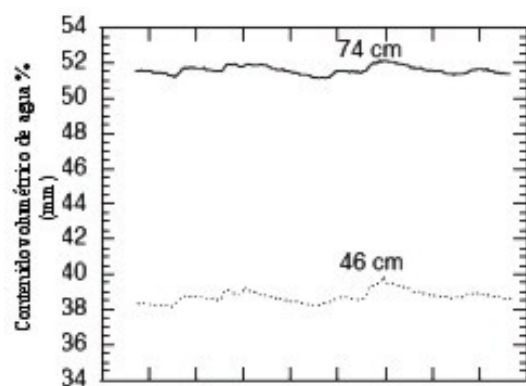


Figura 15. Incremento del grado de humedad en su punto máximo a 74cm de profundidad que a 46cm debido a las condiciones del suelo (Chleboard, 2003; Chleborad, A.F., U.S. Geological Survey, 2004)

DISCUSIÓN

De las aplicaciones mencionadas la más apropiada para tener un monitoreo hidrológico en zonas susceptibles a deslizamientos de forma automática sobre el control de la evolución de las condiciones del suelo causados por las precipitaciones intensas y prolongadas y que a la vez están relacionadas con la ocurrencia de deslizamientos es el aplicado por la USGS el cual hace un tratamiento de la información en tiempo real, ya que sus sistemas e instrumentación son adecuadas para el análisis e interpretación de los datos obtenidos por telemetría de los equipos de medición de la presión y grado de humedad del suelo, haciendo seguimiento del mismo con un intervalo de 10 minutos.

Sobre todo en el uso del tensiómetro y el water content reflectometer ya que son los primeros en detectar el cambio del estado de tensiones o presiones del suelo cuando acontecen las precipitaciones con lo que se consigue un sistema de alerta ante posibles desastres. Pero también se debe de tomar en cuenta los resultados obtenidos en Malasia y Singapur quienes demostraron la relación que existe entre la disminución de la succión con la ocurrencia de las precipitaciones intensas y prolongadas con lo que se prevé y toma medidas necesarias para implementar un sistema de monitoreo hidrológico en las zonas susceptibles a deslizamientos

APLICACIONES EN NUESTRO PAÍS

El Perú aún no cuenta con organismos que realicen o apliquen sistemas automáticos de monitoreo ante la posible ocurrencia de deslizamientos. En forma general el monitoreo hidrológico en nuestro país esta a cargo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), con la ayuda de la red nacional de estaciones de observación (climatología sinóptica, pluviométrica, hidrológica limnimétrica, limnigráfica) y con la obtención de imágenes del satélite GOES 10, cuyas imágenes son necesarias para el pronóstico del tiempo.

En base a los registros de precipitación y de su grado de intensidad este organismo prevé y toma acciones ante la posible ocurrencia de deslizamientos, aludes, inundaciones y sobresaturación de embalses coordinando con Defensa Civil, Ministerio de Agricultura, PREDES con la finalidad de mitigar posibles daños a la comunidad.

La utilización de piezómetros, tensiómetros mayormente se da en el sector privado y en la estabilidad de presas como por ejemplo Pillones en Arequipa inaugurada el 15 de agosto del 2006 con el propósito de monitorear su comportamiento se han instalado diversos instrumentos (piezómetros hidráulicos tipo Casagrande, piezómetros eléctricos de cuerda vibrante) que proporcionan información confiable que ayudarán a

evitar condiciones de inestabilidad peligrosas de la estructura.

Por otra parte las zonas vulnerables a la ocurrencia de deslizamientos (INDECI, 2004) y en los que se debe de prever un monitoreo hidrológico son:

- Callejón de Huaylas (departamento de Ancash)
- Sector: Pasco-Huánuco-Tingo María-Pucallpa (departamentos de Pasco, Huánuco-Loreto)
- Cuenca del río Mantaro (departamentos de Junín, Huancavelica y Ayacucho)
- Cuenca del río Rímac (departamento de Lima)
- Sector: Chalhuanca- Abancay-Cusco (departamentos de Apurímac y Cusco)
- Cuenca del río Vilcanota (departamento de Cusco)
- Sector: Tarapoto-Moyobamba-Pedro Ruiz-Corral Quemado (departamentos de Amazonas, San Martín)
- Sector: Olmos-Corral Quemado-Bagua Chica-Estación 6 del ONP- Sarameriza (departamentos de Lambayeque, Cajamarca, Amazonas)
- Sector: Tarma-La Merced-Satipo y el ramal La Merced-Oxapampa-Pozuzo (departamentos de Pasco y Junín)
- Sector: Cuyo-Cuyo-Sandia-San Juan del Oro-río Heath (departamento de Puno)
- Sector: Macusani-San Gabán- Olacocha-Puente Otorongo (departamento de Puno)
- Sector: Urcos- Quincemil- Puente Inambari- Mazuko-Puerto Maldonado

(Departamentos de Cusco y Madre de Dios)

- Sector: Otuzco-Usquil- Villarreal (La Libertad)
- Sector: Chuquicara - Pallasca-Conchucos (departamento de Ancash)

Para ello existen entidades con las que cuenta el Perú quienes realizan estudios de los peligros geológicos para determinar sus efectos potenciales en la comunidad y el medio ambiente, para la prevención y mitigación a favor de la comunidad, la salud y el desarrollo de la población como:

- INGEMMET (Mapas de susceptibilidad de deslizamientos)
- Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica y Mitigación de Desastres (CISMID-UNI)
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)
- Instituto Nacional de Recursos Naturales(INRENA)
- Instituto Geofísico del Perú IGP (trabajos a niveles de cuenca como en el valle del Colca – Arequipa)
- Así como la participación de universidades estatales del país

CONCLUSIONES

Uno de los factores naturales más importantes que ocasionan la inestabilidad de laderas son las lluvias intensas y prolongadas. La medición por medio del pluviómetro, piezómetro, tensiómetro, water content reflectometer proporciona medidas para conocer las posibles causas

de la inestabilidad de laderas de una manera temprana, y así reducir sus efectos.

- La instrumentación de laderas ha tenido mejoras recientes, y la aplicación creciente de la tecnología computacional ha podido desarrollar sistemas automáticos de medición y monitoreo en zonas susceptibles a deslizamientos, sistemas avanzados, en que los datos son procesados para predecir la ocurrencia de fallas, y están ligados a una alarma o sistema de precaución.

- Con la llegada de las lluvias, la succión o presión negativa en el agua contenida en el subsuelo se pierde, e incluso se genera una presión positiva (presión de poro). Este aumento de la presión de poro reduce la resistencia del subsuelo favoreciendo la inestabilidad de laderas.

- Las medidas obtenidas con los tensiómetros y piezómetros para los casos registrados en Malasia y Singapur fueron de gran utilidad ya que demostraron la relación que existía entre la disminución de la succión debido a ocurrencia de las precipitaciones. Por otro lado el water content reflectometer utilizado en Edmond y Everett demostró la propagación de la humedad, debido a las fluctuaciones del agua identificado a menor profundidad. Instrumentos conectados a un sistema automático de monitoreo lo que permite un seguimiento en tiempo real de los deslizamientos.

- Se distingue que las lecturas de succión para los instrumentos ubicados a poca profundidad del subsuelo son mayores que

los relativamente más profundos como los registrados por el water content reflectometer. Además la respuesta debida a la lluvia es menos pronunciada conforme aumenta la profundidad; así mismo al ocurrir un cierto lapso sin lluvia, se aprecia un aumento de succión, y una reducción repentina con la ocurrencia de lluvias.

RECOMENDACIONES

- El uso de pluviómetros, piezómetros, tensiómetros, water content reflectometer requiere siempre de supervisión ya que cada uno proporciona información que complementa en forma oportuna para la interpretación y obtención de los resultados obtenidos en el monitoreo hidrológico en zonas susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos; como son las mediciones de los tensiómetros quienes son los primeros en detectar el cambio de la presión de los poros al empezar la estación de lluvia.

- Un sistema de supervisión ideal para la temprana advertencia de actividad de deslizamientos consistiría en estaciones continuas en la supervisión de la precipitación y humedad del suelo de la superficie y el subsuelo, para obtener una base de datos confiable para la supervisión científica a largo plazo sobre la actividad de deslizamientos.

- El monitoreo hidrológico debe de realizarse al final de un periodo seco prolongado, cuando las presiones en el agua se encuentran en un mínimo (esto es estabilidad de laderas en un máximo), y

también siguiendo un evento o una serie de eventos de lluvias intensas, cuando la presión en el agua alcanza un máximo (estabilidad de ladera en un mínimo).

- Antes de llevar a cabo el monitoreo hidrológico se debe de hacer un reconocimiento geológico de la zona de estudio, ya que pueden intervenir diversos factores causantes de deslizamientos como sistemas de fallamiento, infiltraciones de aguas superficiales provenientes de las actividades de riego, tipo de suelo, topografía, etc.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geofísico del Perú por permitirme realizar mis prácticas Pre-Profesionales en el Área de Investigación en Geodesia y Geología, al Ing. Juan Carlos Gómez Ávalos por su orientación y guía para realizar este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

Baum, L., McKenna, P., Godt, W., Harp, L. y McMullen, (2001): Hydrologic Monitoring of Landslide-Prone Coastal Bluffs near Edmonds and Everett, Washington, 1-17.

Campbell Scientific, INC., (1996): CS615 Water Content Reflectometer Instruction Manual, version 8221-07:Logan Utah, Campbell Scientific, INC. 4.

Chleborad, A., (2003): Preliminary evaluation of a precipitation threshold for anticipating the occurrence of landslides in the Seattle, Washington, Area: U.S. Geological Survey Open-File Report 03-463, 39p.

Deutscher, M., Gasmó, J., Rahario, H., Leong, E. y Tang, S., (2000): "Field measurements of pore-water pressure profiles in residual soil slopes of the Bukit Timah Granite Formation, Singapore". Unsaturated Soils for Asia, Rahardo, Toll & Leong (eds), Balkema, 777-782.

Dunnicliff, J. (1993): "Geotechnical Instrumentation for Monitoring field Performance", John Wiley & Sons, Inc. New York.

Mendoza, J., Domínguez, L., Noriega, I., Guevara, E. México DF, MX. 2002, Monitoreo de laderas con fines de evaluación y alertamiento. 36, 46-54.

Nielsen, D., Lagae, H. y Anderson, R., (1995): Time domain reflectometry measurements of surface soil water content. Soil Sci. Soc. Am. J. 59:103-105.

Sistema Nacional de Defensa Civil, (2004): Tomo II. Plan nacional para la prevención y atención de desastres, 32-33.

DESLIZAMIENTOS EN LOS VALLES MAJES - SIGUAS Y VÍTOR

WALTER NELSON CAHUANA OCHOA

Estudiante de Ingeniería Geológica
Universidad Nacional San Agustín de Arequipa
wcahuana@unsa.edu.pe

Investigación dirigida por: Ing. Juan Carlos Gómez Ávalos
Dirección de Investigación en Geodesia y Geología
Sede Central del Instituto Geofísico del Perú

RESUMEN

Los valles de Majes, Siguas y Vítor en el departamento de Arequipa son considerados zonas de peligro, debido a los fenómenos de geodinámica externa que se producen en las laderas de dichos valles. Es probable que la inestabilidad de laderas se debe por las filtraciones que se han registrado en las irrigaciones vecinas como el Proyecto Majes - Siguas (Primer Etapa), La Joya y La Cano, pero aún faltan estudios para determinar el problema y las causas que generan los deslizamientos en los valles de Majes-Siguas y Vítor. Como resultado de los deslizamientos sucede el ensanchamiento y colmatación de los ríos Siguas y Vítor, aumentando así el peligro de inundación. Además los efectos se han manifestado en los anexos y sectores de los valles como la Sub-Estación Sociedad Eléctrica SEAL (valle de Majes), Santa Ana y Pachaquí (valle de Siguas) y La Cano y Pie de Cuesta (valle de Vítor). Para resolver o mitigar estos problemas, las soluciones son de naturaleza interdisciplinaria con aspectos geológicos, geofísicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, geotécnicos y agrícolas, a la vez se propondrá alternativas para contrarrestar el problema, el análisis implica un reconocimiento geológico de las zonas susceptibles a los deslizamientos y las soluciones para lograr la estabilidad del talud debe de tomar en cuenta: el aumento de la resistencia del suelo mediante un adecuado sistema de drenaje, disminuir los esfuerzos actuantes mediante el cambio de la geometría del talud para reducir su altura y aumentar los esfuerzos de confinamiento mediante la construcción de muros de gravedad, pantallas atirantadas o bermas hechas del mismo suelo.

INTRODUCCION

Las filtraciones debido al uso desmedido de recursos hídricos aplicado al Proyecto de Irrigación Majes-Siguas (Primera Etapa) donde cada parcela recibe a 0.7 m³/ha/día de agua ya que lo normal es 0.57 m³/ha/día, es probable que sea el causante de una serie de impactos hidrogeológicos y medio ambientales en los anexos de los valles. Al parecer estos impactos no habían sido identificados durante la fase de planeamiento y construcción del proyecto en el año 1983, manifestándose después de muchos años de operación, al igual que las irrigaciones como La Joya y La Cano en el valle de Vítor; cuyos registros de

filtración y el proceso continuo de los deslizamientos a partir del año 1940 (Flores N. y Maggiolo P. 1975).

En el Perú los peligros geológicos como deslizamientos, derrumbes, desprendimiento de rocas y erosión de laderas, se producen en gran parte de sus 106 cuencas hidrográficas. Su incidencia se localiza principalmente en los flancos y laderas de fuerte pendiente en los valles de la costa y la selva alta, así como en los acantilados del litoral y en los cortes de carretera donde las condiciones litológicas, precipitaciones pluviales, le son favorables. Los deslizamientos constituyen rupturas de grandes masas de suelos,

rocas, rellenos artificiales o combinaciones de estos, que se desplazan pendiente abajo en un talud natural o artificial. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2005)

UBICACIÓN

El valle de Majes se encuentra en la provincia de Caylloma y los valles de Sigwas y Vítor en la provincia de Arequipa departamento de Arequipa, siendo accesibles por el tramo Arequipa-Camaná

de la carretera Panamericana Sur como se muestra en la figura 1. A lo largo del valle de Sigwas se encuentran los anexos al margen derecho aguas abajo del río Sigwas: San Juan de Pachachí, Santa Ana, Tambillo entre otros y en el valle de Vítor los sectores de La Cano y Pie de Cuesta, los cuales son afectados por las filtraciones y el proceso continuo de los deslizamientos.

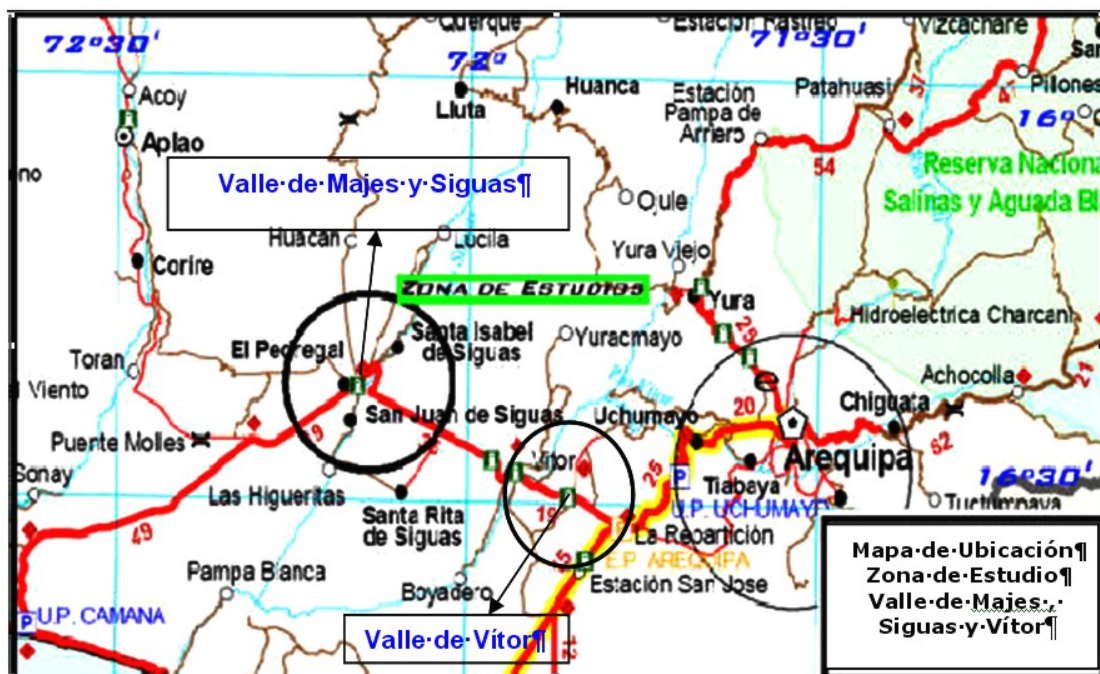


Figura 1. Mapa de ubicación de los valles Majes, Sigwas y Vítor departamento de Arequipa.

ASPECTOS GENERALES

Proyecto Integral Majes – Sigwas

El Proyecto Majes-Sigwas en su visión integral, se concibe como un proyecto de desarrollo regional de propósitos múltiples que integra las actividades agrícolas, pecuarias, industrial, energética. La concepción de la Ingeniería Hidráulica del proyecto Majes es la regulación y

derivación de recursos hídricos de las cuencas altas de los ríos Colca y Apurímac, hacia el río Sigwas a través de un sistema hidráulico de almacenamiento y regulación de las aguas en dos represas; la represa de Condoroma concluida totalmente y la represa de Angostura a ser construida en la segunda etapa, y distribuir las en la irrigación de hasta

65,000 hectáreas de tierras nuevas en las Pampas de Majes y Siguan, a través de 101 Km. de túneles y canales.

Complementariamente, el proyecto ha previsto el uso del agua en la generación de energía eléctrica a gran escala. (ProInversión, Gobierno Regional de Arequipa y Reseña Histórica del distrito de Majes).

Estratigrafía del área de estudio

En el área afloran rocas sedimentarias del Paleógeno – Neógeno como la Formación Moquegua compuesta por los miembros superior e inferior del mismo nombre, el conglomerado aluvial pleistocénico y depósitos recientes (figura 2). A continuación se describe cada uno de ellos (Ministerio de Energía y Minas).

Formación Moquegua (Paleógeno - Neógeno)

a) Miembro Inferior. Su litología consiste de areniscas arcósicas de grano medio a conglomerático, arcillas que se intercalan con láminas de yeso y conglomerados que son abundantes y poco consolidados.

b) Miembro Superior. Estos sedimentos se encuentran distribuidos en ambos márgenes del río Siguan, compuesto por areniscas blanco grisáceas de grano fino a

medio, con algunos horizontes de conglomerados cuyos clastos son redondeados a subredondeados.

Conglomerado aluvial pleistocénico

Se encuentra en gran parte de las pampas costaneras, yace en discordancia sobre la Formación Moquegua y se encuentra en parte cubierto por depósitos eólicos o aluviales más recientes, esta ligeramente consolidado formado por clastos redondeados a subredondeados de gneis, granito, riolita, traquita, andesita y cuarcita, con intercalaciones lenticulares de arcillas grises y cenizas blanquecinas (Fernández, E. 1997).

Terrazas Fluviales

Están constituidas por un alto porcentaje de arcilla y rodados ígneos angulosos y poco pulimentados, dicha textura evidencia que el depósito se ha formado por procesos aluviales en el curso del río Siguan.

Coluvios

Formados por desprendimientos de los clastos del conglomerado aluvial pleistocénico, estos depósitos suprayacen al miembro superior de la formación Moquegua.

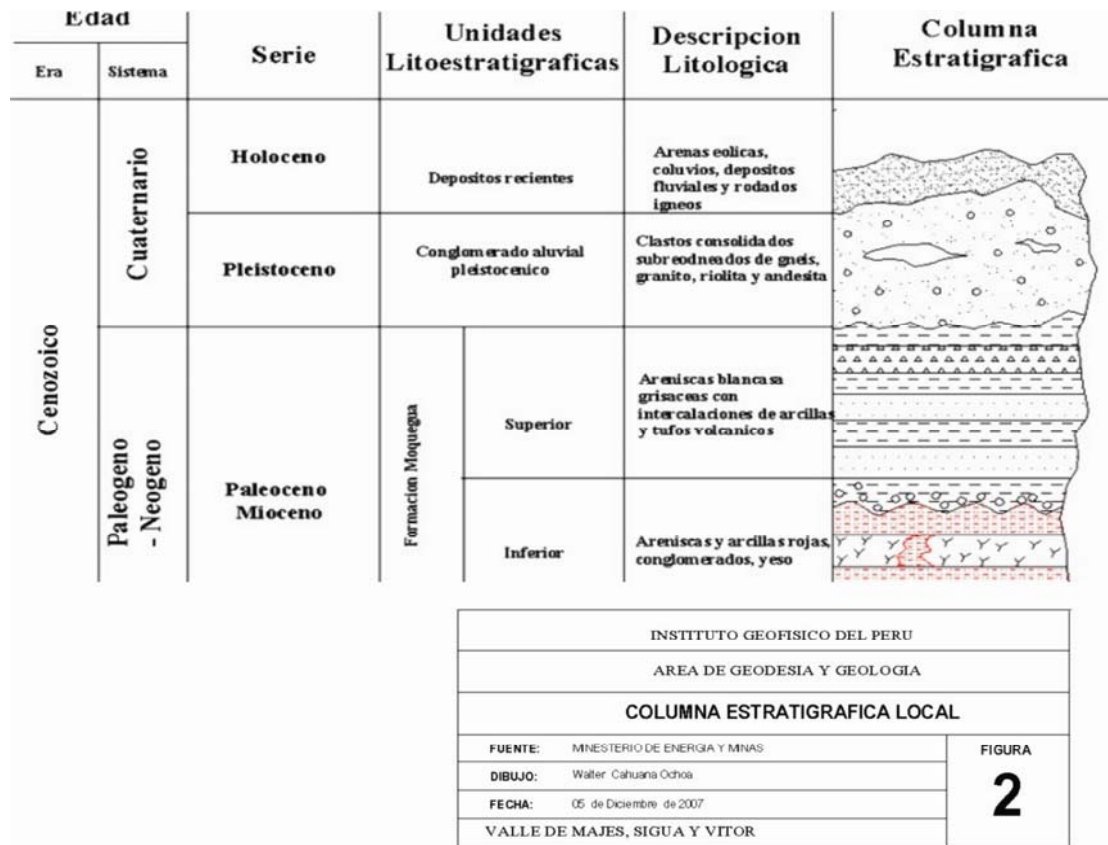


Figura 2. Columna Estratigráfica local.

GEODINAMICA EN LOS VALLES MAJES Y SIGUAS

Deslizamientos

Han tenido una actuación decisiva en el desarrollo de las vertientes de los valles, estos deslizamientos en los valles de Majes y Siguas, se producen probablemente a la infiltración de las aguas que usan para el riego de las parcelas, las mismas que actúan sobre el conglomerado aluvial pleistocénico de naturaleza permeable hasta alcanzar a las areniscas feldespáticas con niveles de yeso y arcillas del miembro superior de la Formación Moquegua, estas se comportan como semi-impermeables y una vez saturadas de agua se forma un nivel freático; además las areniscas

feldespáticas con matriz arcillosa facilitan la formación de una pasta que sirve como lubricante al contacto con la capa impermeable compuesta de arcillas. (Comunicación oral con Ing. José Cuadros, docente de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa)

Filtraciones

El uso desmedido de recursos hídricos debido al riego por gravedad y aspersión utilizados en la irrigación del proyecto Majes – Siguas (Primera Etapa), es posible que haya provocado la inestabilidad de laderas y que haya motivado a la generación de filtraciones que se exponen en la parte inferior del talud de la margen

derecha aguas abajo del río Siguas (figura 3).



Figura 3. Vista satelital de las aguas producto de las filtraciones que se resumen en el curso del río Siguas, valle de Siguas, departamento de Arequipa.

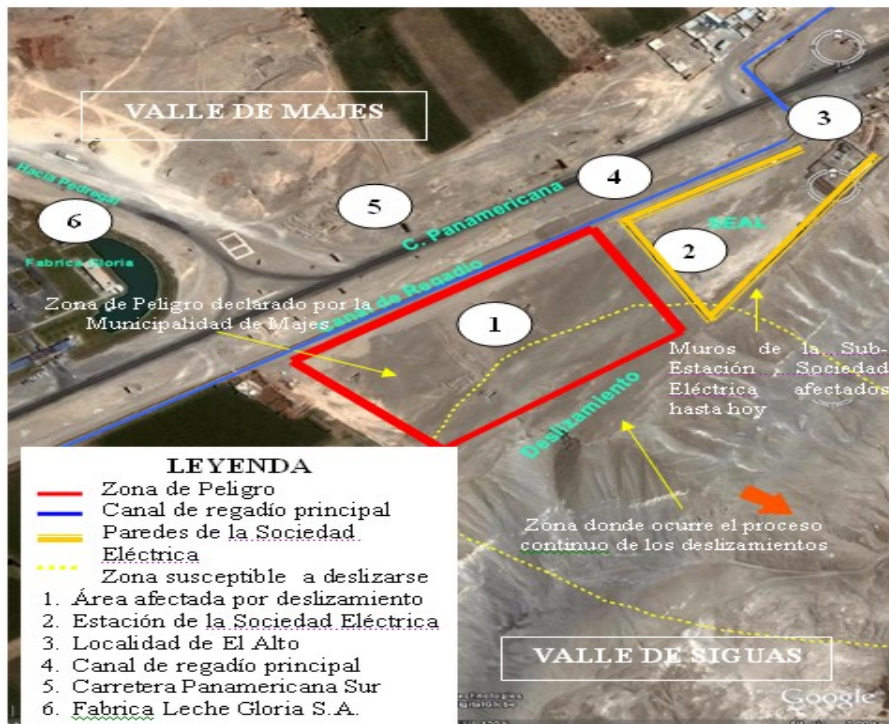


Figura 4. Vista satelital del lugar donde ocurren los deslizamientos entre la carretera Panamericana Sur y el tramo hacia la localidad de El Pedregal, la Sub-Estación Sociedad Eléctrica y la localidad de El Alto (valle de Majes) donde se tiene además las zonas que pueden ser afectadas en el futuro por el proceso continuo de los deslizamientos y que repercute en el valle de Siguas.

VULNERABILIDAD FÍSICA

Valle de Majes - Sigwas

La inestabilidad de laderas en las pampas de Majes y los hechos registrados por el proceso continuo de los deslizamientos y que han repercutido en el valle de Sigwas, se han detectado daños en los muros de la Sub-Estación de la Sociedad Eléctrica, además se ha demarcado una Zona de Peligro por parte de la Municipalidad de Majes, que esta cerca a un tramo del canal de regadío principal, este continuo proceso además podría provocar daños en el futuro a la carretera Panamericana Sur, la Fábrica Leche Gloria S.A. y el pueblo de El Alto como se muestra en la figura 4.

Como se comento al principio los deslizamientos en el valle de Majes y que repercute en el valle de Sigwas, es probable que se dieron debido al uso desmedido del agua de riego hacia las irrigaciones Majes-Sigwas, la cual filtra a través de las unidades litológicas presentes en la zona como el conglomerado aluvial pleistocénico con matriz arenosa y continua sobre los estratos subyacentes del Miembro Superior de la Formación Moquegua conformado por areniscas con intercalaciones de arcilla y tufos volcánicos que se comportan como una

capa permeable que al llegar a niveles arcillosos, estos impiden que el agua infiltre; por consiguiente se acumula el agua dando pase a la formación de un nivel freático, cuya humedad producto de las filtraciones se exponen aguas abajo del margen derecho del curso del río Sigwas. Dicho esto se pierde el grado de cohesión entre las partículas generando inestabilidad de laderas (derrumbes y deslizamientos), como se muestra en la figura 5.

A continuación se tiene dos croquis que demuestran un antes y un después la zona afectada por el deslizamiento provocado probablemente por la sobresaturación del suelo producto del agua de riego por gravedad y aspersión aplicado al proyecto de irrigación Majes-Sigwas (figura 6a), como se menciona aún faltan estudios que demuestren las causas que generaron la inestabilidad de la ladera. Todo el volumen de masa de suelo deslizado afecto parte de un tramo de la carretera carrozable hacia el anexo de Pachaquí, como también todo este volumen aproximado de 1'500 000 m³ de suelo y las aguas producto de las filtraciones, están próximos al curso del río Sigwas (figura 6b).



Figura 5. Vista del deslizamiento registrado desde el 2004 en el margen derecho aguas abajo del río Sigüas, donde se señala la zona donde aparecen las filtraciones, así como los lugares susceptibles a ser perjudicados.

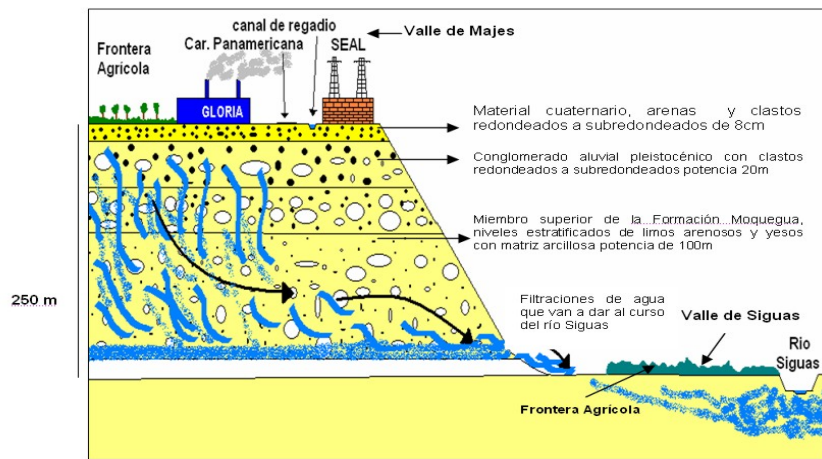


Figura 6a. Esquema que muestra la zona antes del deslizamiento en el valle de Majes y tiene repercusión en el valle de Sigüas (Ochoa, 2007).

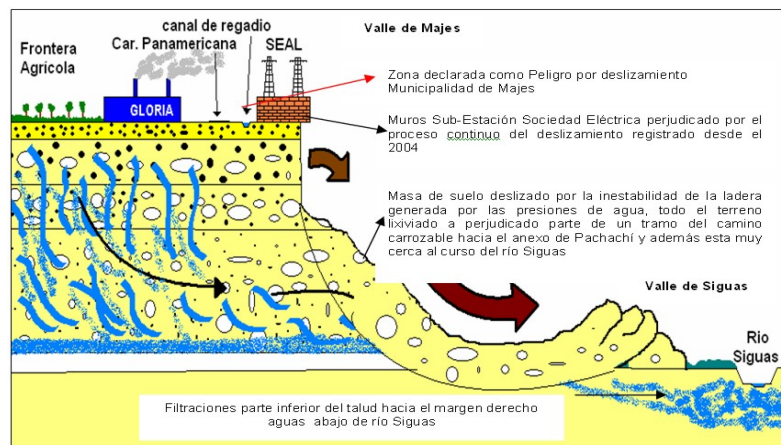


Figura 6b. Esquema que muestra la zona después del deslizamiento y esta cerca a la Sub-Estación Sociedad Eléctrica y la localidad de El Alto en el valle de Majes y repercute en el valle de Sigüas (Ochoa, 2007).

La Sociedad Eléctrica (SEAL), ha sido la entidad afectada por estar cerca al área del deslizamiento como se aprecia en la figura

7, como las uniones de las paredes están separándose, se indica la distancia de separación con su respectiva fecha.

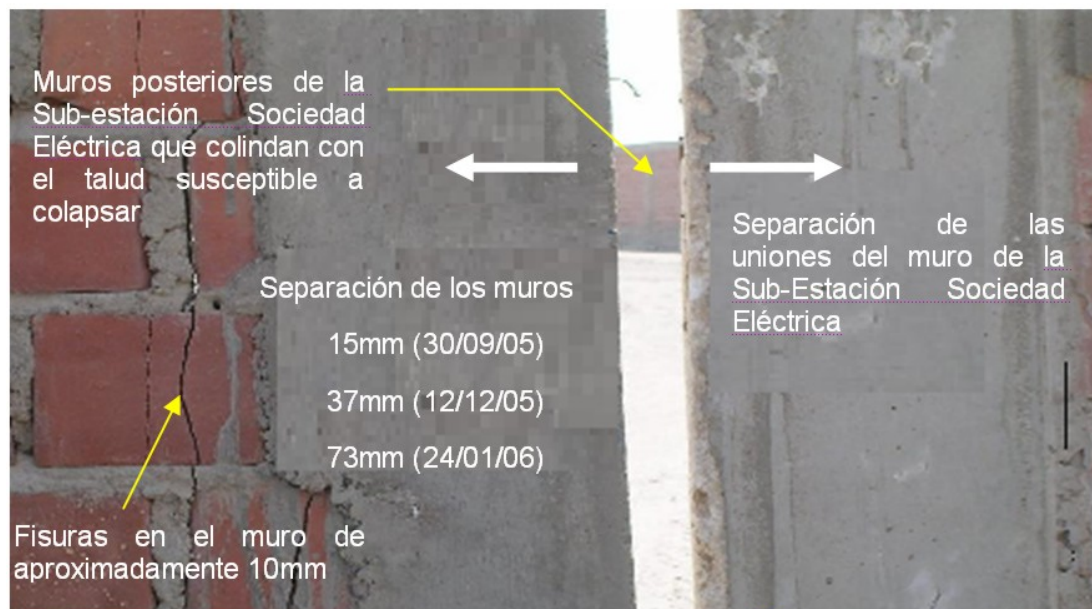


Figura 7. Separación de las uniones de una parte del muro de la Sub-Estación Sociedad Eléctrica SEAL que se encuentra en la Zona de Peligro demarcado por la Municipalidad de Majes debido al proceso continuo del deslizamiento registrado desde el 2004.

Como medida urgente se ha planteando que el valle de Sigwas sea declarado en emergencia por el Sistema Nacional de Defensa Civil. Dentro del planteamiento se está proponiendo la erradicación de los agricultores del valle de Sigwas, la habilitación de fondos para realizar los estudios de taludes en las pampas de Majes.

San Juan de Sigwas

En el sector de San Juan de Sigwas existen los anexos de Pachaquí y Santa Ana, ambos ubicados río abajo del puente Tambillo (figura 8). En diciembre de 2004

ocurrió un deslizamiento de 1'500 000m³ de tierra pertenecientes a las pampas de Majes. En julio y octubre de ese año paso lo mismo en el sector de Santa Ana, donde cayeron 2'150 000 m³ de tierra. La causa de estos deslizamientos se estima que fue debido a las filtraciones generada por el exceso de agua empleado para el riego de las parcelas en la sección D de la irrigación Majes-Sigwas, todas las parcelas reciben un módulo superior a 0.7 m³/ha/día de agua ya que lo normal es 0.57 m³/ha/día. Además como se menciono las aguas producto de las filtraciones se resumen en el río Sigwas (figura9).



Figura 8. Muestra la ubicación de la sección D y el anexo de Pachaquí, valle de Sigwas.

Hechos.- El día 08 de febrero de 2005 a las 09:30 horas, se produjo un deslizamiento de tierras sobre varias viviendas, provocado posiblemente por las filtraciones de agua del Proyecto de Irrigación Majes-Siguas (Primera Etapa)

Daños.- 24 personas afectadas, 05 viviendas afectadas.

Los deslizamientos ocurridos en Santa Ana han significado la pérdida de 14 Has de cultivo y la muerte de 20 cabezas de ganado.



Figura 9. Agua producto de las filtraciones que se dirigen al curso del río Sigwas, valle de Sigwas.

Valle de Vítor

El valle de Vítor tiene una extensión de 2,624 hectáreas de las cuales 2,070 hectáreas se encuentran bajo riego. El

impacto más significativo es el deterioro progresivo de la calidad del agua superficial y los deslizamientos registrados en el sector La Cano (figura 10).

Esto se debe principalmente a la lixiviación del suelo, las sales contenidas en las unidades litológicas sedimentarias de la Formación Moquegua de la zona, sales que están disueltas en las aguas de las filtraciones producto de las irrigaciones de La Joya y La Cano, así como la

formación de una laguna en el valle de Vitor (figura 11 y 12), estos procesos de drenaje y contaminación de las aguas superficiales comienzan a partir del año 1940, y en La Cano a partir del año 1975 (Flores N. y Maggiolo P. 1975).



Figura 10. Deslizamiento del talud en el sector La Cano con sus respectivas unidades litológicas valle de Vitor (Flores N. y Maggiolo P. 1975)



Figura 11. Laguna que se ha formado por las filtraciones en el sector La Cano, valle de Vitor .

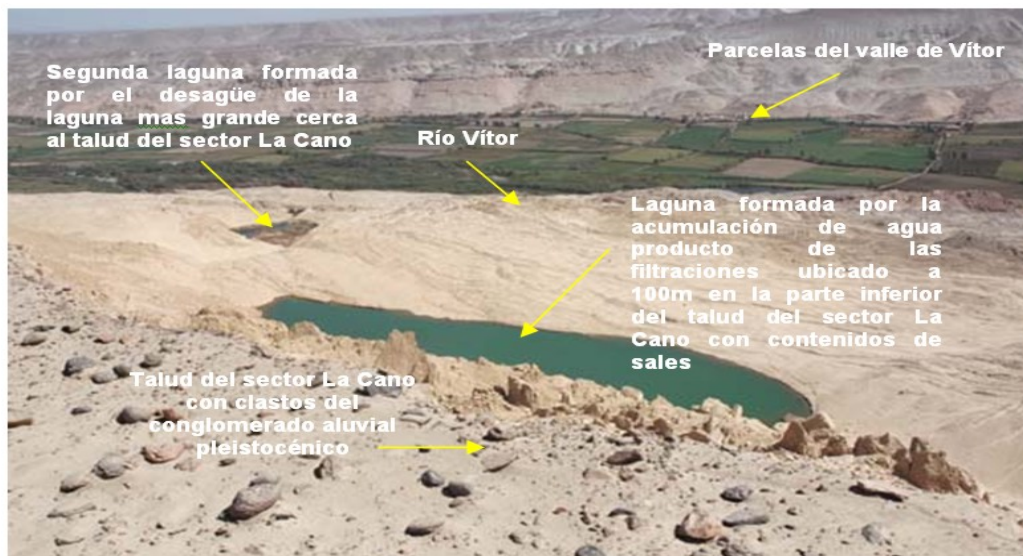


Figura 12. Laguna originada por las aguas resumidas producto de las filtraciones en el sector La Cano así como la pequeña laguna en el fondo izquierdo de la imagen.

Según testigos presenciales las filtraciones en las cuestas vecinas a La Joya, particularmente en la localidad de Pie de Cuesta (figura 13), comenzaron alrededor del año 1956. Con el tiempo las

filtraciones se canalizaron en sendos cursos de agua, los cuales bajan torrencialmente y van a aumentar directa o indirectamente el caudal del río Vitor (Flores N. y Maggiolo P. 1975).



Figura 13. Deslizamiento en el sector Pie de Cuesta, valle de Vitor (Flores N. y Maggiolo P. 1975).

ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA CONTRARRESTAR EL PROBLEMA

Análisis

Es necesario formular estrategias para mitigar los peligros geológicos e impactos hidrogeológicos y ambientales negativos de las irrigaciones de Majes – Siguas (valle de Majes y Siguas), La Joya y La Cano (valle de Vítor). La investigación de las causas que producen inestabilidad de laderas implica el reconocimiento geológico de las zonas donde ocurren los deslizamientos bajo condiciones de saturación, poniendo especial énfasis en los tipos de suelos y rocas susceptibles a los deslizamientos, sus espesores y la facilidad o dificultad para el drenaje del agua intersticial, con el apoyo de métodos geofísicos y geotécnicos, que permitan realizar los análisis de estabilidad de ladera y recomendar los trabajos para mitigar los daños que puedan ser ocasionados por los deslizamientos (León. 1996).

a) Reconocimiento Generales: En los reconocimientos generales de las laderas susceptibles a deslizamientos (valle de Majes, Siguas y Vítor) es necesario identificar los siguientes aspectos importantes:

* Relieve topográfico, geomorfología y pendientes escarpadas.

* El conocimiento existente respecto a las pampas, su génesis, composición estratigráfica, y propiedades geológicas.

* Grado de meteorización o alteración de las rocas.

* Estructuras de las rocas, orientación de planos de fallas.

* Aspectos hidrogeológicos, nivel freático, manantiales y vías de drenaje.

* Vegetación presente en las laderas y grado de inclinación de los árboles.

* Usos actuales del suelo.

* Cantidad de lluvia que usualmente cae sobre la zona.

* Procesos erosivos, tectónicos y sísmicos actuantes sobre la zona

* Modificaciones del relieve causadas por los procesos naturales y antrópicos.

* Identificación de los deslizamientos actuales o antiguos y sus causas.

* Daños visibles en las estructuras, las deformaciones de los taludes tales como agrietamiento, depresiones, expansiones, rotura de pavimentos o protecciones de tuberías de conducción, etc.

b) Investigaciones detalladas: Una vez identificadas las zonas susceptibles a deslizamientos se debe proceder a estudiar detalladamente sus condiciones sub-superficiales, a fin de determinar los volúmenes de suelos o de rocas expuestos a deslizamientos, ya que la magnitud del riesgo y de los daños dependerá de los volúmenes de materiales deslizantes.

La caracterización geomecánica e hidrogeológica se realiza en el campo, mediante las observaciones de afloramientos, exploración geofísica, sondeos mecánicos con ensayos de penetración estándar, calicatas para descripción, muestreo y ensayos de laboratorio que complementan la caracterización de los materiales (León, 1996).

Soluciones

Tan pronto se compruebe que hay indicios de peligro de inestabilidad en un determinado talud, se debe buscar la mejor solución y considerar los aspectos de costo, naturaleza de las obras afectadas (tanto en la cresta como en el pie del talud), tiempo estimado en el que se puede presentar el problema, disponibilidad de los materiales de construcción, etc (Hunt, 1984). En las soluciones propuestas se debe considerar

- Aumentar la resistencia del suelo: son las soluciones que aplican drenaje en el suelo para bajar el nivel freático o la inyección de sustancias que aumentan la resistencia del suelo, tales como el cemento u otro conglomerante.

- Disminuir los esfuerzos actuantes en el talud; soluciones tales como el cambio de la geometría del talud mediante el corte parcial o total de éste a un ángulo menor o la remoción de la cresta para reducir su altura.

- Aumentar los esfuerzos de confinamiento (σ_3) del talud: se puede lograr la estabilización de un talud mediante obras, como los muros de gravedad, las pantallas atirantadas o las bermas hechas del mismo suelo.

Cambio de la geometría

El cambio de la geometría de un determinado talud puede realizarse (figura 14a) mediante soluciones tales como la disminución de la pendiente a un ángulo menor, la reducción de la altura (especialmente en suelos con comportamiento cohesivo) y la colocación de material en la base o pie del talud (construcción de un berma); en esta última solución es común usar material de las partes superiores del talud.

La consecuencia directa de realizar un cambio favorable en la geometría de un talud es disminuir los esfuerzos que causan la inestabilidad y, en el caso de la implantación de una berma el aumento de la fuerza resistente.

Drenaje

La presencia de agua es el principal factor de inestabilidad en la gran mayoría de las pendientes de suelo o de roca con mediano a alto grado de meteorización. Por lo tanto, se han establecido diversos tipos de drenaje con diferentes objetivos (figura 14b). A continuación se exponen los tipos de drenaje más usados para estabilizar taludes.

* Drenaje subhorizontales: son métodos efectivos para mejorar la estabilidad de taludes inestables o fallados. Consiste en tubos de 5cm o más de diámetro, perforados o cubiertos por un filtro que impide su taponamiento por arrastre de finos. Se instalan con una pequeña pendiente hacia el pie del talud, penetran la zona freática y permiten el flujo por gravedad del agua almacenada por encima de la superficie de falla. El espaciamiento de estos drenajes depende del material que se esté tratando de drenar y puede variar desde tres a ocho metros en el caso de

arcillas y limos, hasta más de 15 metros en los casos de arenas más permeables.

* Drenajes transversales o interceptores: se colocan en la superficie del talud para proporcionar una salida al agua que pueda infiltrarse en la estructura del talud o que pueda producir erosión en sus diferentes niveles. Las zonas en las que es común ubicar estos drenajes son la cresta del talud para evitar el paso hacia su estructura (grietas de tensión), el pie del talud para recolectar aguas provenientes de otros drenajes y a diferentes alturas del mismo.

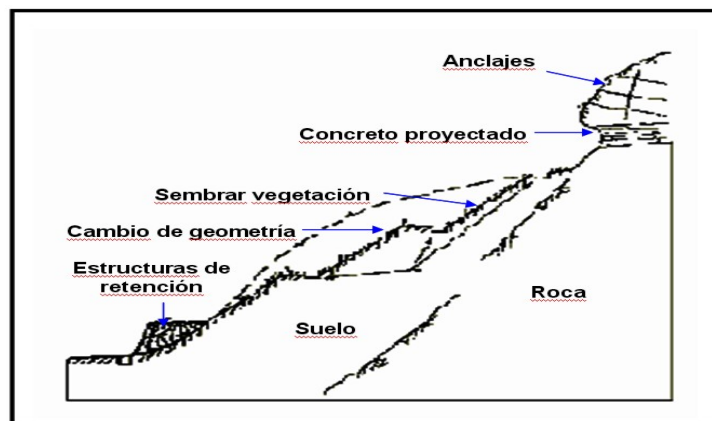


Figura 14a. Cambio de la geometría del talud con la finalidad de disminuir los esfuerzos que causan la inestabilidad y así como la aplicación de anclajes y concreto reforzado (Hunt, 1984).

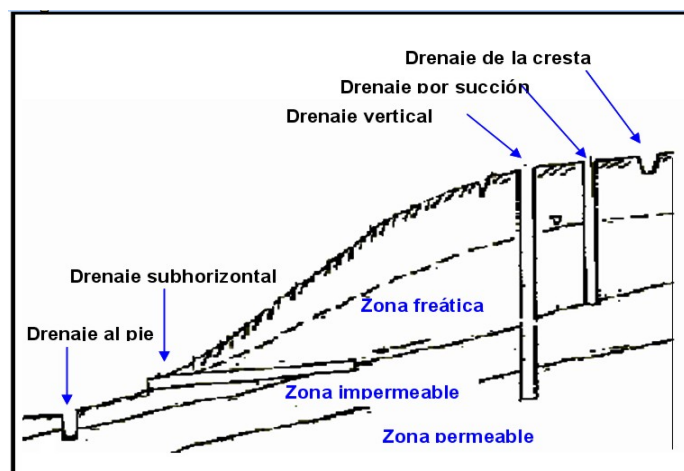


Figura 14b. Adecuada implementación de drenajes con la finalidad de aumentar la resistencia del suelo para bajar el nivel freático (Hunt, 1984).

Soluciones estructurales

Este tipo de soluciones generalmente se usa cuando hay limitaciones de espacio o cuando resulta imposible contener un deslizamiento. El objetivo principal de las estructuras de retención es incrementar las fuerzas resistentes de forma activa (peso propio de la estructura, inclusión de tirantes, etc.) y de forma pasiva al oponer resistencia ante el movimiento de la masa de suelo (Hunt, 1984).

Entre las soluciones estructurales más usadas se encuentran las siguientes:

Muros en cantiliver: los muros en cantiliver (figura 15), hechos de concreto armado, son más económicos porque son del mismo material del relleno, el que aporta la mayor parte del peso requerido.

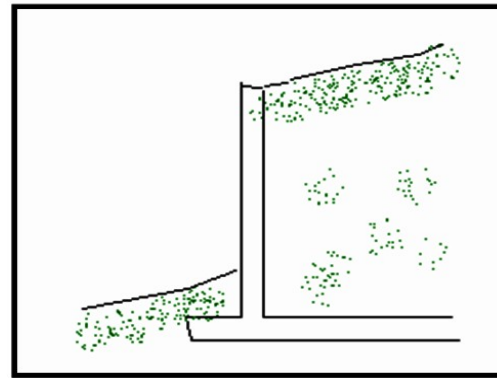


Figura 15. Muro de cantiliver con la finalidad de aumentar los esfuerzos de confinamiento del talud (Hunt, 1984).

Muro de gavión: muro que no posee ningún agente cohesionante más que la malla que une los gaviones, permite el paso de agua a través de los mismos. Estos muros además de ser comparativamente económicos, tienen la ventaja de tolerar grandes deformaciones sin perder resistencia (figura 16).

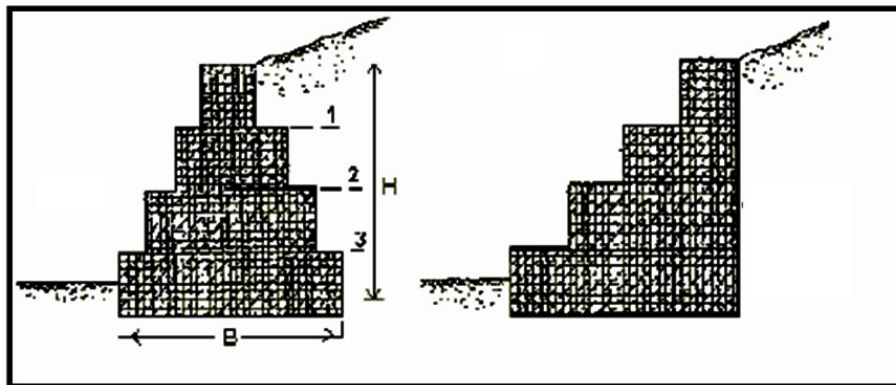


Figura 16. Perfil del muro de gaviones el cual permite contener grandes deformaciones sin perder resistencia (Hunt, 1984).

* Pantalla: consisten de una malla metálica sobre la cual se proyecta concreto (shotcrete) recubierto toda la cara del talud. Es común "atirantar" esta corteza de concreto armado mediante anclajes que

atravesan completamente la superficie de falla para posteriormente ser tensados y ejercer un empuje activo en dirección opuesta al movimiento de la masa de suelo. La figura 17 muestra el corte típico de una pantalla atirantada.

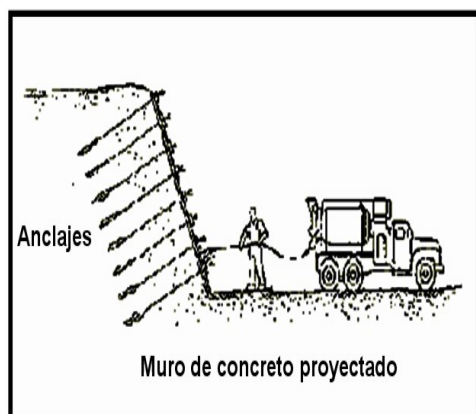


Figura 17. Muro de concreto reforzado el que ejerce mayor empuje en dirección opuesta al movimiento de la masa del suelo (Hunt, 1984).

Actividades realizadas por el Gobierno Regional de Arequipa y AUTODEMA

En el año 2007 se vienen realizando trabajos en acción conjunta con el Gobierno Regional de Arequipa, el Ministerio de Agricultura y AUTODEMA sobre un monitoreo constante del comportamiento de las filtraciones y de la geodinámica en el valle de Sigwas, labores de inspección, control y evaluación de las estaciones de monitoreo existentes y medición e instalación de nuevas estaciones topográficas; así como el control de la salinidad a través de la toma de muestras de agua de los diferentes sectores de filtración existentes para los correspondientes análisis de laboratorio (conductividad eléctrica, calidad del agua, pH, etc.) y medición periódica de caudales (aforos).

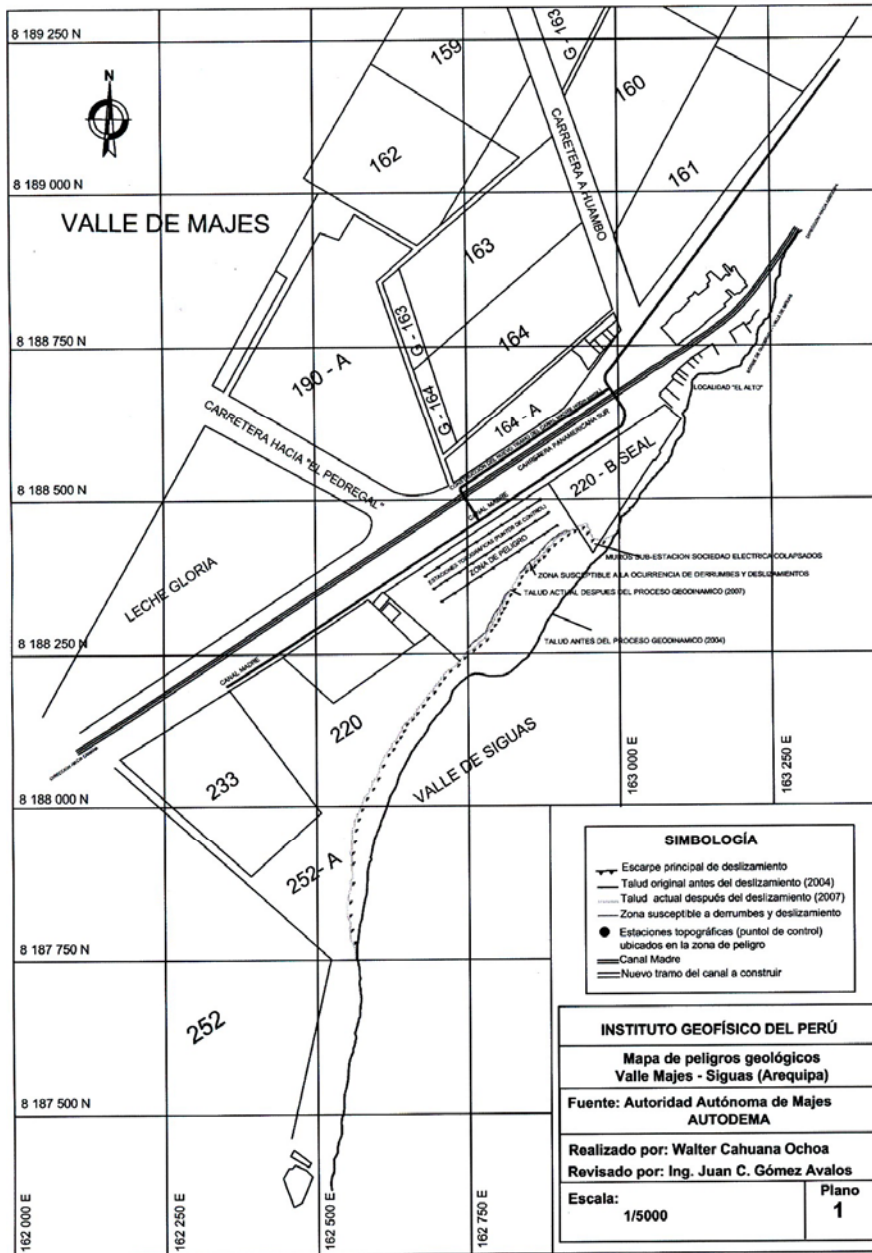
Así mismo se efectúan evaluaciones de calidad de agua de los ríos Sigwas, Vitor y Quilca, para establecer los efectos de las filtraciones en los terrenos de cultivo del valle de Quilca. Todo este conjunto de labores está a cargo del Ing. Julio Cuadros Escobedo y técnicos capacitados para tal propósito.

El estudio de filtraciones de agua se hace mediante la determinación de la evolución de la conductividad eléctrica en los sectores que están en la margen derecha aguas abajo del río Sigwas como: Vivíchez, Capellán, El Zarzal, Yungas, Hornillos, San Juan de Pachaquí y Santa Ana (Tablas 1, 2 y 3) las que demuestran el aumento de la conductividad eléctrica debido al incremento del agua producto de las filtraciones con respecto al tiempo

Por otro lado se están desarrollando estudios sobre el avance de material producto de los deslizamientos en el anexo El Zarzal, Pachaquí y Santa Ana usando puntos topográficos controlados por estaciones totales para hacer un seguimiento del grado de deformación del suelo. De igual manera se está abriendo paso a un nuevo tramo del canal madre que abastece de agua a las parcelas de aproximadamente 400m de longitud, esta obra tiene por objeto reemplazar a un tramo del mismo que se encuentra en la "zona de peligro por derrumbes" y que colinda con la Sub-Estación Sociedad Eléctrica (Plano N° 1 Mapa de peligros

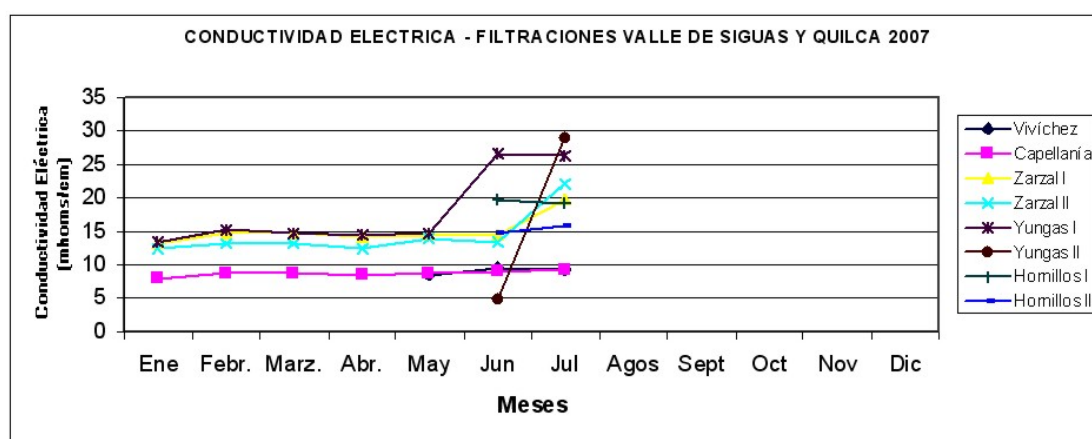
geológicos esta construcción es para prevenir las posibles fisuras y grietas que

puedan generarse debido al proceso continuo de los deslizamientos.



Estación de Muestra	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Vivíchez					8.49	9.51	9.32					
Capellanía	7.92	8.7	8.65	8.42	8.65	8.97	9.12					
Zarzal I	13.05	14.62	14.62	14.18	14.39	14.58	19.61					
Zarzal II	12.24	13.05	13.14	12.41	13.98	13.47	21.99					
Yungas I	13.37	15.27	14.64	14.38	14.71	26.6	26.35					
Yungas II						4.72	28.96					
Hornillos I						19.83	19.14					
Hornillos II						14.84	15.81					

Tabla 1. Conductividad eléctrica - filtraciones valle de Sigvas y Quilca 2007



Estación de Muestra	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
San Juan I	15.08	16.75	16.23	16.07	15.95	15.98	15.54					
San Juan Lago I						17.85	15.67					
San Juan Lago II						17.91	17.94					
Pachaqui I	12.89	14.21	13.61	13.58	12.98	11.84	11.54					
Pachaqui II	13.47	11.47	10.57	10.66	10.26	10.59	10.09					
Pachaqui III	9.89	13.41	13.61	13.57	13.52	13.47	12.87					
Pachaqui IV			10.52	10.44	10.21	10.18	9.55					

Tabla 2. Conductividad eléctrica de las aguas de filtraciones en el Valle de Sigvas 2007

Estación de Muestra	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Santa Ana I			10.77	10.65	10.19	9.53	9.37					
Santa Ana II					10.28	10.25	10.21					
Santa Ana Lago I					10.98	11.08	10.63					
Río Sigwas Punte		1.1	0.61	1.25	1.15	1.18	1.31					
Río Sigwas Santa Ana		4.81	1.69	7.09	7.53	7.61	8.95					

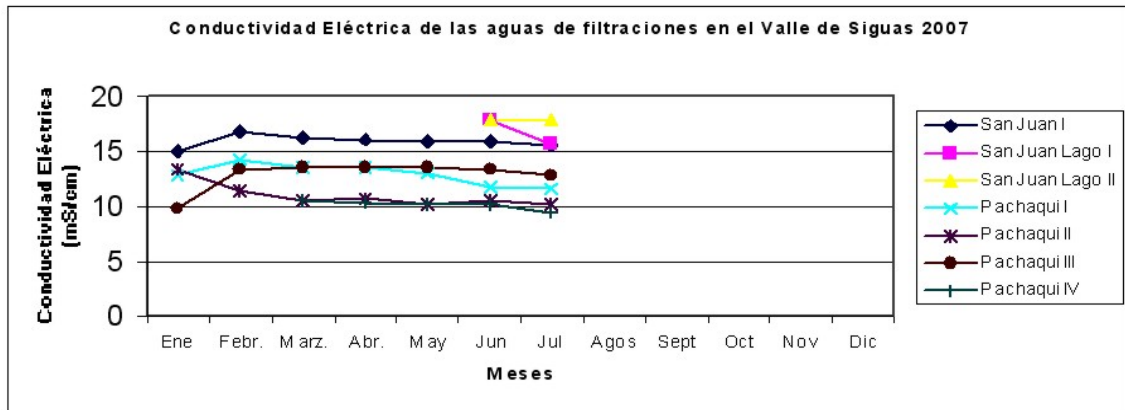
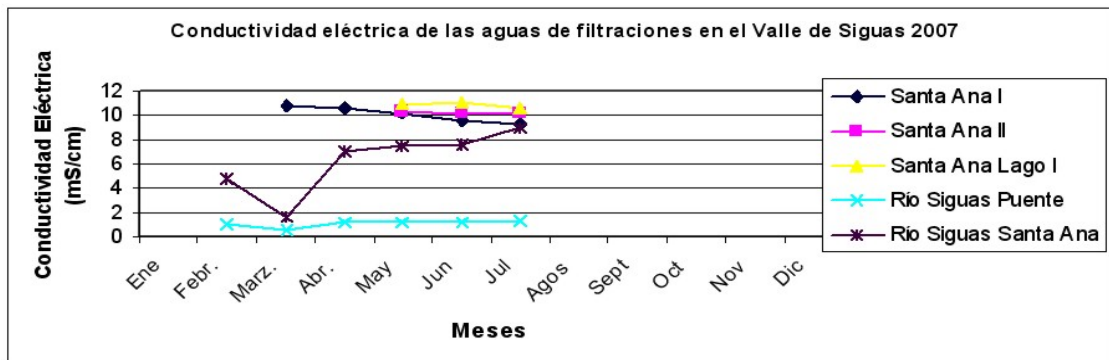


Tabla 3. Conductividad eléctrica de las aguas de filtraciones en el Valle de Sigwas 2007.



CONCLUSIONES

Los deslizamientos y filtraciones registrados en los valles de Majes, Sigwas y Vitor es posible que se haya generado por el uso desmedido de recursos hídricos aplicado al proyecto de irrigación Majes Sigwas (Primera Etapa), La Cano y La Joya, pero aún faltan estudios que demuestren las verdaderas causas que originaron estos fenómenos.

La zona demarcada como peligro por deslizamientos por parte de la Municipalidad de Majes limita con el canal principal de regadío de la irrigación Majes-Sigwas y la Sub-Estación Sociedad Eléctrica (SEAL); entidad que se ve afectada por el proceso continuo de los deslizamientos, cuyos muros están separándose y parte de ello han colapsado.

Estos deslizamientos que han repercutido en el valle de Siguan, el Sistema Nacional de Defensa Civil ha declarado en emergencia dicho valle, donde además se propone la erradicación de los agricultores del valle de Siguan, la habilitación de fondos para realizar los estudios de taludes en las pampas de Majes.

El análisis sobre las alternativas propuestas para contrarrestar los problemas generados por los deslizamientos y filtraciones, debe de tomar en cuenta las investigaciones de las causas que producen inestabilidad de laderas que implican el reconocimiento geológico de las zonas donde ocurren los deslizamientos bajo condiciones de saturación, poniendo especial énfasis en los tipos de suelos y rocas susceptibles a los deslizamientos, sus espesores y la facilidad o dificultad para el drenaje del agua intersticial, con el apoyo de métodos geofísicos y geotécnicos, que permitan realizar los análisis de estabilidad de ladera y recomendar los trabajos para la prevención de los deslizamientos

Las soluciones propuestas tienen la finalidad de aumentar la resistencia del suelo mediante una adecuada implementación de drenajes tanto subhorizontales como transversales, disminuir los esfuerzos actuantes en el talud mediante el cambio de la geometría del talud reduciendo su altura y aumentar los esfuerzos de confinamiento (σ_3) del talud para lograr su estabilización mediante obras, como los muros en

cantiliver, gaviones, las pantallas atirantadas o las bermas hechas del mismo suelo pero siempre y cuando estas obras puedan adecuarse cuando se logre determinar las verdaderas causas que generaron los problemas de deslizamientos y filtraciones en los valles de Majes, Siguan y Vítor.

RECOMENDACIONES

Tener en cuenta y hacer un seguimiento del flujo de aguas en laderas, inspeccionar las corrientes de agua en la cima y en el pie de cuesta, los sistemas de drenaje, notando su gasto y variación mediante el estudio de aforos en el canal principal de regadío.

Los estudios de geotecnia deben buscar establecer el factor de seguridad de los taludes, tanto en el sector Pie de Cuesta, La Cano en el valle de Vítor y sobretodo en los taludes de los valles Majes y Siguan.

Al colocar una estructura con un material de muy baja permeabilidad, como el concreto, al frente de un talud de suelo que almacene agua en su estructura, es muy probable que aumente la presión hidrostática en la parte posterior del muro. Para evitar este problema se debe colocar drenajes subhorizontales a diferentes alturas del muro con el objetivo de disipar el exceso de presión.

Se debe de prever acciones con la finalidad de reducir y mitigar riesgos y

daños futuros hacia el canal principal de regadío hacia la irrigación Majes-Siguas, la carretera Panamericana Sur, la localidad de El Alto y sobretodo socorrer a las poblaciones que puedan ser afectadas por estos fenómenos (deslizamientos y filtraciones) tanto en el valle de Majes-Siguas y Vítor.

Se debe de realizar Sondaje Eléctrico Vertical (SEV) con la finalidad de determinar la resistividad del suelo al paso de la corriente eléctrica y de esta manera conocer los niveles estratigráficos como también la presencia de agua y su profundidad en la zona de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geofísico del Perú por permitirme realizar mis prácticas Pre-Profesionales en el Área de Investigación en Geodesia y Geología, al Ing. Juan Carlos Gómez Ávalos por su orientación y guía para realizar este informe.

BIBLIOGRAFÍA

Comité Regional de Defensa Civil, Plan Regional de Prevención y Atención de Desastres, Región Arequipa, Enero 2005. Pág. 15-20

Fernández, E. (1997). Investigación del conglomerado colapsable de La Cano,

Vítor, Arequipa. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

Flores N., y Maggiolo O. (1975). Reconocimiento geotécnico de la margen izquierda del río Vítor en el sector donde se han producido deslizamientos que afectan al canal de irrigación "La Cano" y al poblado de "Pie de Cuesta."

Hunt, N. (1984). Métodos para estabilizar taludes. Capítulo 3, Guía para identificar problemas de deslizamientos, páginas 38-41.

León, A. (1996). Estudio Geológico y Corrección Deslizamientos Taludes Loma de Miranda. Santo Domingo, Rep. Dominicana, páginas 7-8.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Capítulo 10 - Análisis Ambiental y Vulnerabilidad, Peligros Naturales del País y Riesgos Relativos a la red de Transporte, Deslizamientos y Derrumbes Junio 2005, Pág. 15-20

ProInversión, Gobierno Regional del Departamento de Arequipa, Proyecto de Irrigación Majes.

<http://www.proinversion.gob.pe/0/0/modulos/JER/PlantillaFichaHijo.aspx?ARE=0&PFL=0&JER=240>

ANEXOS FOTOGRAFICO



Imagen A. Vista aérea del deslizamiento de Pie de Cuesta, valle de Vitor, Arequipa.



Imagen B. En el sector La Cano, el deslizamiento está próximo al río Vitor, valle de Vitor.

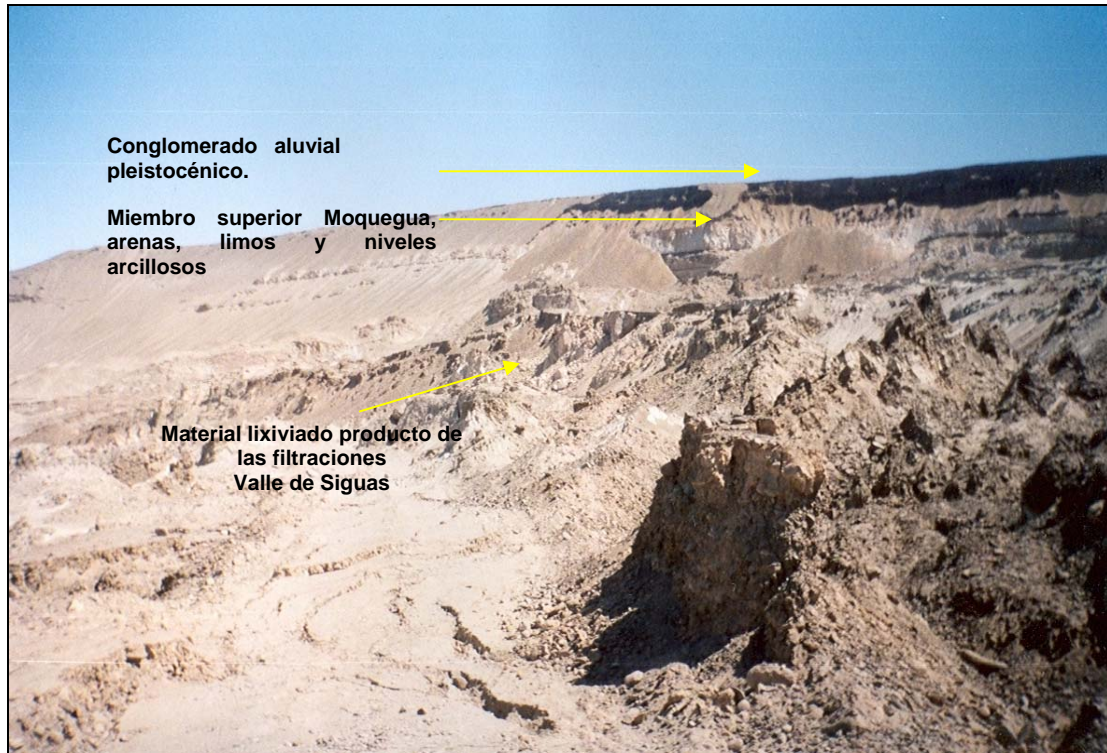


Imagen C. Vista de los deslizamientos desde la parte inferior del valle de Sigüas.

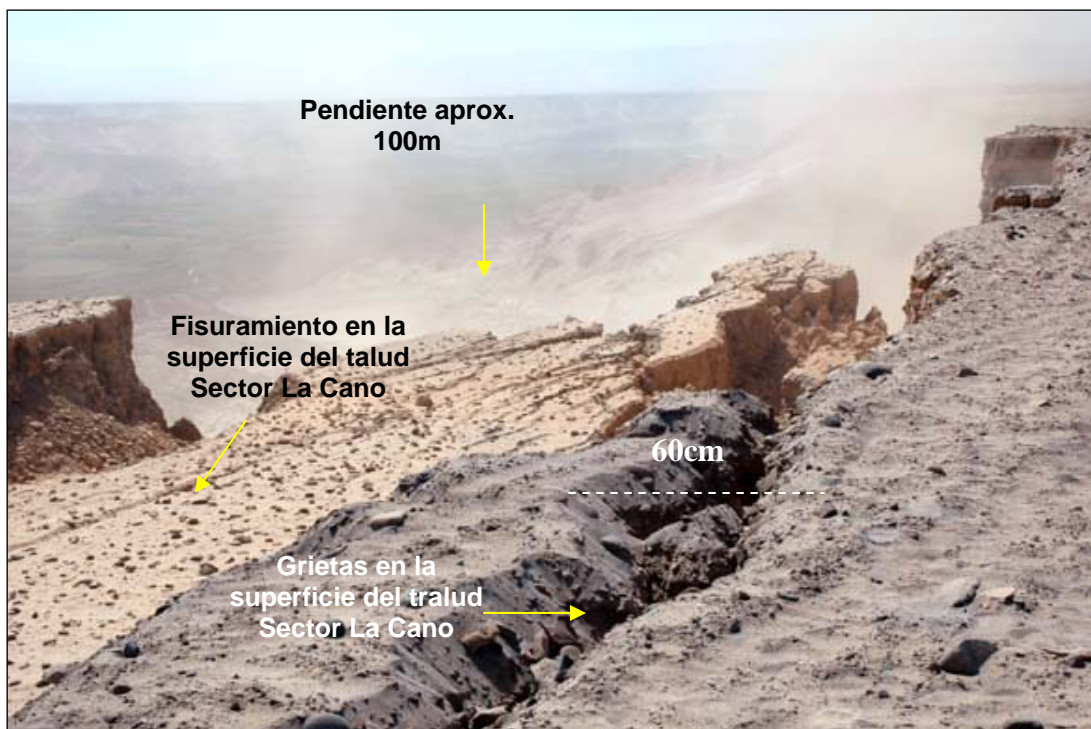


Imagen D. Deslizamiento en progreso en el sector La Cano, grietas y fisuramiento en el suelo.

DISEÑO DE UNA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO (GUI) EN MATLAB PARA EL CÁLCULO Y VISUALIZACIÓN DE CORRELACIONES LINEALES DE UN CAMPO CON UN PUNTO

CAMILO LEÓN HUACA
Escuela Profesional de Ingeniería Física
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional de Ingeniería
camilocloud9@gmail.com

Investigación dirigida por: Lic. Raúl Chávez
Dra. Yamina Silva
Dirección de Investigación sobre Prevención de Desastres Naturales

RESUMEN

Generalmente, para proceder a realizar el cálculo de correlación lineal entre una variable local (serie de tiempo) y una variable global (serie de campos), con ciertas características específicas como por ejemplo: el intervalo de tiempo de las series, selección de una región, el uso de lags (desfases), etc. es por sí mismo un trabajo largo y difícil ya que esto requiere escribir múltiples sentencias para las operaciones de lectura, escritura, cálculo y visualización de resultados, los cuales se realizan en los entornos de Unix o Windows .

Para superar dichas dificultades, se diseñó y programó una Interfaz Gráfica de Usuario (Graphical User Interface – GUI) en el entorno de Matlab, el cual permitirá al potencial usuario realizar cálculos de correlación lineal, con su respectivo nivel de significancia estadística entre las variables locales y globales que él seleccione y además podrá visualizar sus resultados para su posterior uso en modelos climáticos.

INTRODUCCIÓN

Viendo la necesidad de acelerar el proceso de tratamiento de información meteorológica para el cálculo de correlaciones lineales y significancia estadística así como el poder obtener dichos resultados sin la necesidad de que se escriban ordenes, sentencias o comandos de programación, ya que de por sí es un proceso largo y cansado, lo que induce muchas veces a cometer errores, se llegó a desarrollar una interfaz gráfica de usuario que se encargue de dichas tareas.

Esta interfaz (GUI) surge como una alternativa al uso del GRADS (Grid Analysis and Display System, el cual es

una herramienta interactiva usada para el fácil acceso, manipulación y visualización de datos científicos de la tierra) en la realización de estas tareas.

Para el desarrollo del GUI se utilizó como base el Matlab 7, que puede correr tanto en entorno Windows como Linux, lo que le da una mayor ventaja en su aplicación.

DEFINICIONES

Será necesario definir las variables y conceptos utilizados para el desarrollo del GUI, como son:

Series de tiempo

Llamamos *Serie de Tiempo* a un conjunto de mediciones de cierto fenómeno o

experimento registradas secuencialmente en el tiempo.

Uno de los problemas que intenta resolver las series de tiempo es el de predicción. Esto es dado una serie $\{x(t_1), \dots, x(t_n)\}$, el objetivo de interés del *análisis de series temporales* son describir el comportamiento de la serie, investigar el mecanismo generador de la serie temporal, buscar posibles patrones temporales que permitan sobrepasar la incertidumbre del futuro.

Variable local

Es aquella serie de tiempo cuya variable es registrada u obtenida de manera directa o indirecta de una estación meteorológica en un punto o zona geográfica específica del globo terrestre. En nuestro caso la serie de datos están ordenadas de manera mensual.

Variable global

Es aquella serie de tiempo cuya variable es registrada u obtenida de manera directa o indirecta para todos los puntos o zonas del globo terrestre en donde dicha variable posee significado físico. Dichas zonas son

definidas en una grilla a diferentes niveles que cubre todo el globo. En nuestro caso la serie de datos están ordenadas de manera mensual.

Esta serie de datos también recibe el nombre se *serie de campos*.

Lag

El termino *Lag* se usa específicamente para indicar el desfase (el cual puede ser diario, mensual, anual, etc. y en nuestro caso es negativo, lo que indica retraso) que se establece en la variable global(predictor) con respecto a la variable local (predictando) para realizar el cálculo de correlaciones.

El tipo de *lag* definido para nuestro caso será mensual.

Cálculo del coeficiente de correlación lineal

Cuando se desea cuantificar la relación lineal entre dos variables. El parámetro que mide tal relación es el coeficiente de correlación lineal "R", el cual está definido de la siguiente manera:

$$-1 \leq R = \frac{Cov(X, Y)}{s_X s_Y} = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}) * (Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} * \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}} \leq 1$$

Aquí, R está definido como el cociente entre la covarianza y las desviaciones típicas de ambas variables.

Realizando un análisis concreto de R:

Si $R = 1$, existe dependencia funcional, todos los puntos del diagrama de dispersión de (X_t, Y_t) están situados en una línea recta creciente. En este caso se dice que existe una correlación positiva perfecta.

Si $0 < R < 1$, la correlación es positiva y será llamada débil, moderada o fuerte según se aproxime más a 1.

Si $R = 0$, no existe correlación lineal, pero puede existir correlación curvilínea.

Si $-1 < R < 0$, la correlación es negativa y será llamada débil, moderada o fuerte según se aproxime más a -1.

Si $R = -1$, existe dependencia funcional, todos los puntos del diagrama de dispersión de (X_t, Y_t) están situados en una línea recta decreciente.

Lo que hay que tener muy en claro es que “R” no nos proporciona ninguna explicación física entre las variables.

Cálculo del coeficiente de correlación lineal

Es el cálculo de los coeficientes de correlación lineal que se realiza entre la serie de tiempo de la variable local y la serie de tiempo de cada punto de grilla definida para la variable global. Por lo tanto se obtendrá un coeficiente de correlación lineal en cada punto de grilla

del planeta donde se encuentre definida la serie de tiempo para la variable global.

Calculo de la significancia estadística

El cálculo de significancia estadística nos da la probabilidad de que el resultado del cálculo de correlación no haya sido producto del azar.

Para ello se emplea la prueba t-student con $n-2$ grados de libertad, donde n es el tamaño de la serie.

En nuestro caso graficaremos curvas de contorno para los niveles de significancia del 90%, 95% y 99%.

DESARROLLO DEL GUI

Para entender el funcionamiento de una interface de usuario, necesitamos conocer algunos puntos básicos en su creación.

La interface de usuario está conformada por un conjunto de “*objetos de control*” (llamados simplemente *objetos*) que se encuentran ubicados en una ventana, y que sirven como nexo de comunicación entre el usuario y un conjunto de programas que nos ayudan a realizar cálculos, muestreos, visualizaciones, etc. de manera muy eficiente y controlada.

Diseño de la interface

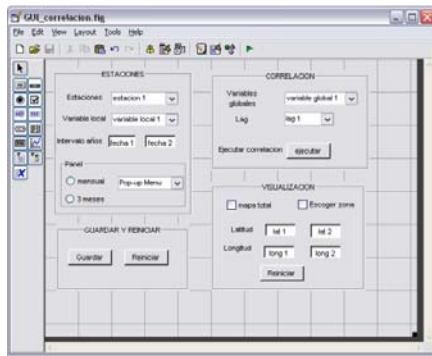


Figura 1. Plantilla de diseño de la interface

El diseño de la presente interface de usuario fue realizado en una plantilla especial de Matlab.

En la Figura 1 se puede observar una *barra de control* la cual contiene diversos *objetos de control* a colocar en la plantilla de diseño.

Los objetos colocados tienen distintos modos de funcionamiento predeterminados por Matlab, la capacidad de ejecutar tareas programadas por el diseñador, así como distintas formas de ser activado para cumplirlas.

Aquí se tiene un listado de las tareas generales:

Realizar la lectura de directorios existentes en una dirección específica.

Realizar la lectura de propiedades y contenidos de archivos específicos existentes.

Almacenar datos de entrada introducidos por el usuario desde el teclado.

Habilitar, deshabilitar *objetos* o modificar valores almacenados por los mismos.

Llamar a funciones y comandos existentes en los archivos de Matlab.

Realizar tareas con tan solo un click del mouse sobre algunos objetos.

Realizar muestreos de resultados así como sus respectivos almacenamientos a disco.

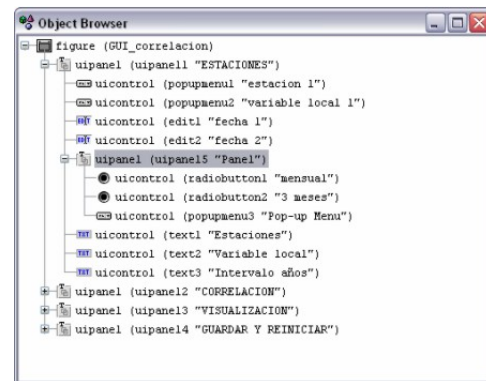


Figura 2: Jerarquía de disposición de los elementos de la interface

En la Figura 2 se presenta la jerarquía en la cual están dispuestos los diversos *objetos* que conforman la interface.

En el trabajo de programación, cada uno de estos elementos va a estar relacionado o controlado tanto por el usuario como por otros objetos incluidos en la misma interface.

Programación de la interface

Al crear una interface, Matlab crea automáticamente un Script en donde se realizará el trabajo de programación.

La programación de la interface de usuario tiene dos campos fundamentales:

La programación de las componentes u *objetos* de la interface, la cual comprende el establecimiento de propiedades físicas

como el color, tamaño, posición, los modos de activación y habilitación así como la interacción de cada objeto con los restantes en la interface.

La programación de las funciones y comandos que van asociados a cada objeto de la interface y que se activan cuando son invocadas. Este campo de la programación es el más largo de todo el proceso.

La programación de ambos campos son fundamentales en la elaboración de la interface ya que van a permitir tanto la facilidad de uso como la eficiencia y rapidez necesaria para procesar los datos.

INTERACCIÓN CON EL GUI

Aquí se presenta el diseño terminado de la interface de usuario, la que nos permitirá realizar cálculos de coeficientes de correlación lineal espacial con fines de uso meteorológico.

Ventana principal

En la Figura 3 se pueden observar todas las componentes que conforman la ventana principal.

Los nombres de los objetos que están incluidos son:

Cuadros de texto no modificable (**Static text**), se usan para escribir los títulos y etiquetas de los objetos de la interface.

Barra de menú (**Popup menu**), el cual muestra una lista de *opciones* cuando es presionado. Generalmente se usa esta barra de menú cuando la lista de variables es muy grande. El tipo de selección que realiza es *exclusivo*.

Botones de presión (**Pushbutton**), los cuales generan una acción cuando se realiza un click con el mouse sobre ellos.

Cuadros de entrada de texto (**Edit text**), el cual permite al usuario introducir o modificar entradas de texto en la interface desde el teclado.

Cuadros de elección (**Checkbox**), estos dispositivos son usados cuando se provee al usuario de opciones de elección independientes.

Botones de elección exclusivo (**Radiobutton**), estos objetos son parecidos a los Checkbox pero, están entendidos para ser mutuamente exclusivos en un grupo de radiobuttons (al hacer click con el mouse sobre un radiobutton, este se activa mientras que el resto nó); el programador es el encargado de definir esta tarea. Los radiobuttons se usan cuando se tienen pocas alternativas de elección.

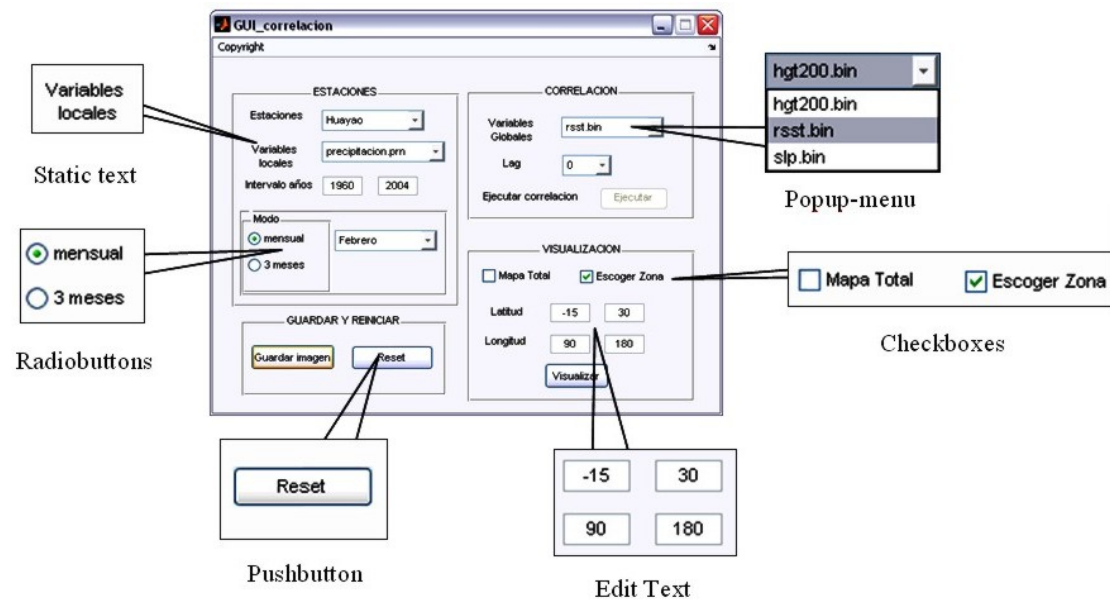


Figura 3. Ventana principal donde se muestran sus principales componentes.

Como usar la interface

El buen uso de la interface gráfica de usuario GUI para el cálculo de los coeficientes de correlación lineal espacial así como su posterior visualización comprende una serie de etapas a seguir, cuyos detalles se muestran a continuación:

1. Entorno de trabajo “Matlab”

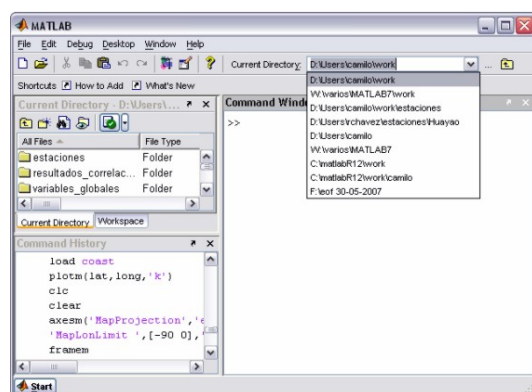


Figura 4. Entorno de trabajo en matlab

La interface sólo puede abrirse y funcionar desde el entorno de trabajo de Matlab (Figura 4).

En el *Current Directory* se observa el directorio principal donde están almacenadas las carpetas de trabajo.

Se distinguen 3 carpetas importantes, que se aprecian en el lado izquierdo de la figura, cuyos nombres son: *estaciones*, *resultados_correlaciones* y *variables_globales* respectivamente, los cuales necesariamente tienen que existir cuando se trabaje con la interface.

2. Accediendo a la interface

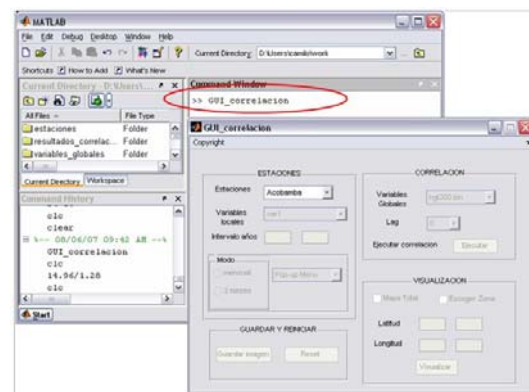


Figura 5. Abriendo la interface.

Para poder acceder a la interface, tan solo se tiene que escribir *GUI_correlacion* en la ventana de comando, y automáticamente se abrirá la interface (Figura 5).

Se observa que tan sólo la barra de menú *Estaciones* se encuentra activado, esto es por que la activación de los demás *objetos* será de manera gradual, conforme los objetos anteriores sean activados o en todo caso sus valores de entrada sean adecuados.

3. Menú “Estaciones”

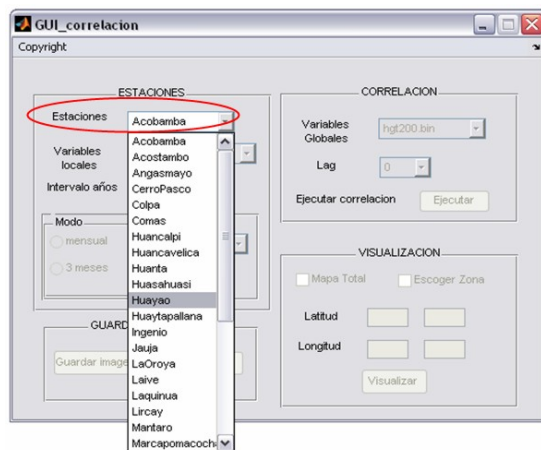


Figura 6. Mostrando el menú estaciones en la interface

En el menú *Estaciones* se tiene una lista de estaciones meteorológicas registradas en el directorio “estaciones”, donde cada elemento de la lista es a su vez un directorio donde se almacenan los datos locales (variables locales).

Se puede agregar a *estaciones* un número indefinido de carpetas, las cuales se van ordenando de modo alfabético en el menú

respectivo cuando la interface es actualizada (Figura 6).

La lista de estaciones se actualiza cuando la interface es abierta o reiniciada.

4. Menú “Variables Locales”

Después de haber escogido una *estación*, la lista de nombres de las variables locales que esta contiene se cargan de inmediato en el menú *variables locales* (Figura 7).

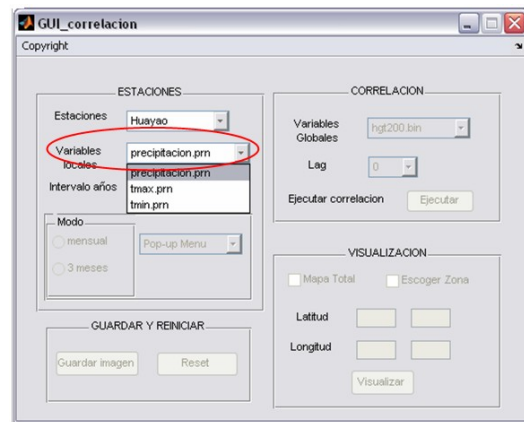


Figura 7. Mostrando el menú variables locales

Year	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4	Value 5	Value 6
1960	88.4	112.5	39.1		115.1	51
1961	199.6	165	101.1		97.7	144.2
1962	92.2	110.4	140.9		71	99.2
1963	183.8	114	144		62.1	96.6
1964	99	74.8	127.4	• • •	93.5	99.6
1965	93.6	124.8	117.3		68.2	80.3
1966	102.2	42.5	67.8		64.8	112.3
1967	107.5	142.9	184.7		43.6	65.5
1968	152.2	93.8	118.5	• • •	42.2	65
1969	51.9	78.1	59		78.3	106
1970	178.4	121	69.5		37.5	115.2
1971	84.1	177.6	150		68.3	82.4
1972	94.3	121.9	148	• • •	45.7	140.4
1973	152.8	153.7	137.1		39.8	87.9
1974	154.9	176.8	66.9		54.2	62.1
1975	83.6	120.1	162.6		65.5	111.4
1976	52.7	126.7	133.5	• • •	56.1	103.8
1977	85.5	124.6	124		125.6	89.9
1978	226	93.3	66.2		134.9	84.9
1979	129.4	80.3	108.7	• • •	76	61.9
1980	59.9	87.5	185.4		51.5	76.4
1981	119.6	239.7	104.6		72.2	137
1982	118	112.9	65.5		77.8	87
1983	124.8	55.4	120.6		52.7	35.1
1984	170.9	227.2	141.9		162.3	58.1
1985	77	161.5	80.5		89.1	136.9
...

Figura 8. Contenido de una variable local

El archivo de cada variable local está en formato de texto, el cual contiene un registro mensual desde Enero hasta Diciembre de los valores de dicha variable, los cuales están ordenados año por año, como se puede apreciar en la Figura 8.

5. Elección del intervalo de años a trabajar



Figura 9. Eligiendo el intervalo de años

Los cuadros de texto para la colocación de los años quedan habilitadas después de realizar la elección de la variable local.

El intervalo de fechas válido para cada variable local es automáticamente mostrado en una ventana de información, y sus valores extremos son establecidos por defecto en los cuadros de entrada respectivos (*Edit text*).

El orden de colocación de las fechas es siempre de menor a mayor.

El intervalo de años elegido en esta etapa se

usará también para acotar la serie de campos de la variable global (Figura 9).

Solo se admiten entradas numéricas, escribiendo los años con sus dígitos completos.

No se admiten valores de entrada que se encuentren fuera del intervalo especificado, de lo contrario aparecerá una ventana de información indicando el error cometido (Figura 10).



Figura 10. Mensaje de alerta

Tampoco se admite que estos cuadros de entrada permanezcan vacíos, si esto sucediera, automáticamente aparecerá una ventana de información con una solicitud para que se rellene el cuadro respectivo, de lo contrario no se podrán habilitar los siguientes *objetos* de la interface (Figura 11).



Figura 11. Mensaje de alerta

6. Agrupamiento de la serie de tiempo

Luego de que las fechas han sido correctamente colocadas, los radiobuttons

que detallan los modos de agrupamiento son habilitados.

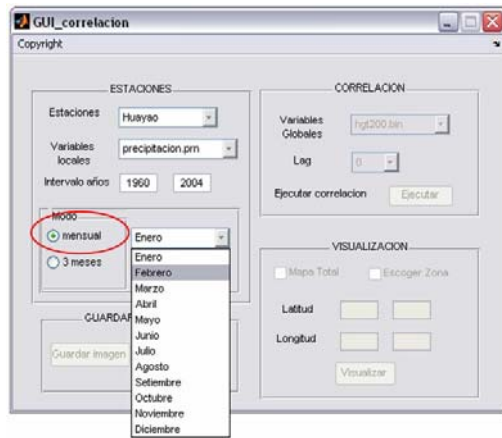


Figura 12. Escogiendo el modo mensual

Mensual

Con la elección del modo de agrupamiento “mensual”, se habilita el menú que contiene la lista de meses desde Enero hasta Diciembre, uno de los cuales el usuario escogerá para definir el mes con el que desea trabajar en toda la serie temporal de la variable local.

Por ejemplo, en la Figura se eligió una serie temporal que contiene todos los datos de Febrero desde 1960 hasta el 2004 (Figura 12).

Grupos de 3 meses

Con la elección del modo de agrupamiento “3 meses”, se habilita el menú que contiene una lista de grupos de 3 meses, uno de los cuales el usuario escogerá para especificar la serie de tiempo acumulada (o promediada) de 3 meses en la variable local. Por ejemplo si escojo J-A-S (Julio-Agosto-Septiembre), se obtendrá una serie de tiempo el cual contendrá el acumulado

de Julio, Agosto, Septiembre para todos los años en el intervalo elegido.

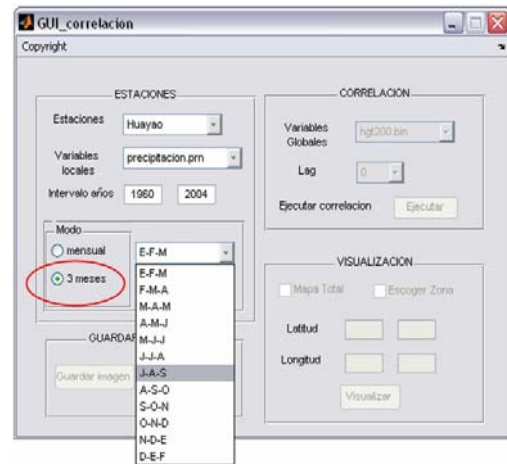


Figura 13. Escogiendo el modo de 3 meses

7. Menú “Variables Globales”

Después de la elección del modo de agrupamiento para la variable local, la interface habilita el menú que contiene la lista de variables globales, dichas variables se encuentran alojadas en el directorio *variables globales*.

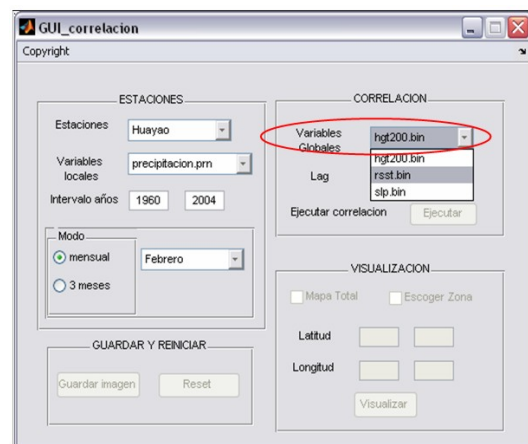
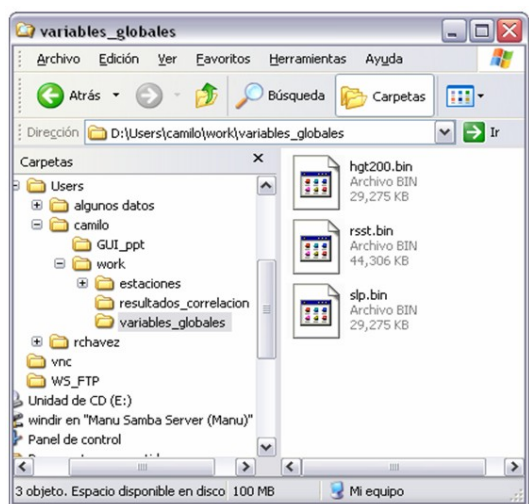


Figura 14. Escogiendo el modo de 3 meses

Al hacer click con el mouse en la variable global elegida, sus valores en la serie de campos que se encuentran dentro del

intervalo de fechas especificado son cargados automáticamente para su posterior procesamiento. El modo de agrupamiento de los datos es mensual.

Hay que tener en cuenta que la serie de campos esta especificada para un solo nivel de medición.

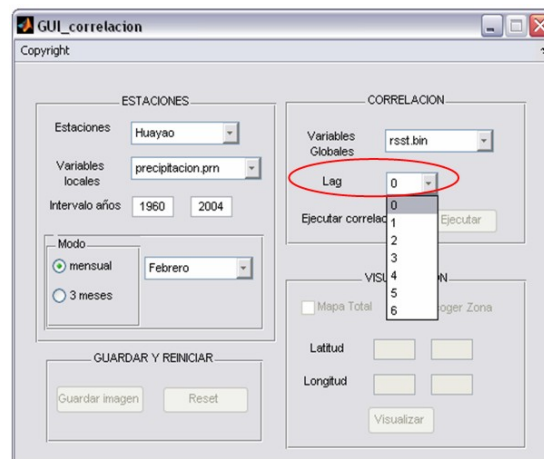


8. Menú “Lag”

Después de elegir la variable global con la que se va a trabajar, se procede a escoger el *Lag*, el que dará el valor del retraso mensual con el cual la variable global se ubicará con respecto a la variable local para el cálculo del coeficiente de correlación.

Por ejemplo, en la Figura derecha, se tiene la serie temporal del mes de Febrero para la variable local, si se escoge lag = 0 entonces esta serie se correlacionará con la serie de campos del mes de Febrero de la variable global; si se escogiera lag = 1, se correlacionaría con la serie de campos del mes de Enero para la variable global, etc. Dicho valor de Lag se almacena para ser usado en la siguiente etapa.

Usualmente, en los cálculos de correlación, el valor usado *por defecto* para el Lag es cero (0).



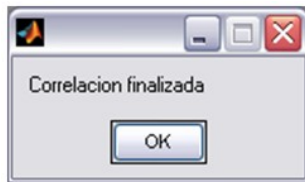
9. Ejecutar Correlación

Con el *Lag* ya escogido, se procede a ejecutar el cálculo de correlación, para esto tan solo se tiene que hacer click con el mouse sobre el botón “Ejecutar”.

El cálculo de la correlación es efectuado para todo el globo terrestre.

Si se deseara realizar algún cambio en algún cuadro de entrada o en algún menú previo a la ejecución de la correlación, entonces también se tendrá que realizar las actualizaciones respectivas en las *entradas* que son afectadas por dicho cambio.





Cuando la correlación se ejecuta correctamente, aparece un mensaje el cual informa sobre el éxito del cálculo realizado.

La correlación no se ejecutará si la serie de tiempo de la variable local o la serie de campos de la variable global están llenos de valores indeterminados (definidos como valores NaN en Matlab), seguido a esto, aparecerá un mensaje indicando la situación actual y con la indicación de reiniciar la interface, para lo cual el botón “Reset” es habilitado automáticamente. Al final del cálculo de correlación, automáticamente se habilitan los modos de visualización.



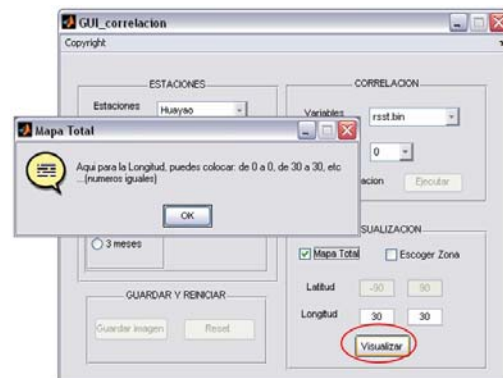
10. Visualización “Mapa total”

La opción de visualización Mapa Total se emplea para graficar el mapa de correlación de manera total, es decir a lo largo de todo el globo terrestre.

Se usa el modo de proyección *cilíndrica equidistante* para graficar el mapa.

Al activar el checkbox *Mapa Total*, aparece una ventana con el mensaje de

información sobre como manejar esta opción.



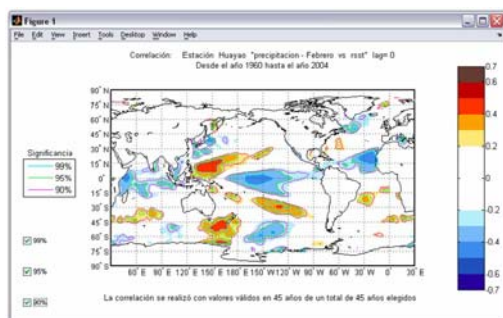
La única entrada activada es la de elección de la *Longitud*, la cual establece la longitud que corresponde a la línea de meridiano que estará ubicado en el extremo izquierdo del mapa.

El valor de la longitud válido para la visualización se encuentra en el intervalo de -180° hasta 180° .

Después de haber colocado el valor numérico respectivo en la longitud, para poder visualizar el mapa, basta con hacer click con el mouse en el botón **visualizar**.

Aquí se tiene la imagen del mapa de correlación en el modo de visualización “**mapa total**”.

En el lado derecho del mapa se puede apreciar la *barra de colores* en donde se indican los colores usados en el mapa.



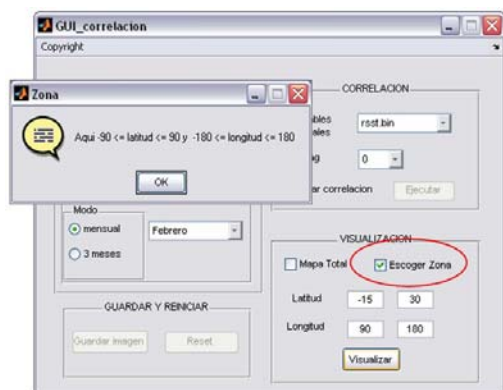
Los valores etiquetados en la barra van desde -0.7 hasta 0.7 .

Se puede apreciar que el valor de la longitud en el extremo izquierdo del mapa es 30° .

Como elemento adicional se tienen las líneas de contorno que identifican las zonas donde se tienen *significancias* de 90%, 95% y 99%, las 3 alineas de contorno están identificadas con 3 colores diferentes. La visualización de alguna o todas las líneas es a elección del usuario.

11. Visualización “Escoger Zona”

La opción de visualización **Escoger Zona** se emplea para graficar el mapa de correlación escogiendo la zona geográfica de interés.

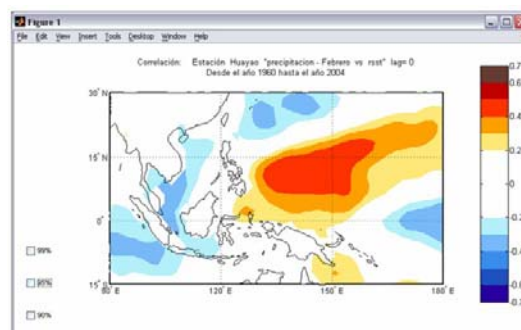


Al activar esta opción, se habilitan los cuadros de entrada tanto para colocar las latitudes y longitudes que definirán la zona deseada.

Los valores de latitudes validos van desde -90° hasta 90° y el orden de colocación de los mismos van de menor a mayor (de izquierda a derecha).



Los valores de longitudes validos van desde -180° hasta 180° y el orden de colocación de los mismos puede ser de menor a mayor o de mayor a menor.

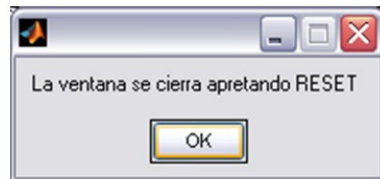


En caso de que alguna entrada tanto en la latitud como en la longitud se encuentre fuera del intervalo especificado, aparecerá un ventana de información la cual mostrará indicaciones sobre el error cometido.

En la Figura ubicada en el lado derecho se tiene el mapa de la zona escogida donde se

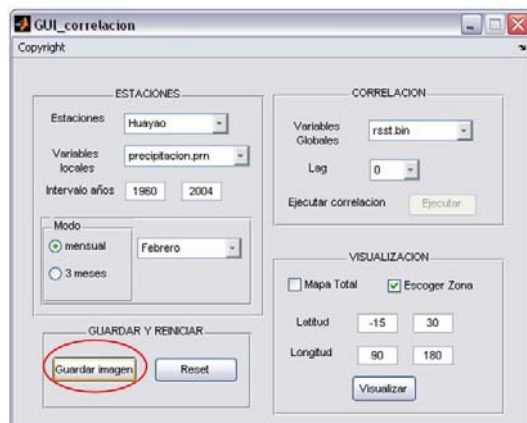
observan altos índices de correlación la cual está acotada entre las latitudes de -15° a 30° y entre las longitudes de 90° a 180° .

12. Intentando cerrar la ventana de visualización



La interface esta programada para que la ventana de visualización no pueda ser cerrada hasta que la interface sea reiniciada.

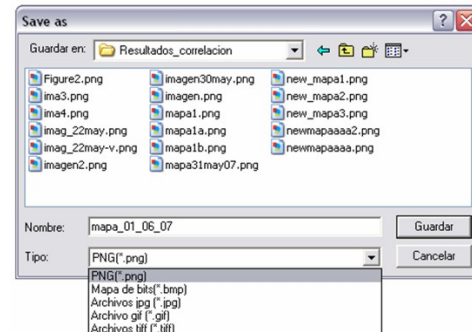
13. Procediendo a **Guardar la Imagen y Reiniciar la Interface**



Después de realizada la visualización, los botones **Guardar imagen y Reset** son habilitados.

Al hacer click con el mouse sobre el botón *Guardar imagen*, se abre un *cuadro de dialogo* en el cual se especifica un nombre

para la imagen, su extensión o formato y se escoge el directorio donde se desea guardar el archivo.

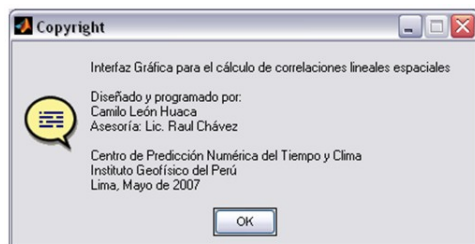


Después de esto, se puede proceder a reiniciar la interface. Para realizar esta acción, tan solo se tiene que hacer click con el mouse sobre el botón *Reset* lo que producirá que la interface vuelva a su estado inicial y que se cierre la ventana donde se visualiza el mapa.

14. Copyright

Como información final al usuario, se tiene la ventana de *Copyright*, la cual aparece al hacer click con el mouse en el objeto del mismo nombre que se encuentra en la parte superior izquierda de la interface.

En esta ventana se encuentran algunos datos referentes a la elaboración del programa como los autores, el lugar y fecha de desarrollo de la interface.



CONCLUSIONES

Ventajas y facilidades en el uso de la Interface

La interface de usuario posee un diseño muy sencillo.

Los objetos de la interface se van habilitando de manera progresiva.

No hay necesidad de introducir en la interface o en su programa mayores detalles o información adicional de las variables.

Las variables locales están en formato de texto por lo que su tratamiento es mucho mas sencillo usando la interface.

Se pueden añadir libremente muchas carpetas y archivos sin necesidad de modificar el programa de la interface.

Manejo muy practico en la visualización de los mapas de correlación.

Con las ventajas señaladas, el ahorro de tiempo en el procesamiento es realmente significativo.

¿Desventajas?

La interface trabaja de manera muy específica, solo arroja un resultado por proceso.

El proceso en el cual las variables globales se cargan al sistema, demora unos segundos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geofísico del Perú por permitirme desarrollar este trabajo, el cual contribuye de manera importante en mi formación académica.

BIBLIOGRAFIA

- Gutiérrez, J., Cano, R., Cofiño, A. y Sordo, C. (2004). *Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas*. Monografías del Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente.
- Mathworks Inc.- Guia para el diseño y programación de Interfaces Gráficas de Usuario en Matlab 7.0

ANÁLISIS DE TEMPERATURAS A PROFUNDIDAD, A SUPERFICIE Y AL AIRE EN VOLCANES MISTI y CHACHANI Y EN LA ESTACIÓN DE LA PAMPILLA (MAP) AREQUIPA

LILIANA ROSARIO TORRES VELARDE

*Facultad de Geología y Minas
Universidad Nacional San Agustín
Naosde@yahoo.com*

*Investigación dirigida por: Dr. Orlando Macedo S.
Dirección de Investigación de Vulcanología
Oficina de Arequipa*

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se detalla como se ha procesado la data de temperaturas obtenidas a partir de geotermómetros colocados en suelo desnudo, tanto en zona urbana (estación meteorológica La Pampilla ó MAP) como en zonas volcánicas: Misti y Chachani.

La Estación Meteorológica de la Pampilla (MAP) se encuentra ubicada en el perímetro urbano de la ciudad de Arequipa, en las coordenadas:

Latitud 16° 24' 13,20"S

Longitud 71° 31' 06,06"W

Altura 2356msnm

Los datos obtenidos provienen de la lectura de termómetros de mercurio, leídos diariamente en tres horarios: a las 7, 13 y 19 horas. Estos termómetros fueron colocados a diferentes profundidades, que van entre 2 y 100cm. A partir de estos datos se obtuvieron curvas de Isotermas, Tautocronas y Líneas de Tendencia, para analizar el cambio en la capacidad conservativa de calor del suelo por el clima en cada zona de estudio.

En el caso de los datos obtenidos del volcán Misti y Chachani para el primer periodo de

Julio del 2004 a Noviembre del 2005, la información a sido almacenada y registrada en data-logger, "*Universal Temperature Logger UTL-1*". Estos data-logger han sido programados para que tomen la temperatura cada 90 minutos y fueron instalados en las laderas de los volcanes: tres sitios o estaciones en el Volcán Misti y una en el Volcán Chachani. En cada sitio se instaló un par de termómetros: uno a la altura de la superficie del terreno y el otro, enterrado a 30cm de profundidad.

Mientras que, para el segundo periodo de registro, Noviembre 2005 a Noviembre 2006, los data-logger fueron programados para que tomen la temperatura cada 72 minutos y estuvieran instalados en las laderas de los volcanes y en dos estaciones, una a 5400msnm y otra 5750msnm en el Volcán Misti y una estación en el Volcán Chachani, en la misma ubicación que en periodo anterior. En cada estación se instalaron tres termómetros: uno al aire, otro a la altura de la superficie del terreno y el último enterrado a 30cm de profundidad.

Para analizar los datos de temperatura en ambos volcanes se construyeron curvas de Líneas de Tendencia, y así analizar la variación de la temperatura durante el periodo Noviembre 2005 a Noviembre 2006. También se ha tomado las máximas y mínimas temperaturas en forma mensual y diaria para poder correlacionar los datos de dos periodos, Julio 2004 a Noviembre 2005 y Noviembre 2005 a Noviembre 2006.

Además de las variaciones diarias debidas a la presencia o no del calor solar, las mediciones han registrado los cambios meteorológicos y climáticos como **Heladas o Nevadas, Ráfagas de Viento y Precipitaciones Sólidas**, siendo corroborado esto con información del SENAMHI, este tipo de precipitación se presenta en la sierra del Perú y a estos niveles de altura.

OBJETIVOS

Determinar los niveles de profundidad en los que la influencia de los cambios meteorológicos o climatológicos afecta el registro del calor interno derivado de fuentes caloríficas situadas en el interior de la tierra.

Determinar la variación de la temperatura para diferentes niveles de altura y notar en cual de los cambios meteorológicos y climáticos llegan a influir con mayor incidencia.

Comparar cual es la tendencia que tiene la temperatura en los volcanes Misti y Chachani.

MARCO TEÓRICO

Análisis De Temperaturas Del Suelo

Se ha comparado tres curvas de temperatura: Curvas de Isotermas, Curvas de Tautocronas y Curvas de Líneas de Tendencia. Estas necesitan analizar las variaciones de las geotemperaturas.

Análisis de Isotermas

Considerado eje "X" tiempo y eje "Y" la profundidad, primero se ponen los puntos de las geotemperaturas y luego se trazan las isolíneas. La variación de la temperatura de la atmósfera, así como las características de las propiedades físicas del suelo, van a influir directamente en las geotemperaturas que se registren a diferentes profundidades y en diferentes tiempos o épocas.

Análisis de Tautocronas

Consiste en analizar las geotemperaturas en un sistema Temperatura versus Profundidad. Del Griego TAUTO = igual y CRONOS = tiempo. Indican la variación de la temperatura en cada hora con respecto a la profundidad.

Análisis de Líneas de Tendencia

Analizar la variación de las geotemperaturas del suelo con el tiempo, en un tiempo constante se observa como va profundizando la onda térmica en el suelo. Las Líneas de Tendencia van disminuyendo en amplitud conforme aumenta la profundidad del suelo. La temperatura máxima depende de la estación del año, tipo de cobertura y de la profundidad.

CAMBIOS METEOROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS

Para el caso de Heladas y Nevadas

Las temperaturas en estas zonas descienden producto de varios factores.

Caso de heladas:

*Las temperaturas descienden menores o a 0°C.

Se presentan en cualquier época del año especialmente en el periodo de otoño e invierno (mayo - agosto).

*El rango de altitudes van desde los 2,500 a 3,500msnm.

*Esto ocurre normalmente bajo cielo despejado (sin nubes) en horas de la noche. Por la pérdida de energía y desecamiento de la atmósfera, es decir bajas temperaturas en horas de la noche.

Las condiciones para que esto ocurra son que existan altas presiones (subsistencia) en niveles medios de la atmósfera (5000msnm) mas o menos y fuerte viento del oeste.

Caso de nevadas:

Las condiciones son algo similares con la diferencia que:

*El rango de altitudes es de 3,500 a 4,000 msnm

*Estas se presentan durante el desarrollo de vaguadas en altura, asociados a eventos con un frente cálido en altura, vienen acompañados de tormentas, con bastante nubosidad.

Tipos de Heladas

Heladas de advección: se presentan en una región cuando ésta es "invadida" por una masa de aire frío cuya temperatura es inferior a 0°C. Este tipo de heladas se caracteriza por la

presencia de vientos con velocidades iguales o superiores a los 15 km/h y el gradiente de temperatura (variación de la temperatura con la altura) es negativo, sin inversión térmica. Las áreas afectadas son extensas y la nubosidad no influye sobre la temperatura, que experimenta variaciones con la marcha horaria.

Heladas de radiación: Se producen por el enfriamiento de las capas bajas de la atmósfera y de los cuerpos que en ellas se encuentran debido a la pérdida de calor terrestre por irradiación durante la noche. Se produce una estratificación del aire en donde las capas más bajas son más frías y las capas más altas son más cálidas (inversión térmica). Este tipo de heladas se produce en condiciones de viento calmo o escaso, ya que la ausencia de viento impide mezclar estas capas, y además, con cielo despejado que permite una mayor pérdida de calor desde la superficie terrestre. La pérdida de calor es mayor cuando las noches comienzan a ser más largas y el contenido de humedad del aire es menor. En los suelos cubiertos de vegetación y en el fondo de los valles es más probable que se den este tipo de heladas. En el caso de la cubierta vegetal, esta actúa como aislante entre el suelo y la atmósfera, evitando que el calor del suelo se transmita con rapidez al aire. Además disminuye la acumulación de calor en el suelo al impedir el ingreso de la radiación solar. El relieve del suelo, por sus diversos accidentes, determina la dirección e intensidad del flujo de aire frío nocturno. Si el suelo tiene pendiente, el aire frío (más denso) buscará niveles más bajos, donde se estacionará y continuará enfriándose. Es por ello que el fondo de los

valles es un lugar propicio para la formación de heladas.

Heladas de evaporación: Debidas a la evaporación de agua líquida desde la superficie vegetal. Suele ocurrir cuando, debido a la disminución de la humedad relativa atmosférica, el rocío formado sobre las plantas se evapora. El paso de agua líquida a su estado gaseoso requiere calor. Ese calor lo aporta la planta con su consiguiente enfriamiento.

Heladas mixtas: Se denominan de este modo a aquellas heladas que se producen simultáneamente por el vuelco de aire frío y la pérdida de calor del suelo por irradiación.

De acuerdo a los efectos visuales que este fenómeno causa:

Heladas blancas: se produce cuando la temperatura desciende por debajo de 0°C y se forma hielo sobre la superficie de las plantas. Este tipo de heladas se produce con masas de aire húmedo. Además el viento calmo y los cielos despejados favorecen su formación.

Heladas negras: En la helada negra el descenso por debajo de 0°C no va acompañado de formación de hielo. Su designación responde a la visualización de la coloración que adquieren algunos órganos vegetales debido a la destrucción causada por el frío. Este tipo de heladas se produce cuando la masa de aire es seca. El cielo cubierto o semicubierto o la turbulencia en capas bajas de la atmósfera favorece la formación de este tipo de heladas.

Las heladas son frecuentes en el invierno, pero

ocurren también en otoño y primavera, tardías. En estas dos estaciones las plantas tienen una gran sensibilidad a los descensos bruscos de temperatura.

conociéndose a las otoñales como heladas tempranas y a las primaverales como heladas

RAFAGA

Es un aumento repentino y significativo en las fluctuaciones de la velocidad del viento. La velocidad punta del viento debe alcanzar por lo menos 16 nudos (30 km/h) y la variación entre los picos y la calma es de por lo menos 10 nudos (18 km/h). Generalmente la duración es menor de 20 segundos.

Vientos de Montaña

Un ejemplo es el viento del valle que se origina en las laderas que dan al sur (ó en las que dan al norte en el hemisferio sur). Cuando las laderas y el aire próximo a ellas están calientes la densidad del aire disminuye, y el aire asciende hasta la cima siguiendo la superficie de la ladera. Durante la noche la dirección del viento se invierte, convirtiéndose en un viento que fluye ladera abajo. Si el fondo del valle está inclinado, el aire puede ascender y descender por el valle; este efecto es conocido como viento de cañón. Como se ve en la figura 1.

Los vientos que soplan en las laderas a sotavento pueden ser bastante potentes. Ejemplo de ello son: El Fhon de los Alpes en Europa, el Chinook en las Montañas Rocosas y el Zonda en los Andes.



Figura 1. Esquema de Dirección Viento de montaña

METODOLOGÍA:

Para el caso de la Estación la Pampilla (MAP), se obtuvo lecturas tres veces por día (7, 13 y 19 hrs) a diferentes profundidades (2,5,10,20,30,50 y 100 cm). Para cada mes del año, se obtuvo un promedio correspondiente a cada una de estas horas. Este cálculo se hizo para cada una de las profundidades.

Con estos resultados se dibujó las curvas correspondientes a Isotermas, Tautocronas y Líneas de Tendencia.

Para el caso de los volcanes Misti y Chachani,

se procedió de manera similar. Cabe señalar, sin embargo, que los datos iniciales fueron suavizados mediante un filtro que promedia los valores de una ventana compuesta por 3 puntos consecutivos (media móvil). Luego de esto, se procedió a obtener las curvas de Líneas de Tendencia, para cada uno de los sitios estaciones donde se instalaron los termómetros. Esto se trabajó en dos periodos de tiempo, el segundo periodo va de Noviembre 2005 a Noviembre 2006, se trabajó de manera similar que con los datos del primer periodo de Julio 2004 a Noviembre 2005.

Además se tomó las Máximas y Mínimas temperaturas, mensuales y diarias con lo cual se podrá comparar el registro de datos de ambos periodos. Pudiendo ver cual sería la tendencia que sufre la temperatura a lo largo del tiempo en ambos volcanes.

Resultados de la Estación la Pampilla (MAP)

MES	7 HORAS					13 HORAS							19 HORAS				
	PROFUNDIDAD (cm)					PROFUNDIDAD (cm)							PROFUNDIDAD (cm)				
	2	5	10	20	30	2	5	10	20	30	50	100	2	5	10	20	30
ENE	14.3	15.7	17.7	19.6	20.3	34.2	29.2	23.7	20.2	20.2	20.2	19.6	20	21.6	22.5	21.3	20.3
FEB	14.2	15.6	17.4	19.5	20.4	30.7	28	23.7	19.9	20.1	20.4	20	19.8	21.3	22.3	21.2	20.5
MAR	13.2	14.5	16.2	18.2	19	27.4	25.3	21.7	18.5	18.8	19.3	19.5	17.9	19.3	20.2	19.5	18.9
ABR	11.1	13.4	15.6	18.2	19.1	32.2	26.1	22	18.6	18.9	19.2	19.3	19	20.9	21.6	20	19.2
MAY	6.3	9.6	12.8	16	17.1	32.3	24.6	19.4	16.4	16.7	17.8	18.3	16.5	18.6	19.3	18	17.1
JUN	5	8.3	11.6	14.4	15.4	30.5	23.1	17.6	14.8	15.1	15.9	16.7	15.7	17.6	18.1	16.3	15.4
JUL	4.2	7.4	10.7	13.5	14.6	30.2	23.6	17.2	13.9	14.4	15.1	15.7	16	17.5	17.8	15.6	14.6
AGO	6.9	9.4	12.6	15.2	15.9	33.5	26.2	19.2	15.4	15.7	15.9	15.5	18.6	19.9	19.9	17.1	16
SET	7.7	10.2	13.6	16.6	17.3	37.1	29.1	21.3	16.8	16.9	17	16.5	19.3	21	21.3	18.7	17.3
OCT	10.9	12.5	15.5	18.3	19.2	39.4	31.6	23.8	18.7	18.7	18.8	17.8	20.6	22.4	22.9	20.6	19.3
NOV	13.6	14.6	17.3	20	20.7	39.2	32.2	25	20.5	20.4	20.3	19.1	21.9	23.6	24.2	21.8	20.8
DIC	14	15.2	18.1	20.7	21.5	40.1	33.1	25.4	21.1	21.2	21.2	20.2	23.3	24.9	25.5	22.8	21.6

TABLA I: Datos del año 2006 de la Estación de la Pampilla (MAP) del SENAMHI-Arequipa

ESTACION LA PAMPILLA (MAP): CURVAS DE ISOTERMAS

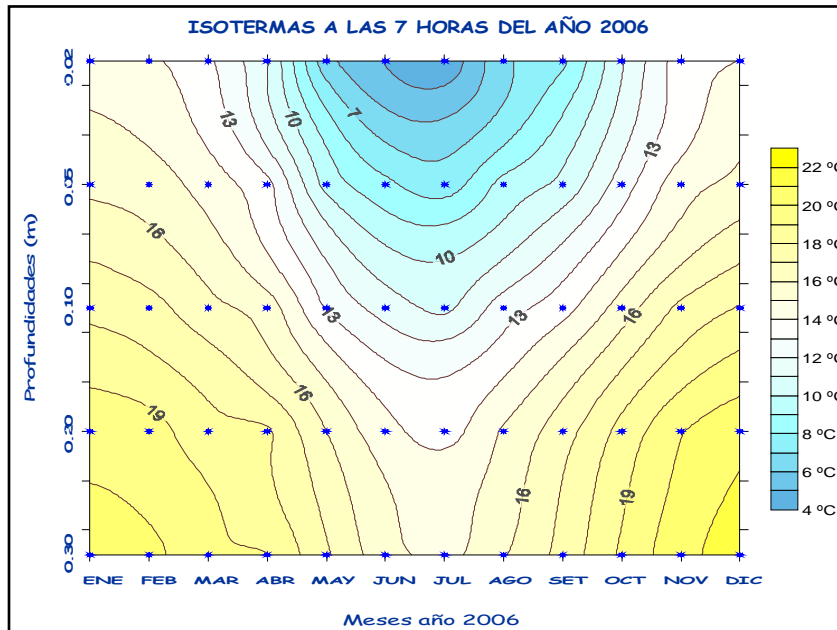


Figura 2a: Curvas de Isotermas; año 2006 para las 7:00 horas. La escala de ordenadas indica profundidades de 0.02m, 0.05m, 0.10m, 0.20m y 0.30m. Los primeros niveles tienen menor temperatura (de 4 a 14 °C) dependiendo de la estación del año; mientras que hacia los niveles mas profundos de 0.20 ó 0.30 m las temperaturas del suelo sufren un incremento (de 16 a 24°C).

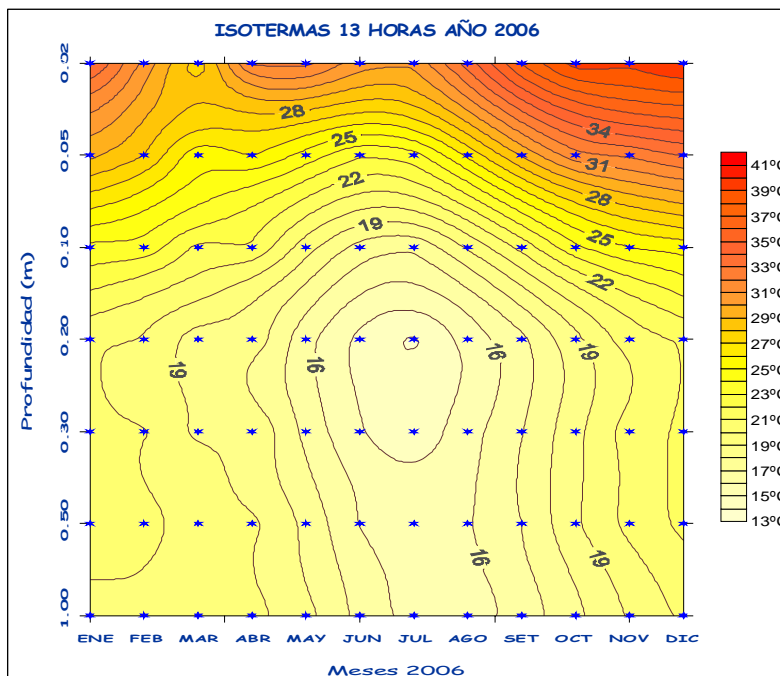


Figura 2b: Curvas de Isotermas; año 2006 para las 13 horas. Las profundidades son de 0.02m, 0.05m, 0.10m, 0.20m, 0.30m, 0.50m y 1.00m.

Los niveles superiores la temperatura del suelo es mas elevada; mientras que la menor temperatura del suelo se encuentra entre los 0.20 y 0.30m. Las líneas de isoterma se cierran. Por debajo de estas profundidades la temperatura se incrementa, debido probablemente al gradiente geotérmico terrestre.

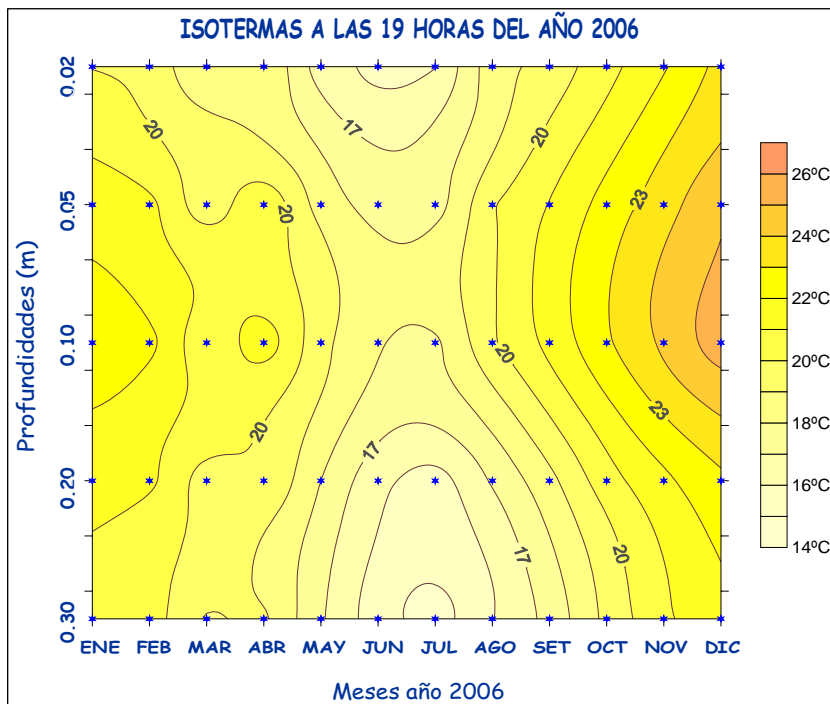


Figura 2c: Curvas de Isotermas; en los meses del año 2006 para las 19 horas, y profundidades de 0.02m, 0.05m, 0.10m, 0.20m, 0.30m

Se observa que la parte superior e inferior sufren un descenso en la temperatura del suelo, formándose un frente de conservación en la parte central, ya que a esta hora la temperatura sobre el suelo es mucho menor que al medio día, afectando así a los niveles mas superficiales del suelo. Mientras que los niveles más profundos se verían afectados por el calor proveniente del interior de la Tierra

.ESTACION LA PAMPILLA (MAP): CURVAS DE TAUTOCRONAS

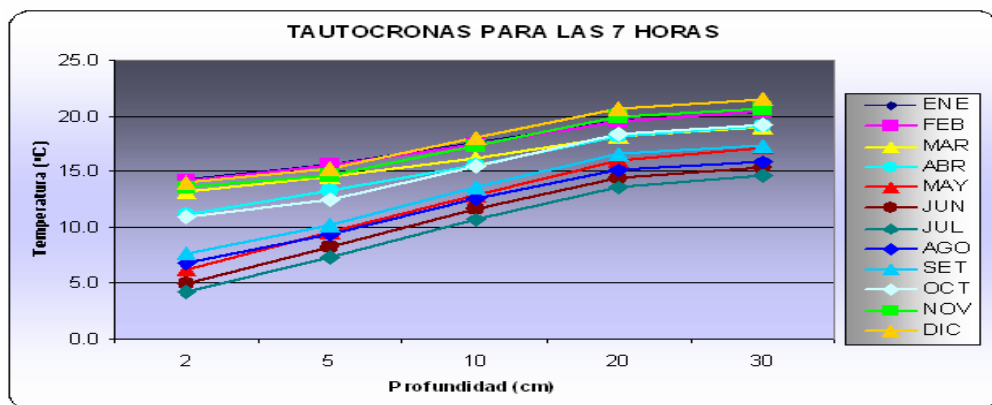


Figura 3(a)

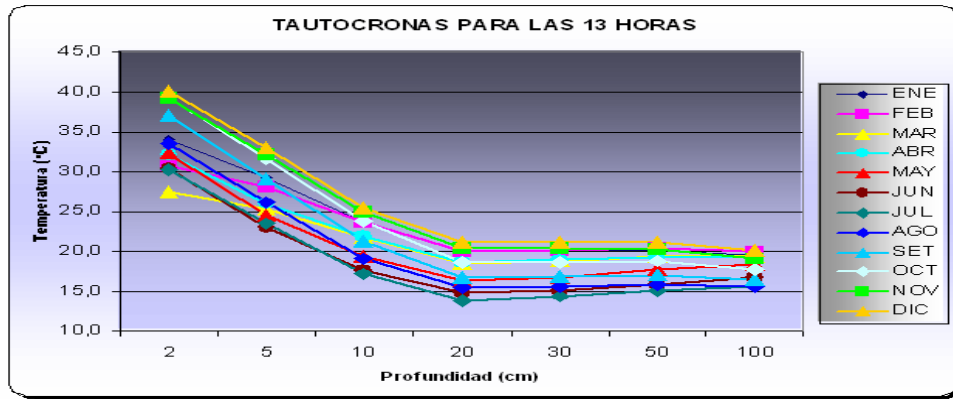


Figura 3(b)

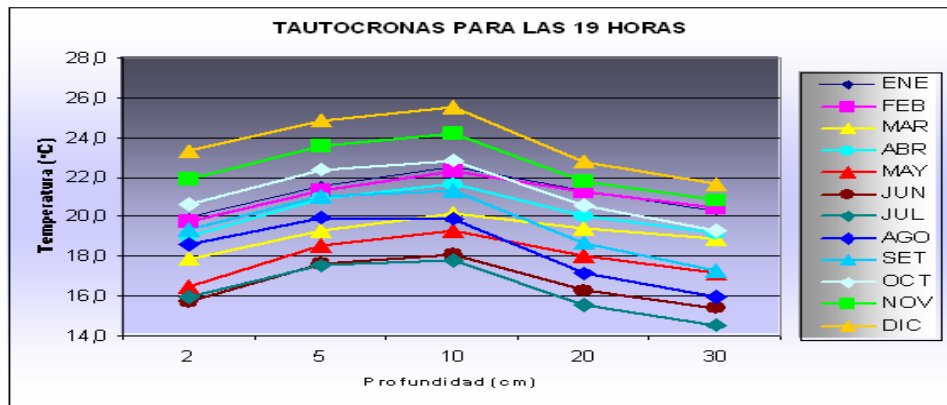


Figura 3(c)

Figura 3: Las tautocronas nos indican la relación entre la Profundidad (z) y la Temperatura (T), notándose el incremento o descenso de estas con el paso de las horas (a, b y c), En (a) se observa que a las 7 horas tiende a aumentar la T con respecto a la z, mientras que en (b) es decir a las 13 horas, tiende a disminuir la T con respecto a la z. Y por último en (c) o sea a las 19 horas, se produce tanto un incremento como un descenso de la T con respecto a la z. En estas 3 figuras a, b y c, se puede observar que a partir de la profundidad de 30 cm las temperaturas parecen estabilizarse (línea con cierta horizontalidad)

ESTACIÓN LA PAMPILLA (MAP): CURVAS DE LÍNEAS DE TENDENCIA

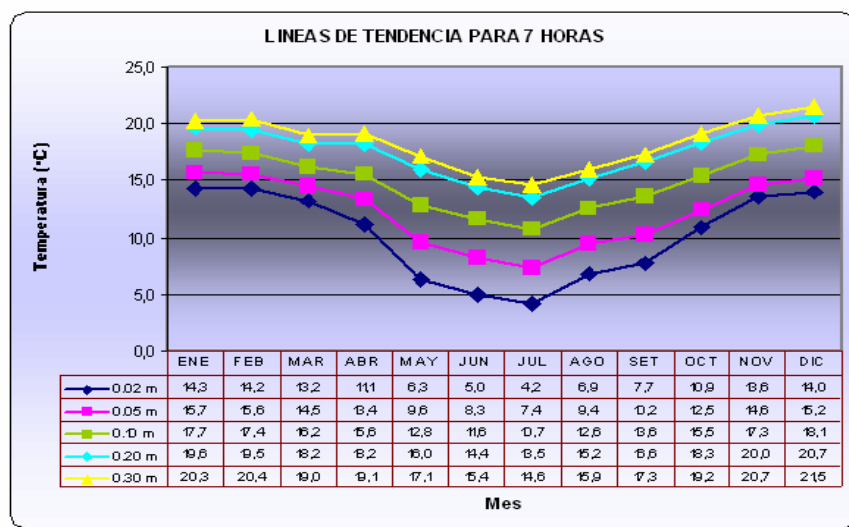


Figura 4(a)

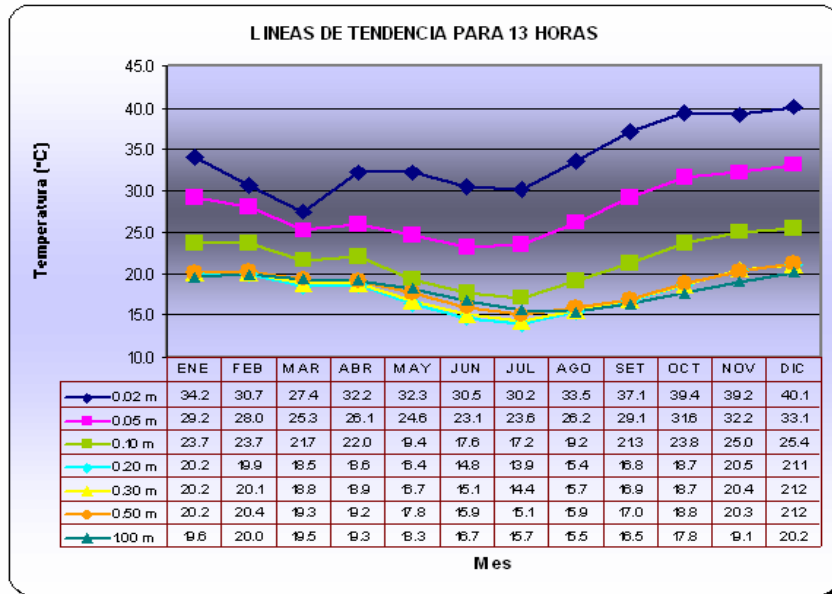


Figura 4(b)

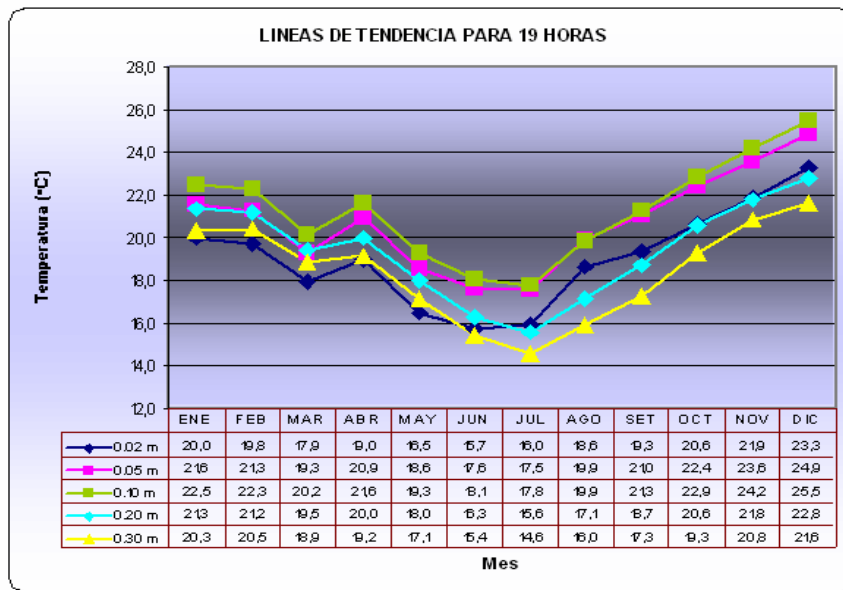


Figura 4(c)

Figura 4. En la figura 3 (a), (b) y (c) se muestra las Líneas de Tendencia tanto para las 7, 13 y 19 horas a sus respectivas profundidades.

En la Figura 3(a): a las 7 horas, es donde las curvas son más constantes con respecto a la profundidad de suelo. Siendo las que están a mayor profundidad las que tienen mayor temperatura.

En la Figura 3(b): a las 13 horas, los niveles más superficiales del suelo se ven más afectadas por los factores externos, mientras que las mas profundas tienen un comportamiento más constante. Incluso en zonas más profundas como 1.00m la temperatura es más elevada que las de profundidades media 0.20 y 0.30 m

En la Figura 3 (c): a las 19 horas, los niveles más superficiales son los que tienen una menor temperatura, en algunas épocas del año incluso menores que los niveles más profundos siendo los niveles medios (0.10 y 0.05 m) los que conservan mayor calor.

UBICACIÓN DE LOS TERMÓMETROS EN EL VOLCÁN MISTI Y CHACHANI



Figura 5. Ubicación de los termómetros al SE del Volcán Chachani



Figura 6. Ubicación de los termómetros en la parte NW del Volcán Misti a 4870, 5400 y 5750msnm. En el primer periodo de tiempo de Julio 2004 a Noviembre 2005. Mientras que el segundo periodo de tiempo de Noviembre 2005 a Noviembre 2006, se ubicaron los dataloger en los dos puntos más altos a 5400 y 5750msnm.

Resultados de ambos Volcanes Misti y Chachani

Líneas de Tendencia Volcán Misti

a) Primer Periodo Julio 2004 a Noviembre 2005

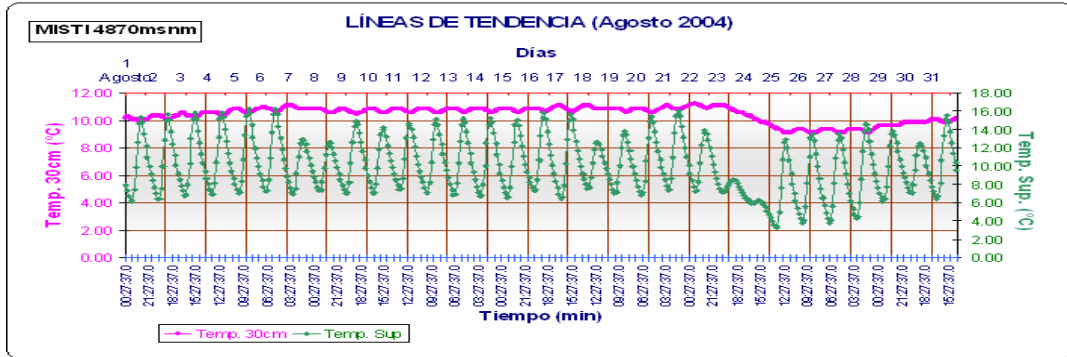


Figura 7 (a). Temperatura del Misti mes de Agosto 2004 a 4870msnm

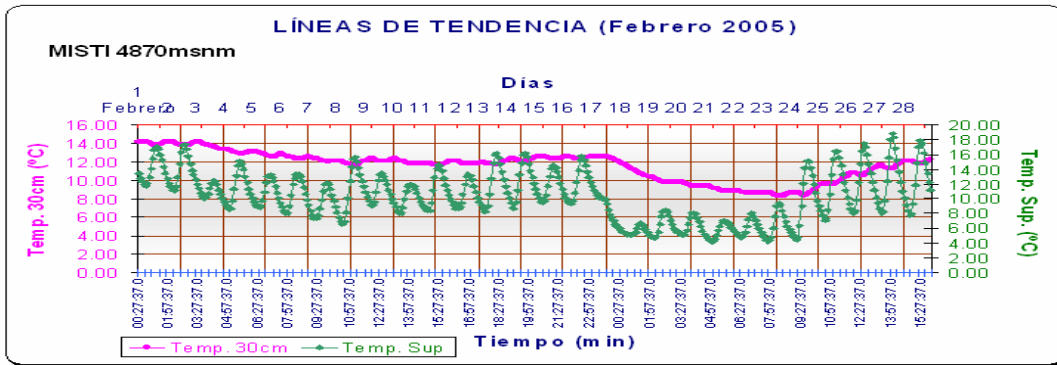


Figura 7 (b): Temperatura de del Misti mes Febrero 2005 a 4870msnm

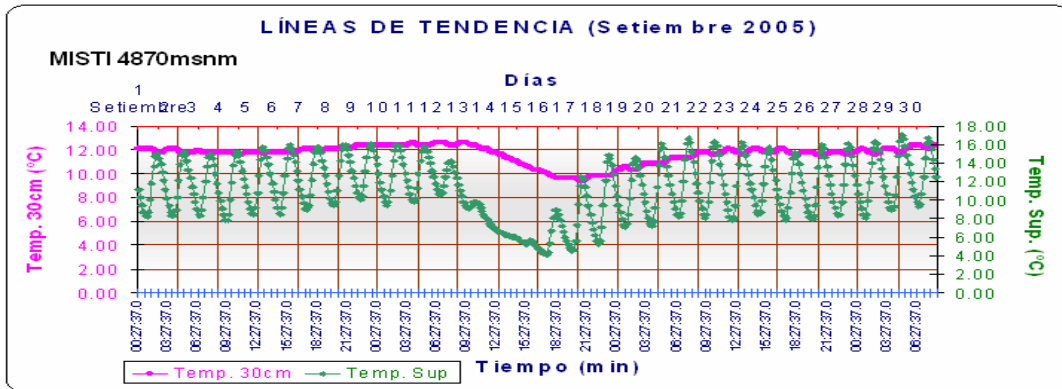


Figura 7 (c): Temperatura del Misti mes de Setiembre 2005 a 4870msnm

RESULTADOS:

En las Figuras 7 (a), (b), (c), son las temperaturas del Volcán Misti de la estación que se ubico a 4870msnm, para los meses de Agosto 2004 y los meses de Enero, Febrero y Setiembre del 2005. En esta estación se colocados dos termómetros uno a 30cm de

profundidad y el otro en la altura de la superficie del terreno. Ya que estos termómetros han sido colocados en las laderas del volcán estos se ven afectados por vientos de valle y vientos de montaña, los cuales hacen que baje la temperatura tanto en el día como en la noche. Además en estos meses es posible

que haya ocurrido heladas o nevadas, ráfagas de viento o precipitaciones sólidas que influyen en la temperatura. Algo similar a este

comportamiento ocurrió en los meses de Enero, Noviembre y Diciembre del 2004 y Noviembre del 2005.

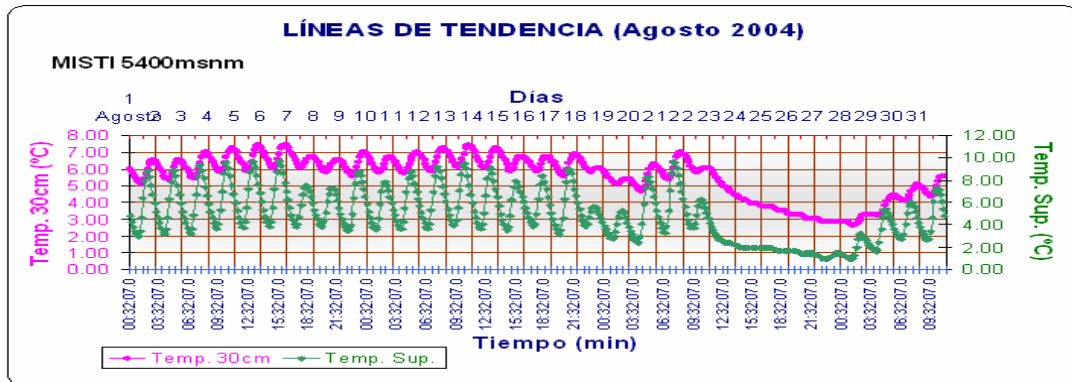


Figura 8 (a): Temperatura del Misti mes de Agosto 2004 a 5400msnm

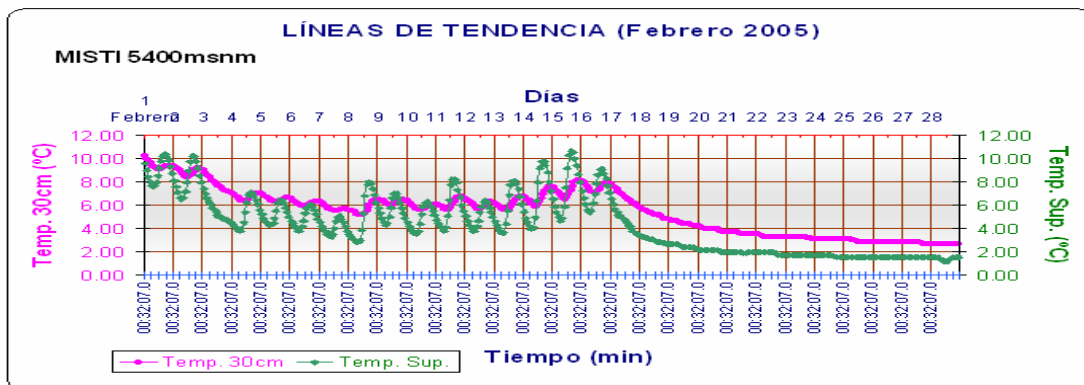


Figura 8 (b): Temperatura del Misti mes de Febrero 2005 a 5400msnm

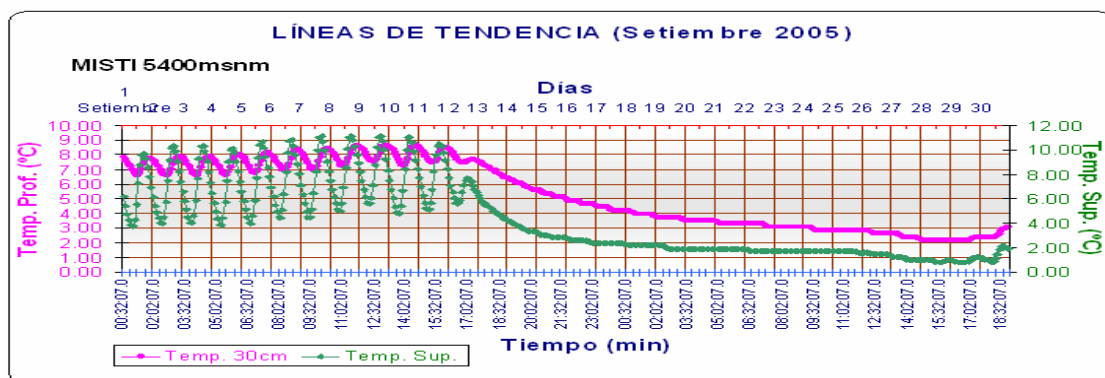


Figura 8 (c): Temperatura del Misti mes de Setiembre 2005 a 5400msnm

Las Figuras 8 (a), (b), (c), son gráficos de las del Volcán Misti de la estación que se ubico a 5400msnm, para los meses de Agosto del 2004 y para los meses de Febrero y Setiembre del 2005. En esta estación igual que la anterior se colocaron dos termómetros uno a 30cm de

profundidad y el otro en la altura de la superficie del terreno. De igual manera se ven afectados por el clima típico de la zona como son heladas o nevadas, ráfagas de viento o precipitaciones sólidas que influyen en la temperatura.

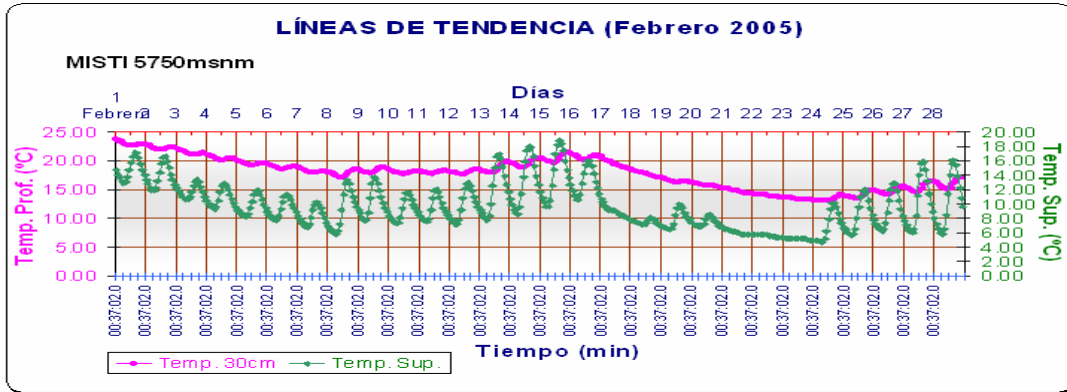


Figura 9 (a): Temperatura del Misti mes de Febrero 2005 a 5750msnm

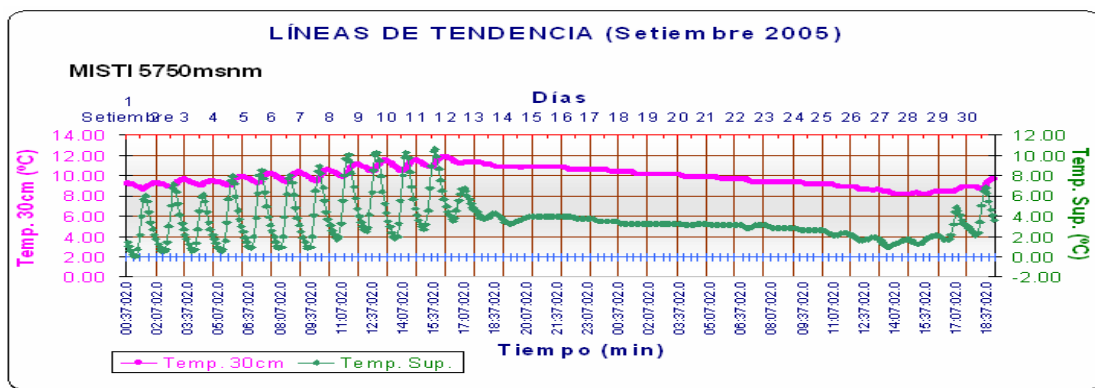


Figura 9 (b): Temperatura del Misti mes de Setiembre 2005 a 5750msnm

En las Figuras 9 (a), (b), son las temperaturas del Volcán Misti de la estación que se ubico a 5750msnm, para los meses de Febrero y Setiembre del periodo 2005. En esta estación se colocados dos termómetros uno a 30cm de profundidad y el otro en la altura de la superficie del terreno. Ya que estos termómetros han sido colocados en las laderas del volcán estos se ven afectados por vientos de valle y vientos de montaña, los cuales hacen que baje la temperatura tanto en el día como en la noche. Además en estos meses es posible que haya ocurrido heladas o nevadas, ráfagas de viento o precipitaciones sólidas que influyen en la temperatura.

B) Segundo Periodo Noviembre 2005 a Noviembre 2006

Una vez que los datos han sido corregidos se notará en las siguientes gráficas las anomalía que se genera por cambios climáticos y meteorológicos causados tanto por nevadas o ráfagas de viento o algún otro fenómeno que genere un cambio en la temperatura de la zona de estudio en este caso en el Volcán Misti y el Volcán Chachani. En las siguientes gráficas primero se mostrará los datos tratados del Misti a la altura de 5400msnm y a 5750msnm y posteriormente los datos del Chachani.

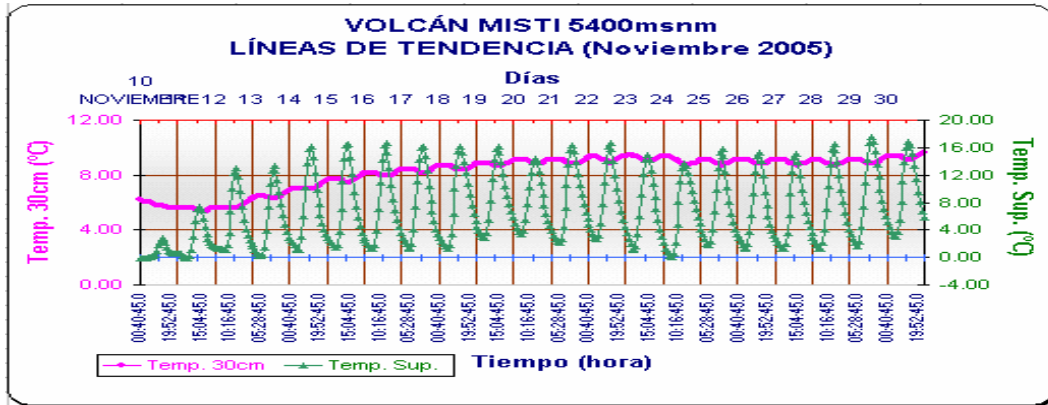


Figura 10 (a): Temperatura del Volcán Misti mes de Noviembre 2005 a 5400msnm

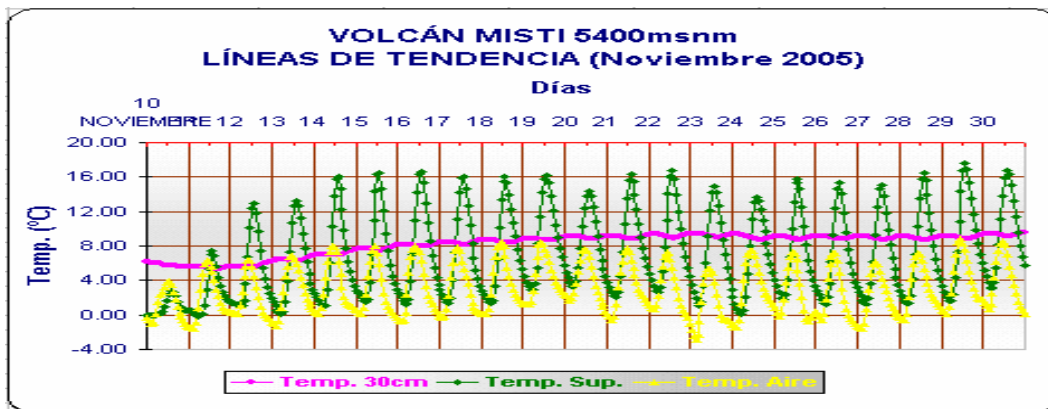


Figura 10 (b): Temperatura del Volcán Misti mes de Noviembre 2005 a 5400msnm

Durante el periodo de Noviembre 2005 a Noviembre 2006 los datos en el Volcán Misti han sido registrados en dos estaciones, la primera a 5400msnm y la segunda a 5750msnm, en ambas estaciones se han colocado tres termómetros uno al aire, otro a la superficie del terreno y el último a una profundidad de 30cm. Primero se vera las

gráficas de la estación ubicada a 5400msnm. La figura 10 (a) y (b) corresponde al mes de Noviembre del 2005, la primera me detalla solo la temperatura al superficie y a 30cm de profundidad, mientras que en la segunda esta tanto la temperatura al aire, a superficie y a 30cm de profundidad.

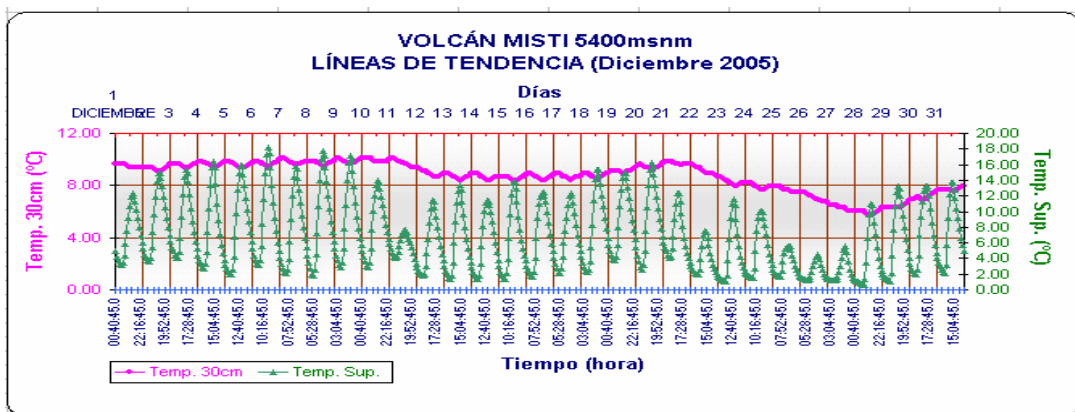


Figura 10 (c): Temperatura del Volcán Misti mes de Diciembre 2005 a 5400msnm

Las figuras 10 (a), (b) y (c) corresponden al Volcán Misti a 5400msnm en los meses de Noviembre y Diciembre 2005 respectivamente, en dichas figuras se ve la variación de la temperatura a la superficie del terreno y a 30cm de profundidad únicamente, no se ha colocado las figuras que contienen las gráfico de temperatura al aire porque se le esta dando

mayor interés a la temperatura que sea propia del volcán. Esto también se dio en los meses de Enero, Febrero, Octubre y Noviembre del 2006.

En las siguientes gráficas se analizarán los datos que los termómetros que se encuentran a 5750msnm.

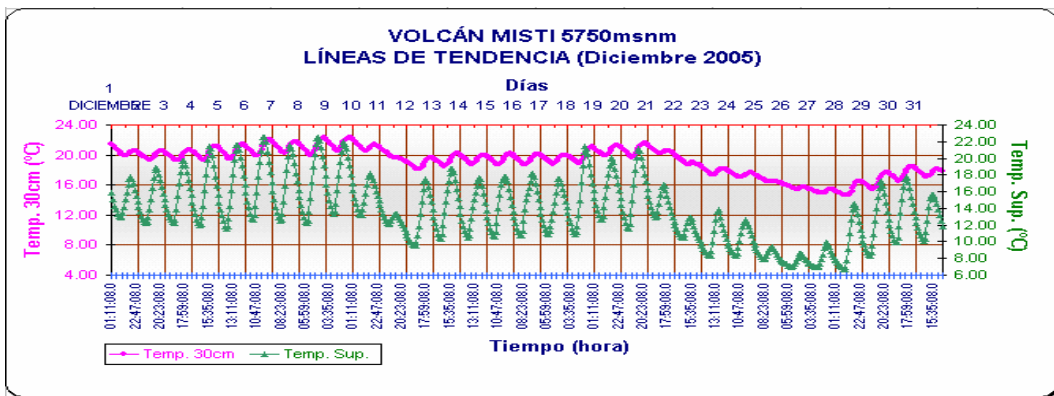


Figura 11 (a): Temperatura del Volcán Misti mes de Diciembre 2005 a 5750msnm

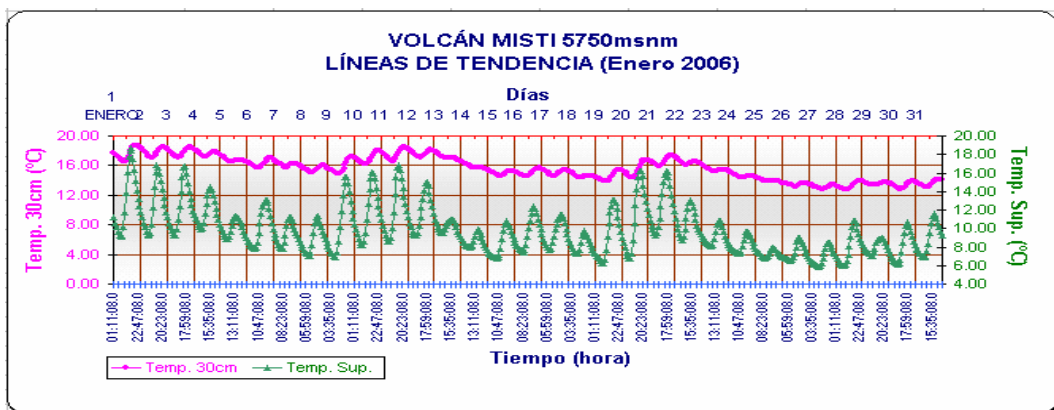


Figura 11 (b): Temperatura del Volcán Misti mes de Enero 2006 a 5750msnm

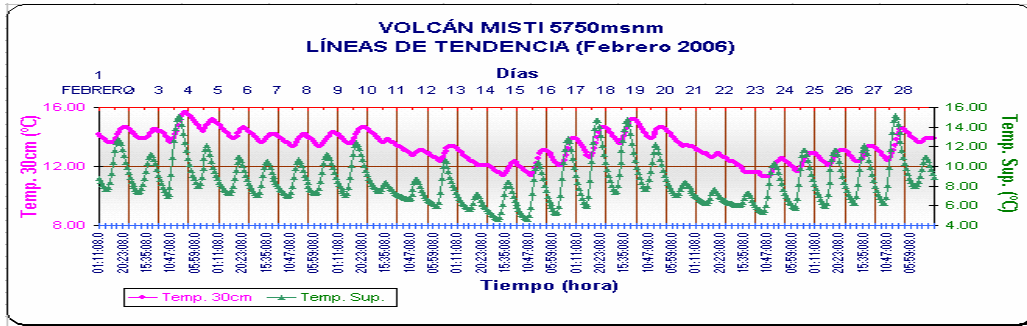


Figura 11 (c): Temperatura del Volcán Misti mes de Febrero 2006 a 5750msnm

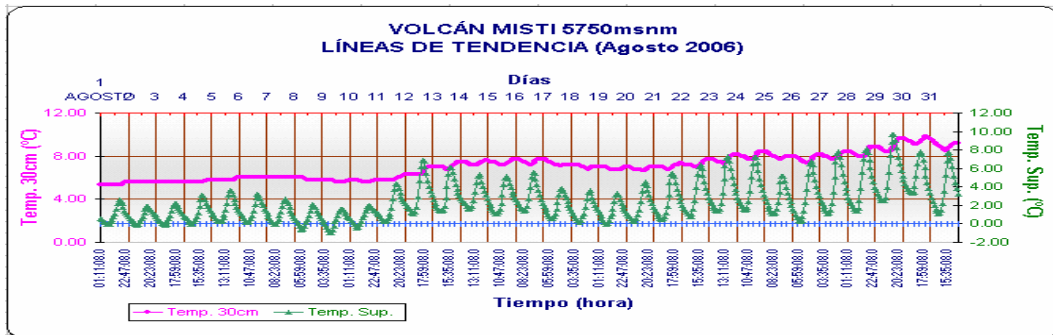


Figura 11 (d): Temperatura del Volcán Misti mes de Agosto 2006 a 5750msnm

Las figuras 11 (a), (b), (c), (d) corresponden al Volcán Misti a 5750msnm en los meses de Diciembre 2005, Enero, Febrero y Agosto 2006 respectivamente, en dichas figuras se ve la variación de la temperatura a la superficie del terreno y a 30cm de profundidad. De igual manera que en el periodo anterior (Julio 2004 a Noviembre 2005) al encontrarse esta estación cerca la zona del cráter del volcán se va a ver afectado por vientos de valle y vientos de

montaña, los cuales hacen que baje la temperatura tanto en el día como en la noche. Además en estos meses es posible que haya ocurrido heladas o nevadas, ráfagas de viento o precipitaciones sólidas que influyen en la temperatura. Esto también ocurrió en los meses de Mayo, Agosto y Noviembre del 2006.

Líneas de Tendencia Volcán Chachani Primer Periodo Julio 2004 a Noviembre 2005

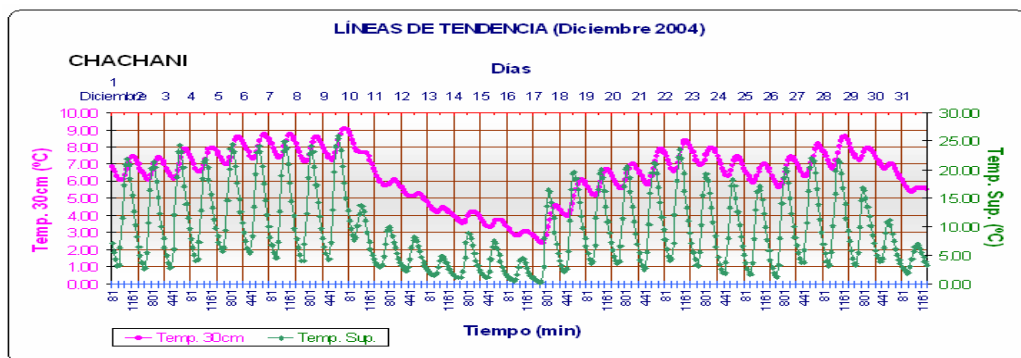


Figura 12 (a): Temperatura del Chachani mes de Diciembre 2004

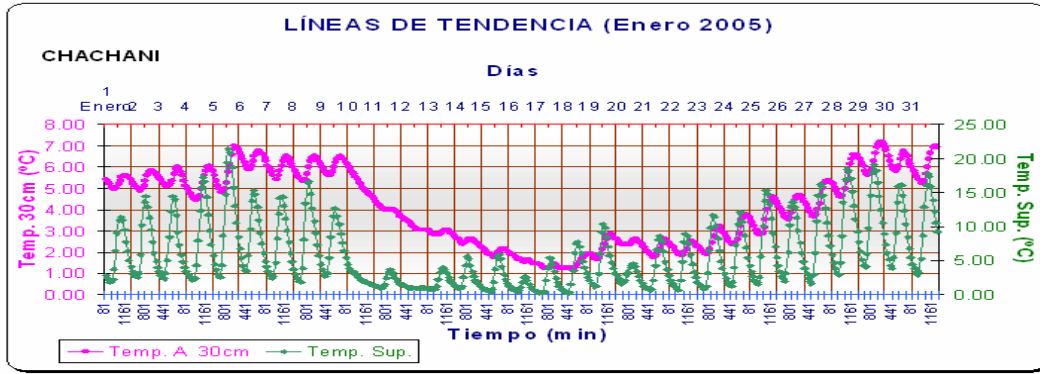


Figura 12 (b): Temperaturas del Chachani mes de Enero 2005

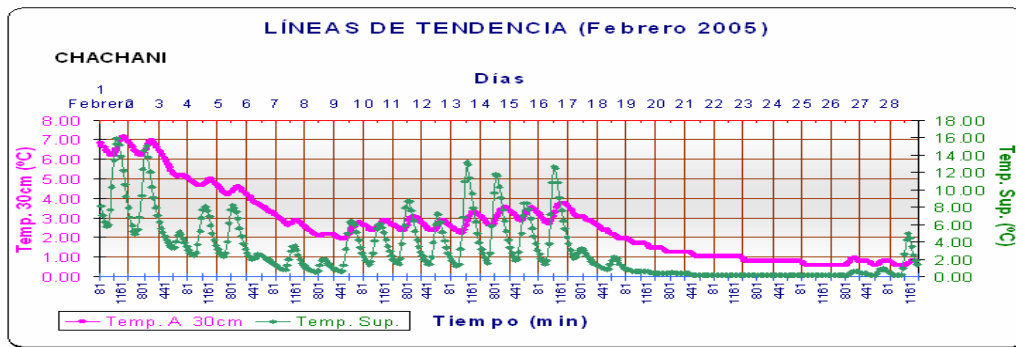


Figura 12 (c): Temperaturas del Chachani mes de Febrero 2005

Las figuras 12 (a), (b) y (c) corresponden al Volcán Chachani en los meses de Diciembre 2004, Enero y Febrero 2005, puede verse la variación de la temperatura a la superficie del

terreno y a 30cm de profundidad. Durante el periodo Julio 2004 a Noviembre del 2005.

Segundo Periodo Noviembre 2005 a Noviembre 2006

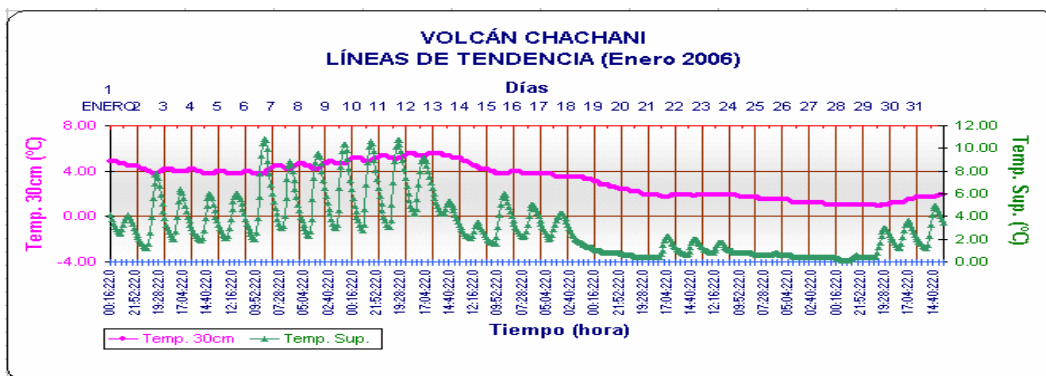


Figura 13 (a): Temperatura del Volcán Chachani mes de Enero 2006

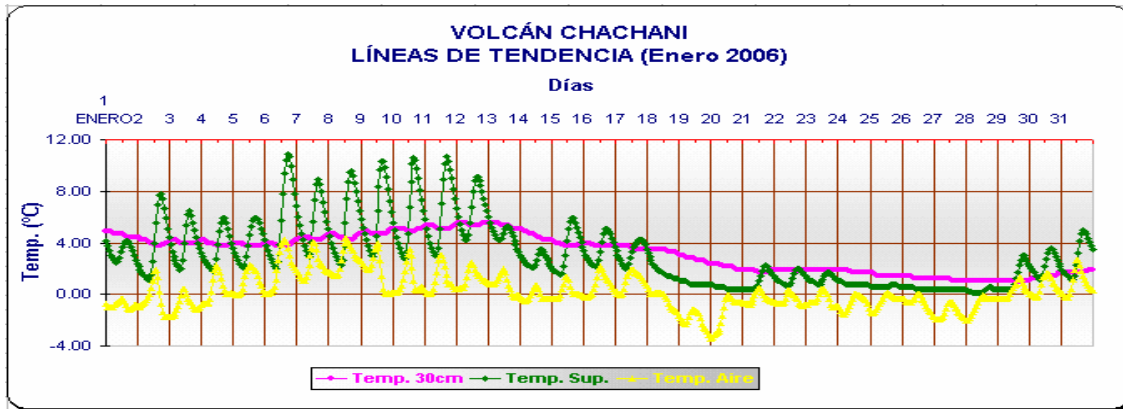


Figura 13 (b): Temperatura del Volcán Chachani mes de Enero 2006

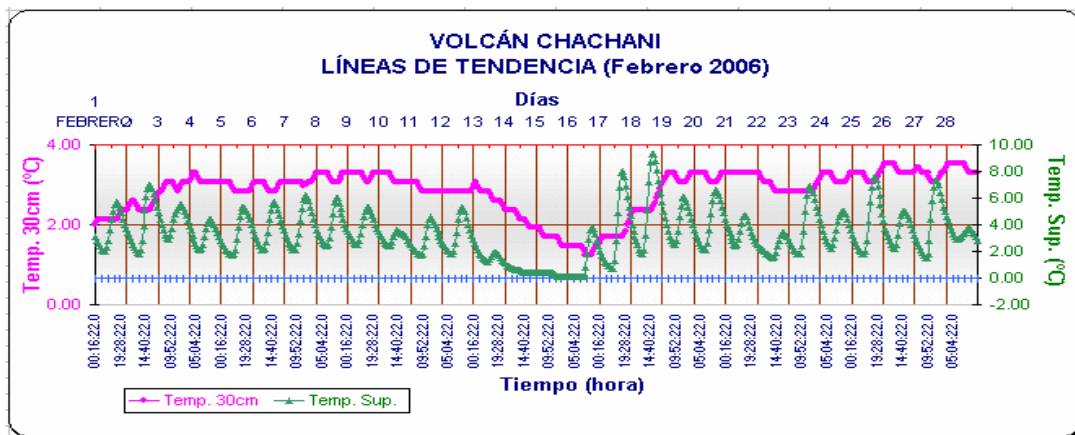


Figura 13 (c): Temperatura del Volcán Chachani mes de Febrero 2006

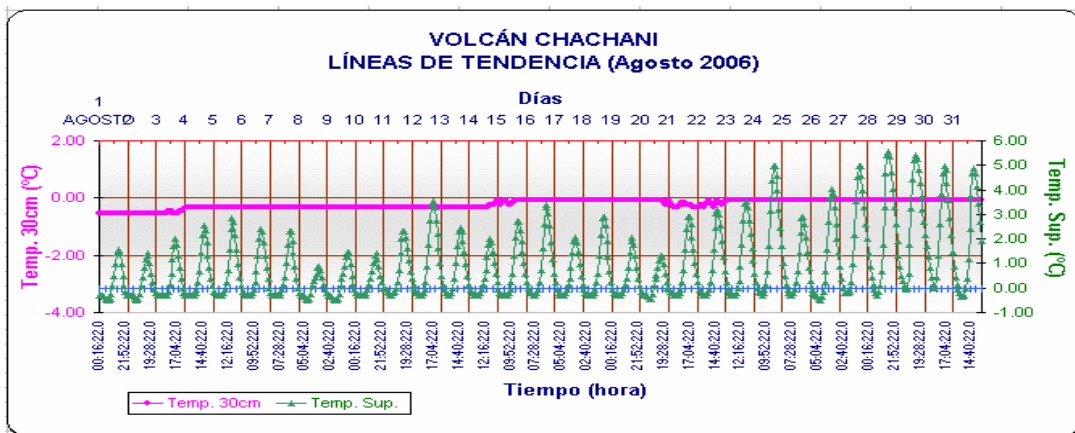


Figura 13 (d): Temperatura del Volcán Chachani mes de Agosto 2006

Las figuras 13 (a), (b), (c), (d) corresponden al Volcán Chachani en los meses de Enero, Febrero, y Agosto del 2006 respectivamente, en dichas figuras se ve la variación de la temperatura a la superficie del terreno y a 30cm de profundidad. Mientras que en las figuras 13 (b) están graficadas las temperaturas al aire, a la superficie del terreno y a 30cm de

profundidad. Ya que esta estación está en la ladera del volcán se ve afectado por vientos de valle y vientos de montaña, los cuales hacen que baje la temperatura tanto en el día como en la noche. Además en estos meses es posible que haya ocurrido heladas o nevadas, ráfagas de viento o precipitaciones sólidas que influyen en la temperatura. Estas anomalías

también se vieron en los meses de Noviembre y Diciembre 2005 Mayo, Julio, Setiembre, Octubre y Noviembre del 2006.

Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales.

Volcán Misti y Chachani - Primer Periodo

Temperaturas Máximas y Mínimas para el Volcán Misti

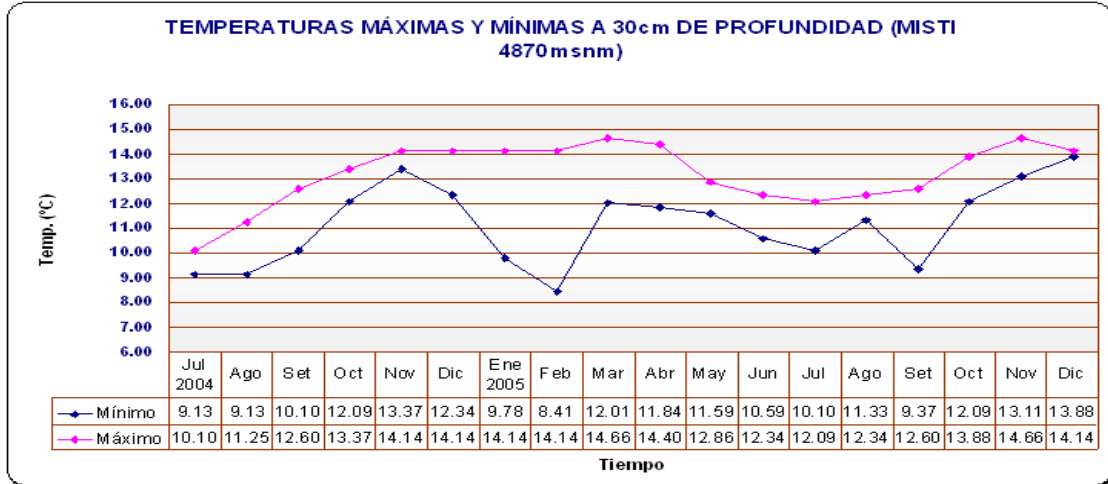


Figura 14 (a): Temperaturas Máximas y Mínimas a 30cm de profundidad desde julio del 2004 a diciembre del 2005 a 4870msnm (MISTI)

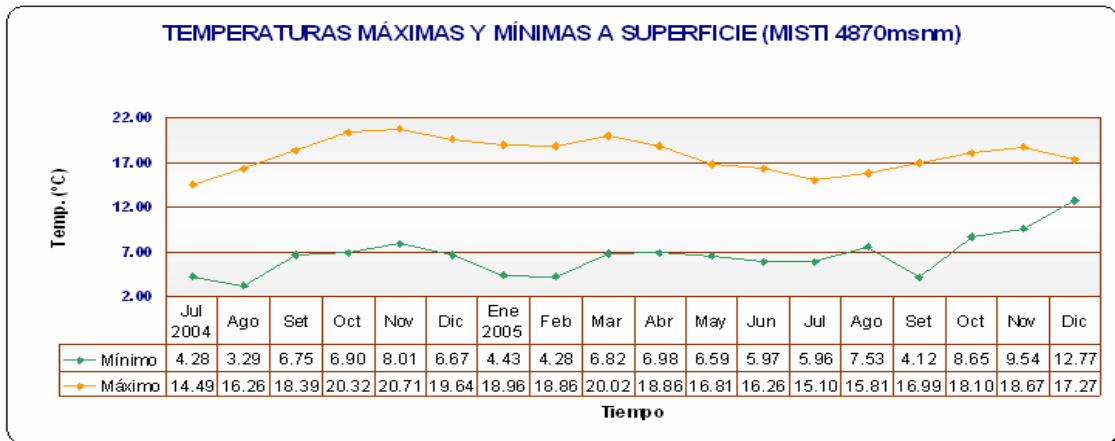


Figura 14 (b): Temperaturas Máximas y Mínimas a superficie desde julio del 2004 a diciembre del 2005 a 4870msnm (MISTI)

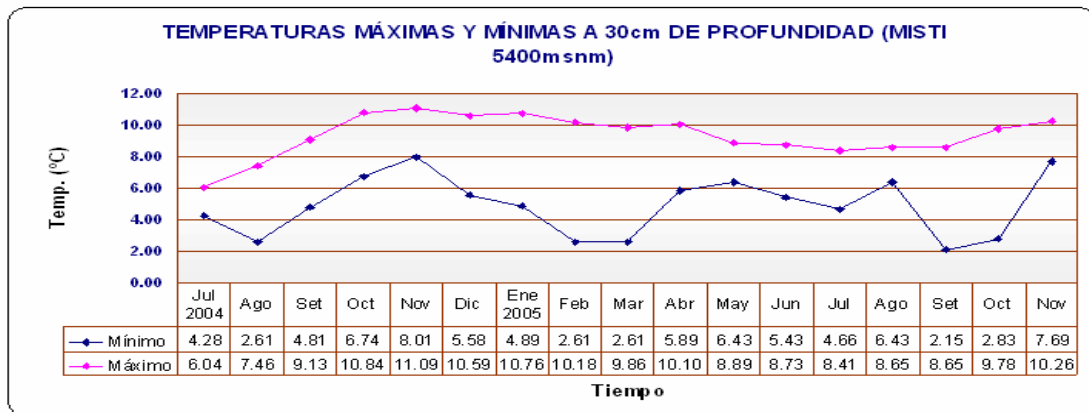


Figura 14 (c): Temperaturas Máximas y Mínimas a 30cm de profundidad desde julio del 2004 a diciembre del 2005 a 5400msnm (MISTI)

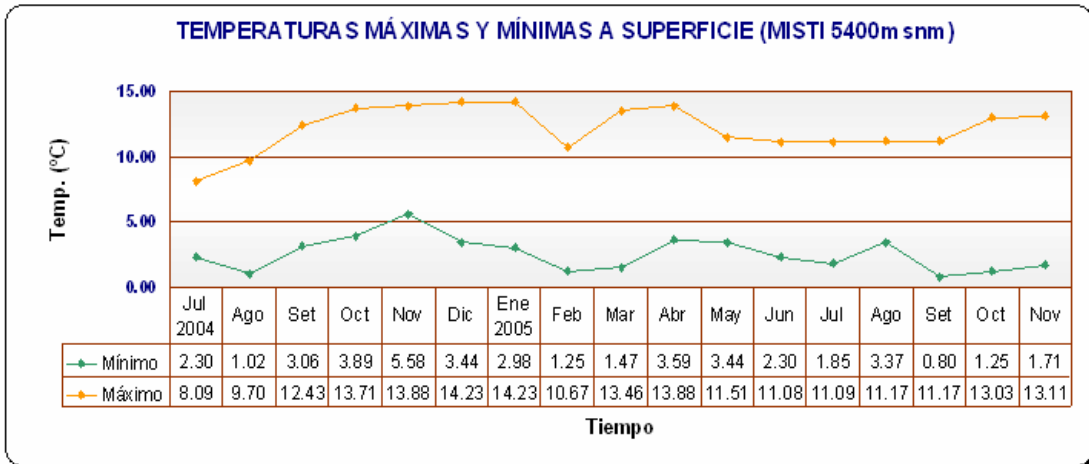


Figura 14 (d): Temperaturas Máximas y Mínimas a superficie desde julio del 2004 a diciembre del 2005 a 5400msnm (MISTI)

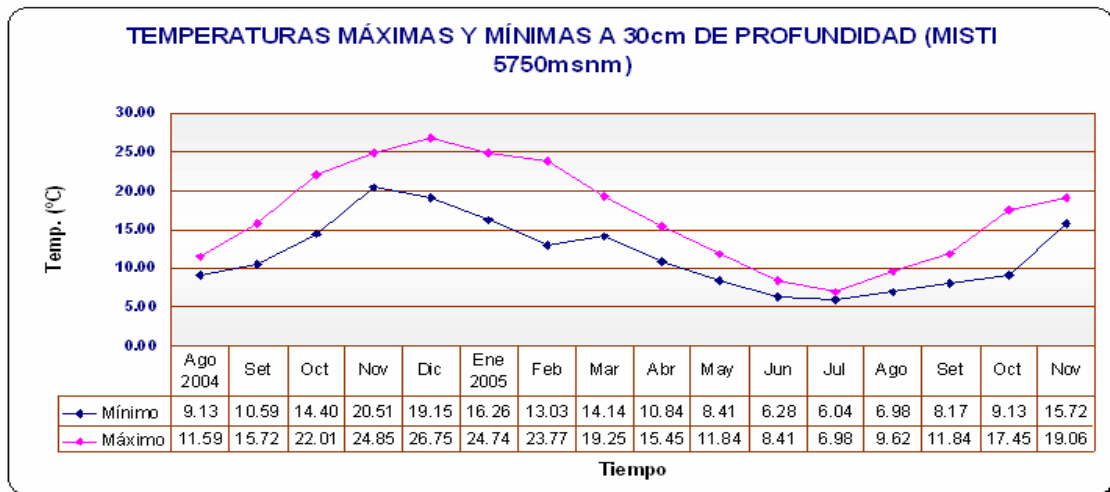


Figura 14 (e): Temperaturas Máximas y Mínimas a 30cm de profundidad desde julio del 2004 a diciembre del 2005 a 5750msnm (MISTI)

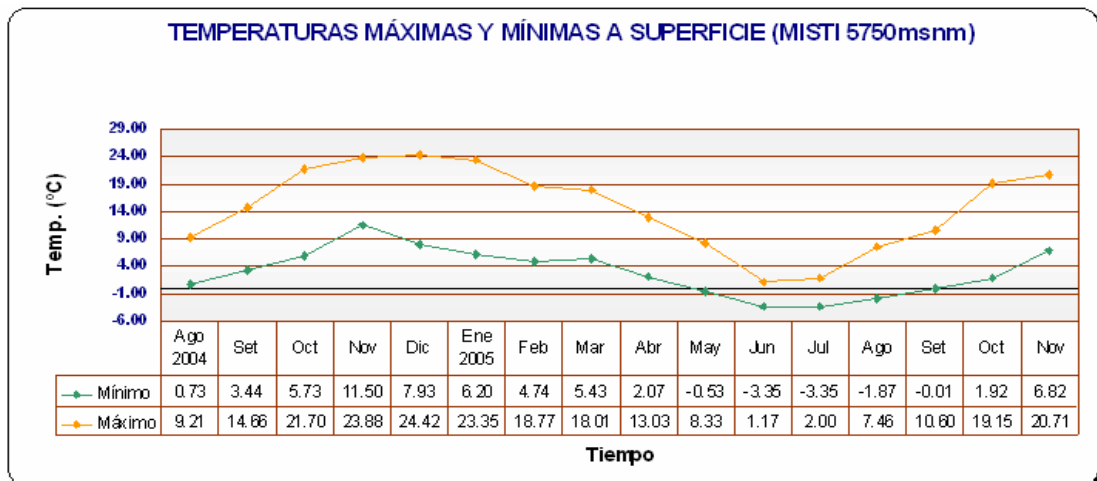


Figura 14 (f): Temperaturas Máximas y Mínimas a superficie desde julio del 2004 a diciembre del 2005 a 5750msnm (MISTI)

Segundo Periodo

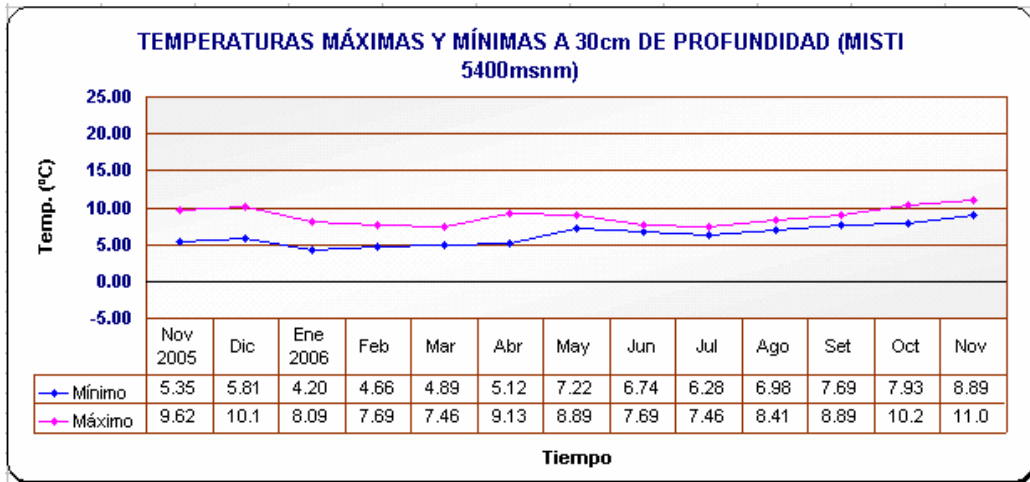


Figura 15 (a): Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales a 30cm de profundidad desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

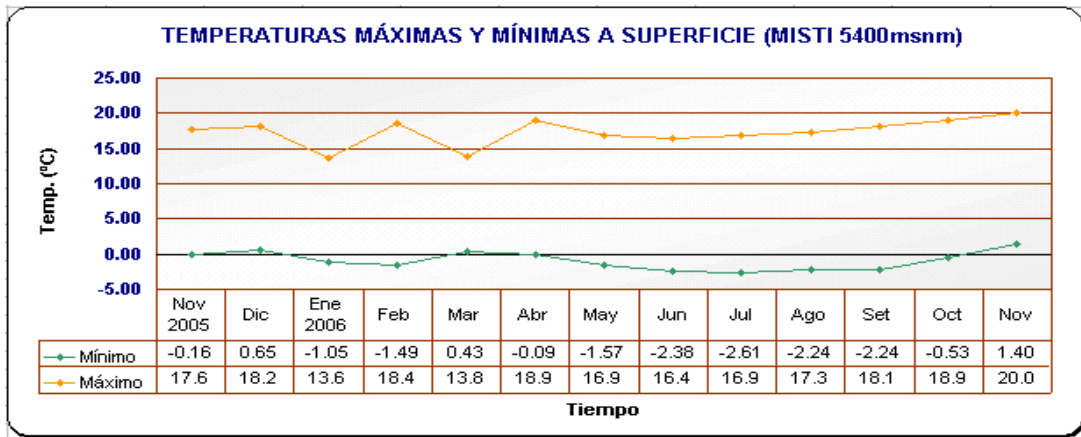


Figura 15 (b): Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales a superficie del terreno desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

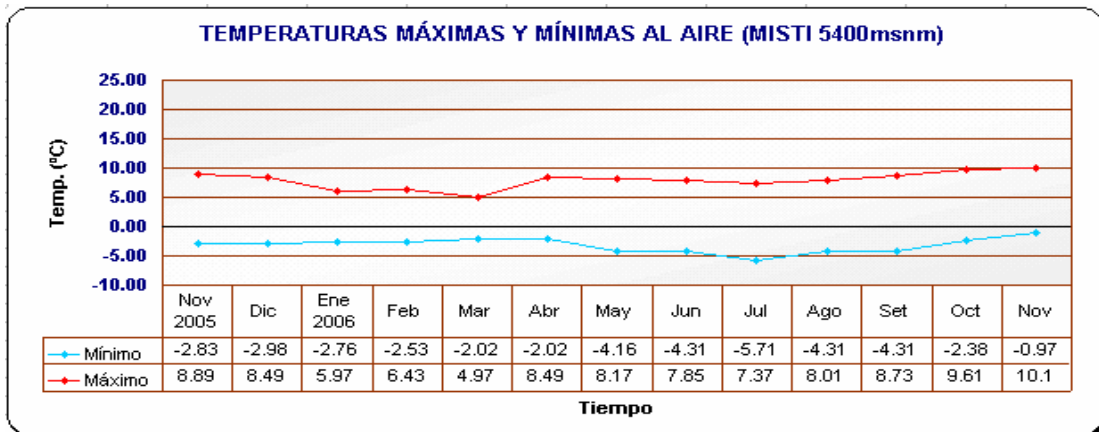


Figura 15 (c): Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales al aire desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

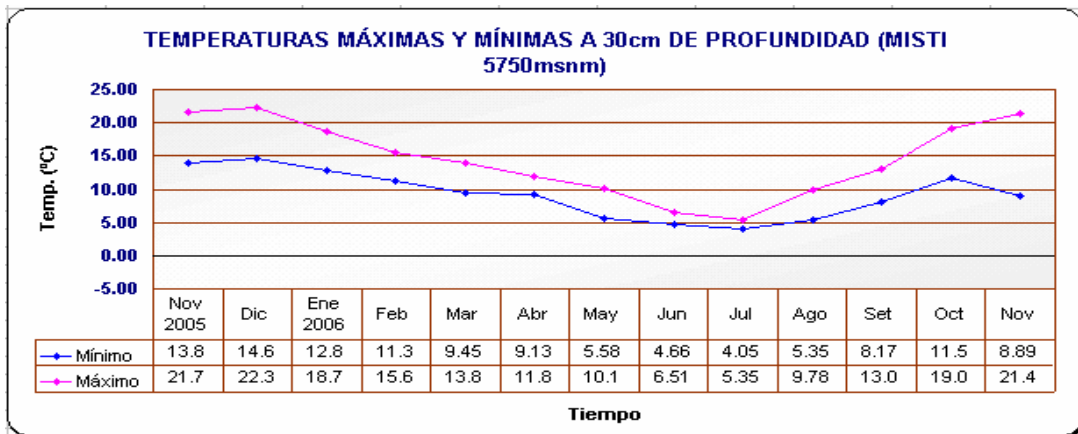


Figura 16 (a): Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales a 30cm de profundidad desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

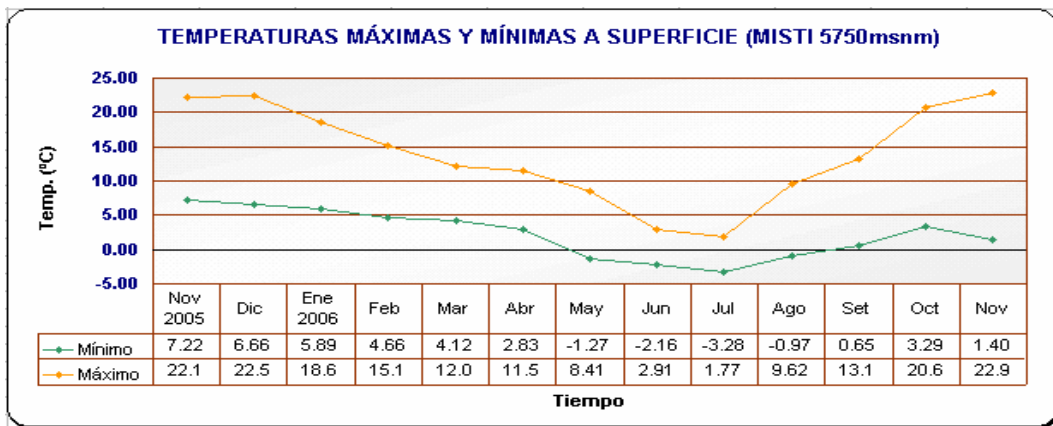


Figura 16 (b): Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales a superficie del terreno desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

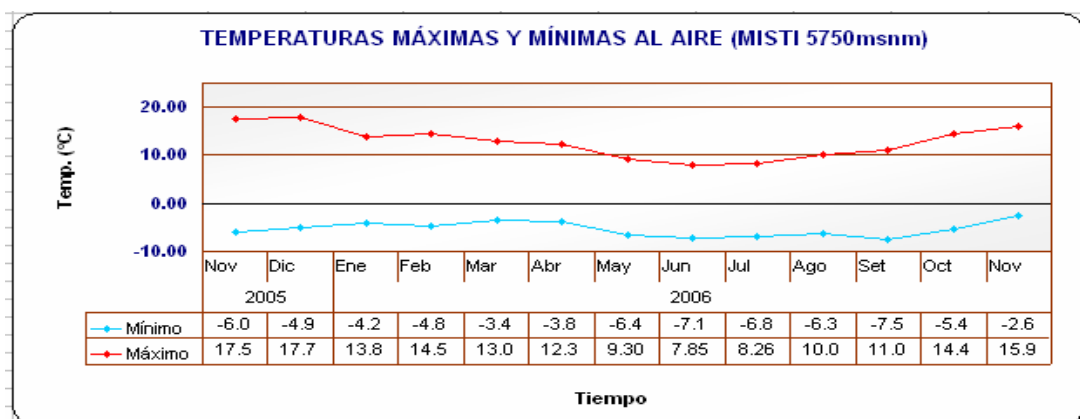


Figura 16 (c): Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales al aire desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

En las Figuras 15 (a), (b), (c) y 16 (a), (b), (c) se aprecia tanto las máximas y mínimas temperatura mensuales en el periodo de Noviembre 2005 a Noviembre 2006, notando que los meses más cálidos para el Misti son Noviembre y Diciembre, mientras que los

Volcán Chachani - Primer Periodo

meses más fríos son Junio y Julio, esto tanto para la geotemperatura a 30cm de profundidad y la temperatura a superficie, mientras que en la temperatura al aire no se nota esta coincidencia con las máxima y mínima temperaturas.

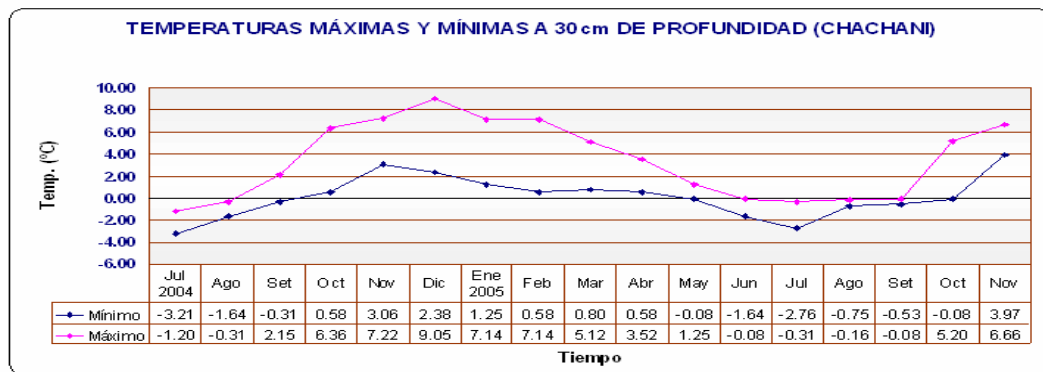


Figura 17 (a): Temperaturas Máximas y Mínimas a 30cm de profundidad desde julio del 2004 a diciembre del 2005 (CHACHANI)

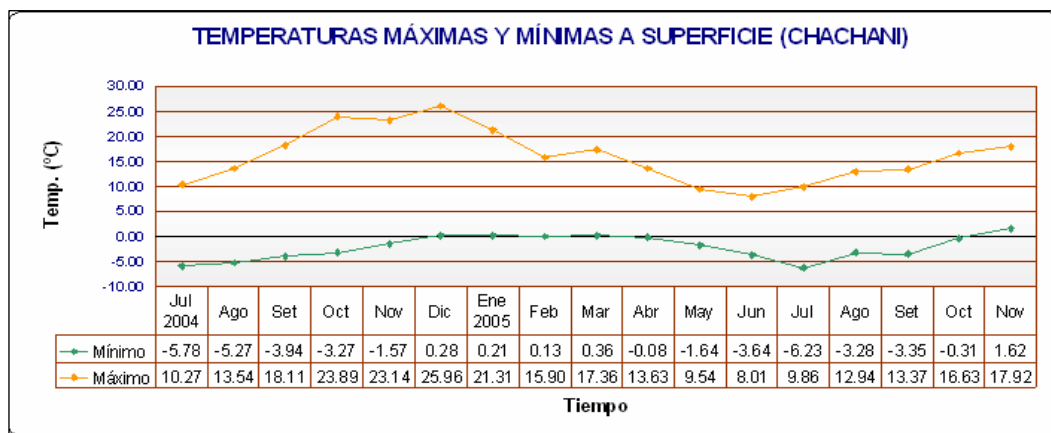


Figura 17 (b): Temperaturas Máximas y Mínimas a superficie desde julio del 2004 a diciembre del 2005 a 5750msnm (CHACHANI)

En las Figuras 14 (a), (b), (c), (d), (e), (f) y 17 (a), (b) se aprecia tanto las máximas y mínimas temperatura en el periodo de Julio del 2004 a Diciembre del 2005, notando que los meses más cálidos para el Misti y el Chachani son

Diciembre y Enero, mientras que los meses más fríos son Julio Agosto, esto tanto para la geotemperatura a 30cm de profundidad y la temperatura a superficie.

Segundo Periodo

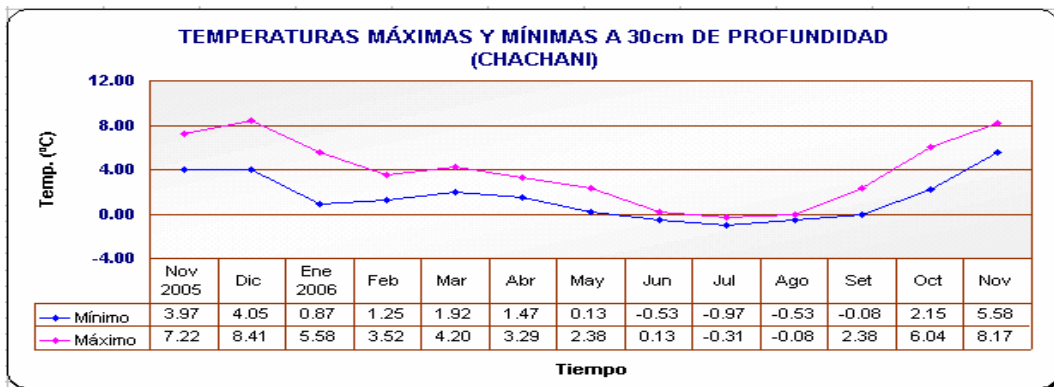


Figura 18 (a): Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales a 30cm de profundidad desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 (CHACHANI)

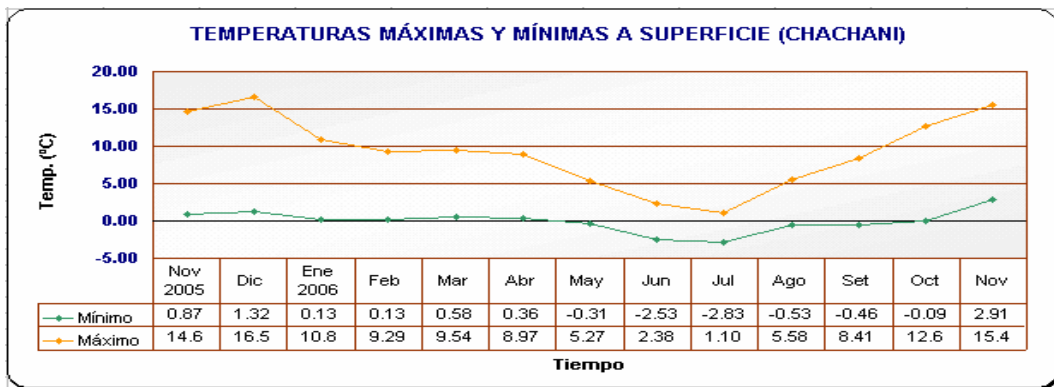


Figura 18 (b): Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales a superficie desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 (CHACHANI)

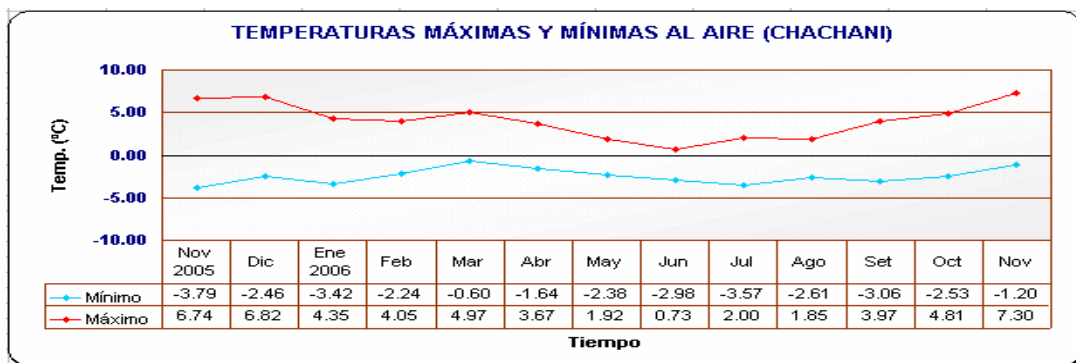


Figura 18 (c): Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales al aire desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 (CHACHANI)

En las Figuras 18 (a), (b), (c) se aprecia tanto las máximas y mínimas temperatura mensuales en el periodo de Noviembre 2005 a Noviembre

2006, notando que los meses más cálidos para el Chachani son Noviembre y Diciembre, mientras que los meses más fríos son Junio,

Julio y Agosto, esto tanto para la temperatura a superficie y también la geotemperatura a 30cm de profundidad, la temperatura al aire.

Temperaturas Máximas y Mínimas diarias Volcán Misti

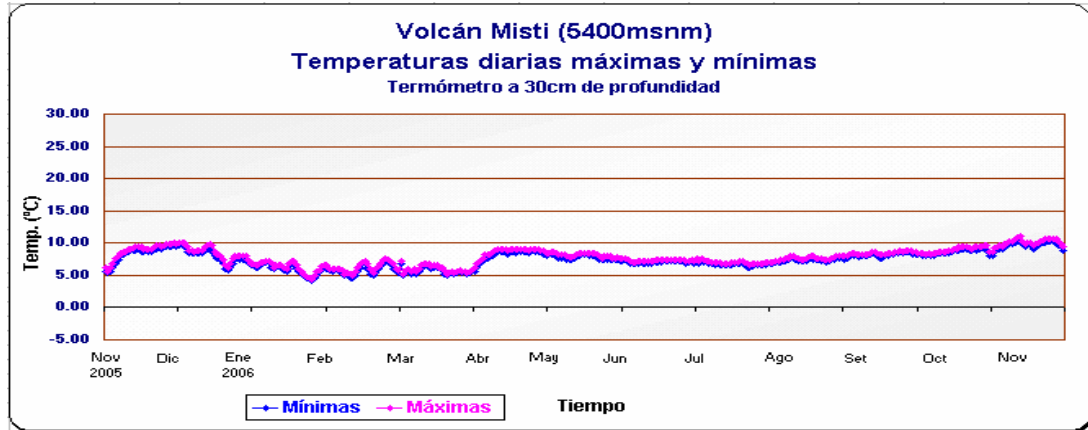


Figura 19 (a): Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a 30cm de profundidad desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

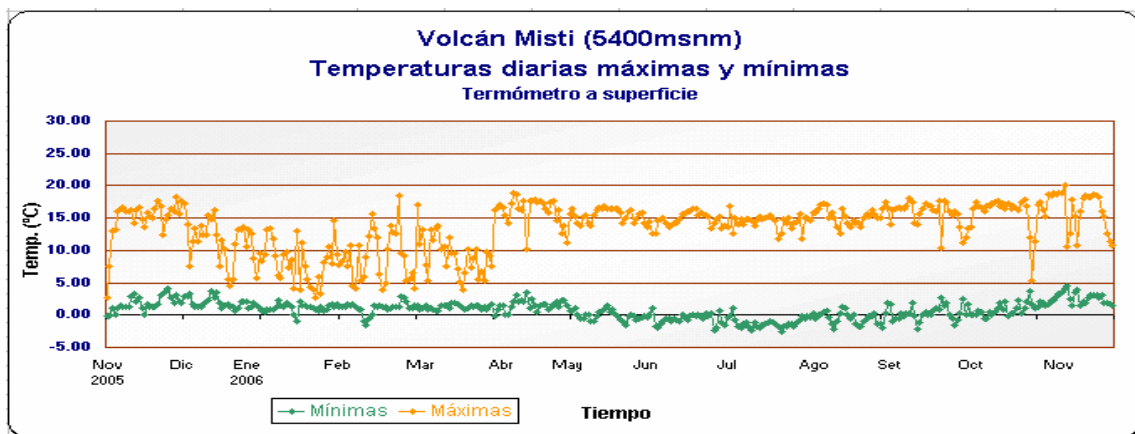


Figura 19 (b): Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a superficie desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

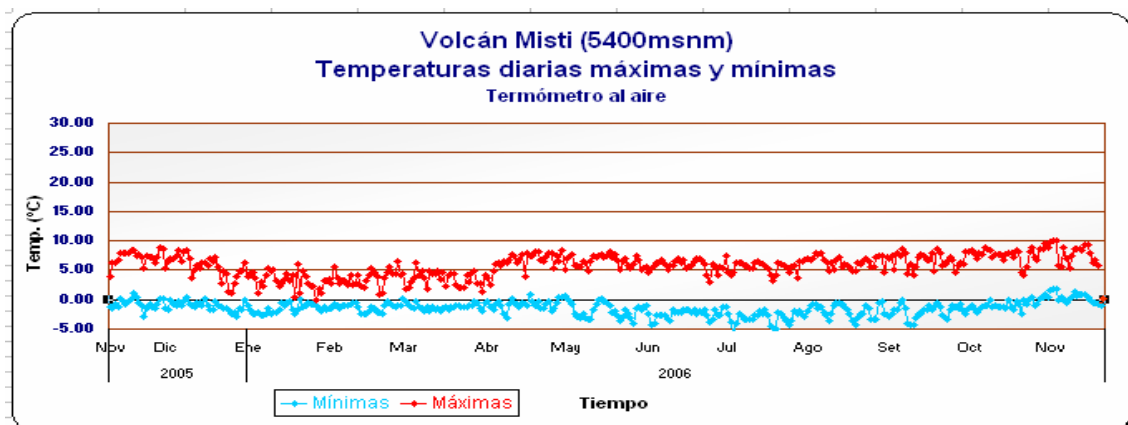


Figura 19 (c): Temperaturas Máximas y Mínimas diarias al aire desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

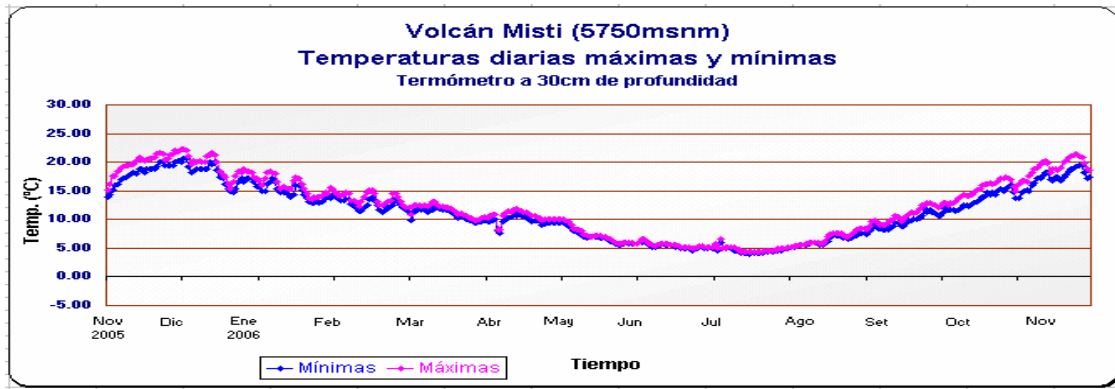


Figura 20 (a): Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a 30cm de profundidad desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

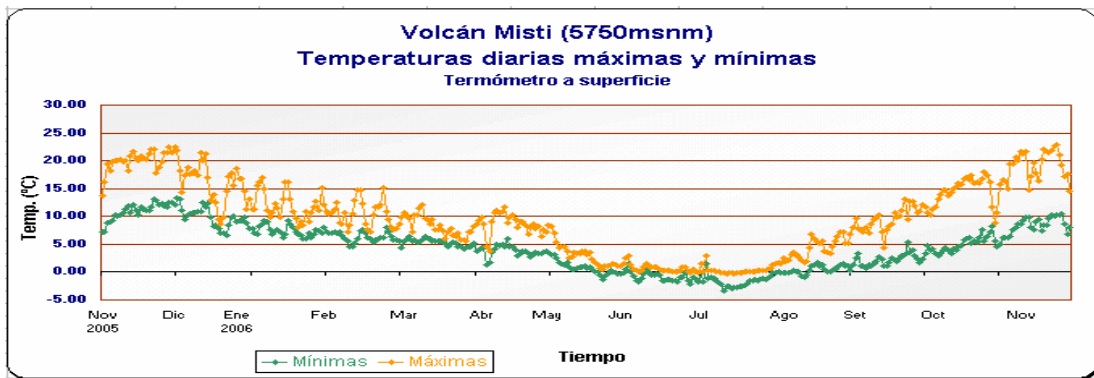


Figura 20 (b): Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a superficie desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

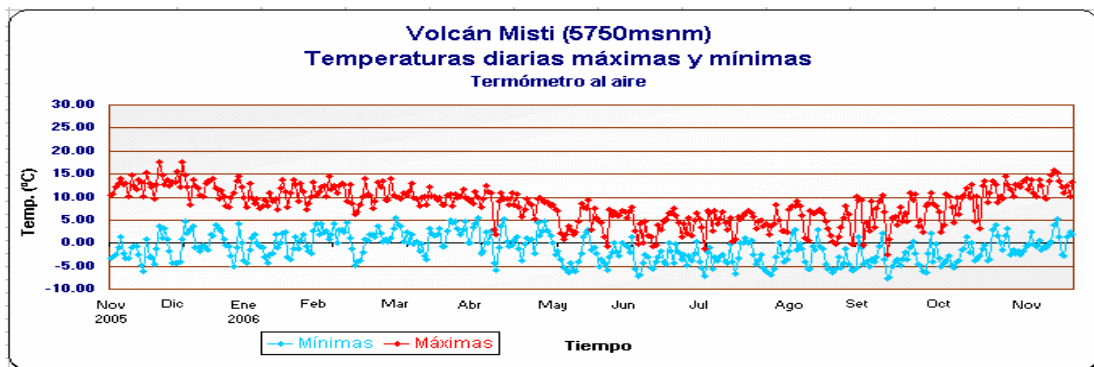


Figura 20 (c): Temperaturas Máximas y Mínimas diarias al aire desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

En las figuras 19 (a), (b), (c) y 20 (a), (b), (c) las temperaturas máximas y mínimas diarias del Misti a 30cm de profundidad en ambas estaciones siguen la misma tendencia de temperatura, mientras que la temperatura a

superficie del terreno esta tendencia se nota con mayor claridad en la estación que se encuentra a mayor altura a 5750msnm (zona del cráter), sin embargo en la temperatura al aire esta tendencia se va perdiendo.

Volcán Chachani

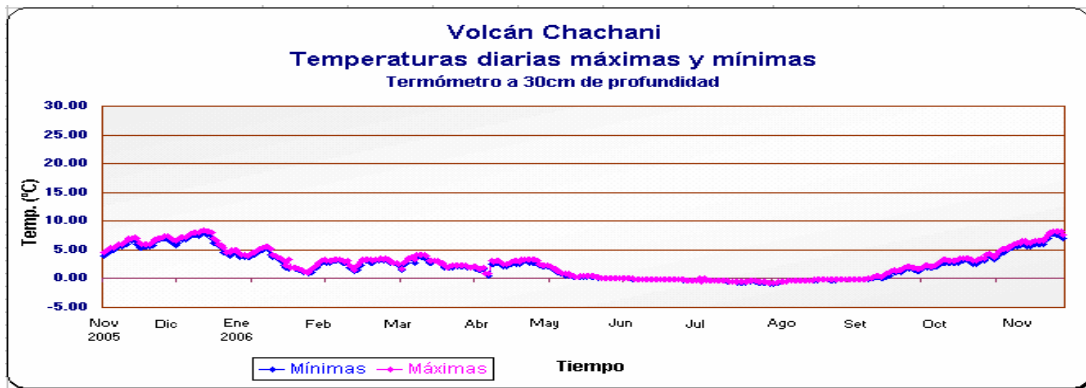


Figura 21 (a): Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a 30cm de profundidad desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 (CHACHANI)

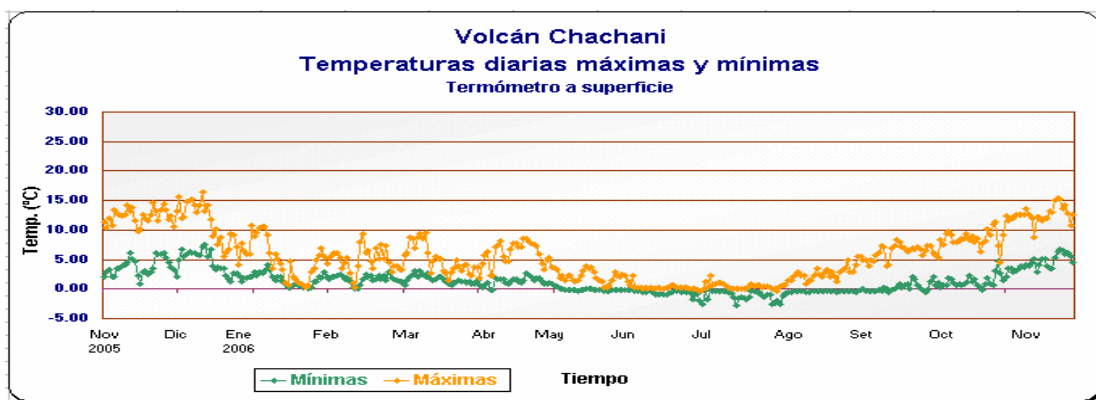


Figura 21 (b): Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a superficie desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 (CHACHANI)

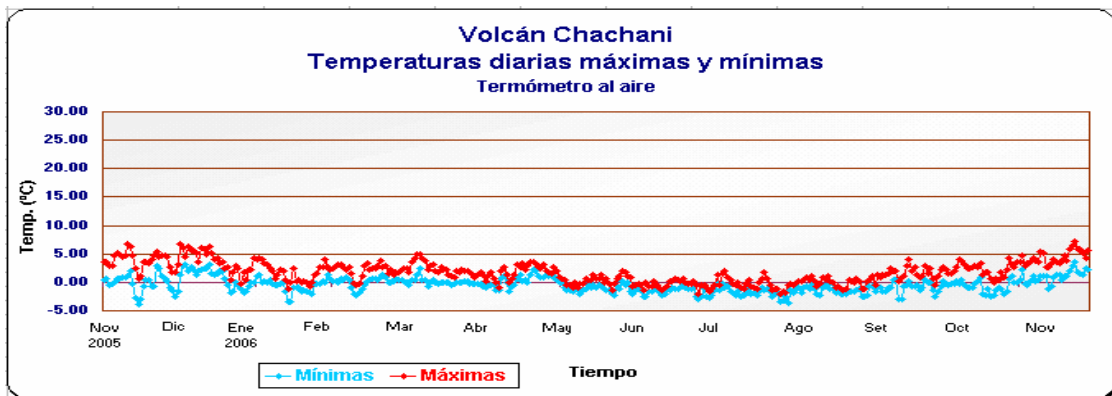


Figura 21 (c): Temperaturas Máximas y Mínimas diarias al aire desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 (CHACHANI)

En las figuras 21 (a), (b), (c) las temperaturas máximas y mínimas diarias del Chachani a 30cm de profundidad, a superficie del terreno y al aire esta tendencia de la temperatura tiene un comportamiento similar en los tres niveles,

pero en la temperatura a 30cm de profundidad esto se nota con mayor claridad, porque el mayor factor que afecta a este nivel es la temperatura del interior del volcán.

**Diferencia de temperaturas máximas y mínimas diarias para 30cm de profundidad, a superficie del terreno y al aire.
Volcán Misti**

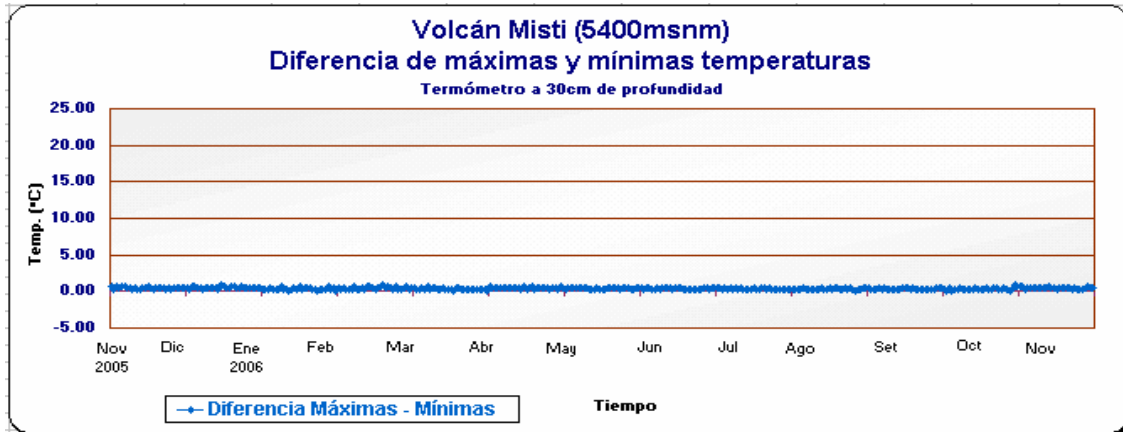


Figura 22 (a): Diferencia de Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a 30cm de profundidad desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

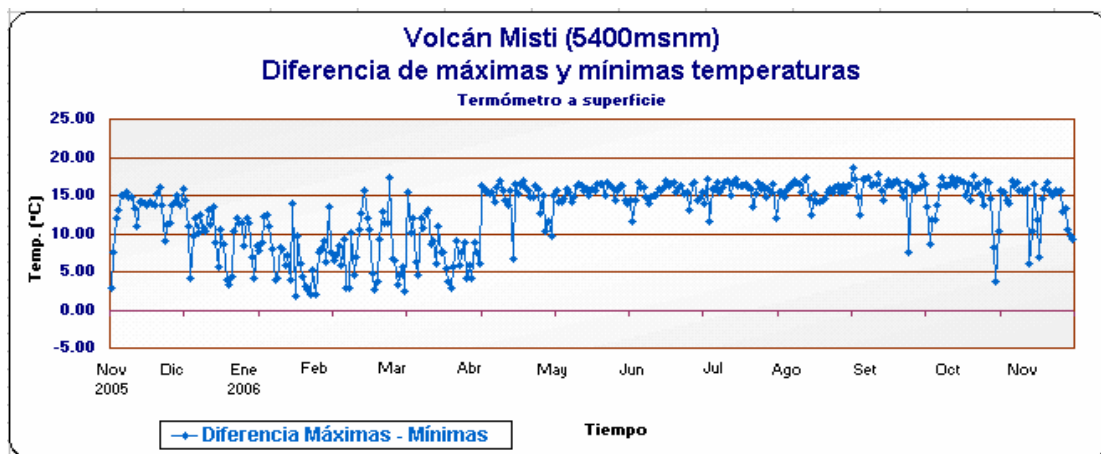


Figura 22 (b): Diferencia de Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a superficie desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

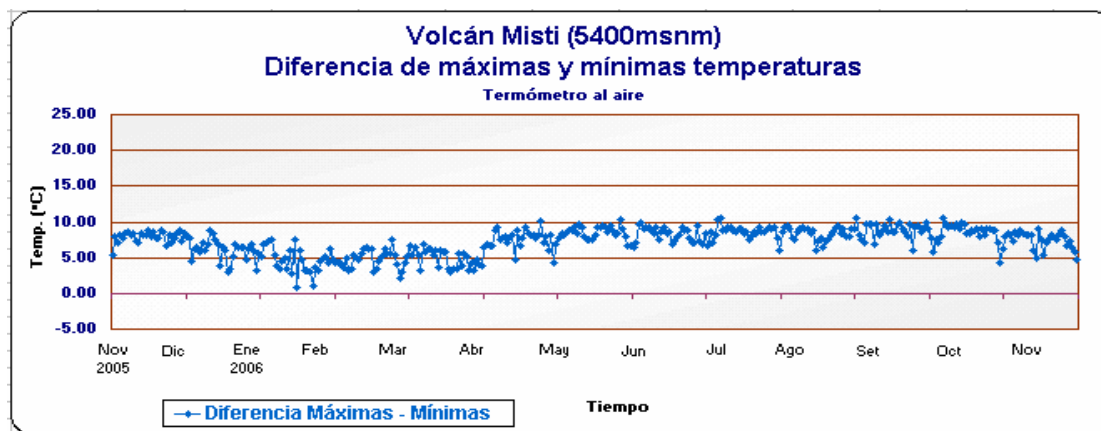


Figura 22 (c): Diferencia de Temperaturas Máximas y Mínimas diarias al aire desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

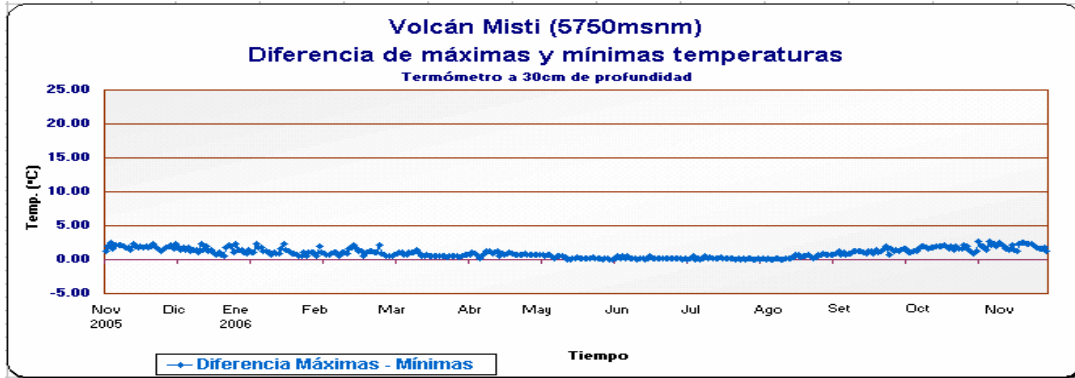


Figura 23 (a): Diferencia de Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a 30cm de profundidad desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

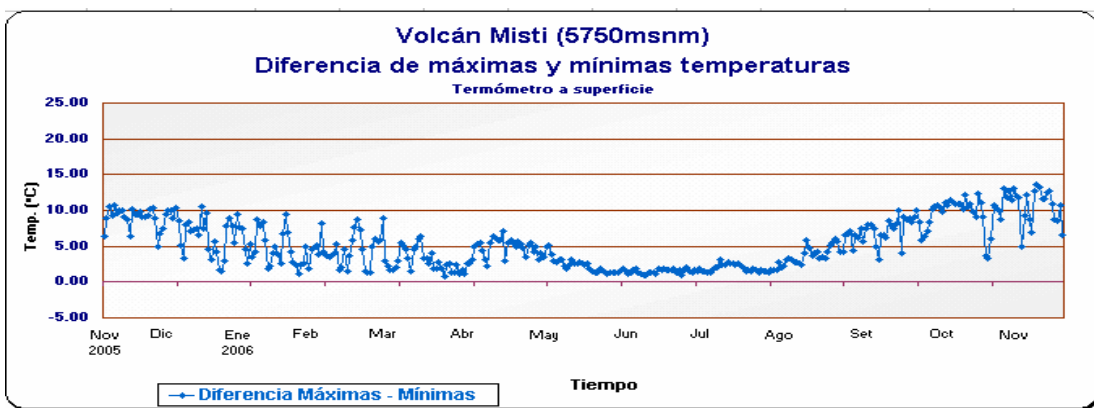


Figura 23 (b): Diferencia de Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a superficie desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

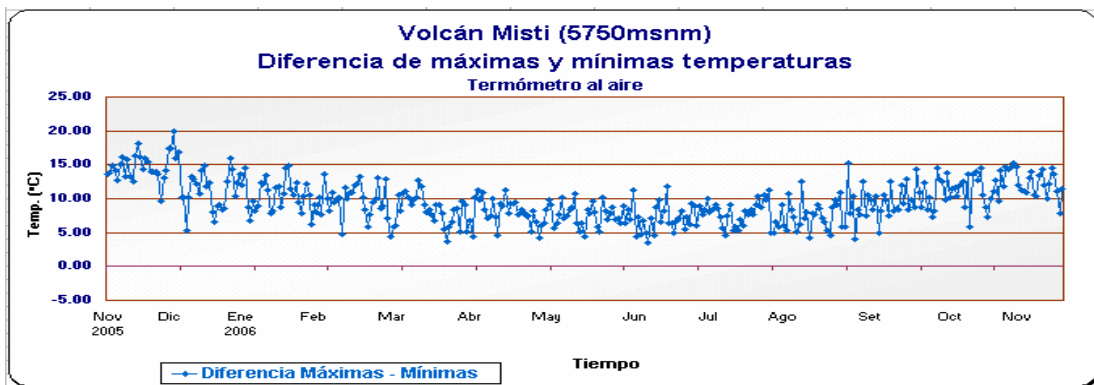


Figura 23 (c): Diferencia de Temperaturas Máximas y Mínimas diarias al aire desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

En la Figuras 22 (a), (b), (c) y 23 (a), (b), (c) muestra la diferencia entre las máximas y mínimas temperaturas diarias en el Misti en ambas estaciones, durante el periodo Noviembre 2005 a Noviembre 2006, donde a 30cm de profundidad la temperatura es mas

constante ya que la diferencia es mínima entre ambas temperaturas, y donde ocurre mayor variación es en la superficie del terreno esto es por los vientos de montaña y vientos de valle que se da en las laderas de los volcanes

Volcán Chachani

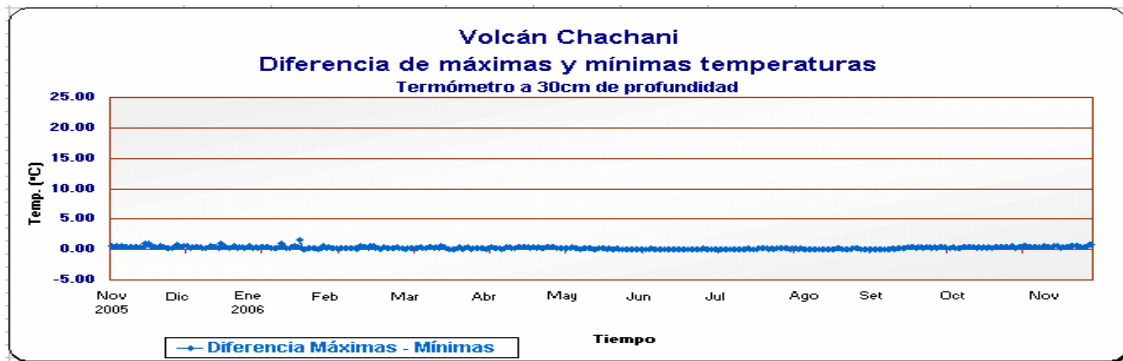


Figura 24 (a): Diferencia de Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a 30cm de profundidad desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 (CHACHANI)



Figura 24 (b): Diferencia de Temperaturas Máximas y Mínimas diarias a superficie desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 (CHACHANI)



Figura 24 (c): Diferencia de Temperaturas Máximas y Mínimas diarias al aire desde Noviembre 2005 a Noviembre 2006 (CHACHANI)

En la Figuras 24 (a), (b), (c) muestra la diferencia entre las máximas y mínimas temperaturas diarias del Chachani, durante el periodo Noviembre 2005 a Noviembre 2006, donde a 30cm de profundidad la temperatura es mas constante, luego la temperatura al aire y la que tiene mayor fluctuaciones es la temperatura a superficie.

Comparación de temperaturas máximas y mínimas diarias para 30cm de profundidad, a superficie del terreno y al aire entre ambos periodos de Julio 2004 a Noviembre 2005 y de Noviembre 2005 a Noviembre 2006

Volcán Misti

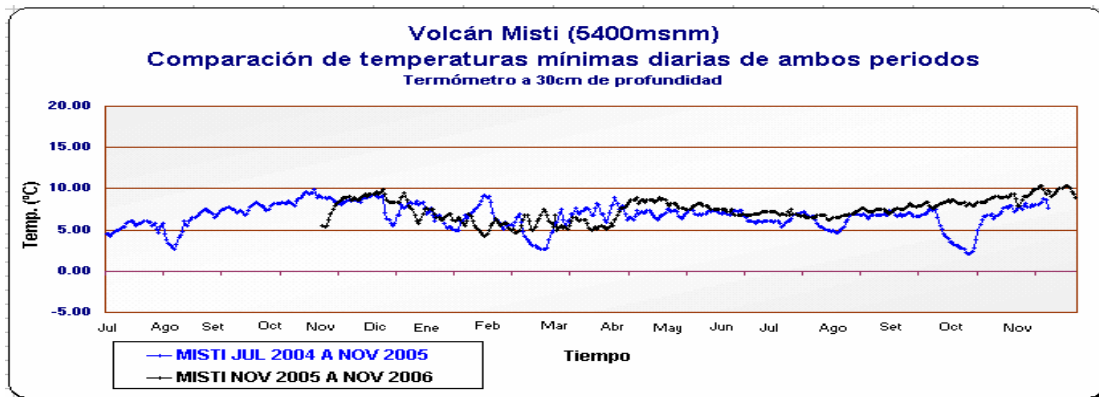


Figura 25 (a): Comparación de Temperaturas Mínimas diarias a 30cm de profundidad entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

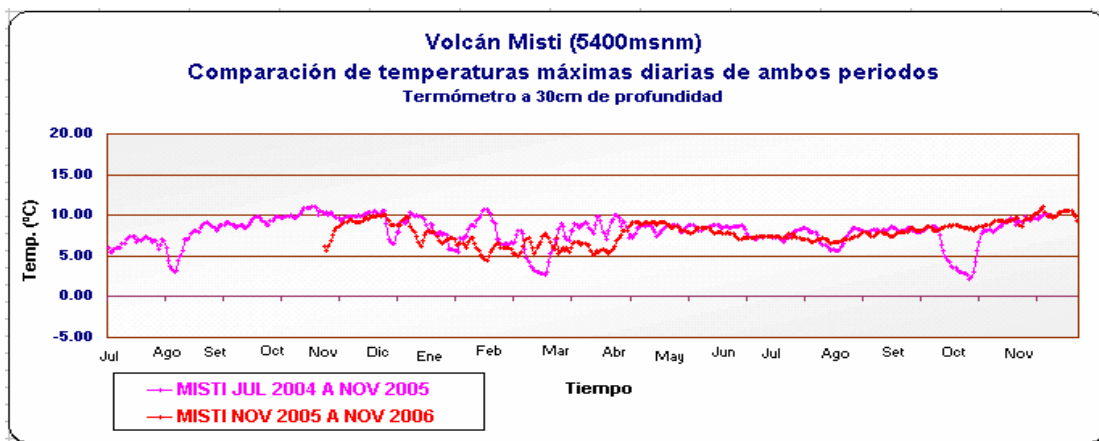


Figura 25 (b): Comparación de Temperaturas Máximas diarias a 30cm de profundidad entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

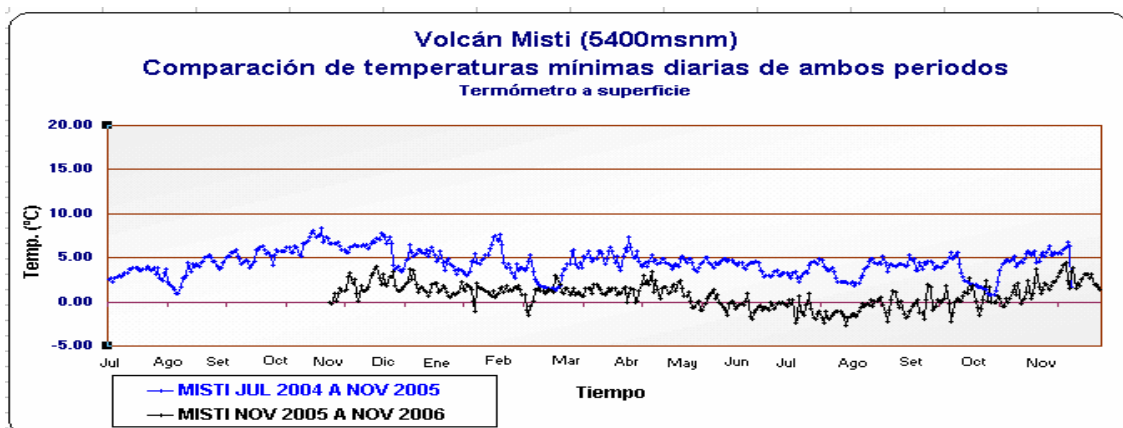


Figura 25 (c): Comparación de Temperaturas Mínimas diarias a superficie entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

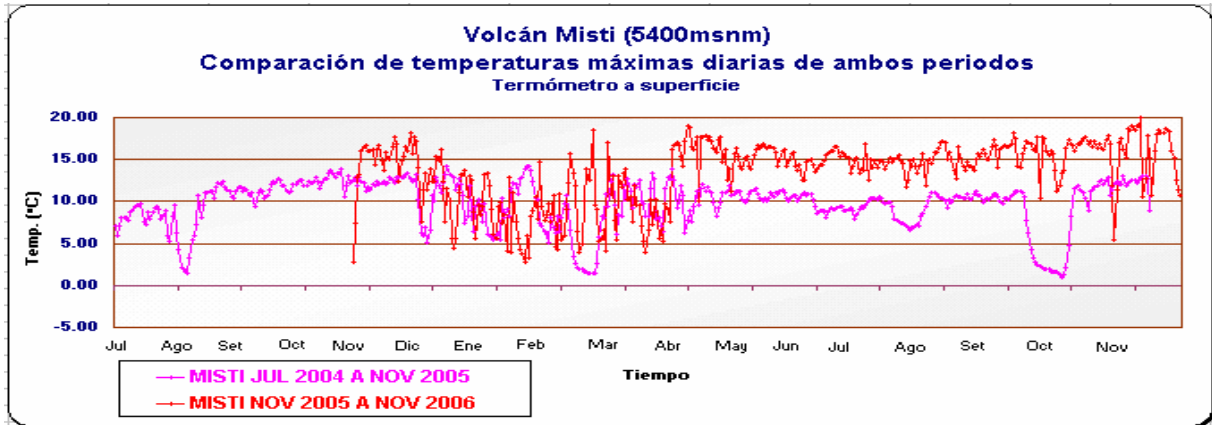


Figura 25 (d): Comparación de Temperaturas Máximas diarias a superficie entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 a 5400msnm (MISTI)

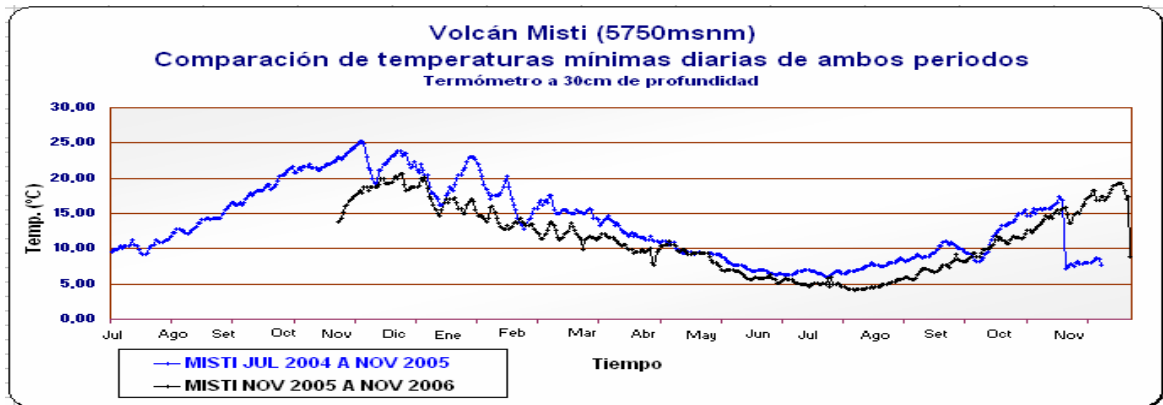


Figura 25 (e): Comparación de Temperaturas Mínimas diarias a 30cm de profundidad entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

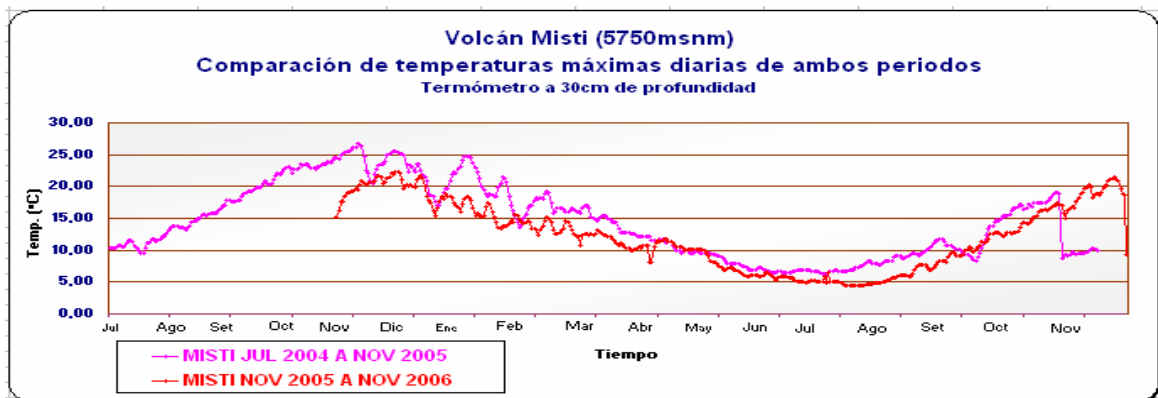


Figura 25 (f): Comparación de Temperaturas Máximas diarias a 30cm de profundidad entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

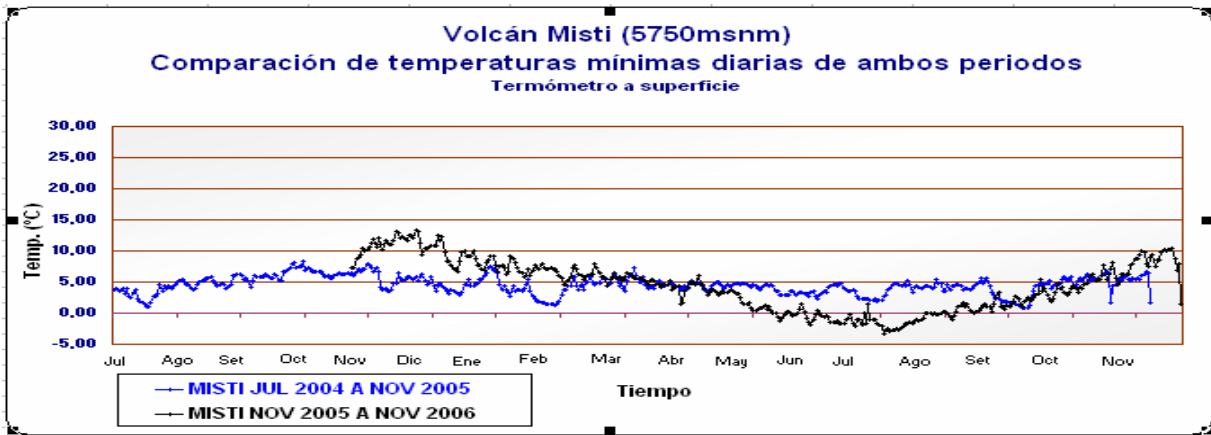


Figura 25 (g): Comparación de Temperaturas Mínimas diarias a superficie entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

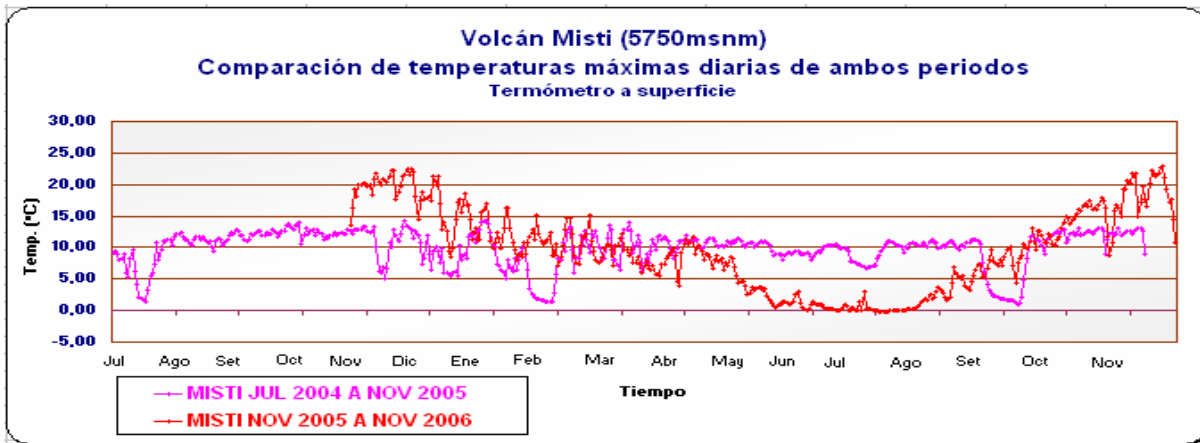


Figura 25 (h): Comparación de Temperaturas Máximas diarias a superficie entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 a 5750msnm (MISTI)

En las Figuras 25 (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) y (h), se ve la comparación de las temperaturas máximas y mínimas en el Volcán Misti entre ambos periodos de tiempo de Julio 2004 – Noviembre 2005 y de Noviembre 2005 – Noviembre 2006. Las cuatro primeras son de la estación que esta a 5400msnm, mientras que las últimas cuatro son de la estación que esta a

5750msnm (zona del cráter). Las figuras 25 (e), (f), (g) y (h) que son de la estación que esta a 5750msnm las variaciones que sufre la temperatura en ambos periodos tiene mayor coincidencia ya que se puede apreciar mejor la secuencia de la temperatura a lo largo de un año, viéndose mejor en la temperatura a 30cm de profundidad, tanto en las máximas y mínimas temperaturas.

Volcán Chachani

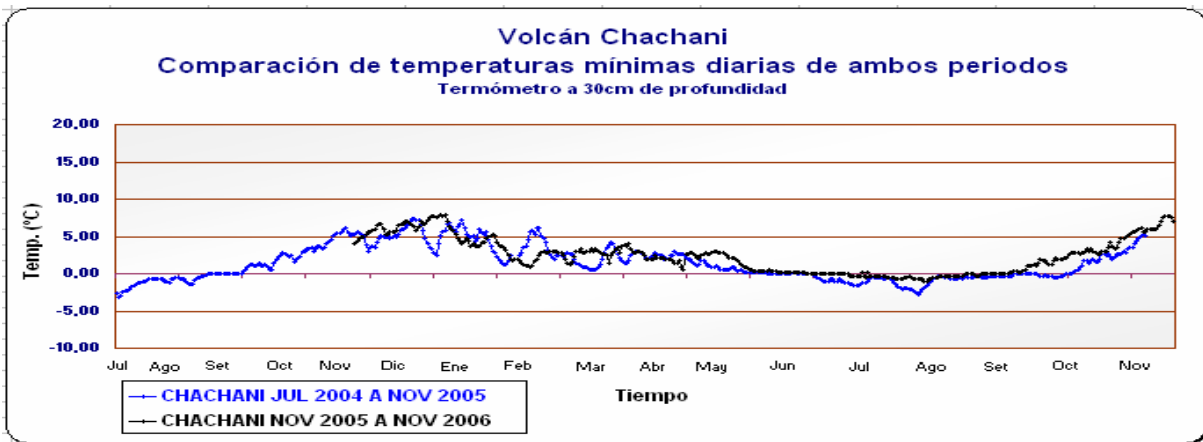


Figura 26 (a): Comparación de Temperaturas Mínimas diarias a 30cm de profundidad entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 (CHACHANI)

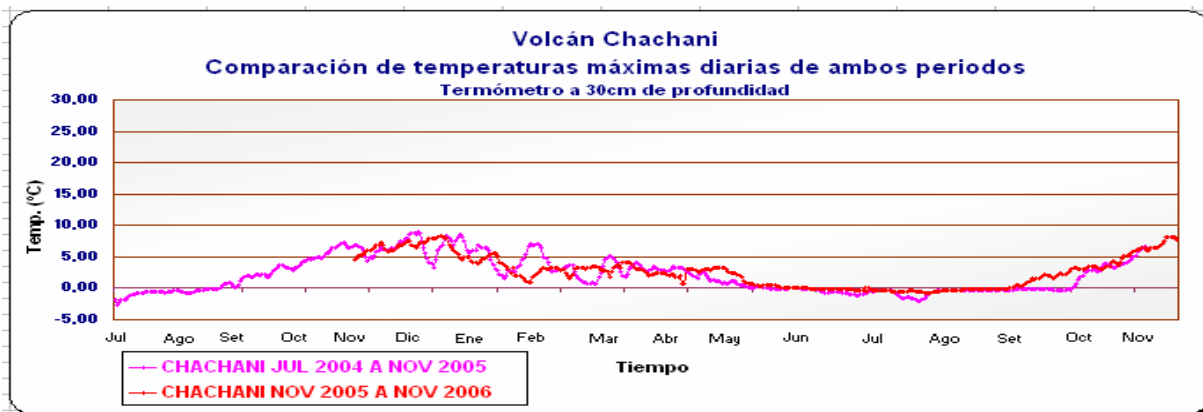


Figura 26 (b): Comparación de Temperaturas Máximas diarias a 30cm de profundidad entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 (CHACHANI)



Figura 26 (c): Comparación de Temperaturas Máximas diarias a superficie entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 (CHACHANI)

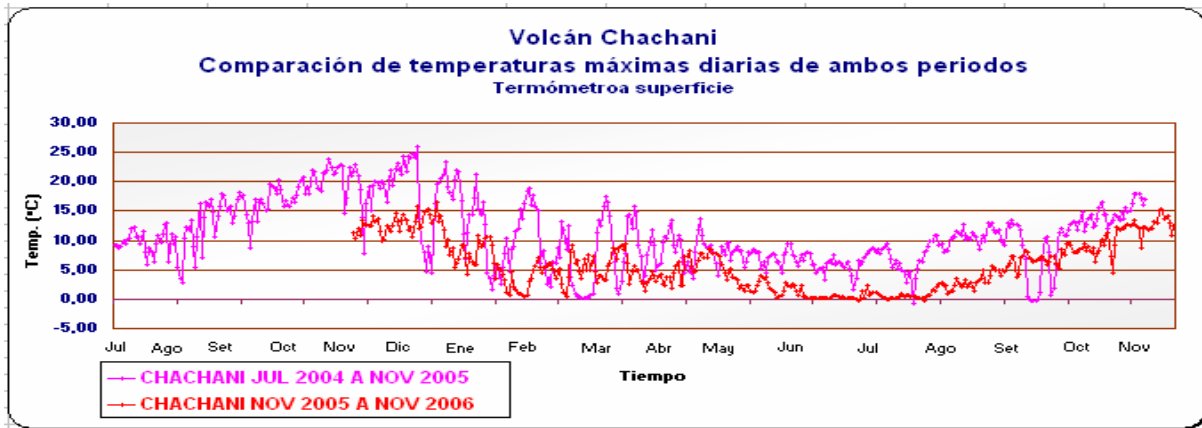


Figura 26 (d): Comparación de Temperaturas Máximas diarias a superficie entre Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006 (CHACHANI)

En las Figuras 26 (a), (b), (c) y (d), se ve la comparación de las temperaturas máximas y mínimas en el Volcán Chachani entre ambos periodos de tiempo de Julio 2004 – Noviembre 2005 y de Noviembre 2005 – Noviembre 2006. En el Chachani la coincidencia de la temperatura es mayor se da tanto en la temperatura a 30cm de profundidad como en la temperatura a superficie.

CONCLUSIONES GENERALES:

En los datos analizados en la Estación de la Pampilla (MAP) de geotemperaturas, se puede notar que hasta una profundidad de 30cm, las temperaturas reinantes en la Troposfera (calor de los rayos solares, así como otros factores del clima), influyen decisivamente en la temperatura del suelo.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para seguir mi estancia en la Oficina de Arequipa a cargo del Dr. Orlando Macedo. Asimismo al Dr. H. Tavera por incentivar a presentar a presentar resultados de estudio en este compendio.

BIBLIOGRAFÍA

http://www.geo-st.com/muestrascartografia/html/editorial_sm.html
http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/heladas.htm
<http://www.portalagrario.gob.pe/alertas/alertas.shtml>
<http://www.windpower.org/es/tour/wres/mount.htm>
<http://satelite.cptec.inpe.br/>
http://www.geo-st.com/muestrascartografia/html/editorial_sm.html
http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/heladas.htm
http://www.meteorologia.com.uy/glosario_r.htm
http://www.utl.ch/index_espanol.htm
<http://www.cenaph.gob.ve/Noticias/presion.pdf>
<http://deleg-etseiat.upc.es/vela/apunts/termica.pdf>
http://www.tdx.cbuc.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0317105-174201//040jc04de12.pdf
http://not_cima.net/meteo88-nn1.pdf

DISEÑO DE UN CONTROLADOR DE RADAR DE 16 CANALES EN FPGA, PARA UNA INSTITUCIÓN CIENTÍFICA EN EL PERÚ

JOEL IVÁN MUÑOZ QUISPE
Especialidad de Ingeniería Electrónica
Facultad De Ciencias e Ingeniería
Pontificia Universidad Católica del Perú
jmunoz@jro.igp.gob.pe

Investigación dirigida por: Dr. Carlos Silva Cárdenas
Pontificia Universidad Católica del Perú
Radio Observatorio de Jicamarca

RESUMEN

El radio observatorio de jicamarca ha buscado el desarrollo de equipos de alto performance para cubrir sus necesidades en la investigación de la atmósfera. Para esto el radio observatorio de Jicamarca (roj), dispone de un sistema de radar de 50mhz. el equipo que administra este sistema se le denomina controlador de radar o también conocido en el mercado como sincronizador. Dentro de las cualidades requeridas actualmente se encuentra la capacidad de administrar varios ipp (inter pulse period), señales encargadas de sincronizar los tiempos de transmisión y recepción de pulsos del sistema de radar.

El presente trabajo se presenta el diseño un controlador de radar de 16 canales de control y con la capacidad de manejar varios experimentos. Este fue implementado en un FPGA bajo lenguaje de descripción de Hardware, VHDL, y lenguaje C++ para programar el procesador embebido.

INTRODUCCIÓN

El ROJ se dedica desde sus inicios a la investigación de la baja, mediana y alta atmósfera. Para dicho cometido, la institución dispone de equipos como transmisores, antenas, receptores digitales, sintetizadores digitales (DDS); los cuales conforman

sí para cumplir con su objetivo, capturar información. Esto se logra teniendo una frecuencia de operación (Figura 2.a), en base a esta se genera una señal pulsada de duración τ (Figura 2.b), tiempo determinado por el controlador de radar a través de la señal TXA (Figura 1). Luego se procederá a la captura de datos, que en este caso hacen referencia a los Ecos (Figura 1.2.b), señal reflejada, de la señal pulsada previamente enviada. Para esto se genera una ventana de captura o una señal de sampling indicando los tiempos o los instantes de tiempo, respectivamente, donde se obtendrán los datos requeridos. En la figura 1 la señal que determina estos tiempos de captura esta representada por la señal SAMPLING. En la etapa de captura se registra los componentes reales e imaginarios de la señal (Figura 2.c), provenientes de los canales I y Q

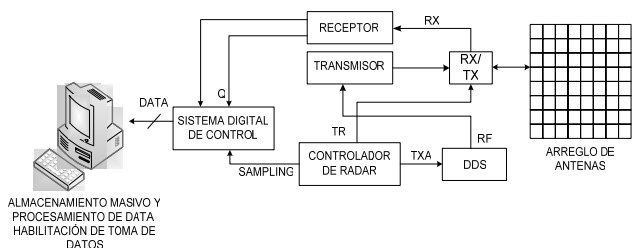


Figura 1. Sistema de Radar

el sistema de radar. La figura 1 muestra la Configuración simplificada de un sistema de radar.

En la figura 1., señalada en el párrafo anterior, se observa como interactúan los equipos entre

respectivamente (Figura 1). A través de estos datos se determinan el desfase, la potencia, velocidad de la señal, densidad de electrones, etc.

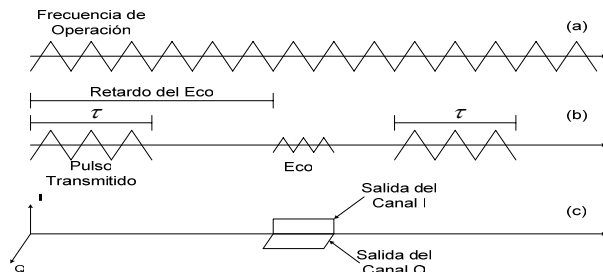


Figura 2. Ondas para detección Sincrónica (Wehner, 1987.)

CONSIDERACIONES

Para diseñar el sistema se usó un procesador PowerPC405, el cual se encuentra en el FPGA VirtexII-Pro. Este leerá una memoria Compact Flash (CF), en la cual se encontrarán los archivos de pulsos de cada uno de los IPP que se van a usar en el experimento. Además, el procesador administra una memoria RAM, a la cual se tenga un tiempo de acceso menor que al de la CF. Los controladores para estos dos módulos son CORE's proporcionados por el fabricante en su herramienta EDK.

En base a esto se diseñará, con VHDL, un administrador de pulsos, el cual genere las señales de control de radar. Para manejar el procesador se usará lenguaje de programación C++. Este procesador enviará datos de la RAM al administrador de pulsos mediante interrupciones ya sea para intercambiar entre un IPP y otro, así como completar el mismo cuando éste es demasiado grande para los buffer's del administrador de pulsos.

ARQUITECTURA

El sistema, como bien se mencionó en las consideraciones, será administrado por el procesador. En la figura 3 se muestra la arquitectura del controlador de radar y cómo cada uno de los bloques interactúa con el procesador.

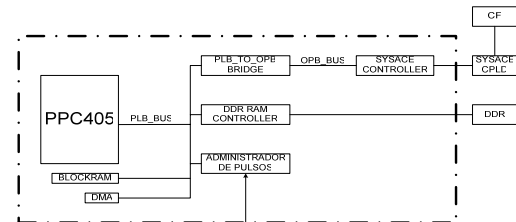


Figura 3. Arquitectura del Controlador de Radar

En este sistema, además de los bloques ya mencionados, se hace uso de un bloque de DMA para enviar, por ráfaga, los datos requeridos por el administrador de pulsos. Como el objetivo es generar los pulsos de control, en esta etapa se hará un enfoque al diseño del administrador de pulsos, en la figura 3.2 se muestran los bloques que lo componen. De estos bloques, se va a hacer mayor énfasis en el generador de pulsos, el buffer de parámetros y de datos (Donde radica los estados de cada IPP, el tamaño entre otros), el registro STATUS y controlador de interrupciones.

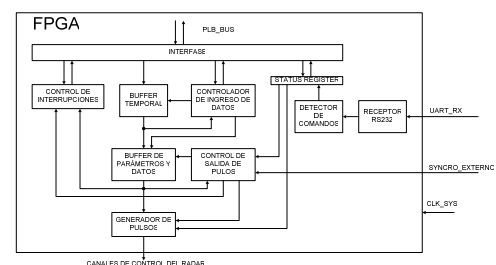


Figura 4. Administrador de Pulsos

Generador de pulsos

Este es el encargado de mostrar los pulsos por cada canal de control. Entre estas señales se

encuentra la señal de muestro o ventana Figura 5]. El uso de una o de otra va a depender si se va a usar un receptor analógico o receptor digital respectivamente.

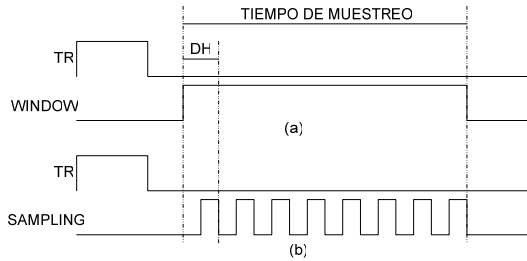


Figura 5. (a) IPP con uso de ventana. (b) IPP con uso de sampling.

En la figura 6 se muestra el bloque generador de señal de muestro o sampling y en la figura 7 cómo se une este bloque al circuito total de generador de pulsos donde también se encuentran las otras señales de control.

Buffer de parámetros y de datos

Este bloque está diseñado para almacenar 2 IPP a la vez y cada uno de estos con sus características correspondientes.

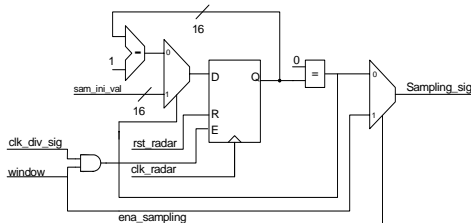


Figura 6. Circuito generador de señales de muestro

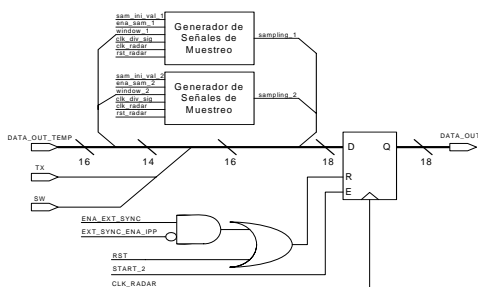


Figura 7. Generador de Pulsos

Dentro de estos se encuentran los estados y los tiempos de duración de cada estado (tiene capacidad para 16K estados por IPP), el número

de veces que se va a repetir la secuencia del IPP antes de generar una señal sincronismo (NTX), número de veces que va a repetir esta última secuencia (REP), la frecuencia de muestro de 2 canales independiente (SAM1 y SAM2) y el número total de estados que componen el IPP. Este último será usado por el controlador de interrupciones. Este bloque es mostrado en la figura 9.

Registro STATUS

Para administrar este sistema se hace uso de un grupo de banderas, las cuales se encuentran en el registro STATUS. Entre estas se encuentra el habilitar de sampling 1 (ES1) y sampling 2 (ES2), si se está en '1' lógico se obtiene una señal similar a la mostrada en la figura 5 (b), caso contrario se obtendrá señal tipo ventana [Figura 5 (a)].

9									0
RESET	INACK	CIPP	NIPP	START	ES2	ES1	ETX	ESW	EES
W	W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W

Figura 8. Registro STATUS

Además se cuenta con una bandera para habilitar una señal de sincronismo externo, que es diferente a la generada por generador de pulsos, ya que esta puede provenir de un GPS u otro equipo, de tal forma para sincronizar varios equipos.

Controlador de Interrupciones

Como bien se ha dicho este equipo va manejar Varios IPP en forma continua. Para esto va a requerir un Sistema que solicite al procesador, los datos del procesador los datos del siguiente

IPP al que esta ejecutándose. Esta operación se realiza mediante el controlador de interrupciones.

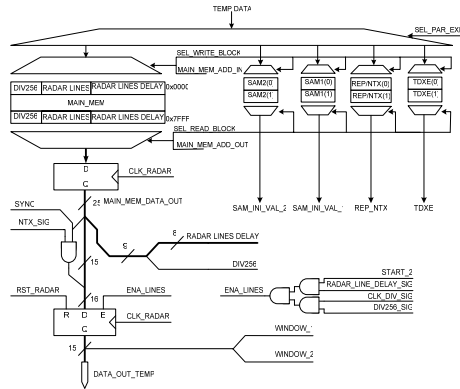


Figura 9. Buffer de Estados y Parámetros

Por otro lado, en caso el IPP sea mayor a los 16K con que está diseñado, este controlador solicita al procesador una cantidad según vaya requiriendo el IPP. Para ello se desarrolló una estrategia, la cual se explicará con un ejemplo. Suponemos que se posee un IPP de 21K estados, ahora este se divide en bloques de 4K, por tal se va obtener 5 bloques de 4K estados y uno de 1K. Al momento que este IPP se almacena en el buffer, solo se almacenarán los primeros 16K estados. Una vez que se empiece a mostrar los estados de este, se esperará hasta leer la posición 8K del buffer. Cuando se realice este evento el sistema solicita una interrupción haciendo una petición de 4K estados, los cuales se almacenarán de la posición 4K a la 8K del buffer. Mientras se realiza la interrupción y se almacenan varios IPP en forma continua. Para esto va a requerir un sistema que solicite al procesador los datos del siguiente IPP al que está ejecutando los datos requeridos, se siguen

mostrando los pulsos en cada canal del controlador de Radar.

Como todavía falta completar el IPP, el sistema espera hasta llegar a la posición 12K y vuelve a solicitar al procesador, pero en esta ocasión solo la cantidad de datos faltante. Ahora el controlador esperará hasta que el generador de señales muestre el último estado del IPP, cuando suceda este, se generará una interrupción solicitando los 5K de datos que fueron modificados para volver a realizar el IPP. Esto sucederá en el caso que fuese necesario, caso contrario se solicita al procesador los datos del siguiente IPP. En la figura 10 se muestra el circuito simplificado el controlador de interrupciones.

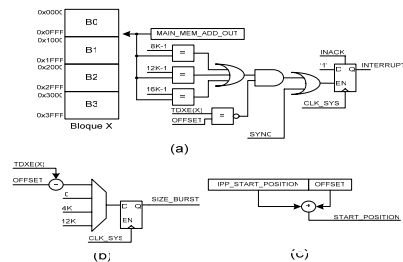
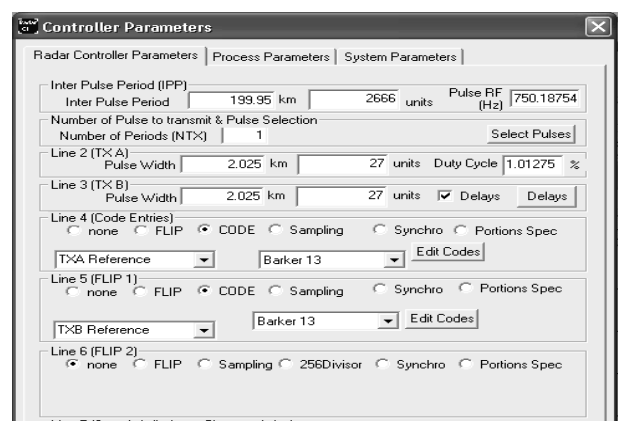


Figura 10. Controlador de Interrupciones

IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

Para probar el sistema se usó la herramienta CHIPSSCOPE, para observar en tiempo real los valores de la salida del sistema.

En la figura 4.1 se realiza la configuración de pulsos, haciendo uso del software PulseDesign del Radio Observatorio de Jicamarca. Como resultado de esta configuración se obtiene la secuencia de pulsos mostrado en la Figura 11.



experimento y otro por otro medio de comunicación (USB, Ethernet, etc.) Además se logra tener una alta confiabilidad en la integridad de los datos, pues este al estar unificado en un solo componente reduce el ruido generado por un sistema implementado a nivel de PCB, además de darnos la versatilidad de poseer un sistema que pueda ser reconfigurable.

AGRADECIMIENTOS

A todo el equipo del Área de Electrónica e Instrumentación del Radio Observatorio de Jicamarca por el apoyo constante e incondicional al desarrollo del controlador de radar.

Al profesor Carlos Silva por sus consejos y a todos los miembros del Grupo de Microelectrónica (GuE) de la PUCP por su apoyo.

BIBLIOGRAFÍA

- Chang, K. (1999): "Digital Systems Design with VHDL and Síntesis", IEEE-Computer Society, Los Alamitos, California.
- IBM, (2001): "64-Bit Processor Local Bus, Architecture Specification, Version 3.5" IBM.
- Pong Ch. (2006): "RTL Hardware Design Using VHDL", WILEY-INTERSCIENCE, Hoboken, New Jersey.
- Wehner, D., (1987): "High Resolution Radar", Artech. House, Massachusetts.

Figura 11. Configuración de secuencia de Pulsos

Esta secuencia de pulsos fue almacenada en una memoria CF e ingresada a la tarjeta de desarrollo XUP. Como resultado se obtuvo la secuencia de señales de la Figura 13, las cuales coinciden en tiempo de duración con las descritas en la Figura 12.

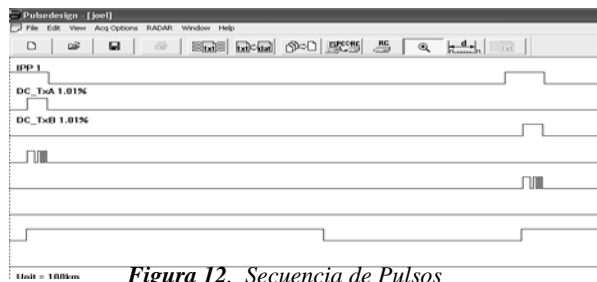


Figura 12. Secuencia de Pulsos

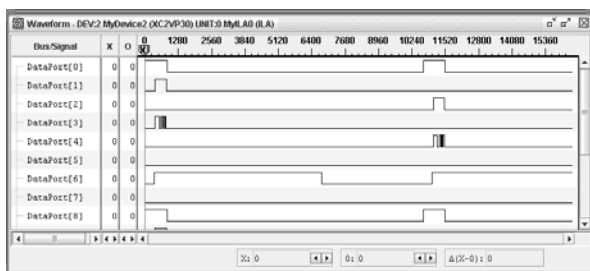


Figura 13. Resultados de los canales de control del Controlador de Radar, haciendo uso de CHIPSCOPE.

CONCLUSIONES

Con esta arquitectura se lograron altas velocidades de transferencias a un sistema que requiera estar intercambiando entre un

CARACTERIZACION DE INTERFEROMETROS DE FABRY PEROT A PARTIR DE SUS INTERFEROGRAMAS

STHY FLORES DAORTA
Maestría de Física Aplicada
Pontificia Universidad Católica del Perú
sflores@jro.igp.gob.pe

Investigación dirigida por: Dr. Jorge Chau
Dirección de Investigación de la Alta Atmósfera
Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

RESUMEN

A partir del estudio de las propiedades de la ecuación de Airy del interferómetro de Fabry Perot (FPI), se plantea un método para determinar los parámetros que caractericen un FPI. Para lograrlo se hace uso de interferogramas obtenidos a partir de una señal de entrada conocida, como por ejemplo: el haz de un láser HeNe estabilizado a 632.8nm.

INTRODUCCIÓN

Comúnmente la caracterización de un FPI requiere del conocimiento de su configuración física, es decir conocer las propiedades de sus partes, tales como los índices de refracción, coeficientes de reflexión y transmisión, el espaciado de los platos refractores y la cavidad resonante ó etalon, así como también la longitud focal de la lente convergente (formadora de la imagen del interferograma), el diafragma de campo (que en este caso son las dimensiones del CCD) y otros tantos defectos como el paralaje y planitud de los platos. Todos estos parámetros además del error acumulado al operarse entre si, se deben conocer para caracterizar el FPI.

Ahora, considerando el interior de un FPI como un objeto desconocido, se plantea la posibilidad de caracterizar un FPI valiéndose de sus interferogramas y

conociendo a la vez qué emisión los ha provocado. Para realizar esto se requiere del estudio de la conducta y propiedades de la función de Airy del FPI, la cual es el modelo teórico del interferograma.

La función de Airy presenta particularidades que hacen difícil encontrar el valor de los parámetros que mejor la aproximen a un interferograma real. Aquí se identifica la sensibilidad de estos parámetros y su valor.

METODOLOGIA

La primera acción antes de caracterizar un FPI, es analizar la respuesta de la función de Airy a la variación de sus parámetros, es decir, su sensibilidad.

Luego, a modo de prueba se identificará las características de un FPI particular, que en este caso se trata del FPI-Arequipa, el cual es utilizado actualmente para medición de vientos y temperatura a 200km de altura.

LA FUNCION DE AIRY

Sea el FPI mostrado en la figura 1 donde t y r son los coeficientes de transmisión y reflexión de los platos paralelos separados una distancia d con índices de refracción n_1 y n_2 . La función de Airy (AF) se define como:

$$I = \frac{a^2}{1 + \left(\frac{2r}{1-r^2}\right)^2 \sin^2 \frac{\delta}{2}} \quad (1)$$

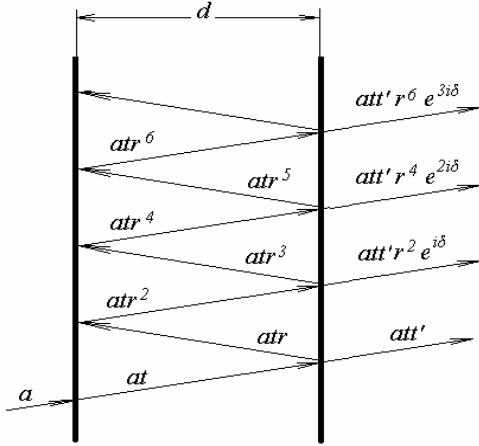


Figura 1. Transmisión y reflexión de rayos entre los platos de un FPI.

Donde a es la amplitud del campo eléctrico y δ es la diferencia de fase entre dos transmisiones consecutivas (que salen del etalon) con una diferencia de camino óptico dco y que según la figura 2 se define como:

$$\begin{aligned} \delta &= k dco \\ &= 4\pi \frac{n_2 d}{\lambda} \cos(\theta_2) \end{aligned} \quad (2)$$

Luego, considerando el campo de visión del FPI muy angosto, usamos la aproximación de la ley de Snell:

$$\theta_2 \approx \frac{n_1}{n_2} \theta_1 \quad (3)$$

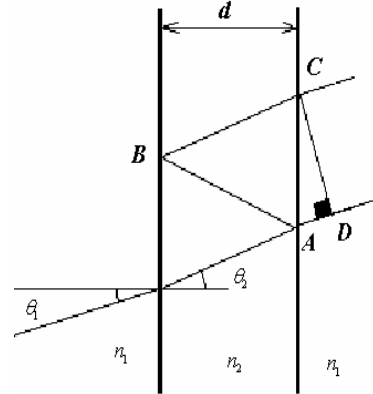


Figura 2. Diferencia de camino óptico (dco) entre dos transmisiones consecutivas.

De modo que la expresión (2) se expresa en función del ángulo de incidencia como:

$$\delta \approx 4\pi \frac{n_2 d}{\lambda} \cos\left(\frac{n_1}{n_2} \theta_1\right) \quad (4)$$

LA PROYECCIÓN DEL INTERFEROGRAMA

Un interferograma no se proyecta sobre un espacio de dimensiones angulares (tal como se indica en las ecuaciones (1) y (4)) sino más bien se proyecta sobre un espacio de dimensiones longitudinales. Entonces la idea es encontrar una representación de la AF en función de las coordenadas del plano imagen.

A través de una lente de enfoque de distancia focal f (colocada a continuación de los platos interferométricos), todos los rayos paralelos entre si forman un punto imagen p sobre una pantalla colocada en el plano focal. En los FPI modernos el plano focal se coloca un dispositivo CCD de lado $2l$ y que define los límites del diafragma de campo.

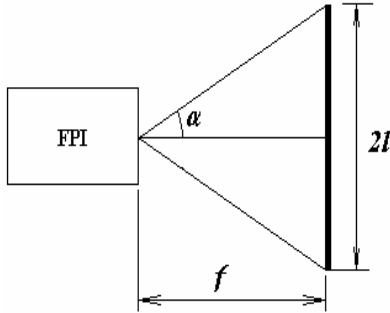


Figura 3. Campo de visión y diafragma de campo del FPI.

De la figura 3, donde 2α es el campo de visión del FPI se obtiene la relación

$$l = f \tan \alpha \quad (5)$$

Que para α pequeños se puede aproximar a:

$$l \approx f \alpha \quad (6)$$

Finalmente, considerando que θ_1 es un ángulo dentro de los límites $[-\alpha, \alpha]$ del diafragma de campo y que $l_1 \in [-l, l]$, entonces la ecuación (1) se expresa como:

$$I \approx \frac{a^2}{1 + \left(\frac{2r}{1-r^2}\right)^2 \sin^2\left(2\pi \frac{n_2 d}{\lambda} \cos\left(\frac{1}{f} \frac{n_1}{n_2} l\right)\right)} \quad (7)$$

En la expresión (7) hemos podido representar la AF en función de l , es decir en función de un espacio longitudinal.

PARÁMETROS DE AF

En la ecuación (7) el producto de varios parámetros permite expresar a la AF como:

$$I \approx \frac{A}{1 + F \sin^2(m \cos kl)} \quad (8)$$

Donde:

$$A = a^2 \quad (9.a)$$

$$F = \left(\frac{2r}{1-r^2}\right)^2 \quad (9.b)$$

$$m = 2\pi \frac{n_2 d}{\lambda} \quad (9.c)$$

$$k = \frac{1}{f} \frac{n_1}{n_2} \quad (9.d)$$

Son los parámetros necesarios para caracterizar a un FPI, aunque como veremos mas adelante, se reducirá aún el número de parámetros de cuatro a tres.

Ahora veamos las características de los diferentes parámetros:

Primero.- En la expresión (1) se encuentra la forma circular $\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)$, la cual produce un

máximo en la AF cada vez que $\frac{\delta}{2} = \pi n$ ($n \in \mathbf{Z}$).

Segundo.- De las expresiones (1) y (8) se tiene que:

$$\frac{\delta}{2} \approx m \cos(kl) \quad (10)$$

Tomaría idealmente valores entre $[-m, m]$ pero como el origen del interferograma sucede para $l=0$ entonces $\frac{\delta}{2}$ toma valores

que parten decrecientemente desde $\frac{\delta}{2} = m$.

Tercero.- Representando m como:

$$m = \pi n + \varphi \quad (11)$$

($n \in \mathbf{Z}^+$) encontramos que partiendo desde $\frac{\delta}{2} = m$ hasta $\frac{\delta}{2} = 0$, la AF presenta $n+1$ máximos (o picos).

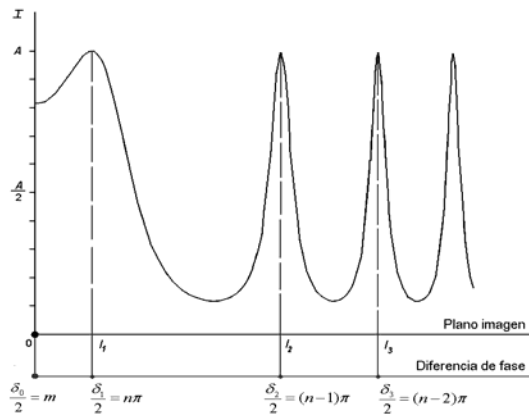


Figura 4. Interferograma sobre el plano imagen y su relación con $\delta/2$.

Cuarto.- De $\sin^2(\pi n + \varphi) = \sin^2(\varphi)$ tenemos la AF en el origen es:

$$I_0 = \frac{A}{1 + F \sin^2 \varphi} \quad (12)$$

Quinto.- De la figura 4 tenemos que para dos máximos consecutivos en l_1 y l_2

$$\frac{\delta_1}{2} = n\pi = m \cos(l_1 k)$$

$$\frac{\delta_2}{2} = (n-1)\pi = m \cos(l_2 k)$$

Su diferencia es:

$$\frac{\delta_1}{2} - \frac{\delta_2}{2} : \quad \pi = m(\cos(l_1 k) - \cos(l_2 k))$$

De modo que podemos expresar el parámetro m como:

$$m = \frac{\pi}{\cos(l_1 k) - \cos(l_2 k)} \quad (13)$$

Finalmente, reemplazando la ecuación (13) en la ecuación (8) vemos como se ha reducido el número de parámetros a tres: A , F y k .

$$I \approx \frac{A}{1 + F \sin^2\left(\pi \frac{\cos(kl)}{\cos(l_1 k) - \cos(l_2 k)}\right)} \quad (14)$$

El problema se reduce ahora a encontrar los valores de A , F y k que mejor se ajusten al perfil de un interferograma real.

SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS

Caracterizar un FPI a partir de su respuesta a una señal conocida (como por ejemplo la respuesta a un láser HeNe en estabilizado a 632.8nm) requiere de la búsqueda de los valores de parámetros que minimicen la diferencia entre los datos del un perfil

interferométrico real y uno calculado a partir del modelo mostrado en la ecuación (14).

La búsqueda de un valor para A puede iniciarse de manera aproximada considerándola como el valor medio de los máximos del perfil interferométrico. Otra opción es normalizar los datos de modo tal que $A = 1$. Cabe resaltar que el valor inicial de A no es definitivo pues una vez que se hayan encontrado valores (también aproximados) para los otros parámetros se recalculará A hasta encontrar el mínimo error. El parámetro A es el menos sensible. El valor inicial de F también se puede aproximar visualmente tal como se ha hecho con A . F es conocido como la fineza del FPI y está relacionado con el poder de resolución espectral del FPI. Cuanto más alto es el valor de F más delgado es el ancho de los picos y a la vez más tenues.

Por último está el parámetro k para el cual la AF se hace muy sensible. Para acelerar la búsqueda de k se requiere de un conocimiento aproximado (no exacto) de algunos parámetros específicos tales como n_1 , n_2 y f (tal como se muestra en 9.d). La idea de conocerlos es aproximar el valor de k para luego buscarlo en los alrededores de una vecindad $[k - \varepsilon, k + \varepsilon]$ de radio ε . Donde ε se puede definir empíricamente por ensayo y error luego de múltiples experimentos.

Una vez encontrado el mejor valor para k se procede a reajustar los valores de A y F hasta obtener la minimización de errores.

RESULTADOS

Para la caracterización de un FPI se requiere reconocer dos elementos: la señal de entrada y la respuesta del sistema.

El FPI-Arequipa cuenta con un láser HeNe estabilizado a 632.8nm el cual constituye una señal de entrada conocida y genera un interfograma característico.

Mediante el modelo propuesto en la ecuación (14) se ha caracterizado el FPI-Arequipa.

El primer requerimiento para calcular los parámetros característicos de un FPI es determinar la posición l_1 y l_2 de dos picos consecutivos, los cuales son calculados mediante un ajuste gaussiano a los puntos que pertenecen a la vecindad del pico.

Cabe resaltar que como estamos trabajando con imágenes formadas sobre un CCD (o un arreglo discreto) entonces los valores de l_1 y l_2 están indicados en píxeles.

La imagen 5 muestra el ajuste obtenido luego de haber encontrado dos máximos consecutivos en $l_1 = 102$ y $l_2 = 144$ donde se determinó un valor de $k = 0.00003$.

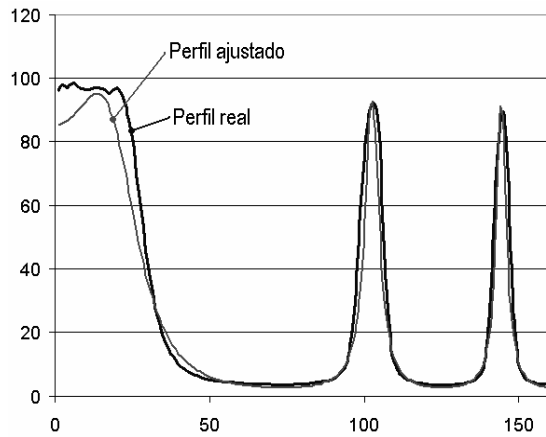


Figura 5. Perfil interferométrico real y el perfil obtenido mediante ajuste.

Los parámetros característicos para el FPI-Arequipa se muestran en la tabla 1.

Posición de picos	Píxel
L_1	102
L_2	144
Parámetro	Valor
A	95
F	35
k	0,00003
m	675700,0884

Tabla 1. Parámetros estimados para el FPI.

CONCLUSIONES

Se ha encontrado un método sencillo para caracterizar un FPI conociendo la señal de entrada y el interferogramas asociado a ésta. Se ha reducido a tres el número de parámetros característicos de un FPI.

El modelo muestra tolerancia a la variación de los parámetro A y F pero no para k . El modelo es muy sensible a pequeños cambios de k .

El modelo requiere del cálculo de la posición de dos máximos (picos) consecutivos, los cuales se obtienen mediante un ajuste gaussiano en la vecindad del máximo.

En el ajuste mostrado en la figura 5 se está considerando una señal de entrada discreta pero en la realidad el áser posee un ancho espectral (aunque muy angosto) que produce un ensanchamiento de los picos. El efecto del ensanchamiento de picos no ha sido tratado en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Muestro mi agradecimiento al Dr. Jorge L. Chau por su paciencia y apoyo brindado para el desarrollo de este tema, así como también al resto de personal del Radio Observatorio de Jicamarca.

BIBLIOGRAFÍA

- Daniel Malacara (1989): *Óptica Básica*, Fondo de cultura económica.
 E. Hecht, A. Zajac (2002): *Óptica*, Eddison Wesley Iberoamericana.

ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL MEJORAMIENTO DE LAS COMUNICACIONES VÍA EL ELECTROCHORRO ECUATORIAL EMPLEANDO DIVERSIDAD

Nadia Yoza Mitsuiishi

Facultad de Ciencias e Ingeniería
Pontificia Universidad Católica del Perú
a20030362@pucp.edu.pe

Investigación dirigida por: Dr. Jorge L. Chau
Dirección de Investigación de Alta Atmosfera
Radio Observatorio de Jicamarca – IGP

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad estudiar la aplicación de la técnica de diversidad para mejorar la calidad de la señal de voz transmitida vía el Electrochorro Ecuatorial. Dicha diversidad podría ser espacial, en frecuencia, en polarización o en tiempo. Para ello se desarrolló un programa que simula el efecto del uso de diversidad para la transmisión de la señal y el procesamiento respectivo para lograr una mayor inteligibilidad de la misma en la recepción. Se estudió además los efectos de la variación de ciertos parámetros del Electrochorro Ecuatorial (ancho de banda y relación señal a ruido) en la calidad de la señal de voz. Finalmente, se evaluó la calidad de la voz recibida tomando como referencia el índice de correlación con respecto a la voz transmitida.

INTRODUCCIÓN

El Electrochorro Ecuatorial (EEJ – Ecuatorial Electrojet) es una corriente de electrones que se encuentra en la ionosfera, sobre el ecuador geomagnético. Con este recurso, disponible en el Perú y otros pocos países por los que pasa el ecuador geomagnético, es posible transmitir en frecuencias en la banda de VHF por rebote en la capa ionosférica ubicada a 100 km de altura.

El Electrochorro Ecuatorial fue descubierto en el observatorio de Huancayo en el año 1922. Sin embargo, no fue sino hasta 1957, durante el año Geofísico Internacional, que Bowles y Cohen [2] lograron establecer las primeras comunicaciones a través del Electrochorro Ecuatorial usando como mecanismo la dispersión ionosférica en frecuencias de VHF. A partir de ese

momento, se realizaron distintos experimentos, los cuales estaban orientados

a estudiar las condiciones de propagación y transmisión más adecuadas para la comunicación a través de este fenómeno. En 1966, Romero, Giesecke y Pérez [4] emplearon la transmisión de una onda continua (CW) y determinaron finalmente que la intensidad de la señal recibida es máxima en horas diurnas y mínima en la noche. Sin embargo, la calidad se ve afectada por desvanecimientos en la señal debajo del nivel del ruido (“cracks”), los cuales son mínimos durante el día (a razón de 20 Hz) y máximos para las horas de mínima intensidad de la señal, llegando a alcanzar valores de 100 Hz. Posteriormente, se realizaron experimentos con dos sistemas de modulación: AM-Banda Lateral Única (BLU), efectuada por Romero, y FM de banda angosta, realizada por Heraud [3], de

los cuales se concluyó que con el uso de este último tipo de modulación se logra

señal de voz, pero con presencia del ruido impulsivo originado por los “cracks”. Hace poco, Chocos [1] realizó experimentos de comunicaciones entre Jicamarca y Paracas con distintos tipos de modulación analógica: AM con portadora, AM-BLU y FM de banda angosta. De aquí se comprobó que con esta última es posible alcanzar mayores índices de correlación entre la señal transmitida y la recibida y, por ende, una mejor calidad de la voz.

En 1975, Valladares y Woodman [5] proponen una técnica de simulación analógica-digital por computadora de comunicaciones por dispersión en el Electrochorro Ecuatorial. Esta simulación tiene como objetivo determinar la calidad de la voz usando distintos sistemas de comunicaciones y técnicas no convencionales de recepción (como diversidad) con la finalidad de compararlos e implementar posteriormente el sistema óptimo. A través de la simulación se formula un modelo matemático del efecto del Electrochorro Ecuatorial en las comunicaciones y se modela el sistema de comunicación sin necesidad de implementarlo físicamente.

obtener una mayor inteligibilidad de la

Las simulaciones efectuadas permitieron analizar la inteligibilidad de las comunicaciones de voz para distintos valores de relación señal a ruido, para lo cual se empleó modulación FM de banda angosta y, al igual que en el caso de las comunicaciones reales, se presentó el problema de los “cracks”.

METODOLOGÍA/DATOS

En el presente trabajo se desarrolla un programa en Matlab a partir del modelo de comunicaciones vía el Electrochorro Ecuatorial descrito en la publicación de Valladares y Woodman [5]. En la figura 1 se muestra un diagrama de flujo del modelo extraído de dicho documento, sobre el cual se basa el programa.

Para la simulación de la diversidad se considera dos transmisiones distintas de la misma información, lo cual equivale a modular la señal a través de dos electrochorros distintos. De este modo se aprovecha la naturaleza aleatoria del EEJ para simular transmisiones independientes entre sí.

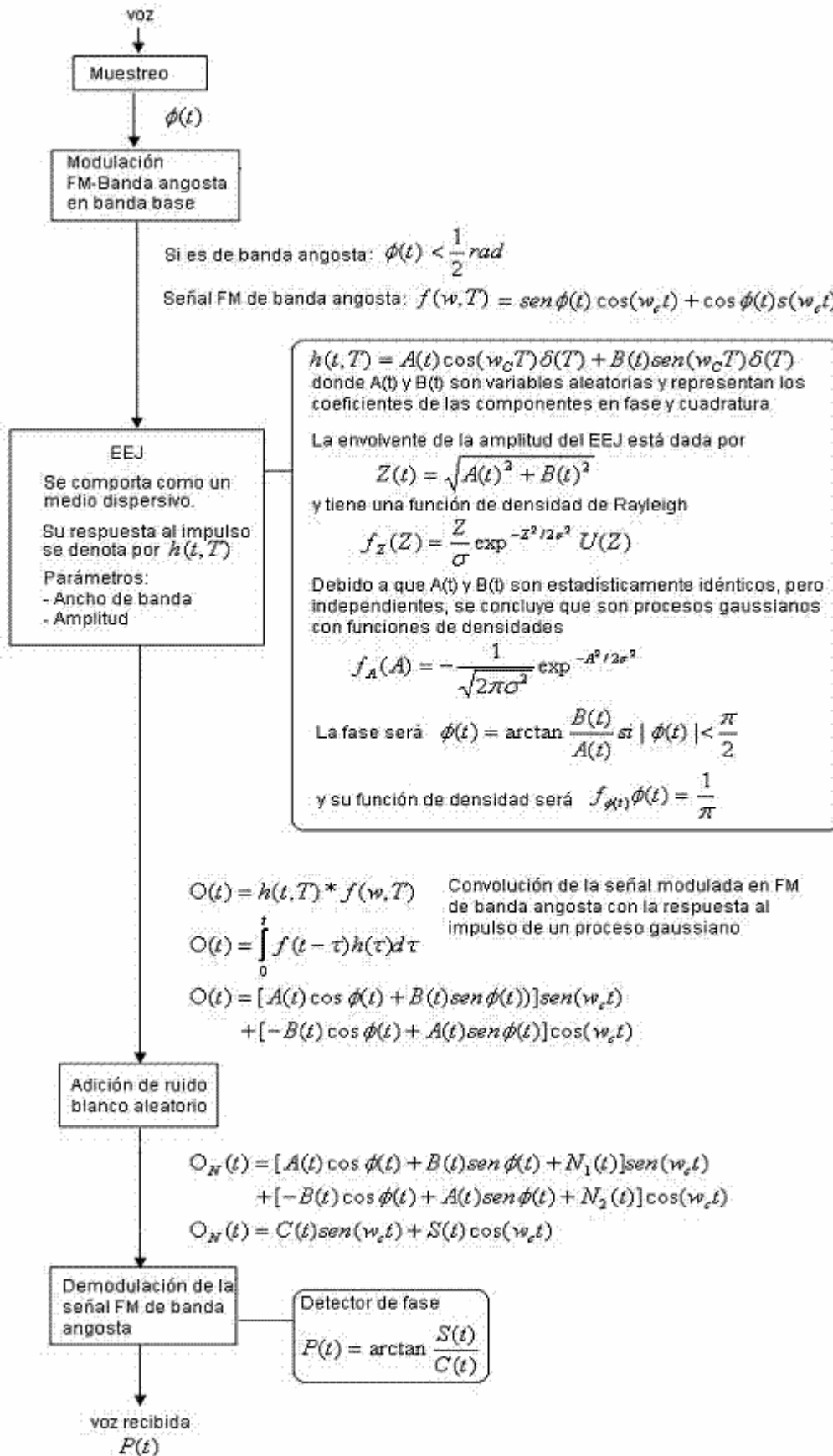


Figura 1. Diagrama de bloques de transmisión sin diversidad (adaptado de la publicación de Valladares y Woodman [5])

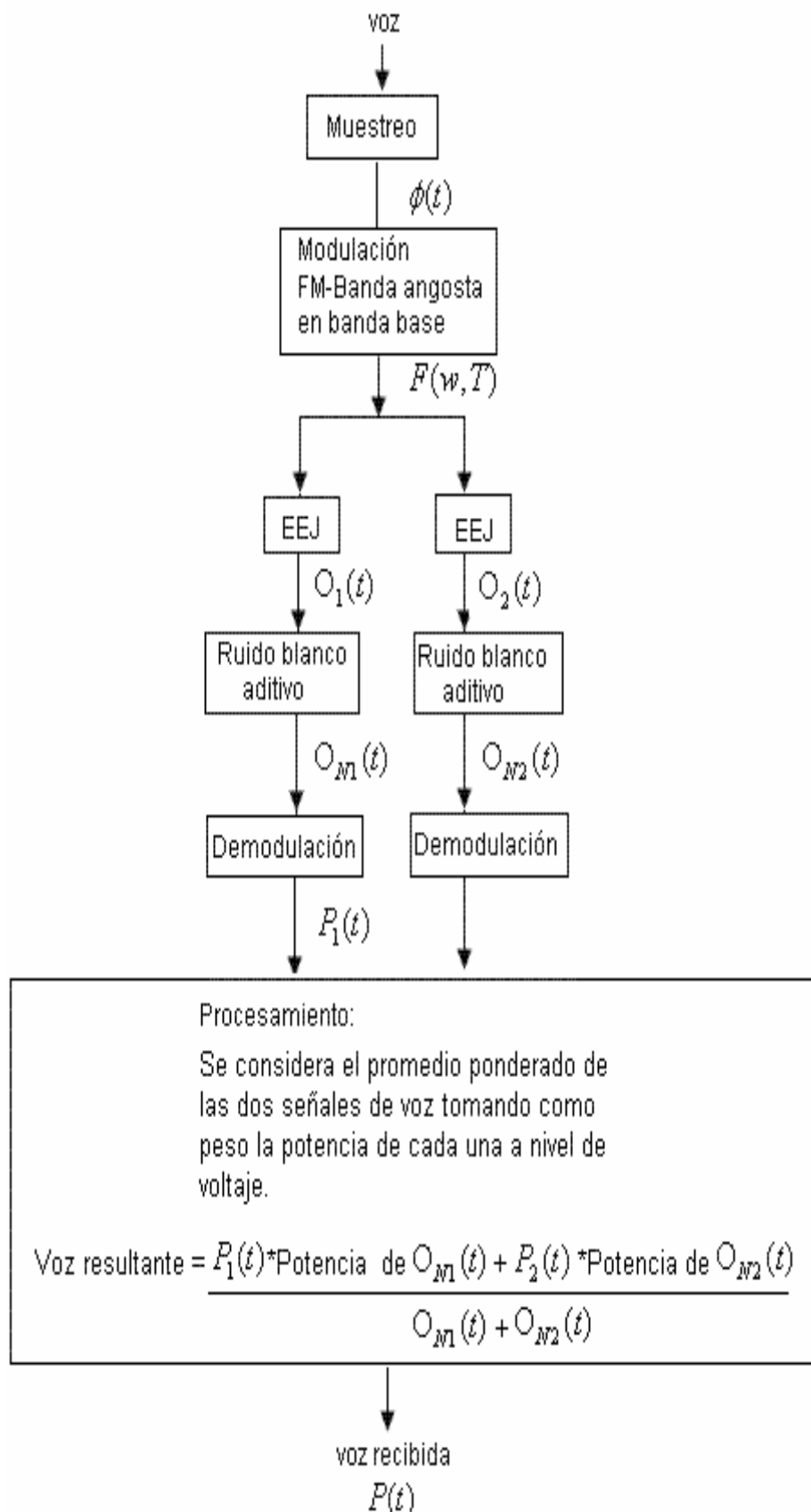


Figura 2. Diagrama de bloques de la transmisión con diversidad

La modulación a través del Electrochorro Ecuatorial provoca desvanecimientos en la potencia de la señal debajo del nivel del ruido (cracks). Dichos desvanecimientos pueden ser observados tanto en el espectrograma como en el gráfico de potencia de la señal respecto del ruido.

La figura 3 corresponde a una simulación con una relación señal a ruido (SNR) alta. En la señal recibida se observa la presencia de los desvanecimientos, los cuales se muestran como ruido impulsivo en distintos instantes de tiempo. Estos se presentan en el espectrograma como delgadas líneas verticales (señaladas en el gráfico) que indican el amplio rango de frecuencias presentes en la señal para aquellos instantes. Finalmente, el último gráfico permite caracterizar dichos "cracks" como caídas bruscas de la potencia de la señal de voz recibida debajo del nivel de potencia del ruido.

La figura 4 corresponde a la simulación de una transmisión con una relación señal a ruido baja. Ello equivale a una disminución de la potencia de la señal transmitida, por lo cual los desvanecimientos de la voz

recibida debajo del nivel de potencia del ruido serán mayores que para valores altos de SNR. Se percibe una disminución de la calidad de la voz, la cual se torna menos inteligible debido a la mayor cantidad de cracks. En el espectrograma se observa la presencia de una mayor cantidad de líneas verticales (señaladas en el gráfico), mientras que en el gráfico inferior se aprecia un mayor número de caídas de la señal debajo del nivel de potencia del ruido. De aquí es posible deducir la dependencia del número de desvanecimientos respecto del SNR.

En la figura 5 se presenta una comparación entre las señales recibidas con dos transmisiones distintas considerando los mismos parámetros de transmisión. Se observa que los desvanecimientos ocurren a distintos instantes de tiempo y es poco probable que coincidan entre sí, ya que su presencia está asociada a la naturaleza aleatoria del electrochorro, el cual es distinto para cada transmisión. Esta ausencia de correlación será aprovechada para la mejora de la calidad usando diversidad.

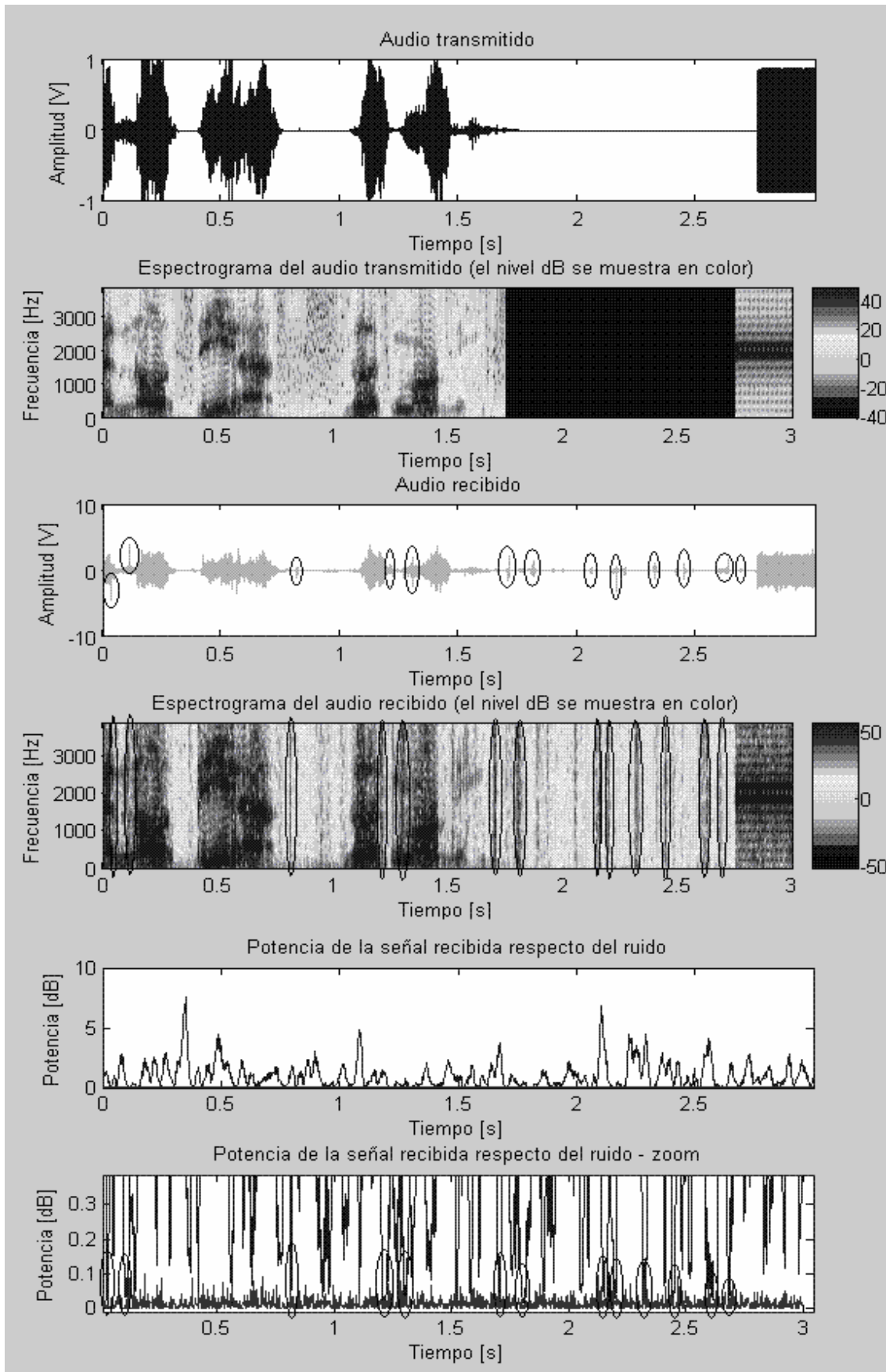


Figura 3. Caracterización de los desvanecimientos de la señal para un valor alto de relación señal a ruido. Gráficas de la (a) voz transmitida y (b) su espectrograma, (c) la voz recibida y (d) su espectrograma y (e, f) la potencia de la señal recibida respecto del ruido (sin amplificar y amplificada cerca de los niveles de ruido).

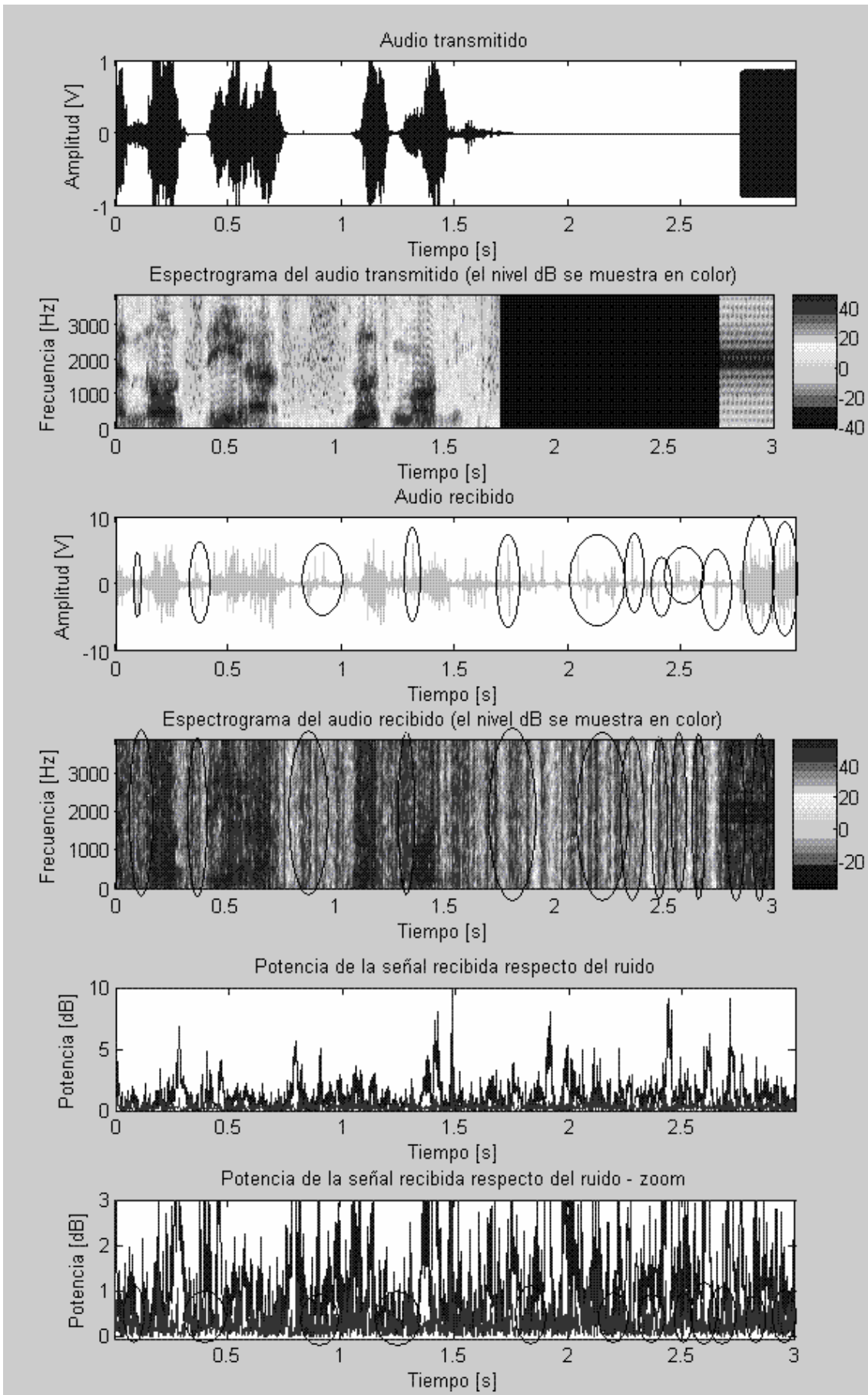


Figura 4. Similar a la figura 3, pero para un valor de relación señal a ruido bajo.

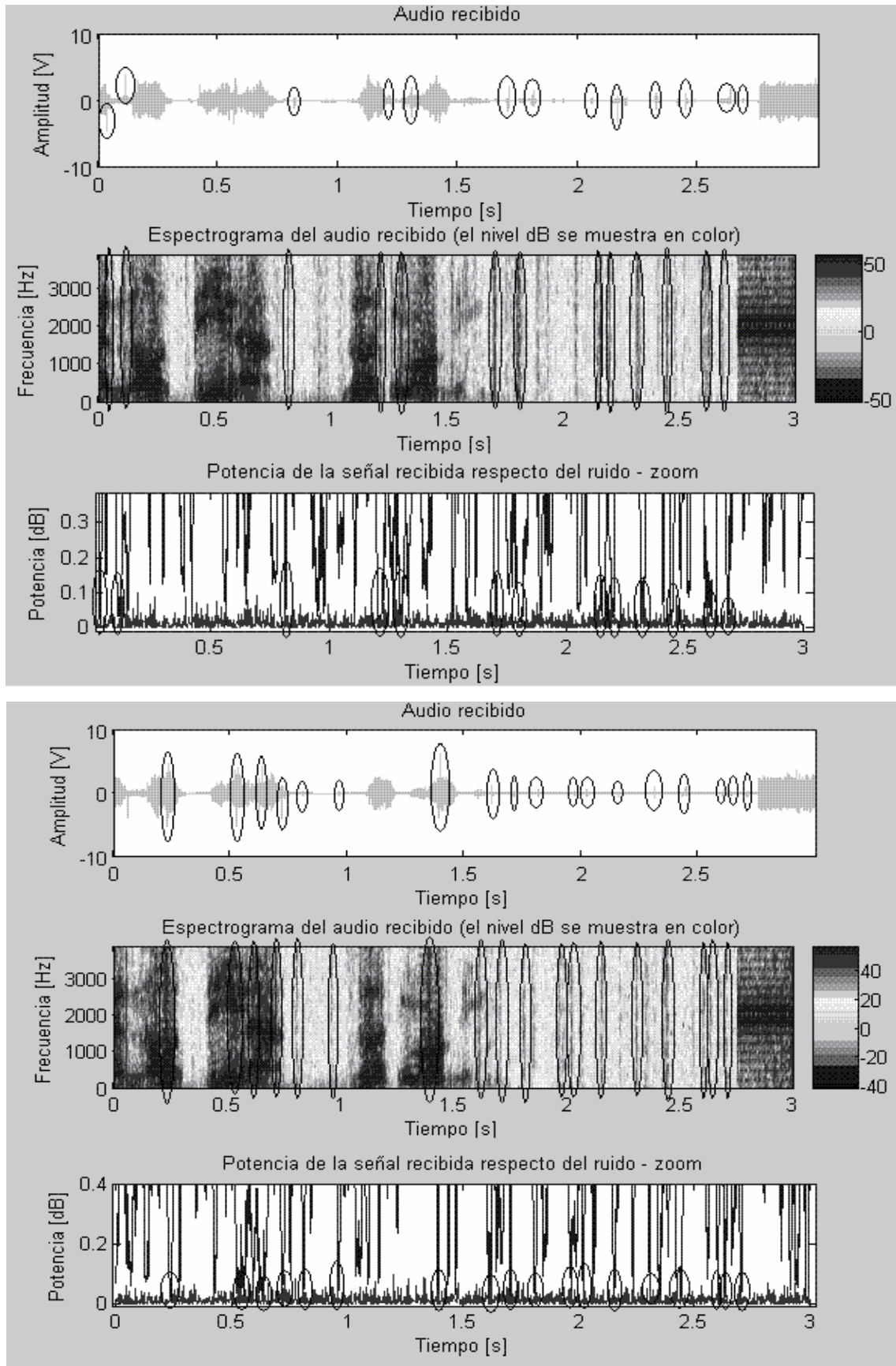


Figura 5. Comparación entre dos comunicaciones simuladas con los mismos parámetros de transmisión. Se muestran (a) el audio recibido, (b) su espectrograma y (c) la potencia de la señal respecto del nivel del ruido (gráfico amplificado). De la comparación entre ambas comunicaciones se comprueba la naturaleza aleatoria de los “cracks”.

APLICACIÓN

El Electrochorro Ecuatorial puede ser usado como medio alternativo de comunicaciones en el Perú en frecuencias de VHF. El empleo de este recurso podría ser destinado a satisfacer servicios básicos de comunicación en muchas zonas rurales y de difícil acceso en nuestro país que aún no han sido cubiertos. De este modo, constituye una alternativa a los medios tradicionales de comunicación rural, como son los enlaces VHF con línea de vista (poco factibles por la difícil geografía), los enlaces satelitales (costosos de implementar y mantener) y la transmisión HF por reflexión ionosférica (ruidosa y poco confiable por las condiciones cambiantes de la ionosfera).

La conveniencia del uso del Electrochorro Ecuatorial como canal de comunicaciones alternativo se ve favorecido por el avance de la tecnología y la disponibilidad de equipos electrónicos más potentes en los últimos años, así como por el empleo de nuevos sistemas de modulación y técnicas no convencionales de recepción, tal como el uso de diversidad. Esta técnica permite un significativo mejoramiento de la inteligibilidad de la señal de voz y se prevé que esta mejora sea mayor en el caso de transmisión de datos.

RESULTADOS

Las simulaciones estuvieron orientadas a determinar la calidad de la transmisión en función de ciertos parámetros del EEJ (relación señal a ruido y ancho de banda) y observar el efecto del uso de la diversidad.

El análisis de las simulaciones se detalla a continuación:

Calidad de la transmisión de vía el EEJ en función del SNR y ancho de banda

a) Calidad en función del SNR

Aumentar la relación señal a ruido equivale a incrementar la potencia de transmisión, con lo cual se logrará un menor número de desvanecimientos de la voz debajo del nivel de ruido y, de esta forma, se obtendrá una señal más inteligible.

En la figura 6 se muestra la variación de la calidad de la señal respecto del SNR tanto en el caso ideal de ausencia del EEJ como en presencia del mismo con ancho de banda promedio de 10 Hz (sin el uso de diversidad). La transmisión sin EEJ equivale a tener un reflector perfecto de la señal en la atmósfera y la calidad de la voz recibida dependerá solo de la potencia transmitida, del ruido atmosférico y del ruido de los equipos.

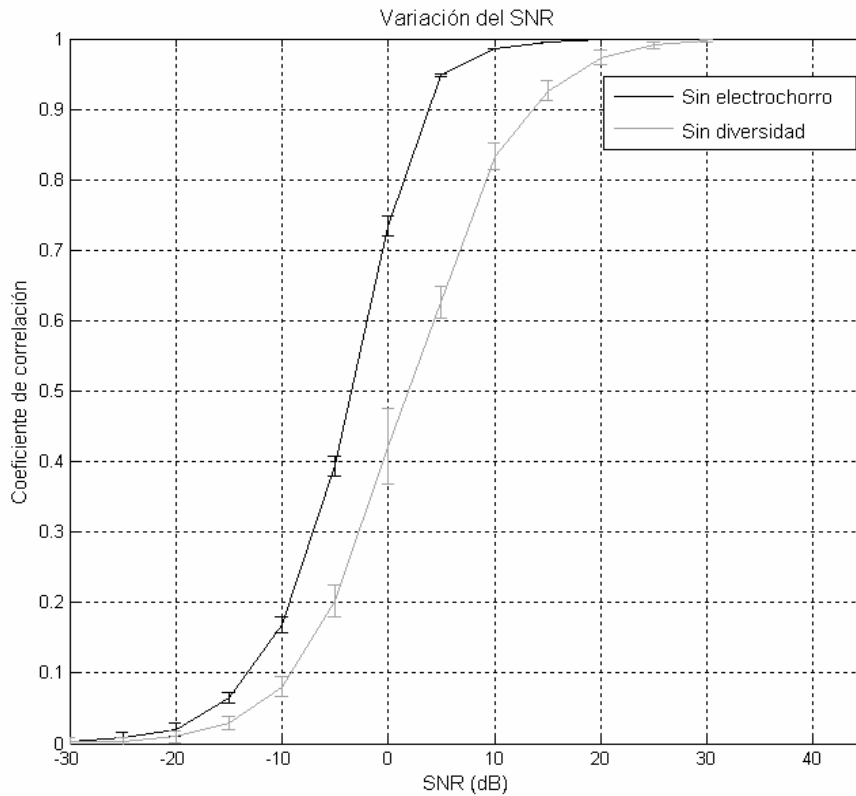


Figura 6. Coeficiente de correlación en función de la relación señal a ruido (en dB)

b) Calidad en función del ancho de banda

El Electrochorro Ecuatorial provoca desvanecimientos de la señal a nivel de voltaje a una repetición que varía entre 20 y 100 Hz en el transcurso del día. El ancho de banda determina la cantidad de veces la señal caerá debajo del nivel de potencia del ruido. A medida que el ancho de banda se incrementa, se producirá mayor número de desvanecimientos a nivel de voltaje, pero éstos ocurrirán más rápido y la señal permanecerá menos tiempo debajo del nivel del ruido. Esto origina un efecto

compensatorio que provoca que la inteligibilidad de la señal no se vea afectada por el ancho de banda del Electrochorro Ecuatorial en el rango de 20 a 100 Hz. En la figura 7 se observa que no existe una dependencia significativa entre la calidad de la señal de voz y el ancho de banda del EEJ simulado para un SNR bajo (de 5 dB). Se obtiene además una recta horizontal para el caso de transmisión en ausencia del EEJ, ya que el ancho de banda es un parámetro del EEJ, por lo que su variación no influye en la calidad de la señal de voz recibida en este caso.

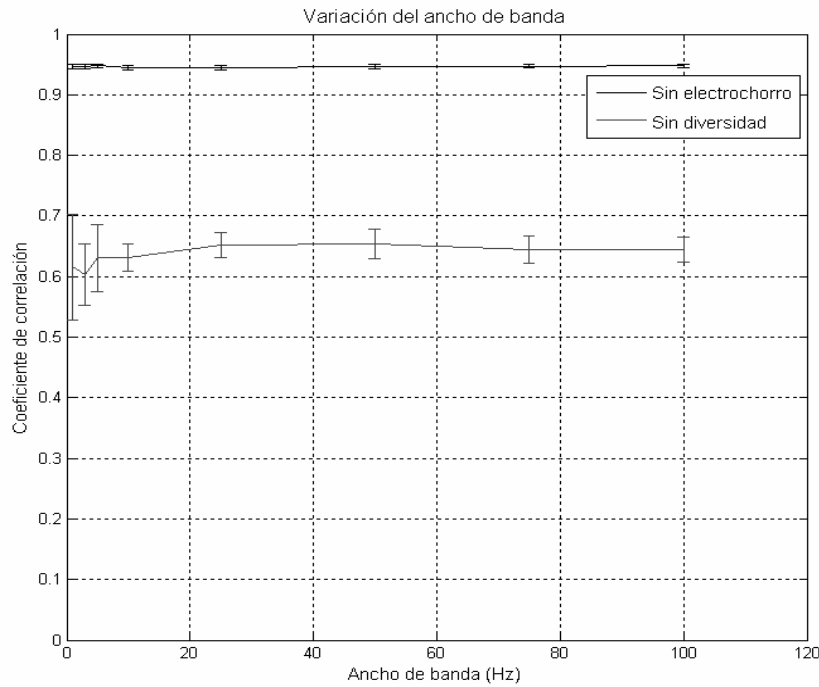


Figura 7. Coeficiente de correlación en función del ancho de banda del EEG.

Calidad usando diversidad con dos o más portadoras

El uso de diversidad permite obtener una mayor inteligibilidad de la voz, con lo cual se consigue un significativo mejoramiento cualitativo de la calidad de la misma. De modo cuantitativo, a mayor número de portadoras empleadas para la transmisión, mayor será el índice de correlación de la señal de voz procesada respecto a la original.

Para el análisis de la calidad empleando diversidad se simulan dos casos: asumiendo ruidos correlacionados y asumiendo ruidos no correlacionados.

En la figura 8 se presenta una gráfica de la simulación en la que se asume que los

ruidos de cada una las portadoras están correlacionados. Se simula la presencia de ruido atmosférico, el cual es el mismo para ambas portadoras.

Por otro lado, en la figura 9 se simula el caso en el que los ruidos de cada una las portadoras no están correlacionados. En este caso, además de considerar la presencia del mismo ruido atmosférico para todas las portadoras, se simula el efecto del filtrado en la recepción con el fin de distinguir cada una de las portadoras para el posterior procesamiento. A través del filtrado no solo se separan las señales, sino que también se toman distintos ruidos no correlacionados entre sí.

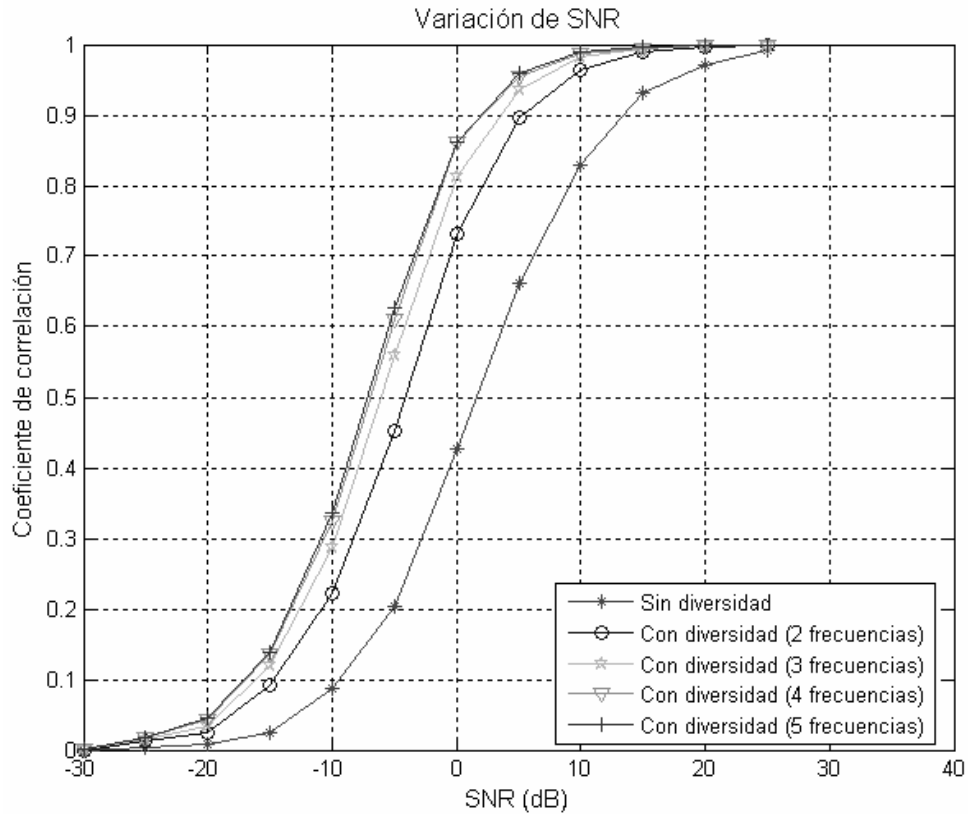


Figura 8. Coeficiente de correlación en función de la relación señal a ruido empleando diversidad y ruidos correlacionados.

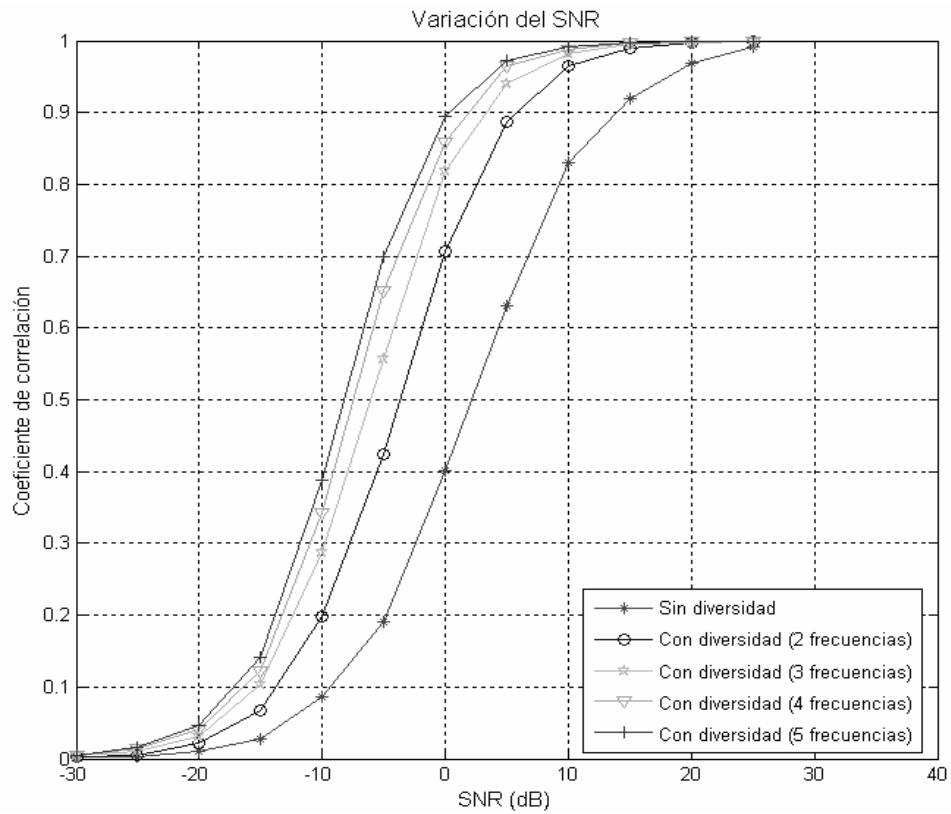


Figura 9. Coeficiente de correlación en función de la relación señal a ruido empleando diversidad y ruidos no correlacionados.

De la comparación entre los dos gráficos anteriores se deduce que la presencia de ruidos no correlacionados permite obtener un coeficiente de correlación ligeramente mejor para la transmisión con diversidad. Al considerar ruidos distintos, durante el procesamiento se elige aquella señal de voz que posea mayor potencia en cada instante de tiempo, con lo cual se disminuye el efecto del ruido atmosférico en la transmisión de la señal. En este caso, la mejora de la calidad se debe a dos razones: el empleo de la diversidad en transmisión y el uso de ruidos distintos.

En los gráficos se demuestra también la efectividad del uso de diversidad para el mejoramiento de la calidad de las comunicaciones. Se aprecia una considerable mejora tanto cualitativa como cuantitativa de la calidad de voz mediante el uso de solo dos portadoras para la transmisión. Con más de dos portadoras, dicha mejora es solo incremental. Por lo tanto, no sería muy provechoso emplear diversidad en transmisión con más de dos portadoras, ya que no se obtendría un mejoramiento considerable.

TRABAJOS FUTUROS

Los resultados de las simulaciones son alentadores y demuestran el mejoramiento significativo de la calidad de la señal usando solo dos portadoras para la transmisión. Se proyecta aplicar próximamente la técnica de diversidad en frecuencia (usando solo dos portadoras) para la transmisión de voz sobre el enlace Jicamarca-Paracas, el cual fue

implementado en la tesis de Chocos [1]. Se enviará la misma voz a través de dos transmisores operando a frecuencias distintas. Ambas señales se sumarán y se transmitirán a través del EEJ. Luego se usará un receptor digital con tecnología de Radio Observatorio de Jicamarca, el cual separará ambas señales en frecuencia. El procesamiento para la diversidad se realizará vía software, empleando el algoritmo usado en la presente simulación y, finalmente, se evaluará la calidad de la voz recibida usando como parámetro el coeficiente de correlación respecto a la voz original.

AGRADECIMIENTOS

Mi especial agradecimiento al Dr. Jorge L. Chau, por sus enseñanzas, paciencia y constante apoyo y por brindarme la oportunidad de realizar el presente trabajo de investigación. Igualmente, mi gratitud hacia el Programa de Apoyo a la Iniciación en la Investigación de la PUCP y a todo el personal del Radio Observatorio de Jicamarca por compartir sus experiencias y conocimientos, así como por su amistad y calidez.

BIBLIOGRAFÍA

- Chocos, J. (2005). "Diseño y establecimiento de un enlace de radiocomunicaciones VHF punto a punto vía el Electrochorro Ecuatorial". Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Cohen R., K. Bowles (1963). "Ionospheric VHF scattering near the magnetic

- Equator during the International Geophysical Year. Journal of Research of the National Bureau of Standards". Vol 67D. No.5
- Heraud, J. (1972). "Estudios de propagación utilizando el fenómeno de dispersión en el Electrochorro Ecuatorial". Informe Preliminar No. 1, Instituto Geofísico del Perú.
- Romero C. A., A. Giesecke, O.Pérez (1968). "Propagación de ondas de radio en VHF por dispersión en el Electrochorro Ecuatorial". Informe Preliminar, Instituto Geofísico del Perú.
- Valladares, C., R. Woodman (1975). "Simulación digital-analógica por computadora de comunicaciones vía el Electrochorro Ecuatorial". III CONIMERA.

CLASIFICACIÓN DE SEÑALES SÍSMICAS DEL VOLCAN MISTI USANDO INFORMACION DE UNA RED TELEMÉTRICA: ENERO A MARZO 2007

LILIANA ROSARIO TORRES VELARDE

Facultad de Geología, Geofísica y Minas

Universidad Nacional San Agustín

naosde@yahoo.com

Investigación dirigida por: Dr. Orlando Macedo S.

Dirección de Investigación en Vulcanología

Oficina de Arequipa

INTRODUCCIÓN

En esta sección se han analizado los datos sísmicos de la Red Telemétrica del Misti de tres meses desde el 1 de Enero al 31 de Marzo del 2007; dichas señales fueron trabajadas en formato *.SAC, con el objetivo de poder obtener una estadística de cuanto a variado la actividad sísmica del Misti.

La sismología volcánica es uno de los principales temas tratados en el periodo de prácticas, aquí se trabajaron con algunas señales sísmicas del volcán Misti solo a manera de ejemplos, con este trabajo se busca adquirir conocimientos acerca de la metodología de estudio de los volcanes aplicando la sismología como herramienta principal.

OBJETIVOS

Aprender a reconocer los diferentes tipos de señales sismos-volcánicos.

Identificar y clasificar las señales sismo-volcánicas del Misti registradas por la red sísmica del Misti de Enero a Marzo del 2007.

MARCO TEÓRICO

Clasificación de Ibáñez:

Ibáñez (1997) propone una clasificación siguiendo diversas nomenclaturas, como la clasificación de Minakami (1969), Latter (1979, 1981) y otros.

La clasificación propuesta por Ibáñez (1997) describe una serie de eventos que están basados en la forma de la señal sísmica y el contenido espectral. Esta nomenclatura es la más frecuente encontrada en bibliografía:

Sismos volcano-tectónicos

El comienzo de esta señal suele ser impulsivo (claras llegadas de la fase P) y es posible identificar la llegada de la onda S, por lo que es favorable trabajar con registrador de 3 componentes. Su contenido espectral es amplio, conteniendo frecuencias superiores a 10 Hz y superando en algunos casos los 30 Hz. La localización en profundidad de estos eventos suele presentar un amplio rango de profundidades, desde decenas de kilómetros hasta la misma superficie del edificio volcánico. La proyección en

superficie de estos eventos, presenta una distribución muy variada en torno a un posible conducto, y también a lo ancho de todo el sistema volcánico.

Sismos de periodo largo

Los sismos de periodo largo (LP) o de baja frecuencia, carecen de fases iniciales definidas (presentan fases emergentes), por lo que resulta difícil determinar el momento exacto del inicio de la señal. Estas señales son típicas de ambientes volcánicos activos. Se caracterizan por presentar contenido espectral muy limitado, alrededor de 0.5 a 5 Hz. La duración de estos eventos suele variar entre los pocos segundos hasta algo más de un minuto.

El contenido espectral de este tipo de sismos es variable en otros volcanes; incluso varía en un mismo volcán ya que es posible encontrar diversos tipos de eventos de largo período dentro de un mismo edificio volcánico.

Estos eventos, debido a su forma de onda son bastante difíciles de localizar usando técnicas clásicas (Lahr et al. 1994).

Sismos híbridos

Estos sismos, *figura 3.16*, se caracterizan por presentar, en un comienzo, señales de altas frecuencias > 10 Hz, causado posiblemente, por una ruptura inicial, y seguidas por una señal parecida (en forma de onda, duración y contenido espectral), a la de los sismos de período largo. En la señal de altas frecuencias se pueden

identificar las fases P y S; por lo que normalmente se les asocia con sismos pequeños.

La ocurrencia espacial y temporal de los sismos híbridos es muy similar a de los sismos de largo período; por tanto, aparecen asociadas a episodios pre-eruptivos inminentes (Ibáñez & Carmona, 2000).

Tremor volcánico

Es un tipo de evento sísmico que se caracteriza por producir señales sísmicas que conservan una amplitud constante por un largo periodo de tiempo: desde varios minutos hasta horas.

Explosiones volcánicas

Estos eventos sísmicos generan dos tipos de ondas: la primera asociada con la propagación en forma de ondas internas o superficiales de la explosión. La segunda es la llegada de lo que se conoce como ondas de aire, ondas sonoras y ondas de choque, que se propagan con una velocidad de propagación de 340 m/s. La ocurrencia de eventos sísmicos producidos por explosiones volcánicas junto a los temblores, corresponden probablemente a las señales más características cuando se encuentra en marcha un proceso eruptivo. Por ello, algunos eventos de explosión se presentan en los registros superpuestos a una señal de tremor.

METODOLOGÍA

Las señales sísmicas del Volcán Misti de los meses de Enero, Febrero y Marzo del 2007 que ya han sido transformadas a formato *.SAC, se ha analizado en un programa elaborado en Matlab, llamado “Clasificar” (hecho por el señor Bach. Edu Taipe oficina IGP – Arequipa).

Este programa trabaja con las señales de registro por disparo de las cinco estaciones del Misti (MISA, MISB, MISC, MISD y MISE) excepto la estación MISB que no esta operativa. De igual manera se utilizan las señales de registro continuo de las estaciones de Cerro Verde (CVET), Uninas (UBI1) y Misti (MISC). Todas estas estaciones están siendo analizadas en la componente Z, ver Figura 1.

Se utilizan estas señales de registro continuo de CVET y de UBI1 para poder reconocer y verificar los Sismos Tectónicos, en algunas ocasiones estos sismos tectónicos tienen su origen al norte de Arequipa y solamente están registrados en la estación de UBI1, pero en la mayoría de veces están registradas en ambas estaciones (UBI1 y CVET).

Este programa consta de una ventana principal donde se puede ver la forma de onda de las cinco estaciones del Misti en modo “Disparo” y una señal que puede ser de CVET, UBI1 o MISC en modo “Continuo”. En esta ventana también se ven los espectros de las cinco estaciones del Misti. Cada registro es de 120 min.

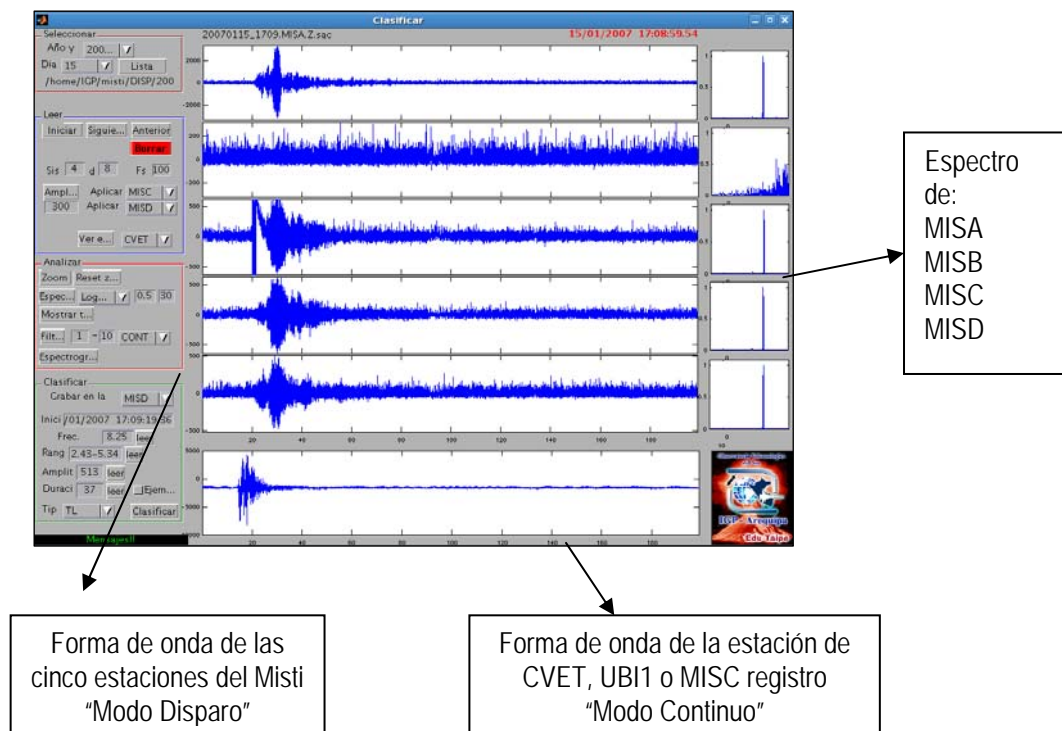


Figura 1. Ejemplo de la ventana principal del programa “Clasificar”, indicando las partes de la ventana.

PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICAR LOS TIPOS DE SISMOS CON EL PROGRAMA “CLASIFICAR”

En la parte izquierda de la ventana principal “Clasificar” se puede identificar cuatro partes:

- En la primera parte “SELECCIONAR” indicamos en que periodo deseamos hacer el análisis podemos indicar tanto el año, el mes y el día. Figura 2 (a)

- En la segunda parte “LEER” después que hemos indicado el periodo con el botón *Iniciar*, se puede mostrar las formas de onda de la señal sísmica en modo por Disparo de las cinco estaciones del Misti y con los botones *Siguiente* y *Anterior*, podemos adelantar o retroceder el registro sísmico. Después que escogemos la estación CVET, UB11 o MISC haciendo clic en *Ver e...*, podemos visualizar la forma de onda del registro en modo Continuo. Figura 2 (b)

- En la tercera parte “ANALIZAR” con el botón *Zoom*, podemos aumentar el tamaño de la forma de la onda de la señal y con *Reset z...*, devolvemos a su tamaño original la forma de la onda del registro sísmico. Con el botón *Mostrar t...*, podemos ver los espectros de las cinco estaciones del Misti los cuales aparecen en una segunda ventana llamada “Frecuencias”, Figura 3, en la cual puede cambiarse la escala del espectro ya sea Log-Log, Log-Lin, Lin-Log y Lin-Lin. Con el botón *Filt...*, después de dar el rango de parámetros y de haber escogido a que estación o conjunto de estaciones deseamos aplicar el filtro hacemos clic en *Filt...* y nos mostrará la señal filtrada. Mientras que con el botón *Espectrogr...*, podremos ver el espectrograma de las cinco estaciones del Misti, en una tercera ventana llamada “Figura 1”, Figura 4, en donde se ve la forma de onda y su respectivo espectrograma, Figura 2 (c).

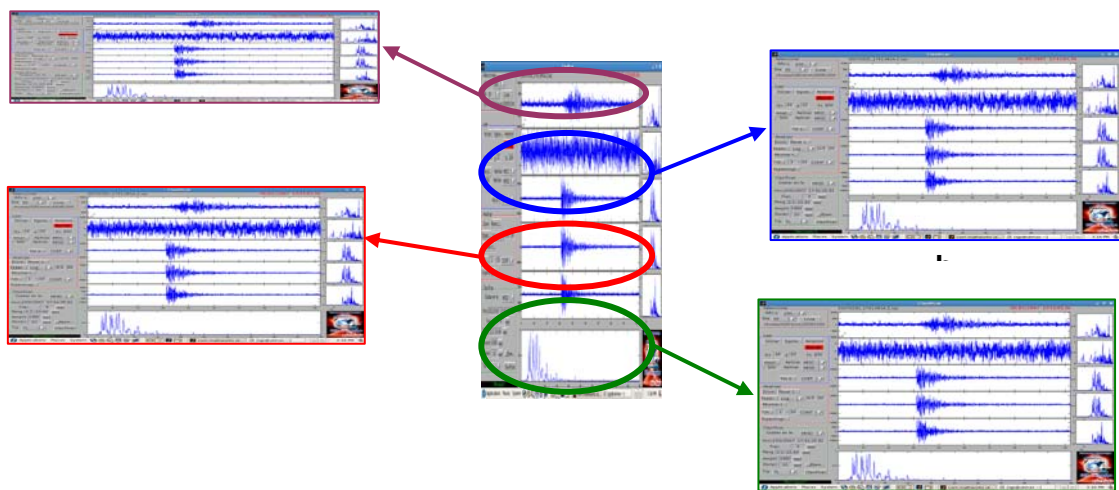


Figura 2. Descripción y ubicación de las partes del programa “Clasificar”.

En la cuarta parte “CLASIFICAR” es donde se podrá guardar la información como:

- La estación de donde estamos extrayendo la información (MISA, MISC, MISD, MISE).
- El tipo de sismo (LP, VT, VTP, Tre, TO, OT, Ruido, TL, TC)
- El periodo (día/mes/año y hora :minuto :segundo)
- Rango de frecuencias

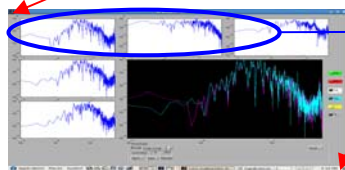
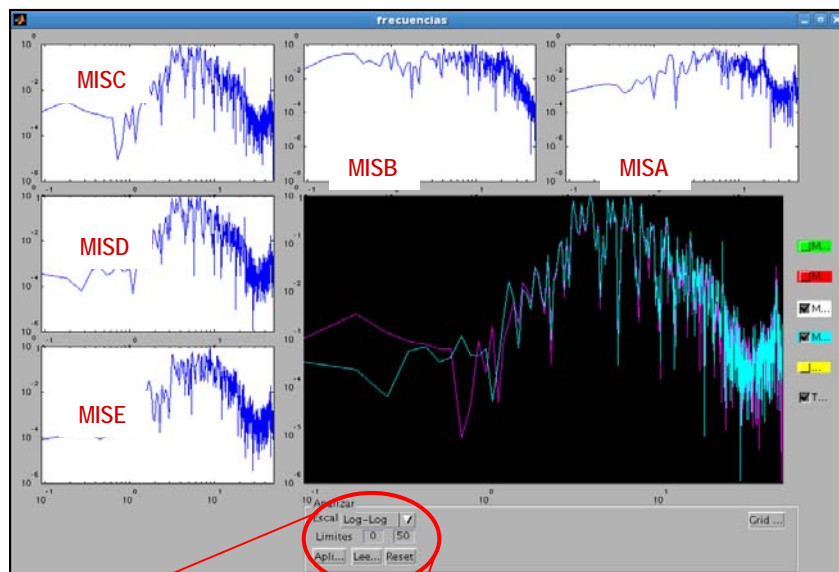
- La frecuencia pico
- La amplitud de onda
- La ubicación donde esta guardada el registro de la señal analizada

En esta parte si el sismo esta bien definido podemos ponerlo como ejemplo para poder entrenar al programa, y con el botón *Clasificar*, guardamos la información. Figura 2 (d)

Por último los resultados que obtenemos del programa son los siguientes:

Estación
Tipo de Sismo
Rango de Frecuencias
Frecuencia pico
Amplitud de onda
 MISD VT 05/01/2007 22:09:52.25 2.85 2.35-9.22 8 1160 -
 /home/IGP/misti/DISP/200701/05/20070105_2209.MISA.Z.sac

Ubicación del archivo del registro *.SAC analizado



En *Escala* cambiamos a
 Log - Log
 Log - Lin
 Lin - Log
 Lin - Lin

Figura 3. Ejemplo de la ventana Frecuencias, donde podemos ver los espectros de las cinco estaciones del Misti (MISA, MISB, MISC, MISD, MISE)

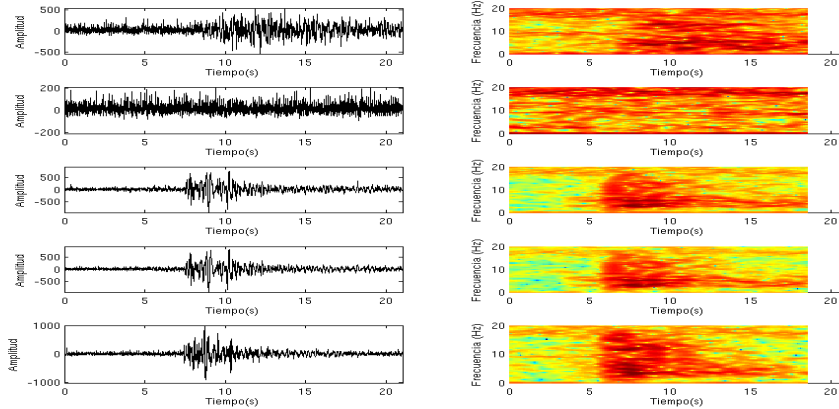


Figura 4. Ejemplo de la ventana Figura 1, donde podemos ver la forma de onda y los espectrogramas de las cinco estaciones del Misti (MISA, MISB, MISC, MISE)

ANÁLISIS DE LAS SEÑALES SÍSMICAS

Se analizó cada señal sísmica tomando en cuenta la forma de onda (forma de la envolvente), el espectro de la onda y su respectivo espectrograma, también se

tomo en cuenta la frecuencia, la amplitud de la onda, con estos parámetros se pudo clasificar los diferentes eventos, tanto como eventos volcánicos o tectónicos, figuras 5, 6, 7, 8 y 9.

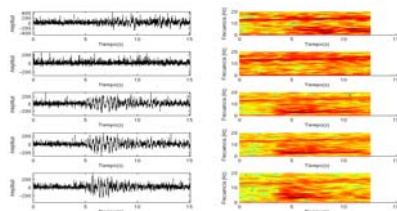


Figura 5. Ejemplo de evento sísmico de Largo.

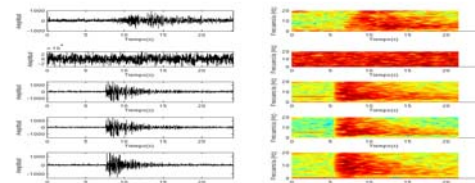


Figura 6. Ejemplo de evento Sísmico Volcano.

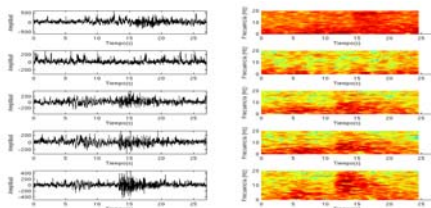


Figura 8. Ejemplo de evento sísmico Tectónico, del 8 de Enero del 2007.

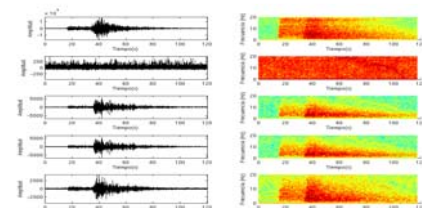


Figura 7. Ejemplo de evento sísmico de Vol Tectónico con precursor, del 6 de Enero del 2007.

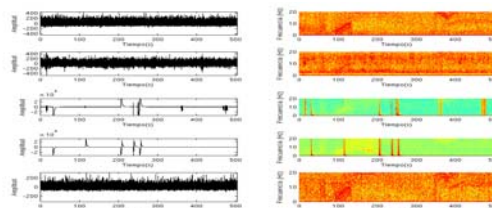


Figura 9. Ejemplo de Ruido Sísmico, del 13 de Febrero del 2007.

**RESULTADOS PARA EL MISTI:
PERIODO DE ENERO A MARZO
2007**

En la actividad sísmica del Vólcan Misti en los meses de Enero, Febrero y Marzo del 2007, se observa que en este primer

trimestre del año se da un mayor numero de eventos las características de los sismos de Largo Periodo (LP), existiendo un total de 402 eventos sísmicos LP; mientras que los eventos Volcano Tectónico (VT, VTP) suman 83 eventos sísmicos. Ver Figura 10.

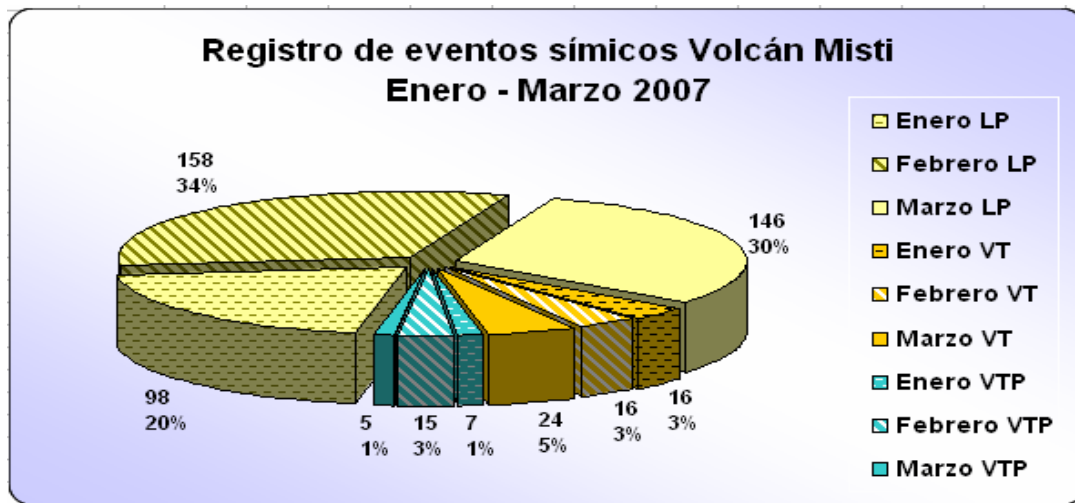


Figura 10. Proporción de los sismos de la red sísmica del Misti del 01 de Enero al 31 de Marzo, según la clase de evento sísmico.

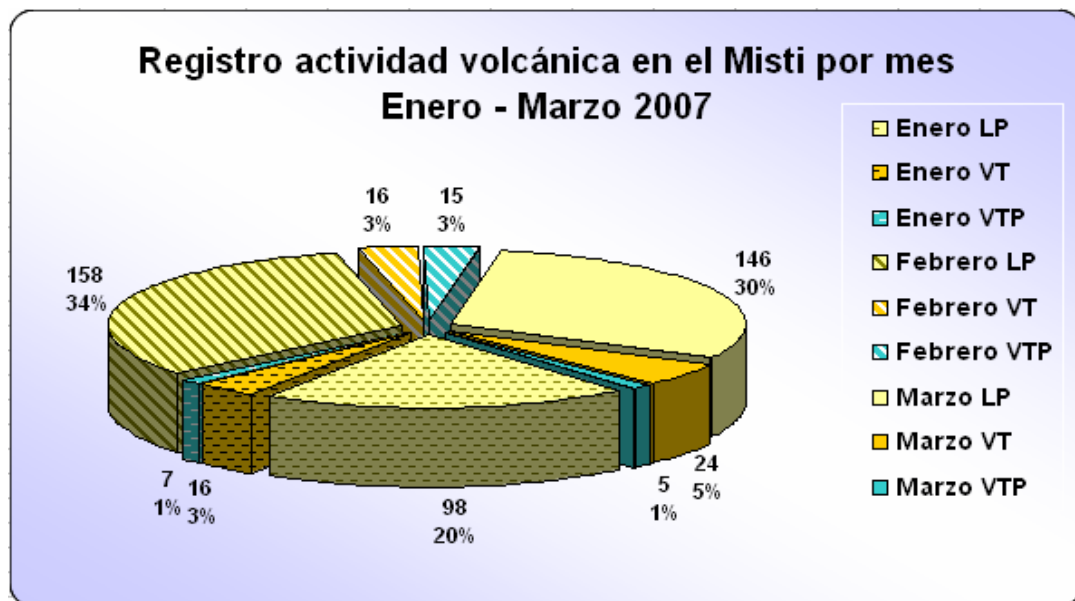


Figura 11. Proporción de los sismos de la red sísmica del Misti del 01 de Enero al 31 de Marzo, por cada mes.

Para tener una información mas detallada, se elaboraron histogramas con información diaria para cada uno de los meses, en los cuales se puede ver tanto histogramas por

información mensual, Figuras 12, 13 y 14; e histogramas con información acorde al tipo de evento LP, VT, VTP, como son las Figuras 15, 16 y 17.

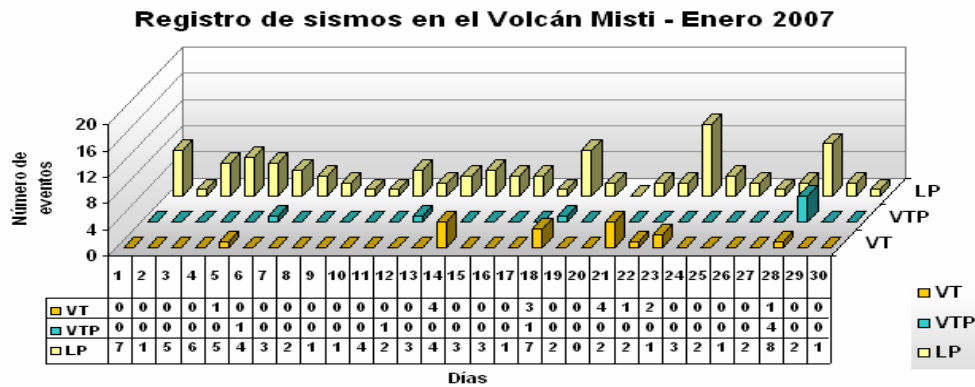


Figura 12. Histograma que muestra el número de eventos sísmicos diarios en el mes de Enero.

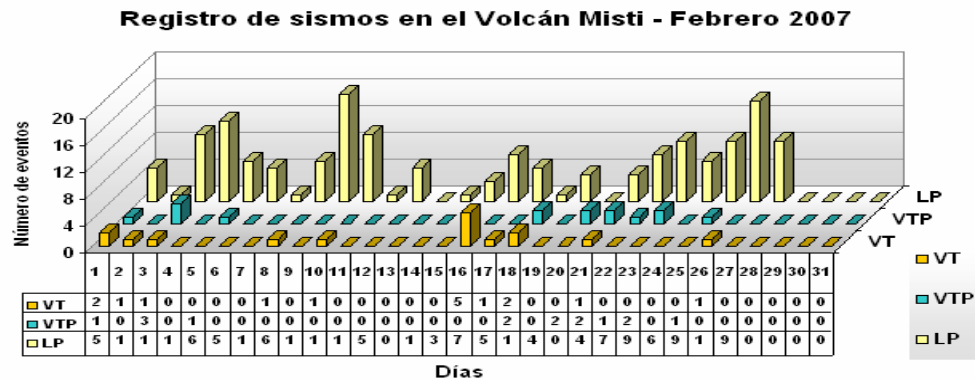


Figura 13. Histograma que muestra el número de eventos sísmicos diarios en el mes de Febrero.

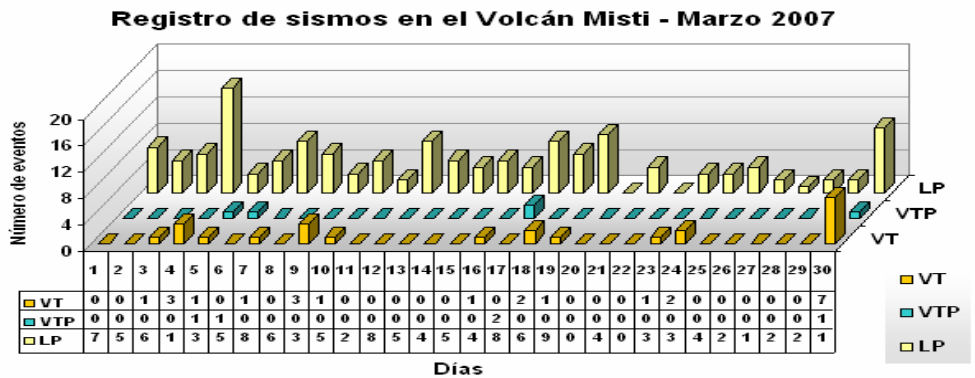


Figura 14. Histograma que muestra el número de eventos sísmicos diarios en el mes de Marzo.

Los siguientes histogramas me detallaran la comparación de eventos sísmicos según el tipo de evento, resaltando la cantidad de eventos LP, sobre los VT y VTP. Y existiendo mayor cantidad de eventos en el

mes de Febrero con 189 eventos volcánicos en total; mientras que en el mes de Enero hubo 121 eventos volcánicos y en el mes de Marzo hubo 175 eventos volcánicos

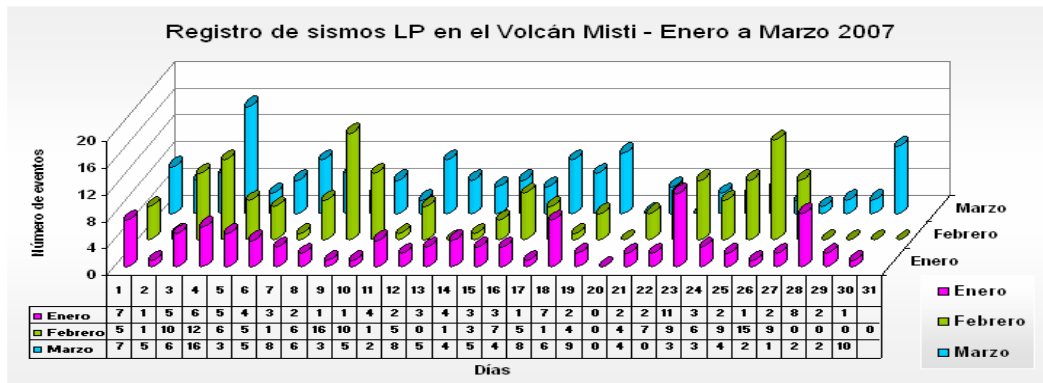


Figura 15. Histograma que muestra el número de eventos sísmicos de Largo Periodo (LP) durante los meses de Enero a Marzo.

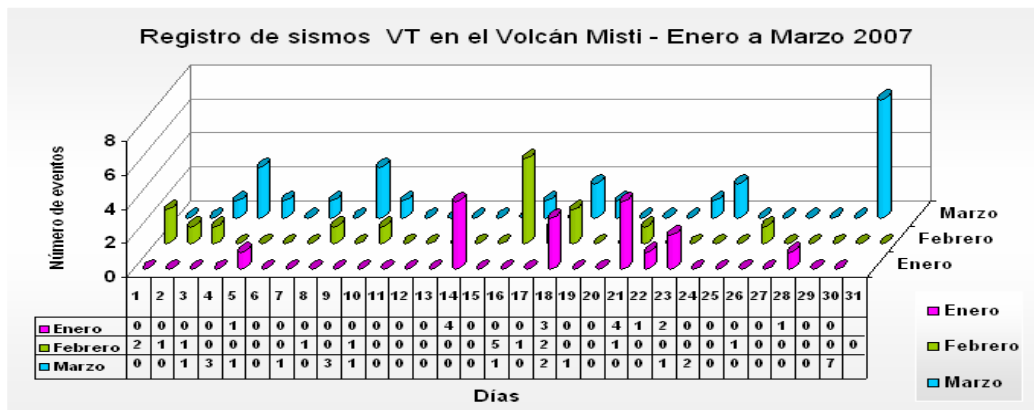


Figura 16. Histograma que muestra el número de eventos sísmicos de Volcano Tectónico (VT) durante los meses de Enero a Marzo.

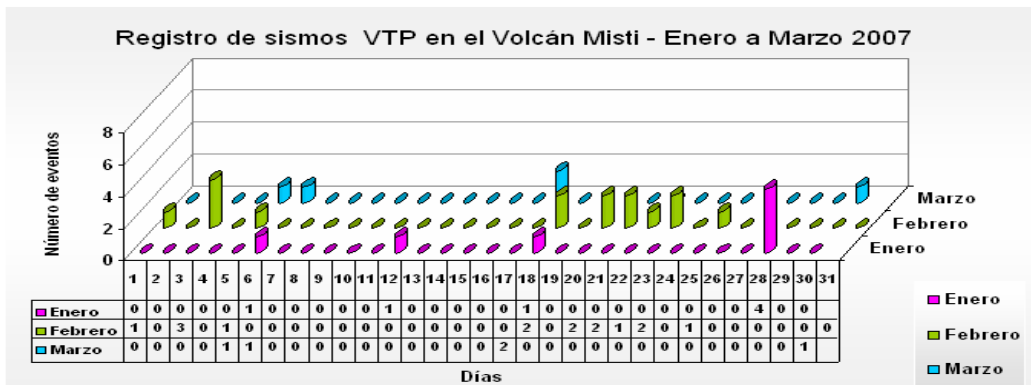


Figura 17. Histograma que muestra el número de eventos sísmicos de Volcano Tectónico con precursor (VTP) durante los meses de Enero a Marzo.

Comparando los la cantidad de sismos volcánicos con sismos tectónicos en los

meses de Febrero y Marzo los sismos volcánicos superan a los sismos tectónicos

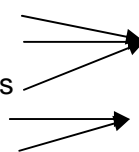
Tabla del número de eventos sísmicos

CLASIFICACIÓN DE SISMIOS									
DIAS	ENERO			FEBRERO			MARZO		
	LP	VT	VTP	LP	VT	VTP	LP	VT	VTP
1	7	0	0	5	2	1	7	0	0
2	1	0	0	1	1	0	5	0	0
3	5	0	0	10	1	3	6	1	0
4	6	0	0	12	0	0	16	3	0
5	5	1	0	6	0	1	3	1	1
6	4	0	1	5	0	0	5	0	1
7	3	0	0	1	0	0	8	1	0
8	2	0	0	6	1	0	6	0	0
9	1	0	0	16	0	0	3	3	0
10	1	0	0	10	1	0	5	1	0
11	4	0	0	1	0	0	2	0	0
12	2	0	1	5	0	0	8	0	0
13	3	0	0	0	0	0	5	0	0
14	4	4	0	1	0	0	4	0	0
15	3	0	0	3	0	0	5	0	0
16	3	0	0	7	5	0	4	1	0
17	1	0	0	5	1	0	8	0	2
18	7	3	1	1	2	2	6	2	0
19	2	0	0	4	0	0	9	1	0
20	0	0	0	0	0	2	0	0	0
21	2	4	0	4	1	2	4	0	0
22	2	1	0	7	0	1	0	0	0
23	11	2	0	9	0	2	3	1	0
24	3	0	0	6	0	0	3	2	0
25	2	0	0	9	0	1	4	0	0
26	1	0	0	15	1	0	2	0	0
27	2	0	0	9	0	0	1	0	0
28	8	1	4	0	0	0	2	0	0
29	2	0	0	0	0	0	2	0	0
30	1	0	0	0	0	0	10	7	1
31				0	0	0			
Total	98	16	7	158	16	15	146	24	5
	121			189			175		

CLASIFICACIÓN DE SISMIOS																	
DIAS	ENERO							FEBRERO							MARZO		
	TC	TL	Total	LP	VT	VTP	Total	TC	TL	Total	LP	VT	VTP	Total	TC	TL	Total
1	1	3	4	7	0	0	7	4	8	12	5	2	1	8	0	7	7
2	2	2	4	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	2	0	6	6
3	1	4	5	5	0	0	5	2	9	11	10	1	3	14	1	3	4
4	2	7	9	6	0	0	6	2	5	7	12	0	0	12	0	5	5
5	2	3	5	5	1	0	6	2	3	5	6	0	1	7	0	3	3
6	5	4	9	4	0	1	5	2	3	5	5	0	0	5	0	2	2
7	2	1	3	3	0	0	3	4	5	9	1	0	0	1	1	5	6
8	6	0	6	2	0	0	2	2	7	9	6	1	0	7	1	2	3
9	3	2	5	1	0	0	1	0	10	10	16	0	0	16	1	2	3
10	3	0	3	1	0	0	1	2	7	9	10	1	0	11	1	7	8
11	4	0	4	4	0	0	4	0	6	6	1	0	0	1	0	4	4
12	5	3	8	2	0	1	3	0	5	5	5	0	0	5	0	7	7
13	5	2	7	3	0	0	3	0	5	5	0	0	0	2	3	5	5
14	5	0	5	4	4	0	8	4	3	7	1	0	0	1	1	3	4
15	4	1	5	3	0	0	3	0	3	3	3	0	0	3	1	3	4
16	3	3	6	3	0	0	3	0	8	8	7	5	0	12	0	3	3
17	4	1	5	1	0	0	1	1	4	5	5	1	0	6	0	4	4
18	4	4	8	7	3	1	11	0	1	1	1	2	2	5	0	8	8
19	3	1	4	2	0	0	2	1	5	6	4	0	0	4	1	9	10
20	6	1	7	0	0	0	0	0	7	7	0	0	2	2	0	5	5
21	2	8	10	2	4	0	6	1	4	5	4	1	2	7	1	1	2
22	3	0	3	2	1	0	3	0	2	2	7	0	1	8	0	5	5
23	2	3	5	11	2	0	13	1	4	5	9	0	2	11	1	2	3
24	2	7	9	3	0	0	3	1	6	7	6	0	0	6	1	5	6
25	4	6	10	2	0	0	2	0	4	4	9	0	1	10	0	4	4
26	1	4	5	1	0	0	1	0	2	2	15	1	0	16	1	14	15
27	1	5	6	2	0	0	2	0	7	7	9	0	0	9	1	11	12
28	1	2	3	8	1	4	13	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4
29	3	3	6	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
30	1	4	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	4	10
31	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	90	84	174	98	16	7	121	29	134	163	158	16	15	189	16	145	161
															146	24	5
																	175

Donde:

- LP : largo periodo
- VT : volcano tectónico
- VTP : volcano tectónico con precusores
- TL : tectónicos locales
- TC : tectónicos regionales



VOLCÁNICOS

TECTÓNICOS

CONCLUSIONES GENERALES:

En los datos analizados en la Estación de la Pampilla (MAP) de geotemperaturas, se puede notar que hasta una profundidad de 30cm, las temperaturas reinantes en la Troposfera (calor de los rayos solares, así como otros factores del clima), influyen decisivamente en la temperatura del suelo.

Según lo que se ha observado en este trabajo, la profundidad mínima para realizar un estudio sin que influya el clima de la zona y así poder determinar las variaciones del calor interno debido a la influencia de fuentes caloríficas del interior de la tierra es a 30 cm.

La ciudad de Arequipa se encuentra aprox. a 2370msnm desde esta superficie a 1000 metros arriba el viento se comporta turbulentamente y muy caótico (fuerte), después de los 1000 metros (es decir 3370msnm) el viento es geostrófico y laminar, es decir en direcciones predominantes y de velocidades regulares.

Las temperaturas máximas y mínimas mensuales y diarias, de las figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21 (de la Sección I) observamos la tendencia que sufre la temperatura a lo largo de un periodo de tiempo, en este caso un año, en esta curva notamos los meses cálidos Noviembre y Diciembre y los meses fríos Junio, Julio y Agosto, para el periodo de Noviembre 2005 a Noviembre del 2006.

Al comparar la diferencia entre las máximas y mínimas temperaturas de las figuras 22, 23 y 24 (de la Sección I), la temperaturas a 30cm de profundidad sufre una mínima variación tendiendo esta a cero; mientras que la temperatura a superficie es la que sufre mayor variación ya que se ve afectada por los vientos de montaña y de valle, ráfagas de viento y precipitaciones, al ocurrir nevadas o heladas este nivel se ve mas afectado y la temperatura al aire si bien también sufre mayor variación que la temperatura a 30cm pero es mas constante que la temperatura a superficie.

El comportamiento de la temperatura no solamente se ve afectado por los cambios meteorológicos y climáticos de la zona de estudio, sino también en el medio donde se encuentre, como hemos visto en las figuras 25 y 26 (de la Sección I) en donde la variación de la temperatura esta a diferentes niveles, la temperatura a 30cm de profundidad sigue un patrón mas constante, ya que a este nivel no influyen los cambios meteorológicos y climáticos.

En la comparación de la tendencia de la temperatura entre ambos periodos Julio 2004 – Noviembre 2005 y Noviembre 2005 – Noviembre 2006, ocurre mayor coincidencia en la variación de temperatura a 30cm de profundidad y a 5750msnm en el Volcán Misti, ya que esta estación se encuentra cerca del

cráter y registraría la temperatura del volcán sin tener tanta influencia de los cambios meteorológicos y climáticos y en caso de nevada o helada esta no duraría gran tiempo ya que se derretiría mientras que la estación que esta a 5400msnm que se encuentra en la ladera del volcán la nieve se conservaría mucho mas tiempo. En el caso del Volcán Chachani la temperatura es mas constante en los tres niveles a 30cm de profundidad, a superficie del terreno y al aire.

Se podido obtener los datos sísmicos de los meses correspondientes a Setiembre del 2006 hasta Abril del 2007, tanto para la Red del Misti, del Ubinas y la estación de Cerro Verde.

Se a convertido toda la información a formato *.sac para poder analizar la información posteriormente.

A través del servicio del gFTP y de la elaboración de shell se ha podido facilitar el trabajo de la adquisición de la información.

Se ha realizado el reconocimiento de las diferentes señales sísmicas acorde al tipo de onda la forma de la envolvente, su amplitud y su frecuencia.

Se ha identificado tres tipos de señales volcánicas los LP, VT y VTP; de igual manera se han identificado eventos tectónicos regionales y locales.

BIBLIOGRAFÍA

- http://www.geost.com/muestrascartografia/html/ediorial_sm.html
- http://www.tut tiempo.net/silvia_larocca/Temas/heladas.htm
- <http://www.portalagrario.gob.pe/alertas/alertas.shtml>
- <http://www.windpower.org/es/tour/wres/mount.htm>
- <http://satelite.cptec.inpe.br/>
- http://www.geost.com/muestrascartografia/html/ediorial_sm.html
- http://www.tut tiempo.net/silvia_larocca/Temas/heladas.htm
- http://www.meteorologia.com.uy/glosario_r.htm
- http://www.utl.ch/index_espanol.htm
- <http://www.cenaph.gob.ve/Noticias/presion.pdf>
- <http://delegetseiat.upc.es/vela/apunts/termica.pdf>
- http://www.tdx.cbuc.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0317105-174201//040jc04de12.pdf
- http://not_cima.net/meteo88-nn1.pdf
- <http://www.linuxlots.com/~barreiro/spanish/gnome-es/glosario/index.html>
- <http://docencia.udea.edu.co/cci/linux/dia6/Gftp/GftpPpal.htm#caracteristicas>
- <http://dns.bdat.net/shell/x148.html>
- AUBERT, A., DANA, I. & LIVET, M. (1990): Identification of the boundaries between two watersheds in a volcanic area by self-potential method.

- CHOUET, B. A.; (2003): Volcano Seismology
- CHOUET, B. A.; (1996): Long-period volcano seismicity: its source and use in eruption forecasting
- Patricia Llerena Luna (2005): Características de la sismicidad observada en octubre 2001 en el volcán MISTI (Sur del Peru).
- FERRAZZINI, V.; AKI, K.; CHOUET, B. A.; (1991): Characteristics of seismic wave composing hawaiian volcanic tremor and gas-piston events observed by a near-source array. Journ. Geophys. Res., 96: 6199-6209.
- GIL CRUZ, F.; CHOUET, B. A.; (1997): Long-period events, the most characteristic seismicity accompanying the emplacement and extrusion of a lava dome in Galeras volcano, Colombia, in 1991. Journ. Volcan. Geotherm. Res., 77: 121-158.
- IBAÑEZ J. M. 1997: Apuntes de sismología Volcánica. Instituto Andaluz de Geofísica. Universidad de Granada.
- LAY T., WALLACE T., 1995: Modern Global Seismology Academic Press, 174-199 pp.

DISEÑO DE TARJETA ELECTRONICA PARA PIRANOMETROS

JOHN ROBINSON CONDEZO POMALA

Especialidad de electrónica
I.S.T. Andrés A. Cáceres Dorregaray
johncondezo@hotmail.com

Investigación dirigida por: Ing. Jacinto Arroyo Aliaga
División de Meteorología del Observatorio de Huancayo

RESUMEN

La estación meteorológica del Observatorio de Huancayo tiene muchos instrumentos antiguos de radicación solar que no se encuentran operativos, la razón justifica porque estos mismos cumplieron con el debido ciclo de trabajo y a ahora carecen de los insumos necesarios para su normal funcionamiento creándose la necesidad de convertir estos equipos analógicos a digitales; por ello que nace la inquietud de diseñar todo un sistema compacto para piranómetros y de esta manera impulsar y promover el desarrollo de tecnología propia que permita resolver problemas existentes como el de este caso en el área de meteorología del Instituto Geofísico de Huancayo.

INTRODUCCION

El área de meteorología en observatorio de Huancayo del Instituto Geofísico del Perú viene trabajando desde algunas décadas atrás registrando a diario los diversos fenómenos climatológicos de carácter meteorológico, este trabajo se realiza en la respectiva estación meteorológica con que cuenta dicho observatorio donde se tienen instalado diversos instrumentos de tecnología tanto analógicos y un sistema semi automático digital; las variables que se vienen registrando son diversas de entre las cuales se registra el fenómeno de radiación solar con un piranómetro global que pertenece al sistema semi automático. En el pasado también se registro este fenómeno pero con equipos análogos denominados PIROGRAFOS los mismos que fueron ensamblados en este recinto por el Ing. Jean Lanat; estos instrumentos tuvieron su tiempo de vida y en la actualidad llegaron a ser

obsoletos y es de este punto de donde se ha partido para desarrollar el respectivo proyecto denominado “DISEÑO DE TARJETA ELECTRONICA PARA PIRANOMETROS”. De esta manera se ha logrado rescatar estos equipos ya desechados donde todavía es útil la estructura metálica y el sensor CM-5.

Ahora con este proyecto se ha logrado obtener un piranómetro digital capas de poder trabajar como piranómetro global, directo o difuso; y esta fundamentado en un microcontrolador que tiene como corazón del sistema este microcontrolador es de jerarquía media (PIC 16F873A) y como complemento de la circuitería se tienen etapas de fuente de alimentación simétrica, amplificador operacional de instrumentación simétrica y la tarjeta del microcontrolador donde también lleva un LCD de 2x16 el cual tiene como función

de visualizar los datos del fenómeno de radiación solar finalmente ya procesados en Watts por metro cuadrado (W/m^2) unidad de medida de este fenómeno natural; este equipo también tiene la capacita de poder almacenar los datos obtenidos en una PC mediante el puerto serie RS232 en un software denominado PIRANO 0.1. Este software se ha tenido que diseñar exclusivamente para este trabajo el mismo que cumple con los requerimientos del proyecto. Los datos enviados por el microcontrolador llegan hasta aquí en forma de código ASCII y a partir de ello este software (PIRANO 0.1) se encarga de poder almacenar los datos en una unidad previamente seleccionada del disco duro de la PC en promedios en función a tiempo pudiéndose configurar desde un segundo que es el mínimo de tiempo de muestra de datos por el microcontrolador hasta promedios horarios que

finalmente el usuario configurara de acuerdo a su necesidad; también tiene una función que permite visualizar de manera gráfica en el monitor de la PC el avance progresivo de los datos ya sea esta de manera ascendente o descendente.

METODOLOGIA

Etapas del piranómetro en diagramas de bloques

Este instrumento denominado piranómetro esta dividida en ocho etapas y con respecto a las etapas del adc y el procesador conforman una sola por estar dentro del encapsulado del microcontrolador como se puede apreciar en la figura 1.

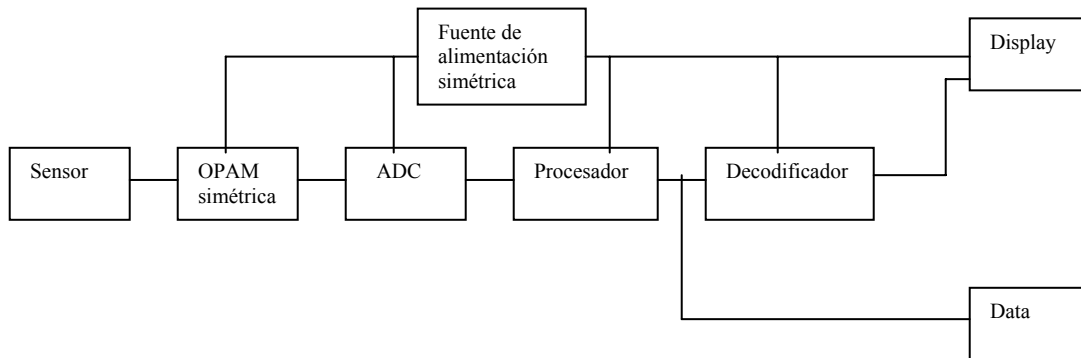


Figura 1. Diagrama de bloques del piranómetro

SENSOR CM-5

El sensor del piranómetro CM-5 consta de catorce uniones termoelectricas de manganina, constatan dispuestas en forma de rectángulo, de aproximadamente 14 x 10 mm Figura 2. Las uniones calientes se alinean a lo largo de la mitad de la superficie receptora, la cual se halla pintada de negro. Las uniones frías están en buen contacto térmico, pero no eléctrico, con la caja de metal grueso del instrumento. La superficie receptora rectangular del instrumento va montada al mismo nivel de la carcasa metálica, que esta cromada por fuera. El sensor está protegido de las condiciones atmosféricas por dos domos de vidrio doble, siendo cada hemisferio de 2 mm de espesor y de diámetros externos de 30 mm domo interno y 50 mm domo externo respectivamente. Las esferas están selladas por una serie de estrías en la parte superior del instrumento.

El instrumento esta provisto de un desecador o deshidratante y un disco de resguardo para

impedir que la radiación afecte las uniones desde abajo.

Características del sensor CM-5:

- Domos de vidrios de 2 mm de espesor;
- Diámetros externos de los domos 30 mm domo interior y 50 mm domo exterior;
- Gama de transmisión de los domos de vidrio - 305 nanómetros (nm) a 2800 nm;
- Sensibilidad de aprox.11.5 micro voltios por metro cuadrado ($\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$);
- Resistencia interna alrededor de 10 ohmios (Ω);
- Mayor exactitud que el 1%;
- Mejor linealidad que el 1% sobre la gama total;
- Coeficiente de temperatura de 0,1% por grado Centígrados;
- El 99% del tiempo de respuesta de alrededor de diez segundos;
- Peso 0.8Kg.

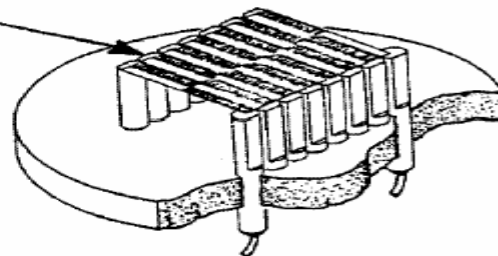
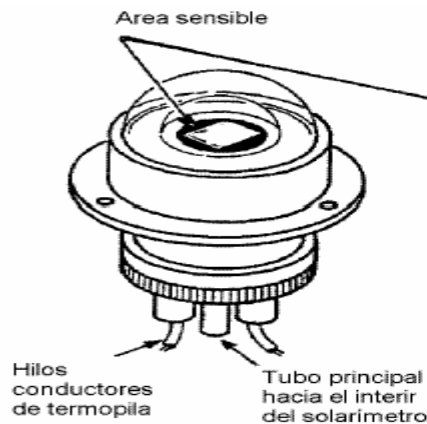


Figura 2. Área sensible del sensor CM-5.

FUENTE DE ALIMENTACION

La fuente de alimentación es simétrica, constituida principalmente por dos circuitos integrados reguladores de tensión.

Inicialmente la tensión nominal del suministro es de 220 voltios (V) corriente alterna (AC), esta tensión es limitada por el transformador reductor TR1, suministrando en sus terminales del devanado secundario una tensión de 12 + 12 V/AC; seguidamente la tensión es dirigida a un circuito de rectificación de onda completa para poder convertir la corriente alterna en corriente directa, esta etapa esta conformada por BR1 Y BR2 cada uno de 4 diodos (1N4001), luego se cuenta con 2 filtros electrolíticos C1 Y C2, y complementariamente a este objetivo de eliminar los rizados de la corriente se tienen 6 capacitores más de

carácter cerámico C3, C4, C5, C6, C7 Y C8. La energía eléctrica es principalmente controlada y estabilizada por los circuitos integrados reguladores de tensión U1, quien se encarga de controlar la tensión positiva (+7.5V/DC); U2 controla la tensión negativa (-7.5V/DC) y U3 controla la tensión fija a (5V/DC). RV1 y RV2 son resistores variables de 5 kilo ohmios cada uno, estos dispositivos permiten variar el nivel de ganancia de cada circuito integrado al que están conectados y de esta manera es posible el control y ajuste ala tensión deseada a obtener de los circuitos reguladores de tensión. Lo descrito anteriormente se puede apreciar en la figura 3.

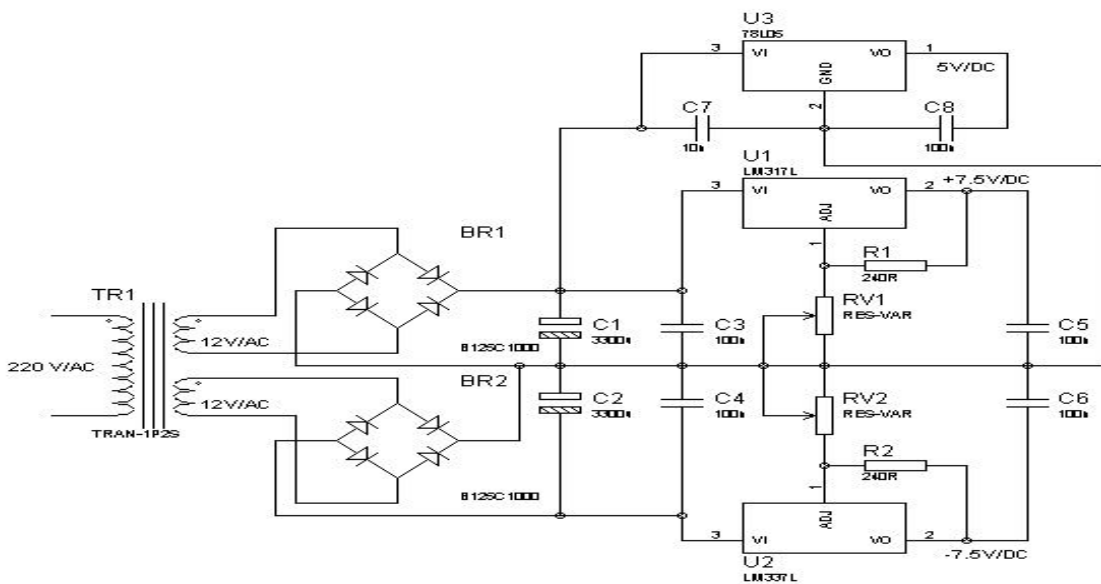


Figura 3. Diagrama esquemático del circuito de la fuente simétrica y fuente de 5 voltios DC.

AMPLIFICADOR OPERACIONAL DE INSTRUMENTACIÓN SIMETRICO.

El amplificador que se ha construido para este proyecto es el que se muestra en la figura 4 y esta fundamentado principalmente en 2 circuitos integrados (LM 353) quienes en su interior contienen 2 amplificadores OPAM, estos circuitos integrados requieren para su funcionamiento de una tensión de alimentación simétrica y es por ello que la fuente antes explicada es de ese carácter (+ - V/DC).

La ganancia que se ha logrado con este circuito es por 100, es decir la señal inicial es amplificada cien veces ejemplo si tenemos 10 mili voltios (mV) en los pines de la entrada del circuito en la salida suministrara 1000 mV o lo que es lo mismo 1 V. y esta demostrada por la siguiente ecuación:

$$V0 = (V1 - V2) \left(1 + \frac{2R2}{R6}\right) \left(\frac{R4}{R3}\right)$$

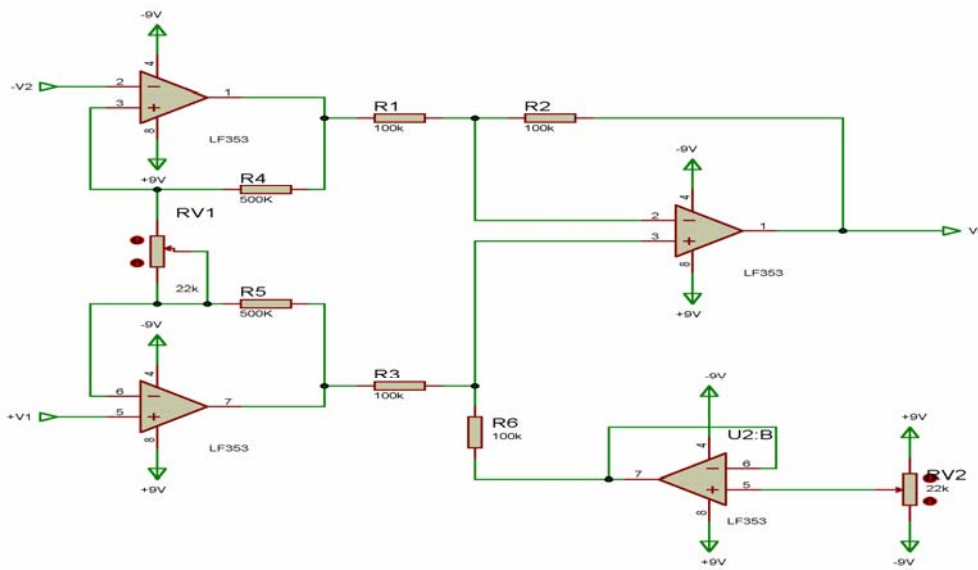


Figura 4. Diagrama esquemático del amplificador operacional de instrumentación.

METODOLOGIA PARA HALLAR LAS VARIABLES QUE PERMITIERON DISEÑAR EL PROGRAMA DEL MICROC.

Los datos que se obtienen ahora del piranómetro están fundamentados en base a un patrón referencial; y como dicho patrón referencial se ha tomado al actual piranómetro de la estación meteorológica del Instituto Geofísico de Huancayo; el mismo que usa un sensor de la marca LI – COR modelo PY 28770. Instalado al sistema semi automático de la marca CAMPBELL.

La lógica que se a manejado en esta prueba consistió en realizar equivalencias de valores entre el potencial que genera el sensor CM- 5 en mili voltios (mV) y el dato final del actual piranómetro de la estación meteorológica en watts por una cdel microcontrolador. A continuación se estación meteorológica en watts por metro cuadrado (W/m^2); es decir se ha realizado una relación entre mV v/s W/m^2 .

Estas pruebas se han realizado en numerosas ocasiones y en distintos horarios como en distintas condiciones meteorológicas de donde se a obtenido

detalla una muestra de datos en la tabla 1. caso que no determina las ecuaciones que mas adelante se detallan ya que estas fueron halladas con mayor proporción de datos:

N°	Sensor CM – 5 (n/V)	Datos del actual piranómetro (w/m^2)
1	0	0
2	0.006	1.2853
3	1.5	120.81
4	2.5	213.04
5	3.7	304.27
6	4.2	347.67
7	5.2	427.39
8	6.2	501.13
9	6.7	541.04
10	7.2	583.82
11	8.2	657.97
12	8.7	699.89
13	9.2	738.3
14	9.7	779.27
15	10.2	819.19
16	10.7	858.72
17	11.2	889.17
18	11.7	932.07
19	12.2	958.07
20	12.7	988.98

Tabla 1. Datos equivalentes entre el potencial del sensor CM - 5 y la potencia del piranómetro de la estación meteorológica de IGP Huancayo.

Así tenemos que:

R = Radiación Solar (W/m²)

V_s= Voltaje del sensor (V)

Ecuación 1 (Hallando la constante equivalente):

$$m = \operatorname{tg} \theta = 93023,26 \approx \frac{4000000}{43}$$

$$R = \frac{4000000}{43} V_s$$

Ecuación 2 (El dato amplificado por 100):

$$Dato = \frac{V_i}{1LSB} = \frac{V_i}{2} = \frac{V_i}{1} = 512V_i = 51200V$$

$$V_s = \frac{Dato}{51200}$$

Hallando la constante K ecuación 2 en ecuación 1:

$$R = \frac{4000000}{43} \times \frac{Dato}{51200} = \frac{625}{344} \times Dato$$

$$K = \frac{625}{344}$$

Haciendo una aproximación para facilitar el calculo en el PIC

$$R \approx \frac{625}{345} \times Dato$$

Sacando el múltiplo de quinta tenemos que radiación solar es igual a:

$$R \approx \frac{125}{69} \times Dato$$

MICROCONTROLADOR PIC 16F783A:

El PIC 16F873A es un poderoso microcontrolador, es un circuito integrado CMOS esta encapsulado en un paquete de 28-pin y es compatible con dispositivos como los PIC16C5X, PIC12CXXX y PIC16C7X. El PIC16F873A cuenta con 256 bytes de EEPROM, auto programación, un ICD, 2 comparadores, 5 canales de 10 bits análogo-a-digital (A/D) conversor, el puerto serial “synchronous” puede ser configurado como 3-wire Serial Peripheral Interface (SPI™) o como 2-wire Inter-Integrated Circuit (I²C™) bus y Universal Asynchronous Receiver Transmitter (USART). Todas estas características hacen del PIC16F873A ideal para aplicaciones de avanzado nivel A/D en la industria. Dichas características se muestra en la tabla 2.

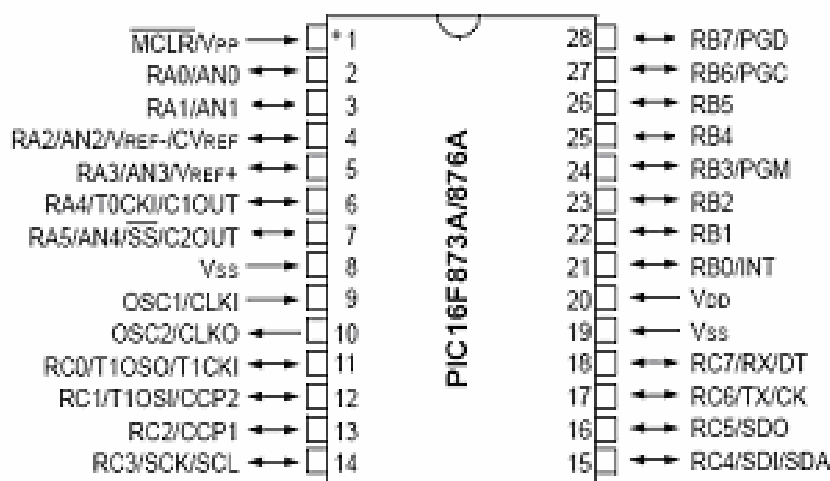


Figura 5.

Figura5. Disposición de los Pines

CARACTERISTICAS	PIC16F873A
Frecuencia Operacional	DC – 20 MHz
Resets	POR, BOR (PWRT, OST)
Memoria Flash programable	7.2K
Memoria Data (bytes)	192
EEPROM Memoria Data (bytes)	128
Interrupciones	14
Puertos I/O	Puertos A, B, C
Cronómetros	3
Capture/Compare/PWM módulos	2
Comunicaciones en serie	MSSP, USART
Comunicaciones en paralelo	-----
10 bit Modulo Análogo-a-Digital	5 canales de entrada
Comparadores Análogos	2
Set de instrucciones	35 instrucciones
Paquetes	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN

Tabla 2. Cuadro de Características del PIC 16F873A

EL CONVERTIDOR ANALÓGICO / DIGITAL

Descripción General del Módulo Conversión Analógico Digital (ADC). Los PIC16F873A poseen un módulo ADC interno que les permite manejar 5 entradas analógicas para los dispositivos de 28 pines y 8 para los otros dispositivos. En la figura 0.6 se muestra un diagrama de bloques del módulo ADC.

El multiplexor.

El ADC es un convertidor de aproximaciones sucesivas de 10 bits, el cual puede realizar la conversión de una de las 8 entradas (o canales) analógicas AN0,...,AN7 multiplexadas por la lógica interna que utiliza como líneas de selección del canal los bits

CHS2:CHS0, en donde se coloca el número en binario del canal a convertir.

Voltajes de Referencia.

Todo convertidor ADC requiere voltajes de referencia que determinan el valor de mínima escala (V_{REF-}) y el de plena escala (V_{REF+}), de manera que la conversión de un

valor de voltaje analógico V_{in} en el rango de V_{REF-} a V_{REF+}

producirá un valor equivalente binario D en el rango de 0 a 2^n , Donde n es la resolución del convertidor ($n = 10$).

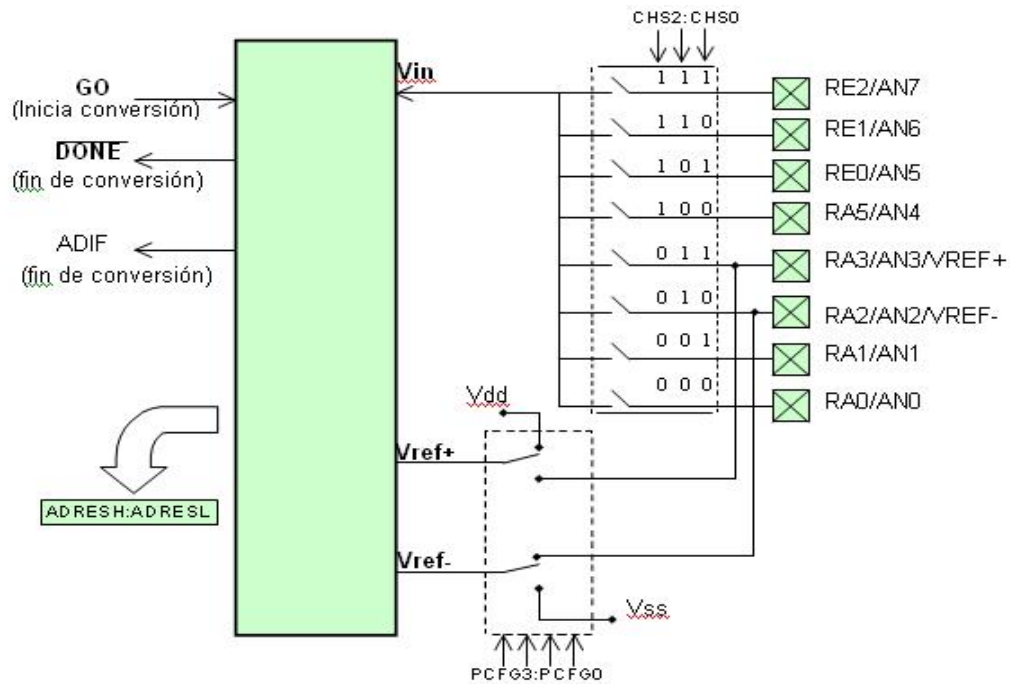


Figura 6. Diagrama de bloques del módulo ADC

Como la relación entre escalas es lineal, una regla de tres nos da la relación entre el voltaje analógico de entrada (V_{in}) y el valor digital (D) obtenido por el ADC

$$\frac{D}{2^n - 1} = \frac{V_{in} - V_{REF-}}{V_{REF+} - V_{REF-}}$$

Con la elección más común: $V_{REF+} = V_{DD} = 5v$, $V_{REF-} = V_{SS} = 0v$, y como $n=10$, obtenemos:

$$D = \frac{1023}{5} V_{in} = 204.6 V_{in}$$

De donde se ve que cuando V_{in} varía en todo su rango, desde 0 hasta 5v, el valor obtenido D varía también en todo su rango, de 0 a 1023. Si a la inversa, obtenemos un valor D y deseamos saber que voltaje representa, basta con despejar:

$$V_{in} = \left(\frac{5}{1023}\right)D = (0.004887585533)D$$

Observación:

Como puede verse, la conversión del dato D al voltaje correspondiente requiere una multiplicación por un número fraccionario, para lo cual el PIC no posee instrucciones, si deseamos realizar esta multiplicación en el PIC debemos hacer un programa que multiplique números de punto fijo o de punto flotante.

El proceso de Conversión Analógico/Digital.

En el siguiente diagrama de tiempo se muestran los eventos que tienen lugar durante el proceso de una conversión analógico / digital.

Figura 7.

Interfase de entrada.

La interfase de entrada se esta realizando a través del puerto A (RAO/ANO) la señal que se tiene hasta este punto es una muestra de un potencial eléctrico proveniente del sensor que para este punto es previamente amplificada por el amplificador operacional, que oscila en un rango de 1 a 3 Voltios y es lo que el microcontrolador procesa.

Interfase de salidas.

Una vez procesada la señal por el microcontrolador esta entrega los datos finales a través los puertos B.

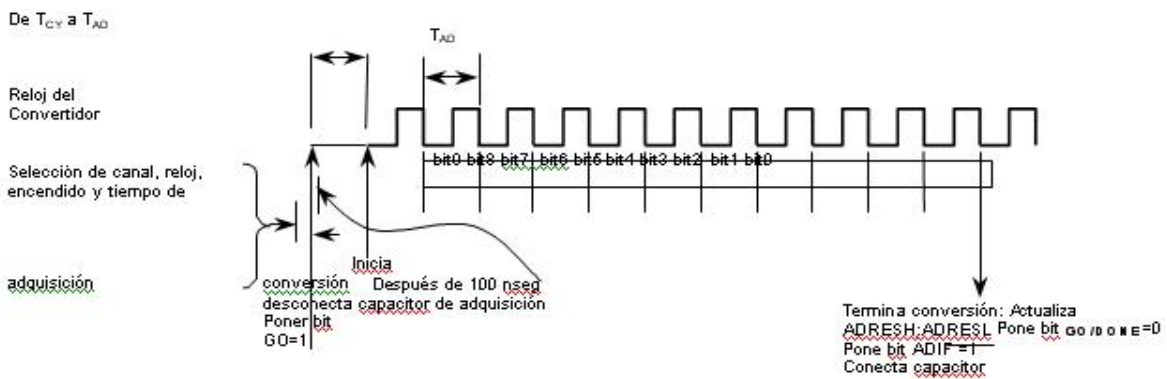


Figura 7. Eventos durante el proceso de conversión

y C. Para poder visualizar a través del display LCD se toman los datos de puerto B (RB0 a RB7) y para poder almacenar los mismos datos finales en un computador a través del puerto serie RS232 se obtiene del puerto C (RC6).

EL DISPLAY LCD DE 2X16 CON CONTROLADOR HD44780A

Se ha determinado utilizar este modelo de display por las características que presenta y cubren nuestras necesidades con respecto al proyecto; como a continuación se detalla: acceso vía puerto serie, el módulo tiene retro iluminación y es capaz de mostrar hasta dos líneas de 16 caracteres, se puede conectar directamente a un puerto serie de tipo RS232 o bien conectarlo directamente a un puerto serie de un microcontrolador, se alimenta a 5V y 15 mA para la parte lógica y de 5 a 14V y 100 mA para la iluminación del display y la velocidad de trabajo es 9600 o 2400 baudios.

PROGRAMA

DELMICROCONTROLADOR PIC.

El programa que se ha tenido que elaborar para este proyecto esta en función a los siguientes parámetros:

-Programa que lee una señal analógica de 1 a 3 V proveniente del sensor previamente amplificada por el amplificador operacional.

-El operacional desplaza 1 voltio para darle mejor inmunidad al ruido y el ADC. convierte la señal en un número binario de 10 bits (0 a 1023).

-Luego calcula el valor de la radiación solar según la ecuación.

-Rad (W/m^2) = $(4000000/43) \times V$, donde V es la lectura del sensor en voltios

-Esta ecuación trasformada para aplicarla al número binario, resultado de la conversión es: Rad = $(625 \times \text{Dato}) / 344$ y haciendo una aproximación para facilitar los cálculos : = Rad = $(625 \times \text{Dato}) / 345 = (125 \times \text{Dato}) / 69$ que es lo que finalmente el microcontrolador procesa. Ver figura 8.

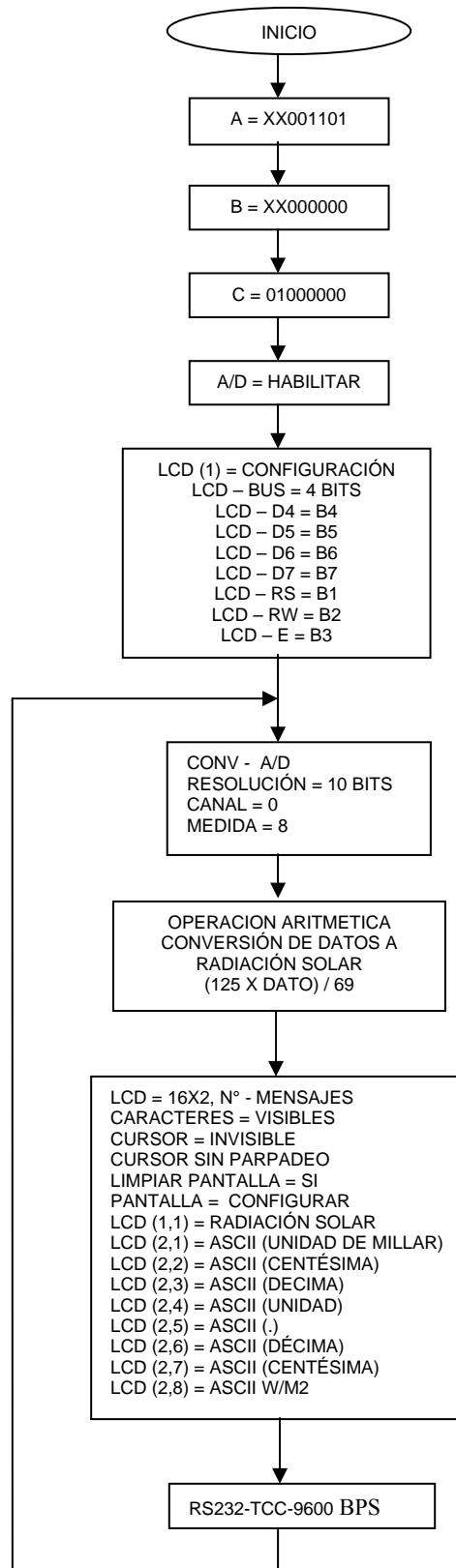


Figura 8. Diagrama de flujo del programa del microcontrolador.

CUADROS DE RESPUESTAS DEL PIRANOMETRO EN COMPARACIÓN AL PATRON REFERENCIAL Y MARGEN DE ERRORES PORCENTUAL.

Los siguientes cuadros que se presentan son resultados de pruebas efectuadas en simultaneo en las mismas condiciones meteorológicas entre el piranómetro del

proyecto y el piranómetro de la estación meteorológica del IGP Huancayo, del cual ya antes nos referimos que nos sirvió como patrón referencial.

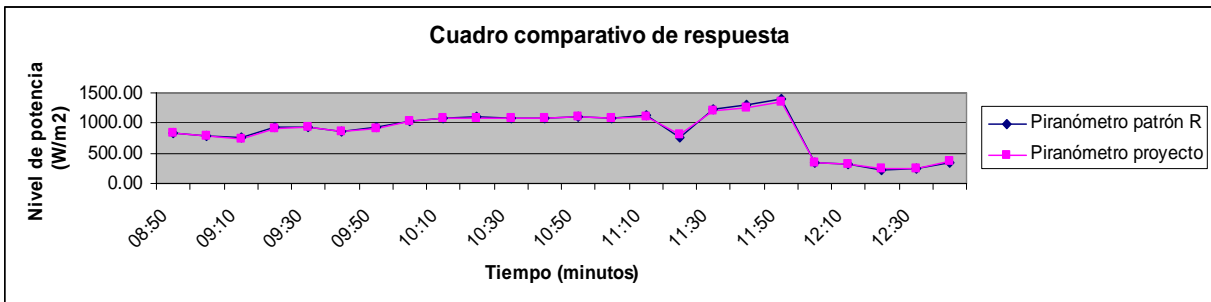
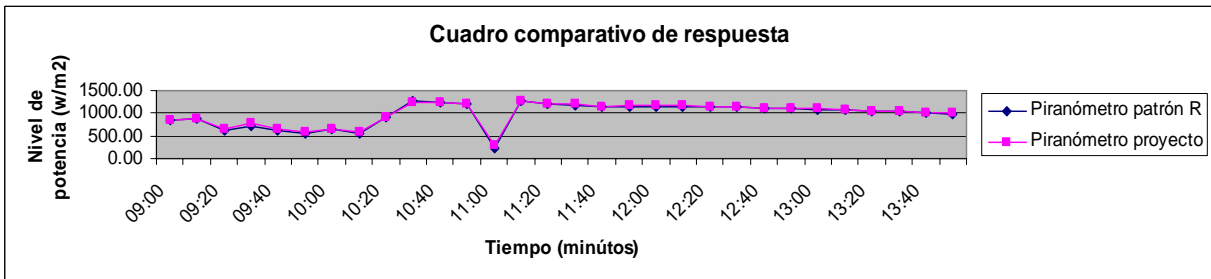
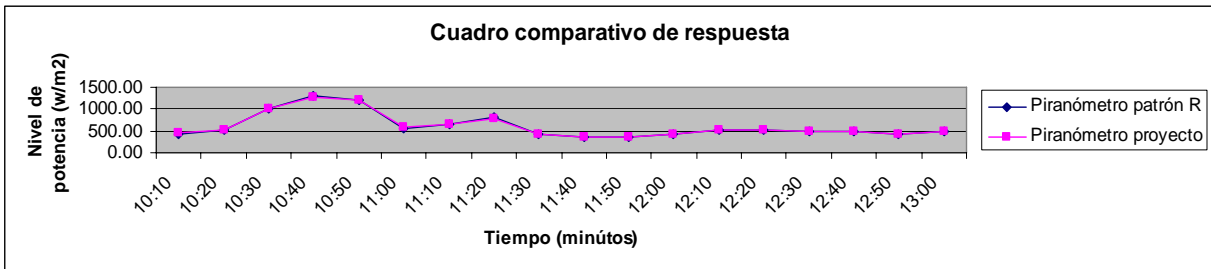


Figura 9. Cuadros comparativos de respuesta entre el piranómetro patrón y el proyecto. El margen de error porcentual del proyecto es del 0.3% con respecto al piranómetro patrón según los cuadros comparativos.

COMUNICACIÓN SERIAL

Antes de seguir, nos sería útil saber cómo funciona una comunicación serie, en este caso la que se usa en el puerto serie de nuestro PC. Serie nos indica uno detrás de otro, y en efecto, cuando transmitimos algo en serie, lo hacemos bit a bit. En el caso del PIC, si queremos transmitir algo, hemos de usar uno de los pines configurado como salida (RC6/TX/CK). Para transmitir un '1' lógico, ponemos el pin en nivel alto (+5V por ejemplo) y si queremos enviar un '0', ponemos el pin en nivel bajo (cerca del nivel GND). Así, variando en el tiempo el estado del pin, podemos enviar todos los datos que queramos.

La velocidad de transferencia en nuestro caso es de 9600 bits por segundo (bps), en primer lugar, el estado del pin de envío mientras no se está enviando es fijo (debe ser '1'). Así, cuando se empieza la transmisión, enviamos un bit de inicio

(que es un '0'). Después, se acuerda entre emisor y receptor cuantos bits van a conformar los datos, siendo nuestro caso de 8 bits. El envío se hace respetando los tiempos de cada bit. Una vez enviados los datos, el siguiente bit es opcional y se usa como mecanismo para detectar errores: la paridad. Consiste en un bit que indica si el número de unos o ceros en los datos es par o impar. Aquí no lo usaremos.

Para terminar, enviamos uno o dos bits de parada, de forma que el pin de transmisión se quede en el nivel lógico '1'. Así, se termina la transmisión de nuestro datos.

ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS.

Los datos finales ya procesadas por el microcontrolador (W/m²) son almacenadas en el disco duro de un computador a través del puerto serie RS232 mediante el programa denominado PIRANO 0.1.

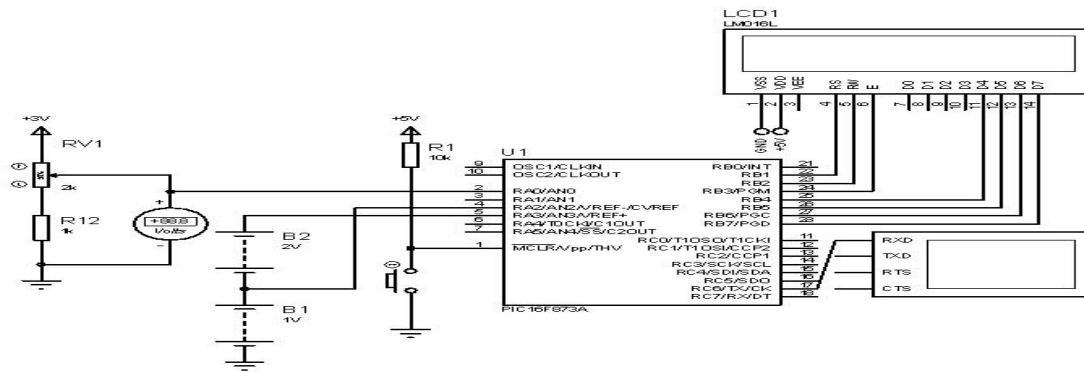


Figura 10. Circuito de conexión del PIC con los periféricos.

CONCLUSION

Con este humilde proyecto queda demostrado que es posible la construcción de instrumentos de mediciones garantizados y confiables que cumplan con parámetros estandarizados internacionalmente respecto al fenómeno a medir y a su vez se busca desarrollar tecnología propia que baya dar soluciones a casos similares con elementos disponibles en nuestro mercado y a un bajo costo.

AGRADECIMIENTO.

Deseo que las oportunidades de la vida, las mismas que cada uno de nosotros podamos propiciar, generen crecimiento tanto en lo personal como en lo profesional. De esta manera quiero reconocer y quedo eternamenteagradecido para quienes tuvieron la amabilidad, generosidad y quizás hasta un tanto de

paciencia para conmigo y personalmente estoy convencido que esta oportunidad me permitió desarrollarme profesional y socialmente.

BIBLIOGRAFÍA.

Angulo, José & Angulo Ignacio; Microcontroladores PIC.

Boylestad, R., y Nashelsky, L.,: ELECTRONICA Teoria de Circuitos Prentice – Hall Hispanoamericana, S.A.

Pino, R.(2006): “Metodología de la Inestigación”

PAGINA WEB

<http://www.microchip.com>

-Rei Project: Mod Chip: Algunos proyectos. <http://chip.aeug.org>

-NewFound Electronics: Programador de
Pics. <http://www.new-elect.com>

PicProg Home Page: Programador de
Pics. <http://virtuaweb.com/picprog>

-FlashPIC Developer for PIC16F84 and
PIC16F87x Series PIC Microcontrollers

-<http://www.cybermedix.co.nz/flashpic>

-Enciclopedia virtual
[es.wikipedia.org/wiki/radiaci3n solar](http://es.wikipedia.org/wiki/radiaci3n_solar).

[http://proydoc.colpos.mx/crespo/est/estmet
b.htm](http://proydoc.colpos.mx/crespo/est/estmet
b.htm)

-www.vaisala.com

-www.geonica.com

-www.windpower.org

-www.ace.val.es

CÁLCULO DE LAS COORDENADAS HELIOGRÁFICAS DE LAS MANCHAS SOLARES OBSERVADAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA DE ICA Y MODELO DE NUEVAS PLANTILLAS PARA EL FORMATO DEL REGISTRO DE MANCHAS SOLARES

MARIA VICTORIA GUTIERREZ ESCATE

Universidad Nacional "San Luis Gonzaga de Ica"

Facultad de Ciencias

Escuela Académica Profesional de Física

Airamavi18@Yahoo.Es

Investigación dirigida por : MSc. Hugo Trigo Avilés
Dr. José Ishitsuka Iba
Dr. Mutsumi Ishitsuka Komaki
Dirección de Investigación en Astronomía
Observatorio de Ancon

RESUMEN

Al contar con los registros de las manchas solares desde el 2003 hasta la fecha, registros hechos por los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica (UNICA), para el análisis de la valiosa información de los registros de las manchas solares. En el presente trabajo se propone un modelo de base de datos.

Para determinar la ubicación de cada una de las manchas solares calculamos las coordenadas heliográficas de cada mancha solar y de este modo poder evaluar la evolución de las manchas solares y así medir su rotación a nivel de la fotosfera. Se tomaron en cuenta los datos del año 2003. Consideramos como ejemplo el análisis de la evolución progresiva durante 10 días de la mancha ICA037.

INTRODUCCIÓN

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra.

La energía luminosa del sol es fundamental en las características climáticas de la Tierra, la energía irradiada por el Sol es aprovechada por las plantas que constituyen la base de la cadena trófica, siendo su principal fuente de energía el Sol. Podemos afirmar que el inicio las observaciones astronómicas del Sol por medio de un telescopio utilizando el método de proyección es desde la época de Galileo Galilei. Fue Galileo quien descubrió en 1613 que el Sol rota (Sakurai, 1980), mediante la observación de las manchas solares.

En la actualidad la actividad solar es monitoreada constantemente por observatorios astronómicos terrestres y telescopios en el espacio. Entre los objetivos de estas observaciones se encuentra no solo

alcanzar una mayor comprensión de la actividad solar sino también la predicción de sucesos altamente energéticos que perturban fuertemente la magnetosfera y la ionosfera; que potencialmente son peligrosas para las actividades en el espacio. También pueden ocasionar perturbaciones en las comunicaciones y redes de energía eléctrica.

El propósito de este trabajo es desarrollar una metodología para poder determinar las coordenadas heliográficas a partir de las efemérides del Sol en el momento de la observación y a las vez proponer un modelo para una base de datos planteando un nuevo formato para el registro de las manchas solares.

Este trabajo nace a raíz de la existencia del convenio entre el Instituto Geofísico Del Perú y la UNICA desde el 21 de abril 2001 hasta

nuestros días. Se utiliza el telescopio marca Takahashi modelo FCT-150, el registro de manchas solares son hechas por el método de proyección y los registros son enviados mensualmente al Observatorio de Ancón del IGP.

OBJETIVO

Proponer un posible modelo de base de datos para los registros de las manchas solares realizadas en la ciudad de Ica durante el periodo 2003.

MARCO TEÓRICO

Como toda estrella, el Sol posee una forma esférica, y a causa de su lento movimiento de rotación, tiene también un leve achatamiento

Reconocer el tipo de mancha, según la clasificación de Zurich, para su análisis y seguimiento desde su nacimiento hasta su desaparición. Cálculo de las coordenadas heliográficas del grupo de manchas solares.

La creación de un nuevo formato incorporando parámetros como oscilación del disco solar (fotosfera).

polar. Su composición química está constituido aproximadamente por 73% de Hidrogeno y 25% de Helio. y 2% de los demás elementos de la tabla periódica (García de la Rosa, 1989). En la tabla 1 se muestran las propiedades físicas del Sol

PROPIEDADES DEL SOL
EADA Edad: $4,5 \times 10^9$ años.
Masa: $M = 1,99 \times 10^{30}$ kg
Radio: $R = 696000$ km ($= 6,96 \times 10^8$ m).
Densidad media: $1,4 \times 10^3$ kg. m^{-3} ($1,4$ g cm^{-3}).
Distancia media desde la Tierra: 1UA = $1,5 \times 10^8$ Mm ($1,5 \times 10^{11}$ m)
Velocidad de escape en la superficie: 618 km/s.
Radiación Emitida(Luminosidad): $L = 3,86 \times 10^{26}$ W ($3,86 \times 10^{33}$ erg s^{-1}).
Período de rotación sideral ecuatorial: 26 días.
Rapidez de pérdida de masa: 10^9 kg s^{-1} .
Temperatura efectiva: 5785 K.

Tabla 1. Propiedades fundamentales del Sol (Priest, 1982)

Como cualquier cuerpo masivo, toda la materia que lo constituye es atraída hacia el centro del objeto por su propia fuerza gravitatoria. Sin embargo, se encuentra en equilibrio ya que el

gradiente de presión en el interior solar compensa la atracción gravitatoria produciéndose un “equilibrio hidrostático”. El Sol presenta una estructura de capas

esféricas; se puede proponer un modelo físico que establece diferentes propiedades para cada una de las capas. Este modelo de estructura solar explica satisfactoriamente la mayoría de los fenómenos observados. La estructura del Sol está dado por: Núcleo, Zona Radiativa, Zona Convectiva, Fotosfera Cromosfera, Corona y Viento solar (Figura 1).

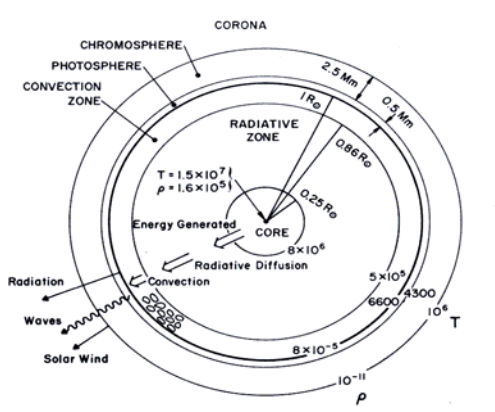


Figura 1. Vista global de la estructura del Sol indicando el tamaño y la temperatura en Kelvin (K) y densidades (kg./m³). La cromosfera y la fotosfera no están a escala (Priest, 1982).

La estructura del interior del Sol esta dividido en tres regiones, el núcleo, la zona intermedia (o radiativa) y la zona convectiva donde toman lugar diferentes procesos físicos. El núcleo contiene la mitad de la masa solar, 1/50 de su volumen, sin embargo genera el 99% de la energía total. Esta energía es transferida hacia el exterior lentamente a través de la zona intermedia por medio de una difusión radiativa, en el sentido que los fotones (rayos gamma) son absorbidos y emitidos muchas veces en direcciones aleatorias. El interior de la profundidad óptica tangencial^(*) en la longitud de onda de 5000Å es igual a la unidad, es decir $\tau_{5000} = 1$) hasta el mínimo de

Sol es tan opaco que un fotón tardará 10⁵ años en viajar del centro del Sol hasta la superficie, si la trayectoria fuese una línea recta tardaría dos segundos. La tardanza en llegar a la superficie del Sol, se debe a que existen tantas colisiones (absorciones y re-emisiones) en el trayecto de modo que estas hacen disminuir la energía de los fotones, desde los rayos gamma de alta energía en el núcleo, hasta luz visible en la superficie solar (García de la Rosa, 1989).

Si ponemos en un recipiente agua a hervir y cuando el recipiente esta lo suficientemente caliente, se formaran burbujas y se exhibe un movimiento de convección, este mismo proceso se da lugar en la zona convectiva del Sol y exactamente por la misma razón; el gradiente de temperatura es muy alto para que el material permanezca en equilibrio estático, entonces la inestabilidad se torna convectiva. Debido a que en un proceso convectivo una burbuja de plasma transporta calor, conforme sube la burbuja hacia la superficie del Sol, esta va perdiendo la energía acumulada en su trayecto (Priest, 1982).

La Fotosfera es una capa con una concentración de intensos tubos magnéticos en los límites de los supergránulos. Esta capa visible es extremadamente delgada y fue bautizada del Griego que significa "luz". Puede definirse como la zona con un espesor de alrededor de 550 km desde la base de la fotosfera (que es la región donde la temperatura y de donde sale la cantidad más grande de luz. En observaciones de alta resolución, esta capa aparece cubierta de

irregulares gránulos y en continuo movimiento, esta estructura granular cubre todo el Sol al nivel de la fotosfera, en cualquier momento están presentes alrededor de un millón de gránulos. Los gránulos representan la parte superior de las celdas convectivas que están vibrando en la parte superior de la zona convectiva. El centro de un granulo parece ser mas brillante que sus bordes debido a que esta compuesto de plasma (Athay, 1976).

MANCHA SOLAR

Las Manchas Solares son regiones oscuras que se observan en la fotosfera. Son el resultado de un intenso campo magnético; cuando tales campos llegan a la superficie solar, frenan el movimiento del material propiciando un descenso de la temperatura, tal diferencia de temperatura es suficiente para ver por contraste esta región como una mancha oscura. La región central oscura es conocida como núcleo (umbra) rodeada por la penumbra mas clara, cuyo diámetro es en promedio 2.5 veces la umbra. El intenso campo magnético presente debajo de una mancha solar, bloquea el flujo normal de calor de modo que se produce enfriamiento y por lo tanto, será más oscura que sus alrededores (García de la Rosa, 1989).

LA EVOLUCIÓN DE UNA MANCHA SOLAR

Una mancha solar comienza su vida como un pequeño poro de 1500 a 3000km de diámetro, no se diferencia de las zonas oscuras que

aparecen entre los gránulos excepto por su larga vida y crecen hasta alcanzar el tamaño de 40000Km. En su gran mayoría desaparecen en algunas horas o unas están presentes hasta un día.

Cuando la mancha solar es lo suficientemente grande, a los pocos días las manchas tienen un aspecto característico: una región central oscura, umbra; con temperaturas alrededor de 2500K y con brillo del 20% de la fotosfera rodeada de una zona grisácea y con aspecto filamentosos; la penumbra con temperaturas alrededor de 3300 K y con un brillo del 75% de la fotosfera. Los filamentos que componen la penumbra tienen aspectos claros y oscuros y presentan una dirección radial (Kiepenheuer, 1953).

ANÁLISIS DESARROLLADO

Se consideraron los datos tomados desde octubre del 2003, para lo que se utilizó una hoja de cálculo. En un inicio es necesario realizar una revisión minuciosa de los registros para luego asignarles un nombre a cada mancha solar, ver Tabla 1.

1. En la primera columna colocamos el nombre de la mancha solar, así se podrá observar la evolución de la mancha solar en forma rápida, se podrá conocer el tiempo que estuvo presente la mancha viendo la columna 2 y pudiéndose verificar la clasificación de Zurich en la columna 6.

2. En la segunda columna se introduce los datos FECHA HORA: la fecha esta determinada como día, mes y año. La hora se

da en horas minutos y segundos y en tiempo universal.

3. Las 4 siguientes columnas están definidas como visibilidad, numero de manchas en un grupo, numero de WOLF y clasificación de ZURICH, respectivamente.

4. En las siguientes 5 columnas, los datos están designados de la siguiente manera: P (ángulo que existe entre el eje de rotación del Sol con el eje de rotación de la tierra), B_0 (latitud geográfica al centro del disco solar), L_0 (longitud geográfica del centro del disco solar) y el tamaño aparente del Sol (los valores se dan en minutos y segundos).

5. En las siguientes 2 columnas se introducen los valores de X y Y, datos que se obtienen de ser medidos directamente del formato del disco.

6. En las columnas 14 y 15 se calculan las coordenadas paralelas y perpendiculares a la rotación solar.

7. La columna 16 es el tamaño de la imagen proyectada.

8. Las columnas 17 y 18 el valor de los ángulos heliocéntricos.

9. Las columnas 19 y 20 son la latitud y longitud heliográfica

10. La columna 21 son las iniciales de los nombre de los observadores.

El software usado es MICA Ver 2.1 (Multiyear Interactive Computer Almanac). Desarrollado por el Observatorio Naval de los Estados Unidos.

CALCULO DE LAS COORDENADAS

Para calcular las coordenadas solares debemos de partir de la información almacenada en los registros de manchas solares, cada registro

contiene una imagen del Sol dibujada por el observador.

La imagen proyectada corresponde a un objeto (el Sol) que se encuentra aproximadamente a 150 millones de kilómetros de distancia y un tamaño de 31 minutos de arco. Debemos de saber que parte de la esfera solar se esta proyectando por medio del telescopio, sobre una hoja de papel donde se dibuja meticulosamente la posición de las manchas solares.

Primero es necesario conocer las efemérides del Sol, que indica su posición con respecto a la tierra. En este caso existen 4 números que se deben utilizar necesariamente, uno se refiere al tamaño angular del disco solar, y tres siguientes que están relacionadas con la orientación del Sol respecto a la Tierra, estos son: P, B_0 y L_0 .

-P.- Es el ángulo que existe entre los ejes de rotación de la Tierra y del Sol, que varía entre $+26,4^\circ$ y $-26,4^\circ$.

-Bo.- Es el ángulo que nos muestra la inclinación del eje de rotación del Sol con respecto a la eclíptica, y corresponde exactamente a la latitud solar en el centro de la imagen obtenida, este ángulo varía entre $+7,2^\circ$ y $-7,2^\circ$. **-Lo.-** Es el valor de la longitud heliocéntrica en el centro del disco solar, este valor varía entre 0 y 360 grados, cada vuelta se conoce como una rotación de Carrington

Se registra la posición de las manchas solares en un sistema de coordenadas cartesiano X y Y, donde el eje X corresponde al este y oeste geográfico, el eje Y es la línea norte-sur, usualmente en milímetros.

Para el llenado de datos hay que tener en cuenta un aspecto muy importante como lo es el estilo de cada observador esto quiere decir las consideraciones que cada uno toma para orientar la dirección Este-Oeste y Norte-Sur.

El origen del sistema de coordenadas es el centro del disco; el eje X es positivo hacia el este y el eje Y es positivo hacia el norte. Las distancias medidas se transforman en ángulos heliocéntricos (Druffet, 1985).

RESULTADOS

tabla 2.

El resultado más importante se sintetiza en la

MANCHA	FECHA	Zürich	Latitud	Longitud
ICA045	17/12/2003	B	-6,628	307,602
ICA045	23/12/2003	D	-16,768	292,228
ICA045	24/12/2003	E	-13,454	268,492
ICA045	26/12/2003	G	-12,411	217,421
ICA045	31/12/2003	J	-8,272	213,531

Tabla 2. Nos muestra la evolución de la mancha solar ICA45 que nos muestra la evolución en forma y en posición desde 17 al 31 de diciembre de 2003.

En esta tabla se muestra la evolución ICA45 donde se observa la evolución durante los días 17 al 31 de Diciembre de 2003.

La primera columna identifica la mancha solar, la segunda indica la fecha, la tercera el tipo de mancha solar según la clasificación de Zürich, la dos ultimas corresponden a su latitud heliográfica y longitud en términos de

la rotación solar. Observando los valores de las columnas 4 y 5, encontramos que existe discrepancias en la determinación de la latitud heliográfica esto puede deberse a que se tomaron diferentes centros de masa de la región activa, al determinar las coordenadas de la mancha solar.

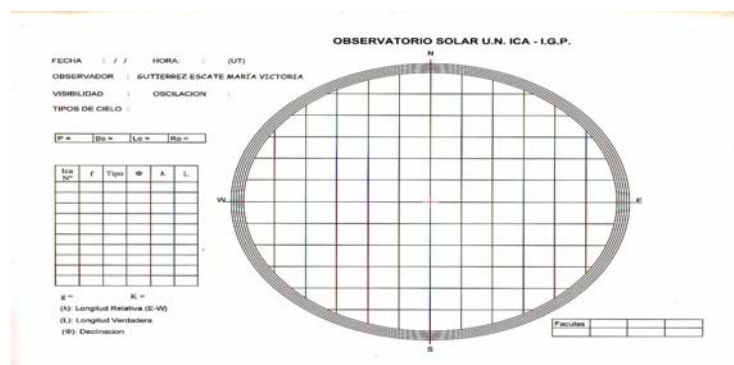


Figura 2. Propuesta de un nuevo formato para registrar las manchas solares.

La Figura 2 nos muestra el nuevo formato para registrar las manchas solares, este formato puede ir acompañada con el formato original y para la cual se tendrá

que utilizar todos los días para una mancha especifica reconocida por el grupo observador como la historia clínica de la mancha solar



Figura 3. Propuesta de un nuevo formato para registrar las manchas solares

En la Figura 3 se muestra la vista de la plantilla con una cuadrícula milimetrada transparente para calcular el área aproximada de las manchas solares.

Una plantilla con grillas más precisas permitirán hacer un trazo más exacto de la evolución de las regiones activas y también permitirá conocer el área de dicho evento.

CONCLUSIONES

Mediante los formatos originales de registros de manchas solares encontrados en el Observatorio de Ancón se determina y reconoce las regiones activas a partir de los formatos proporcionados por los observadores de la UNICA, se llega a ver la evolución de la mancha solar en el disco solar. La determinación de las coordenadas de las regiones activas bajo un criterio, permitirá un mejor registro estandarizado de los fenómenos a observado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo tiene la suma de muchos esfuerzos que hasta ahora se pueden mostrar ya en unas tablas pruebas que aun se están trabajando. Es así que agradezco a todos los miembros del grupo “MUTSUNICA” quienes les quiero hacer un reconocimiento muy especial por sus aportes que nos proporcionan, esto hace que se pueda hoy en día hacer este trabajo; también se suma en los esfuerzos del quien estuvo desde el inicio en este gran proyecto el Doctor

Mutsumi Ishitsuka Komaki que dio inicio a este trabajo conjuntamente con el Magister Hugo Trigoso Avilés. Que muestra el inicio del gran proyecto en la Universidad Nacional de Ica. Un agradecimiento especial a mi madre quien con sus consejos me ayudan en mi vida profesional.

BIBLIOGRAFIA:

Sakurai K., (1980): "The Solar Activity in the Time of Galileo," *Journal for the History of Astronomy*, 11, Páginas 164-173.

García de la Rosa, I., (1989) "Apuntes de Física solar", Instituto Astrofísico de Canarias, España. Página 26-30, 85-87.

Priest, E., (1982): "Solar Magneto Hydrodynamics". D. Reidel Publishing Company. página 4-5, 16-17.

Athay R., (1976)"The Solar Chromosphere and Corona Quiet Sun", D. Reidel Publishing Company, Capítulo 1.

Kiepenheuer K., (1953): "Solar Activity", The University of Chicago Press, Páginas 322-360.

Duffett P., (1985): "Practical Astronomy With a Calculator", Cambridge University Press, Página 70.

SIMULACION NUMERICA DEL TSUNAMI DEL CALLAO DE 1746

CÉSAR JIMENEZ y ERICK ORTEGA

Dirección de Hidrografía y Navegación, División de Geofísica
Email: cesarsud86@hotmail.com, e_ortega@speedy.com.pe

RESUMEN

El 28 de octubre de 1746 a las 10:30 pm. la ciudad de Lima y el Callao fueron remecidas por un fuerte terremoto de magnitud 8.6 Mw e intensidad X en la escala de Mercalli, el epicentro se ubicó en el mar frente al Callao. El tsunami generado destruyó la ciudad del Callao y produjo la muerte de 5,000 personas, quedando sólo 200 sobrevivientes. Con la ayuda de modelos físico matemáticos y el uso de la computadora podemos realizar la simulación numérica del tsunami y obtener los parámetros tales como tiempos de arribo y "run-up" o máxima altura de inundación para la elaboración de un mapa de inundación, el cual será de utilidad para efectos de mitigación del desastre por parte de las autoridades correspondientes.

Palabras clave: tsunami, simulación, tiempo de arribo, run-up.

INTRODUCCION

Un tsunami es un conjunto de ondas de agua de gran longitud (con períodos en el rango de 5 a 60 minutos o más), generadas por mecanismos tales como erupciones volcánicas submarinas, deslizamientos de tierra submarinos, caída de rocas a bahías o al océano y desplazamientos tectónicos asociados con terremotos. Un terremoto generador de tsunamis usualmente está asociado a zonas de subducción. Dado que muchas de estas zonas se encuentran bordeando la cuenca del Pacífico, la gran mayoría de los tsunamis ocurren en el Océano Pacífico.

Los tsunamis se clasifican, en el lugar de arribo a la costa, según la distancia (o tiempo de viaje) de su lugar de origen, en:

a) Tsunamis locales

Si el lugar de arribo en la costa está muy cercano o dentro de la zona de generación (delimitada por el área de dislocación del fondo marino) del tsunami, o a menos de una hora de tiempo de viaje desde su origen.

B) Tsunamis lejanos

Si el lugar de arribo está a más de 1000 Km. de distancia de la zona de generación o en costas extremo-opuestas a través del Océano Pacífico y a aproximadamente medio día o más de tiempo de viaje del tsunami desde esa zona.

Según las crónicas, en 1746 el Callao fue destruido por un tsunami local que generó varias olas (con una duración total de más de 6 horas), una de las cuales alcanzó más de 10 metros de altura, con un run-up de 24 metros y una distancia de inundación de hasta 4 Km. Hubo más de 5,000 muertos, con tan solo 200 sobrevivientes; probablemente sea el maremoto más destructivo registrado a la fecha en el Perú. Diecinueve barcos, incluidos los de guerra, fueron destruidos y uno de ellos fue varado a 1.5 Km. tierra adentro. También hubo destrucción en los puertos de Chancay y Huacho (Ortega *et al.*, 2008). El periodo de recurrencia de este tipo de evento para la región del Perú y norte de Chile es de 100 años (Kulikov *et al.*, 2005). Los parámetros

hipocentrales deducidos (*Carpio y Tavera, 2002*) fueron los siguientes:

Hora local = 28 Oct 1746 22h 30m
 Latitud = -12.0
 Longitud = -77.2
 Profundidad = 30 Km.
 Magnitud = 8.6 Mw
 Intensidad = X en Lima, Callao
 Localización: 9 Km. al Nor Oeste del Callao.

AREA DE ESTUDIO

La Provincia Constitucional del Callao, se encuentra ubicada en la costa central del Perú, al oeste de Lima y limitando con el litoral costero, entre los valles de los ríos Rímac y Chillón, entre los 11.8 y 12.1 grados de latitud Sur. Su capital es la ciudad del Callao. Territorialmente abarca una extensión de 147,850 km², en la actualidad cuenta con una población de 830,730 habitantes. La provincia Constitucional del Callao, concentra aproximadamente el 80% de las industrias de Lima. Así mismo el puerto y el aeropuerto del Callao, son receptores igualmente de aproximadamente 85% de pasajeros y carga, tanto de ingreso como de salida. Políticamente está administrado por el Gobierno Regional del Callao, que posee un presupuesto propio y autónomo del Gobierno Central.

Para la modelado de la zona de inundación por maremoto de la Región Callao, se definió un área de estudio comprendida entre las siguientes coordenadas geográficas: 11,91° a 12,08° de latitud sur y entre 77,25° a 77,06° de longitud oeste (ver *Figura 3*).

CALCULO DE LOS PARAMETROS

FOCALES

A partir de las relaciones empíricas de *Papazachos (2004)*, entre la magnitud de momento sísmico M_w y los parámetros focales: longitud L , ancho W , y dislocación U de la falla para zonas de subducción:

$$\log(L) = 0.55M - 2.19$$

$$\log(W) = 0.31M - 0.63$$

(1)

$$\log(U) = 0.64M - 2.78$$

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Longitud de ruptura: $L = 347$ Km.

Ancho de ruptura: $W = 109$ Km.

Dislocación de la falla: $U = 5.3$ m

Se asume que el área de ruptura tiene una forma elíptica con el eje mayor orientado en la dirección de la línea de costa (ver *Figura 1*). Para esta superficie de ruptura de geometría elíptica de igual área S y parámetros a y b proporcionales a W y L , tenemos los siguientes parámetros:

Semieje menor: $a = 1.11 \frac{W}{\sqrt{\pi}}$

$$a = 68 \text{ Km.}$$

Semieje mayor: $b = 0.90 \frac{L}{\sqrt{\pi}}$

$$b = 176 \text{ Km.}$$

El momento sísmico M_0 se define como: $M_0 = \mu LWU = 9 \cdot 10^{21}$ Nm. donde $\mu = 4.5 \cdot 10^{10}$ N/m² es el módulo de rigidez del medio. *Talandier (1993)*, proporciona una relación entre el

momento sísmico M_0 y el potencial destructivo de un maremoto. Por regla general, en los centros internacionales de alerta de tsunamis del Pacífico el umbral de alerta por tsunami se establece en 10^{20} Nm. Todos aquellos terremotos con momento sísmico igual o mayor son potencialmente tsunamigénicos. El valor del momento sísmico M_0 indica que el terremoto del Callao generó un maremoto destructivo.

Rango de valores	Tipo de tsunami
$M_0 < 10^{20}$ N.m	No se genera tsunami
$10^{20} < M_0 < 10^{21}$ N.m	Probable tsunami pequeño y local
$10^{21} < M_0 < 5 \cdot 10^{21}$ N.m	Tsunami pequeño
$5 \cdot 10^{21} < M_0 < 2 \cdot 10^{22}$ N.m	Potencialmente destructivo
$M_0 > 2 \cdot 10^{22}$ N.m	Grande y destructivo

Tabla 1. Clasificación de tsunamis.

GENERACION DEL TSUNAMI

Para que un sismo genere un tsunami es necesario que cumpla los siguientes requisitos:

- Que el epicentro del sismo, o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino y a una profundidad menor a 60 Km (sismo superficial).
- Que ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas en el mar, es decir que la falla tenga movimiento vertical y no sea solamente de desgarre con movimiento lateral.

c) Que el sismo libere suficiente energía en un cierto lapso de tiempo y que ésta sea eficientemente transmitida. Por lo general, para una magnitud $M_w > 6.5$ se activan los sistemas de alerta de tsunami.

La condición inicial del maremoto (campo de deformación debido a la dislocación de la falla geológica) se determina empleando el modelo de *Mansinha y Smylie (1971)* que asume una deformación instantánea de la superficie del océano igual a la componente vertical del campo de deformación del lecho marino. Este es un modelo de fractura y requiere conocer el mecanismo focal del terremoto. Los parámetros focales obtenidos en el ítem anterior son utilizados como datos de entrada del modelo WinITDB (Windows Integrated Tsunami Data Base) el cual genera un mapa de tiempos de arribo (ver *Figura 1*) y un mapa de máxima altura de olas, este último dato se utilizará para generar el modelo de inundación.

FASE DE PROPAGACION.

ESTIMACION DEL TIEMPO DE ARRIBO

El modelo WinITDB (así como otros modelos) utiliza las siguientes ecuaciones lineales para la propagación del tsunami a través del fondo oceánico en aguas someras (*Chacón, 2007*):

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{U} = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + gh \nabla \eta = 0 \tag{3}$$

Donde η es la perturbación del nivel del mar, U representa la velocidad, g es la aceleración de la gravedad, h es la profundidad y t es el tiempo.

También, es de mucha importancia conocer los tiempos de arribo de la primera ola del tsunami a los distintos puertos y localidades para dar la alerta respectiva. Se realizará la estimación del tiempo de arribo del tsunami teniendo en cuenta que la longitud de onda del tsunami es mucho mayor que la profundidad del mar, en este caso se cumple que la velocidad de la onda es:

$$v = \frac{dr}{dt} = \sqrt{gh(r)}$$

(4)

$$dt = \frac{dr}{v} = \frac{dr}{\sqrt{gh(r)}}, \text{ de donde:}$$

$$T = \int_c \frac{dr}{\sqrt{gh(r)}}$$

(5)

C representa la trayectoria o camino seguido por la onda para un tiempo mínimo. La batimetría $h(r)$ se obtiene a partir del modelo "Etopo2v2" (Smith et al., 2006) para toda la región del mar del Perú. Por interpolación 2D se halla la profundidad del lecho marino en el epicentro. Se divide la trayectoria que une al epicentro con la localidad especificada en "n" particiones. Se calcula la profundidad para cada partición y se forma el perfil $h(r)$. Finalmente el tiempo de arribo se calcula mediante integración numérica por el método

de Simpson 1/3. En algunos casos se añade un factor de corrección.

Puertos	Este modelo	WinITDB
Zorritos	01:39	01:40
Paita	01:29	01:15
Huarmey	00:32	00:25
Callao	00:09	00:05
Pisco	00:30	00:20
San Juan	00:49	00:45
Matarani	01:19	01:10
Ilo	01:29	01:20

Tabla 2. Tiempos de arribo de la primera ola.

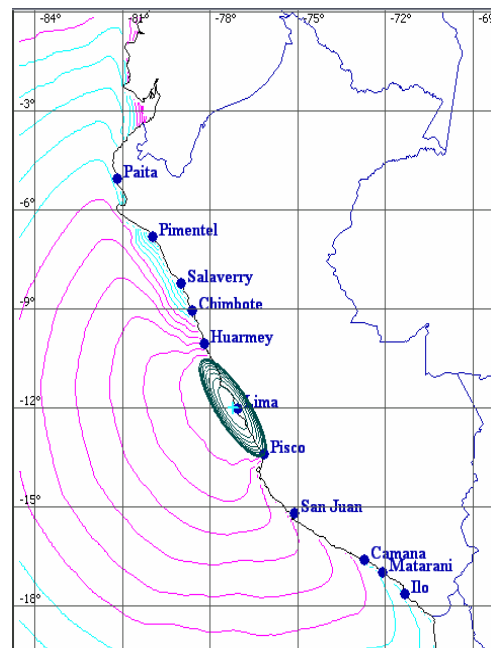


Figura 1. Mapa de tiempos de arribo: Cada isócrona representa 10 min (WinITDB)

FASE DE INUNDACION. CALCULO DEL RUN-UP

Como aproximación, se empleará un análisis dinámico y energético a partir de las leyes de la conservación de la energía y de las leyes de

la dinámica de una partícula. Esta aproximación es aplicable a una región geográfica puntual y específica. Para los parámetros focales calculados y con la ayuda del modelo WinITDB se calculará la máxima altura de la ola. Consideremos el diagrama de la *Figura 2*, aplicando el teorema del Trabajo y la Energía:

$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 = mgH + f_r d \quad (6)$$

Donde: h = altura de la ola, H = altura del run-up,

Donde la fuerza de rozamiento es:

$$f_r = \mu N = \mu mg (\cos \alpha) d \quad (7)$$

Donde: μ = coeficiente de rozamiento, α = ángulo de inclinación de la pendiente.

Luego:

$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 = mgH + \mu(mg \cos \alpha)d$$

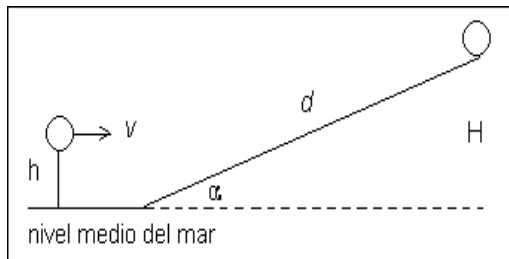


Figura 2. Esquema del modelo dinámico de una partícula.

De donde:

$$H = h + \frac{v^2}{2g} - \mu d \cos \alpha \quad (8)$$

Pero, de la *Figura 2*: $\text{sen } \alpha = \frac{H}{d}$,

entonces:
$$d = \frac{H}{\text{sen } \alpha}$$

Reemplazando:

$$H = \frac{(v^2 / 2g) + h}{1 + \mu \text{ctg } \alpha} \quad (9)$$

El coeficiente de fricción μ y el coeficiente de rugosidad de Manning η para fluidos están relacionados mediante la fórmula:

$$n = \sqrt{\frac{\mu D^{1/3}}{2g}} \quad \text{de donde:}$$

$$\mu = \frac{2gn^2}{D^{1/3}}, \quad \text{para } D \approx h/2$$

Finalmente:

$$H = \frac{(v^2 / 2g) + h}{1 + \frac{2gn^2}{(h/2)^{1/3}} \text{ctg } \alpha} \quad (10)$$

Para los valores numéricos de los parámetros:

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$v = 60 \text{ km/h}$$

$$h = 10\text{m (máxima altura de la ola}$$

obtenida del modelo WinITDB)

$$\text{alfa} = 1^\circ$$

$n = 0.015$ (coeficiente de rugosidad de Manning, obtenido en tablas)

Obtenemos un run-up: $H = 21.1\text{m}$. Este resultado concuerda con los datos de observación históricos de 24m de run-up, considerando la corrección de la marea alta, el

run-up podría haber sido de 23m. La Figura 3 muestra un mapa de inundación para este evento, restringida a la región comprendida entre las latitudes -12.08° y -11.91° . Los datos de la topografía del Callao fueron obtenidos de “Shuttle Radar Topographic Mission” SRTM (Jarvis *et al.*, 2006), topografía satelital con una resolución de 3” (90m en el ecuador). Se observa que la inundación llegaría hasta antes del actual Ovalo de la Perla y hasta parte de la pista del Aeropuerto Jorge Chávez (pequeño círculo rojo), entre otros puntos de referencia.

La mancha azul aislada representa al cerro La Regla, el cual sería un punto de evacuación natural. Las coordenadas de los puntos de inundación se pueden cambiar de formato ASCII a formato KML o KMZ para ser leídos por el programa Google Earth, en el cual se apreciarían las avenidas y calles afectadas por el tsunami (ver Figura 4). El archivo se encuentra en la siguiente dirección:

<http://cjimenez.741.com/tsunami1746.kmz>
<http://cjimenez.741.com/tsunami1746.pdf>

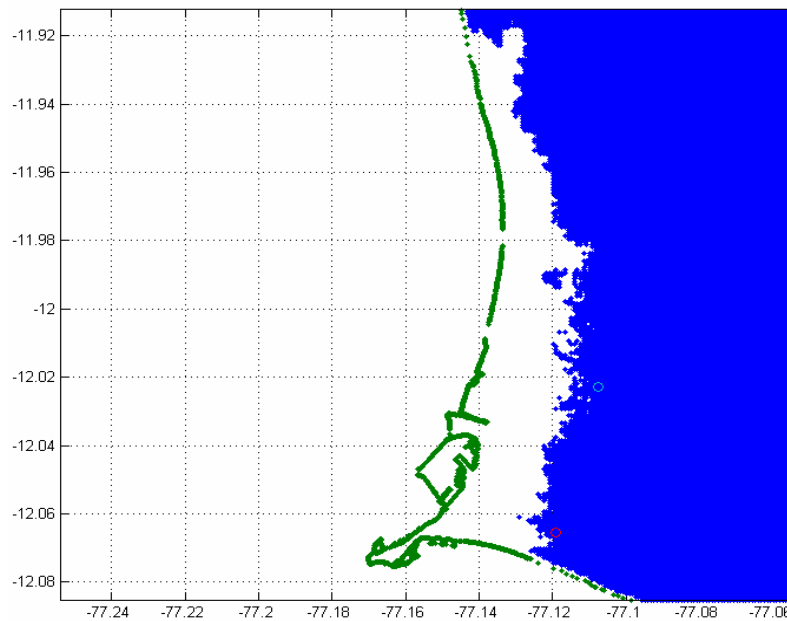


Figura 3. Mapa de inundación para el Callao según el presente modelo.



Figura 4. Mapa de inundación utilizando el programa Google Earth.

CONCLUSIONES

Los parámetros hipocentrales no son exactamente reales, puesto que se deducen a partir de la información histórica disponible y de los catálogos sísmicos.

La ciudad del Callao está asentada en una zona altamente vulnerable ante la ocurrencia de un tsunami, lo que significa que en el futuro puede ocurrir un evento similar al de 1746.

El valor del momento sísmico $M_0 = 9 \cdot 10^{21} \text{ Nm}$ calculado en el presente trabajo indica que el terremoto del Callao de 1746 generó un maremoto destructivo.

Para un tsunami local, el tiempo de arribo de la primera ola será entre 5 y 9 minutos, lo cual proporciona poco tiempo para realizar una evacuación. Sin embargo, no siempre la primera ola es la más grande.

El run-up (máxima altura de inundación) del tsunami de 1746 llegó a una cota de 21m, lo que implica que algunos lugares como parte de las pistas del Aeropuerto Jorge Chávez y parte de la Refinería La Pampilla, entre otros, serían puntos potencialmente inundables.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo corresponden a un modelo físico matemático que, en cierta medida, están validados por los datos y testimonios históricos.

BIBLIOGRAFIA

Carpio, J., Tavera, H. (2002) Estructura de un Catálogo de Tsunamis para el Perú basado en el Catálogo de Gusiakov. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú v. 94, p. 45-49.

Chacón, S. (2007) Simulación rápida de la propagación del Tsunami de Chile de 1960

- hasta la bahía de Hilo en Hawai. Tecnología en marcha, vol. 20-4, p. 24-29.
- Jarvis A., Reuter, A. Nelson, E. Guevara, (2006)** Hole-filled seamless SRTM data V3, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Kulikov, E., Rabinovich, A., Thomson, R. (2005)** Estimation of Tsunami Risk for the Coasts of Peru and Northern Chile. Natural Hazards vol. 35, p. 185-209.
- Mansinha, L., Smylie, E. (1971)** The displacement field of inclined faults. Bulletin of the Seismological Society of America, V. 61, No 5, pp. 1433-1440.
- Ortega, E., Jiménez, C., 2008.** Revista de Tsunamis. Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú.
- Papazachos, B., (2004)** Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of Earthquakes. Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVI, p. 1482-1489.
- Smith, W., Sandwell, D. (2006)** (ETOPO2v2) 2-minute Gridded Global Relief Data. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/06mgg01.html>
- Talandier J., (1993)** French Polynesia Tsunami Warning Center (CPPT). Natural Hazards and Earth System Sciences 7, p. 237-256.