



RESISTIVIDAD ELECTRICA APARENTE: UNA NUEVA DEFINICION

Orestes F. Carballo Otero

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea F.F.C.C. Ciudad de La Habana CP 11000, Cuba
E-mail: almiqui2004@yahoo.com

RESUMEN

El parámetro fundamental de la prospección geoeléctrica es la **Resistividad Aparente**, la cual a pesar de su dilatado empleo, no existe un acabado consenso para su definición.

La resistividad eléctrica permite caracterizar a los materiales homogéneos. En el caso de la prospección geoeléctrica el concepto de resistividad eléctrica cambia su significado, al medir *in situ*, materiales rocosos heterogéneos, y en su lugar se emplea la noción de "**resistividad eléctrica aparente**".

No existe una consumada definición de la resistividad aparente. El concepto más comúnmente aceptado es que ésta es la resistividad medida en medios heterogéneos. Dicho significado es un concepto formal y es incompleto, ya que no puede considerarse a la resistividad aparente como la promediación de las resistividades eléctricas del subsuelo.

Otro acercamiento al concepto de resistividad aparente es el propuesto por el autor, que ha desarrollado un modelo denominado "Respuesta Integral del Subsuelo", que pretende demostrar una hipótesis que permite definir a la resistividad eléctrica aparente como una respuesta integral de numerosas celdas de resistividad, contenidas en el interior del volumen subterráneo de un sector del lóbulo de sondeo $V=S \cdot MN$, donde **MN** es la distancia entre los electrodos de medición y **S** la sección transversal de dicho lóbulo. Por esta razón puede considerarse al perfilaje eléctrico como un sondeo integral, aplicación que tiene lugar a través de las denominadas "Turbo-secciones geoeléctricas", metodología igualmente creada por el autor.

Palabras claves: geoelectricidad, resistividad aparente.

INTRODUCCION

La Geoelectricidad es una de las ramas más importantes de la Geofísica, por su amplio espectro de aplicación, que incluye la prospección minera y petrolera, la localización de acuíferos, investigaciones geotécnicas, arqueológicas y medio ambientales.

El parámetro fundamental de la prospección geoeléctrica es la **Resistividad Aparente**, la cual a pesar de su dilatado empleo, no existe aún consenso para su concluyente definición.

A continuación trataremos de realizar un acercamiento a este concepto.

RESISTIVIDAD ELECTRICA y RESISTIVIDAD ELECTRICA APARENTE

La resistividad eléctrica o resistencia específica se define como la resistencia que le opone un cubo de material homogéneo de 1 metro de arista al paso de la corriente eléctrica. La ecuación para calcular la resistividad, mediante la medición de la diferencia de potencial ΔV y la corriente **I** es:

$$\rho = \Delta V / I \cdot K$$

donde: ρ es la resistividad eléctrica y **K** el factor geométrico de las distancias inter- electródicas

La resistividad eléctrica es uno de los parámetros más importantes para la caracterización de materiales homogéneos. Su rango de variación medido en condiciones de laboratorio es muy amplio, pues varía desde fracciones de $\Omega \cdot m$ en los metales y salmueras, hasta millones de $\Omega \cdot m$ para materiales rocas monolíticas homogéneas y sal gema.

Evidentemente en el caso de la prospección geoelectrica el concepto de resistividad eléctrica pierde su sentido al medir *in situ*, materiales rocosos heterogéneos, y en su lugar se emplea el de “resistividad aparente”.

No existe un claro consenso de que cosa es la resistividad aparente e incluso se critica su desacertada denominación, que induce a errores (Orellana, 1980).

El concepto más comúnmente aceptado es que la resistividad aparente es la resistividad medida en medios heterogéneos. Este significado es –como señala Parasnis- un concepto formal y bastante artificial, ya que no puede considerarse a la resistividad aparente como la promediación de las resistividades eléctricas del subsuelo (Parasnis, 1970,1971; Orellana, 1972).

Un acercamiento a la definición de resistividad aparente es el propuesto por el autor, a través del “Modelo de Respuesta Integral del Subsuelo”, con el cual se pretende definir a la resistividad aparente como la resultante de numerosas celdas unitarias de resistividad eléctrica acopladas en un complejo circuito mixto (serie-paralelo).

EL MODELO DE RESPUESTA INTEGRAL DEL SUBSUELO

Representaremos en una imagen tridimensional a un arreglo de perfilaje tipo **AMNB** desplegado sobre la superficie terrestre (Fig. 1).

El circuito **AB** se cierra a través del subsuelo, donde las líneas de fuerza y superficies equipotenciales forman un **lóbulo de sondeo**, que adopta en un medio homogéneo e isótropo la figura de un elipsoide de revolución truncado por la superficie terrestre.

El circuito **MN** permite la medición de la diferencia de potencial de un volumen geométrico de material rocoso limitado por la superficie **S** y la distancia entre los electrodos **M** y **N**.

El volumen **V** podemos representarlo como un conjunto de numerosas celdas unitarias (Fig. 1). Definimos la resistividad de cada una de las celdas mediante la Ley de Ohm en forma diferencial:

$$\rho = E / J \quad (1)$$

donde: E es la intensidad del campo eléctrico
J la densidad de corriente

$$E = dV / dx \quad (V/m) \quad (2)$$

$$J = dI / dS \quad (A/m^2) \quad (3)$$

Sustituyendo (2) y (3) en (1) obtenemos:

$$\rho = dV / dx \cdot dS / dI \quad (\Omega \cdot m) \quad (4)$$

ρ es la resistividad eléctrica específica si la celda unitaria esta representada como un cubo con un metro de arista.

Integrando ambos miembros de (4) tenemos:

$$\int_V \rho dV = \int_M \frac{dV}{dx} \cdot \int_S \frac{ds}{dl}$$

Cuyo resultado es:

$\rho_a = \Delta V / MN \cdot S / I$, que se suele representar también como:

$$\rho_a = \Delta V / I \cdot S / MN \quad (\Omega \cdot m) \quad (5)$$

donde: ρ_a es la resistividad aparente
 S / MN es el conocido factor geométrico K del arreglo en 3D.

Obteniendo finalmente la conocida formula de resistividad aparente:

$$\rho_a = \Delta V / I \cdot K \quad (6)$$

La forma del lóbulo de sondeo puede deformarse en dependencia de las conductividades y heterogeneidades del medio, pero el área de la sección S siempre se mantendrá igual para aberturas fijas de los electrodos AB y MN .

El modelo anterior puede representarse como un circuito eléctrico de celdas individuales de resistividad, alimentado por un transmisor T_x de corriente continua (CC) y con un receptor medidor de voltaje R_x (Fig.2).

ρ_{AM} y ρ_{NB} representan las resistividades fuera de los electrodos de medición MN .

Si sustituimos el transmisor de CC por una de corriente alterna (AC) de baja frecuencia la formula (6) toma una forma compleja, donde el desfase entre ΔV y I , representa el Efecto de Polarización Inducida en el dominio de la frecuencia, demostrándose que este modelo también satisface la PI.

CONCLUSIONES

Se confeccionó un Modelo de Respuesta Integral del Subsuelo para demostrar la hipótesis, que permitiría definir a la resistividad eléctrica aparente como **una respuesta integral de numerosas celdas de resistividad, contenidas dentro del volumen subterráneo de un sector del lóbulo de sondeo $V = S \cdot MN$** , donde MN es la distancia entre los electrodos de medición y S la sección transversal de dicho lóbulo. Por esta razón también **puede considerarse al perfilaje eléctrico como un sondeo integral**, cuya aplicación práctica tiene lugar a través de las denominadas "Turbo-secciones geoelectricas", metodología igualmente creada por el autor.

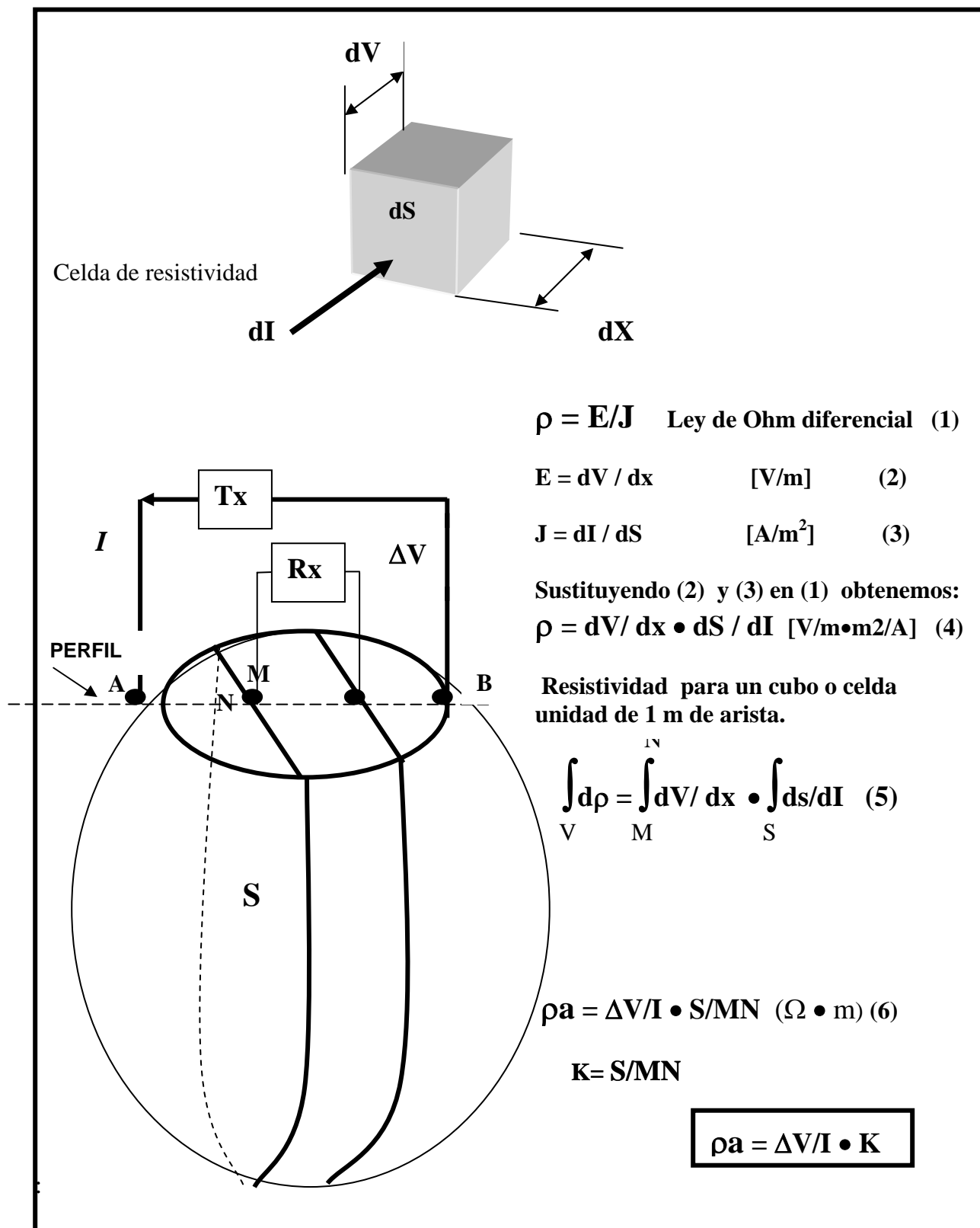
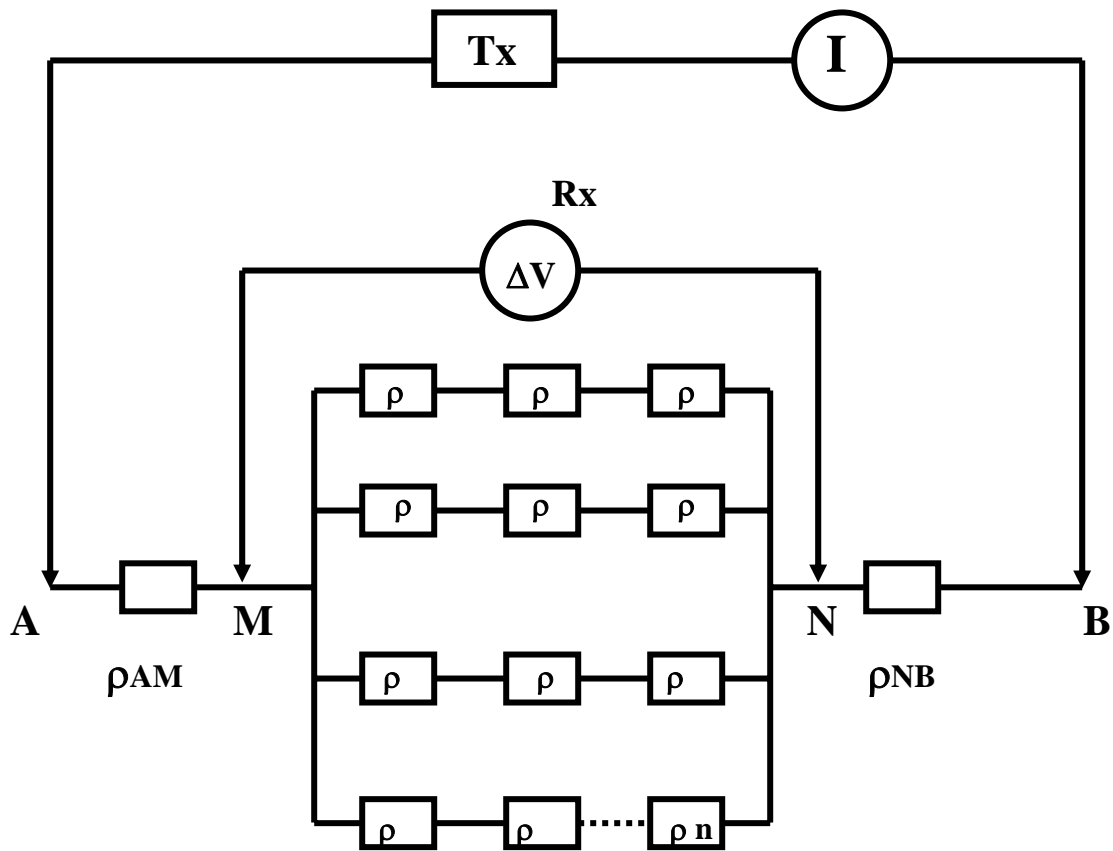


Fig.1 Celda de resistividad y lóbulo de sondeo.



$\boxed{\rho}$ Celda de resistividad $\rho_a = \sum \rho = \Delta V / I \cdot K$ para C.C.

$\rho_a = \sum \rho = \Delta V / I \cdot e^{-j\phi} \cdot K$ para A.C.

Fig.2 Modelo de circuito de celdas de resistividad



BIBLIOGRAFIA

- Carballo Otero, O.F. 2006 Metodología para la Confeccion de un nuevo tipo de Imagen Geoelectrica mediante tecnicas de perfilaje. Tesis de Maestria en Geologia con Mencion en Yacimientos. Universidad de Pinar del Rio.
- Danko,J.,Azze,A.1972 Geoelectricidad I .Ed.Universidad de La Habana. La Habana. 302 p.
- Diagileva,A.I.,Andrievich,V.V.1987. Osnovi geofizicheskij metodov razvedki (Fundamentos de los métodos geofísicos de prospección). Ed.Niedra. Moscú.288 p.
- Dobrin, M.B.1961 Introducción a la Prospección Geofísica Ed.Omega.Barcelona.483 p.
- Granda Sanz, A. s/a Introducción al método de tomografía eléctrica. Internet.3p
- Grant,F.S.,West,G.F.1970. Interpretation Theory in Applied Geophysics. Ed. Revolucionaria. La Habana.554p
- Orellana, E. 1972 Prospección Geoelectrica en Corriente Continua. Ed. Paraninfo, Madrid.523p.
- Parasnis D.S.1970 Principios de Geofísica Aplicada. Ed. Paraninfo.Madrid.208p.
- Parasnis D.S.1971 Geofísica Minera. Ed. Paraninfo.Madrid.376p.
- Reeves,C.V.,Barritt,S.D.,Zoil,P.W 1992 Mining Exploration Geophysics. Fourth edition. ITC, Delft, The Netherlands.
- Sharma, P.V.1997 Environmental and Engineering Geophysics. Cambridge University Press. 475 p.
- Kearey,P.,Brooks, M.1995 An introduction to Geophysical Exploration. Blackwell Science. Oxford. 254 p.
- Matveev,B.K. 1982 Electrorazvedka pri poiskaj mestorozdenii poleznix iscopaemij (Electroprospección para la búsqueda de yacimientos de minerales útiles). Ed.Niedra, Moscú. 375p.
- Telford,W.M.,Geldart,L.P. and Sheriff,R.E. 1995 Applied Geophysics. Second Edition. Cambridge University Press. 770 p.
- Yakubovskii,Y.V.,Liajov,L.L. 1988 Electrorazvedka (Electroprospección), Ed.Niedra. Moscú.395 p.
- Yakubovskii,Y.V. 1980 Electrorazvedka (Electroprospección), Ed.Niedra Moscú.384 p.
- Zhadanov, M.S., G,V.Keller 1994 "The Electrical Methods in Geophysical Exploration. Elsevier, Amsterdam.636p.



UTILIZACIÓN DE LA GEOFÍSICA EN LA BÚSQUEDA DE ARENA ALUVIAL EN LOS ALREDEDORES DEL RÍO CHAMBAS

Antonio Barroso Betancourt, Rodolfo Morell Cossio, Manuel García Palomino.

Empresa Geominera Camagüey, Carretera Central Este Km 5½, Camagüey, Cuba, E-mail: antonioobb@geomineracmg.co.cu.

RESUMEN

La creciente demanda de áridos finos para satisfacer las necesidades en la provincia Ciego de Ávila, aparejado al déficit que en estos momentos afronta la Industria de Materiales de la Construcción de este territorio, a llevado a la ejecución de un proyecto de Prospección y Exploración Orientativa de arena aluvial en la región de Chambas.

Para dar cumplimiento a esta tarea se ha realizado una secuencia de investigación que contempló en su primera fase:

- Compilación de todos los trabajos precedentes realizados en los alrededores del río Chambas en los años 1969 – 2000.
- Procesamiento estadístico de los cuerpos arenosos localizados.
- Utilización de la fotointerpretación en la selección del área a investigar.
- Trabajos experimentales en el sector Chambas – IV.
- Ejecución de “novedosos” trabajos geofísicos de superficie (Perfilaje Eléctrico Wenner-Alffa).

Esta secuencia ha permitido la localización de varios paleocauces, con longitudes entre 1.5-2.0km y ancho variable entre 200-300m, que se manifiestan en el campo geoeléctrico con intensidades de ($R_a = 20-40 \text{ ohm/m}$) en un fondo por debajo de 10 ohm/m , y que deben responder a un sistema de llanura aluvial tipo “Braided”, relacionado al frente montañoso de la Sierra de Jatibonico, que se encuentra al sur de la zona de los trabajos. Estos cuerpos arenosos de material vulcanógeno deben aportar recursos superiores a los 400 Mm^3 , asegurando como mínimo un plazo de 5 años de producción de la instalación arenera.

ABSTRACT

The growing demand of fine aggregates to satisfy the necessities in Ciego de Ávila province, harnessed to the deficit that confronts the Industry of Building Materials of this territory in these moments, had taken to the performance of a project of Prospecting and Exploration of alluvial sand in the region of Chambas.

To performance this task it has been carried out an investigation sequence that contemplated in it first phase:

- Compilation of all the precedent works carried out in the surroundings of the river Chambas in the years 1969 - 2000.
- Statistical processing of the located sandy bodies.
- Use of the photointerpretation for the selection of the area to investigate.
- Experimental works in the sector Chambas - IV.
- Performance of novel geophysical works of surface (Electric Survey Wenner-Alffa).

This sequence has allowed the localization of several ancient river beds, with longitudes between 1.5-2.0 km and variable width among 200-300 m that are manifested in the geoelectric field with intensities of ($R_a = 20-40 \text{ ohm/m}$) in a bottom below 10 ohm/m , and that should respond to a system of alluvial plain of "Braided" type, related to the front of the of Jatibonico Mountains, that is to the south of the area of the works. These sandy bodies of vulcanogenic material should contribute resources superiors to the 400 Mm^3 , assuring as minimum a term of 5 years of production of the plant.

INTRODUCCIÓN



Las investigaciones geológicas con vistas a la búsqueda de arena aluvial en los alrededores del río Chambas comenzaron en 1969, cuando M. Marek y otros, aplicando métodos de reconocimiento geológico, escogieron varios sectores para su detallamiento. Para este trabajo fueron utilizados 77 pozos con un total de 390m de perforación, ofreciendo como resultados una reserva de 121Mm³ de arena.

En el año 1975, H. González continuó las investigaciones en la margen oeste de dicho río, detallando las áreas más perspectivas detectadas por Marek, ver (Fig-1). Para ello emplearon una red final de investigación de 50x50m donde se utilizó un total de 282 pozos con 1097m de perforación y dando una reserva final de 574Mm³. Estas reservas fueron consumidas y se reinician posteriormente las búsquedas en el año 2000 cuando N. Pérez investiga el sector denominado "Chambas-IV" empleando para ello en red 100x25m un total de 748 pozos con 2872m de perforación. Las reservas obtenidas alcanzaron un volumen de 432Mm³ de arena en categoría C-1.

Finalmente en el año 2005 al no poder extraerse totalmente las reservas del sector Chambas-IV debido a que parte de las mismas se encontraban en una zona de relieve bajo con un porcentaje elevado de inundación y existir en ese momento una gran demanda de áridos finos en la provincia de Ciego de Ávila, se le otorga la tarea a la Empresa Geominera de Camagüey de realizar las investigaciones en un área de 6.0km². Por vez primera en la margen este de dicho río.

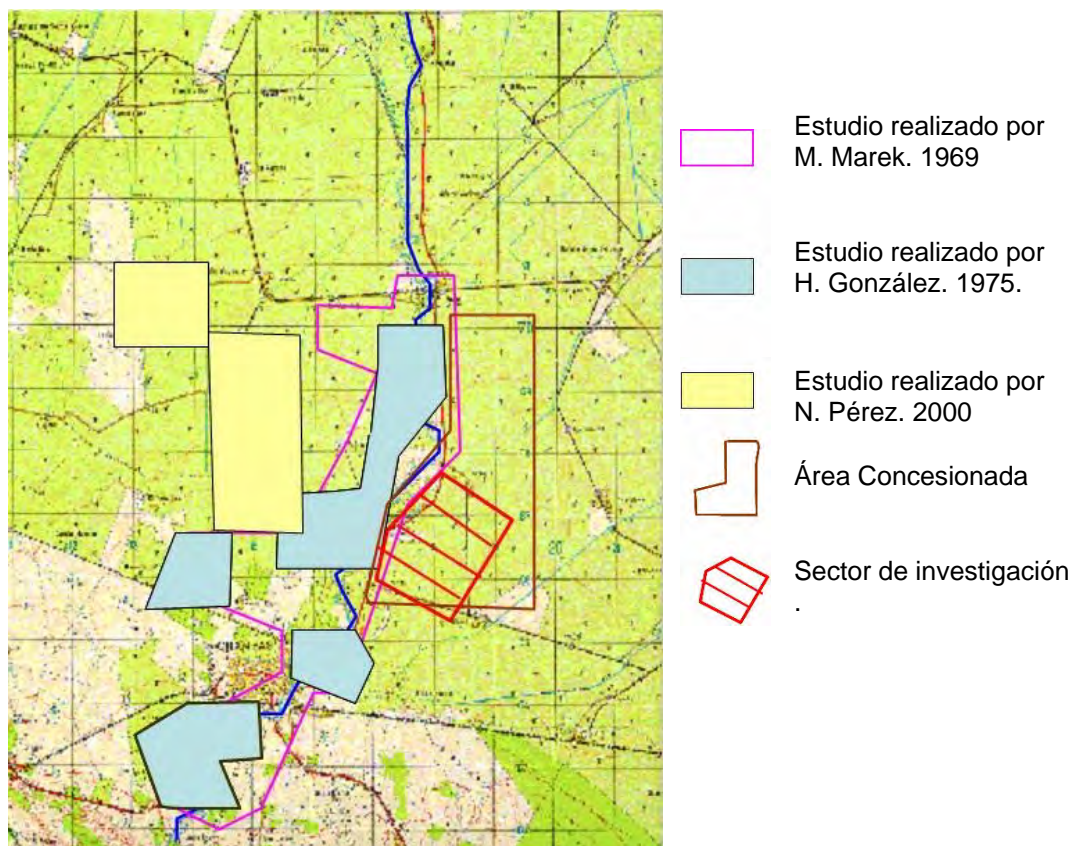


Figura 1. Plano de Ubicación de los distintos trabajos ejecutados.

DESARROLLO

La zona de trabajo se caracteriza por estar ubicada en una amplísima cuenca de sedimentos aluviales Cuaternarios que sobreyacen transgresivamente al basamento de la Plataforma Moderna, SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2007.
Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de Marzo de 2007



representados en esta región por formaciones carbonatadas, formando una gran llanura de centenares de km². Estos sedimentos son de tipo arcillosos, arcillo - arenosos en su mayor parte, conteniendo subordinadamente pequeños cuerpos arenosos. La potencia de estos cuerpos de acuerdo a lo señalado en el Informe del año 75 puede llegar a los 5m.

La existencia de los cuerpos arenosos está relacionado principalmente por la actividad evolutiva del río Chambas, que se cataloga como un sistema aluvial de alta sinuosidad, los cuales originan una serie de cinturones de meandros activos y otros abandonados.

En la selección de la zona más perspectiva para la utilización de la Geofísica, fue empleada inicialmente la fotointerpretación, detectándose rasgos y alineaciones muy favorables para la acumulación de arena, reduciéndose de esta forma el área de investigación a un volumen de 2.8km², ver (Fig-1).

Procesamiento estadístico.

Las investigaciones se continuaron con la compilación de los trabajos precedentes realizados en los alrededores del río Chambas en los años 1969-1975. Procesándose los 359 pozos ejecutados en ambos proyectos. Se determinó la frecuencia por intervalos de profundidad de los 195 pozos que cortaron arena (54% de efectividad), tanto para el tope superior de los cuerpos (Tabla I), como para el tope inferior (Tabla II).

Tabla I. Resultados para el tope superior.

Tope Superior		
Profundidad (m)	Cant de Pozos	Frecuencia
0-1	61	31
1-2	68	35
2-3	32	16
3-4	20	10
4-5	3	2
5-6	6	4
6-7	1	0.5
7-8	1	0.5
8-9	1	0.5
9-10	1	0.5
10-11	0	0
11-12	1	0.5
Suma	195	100%

Tabla II. Resultados para el tope inferior.

Tope Inferior		
Profundidad (m)	Cant de Pozos	Frecuencia
0-1	0	0
1-2	12	6
2-3	28	14
3-4	71	36
4-5	52	27
5-6	15	8
6-7	6	3
7-8	6	3
8-9	1	0.5
9-10	2	1
10-11	1	0.5
11-12	0	0
12-13	1	0.5
Suma	195	100%

Los resultados estadísticos destacan para el tope superior de los cuerpos la mayor frecuencia en el intervalo de profundidad de 1-2m con un 35%; con un segundo intervalo predominante desde 0-1m. Mientras para el tope inferior la mayor frecuencia se obtuvo en el intervalo 3-4m con un 36% y en segundo lugar el intervalo 4-5m con un 27%. Por lo que podemos elegir como mayor frecuencia de los cuerpos arenosos el intervalo 0-5m.

Ya con estos datos, nos dimos a la tarea de seleccionar la variante eléctrica a utilizar, teniendo en cuenta que en esta zona de trabajo nunca antes se había explorado esta materia prima con métodos geofísicos, por lo que se eligió una variante eléctrica que fuera sencilla, productiva y a la vez eficaz,

para no encarecer las investigaciones, eligiéndose el Perfilaje Eléctrico Wenner – Alfa (PEWA) con dimensiones: AM=MN=NB=10M.

Este dispositivo presenta una profundidad de investigación desde 4.2m hasta 7.5m [Orellana. E.1972], con lo cual se debe estudiar perfectamente dichos cuerpos arenosos (0-5M), mientras otros autores [Ward. S.1990] señalan como profundidad de estudio promedio para este dispositivo $h=5.19m$, con lo que también la señal eléctrica sobrepasaría los cuerpos arenosos.

Trabajos geofísicos experimentales.

Los trabajos experimentales se realizaron por un perfil del sector “Chambas IV” en una zona donde los geólogos conocían de la existencia de potentes cuerpos de arena, detectados mediante las perforaciones realizadas en el año 2000, por N. Pérez y que no habían sido explotados por estar en terreno bajo como se explicó anteriormente. Los resultados de este trabajo se muestran en la Fig-2, junto a la Tomografía Eléctrica Wenner (TEW), (DP-DP, $n=6$ dipolos, $a=5m$), que se ejecutó para compararla con los resultados del Perfilaje y tener una idea del corte geoelectrico en la profundidad.

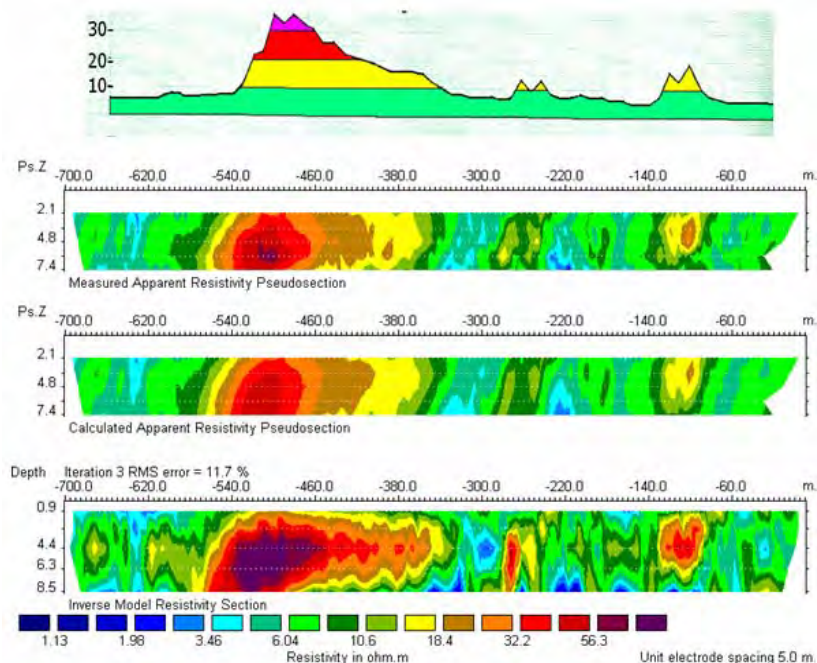


Figura 2. Imagen Digital del PEWA y la Tomografía Eléctrica. Perfil “Chambas-IV”.

Los resultados obtenidos en el perfil experimental “Chambas-IV”, demuestran la efectividad del PEWA, al presentar total coincidencia con las anomalías detectadas por la TEW –método mucho más caro y de mayor laboriosidad- además si observamos la (Fig-3), vemos que el PEWA no solo fue capaz de determinar los cuerpos de grandes dimensiones ($>200m$), sino que detectó pequeñas acumulaciones de arena con un ancho de 30m y una potencia de 0.5m, a una profundidad de 2m, con intensidades de $R_a > 10 \text{ ohm/m}$, demostrándonos que por encima de esta intensidad estamos en presencia de arena.

En este perfil también se observa, como la zona anómala con $R_a > 20 \text{ ohm/m}$ responde a la mayor potencia del cuerpo, mientras que la anomalía de $R_a > 30 \text{ ohm/m}$ da respuesta a la zona mineral más cercana a la superficie. También se aprecia como la pendiente de la curva es un reflejo del buzamiento de los cuerpos, permitiéndonos inferir hacia donde buzan los mismos.

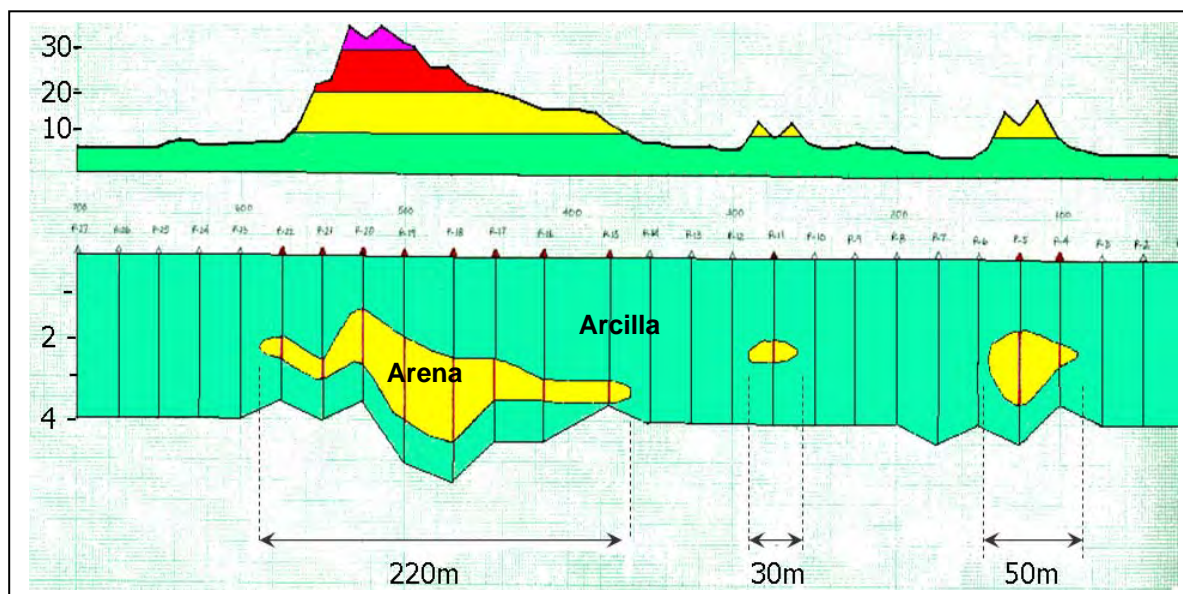


Figura 3. Comparación de los resultados de la perforación con el PEWA. Perfil "Chambas-IV".

RESULTADOS

Luego de obtener tan buenos resultados en el perfil experimental de "Chambas-IV", se procedió al estudio del área seleccionada por la fotointerpretación con el PEWA, sobre una red topográfica 100x100m. Determinándose varias zonas anómalas, en las que sobresalen las Zonas (1) y (2) que presentan longitudes entre 1.5-2.0km y ancho variable entre 200-300m. Estas zonas se manifiestan en el campo geoelectrico con intensidades de ($R_a=20-40\text{ohm/m}$) en un fondo por debajo de 10ohm/m (Fig-4), y que deben responder a un sistema de canales de llanura aluvial tipo "Braided" [Friend, P.1983., Arche, A.1992].

-debido a su gran extensión longitudinal-, relacionados al frente montañoso de la Sierra de Jatibonico, que se encuentra al sur de la zona de los trabajos y no a un sistema aluvial de alta sinuosidad como se venía expresando en los trabajos anteriores.

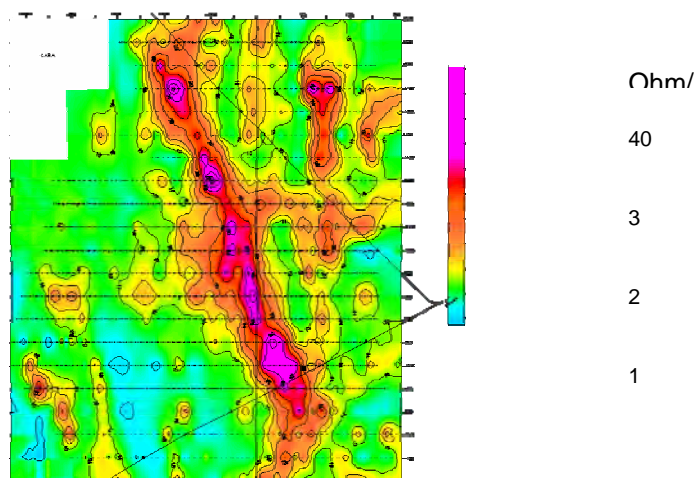


Figura 4. Plano de isolíneas de resistividad (PEWA).



Estos cuerpos arenosos de material vulcanógeno deben aportar recursos superiores a los 400Mm³, ya que haciendo solamente un cálculo conservador para el mayor paleocauce (Zona anómala con $R_a > 20 \text{ ohm/m}$), con extensión de 1.6km, ancho promedio de 100m y potencia promedio de 1.5m, [calculada mediante el diagrama de dispersión: potencia útil de los pozos del perfil experimental "Chambas-IV" (vs) resistividad], (Fig-5); reporta una reserva de 240Mm³. Lo que aseguraría en conjunto un plazo de 5 años de producción de la instalación arenera.

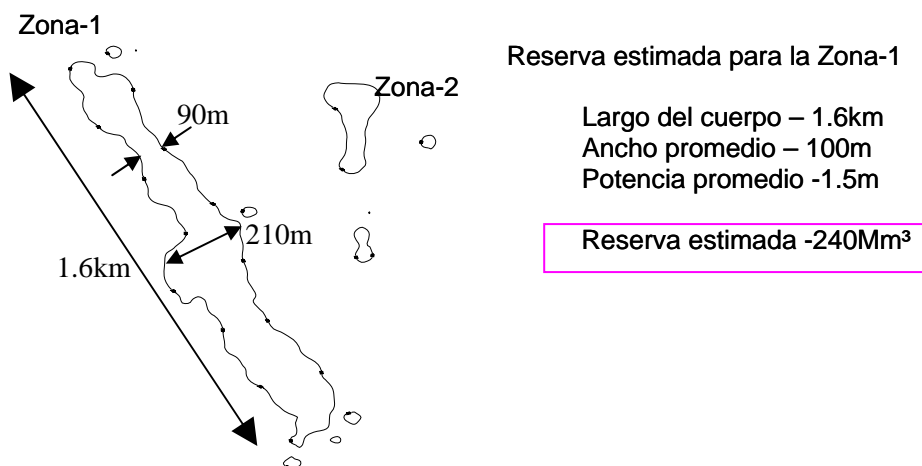


Figura 5. Contorno del supuesto cuerpo mineral para $R_a > 20 \text{ ohm/m}$.

CONCLUSIONES

- La metodología empleada fue eficiente tanto en la selección del área de estudio como en la secuencia de investigación.
- El método geofísico utilizado: Perfilaje Eléctrico Wenner – Alfa, con el dispositivo ($AM=MN=NB=10\text{m}$) detecta con gran precisión no solo los paleocauces de gran tamaño sino también las pequeñas acumulaciones de arena.
- Por los resultados obtenidos hasta el momento se puede inferir que estamos en presencia de un sistema tipo BRAIDED de llanura aluvial y no de un sistema aluvial de alta sinuosidad.
- Las reservas finales deben superar ampliamente a la solicitud de la Tarea Técnica planteada ($\text{Res} = 400\text{Mm}^3$).
- Con el empleo de la Geofísica en este tipo de investigación se disminuye considerablemente el uso de la perforación, ahorrándose solamente por este concepto \$43,496.75 en moneda total.

BIBLIOGRAFÍA

- Arche, A. 1992. Sedimentología. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- Friend, P., 1983. Towards the field classification of alluvial architecture or sequence. In: Modern and Ancient Fluvial Systems. Ed. by J. D. Collinson and J. Lewin, Int. Assoc. Sediment. Spec. Pub; 6: 195 – 206.
- González, H., y otros 1975. Informe final del yacimiento Chambas.
- Marek, M. y otros., 1969. Informe sobre las búsquedas de arena para la construcción en los alrededores del río Chambas y Calvario.
- Morell, R., A. Barroso., 2004. Proyecto de Prospección y Exploración Orientativa de arena Chambas.
- Orellana, E., 1972. Prospección Geoeléctrica en corriente continua. PARANINFO, Madrid (España), 523.
- Pérez, N., 2000. Informe de Prospección Preliminar - Detallada y Exploración Orientativa Sector "Chambas-IV".
- Ward, S., 1990. Resistivity and IP Methods. Canada. Pub; 4: 178.

SPIKE GENERATION SCENARIOS AND WAITING TIME DISTRIBUTION FUNCTION OF CIRCULAR POLARIZED RADIOEMISSION COMPONENTS

Ramón E. Rodríguez Taboada⁽¹⁾, A.L. Méndez Berhondo⁽¹⁾, Liliana Alfonso Sarraide⁽¹⁾

(1) Institute of Geophysics and Astronomy, Calle 212 No 2906, La Coronela, C. Habana, Cuba, CP 11600
ramone@infomed.sld.cu

ABSTRACT

The waiting time distribution between individual maxima (flux >10 sfu) was calculated searching for self-organized criticality. Left and right polarization components were analyzed separately. The analyzed temporal interval presents two activity periods. The first related to HXR and gamma emission with both polarization millisecond events, and the following activity period is dominated by the right polarized component events. This behavior is considered evidence of two different dominant generation mechanisms for millisecond events.

Keywords: Solar Activity, Spikes.

PACS: 96.60.Q– 96.60.Rd

INTRODUCTION

Known as a special astrophysical object as early as 1981, and described mainly by its short duration (less than 0.1 sec) and high brightness (10^{15} K), as described in many reviews [1, 2, 3]; millisecond events (spikes) lag from a generally accepted model. There are two main options to explain spikes, particle acceleration and plasma waves interaction that maybe combined to take account for observations. One of the parameters that can be used to analyze the correctness of a specific model is the polarization of the radio emission. A high degree of circular polarization can be interpreted as electron cyclotron maser emission [2,7], and harmonic emission points to gyro-synchrotron maser mechanism [4]. Both processes signed by peculiar polarization behavior. Lately the plasma particle interaction in a turbulent medium [5] is considered in the models.

In this paper we analyze the possible relation of spikes with the overall process of energy release and re-structuration in the active region in which they take place.

DATA AND METHODS

The observations were done by the Trieste Astronomical Observatory in the 2695 to 237 MHz range, with a temporal resolution of 100 Hz. The frequencies and observation intervals are shown in Table 1. To manage the files a set of IDL programs, available upon request, were developed. The programs allowed to chain the files together, to create new files in the IDL format, and to explore the data based in polarization diagrams as in flux profiles. Once the data was explored and intervals of interest selected, their characteristics were determined in all frequencies.

DATA ANALYSIS AND RESULTS

The general distribution of the activity in all the frequencies was analyzed. We considered there are two activity intervals. The first one at 10:20-10:40 UT and a second one at 10:40-11:00 UT. The diagram of the times of beginning, maximum and end of the activity intervals in all frequencies shows that the times go closer with the frequency diminution pointing to up-moving and down-moving sources. From X-Ray observations there are two events, but both are included in the first time interval

of activity. One starts just after a data gap and reaches its peak at about 10:22 UT. In the second one, the hard X-Ray flux increases at approximately 10:24 UT, reaches a peak at approximately 10:27 UT and end at 10:30 UT. These peaks show very different characteristics [6].

TABLE 1. Intervals with 100 Hz temporal resolution observations on July the 14th, 2000. Data provided by Trieste Astronomical Observatory. Capital X indicates the presence of millisecond events

Intervals		Frequencies [MHz]					
Begin [U.T.]	Duration	237	327	408	610	1420	2695
10:10:00	10 min.	x	x	x	x	x	x
10:20:00	10 min.	X	X	X	x	X	X
10:30:00	10 min.	X	X	X	X	X	X
10:40:00	10 min.	X	X	X	X	X	x
10:50:00	10 min.	x	x	x	X	X	
11:00:00	10 min.	x	x	x	x		
11:10:00	10 min.		x	x			
11:20:00	10 min.			x			

The polarization diagrams of the event in each frequency (Fig. 1) show that the event goes from a simple source behavior, where you observe only an increase of the emission, but not any significant change in its characteristic, in 2965 MHz, to a more complex behavior in lower frequencies. The 610 MHz diagram shows clearly that the “spike activity” conserves approximately the polarization characteristics of the “initial” source. It is possible to notice that the intensity of the spikes diminish without changing significantly its behavior.

The presence of spikes should be detected by an increased amplitude of the components of the fluctuation in the over 1 Hz frequency interval of the spectrum. After appropriate treatment the power spectrum of the signal was calculated and no significant contribution to the overall energy release found.

Searching For Self Organized Criticality

The possibility of a SOC flare behavior is an interesting point in the solar activity research. There are many details to be taken into account to be sure about such a behavior, but a relatively simple way to explore this possibility is to analyze the waiting time distribution function (WTDF) between successive individual spikes. We consider WT is an index related to the intrinsic behavior of the system to SOC -the storage and dissipation of energy. We take it to explore the SOC behavior of the spike generation process.

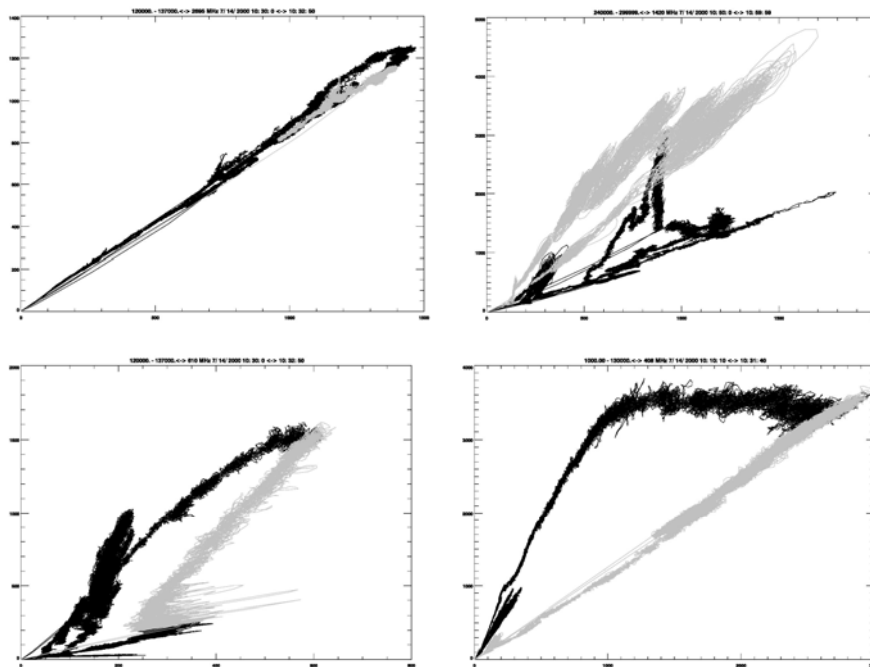


FIGURE 1. Polarization diagrams – up to down, left to right, 2695, 1420, 610, 408. In the lower corona (2695 MHz) the diagram is simple, but in 1420 MHz it is possible to see a much more complex structure. The initial linear branch (lower in black) with a superimposed structure related to the appearance of a source (mainly right polarized) and in gray the section related to a second activity period not visible on 2965 MHz. The 610 MHz diagram shows clearly that the spike activity conserves the characteristics of the “initial” source.

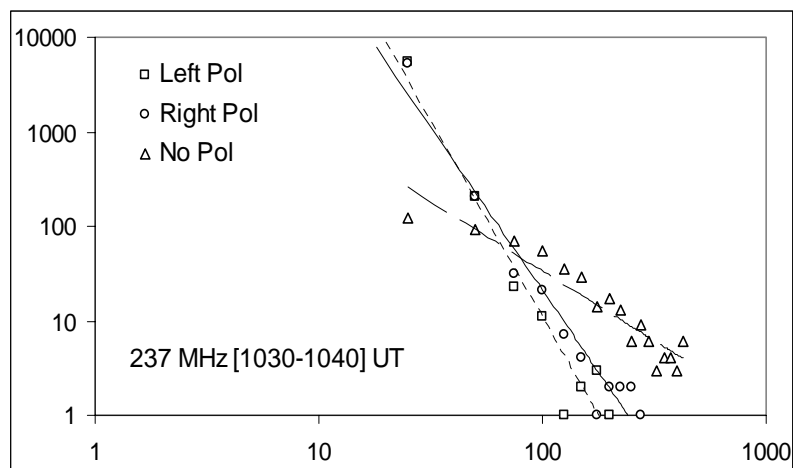


FIGURE 2. The WTDF in the 10:30-10:40 UT interval for LPC and RPC events. Notice a significant number of unpolarized events.

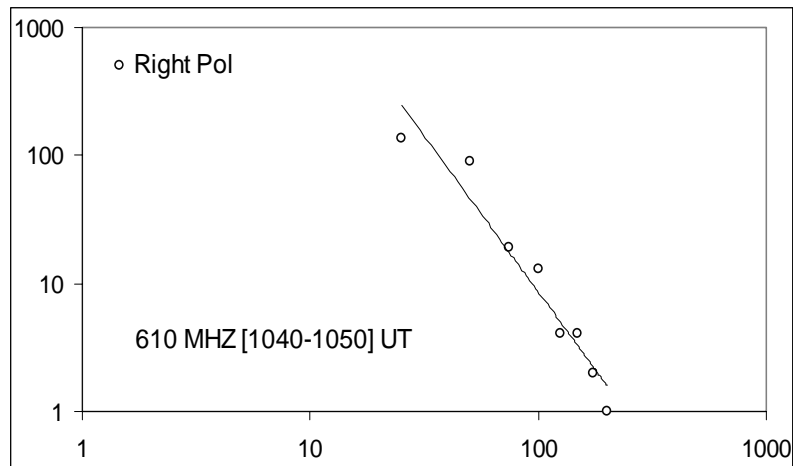


FIGURE 3. Only in RPC the number of millisecond spikes is big enough to estimate the WTDF of millisecond events in the 10:40-11:00 UT interval.

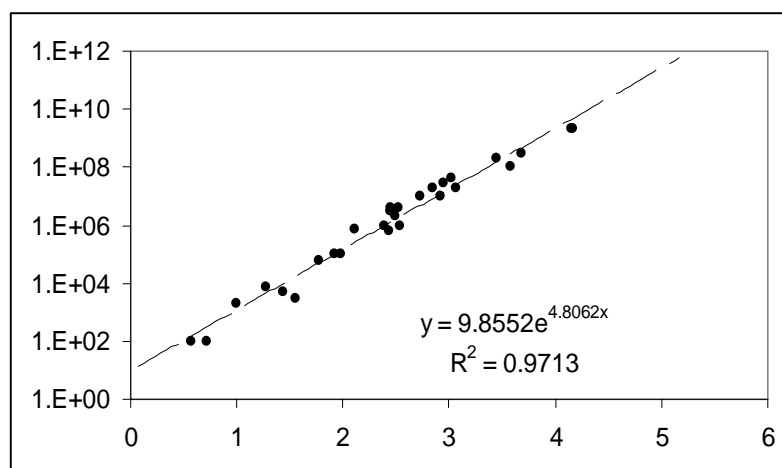


FIGURE 4. Relation between the coefficient (ordinate) and the exponent (abscissa) of WTDF.

We selected those peaks with intensity greater than 10 solar flux units ($1 \text{ sfu} = 10^{-22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$) in a 50 ms temporal window. The peaks were selected independently for left and right polarized components. Those observed in both components were marked as “un-polarized” ones.

It was found that the WTDF changes significantly from the 10:10-10:40 UT interval, in which it was possible to observe millisecond spikes in both polarized component with both high and low polarization degree; to the 10:40-11:00 UT interval when only right polarized millisecond events were observed (Fig. 2 and 3).

We compare these observational results with the gyro-synchrotron maser [7] and upper-hybrid turbulent hypothesis [5] and propose that observations in the first activity interval are more consistent with the turbulent hypothesis and the second one with the gyro-synchrotron maser hypothesis. The gyro-synchrotron maser hypothesis predicts the prevalence of highly polarized O1 radio emission that in the case of the 9077 NOAA active region following the leading spot field rule is the right polarized

component. The upper-hybrid turbulent hypothesis does not predict the prevalence of a particular circular polarized component.

The power-index () and the coefficient (B) were calculated for each WTDF, and we found they are related as $B=9.8552 \exp \{4.862 \}$ (Fig. 4). We have not an explanation for that behavior but it seems to be related not to the intervals of observation, but to the nature of the system.

CONCLUSIONS

There are evidences supporting a millisecond event multiple mechanisms generation. Without solving this problem will be difficult to obtain a homogeneous data to compare with observations and accept or reject generation hypothesis.

An analysis of the millisecond events profile could help to discriminate between different generation hypotheses.

ACKNOWLEDGMENTS

We want to thank Dr. Paolo Zlobec and the staff of the Astronomical Observatory of Trieste – Basovizza Station- providing us the original data used in this paper.

REFERENCES

- A.O. Benz, P. Zlobec and M. Jaeggi, *Astron. Astrophys.*, **109**, 305 (1982).
- A.O. Benz, *So. Phys.*, **104**, 99 (1986).
- G.D. Fleishman and V.F. Melnikov, *Uspeji Fiziki Nauk*, **41**, 1157 (1998).
- A.N. Mosunov and Yu.E. Charikov, *Astronomicheskii Zhurnal*, **72**, 911 (1995).
- M. Barta and M. Karlicky, *Astron. Astrophys.*, **379**, 1045 (2001).
- S. Masuda, T. Kosugi and H.S. Hudson, *So. Phys.*, **204**, 57 (2001).
- Z. Kuncic and P.A. Robinson, *So. Phys.*, **145**, 317 (1993).

UTILIZACIÓN DE MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN GRAVIMÉTRICA SEMIAUTOMATIZADA EN PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA

Orlando R. Carraz Hernández ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ave. 114 # 11901 entre 119 y 127. Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: orlando@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

Uno de los problemas más importantes en la interpretación de los levantamientos gravimétricos en la Arqueología es la determinación de los elementos de yacencia de las fuentes anómalas, ya sea por las características propias de éstas (pequeñas dimensiones, profundidades someras y débiles contrastes de propiedades físicas), así como por la ambigüedad e inestabilidad inherente a la solución del problema inverso en los campos potenciales.

En este trabajo se describe la utilización en un sitio arqueológico de dos métodos de interpretación gravimétrica semiautomatizada (el Gradiente Total Normalizado y la deconvolución de Euler) que cumplen los siguientes requisitos: a) son capaces de dar respuestas en el contexto arqueológico cubano; b) poseen una dependencia mínima del conocimiento de las propiedades físicas de los artefactos arqueológicos y c) ofrecen una solución aproximada, rápida y sencilla al problema planteado. Mediante la aplicación de estos métodos se logró determinar la posición y la profundidad de los cuerpos anómalos que fueron corroboradas posteriormente mediante las excavaciones arqueológicas. Los resultados de estas interpretaciones representaron un ahorro significativo de tiempo y recursos materiales en comparación con la aplicación de los métodos tradicionales empleados en el trabajo en Arqueología.

ABSTRACT

One of the most important problems of the gravity surveys in Archaeology is to determine some elements about lying of anomalous sources, due to the characteristics of the archaeological bodies (small dimensions, shallow depths and weak contrasts of physical properties) and the ambiguity of the solution of the inverse problem in potential fields.

In this contribution the employment of two semi-automated gravity methods (the Normalized Total Gradient and the deconvolución of Euler) is described. These methods fulfil the following requirements: a) they give answers in Cuban archaeological context; b) they have a minimum dependence of the knowledge of the physical properties of the archaeological bodies and c) they offer an approximated solution by a fast way to the outlined problem. By means of the application of these methods it was possible to determine the position and depth of the anomalous bodies which were corroborated by archaeological excavations. The results of these interpretations represented a significant saving of time and resources in comparison with archaeological methods.

INTRODUCCIÓN

En la prospección geofísica aplicada a la Arqueología el Problema Inverso está caracterizado por los siguientes rasgos:

- Las pequeñas dimensiones de las fuentes arqueológicas y su modelación en formas geométricas simples en la mayoría de los casos.
- Las profundidades someras a que yacen estas fuentes.
- El campo medido está compuesto por anomalías regionales, locales y microanomalías constituidas a su vez por la señal útil y el ruido. Son precisamente estas microanomalías expresiones de la mayoría de los objetos de interés arqueológico.

Las características anteriores indican que la solución exitosa del Problema Inverso en Arqueogeofísica no es factible en la práctica sin la importación de información adicional. Según

Pasteka (2000), existen dos vías prácticas fundamentales para la introducción de información *a priori* en la solución de este problema. La primera vía está basada en la predefinición matemática de un tipo de solución por medio de las propiedades esperadas ya sean geométricas (reconocimiento de cuerpos simples) o relacionadas con las fuentes anómalas (singularidades del campo). La segunda vía se sustenta en la importación de información complementaria proveniente de otras ciencias, ya sea de tipo cualitativa (conceptos estructurales o modelos sugeridos por la información histórica) o cuantitativa (resultados de excavaciones u otros métodos gearqueológicos).

Corresponden a la primera vía los métodos denominados “de deconvolución” (de Euler, de Wenner) que están basados en la predefinición matemática de la geometría del cuerpo anómalo y los basados en la transformación del campo medido (continuación analítica descendente, Gradiente Total Normalizado, amplitud de la señal analítica, etc.).

En la presente contribución se describe la utilización conjunta de dos métodos (Gradiente Total Normalizado y deconvolución de Euler) que cumplen los elementos señalados en la solución de un problema clase 1, según Strakhov (Pasteka, 2000), o sea un cuerpo cuya respuesta anómala puede ser separada del resto de la distribución del campo. Para esta anomalía aislada es posible determinar sus características integrales, describir su forma por medio de la posición de los puntos singulares (existe una relación única entre las singularidades del campo y la geometría de la fuente) y partir de un modelo geométrico suficientemente cercano a la realidad según los elementos aportados por la investigación histórica. Este es el caso de la interpretación de las prospecciones gravimétricas realizadas en el Cafetal El Padre.

MATERIALES Y MÉTODOS

Método de la deconvolución de Euler

El método fue creado por Thompson (1982), quien se basó en estudios sobre la ecuación de homogeneidad de Euler en el desarrollo de un procedimiento para interpretar anomalías magnéticas bidimensionales a partir de dicha ecuación. Posteriormente Reid *et al.* (1990) extendieron el procedimiento a fuentes magnéticas tridimensionales y utilizaron por primera vez la denominación “deconvolución de Euler” (DEU); Marson y Klingele (1993) demostraron las ventajas del empleo del gradiente vertical de la gravedad en la DEU, y autores como Reid (1995), Stavrev (1997), Barbosa *et al.* (1999), Roy *et al.* (2000), Pasteka (2000) y Nabighian y Hansen (2001) han realizado aportes significativos al desarrollo del método tanto en gravimetría como en magnetometría.

La DEU está basada en la aplicación del Teorema de Euler para funciones homogéneas donde cualquier función homogénea $f(x,y,z)$ de grado n , la cual obedece a la siguiente expresión (Thompson, 1982):

$$f(tx,ty,tz) = t^n f(x,y,z), \quad (I)$$

satisface también la ecuación de homogeneidad de Euler:

$$x \frac{\partial f}{\partial x} + y \frac{\partial f}{\partial y} + z \frac{\partial f}{\partial z} = n f(x,y,z), \quad (II)$$

Si el campo gravitatorio $f(x,y,z)$, para cuerpos de geometría simple situados en el origen del sistema de coordenadas, tiene la forma general:

$$f(x, y, z) = G/r^N, \quad (III)$$

donde $r=[x^2 + y^2 + z^2]^{1/2}$, G es una constante y N es un entero ($N=1, 2$ y 3). Evaluando la función anterior en la expresión (II) puede mostrarse que la función $f(x,y,z)$ es homogénea de orden $n=-N$. N fue denominado por Thompson (1982) como índice estructural y caracteriza la velocidad del decrecimiento del campo gravitatorio con la distancia y al mismo tiempo es un parámetro dependiente de la geometría de la fuente.

Situando un cuerpo (o su centroide) en las coordenadas (x_o, y_o, z_o) , la ecuación de homogeneidad para el campo observado $f(x, y, z)$ – considerando que el campo es simétrico en la dirección transversal al perfil, por lo que $\frac{\partial f}{\partial y} = 0$ – puede reescribirse como:

$$(x - x_o) \frac{\partial f}{\partial x} + (z - z_o) \frac{\partial f}{\partial z} = -N f(x, y, z), \quad (IV)$$

o de una forma más realista teniendo en cuenta la presencia de una tendencia regional B en los datos medidos:

$$(x - x_o) \frac{\partial f}{\partial x} + (z - z_o) \frac{\partial f}{\partial z} = -N f(x, y, z) - B, \quad (V)$$

Ambas ecuaciones satisfacen a cualquier punto de coordenadas (x,y,z) situado en la superficie de medición. Puede probarse también que el gradiente vertical y la amplitud de la señal analítica son funciones homogéneas porque satisfacen la expresión (II).

En sentido general, el método de la deconvolución de Euler funciona asumiendo *a priori* un valor de N para una ventana móvil de m puntos y estimando las coordenadas de la fuente anómala (x_o, z_o) , mediante la solución por el método de los mínimos cuadrados de un sistema lineal de k ecuaciones y tres incógnitas (x_o, z_o, B) para el campo potencial, y dos (x_o, z_o) para el gradiente o la señal analítica. El resultado es un *spray* de soluciones dentro de las cuales se halla la correcta para cada cuerpo anómalo. Para discriminar las soluciones no existe un criterio único y se aplican diferentes razonamientos (FitzGerald, *et al.*, 2004).

El cálculo del índice estructural (N) para cuerpos geométricos simples puede realizarse empleando las expresiones de las funciones potenciales y sus derivadas. Para cuerpos de geometrías más complejas (que no cumplen las condiciones de homogeneidad de Euler) los cálculos analíticos arrojan valores iguales o menores que cero, mientras que la evaluación de modelos sintéticos indica además que N es fraccional y deja de ser constante al variar con la profundidad y con la extensión del cuerpo en las direcciones x y y . Aunque no se cumplan estrictamente las condiciones de homogeneidad de Euler, el método puede ser empleado en prospección arqueológica debido a las pequeñas dimensiones de los cuerpos prospectados que llevan a considerar que sus extensiones, y fundamentalmente su espesor, tienden a cero, lo que posibilita asumir la contribución en la respuesta anómala de cada uno de los límites de los cuerpos como la de una fuente puntual. Por supuesto que tal presupuesto le da un sentido de primera aproximación a las profundidades obtenidas.

Los valores obtenidos de índice estructural (N) para algunos cuerpos geométricos se resumen en la siguiente Tabla:

Tabla I. Valores del índice estructural (N) para algunos cuerpos geométricos. (Todos los cuerpos son infinitos en una de sus dimensiones horizontales)

Forma geométrica	Índice estructural (N)
Cilindro horizontal	1
Estrato vertical delgado infinito	0
Estrato horizontal	1 a -1
Estrato vertical grueso	0 a -1
Contacto horizontal	0 a -1

Método del Gradiente Total Normalizado (GTN)

Este método fue introducido a mediados de la década del 60 por Beriozkin y desarrollado por él, sus discípulos y otros colaboradores del Instituto de Geofísica para la prospección de Petróleo y Gas de Moscú. Esta técnica, que también tuvo aplicaciones y continuadores en los países de Europa oriental y Cuba, guarda similitud con la de la señal analítica descrita en la literatura occidental e introducida por Nabighian (1972) especialmente con su última modificación (Nabighian, 1974). Es una de las técnicas de interpretación directa gravimagnetométrica factible de emplearse en lugares donde se posee poca o ninguna información a priori acerca de las propiedades físicas o las formas de los cuerpos prospectados.

El GTN está basado en la determinación de los puntos de singularidad de los campos potenciales y la interpretación de sus resultados conjuntamente con los obtenidos con otras técnicas (deconvolución de Euler, señal analítica, filtrado Werner, derivadas de la función) y otros métodos geofísicos, puede aportar elementos acerca de la yacencia de los cuerpos arqueológicos someros. Mediante su aplicación se puede realizar un estimado de las características geométricas de las fuentes y sus profundidades siempre que se pueda aceptar el carácter bidimensional del campo.

Si el gradiente total (amplitud de la señal analítica) puede expresarse de la siguiente forma:

$$F(x, z) = \sqrt{f_x^2(x, z) + f_z^2(x, z)}, \quad (VI)$$

donde $f_x(x, z)$ y $f_z(x, z)$ son las componentes horizontal y vertical del campo o sea, las derivadas con respecto a x y z de la función potencial.

El gradiente total normalizado puede ser calculado por:

$$F^N(x, z) = \frac{\sqrt{f_x^2(x, z) + f_z^2(x, z)}}{\frac{1}{M} \sum_{i=0}^M \sqrt{f_x^2(x, z) + f_z^2(x, z)}} = \frac{F(x, z)}{\bar{F}(z)}, \quad (VII)$$

donde M es el número de puntos del perfil, la expresión del numerador es el gradiente total y la del denominador el valor medio del gradiente total para un nivel z determinado. N es la cantidad de términos de las series de Fourier (armónicos) utilizados en el cálculo de la continuación analítica de las derivadas $f_x(x, z)$ y $f_z(x, z)$.

Para cada armónico y cada nivel de recálculo z se obtiene una "imagen" diferente de $F^N(x, z)$ y en función de la posición y el "movimiento" del valor del máximo con respecto al incremento de la cantidad de armónicos o de la conformación de las llamadas zonas de máximos y mínimos existen una serie de criterios empíricos (Beriozkin, 1967, 1988; Eliseeva, 1982; Febles, 1996; Rodríguez,

1998) que permiten la interpretación de los resultados a través de la determinación de contactos horizontales y verticales.

Es cierto que la inmensa mayoría de las aplicaciones del GTN se refieren a la prospección de petróleo y gas o la cartografía geológica regional. Sin embargo, la experiencia del autor y la evaluación de datos sintéticos, permite expresar que esta técnica puede resultar de gran ayuda en la geofísica aplicada a la Arqueología al complementar la información suministrada por otros métodos. En este caso se trata de una transferencia de escala (de regional a microlocal) de todos los elementos que integran el método manteniendo constante la relación entre ellos, por ejemplo, la extensión limitada de los perfiles se compensa con la profundidad somera de los cuerpos arqueológicos sin violar el requisito empírico que establece que la longitud de los perfiles sea como mínimo entre siete u ocho veces la profundidad esperada de las fuentes.

RESULTADOS

A continuación se mostrará el empleo conjuntamente de ambos métodos en la interpretación de las anomalías gravimétricas obtenidas en la prospección de un sitio arqueológico.

El sitio arqueológico “Cafetal El Padre (o del Padre)” está formado por ruinas de construcciones pertenecientes a un antiguo cafetal – probablemente del siglo XIX – que se encuentra localizado en la provincia de La Habana, aproximadamente a unos 11 km del pueblo de Madruga. Desde 1999 arqueólogos del Gabinete de Arqueología de la Oficina del Historiador de la Ciudad y la Universidad de Siracusa, Nueva York, han efectuado varias campañas arqueológicas en el sitio (Singleton, 2005). Los estudios gravimétricos, con el objetivo de localizar estructuras soterradas, han sido realizados en un área situada al este del barracón de los esclavos en la que se pensaba que pudieran ubicarse los secaderos de café u otras construcciones accesorias (Figura 1).

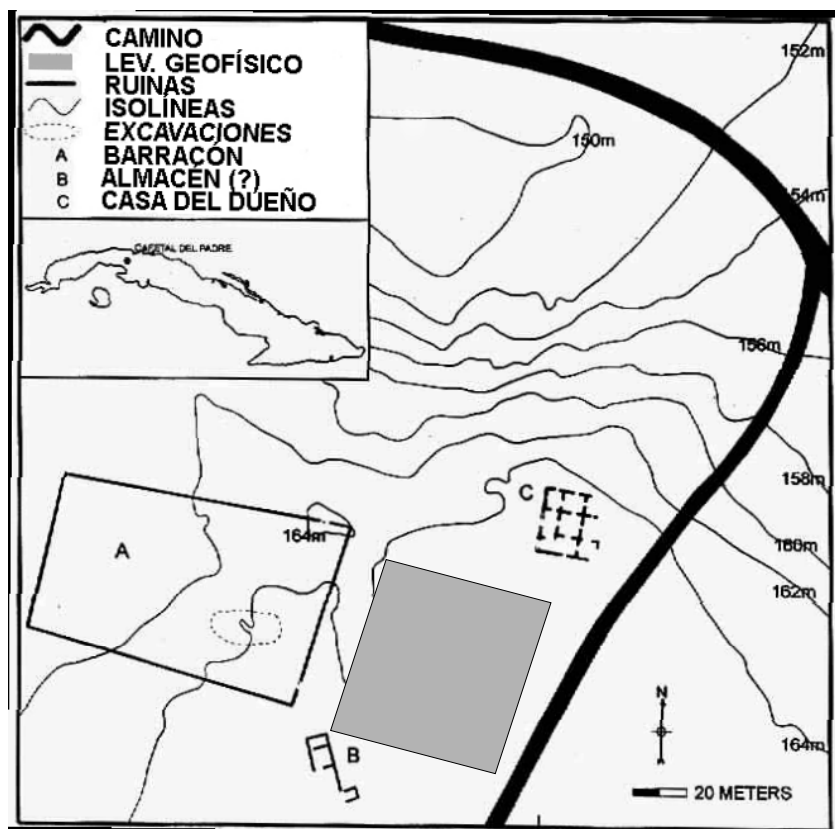


Figura 1. Plano actual de la zona del Cafetal El Padre

Los criterios tipológicos y las mediciones de los fragmentos de muros presentes en el área determinaron que las estructuras a buscar deberían sobrepasar los 1.5m de anchura con una extensión probable de más 30m si formaban parte de los tendales. Estas razones también permitieron elucidar la fábrica de estos objetos. Su orientación debía estar aproximadamente en la dirección este – oeste. Con estos elementos se construyó el Modelo Físico Arqueológico (MFA) (prisma bidimensional de 1.5m de anchura y espesor variable yaciendo a diferentes profundidades).

En el área se realizaron observaciones en 6 perfiles con distancia entre ellos de 10m y entre puntos de medición de 2m. Esta configuración respondió al MFA, a las características de inaccesibilidad del lugar y las disposiciones forestales que aconsejaron utilizar trochas separadas una decena de metros para las mediciones. La ubicación de los perfiles y puntos de medición se hizo de acuerdo a los puntos identificables de un levantamiento topográfico precedente (Figura 2).

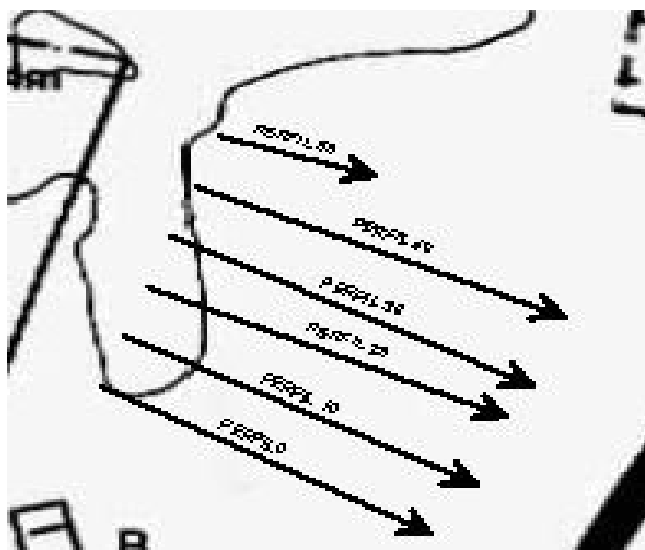


Figura 2. Detalle del plano anterior donde se han señalado los perfiles de medición.

Los resultados de los ensayos con el MFA permitieron obtener rangos de los valores de índice estructural (N) para el campo medido, el gradiente vertical y la amplitud de la señal analítica (Tabla II).

Tabla II. Valores de índice estructural (N) para el campo medido, el gradiente vertical y la amplitud de la señal analítica.

	Índice estructural (N)
Δg	0.2 a 1
Gradiente vertical	1.2 a 2
Amplitud de la señal analítica	0.1 a 0.4

Sin embargo, los ensayos con el GTN arrojaron que debido a las características de yacencia del cuerpo, el intervalo de muestreo utilizado y las propiedades inherentes al operador del método se definía bien el límite inferior de la estructura, pero era muy difícil definir el superior.

La Figura 3 muestra los resultados de la interpretación mediante el método de la deconvolución de Euler del perfil 30 del levantamiento. Si el análisis se concentrara en la anomalía que aparece

aproximadamente en la parte central del perfil, entre los 24 y 30 metros y que además es correlacionable con otras presentes en los perfiles contiguos, se notaría que para los menores valores de N que se corresponden con las condiciones más someras del cuerpo según el modelaje, las profundidades obtenidas oscilan entre apenas unos centímetros y poco más de un metro.

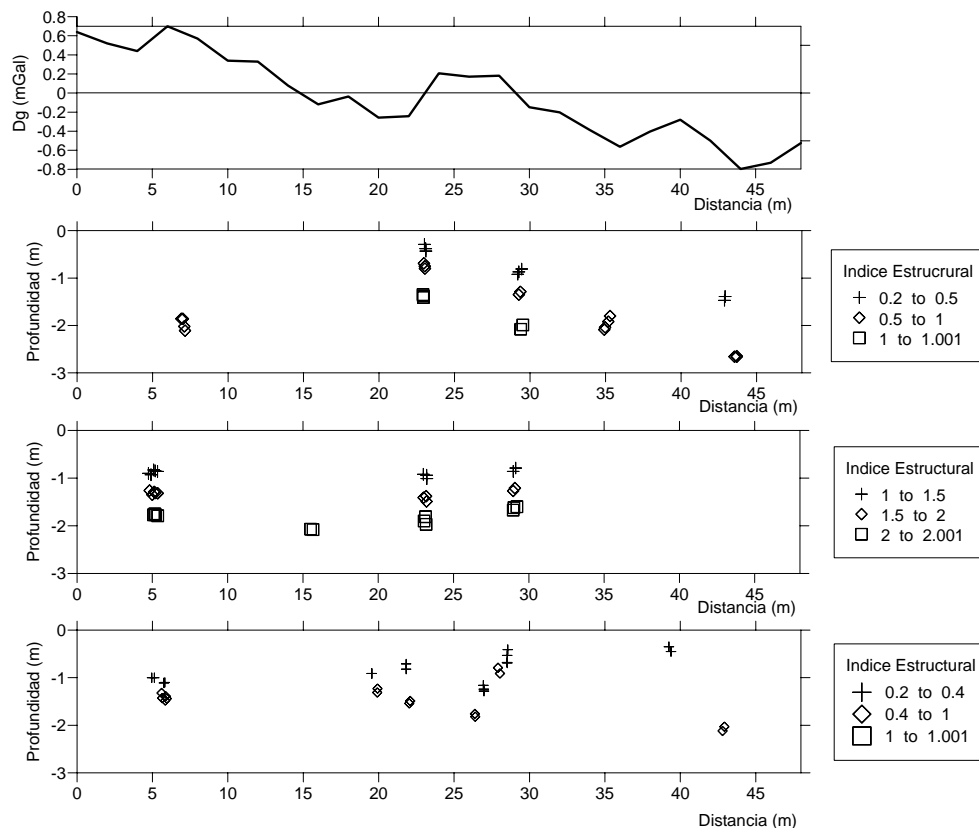


Figura 3. Resultados de la interpretación por el método de la DEU del perfil 30. De arriba hacia abajo: Δg observado, profundidades según la DEU de Δg , el gradiente vertical y la amplitud de la señal analítica.

A pesar de las limitaciones del empleo del GTN (el intervalo entre las profundidades de recálculo debía ser mayor o igual que el de muestreo, por lo que la delimitación del límite superior del cuerpo, si este se encuentra a profundidades extremadamente someras, es imposible), la posición de la estructura y su límite inferior es revelada claramente a partir de los contactos propuestos (Figura 4).

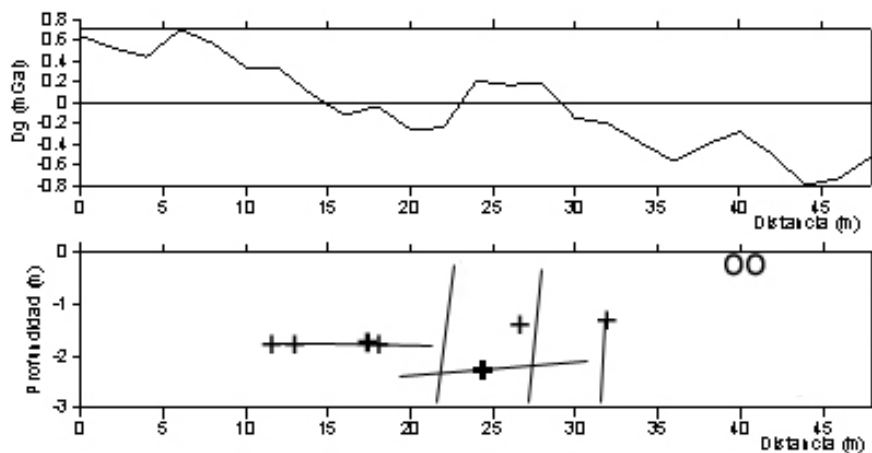


Figura 4. Detalle de los resultados de la interpretación por el método del GTN ((+ valores máximos, - contactos propuestos, o valores mínimos).

Así, de la interpretación conjunta entre los dos métodos podría concluirse que la estructura con una posición casi transversal al perfil analizado poseía su parte superior a una profundidad que debía inferior al metro (50-60 cm). Dicho cuerpo tendría una anchura aproximada superior a los 2m y un espesor semejante aunque en la determinación de estos parámetros influye el área de compactación – descompactación que se origina alrededor de cualquier cuerpo enterrado.

Las excavaciones arqueológicas revelaron la existencia en el lugar anómalo de un muro de piedras amalgamadas a una profundidad entre 20 y 50 cm y en un estado de conservación aceptable. La dirección de esta estructura se correspondía con otras anomalías presentes en el resto de los perfiles y que por su ubicación, forma y amplitud eran perfectamente correlacionables con la del perfil 30 (Figura 5)



Figura 5. Fotografía de la excavación en el lugar anómalo. Nótese que tras retirar la capa herbácea la estructura se encontraba a apenas unos centímetros.

CONCLUSIONES

La deconvolución de Euler y el Gradiente Total Normalizado son dos métodos de interpretación semiautomatizada muy útiles en estudios con fines arqueológicos al aportar elementos acerca de la yacencia de los cuerpos que permiten mejorar el modelo físico – arqueológico y conducir los trabajos de excavación. En el caso de la deconvolución de Euler su empleo tanto con el campo medido como con el gradiente vertical y la amplitud de la señal analítica permite caracterizar mejor la posición del cuerpo y una menor ambigüedad en la determinación de su profundidad. El Gradiente Total Normalizado pudiera utilizarse para reafirmar criterios obtenidos por otros métodos, así como la determinación de la raíz o el límite inferior de las estructuras.

BIBLIOGRAFÍA

Barbosa, V. C. F., J. B. C. Silva, y W. E. Medeiros, 1999. Stability analysis and improvement of structural index estimation in Euler deconvolution. *Geophysics*, 64 (1): 48-60.

- Beriozkin, V., 1967. Aplicación del gradiente vertical total de la gravedad para la determinación de la profundidad de fuentes de anomalías gravitatorias (en idioma ruso). *Exploración Geofísica*, 18: 69-79.
- Beriozkin, V., 1988. El método del gradiente total en exploración geofísica (en idioma ruso). Niedra: Moscú.
- Eliseeva, I. S., 1982. Recomendaciones metodicas para el estudio de heterogeneidades de densidad de secciones transversales basado en datos de investigaciones gravimétricas (en idioma ruso). Instituto para la exploración de petróleo y gas, Moscú.
- Febles, D., 1996. Aplicación del gradiente total normalizado $G_n(x,z)$ al estudio del yacimiento de cromitas Camaguey II. En: Tercer Simposio Cubano de Geofísica, Palacio de las Convenciones, Cuba, Memorias.
- FitzGerald, D., A. Reid y Ph. McInerney, 2004. New discrimination techniques for Euler deconvolution. *Computers and Geosciences*, 30: 461-469.
- Marson, I. y E. E. Kingle, 1993. Advantages of using the vertical gradient of gravity for 3D interpretation. *Geophysics*, 58 (11): 1588-1595.
- Nabighian M. N., 1972. The analytical signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section; its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37 (3): 507-517.
- Nabighian M. N., 1974. Additional comments on the analytical signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, 39 (1): 85-92.
- Nabighian, M. N. y R. O. Hansen, 2001. Unification of Euler and Wenner deconvolution in three dimensions via generalized Hilbert transform. *Geophysics*, 66 (7): 1805-1810.
- Pasteka, R., 2000. 2D semi-automated interpretation methods in gravimetry and magnetometry. *Acta Geologica Universitatis Comenianae*, 55: 5-50.
- Reid, Ab., 1995. Euler deconvolution: past, present and future – a review. En 65th Annual International Meeting Society of Exploration Geophysicist, Houston, Texas, Proceeding.
- Reid, Ab. B., J. M. Allsop, H. Granser, A. J. Millett, y W. Somerton, 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55, (1): 80-91.
- Rodríguez, W. R., 1998. Nueva metodología para la interpretación de campos potenciales y aerospectrométricos durante la cartografía geológica" [inédito], tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geológicas, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría": 117p.
- Roy, L., B. N. P. Agarwall y R. K. Shaw, 2000. A new concept in Euler deconvolution of isolated gravity anomalies. *Geophysical Prospecting*, 48: 559-575.
- Singleton, Th., A., 2005. Investigando la vida del esclavo en el Cafetal del Padre". *Revista del Gabinete de Arqueología*, 4: 4-13.
- Stavrev, P. Y., 1997. Euler deconvolution using differential similarity transformations of gravity or magnetic anomalies. *Geophysical Prospecting*, 45: 207-246.
- Thompson, D. T., 1982. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47 (1): 31-37.

TRABAJOS GEOFÍSICOS PARA LA EVALUACIÓN DEL ACUÍFERO “SAN LORENZO” PROVINCIA DE CIEGO DE AVILA

Manuel García Palomino ⁽¹⁾, **Eduardo Pérez Peña** ⁽¹⁾

(1) Empresa Geominera Camagüey.

RESUMEN

En los últimos años en nuestro país algunas provincias se ha visto sometidas a los efectos de intensas sequías y sobre todos en aquellos territorios ubicados en la parte oriental tales como Holguín, Las Tunas y Camaguey fundamentalmente, aunque esta situación también se ha hecho notar en la provincia de Ciego de Ávila caracterizada por grandes reservas acuíferas ha sentido sensibles disminución en sus niveles, de hecho ha sido necesario del estudios de algunas fuentes principales con el objetivo de reevaluar sus potencialidades.

Con tales fines fue necesario complementar las investigaciones geológicas en áreas de desarrollo de la fuente de abasto de agua “San Lorenzo” de esta provincia, en la que se ejecutó un volumen de trabajos geofísicos en un área aproximada de 30 km² a solicitud de la Empresa de Investigaciones y Proyectos (EIP) UEB No.1, perteneciente al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) de esta provincia y los cuales fueron ejecutados por el Grupo de Geofísica de la Empresa GEOMINERA de Camagüey. Para lo cual se proyectó la ejecución de un complejo de métodos geofísicos compuesto por: Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), Perfilaje Eléctrico Simétrico (PES), Magnetometría, Campo Eléctrico Natural (CEN) y Cuerpo Cargado, apoyado en la reinterpretación de materiales de trabajos ejecutados anteriormente por esta última empresa. Con tareas geológicas planteada: Definir la geometría y piso del acuífero, Sistema de agrietamiento y fallas, Dirección y velocidad de las aguas y Zona de alimentación y propiedades del acuífero.

ABSTRACT

Last years in our country some provinces have been subjected to the effects of intense droughts mainly all those territories located fundamentally in the oriental part as Holguín, Las Tunas and Camagüey. This situation has also been made to notice in the province of Ciego de Avila characterized by big aquifer reserves that has felt sensitive decrease in their levels. In fact, it has been necessary the study of some main sources with the objective of revaluation their potentialities.

For such ends it was necessary to complement the geologic researches in areas of the source development of water supply “San Lorenzo” in this province. A volume of geophysical works was carried out in an area of 30 km² approximately, due to application of Empresa de Investigaciones y Proyectos (EIP) UEB No.1, that belongs to the Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). Field works were performed by the Group of Geophysics of GEOMINERA Camagüey Enterprise. It was projected a complex of geophysical methods composed by: Vertical Electric Sounding (VES), Symmetric Electric Array (SEA), Ground Magnetic, Spontaneous Electric Field (SEF) and “Misse a la mase”, supported by the re-interpretation of results previously obtained by this Enterprise. The outlined geologic goals were: To define the geometry of the aquifer, to reveal cracking systems and faults, to determine direction, transmissibility of the waters, feeding area and properties of the aquifer.

INTRODUCCIÓN

Para complementar las investigaciones geológicas en áreas de desarrollo de la fuente de abasto de agua “San Lorenzo” en la provincia de Ciego de Ávila, se proyectó la ejecución de un volumen de trabajos geofísicos a solicitud de la Empresa de Investigaciones y Proyectos (EIP) UEB No.1, perteneciente al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) de esta provincia. Estos trabajos comenzaron el 07/06 y finalizaron el 26/05 del presente año y fueron ejecutados por el Grupo de Geofísica de la Empresa GEOMINERA de Camagüey.

Con el objetivo de dar cumplimiento a las siguientes tareas geológicas:

- Definir la geometría y piso del acuífero.
- Sistema de agrietamiento y fallas
- Dirección y velocidad de las aguas
- Zona de alimentación y propiedades del acuífero

De esta forma se previó la ejecución de un complejo de métodos geofísicos compuesto por:

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)
- Perfilaje Eléctrico Simétrico (PES)
- Magnetometría
- Campo Eléctrico Natural (CEN)
- Cuerpo Cargado

Cubriendo un área aproximada de 30 km².

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL SECTOR DE LOS TRABAJOS

El sector de los trabajos se localiza al Noreste de la ciudad de Ciego de Ávila, abarca un área aproximada de 30 Km². (Figura No. 1).

Sus principales vías de acceso son la carretera de Ciego a Morón, la cual divide al sector en dos, la circunvalación Norte (vía Habana) en su extremo suroeste y en la parte sur del sector, la carretera Central Oriente. Existen otros accesos al mismo tales como el camino de Suferri hasta el Plan Porcino del Minaz, camino del Vertedero de la ciudad hasta el obelisco de Cloroberto Echemendía y algunas otras veredas por las que pueden circular transportes ligeros.

La vegetación más característica del área es el marabú, la cual la cubre parcialmente (50%), además de otros arbustos propios de los potreros.

Presenta una red hidrográfica poco desarrollada compuesta de algunos arroyos que aparentemente solo sus aguas corren en el período de lluvias.

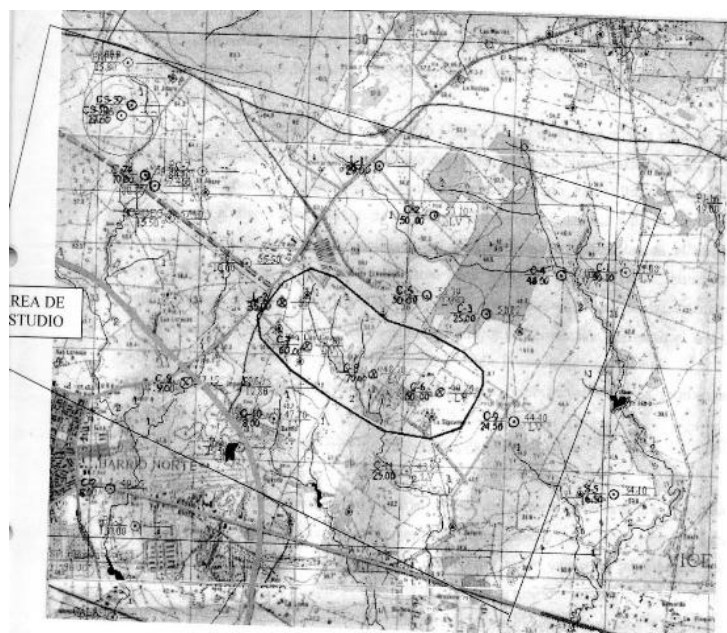


Fig. No.1 Mapa de ubicación geográfica del sector San Lorenzo 1:5000

BREVE CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL SECTOR.

SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2007.
Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de Marzo de 2007

En el área (ver figura No. 2) afloran tanto rocas propias del sustrato o cinturón plegado como del Neoautóctono o Neoplatafórmico, los que casi en su totalidad son cubiertos por sedimentos del Cuaternario, estos últimos dado a su poco espesor e interés a los efectos de los objetivos del presente trabajo y para una mejor comprensión de la constitución geológica del área, no aparecen reflejados en el mapa geológico. El sustrato plegado o cinturón está representado por rocas intrusivas pertenecientes al arco volcánico del Cretácico compuesta por rocas granodioritas y dioritas a las que se subordinan cuerpos de plagiogranitos y granitos cubiertas por secuencias de rocas de las cuencas postvolcánicas y transportadas, (que son las que mayor representación tienen en el área), de las cuales afloran las formaciones: Duran, compuesta por areniscas, gravelitas, conglomerados y algunas calizas; Presa Jimaguayú. la cual aflora hacia la parte sur del sector formando una franja estrecha alrededor de las rocas intrusivas, allí está constituida por calizas biógenas a biodetríticas con fragmentos de rudistas, con frecuencia aparecen estratigráficamente en capas gruesas; Florida, constituida por calizas biodetríticas, calciruditas, calizas margosas, margas, arcillas, calizas biógenas, biomicríticas y en menor grado aleurolitas calcáreas hasta calcarenitas y biocalcarenitas. Estas aparecen por lo general en capas subhorizontales; Vertientes, compuestas por arcillas, aleurolitas, areniscas y gravelitas, seguidas esta formaciones por rocas de la secuencias de ambiente Neoautóctono o Neoplatafórmico representada por la formación Guines, representada por calizas, dentro de las cuales predominan las calizas micríticas, biomicríticas, micrito-detríticas y calizas dolomitizadas, además de dolomitas propiamente.

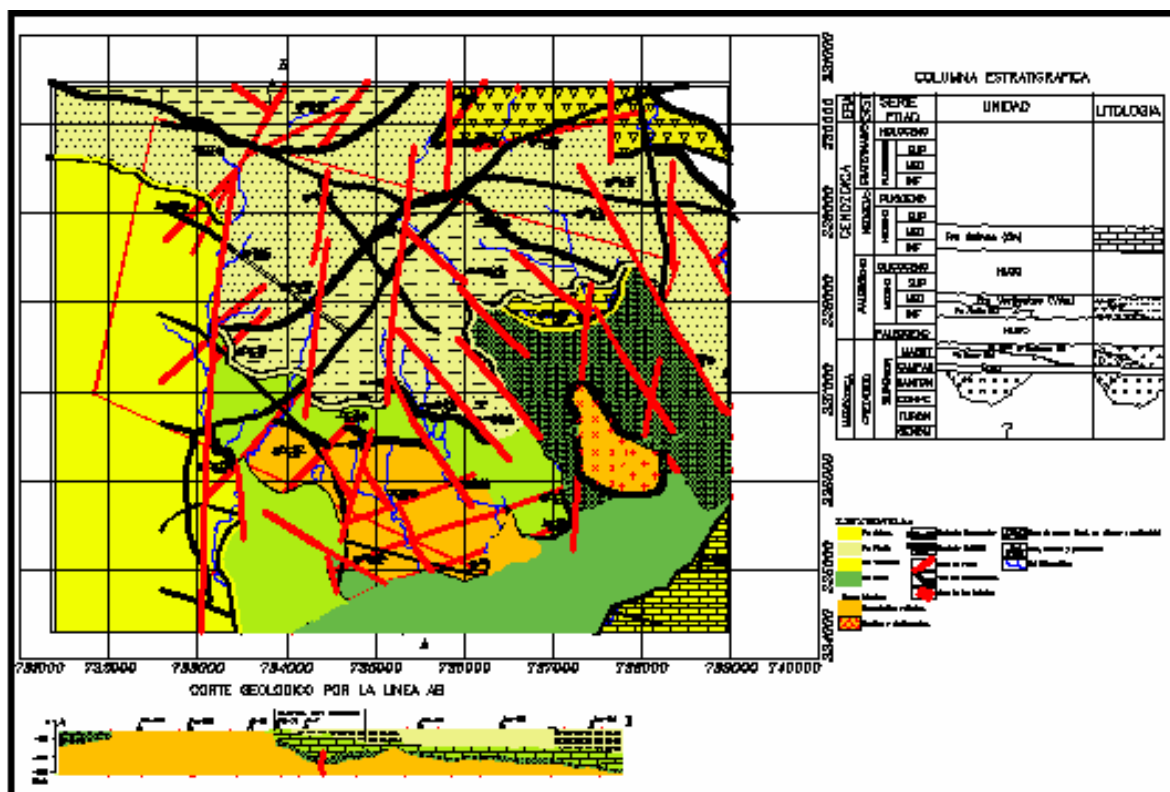


Figura No.2. Mapa geológico del sector de los trabajos “San Lorenzo” a escala 1:25 000.

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LAS POSIBLES CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DEL SECTOR.

A partir del análisis de interpretación geologo-geofísica regional y tectónica del área, así como la revisión de los pozos en el sector para diferentes objetivos de trabajo, se puede definir las posibles condiciones hidrogeológicas del sector. De esta forma nos encontramos en presencia de un acuífero constituido por rocas de las formaciones Jimaguayú y Durán, que pudiera ser un complejo acuífero, pero por existir interrelación hidráulica y comunicación entre sí, se considera como uno solo.

Estas rocas se ubican dentro de una zona que colapsó en forma de horst-graben y posee una forma alargada de unos 4.km de largo y 0.4 km de ancho aproximadamente. Esta cuenca esta limitada por fallas con ángulos que tienen tendencia a converger en profundidad y están orientados según la dirección cubana SE-NW.

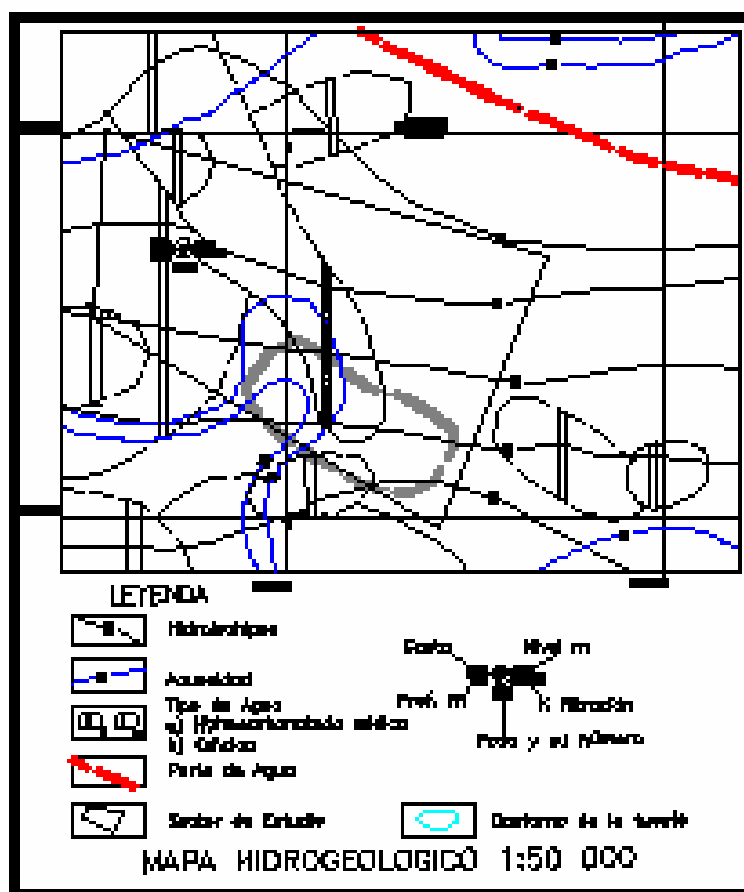


Figura No. 3 Mapa Hidrogeológico del sector.

Verticalmente y según las interpretaciones geofísicas, más los datos de las perforaciones, el límite inferior de la cuenca es variable, debido a la forma de Horst-Graben de la misma, en su fondo se encuentran las rocas intrusivas, localizándose las mayores potencias de esta cuenca, en las inmediaciones de la misma, próximo a la C-8, donde se estiman espesores superiores a los 130 m. El límite superior de este acuífero lo constituye el contacto de la formación Jimaguayú, con la formación Vertientes o en ocasiones con los sedimentos cuaternarios, que son en general sedimentos

de baja permeabilidad en la región y confieren al agua que contienen las rocas que la subyacen cierta presión, lo que se observa en varios pozos de la zona.

Según los resultados del levantamiento geológico 1:50 000 del CAME (ver Figura No. 3), en la región donde se ubica la zona de los trabajos, la dirección predominante del flujo de las aguas subterráneas, es norte-sur y es del norte de donde deben provenir las aguas que alimentan la cuenca donde está nuestro acuífero, a través de fallas y ventanas donde afloran las formaciones Jimaguayú y Durán. Se ha pensado en ocasiones, que también la tectónica a la que está sometido este sector pudiera aportar agua a la cuenca, pero esta vez no solo del norte y del NE, si no de la relación que guardan las fallas que delimitan la cuenca con otros sistemas presentes en el área como es el caso del sistema NE, en el occidente del sector, etc.

Actualmente existen pozos dentro de la cuenca y fuera de ella en zonas donde afloran sedimentos de la formación Jimaguayú, donde se han podido calcular altos parámetros de filtración de estas rocas a partir de los bombeos realizados.

Durante los trabajos del Levantamiento Geológico 1:50 000 del CAME se realizaron estudios hidroquímicos de las diferentes formaciones presentes en el área (dentro y fuera de la cuenca), obteniéndose los siguientes resultados:

- Fm. Guines -----Hidrocarbonatada cálsica (>70%), con mineralización de 1.6g/l.
- Fm. Vertientes-----Hidrocarbonatada sódica y cloruradas sódicas, con mineralización de 1.0-1.5g/l.
- Fm. Florida ----- Hidrocarbonatada cálsica, mineralización hasta 1.5g/l.
- Fm. Presa Jimaguayú--- Hidrocarbonatada cálsica, mineralización <1.0g/l.
- Fm. Durán----- Hidrocarbonatada cálsica, mineralización <1.0g/l.
- Intrusivo----- Hidrocarbonatada cálsica y sódica, mineralización 1.8g/l.

METODOLOGÍA Y VOLÚMENES.

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).

Se considera el método principal. Su tarea fue la definir la geometría (ancho) del acuífero así como su potencia. Este método se ejecutó mediante el empleo de la variante de Polarización Inducida en la modificación de Schlumberger. Su elección nos permitió alcanzar una mayor profundidad de estudio (>100m) debido a la posibilidades técnicas de la estación de PI (DIAPIR), al constar con una fuente de alimentación (Trasmisor) capaz de aportar el voltaje necesario (>380 V y 10 Amperes) para garantizar esta profundidad, además de la posibilidad de poder obtener información adicional como la Polarizabilidad (η) al mismo tiempo que la Resistividad (ρ).

Las dimensiones del dispositivo de alimentación (AB) oscilaron entre los 500-1000 m, con un tiempo de carga de 16 segundos y un paso entre sondeos de 250 m. Utilizándose en el detalle de las zonas de interés un paso de 125 m.

La elección y ubicación de los sondeos se realizaron con la ayuda de planchetas topográficas a escala 1:10,000 partiendo siempre de un punto conocido y de fácil amarre. La distancia entre sondeos se fijó con la ayuda de la misma línea de alimentación para la abertura de 250 m. Los volúmenes ejecutados por líneas aparecen en la tabla No.1.

Perfilaje Eléctrico Simétrico (PES)

Se concibió su ejecución con el objetivo de apoyar el mapeo en área, de aquellas zonas anómalas resultantes del SEV, además de posibilitar la realización de mediciones en aquellos lugares donde no

se pudieran ejecutar los sondeos, pero por motivos ajenos a nuestra voluntad (rotura del equipo) no fue posible emplearlo.

Campo Eléctrico Natural (CEN)

La ejecución de este método se concibió en la posibilidad de determinar zonas donde pudiesen ocurrir procesos de filtración provocados por el movimiento de las aguas subterráneas. La variante utilizada fue la Potencial, (una sola línea) es decir se mantuvo un electrodo de medición (N) fijo y otro móvil (M) en el perfil o línea.

El proceso del trabajo con este método consistió en la selección de un punto central en la línea que nos permitiera medirla en ambos sentidos con un paso de 25 m entre mediciones.

Como equipo de medición se utilizó un multímetro digital capaz de garantizar lecturas con un alto nivel de confiabilidad y precisión, además de apoyarse en el empleo de electrodos de cerámicas no polarizables previamente seleccionados ($\Delta U < 1.0$ mV). Los volúmenes ejecutados por el método aparecen en la tabla No.1.

Exploración Magnética.

Su objetivo fue esclarecer el grado de fallamiento presente en el sector, además de determinar el posible corrimiento del levantamiento aeromagnético, efecto producido durante el vuelo aéreo.

Como parámetro principal se midió la Componente Total (T) del campo magnético terrestre, para lo cual nos auxiliamos del uso de un Magnetómetro Protónico (MMP-203). El paso utilizado en las mediciones fue de 25 m ejecutándose a la par de los trabajos del CEN y en las mismas líneas de los SEV.

Cuerpo Cargado (CC)

En la actualidad no ha sido posible su ejecución debido a la no realización de las perforaciones de los pozos proyectados como resultados de los trabajos hidrogeológicos de evaluación del acuífero. Los volúmenes realizados por el método aparecen en la siguiente Tabla

TABLA DE VOLUMENES FISICOS EJECUTADOS

LINEA	LOCALIZACION	SEV (ptos)	MAGNET (ptos)	CEN (ptos)
0	Carretera Ciego-Morón	9	66	62
1	Camino Suferri-Plan porcino	7	56	33
2	Perfil Long. Siguanea	11	0	0
3	Sembrado de malanga	9	42	40
4	Camino Vertedero-Obelisco	9	56	56
5	Pozo Bombeo Hospital	8	40	38
6	Vaq. San Lorenzo	7	49	41
7	Cicunv. Norte	9	49	42
8	Vaq. Suferri	3	36	22
9	Camino Poblado Suferri	6	51	0
10	Cable Coaxial	5	54	43
11	Vaq. Las Gruyas	5	42	36
12	Arroyo San Lorenzo		29	29
13	Campo arado vaq. San Lorenzo		47	
	TOTAL	88	617	705

PROCESAMIENTO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS MATERIALES.

Los trabajos de gabinete final consistieron: en la recopilación de toda la información existente de trabajos anteriores sobre el sector (Levantamiento Aeromagnético, Gravimétrico terrestre, Levantamiento Geológico e Hidrogeológico) su digitalización y preparación de las bases de datos. Revisión y procesamiento de los datos de campo de los trabajos actuales, así como la creación de las diferentes bases de datos por métodos.

En el procesamiento final de las mediciones se utilizaron Softwares especializados de la actividad tales como: *Surfer*, *RESIXP*, y *AutoCad*. En el caso de la interpretación de los SEV durante los trabajos de campo se estimó la profundidad de estudio para la abertura de $AB=120m$, mediante la correlación con la profundidad de las calizas cortadas en el pozo “sembrado de malanga”; eligiéndose $H=1/6 (AB)$.

RESULTADOS DE LOS TRABAJOS

Interpretación geofísica regional y tectónica del área.

Haciendo una valoración de los resultados de los campos físicos regionales, sobre todo de los levantamientos gravimétricos y aeromagnéticos realizados en la zona a escala 1:50,000, así como del Levantamiento Geológico a dicha escala se pueden obtener los siguientes resultados (ver figura No. 4).

El sector de estudio se encuentra ubicado en una zona muy compleja desde el punto de vista geólogo-tectónico que está dado fundamentalmente por la presencia en el mismo de complejos rocosos pertenecientes a diferentes pisos estructurales, los cuales están sometidos a un intenso fallamiento en diferentes rumbos, que generan una estructura de bloques locales muy compleja y con notables diferencias en su desarrollo geológico.

Geológicamente en el sector afloran rocas pertenecientes a la asociación Vulcano Plutónica del Arco Volcánico Cretácico, compuestas por formaciones efusivo-sedimentarias de dicho arco, así como cuerpos intrusivos de diferentes composiciones. Estos complejos rocosos conforman el piso estructural inferior y son, sin dudas, las rocas más viejas presentes en el área de estudio. El segundo piso estructural o piso medio está compuesta por una asociación molásico-flyshoide, que en nuestra área la conforman las formaciones del Cretácico tardío Durán y Jimaguayú cubiertas en ocasiones por las formaciones paleogénicas Vertientes y Florida. Estos dos pisos estructurales son los que fueron sometidos a un mayor efecto del fallamiento y el plegamiento en el sector y ambos en su conjunto componen el denominado substrato plegado.

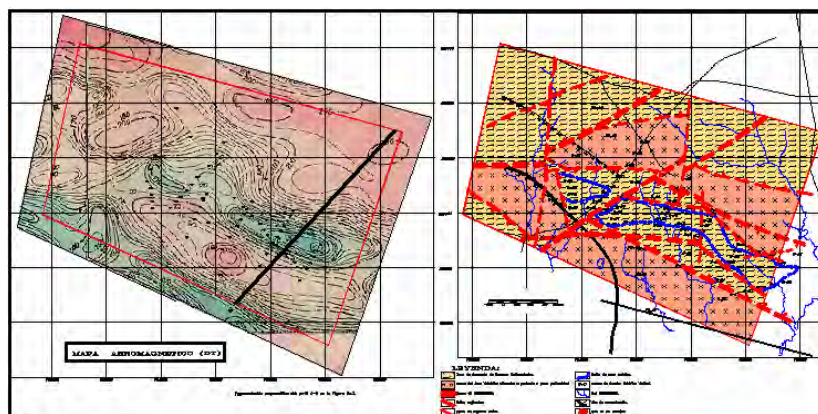


Figura No. 4 Plano de interpretación geofísica regional a escala 1:25000 para el sector San Lorenzo

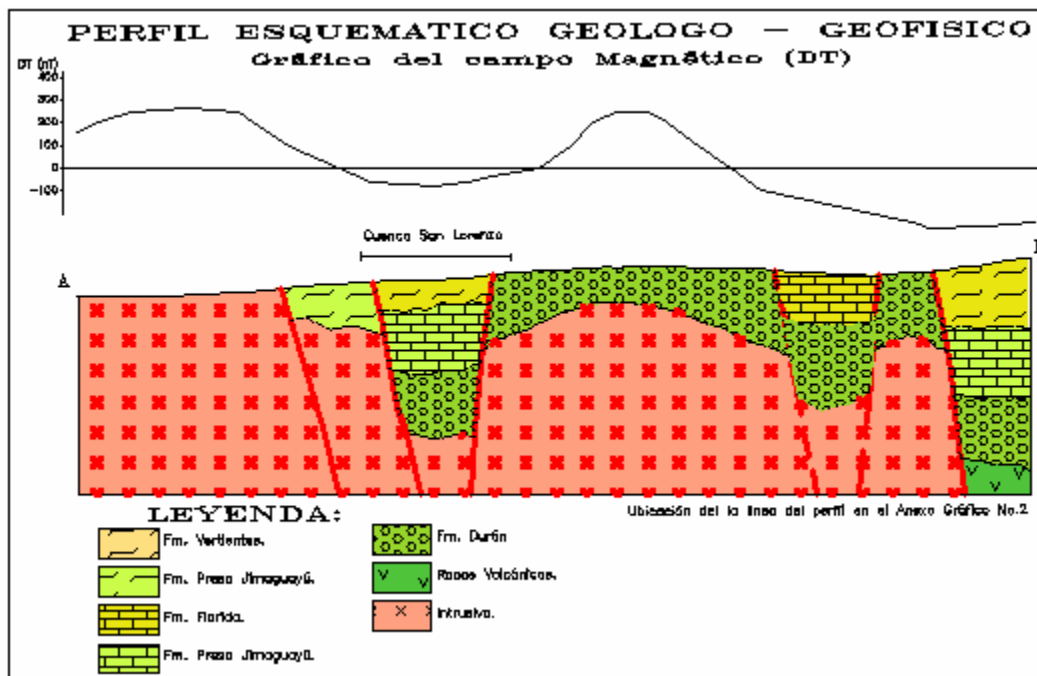


Figura No. 5 Perfil esquemático por la línea AB

El último piso estructural o superior está compuesto por una asociación molásica tardía, que en nuestro caso la componen los sedimentos de las formaciones Arabos, Güines y pequeños espesores del Cuaternario. Este piso es conocido también como la etapa de desarrollo de la neoplateforma en Cuba.

En la interpretación de los campos físicos también se puede inferir que el sector de los trabajos está ubicado prácticamente en su totalidad en una gran zona de falla regional de rumbo aproximado SE – NW, o conocido también como dirección cubana, la cual se ve interrumpida en su extremo occidental por intensas zonas de falla pero de dirección SW-NE, las cuales desplazan al rumbo anterior provocando bruscos cambios de las estructuras geológicas en esa dirección y estos dos rumbos a su vez son cortados y desplazados por zonas de falla de dirección N-S, lo cual provoca que el cuadro tectónico local sea muy complejo dentro del sector. En el desarrollo geológico de estos bloques locales nos concentraremos en lo adelante pues ellos constituyen nuestro principal objeto de estudio para la búsqueda de importantes acuíferos en la región.

Como mencionábamos en párrafos anteriores el sector de los trabajos está casi atravesado en su totalidad por una intensa zona de falla de dirección cubana, esta extensa zona de cizallamiento tectónico en las rocas del Arco Volcánico Cretácico, fue emplazada sin dudas durante el desarrollo de dicho arco y partes de la misma se colapsaron durante los movimientos de ascenso y descenso de las rocas del Cretácico, generando pares de falla de carácter normal que provocaron una estructura de bloques en forma de Horst-Gravens, que marcaron el desarrollo geológico de la región en etapas posteriores. Esta idea de la estructura geológica puede ser apreciada en la sección esquemática A-B de la figura No.5

Por otra parte los trabajos de búsqueda solo pudieron realizarse en la parte central del sector (ver Figura No.1), atendiendo a problemas con el acceso topográfico de las líneas de medición y a que sin dudas era la zona de mayor potencial para el hallazgo de importantes acuíferos. Las líneas de medición fueron ubicadas en lo posible lo más perpendicular que se pudo a la estructura geológica y por eso en su mayoría poseen una dirección próxima al NE.

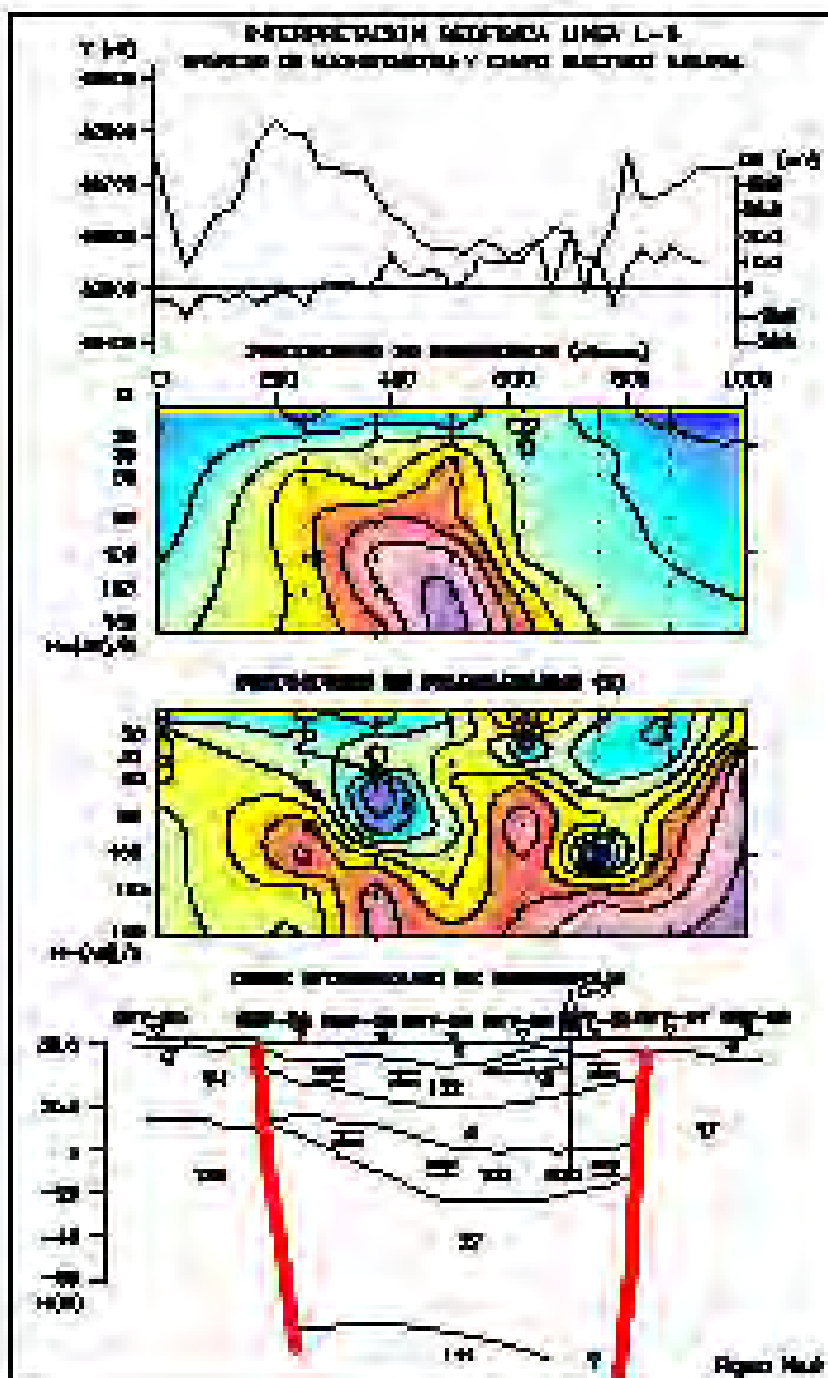


Figura No.6 Interpretación geofísica LINEA-5 a escala 1.10000

Por otra parte, con objetivos cartográficos y estructurales se utiliza como base los resultados obtenidos de los sondeos eléctricos verticales (SEV), para ello se empleó un AB/2 máximo de 500m,

con lo que se logra profundidades de estudio superiores a los 120 m de profundidad en algunos puntos.

En los resultados de la interpretación de los SEV en las líneas 4, 5, y 6 (parte central del área) se puede constatar que las líneas atravesaban una zona deprimida de las rocas del arco volcánico, delimitada por fallas de carácter normal, que generaron una pequeña zona de cuenca estructural, donde se comenzaron a depositar sedimentos desde el Cretácico tardío hasta el reciente. Por eso en esta zona deprimida nos encontramos rocas pertenecientes a las formaciones Durán, Jimaguayú, Vertientes, Güines y sedimentos Cuaternarios. En gran parte de esta zona deprimida se puede interpretar que aún yacen sedimentos de la Fm Durán en la base de la misma, que sobreyacen las rocas del arco y a su vez son cubiertos por sedimentos de la Fm Jimaguayú, que para el caso que nos ocupa reviste la mayor importancia, pues esta formación posee importantes espesores de caliza, que desde el punto de vista hidrogeológico son las rocas de mayor potencialidad acuífera, si a esto le sumamos que estas calizas están subyacidas en ocasiones por margas de la propia formación, o en la mayoría de los casos por arcillas aleurolíticas de la parte superior de la Fm Durán, que en ambos casos constituyen horizontes impermeables, pues estas calizas se convierten sin dudas en nuestro principal objeto de búsqueda. Un ejemplo de estos resultados de las interpretaciones de los sondeos se puede observar en la línea L-5, figura No. 6.

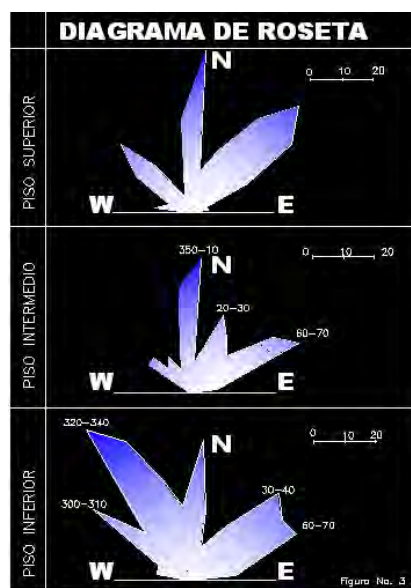


Figura No. 7 Diagrama de Roseta

A manera de resumen desde el punto de vista tectónico en el sector se puede concluir que predominan tres sistemas de fallas fundamentales. Como principal sistema se ubica la dirección cubana de rumbo aproximado SE-NW, un segundo sistema en importancia de rumbo SW-NE, también conocido en la región como rumbo Camagüey, en honor a la falla del mismo nombre y que desplaza al rumbo anterior evidenciando ser posterior en el tiempo y finalmente un sistema N-S, considerado un sistema neotectónico, pero que sin dudas ha tenido un papel importante en el desarrollo geológico de los bloques que ellos delimitan. Es bueno destacar que en ocasiones se pueden interpretar zonas de falla de dirección E-W, aunque son las menos, guardando siempre una relación muy compleja con el resto de los sistemas.

En el diagrama de roseta obtenido a partir de los datos geólogo-geofísicos (Figura No.7), se puede observar el predominio de los diferentes rumbos del fallamiento, para los diferentes pisos

estructurales, este diagrama es válido para el sector de los trabajos y la región de Ciego de Ávila en general.

Además estos criterios, también se manifiestan con los resultados del SEV para la abertura de $AB=120$ m con los que se confeccionaron mapas de isoanómalas para la resistividad y polarizabilidad (Figura No.8 y 9), en los que se reflejan bastante bien la posición de dos horizontes resistivos un primero localizado entre las líneas 9, 1, 3, 4 y 5 con valores de resistividad entre 100-150 ohmm y un segundo horizonte localizado al oeste de la línea 0 y mapeado por la línea 6 con valores de resistividad en el orden de los 50-70 ohmm, los cuales además aparece bastante definido por valores bajos de η ($<1.0\%$). En estos mapas también se pueden observar como las isoanómalas se interrumpen a la altura de las líneas L-5 y L-0, provocando que se separen las zonas resistivas en dos cuerpos diferentes. Esto está dado por el efecto del fallamiento de rumbo NE, que en esta zona del sector es muy intenso y provocó la ruptura y el desplazamiento de las estructuras geológicas en este sentido.

MÉTODOS ESPECIALES.

En cuanto a los resultados obtenidos por el Campo Eléctrico Natural se puede decir que se establecieron una serie de zonas anómalas asociadas con máximos de ΔU (mV) sobre el horizonte resistivo detectado durante los trabajos de SEV y que supuestamente se asocia a las calizas que forman parte de este acuífero y que debido al grado de porosidad que pueden presentar permiten la circulación interna de las aguas subterráneas provocando campos eléctricos naturales de filtración.

Zonas bien definidas de anomalías de CEN aparecen en las líneas L-3, L-4, L-5 y L-6, con valores de potencial espontáneo que alcanzan los +25 mV, en todos estos casos asociados con esta capa de rocas resistivas, por otra parte se puede observar sobre la línea L-0, entre los sondeos S-50, S-1A, S-49 y S-40 un cambio de signo con valores por debajo de los -10 mV lo cual puede estar motivado por cercanía de una cañada (20 m al Sur) por donde en períodos de lluvias puede ocurrir infiltración de las aguas superficiales al subsuelo. Valores anómalos por encima de los +40 mV y más puede observarse hacia el norte del sector y fuera de la zona anómala resistiva y en particular en la línea L-4, asociado este efecto probablemente con la presencia de secuencias de rocas conductoras (arenisca, arcillas) probablemente (ζ ?) saturadas en humedad.

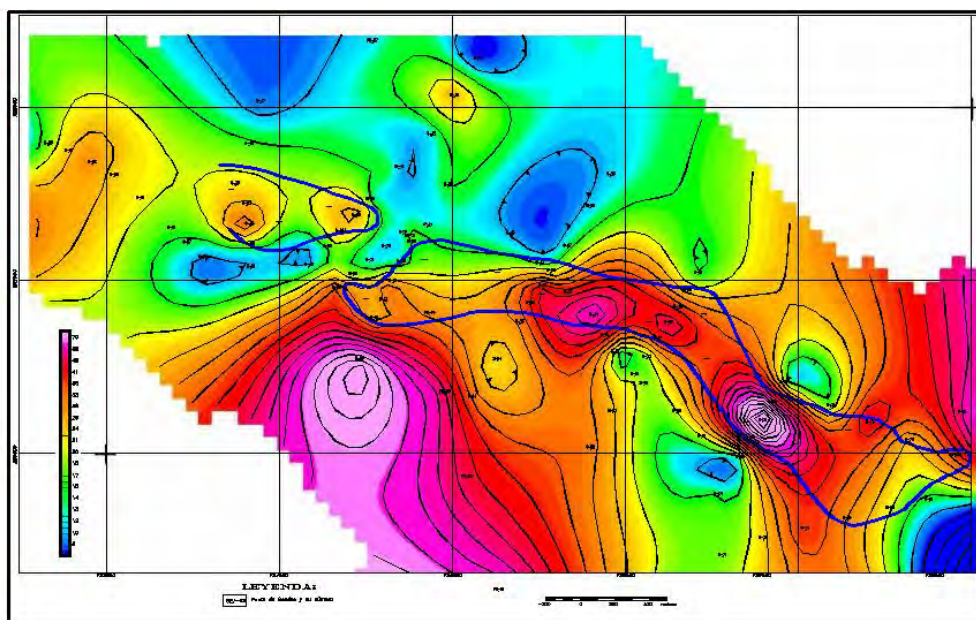


Figura No. 8 Plano de isocurvas de resistividad para $AB/2= 60$ m, 1:100000

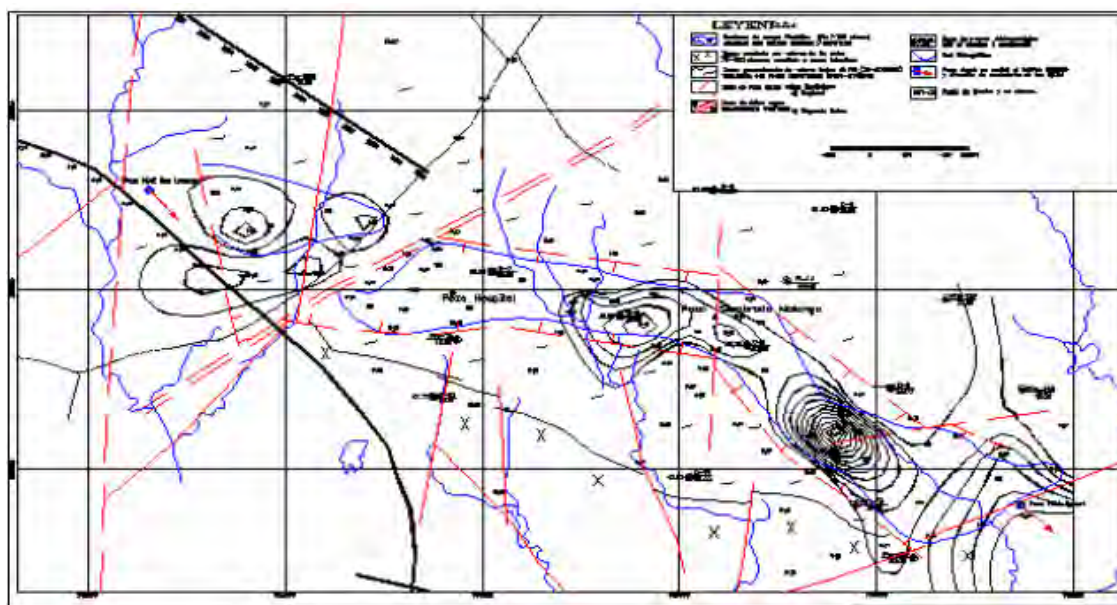


Figura No. 9 Mapa de resultados de los trabajos geofísicos, 1:10000 Valores anómalos por encima de los +40 mV y más puede observarse hacia el norte del sector y fuera de la zona anómala resistiva y en particular en la línea L-4, asociado este efecto probablemente con la presencia de secuencias de rocas conductoras (arenisca, arcillas) probablemente (?) saturadas en humedad.

CONCLUSIONES.

- Se logró mediante la utilización del método Geoelectrico –Sondeo Eléctrico Vertical de PI- definir la posición tanto areal como en profundidad de un lente confinado de rocas carbonatadas pertenecientes a la formación Jimaguayú, que debe ser la fuente fundamental del acuífero “San Lorenzo” y que presenta una longitud aproximada de 3-3.5 km con un ancho promedio de 400 m
- Se delimitó con el Campo Eléctrico Natural las zonas donde pueden estar ocurriendo los procesos de infiltración de las aguas subterráneas.
- Con el empleo de la Exploración Magnética se logró definir el carácter tectónico-estructural del área que comprende la cuenca y las rocas que la delimitan Predominando para el piso superior la dirección NNE (0°-40°), para el piso intermedio la dirección norte (NNW), mientras que en el piso inferior el mayor agrietamiento se localiza en la dirección NW (320°-340°).

RECOMENDACIONES

- Ejecutar las mediciones de Cuerpo Cargado en los nuevos pozos que se realicen, lo cual nos permitiría obtener una mayor definición del acuífero tanto en dirección como en velocidad del movimiento de las aguas, para lo que se recomienda mantener el acuífero en reposo absoluto, es decir no pueden realizarse trabajos de bombeo en ningún pozo aledaño en el momento del estudio.
- Ejecutar en nuevas áreas, el complejo de métodos utilizados, que tan buenos resultados ofreció, empleando el uso de la Topografía (trazado en redes) lo cual garantizaría una mayor

densidad de estudio y la posibilidad de emplear otros métodos geoelectricos más ligeros y rápidos.

- No quisiéramos finalizar sin antes comentar que en la región de Ciego de Ávila pudieran encontrarse un sin número de zonas como éstas, que pudieran garantizar el abasto de agua para los objetivos que se necesiten, pues condiciones geológicas y estructurales existen para ello, solo se necesitaría realizar una interpretación previa de los Levantamientos Geofísicos y Geológicos realizados en la zona, que permitan ubicar los trabajos de búsqueda con mejor precisión y mayor garantía de éxito, porque sin dudas esta zona de Ciego de Ávila y sus alrededores posee las mejores condiciones para el hallazgo de importantes acuíferos en toda esta región.

BIBLIOGRAFIA

- Barrera Abella Luís y otros, Informe sobre los trabajos de estudio del acuífero de San Lorenzo INRH-Camagüey, 1984.*
- Colectivo de autores. 1990. Informe sobre los resultados del levantamiento Geológico Complejo del polígono Camagüey para los sectores de Ciego de Ávila y Vertientes, CUBA-RDA, a escala 1:50 000*
- Danko J. Azze P. A. Geoelectricidad I, Universidad de la Habana, 1974.*
- Komarov V.A., Método de Polarización Inducida, Niedra, 1980.*
- Velusov. M. A., Método de Campo Eléctrico Natural, Niedra, 1980*
- Informe sobre los resultados Aerogeofísico para la provincia de Ciego de Ávila (hoja Ceballo-Ciego de Ávila) a escala 1:50 000, ejecutado por colectivo de especialistas Soviéticos, 1984.*

EVALUACION PRELIMINAR DE LAS POSIBILIDADES ACUÍFERAS EN LA CIUDAD DE DONDO, ANGOLA

Willy Roberto Rodríguez Miranda ⁽¹⁾, Aníbal Baldoceda Maldonado ⁽²⁾.

(1) Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Calle 114, No. 11901, e/119 127, Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: willy@civil.cujae.edu.cu

(2) Universidad Agostinho Neto (UAN), Ave. 4 de Fevereiro, No. 796, Luanda, Angola, E-mail: abaldoceda@yahoo.com

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar las posibilidades de localizar varios puntos para la captación de aguas subterráneas en la Ciudad de Dondo, se realizó una evaluación preliminar por los especialistas del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias de la UAN.

Durante la evaluación preliminar efectuada, se verificó que en la región aparecen rocas de varios tipos y edades, así como también son observados sistemas de fallas y evidencias de metamorfismo.

Para la evaluación preliminar de la región, se procedió a la interpretación de imágenes satelitales y aéreas. Esta evaluación, permitió llevar a cabo una caracterización foto-geológica del área que más tarde fue comprobada durante la visita de campo.

Durante la visita de campo fue probada la existencia de abundantes recursos hidráulicos, sus características principales, así como también se pudo esperar la presencia de varios horizontes acuíferos.

Finalmente y tomando como base esta evaluación preliminar se realizó la propuesta de los trabajos geofísicos necesarios para la ubicación correcta de las captaciones para las aguas subterráneas.

ABSTRACT

The aim of this paper was to evaluate the possibilities to locate several points for the reception of underground waters in the Dondo City; it was carried out a preliminary evaluation for specialists of the Geophysics Department of the Faculty of Sciences of the Agostinho Neto University.

During the preliminary evaluation, it was possible to verify that in the region rocks of several types and ages appear, as well as systems of faults and evidences of metamorphism are observed.

For the preliminary evaluation of the region, the authors proceeded to the interpretation of satellite and aerial images. This evaluation, allowed carrying out a photo-geologic characterization of the area that it was proven during the field visit.

During the field work the existence of abundant hydraulic resources was proven, its main characteristics, as well as the presence of several aquifer horizons will be expected.

Finally and taking like base this preliminary evaluation was carried out the proposal of the necessary geophysical program for the correct location of the receptions for the underground waters.

INTRODUCCION

La Ciudad de Dondo, en el centro este de la nación angolana presenta grandes problemas con el abastecimiento de agua a la población, a pesar de que la región se encuentra en un área geográfica que posee abundantes recursos hidráulicos debido a las consecuencias, aún no superadas, de una guerra civil que sacudió al país por más de 30 años.

Durante la ejecución de estos trabajos, solicitados al Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Agostinho Neto (UAN) por la dirección de la fábrica de bebidas existente en la localidad y ubicada en las coordenadas geográficas 9°26'27.67" de latitud Sur y 14°26'27.67" de longitud Este con una altura aproximada de 80 m (figura 1), se pretendía valorar las posibilidades

de ubicar varias captaciones de agua en los límites de la propiedad que permitieran comenzar la producción en la misma (Rodríguez et al, 2005).

RESULTADOS

En el momento en que se desarrolló esta investigación, la fábrica, para el suministro de agua, poseía una tubería que llega desde el cercano Río Kwanza, aproximadamente a 1 km al Sur de la propiedad, pero que había sufrido diversas roturas, debido a actividades de la población, que la han perforado en varios sectores. Esta situación no garantizaba la posibilidad de un suministro estable a las instalaciones de la fábrica, por lo que su dirección decidió, utilizar la variante de proveerse del agua necesaria mediante el empleo de pozos ubicados en los límites de su propiedad y las investigaciones necesarias para la correcta ubicación de estos pozos se ejecutaron por un colectivo de profesores del Departamento de Geofísica (Rodríguez et al, 2005).

Para poder ejecutar la tarea planteada, fue necesario recopilar la poca información geológica existente sobre la zona y auxiliarse de las posibilidades que brindaban algunas imágenes satelitales y aéreas disponibles. Este trabajo preliminar, permitió la creación de una visión panorámica del área de interés, que fue posteriormente verificada y perfeccionada durante los trabajos de campo.

Geología e Hidrología.

En la región afloran rocas de varios tipos y edades, así como se observan varios sistemas de fallas y la presencia de metamorfismo, lo que proporciona cierta complejidad geológica a la misma. Esto pudo ser verificado por los especialistas del Departamento de Geofísica durante la evaluación preliminar realizada el día 18 de agosto del 2005. Las instalaciones de la fábrica se ubican sobre la Formación Arenas Cinzentas, de edad Cuaternario y alto contenido de sílice, estas arenas están asociadas a los depósitos aluviales de la cuenca hidrográfica del Río Kwanza. También pudo observarse la presencia de conglomerados y arcillas pertenecientes a la Formación Cuvo, así como el contacto con los esquistos metamórficos de edad Precámbrico (figura 2) (Rodríguez y Baldoseda, 2005).

Desde el punto de vista hidrológico el área posee recursos fluviales importantes, así como existen horizontes acuíferos subterráneos, de los cuales, la población se abastece en algunas áreas como los barrios Kafuma y Terra Nova, pero no con fines de consumo humano debido a que se trata de aguas salobres. Esta situación, permite suponer la presencia de un primer horizonte acuífero subterráneo en los primeros estratos rocosos, pero que no podría ser utilizado en la fábrica de bebidas, por no ser potable y entonces, se hace necesaria la investigación en los horizontes mas profundos, en aras de descubrir la presencia de un segundo horizonte colector con agua de calidad y en las cantidades necesarias para ser utilizada en las instalaciones de la fábrica (Rodríguez y Baldoseda, 2005). Uno de los pozos artesianos ubicado casi al borde de la carretera en el barrio Kafuma, se rellenó durante la última inundación ocurrida en el área en enero del 2005 y esta fuera de uso, mientras que otro ubicado en el mismo barrio, pero después de la línea férrea pudo ser evaluado y se obtuvo la siguiente información:

- ◆ El nivel de agua se encuentra a los 2 m.
- ◆ La profundidad estimada es de 10 m.
- ◆ La calidad del agua no es apta para el consumo humano, debido a su salinidad y a la presencia de gran cantidad de basura vertida a su interior por la población.
- ◆ Durante la época de lluvia el nivel del agua sube casi hasta la superficie.

Finalmente, se debe señalar, que la región donde se ubica la fábrica, esta caracterizada por la presencia de 3 cursos fluviales: el Río Kwanza al Sur, el Río Mucoso al Oeste y el Río Capacala al Este. Los 2 últimos sólo vierten aguas al Kwanza durante la época de lluvias, pero en el cauce del

Mucoso la población excava agujeros a mano de donde brota el agua que es utilizada en funciones varias (figura 3).

Trabajos Geofísicos Propuestos.

Después de finalizados los trabajos de campo, así como el análisis de la situación geológica presente en la zona de Dondo, se propuso la ejecución de los siguientes trabajos geofísicos para la caracterización de los posibles horizontes acuíferos y la correcta ubicación de los pozos de captación (figura 4) (Rodríguez et al, 2005).

- ◆ Ejecución de 3 Sondeos Eléctricos Verticales con abertura máxima 500 m:
 - Uno con dirección paralela al límite este de la propiedad colindante con la carretera de entrada a Dondo.
 - Uno con dirección paralela al límite oeste de la propiedad colindante con el cauce del Río Mucoso.
 - Uno perpendicular a los dos anteriores y ubicado en la dirección paralela a la cerca perimetral norte de las instalaciones de la fábrica.
- ◆ Estos SEV permitirán esclarecer el corte geoléctrico y proponer la geometría de los diferentes horizontes, así como delimitar las aberturas a utilizar en los PEV.
- ◆ Ejecución de Perfilaje Eléctrico Vertical a Dos Aberturas con distancia entre puntos de 20 m:
 - Perfil I paralelo al límite este de las instalaciones.
 - Perfil II paralelo al límite oeste de las instalaciones.
 - Perfil III paralelo al límite norte de las instalaciones.
 - Perfil IV paralelo al límite sur de las instalaciones.
- ◆ Estos PEV permitirán cartografiar en superficie los diferentes horizontes geoeléctricos existentes, así como proponer los mejores lugares para ubicar las perforaciones.
- ◆ Con los resultados anteriores realizar la modelación tridimensional de los horizontes geoeléctricos estudiados para ubicar los pozos necesarios en las áreas más perspectivas.

CONCLUSIONES

En el área de estudio se debe esperar la presencia de varios horizontes acuíferos de acuerdo a la evaluación preliminar realizada por los especialistas del Departamento de Geofísica.

Aunque existe un primer horizonte acuífero subterráneo a menos de 2 m de profundidad y con un espesor que puede variar en algunas decenas de metros, el agua del mismo no es de calidad adecuada para su consumo y tampoco para su uso en las actividades de la fábrica, sin un tratamiento previo, que podría encarecer considerablemente su funcionamiento.

Debido a las características hidrogeológicas de la región, es de esperar la presencia de al menos, un segundo horizonte colector, donde el agua posea la cantidad y calidad necesarias para su uso en las actividades de la fábrica.

BIBLIOGRAFIA

- Rodríguez Miranda, W. R., et al, 2005. Relatório técnico dos trabalhos geólogo - geofísicos na Cidade de Dondo. Departamento de Geofísica, UAN, Luanda.
- Rodríguez Miranda, W. R., A. Baldoseda, 2005. Avaliação foto - geológica preliminar das possibilidades aquíferas na Cidade de Dondo. Jornadas Científicas da Faculdade de Ciências, UAN, Luanda.



Figura 1. Ubicación geográfica de la Ciudad de Dondo.

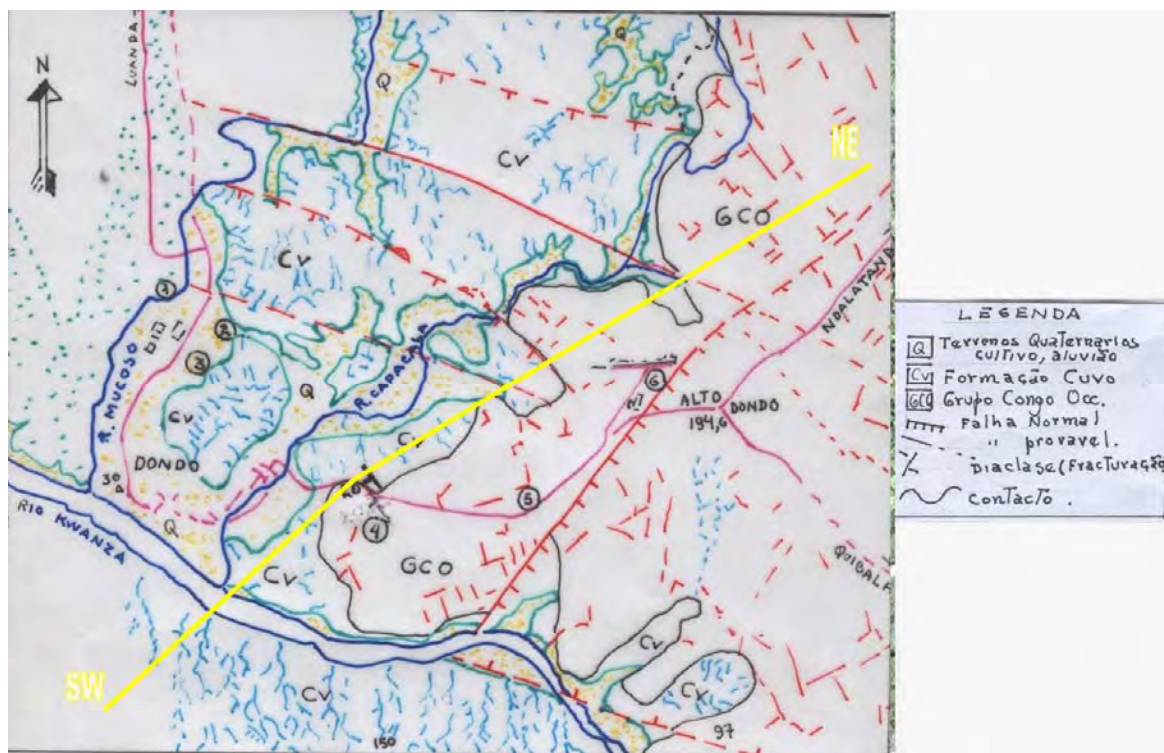




Figura 2. Esquema foto-geológico del área estudiada.



Figura 3. Pobladores abasteciéndose de agua en el río Mucoso



Figura 4. Ubicación de los SEV en los alrededores de la fábrica de bebidas de Dondo.

MODELACIÓN 3D DE DATOS GRAVIMÉTRICOS DE LA CUENCA CENTRAL

**Aliuska Peña Reyna⁽¹⁾, José A. Batista Rodríguez⁽¹⁾, Yanquiel Martínez Martínez⁽¹⁾,
Jesús Blanco Moreno⁽¹⁾**

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico, Las Coloradas s/n, Moa, Holguín, Cuba, E-mail: apreyna@ismm.edu.cu.

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza la modelación 3D de datos gravimétricos de la Cuenca Central combinando datos geofísicos, geológicos, topográficos y de perforación.

Con la interpretación de los resultados se determinaron nuevas estructuras tectónicas que no habían sido descritas hasta el momento y se corroboraron las ya existentes. Se muestran mapas de variación de profundidades de las rocas sedimentarias, vulcanógenas pertenecientes al arco de islas volcánico del Cretácico, rocas intrusivas, de la asociación ofiolítica y las secuencias plegadas y sobrecorridas del antiguo margen de las Bahamas. Los elementos aportados durante la interpretación sugieren aspectos relacionados con el emplazamiento de los mantos ofiolíticos en la región.

El procesamiento e interpretación de los datos geofísicos de esta región ayudará profundizar en las características geológicas de la Cuenca Central a partir de la modelación 3D de datos gravimétricos, evidenciando el marcado control tectónico de las estructuras geológicas de esta región. Estos elementos permiten orientar con mayor eficiencia los futuros trabajos de prospección de petróleo y gas, ya que caracterizan las estructuras y rocas propicias para la acumulación de hidrocarburos.

ABSTRACT

Presently work is carried out the modelation 3D of gravimetric data of the Central basin combining geophysical, geologic, topographical data and of perforation.

With the interpretation of the results new tectonic structures were determined that they had not been described until the moment and those were already corroborated existent. Maps of variation of depths of the sedimentary rocks are shown, volcanic belonging to the volcanic arch of islands of the Cretaceous, rocks intrusivas, of the association ofiolitic and the folded sequences and overthrust of the old margin of the Bahamas. The elements contributed during the interpretation suggest aspects related with the location of the mantels ofiolitic in the region.

The prosecution and interpretation of the geophysical data of this region will help deepen in the geologic characteristics of the Central basin starting from the modelation 3D of gravimetric data, evidencing the marked tectonic control of the structures geologic of this region. These elements allow guiding with more efficiency the future works of prospecting of petroleum and gas, since they characterize the structures and favorable rocks for the accumulation of hydrocarbons.

INTRODUCCIÓN

Geográficamente el área de estudio se localiza en la porción central de Cuba, abarcando las provincias Sancti Spíritus y Ciego de Ávila, con un área de 8521,83 km² (Figura 1). En la misma se han realizado diversas investigaciones geológicas y geofísicas, dirigidas fundamentalmente a la prospección de petróleo y gas (Ipatenko, 1963; Rodríguez, 1980; Rodríguez, 1993; Cuevas et al., 1995; Rajadel, 1995; MacPhee et al., 1998; Blanco, 1999).

En trabajos precedentes (Sorá et al., 2005; Medina et al., 2005; Echeverría et al., 2005) se han efectuado interpretaciones cualitativas y cuantitativas de datos geofísicos y se han obtenido modelos geofísicos solo de las áreas de mayor interés petrolero, con los cuales se tuvo una idea sobre la forma, tamaño, profundidad y espesor de los principales tipos de rocas y estructuras responsables de

las anomalías geofísica observadas. Teniendo en cuenta que la caracterización geológica y estructural del área se ha realizado fundamentalmente en las zonas más importantes económicamente, en este trabajo tiene como objetivo profundizar en las características geológicas de la Cuenca Central a partir de la modelación 3D de datos gravimétricos.

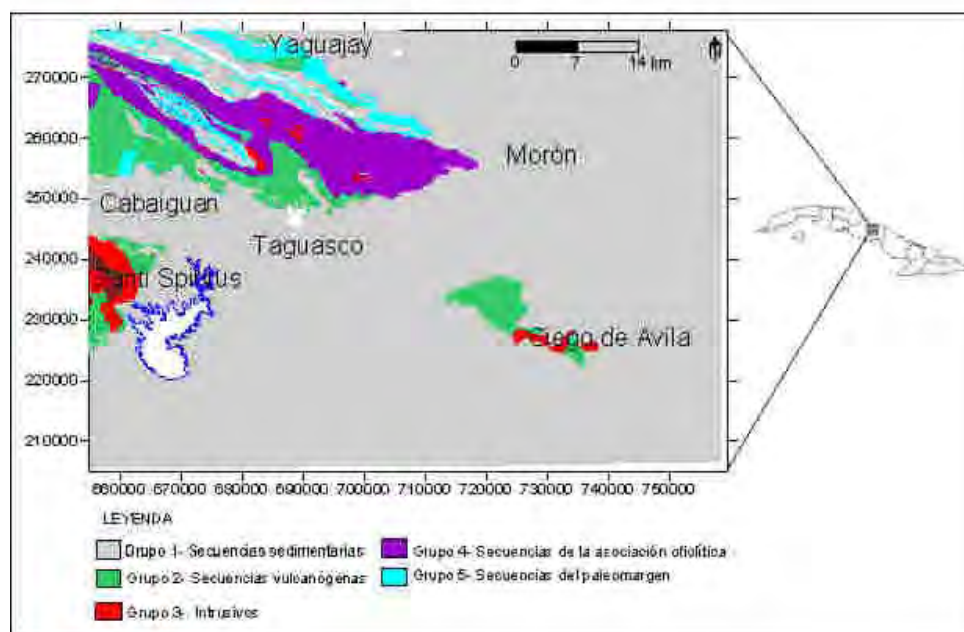


Figura 1. Mapa de ubicación geológica esquemático de la región central.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos gravimétricos utilizados en esta investigación pertenecen al levantamiento gravimétrico de Cuba Central 1: 100 000. La información geológica empleada se obtuvo del mapa geológico a escala 1: 100 000 para Cuba Central (Figura 1, García et al., 1998).

Durante la modelación 3D se tuvo en cuenta la información obtenida de los pozos perforados en la región de estudio destinados a la prospección y exploración de petróleo y gas por la EPEPGO, por la donde se determinaron espesores de unidades litológicas teniendo en cuenta los dominios paleogeográficos y paleotectónicos propuestos por (Cobiella-Reguera, 1998, 2000). Para realizar el proceso de modelación 3D se siguió la metodología sugerida por Gallardo et al. (2003); Batista y Pérez, 2005; Pérez et al. (2005), en la cuál inicialmente se definen los grupos o capas de rocas que conforman el modelo a priori. Para lograr una mejor caracterización tridimensional de la estructura de la región, se trazaron secciones transversales en las diferentes capas, en dirección N-S y E-W.

Para la modelación 3D se utilizaron las densidades 2.2 g/cm^3 para la cobertura sedimentaria(1), 2.56 g/cm^3 para la las secuencias vulcanógena-sedimentarias(2), 2.60 g/cm^3 para los cuerpos intrusivos(3), de 2.46 g/cm^3 para las rocas de la asociación ofiolítica(4), de 2.50 g/cm^3 para las secuencias del Paleomargen de Bahamas(5) y de 2.8 g/cm^3 para el basamento metamórfico(6), con las cuales se obtienen contraste de: Grupos 1/2= -0.36 g/cm^3 ; Grupos 2/3= -0.04 g/cm^3 ; Grupos 3/4= 0.14 g/cm^3 ; Grupos 4/5= -0.04 g/cm^3 y Grupos 5/6= -0.30 g/cm^3 .

Durante la interpretación de los datos gravimétricos se tuvieron en cuenta la constitución geológica de la región en superficie y profundidad y las densidades de las rocas. Esta se realizó con el fin de

caracterizar el medio, de acuerdo al carácter de las anomalías, debido a que la génesis de las mismas está relacionada con la presencia en el subsuelo de estructuras geológicas y tectónicas, además de las conexiones existentes entre ambas.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

En nuestro caso hacemos un bosquejo de las generalidades geológicas teniendo en cuenta los dominios paleogeográficos y paleotectónicos propuestos por (Cobiella-Reguera, 1998, 2000), los cuales se extienden en fajas que siguen aproximadamente el rumbo en Cuba de norte a sur (Figura 1)

El cinturón plegado cubano está mejor representado en la parte central de Cuba fundamental por las rocas del arco de islas volcánico del Cretácico, más una corteza ofiolítica que cabalga sobre las secuencias terrígeno- carbonatadas y carbonatadas del antiguo margen continental de edad Jurásico-Cretácico (Meyerhoff y Hatten, 1974; Quintas, 1989; Draper y Barros, 1994; Iturralde- Vinent, 1996).

Todo el conjunto está complejamente deformado debido al proceso de colisión (Ross y Scotese, 1988; Pindell et al., 1988; Pindell, 1994), y según los modelos y cinemática de las placas en convergencia, se desarrolló una colisión oblicua (Mann et al., 1995) del arco de islas volcánico Cretácico y las ofiolitas con las rocas del paleomargen continental, que provocó la obducción del cinturón ofiolítico del mar marginal, desde fines del Cretácico superior al Eoceno medio, con el correspondiente desarrollo de plegamiento y cabalgamientos en dirección septentrional, con magnitudes diferentes de desplazamiento, originándose fallas de deslizamiento por el rumbo con sus respectivas cuencas tensionales.

Como consecuencia de las relaciones tectónicas entre las diferentes estructuras geológicas implicadas en la obducción y colisión, se desarrollan importantes cuencas transportadas, sistemas de cuencas de antepaís y cuencas tensionales que en la actualidad presentan gran importancia en la exploración de acumulaciones de petróleo.

Las características de las estructuras tectónicas y la observación de la constitución profunda permiten dividir en un corte transversal el segmento central de Cuba con una dirección de norte-sur los dominios paleogeográficos y paleotectónicos siguientes:

1. Secuencias de un paleomargen pasivo septentrional.
2. Cinturón ofiolítico septentrional.
3. Terreno del arco volcánico Cretácico.
4. Secuencias del paleomargen pasivo meridional metamorfizados.

El terreno del arco volcánico Cretácico y el Cinturón ofiolítico septentrional constituyen una zona axial que yace tectónicamente sobre las secuencias de un paleomargen pasivo septentrional al norte y las secuencias del paleomargen pasivo meridional metamorfizados al sur. El acoplamiento de estas unidades para formar el basamento transcurrió entre el Aptiano y finales del Cretácico, aunque los eventos orogénicos Cenozoicos dieron el toque final a su configuración actual (Cobiella-Reguera, 2000).

RESULTADOS

Atendiendo a las particularidades geológicas de la región de estudio y de los datos gravimétricos, se realiza la interpretación cuantitativa de la modelación 3D obtenida. En este mapa se observa que las respuestas del campo gravimétrico calculado en el modelo 3D, son similares a las del campo

gravimétrico observado, aunque se observan pequeñas diferencias en cuanto a los mínimos y máximos de intensidades del campo gravimétrico observado y calculado. Además la forma de las anomalías son más sinuosas.

El modelo calculado a partir de la modelación 3D muestra poca diferencia con respecto a los datos gravimétricos observados (Figura 2).

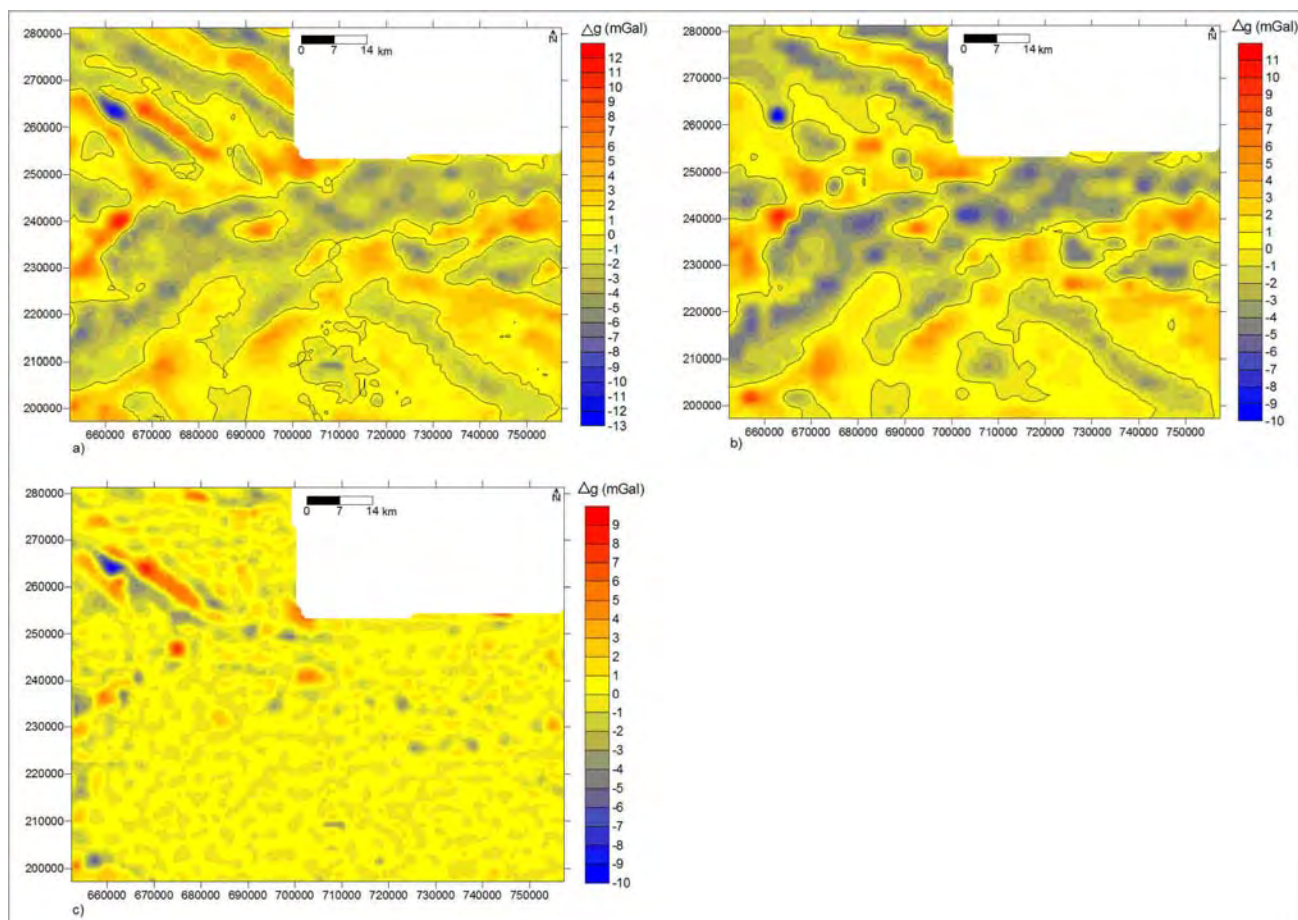


Figura 2. Comparación entre datos observados y modelo calculado (a, Datos gravimétricos observados; b, Modelo calculado; c, diferencia entre los datos observados y el modelo calculado).

Luego de haber calculado el modelo 3D se obtuvieron los mapas de profundidades de los 5 grupos de rocas considerados durante la modelación (Figuras 3. El grupo 1 (Figura 3a) presenta sus mayores profundidades se encuentran en forma de franja con dirección E-W, la cual se entiende hacia el sur oeste en la porción centro oriental donde alcanza valores de 2.2 km. Las menores profundidades de este grupo se encuentran en la porción noroccidental del área de estudio.

El grupo 2 (Figura 3b) alcanza las mayores profundidades hacia la parte central, centro y sur occidental y en menor medida al sur del mapa con potencias de 5 km. Las mayores áreas de profundidades medias se encuentran en el centro y sur con valores que varían entre 2,6 y 3 km, mientras que los menores valores de profundidad los encontramos al noroeste.

Las zonas más profundas en el grupo 3 (Figura 3c) se encuentran en la porción central y en menor medida en algunas áreas al noroste alcanzando profundidades de 7.3 km. Aunque en casi toda la región presenta valores medios, solo con valores mínimos hacia el noroeste.

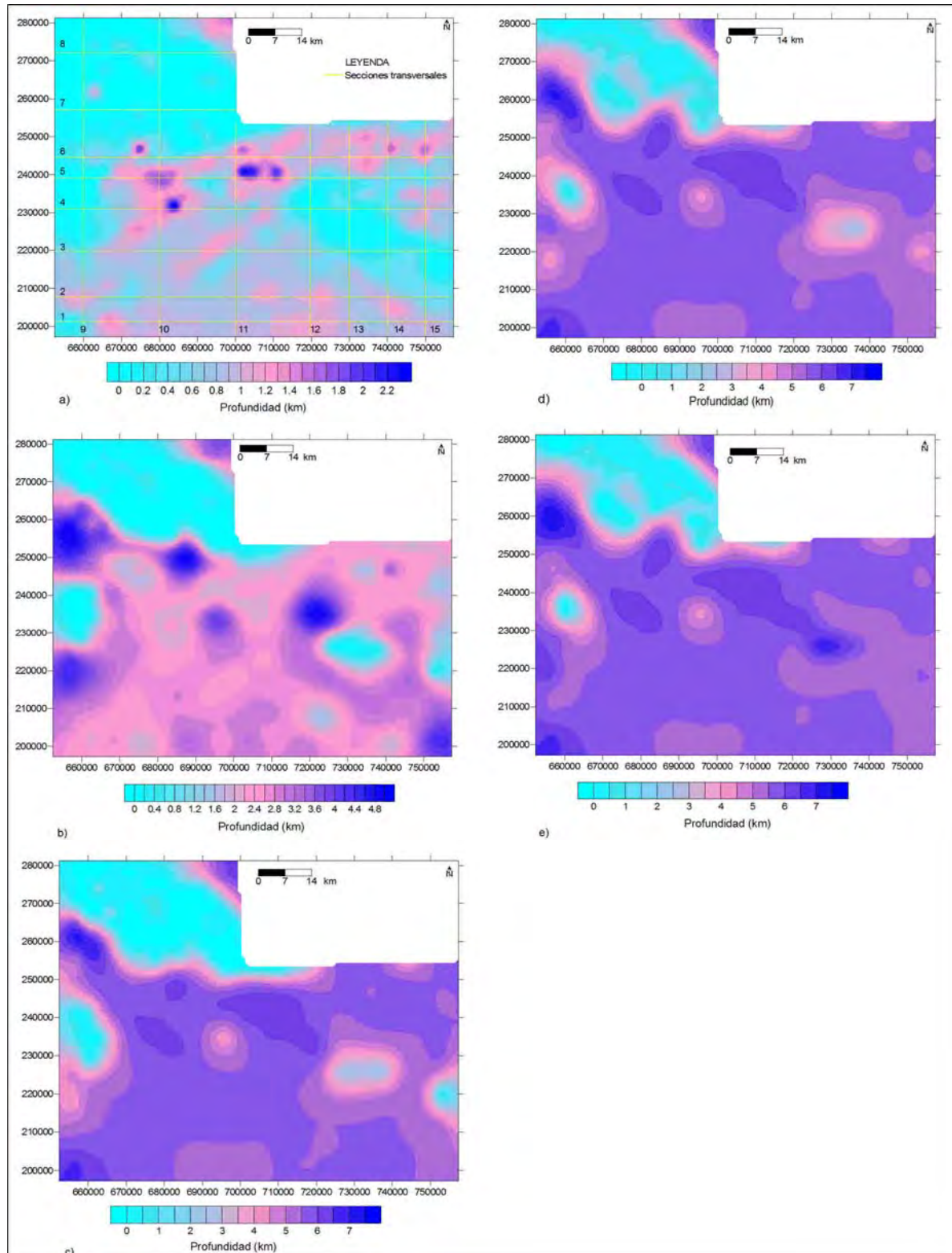


Figura 7. Mapa de profundidades de los grupos de rocas. a) Grupo 1- Secuencias sedimentarias, b) Grupo 2- Secuencias vulcanógenas, c) Grupo 3- Intrusivos. d) Grupo 4- Secuencias de la asociación ofiolítica, e) Grupo 5- Secuencias del paleomargen.

El grupo 4 (Figura 3d) presenta de igual manera sus mayores espesores en porción central y en menor medida en algunas áreas al noroeste del mapa, alcanzando valores de 7.4 km. Las menores profundidades se encuentran al noroeste.

La porción central y en áreas de la occidental, son las que presentan mayores profundidades de las rocas pertenecientes al grupo 5 (Figura 3e). En las mismas las profundidades llegan hasta 8.1 km. En la parte noroccidental se alcanzan menores valores de profundidades. Este grupo presenta valores medios de profundidad de 6.5 km en la parte más oriental y valores mínimos hacia el noroeste.

En las figuras 4 y 5 se presentan las secciones transversales realizadas al modelo 3D (ver figura 3, ubicación de secciones transversales). Con las descripciones se valoran aspectos geológicos sobre las variaciones de profundidades, espesores y con el propio desarrollo histórico-geológico de la región investigada. Se describen algunas de estas secciones.

Sección 1: La sección 1 fue trazada en el límite sur de la región, en esta se representan las secuencias sedimentarias, volcánicos, intrusivos, ofiolitas y el basamento de la cuenca. Según esta sección las secuencias sedimentarias presentan sus mayores profundidades hacia la parte noroccidental, esto ya se había observado en el análisis de los mapas de profundidades. Sin embargo no es precisamente en este perfil donde se revelan las mayores profundidades de estas litologías, pues aquí los sedimentos solo llegan a 1.4 km de profundidad- espesor en su parte mas gruesa. La capa de los volcánicos en este llegan a alcanzar espesores de 3.4 km con profundidad de 4.2 km de su piso. La profundización de esta capa hacia el E está relacionada con una posible falla ubicada en el perfil que provocó el hundimiento de la capa de intrusivos que la subyace. Igualmente en esta sección aparecen representadas una serie de fallas en el contacto volcánicos- intrusivos que pueden ser las responsables de los altos valores del gradiente gravimétrico de esta parte del área. Estas estructuras se ubican con una inclinación hacia el oeste y han condicionado el desplazamiento de ascenso y descenso de tramos de las secuencias que afectan, simulando una tectónica de bloques como ya se ha mencionado en otras investigaciones acerca de la cuenca. Debido a esto los volcánicos tiene una pequeña porción aflorada al extremo más occidental. Las ofiolitas aparecen muy vagamente al W, con profundidad de su piso de 6.2 km y espesor de 1.2 km. No se revelan las secuencias del Paleomargen.

Sección 3: En esta sección los espesores de sedimentos siguen teniendo valores que oscilan alrededor de los 1.3 km– 1.4 km, siendo estos iguales a sus espesores. Las secuencias del Paleomargen toman profundidades de 6.2 km con espesores de 1.2 km al W y al E espesores de 3.6 km con 5.3 km de profundidad. Las ofiolitas alcanzan su mayor espesor según este perfil al E con 3.7 km a los 4.3 km de profundidad, al W aparece con mayor profundidad pero menos gruesa. Algo de gran importancia es el hecho de que en esta sección se representan dos fallas que fueron establecidas según el comportamiento de las trazas del perfil, estas ponen en contacto a las ofiolitas con las secuencias del paleomargen y estas a su vez con los intrusivos en un contexto de sobrecorrimiento.

Sección 4: Esta sección tiene una característica peculiar, en ella se muestran las secuencias del paleomargen cabalgando a los volcánicos y estos a su vez sobreyaciendo a las secuencias sedimentarias. Esto posibilitó el afloramiento de estas secuencias al noroeste del área. Por su parte

los intrusivos se hacen mucho más gruesos en la medida que nos acercamos al E. Todo esto indica el acercamiento a la zona que corresponde al eje axial del Arco de Islas Volcánico del Cretácico.

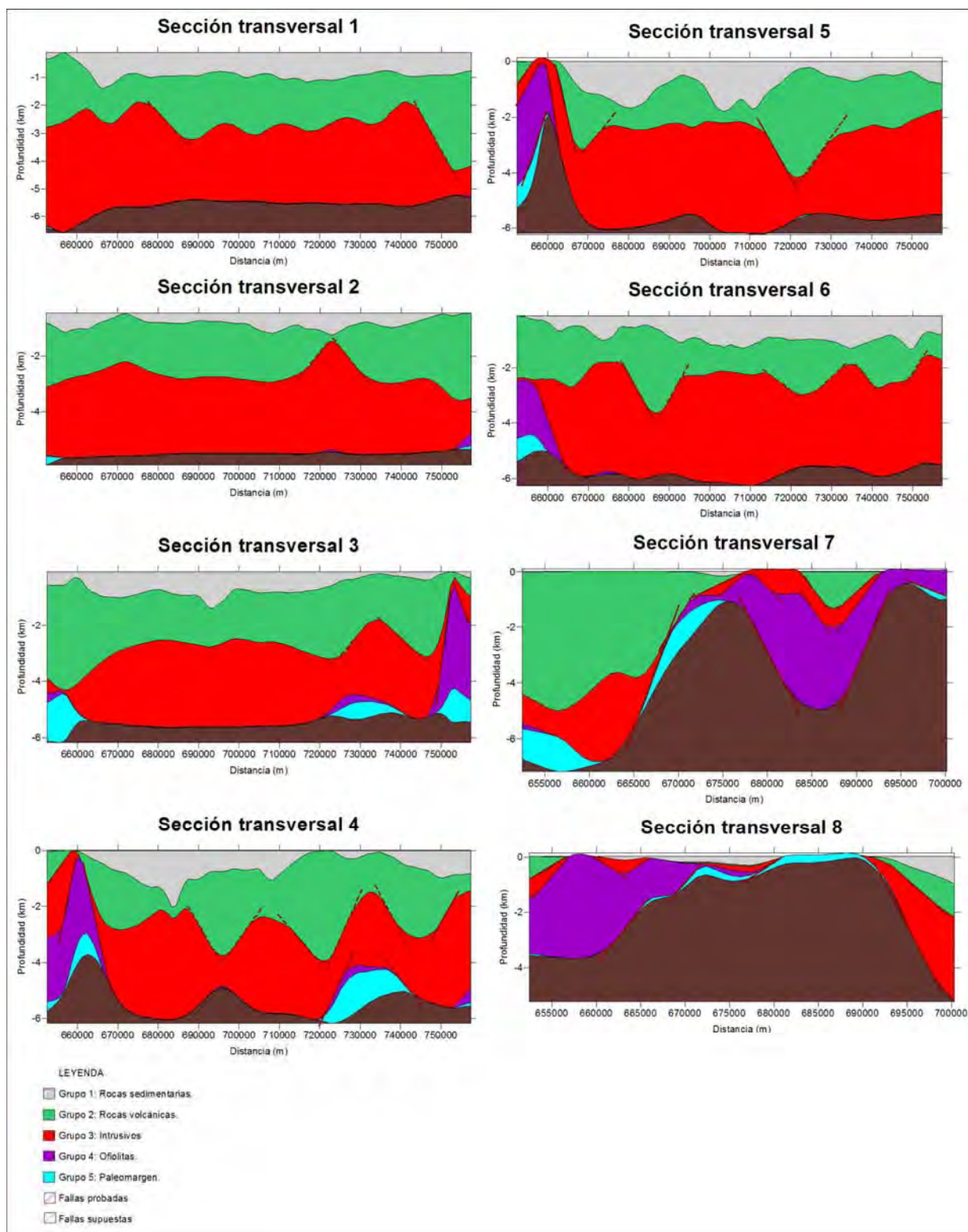


Figura 4. Secciones transversales con dirección este-oeste del modelo 3D calculado.

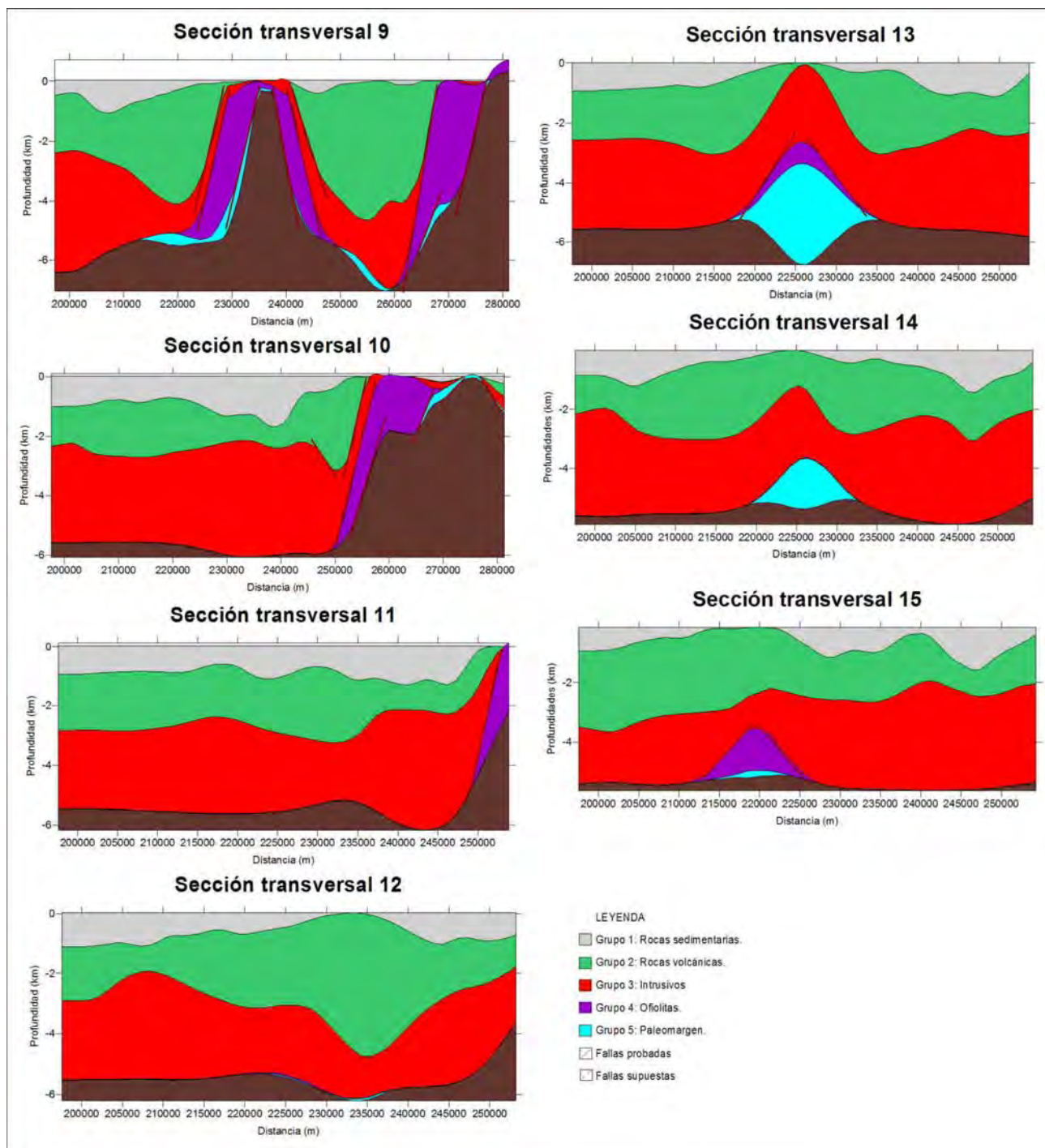


Figura 5. Secciones transversales con dirección norte-sur del modelo 3D calculado.

Sección 6: a todo largo de esta sección solo afloran rocas sedimentarias, las cuales muestran un espesor superior a 1.7 km en parte central y oriental. Por debajo de estas rocas se encuentran los volcánicos, luego los cuerpos intrusivos, las ofiolitas y las rocas del paleomargen. Las rocas volcánicas alcanzan cerca de 2.5 km de potencia a una profundidad de 3.8 km, mientras que los

intrusivos, llegan hasta los 7.3 km de profundidad, las ofiolitas presentan pequeñas potencias y se pueden encontrar hasta los 5 km solo en la porción más occidental, al igual que las rocas del paleomargen que presentan muy pocas potencias hasta los 5 km de profundidad. La discontinuidad de estos dos últimos grupos de rocas hacia el E y la caída del gradiente de la profundidad, sostienen la idea de sistemas de fractura en forma de bloque al W.

Sección 7: el extremo W de esta sección comienza con el afloramiento de roca de las secuencias del arco de islas volcánico con un espesor hasta 4.5 km. Hacia el E afloran las litologías de la asociación ofiolítica, debajo de la cuál se observan pocos espesores de las secuencias del paleomargen de la Bahamas. En la parte central de esta sección van a aflorar rocas de la asociación ofiolítica en forma de escamas alternadas con rocas del paleomargen y más al E secuencias del arco de islas volcánico. En esta sección se observan características de zonas de fallas, coincidiendo con estructuras reportadas y otras supuestas.

Sección 8: esta muestra una forma diferente a las secciones anteriores por el hecho de poseer la secuencia ofiolítica aflorando en su extremo W, las secuencias del paleomargen en la parte central de dicha sección y consecutivamente las secuencias sedimentarias, lo cual hace que muestre mejor las estructuras en forma de escamas tectónicas originada durante el proceso de colisión ente el arco de isla y la plataforma y con ello la yacencia de las capas que la componen. En esta sección se observan mayores irregularidades relacionadas con sistemas de fallas. Al E las rocas sedimentarias se extienden hasta 1.5 km de profundidad. Al W la capa de las rocas de la asociación ofiolítica aumentan su espesor hasta los 3.8 km.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Luego del análisis de las secciones transversales (mostrada o no) y los mapas de profundidades de las diferentes grupos de rocas se llega a las conclusiones siguientes: Las profundidades y espesores de las rocas sedimentarias aumentan hacia el sureste, crecen menos hacia la parte noroste y las mismas localizan sus menores espesores y profundidades en la parte alta de las secuencias plegadas de la región noroccidental. De ahí el comportamiento de intensidades negativas del campo gravimético en el sector suroriental, lo cual obedece a la existencia de grandes espesores de rocas poco densas por encima de las secuencias vulcanógenas y terrígeno-carbonatadas del paleomargen de Bahamas.

De forma general en las secciones transversales de dirección S-N se reflejan mejor las heterogeneidades tectónicas y geométricas de este sector, es decir, en esta dirección se observan las mayores heterogeneidades geológicas del sector. Este resultado constituye un elemento más a considerar sobre la dirección de emplazamiento de las rocas del Arco de Islas Volcánico del Cretácico, más la corteza ofiolítica que cabalga sobre las secuencias terrígeno-carbonatadas y carbonatadas del antiguo margen continental de las Bahamas, de S a N (Meyerhoff y Hatten, 1974; Quintas, 1989, Daper et al., 1994; Iturralde-Vinent, 1996).

Las estructuras de los contactos laterales entre las rocas sedimentarias – volcánicos, secuencias del paleomargen - ofiolitas, ofiolitas – volcánicos y volcánicos - intrusivos está relacionada con los principales sistemas de fallas reportados, indicando que la tectónica afecta a todos los tipos litológicos presentes.

Es notable la relación existente entre las fallas mapeadas por trabajos anteriores en el área, con fallas obtenidas en el modelo 3D, lo cual corrobora los modelos geológico que se tenían. Esta relación da una idea más clara del comportamiento en profundidad de las mismas. Es de señalar que se obtuvieron en el perfil 6 un sistema de falla normal, con dirección noreste-suroeste, las cuales no

estaban reportadas. Estas pudieran guardar relación y a la vez ayudar a explicar el comportamiento de los bloques al sur de esta área, así como la génesis, forma y evolución de la cuenca durante todo el Cenozoico.

Con el modelo geólogo-geofísico 3D de la porción norte de la Cuenca Central se recogen las profundidades y espesores de las litologías presentes en la misma, corroborando algunas de las teorías planteadas sobre los procesos y fenómenos geológicos originados en la región (Iturralde-Vinent, 1998; Blanco, 1999). Además, se muestra una panorámica general de las características de las estructuras existentes y de otras no reportadas hasta el momento.

BIBLIOGRAFÍA

- Batista Rodríguez J. A., M. A. Pérez Flores, 2005. Inversión 3d de datos aeromagnéticos en las áreas de la franja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba Oriental). 1ra Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. SCG. La Habana. Cuba. pp 63.
- Blanco J., M. Fgueras, 1996. Yacimiento Reforma. Reporte Técnico. (inédito). Fondo UPET. Majagua. Ciego de Ávila.
- Blanco Moreno J. A., 1999. Estratigrafía y paleogeografía de las cuencas superpuestas de Cuba Centro Oriental. ISMM. Cuba. Tesis en opción a Grado Académico Doctor en Ciencias. pp 136.
- Cobiella-Reguera J., 1998. The Cretaceous system in Cuba –an overview. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie. Teil I. H.3-6. pp.413-440.
- Cobiella-Reguera J., 2000. Jurassic and Cretaceous geological history of Cuba. Internacional Geology Review 42(7). pp. 594-616.
- Cuevas Ojeda J. L., F. García Pérez, M. Pacheco, D. González Despaine, R. Ramírez Ramírez, 1995. Determinación de estructuras tectónicas y disyuntivas utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y de gradiente total normalizado a partir de datos gravimétricos de Cuba Central. Revista Geofísica Internacional. Vol. 34. Nro 1. pp 93-105.
- Draper, G., J. A. Barros, 1994. Caribbean Geology and introduction. Donovan, S. K., Jackson. T. A. (eds), Jamaica. pp.65- 86.
- Echeverría G., S. Toucet, J. L. Prol, 2005. Golfo de Batabanó. Expectativas gasopetrolíferas. Basadas en la interpretación compleja de datos geofísicos. 1ra Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. SCG. La Habana. Cuba.
- Gallardo-D L.A., M.A. Pérez-Flores, E. Gómez-Treviño, 2003. A versatile algorithm for joint 3-D inversion of gravity and magnetic data. *Geophysics*. 68(3). pp1-11.
- García G., C. Ugalde, V. Strazhevich, A. Rosa, G. Pantaleón, J. Triff, 1998. Mapa geológico de las provincias Centrales. Ministerio de la Industria Básica. Edición digital por el grupo ASIG-IGP.
- Ipatenko S., 1963. Informe sobre las investigaciones magnetométrica gravimétricas en Camagüey. Empresa Nacional de Geofísica. Cuba.
- Iturralde-Vinent M., 1986. Informe final sobre los resultados del levantamiento geológico complejo y las búsquedas acompañantes a escala 1:50 000 en el polígono CAME III. Camagüey. (inédito). Fondo geológico Nacional. La Habana. pp 1500.
- Iturralde-Vinent M., 1996. Introduction Cuban Geologic and Geophysics. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. (ed) Miami. Florida. pp83-120.
- Iturralde-Vinet M., 1978. Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico de Cuba. *Geologie en Mijnbouw*. 57(2). 205-212.
- Iturralde-Vinet M., 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispánica*. Vol 33. No 14, pp9.
- Macphee R.D.E., M. A. Iturralde-Vinent, S. Eugene, 1998. Domo de Zaza an early Miocene vertebrate locality in south-central Cuba. Notes on the Tectonic Evolution of Puerto Rico and the Mona Passage. <http://www.bioone.org>. 25/3/2005.
- Mann P., F. Taylor, E. Lawrence, T. Ku, 1995. Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults: An example from the northeastern Caribbean Plate margin. *Tectonophysics*. 246. p.1- 69.

- Medina Soto A., Y. Gámez Batista, E. Martínez, 2005. Configuración estructural del sector suroeste de la cuenca Central en base a los datos gravimétricos y sísmicos. 1ra Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. SCG. La Habana. Cuba. pp44.
- Meyerhoff, A., C. Hatten, 1974. Bahamas salient of North America; tectonic framework, stratigraphy and petroleum potential. AAPG Bull. 58(6). pp1201- 1239.
- Pérez Flores M. A.; Batista Rodríguez J. A.; Suárez Vidal F.; Espinosa Cárdena J. M.; Gallardo J. A., 2005, 1ra Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Inversión tridimensional de los datos aerogravimétricos de la cuenca de Ojos Negros, México. SCG, La Habana, Cuba, pp 24.
- Pindell, J. L., 1994. Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean: Caribbean Geology on introduction. (ed). Jamaica. pp13- 40.
- Pindell, J. L., S. Cande, I. W. Pitman, D. Rowley, J. Dewey, J. Labrecque, W. Haxby, 1988. A plate- kinematics framework for models of Caribbean evolution. Tectonophysics. 155. pp121- 138.
- Pinto V., A. Casas, L. Rivero, R. Lázaro, 2002. Modelización gravimétrica 3D de diapiros de Cordona. Cuenca del Ebro(NE de España). Acta Geológica Hispánica. Vol. 37. Nro 4. pp 273-284.
- Piñeiro, E., 1990. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico complejo 1:50 000 y sus búsquedas acompañantes del polígono. CAME III. Camagüey. Sectores, Ciego de Ávila, Vertientes, Empresa Geológica de Camagüey, (inédito).
- Quintas F., 1989. Análisis estratigráfico y paleogeográfico del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis Doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Cuba. pp145.
- Rajadel Clavero, G. J., 1995. Estratigrafía y posibilidades gasopetrolíferas de las cuencas Central y Cabaiguán. ISMM. Moa. Trabajo de diploma.
- Rodríguez M. J., L. Prol, 1980. Informe sobre el levantamiento gravimétrico detallado del área Mayajigua-Morón. Empresa Nacional de Geofísica. Cuba.
- Rodríguez M., R. Domínguez, 1993. Informe sobre los resultados del levantamiento gravimétrico en Jatibonico-Pina-Esmeralda. Empresa Nacional de Geofísica. Cuba.
- Ross M., C. Scotese, 1988. A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico d Caribbean region. Tectonophysics. 155. pp138- 168.
- Sorá A., B. Rosa, 2005. Resultados de la interpretación geólogo-geofísica del área Esmeralda(Bloque 10). 1ra Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. SCG. La Habana. Cuba. pp41.



APLICACIÓN DE TÉCNICAS GEOFÍSICAS EN ESTUDIOS INGENIERO-GEOLÓGICOS PARA LA CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS. CASO DE ESTUDIO LA GIRALDILLA

Magalys Fuentes Rodríguez (1), Rubén Stout Smit (1), Beatriz Rodríguez Basante (1), y Fidel Prieto Castro (1).

(1) Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca s/n y Línea de Ferrocarril, San Miguel del Padrón, CP 1100 La Habana, Cuba.

RESUMEN.

Los objetivos de la investigación fueron establecer en un estudio integral junto a la geología el corte geoelectrico y las propiedades físico mecánicas de las rocas. El complejo de métodos geofísicos considero el empleo de la Sísmica de Refracción y los métodos eléctricos de perfilaje en la variante simétrica (PES) con dos aberturas y el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), con la instalación simétrica Schlumberger, y abertura máxima de 130m. Para determinar la dirección de máximo agrietamiento se realizaron sondeos circulares con distancias entre perfiles de 45.

Como resultado se diferenciaron tres zonas con dirección NS. Las ubicadas al oeste y este del área, tienen un comportamiento similar de los valores resistivos en un orden de los 300 ohm-m, con máximos en algunos puntos de 700 ohm-m. En la franja central encontramos valores disminuidos por debajo de los 200 ohm-m y presencia hacia el extremo sur de intensidades aun menores lo que hace suponer que esta región esta afectada por algún evento tectónico. El nivel freático se calculo por debajo de los 15 metros de profundidad y en los diagramas polares la dirección de máximo agrietamiento fue de NE-SW.

Según la Sísmica de Refracción una primera capa de suelo con potencia variable entre los 2y los 3m de velocidad promedio 470m/s, suprayace, una segunda capa con espesor de 11m y velocidad promedio de 800m/s, donde el modulo de elasticidad dinámico determinado fue de $6\,320\text{kg}/\text{cm}^2$ y la resistencia a la compresión de $25\text{kg}/\text{cm}^2$; la tercera capa presento velocidades variables entre los 1800y 2 000 m/s. De los datos resultantes se concluye la factibilidad de cimentación en la primera capa del corte.

ABSTRACT

The objectives of the investigation were to settle down in an integral study the geology of the rocks by means of the geoelectric and physic property's study. The complex of geophysical methods considers the employment of the Refraction Seismic and the geoelectric methods in the Symmetrical Variant (PES) with two openings and the Vertical Electric Sounding (VES), with the symmetrical installation Schlumberger, and a maximum opening of 130m. To determine the address of maximum cracking, two circular soundings were carried out with distances among profiles of 45m.

As a result three main areas were determined with NS direction. Those located to the West and the East, have a similar behaviour of the resistive values in an order of 300 ohm-m, with a maximum in some points of 700 ohm-m. In the central part we find values diminished below the 200 ohm-m and toward the south even smaller values of intensities, that makes suppose the presence in this region of some tectonic event. The phreatic level is below the 15m and in the polar diagrams the address of maximum cracking obtained was of NE-SW.

According to the Refraction Seismic, a first floor layer with among 470m/s of speed average, and thickness between the 2 and the 3m, is superimposed to a second layer with thickness of 11m and a speed average of 800m/s. The dynamic elastic module achieved was of $6\,320\text{kg}/\text{cm}^2$ and the resistance to the compression of the $25\text{kg}/\text{cm}^2$. A third layer was present with variable speeds of among 1800 and 2 000 m/s. Starting from the resulting data the feasibility to the foundation in the first layer, was established.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación responde a la solicitud realizada por la Unidad Militar 1992-Inversiones de la Vivienda, en un área del Municipio La Lisa denominada La Giralddilla con los siguientes objetivos: determinar la profundidad del estrato mas favorable y factible para soportar cargas estáticas de cimentaciones para construcciones previstas, a través de la determinación de las propiedades físico mecánicas y dinámicas de las rocas utilizando la velocidad de las ondas sísmicas, determinar la dirección máxima de agrietamiento, así como la profundidad de las aguas subterráneas.

La zona de estudios está ocupada por formaciones del Cuaternario, que son infrayacidas por unidades del Neógeno. En las primeras se incluyen las formaciones Villa Roja Q -2 y Guevara Q-1 y en las segundas las unidades lito- estratigráficas Güines y Colón.

Las unidades cuaternarias se depositaron en mares muy someros de aguas turbias, rellenando las irregularidades del relieve subyacente. Por esta razón se observan espesores variables en la secuencia de arcillas entre 10 y 17 metros como se confirma en las diferentes calas realizadas.

MATERIALES Y METODOS

Para resolver la tarea planteada se planificaron 8 perfiles en el Sector Giralddilla I y 4 perfiles en el Sector Giralddilla III orientados N-S con una longitud de 100 m y una distancia entre ellos de 10 m. El complejo de métodos contempló la Sísmica de Refracción y un conjunto de métodos geoeléctricos que detallaremos en lo adelante.

SÍSMICA

El método sísmico se utilizó en su variante de refracción: Perfilaje Sísmico Continuo, debido a la necesidad de estudiar la geometría del corte y sus propiedades en forma continua. El sistema de observación empleado fue con tiros de avance, encuentro y remotos a ambos lados de la puesta. La distancia entre canales (ΔX) fue de 2 metros. Las mediciones fueron realizadas con la estación de 24 canales de fabricación japonesa Mc Seis – 170.

Con las lecturas de los sismogramas fueron confeccionados los hodógrafos (gráficos de X vs. T) y a partir de ellos se realizó la interpretación. El método utilizado fue el de tiempo 0 (t_0) el cual nos permite obtener la profundidad hasta los horizontes refractores en cada uno de los puntos de recepción, sus velocidades de frontera y a partir de ello confeccionar los cortes de velocidad. Para la determinación de las ondas transversales (V_s) se utilizaron las ondas de cambio. Las ondas de cambio en parte de su recorrido se comportan como ondas S y en particular las ondas PSP contienen la información de la velocidad de la onda transversal en el horizonte refractor por tener igual pendiente que las de las ondas S provenientes del mismo refractor, por ello fueron las utilizadas en esta investigación para el cálculo de V_s

Las propiedades físico - mecánicas fueron calculadas mediante las siguientes relaciones físico - matemáticas y/o empíricas a partir de las velocidades de las ondas longitudinales (V_p) y transversales (V_s) obtenidas de las mediciones sísmicas.

Densidad natural:



$v_f = 1.6 + 0.25 V_p$ donde V_p es la velocidad de las ondas longitudinales obtenida en km/s

Coeficiente de Poisson

$$\mu = (1/2 (V_p/V_s)^2 - 1) / ((V_p/V_s)^2 - 1)$$

Resistencia a la compresión

$R_c = f_{kp} \cdot 100$ Para valores de f_{kp} entre 5 y 15

Para valores fuera de este rango, por la fórmula de P. Liajivitski

$$R_c = [[v_f \cdot V_p^2 (1 - 2 \mu)] / 2 c (1 - \mu)] \cdot (1.02 \cdot 10^{-2})$$

($c = 240$ Para rocas carbonatadas)

Módulo de elasticidad dinámico

$$E_d = (V_p \cdot 100)^2 \cdot [(v_f / 1000) / 980] \cdot [(1 + \mu) (1 - 2 \mu) / (1 - \mu)]$$

Módulo de elasticidad estático

La fórmula de los coreanos:

$$E_e = 18 \cdot 10^{-8} E_d^2 + 0.36 E_d$$

El coeficiente de dureza f_{kp}

Mediante el nomograma (coreano) que relaciona el f_{kp} con el E_e a partir de la fórmula:

$$E_e = 2542 f_{kp}^2 + 6244 f_{kp} - 10696 \quad \text{Para valores de } f_{kp} \text{ entre 2 y 10}$$

Para valores menores de 2 se utilizó el nomograma que relaciona el f_{kp} con la V_p y la profundidad de investigación.

MÉTODOS ELÉCTRICOS

Para la realización de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) se empleó la instalación simétrica Schlumberger, con abertura máxima $AB = 130$ metros, y se realizaron los Sondeos Eléctricos Circulares (SEC) con distancia entre perfiles de 45° , para determinar la dirección de máximo agrietamiento.

El perfilaje se utilizó en la variante simétrica con $AB = 30$ m, el MN para las dos aberturas fue de 10 m y el paso de medición de 5 metros.

RESULTADOS

SÍSMICA

La primera capa de suelo con potencia variable entre 2 y 3 metros, tiene una velocidad promedio de las ondas longitudinales de 470 m/s. (Figuras No.1, 2 y 3).

Segunda capa hasta la profundidad de 9 – 12 metros:

Velocidad longitudinal promedio: 800 m/s

Densidad natural: 1.8 g/cm^3

Coeficiente de Poisson: 0.37

Factor de dureza f_{kp} : 1.0

Módulo de Elasticidad Dinámico: 6320 kg/cm^2
Resistencia a la Compresión: 25 kg/cm^2
La tercera capa con velocidad de las ondas longitudinales variable.

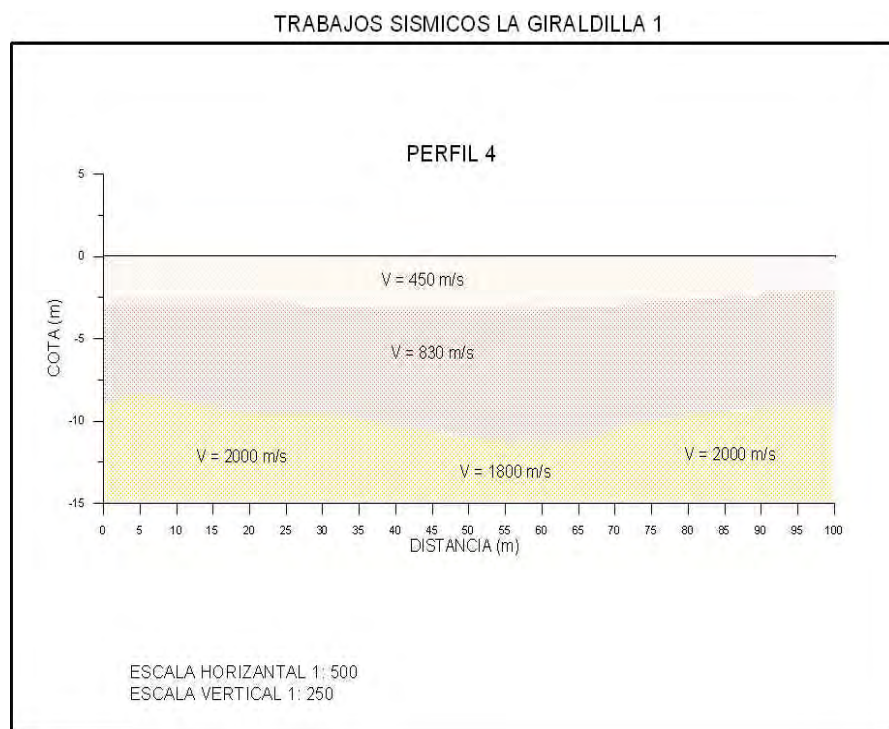


Fig. 1 Trabajos área La Giralrilla I. Perfil Sísmico No. 4.

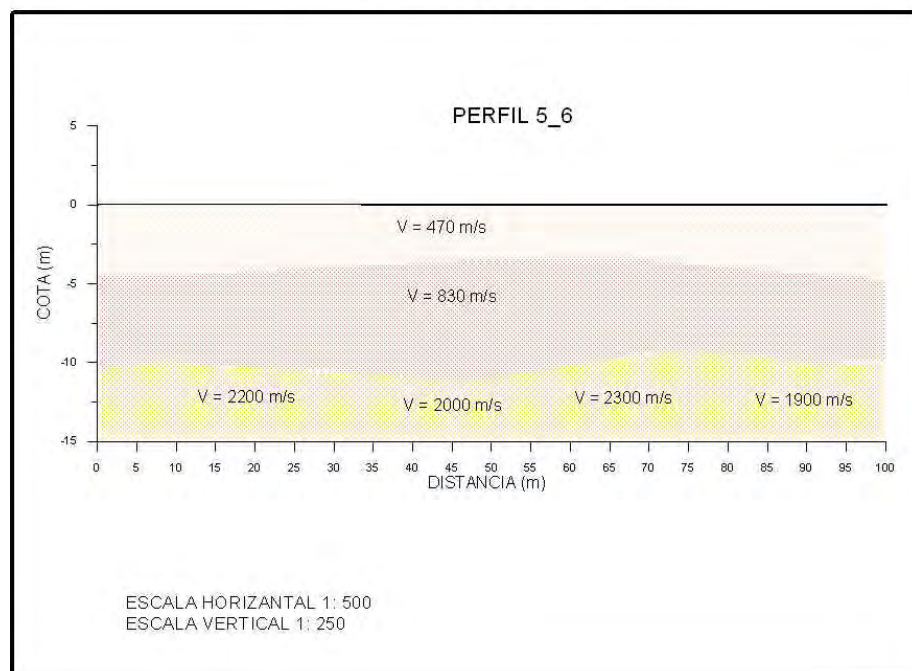


Fig. 2 Trabajos área La Giralrilla I. Perfiles Sísmicos No.5 y 6.

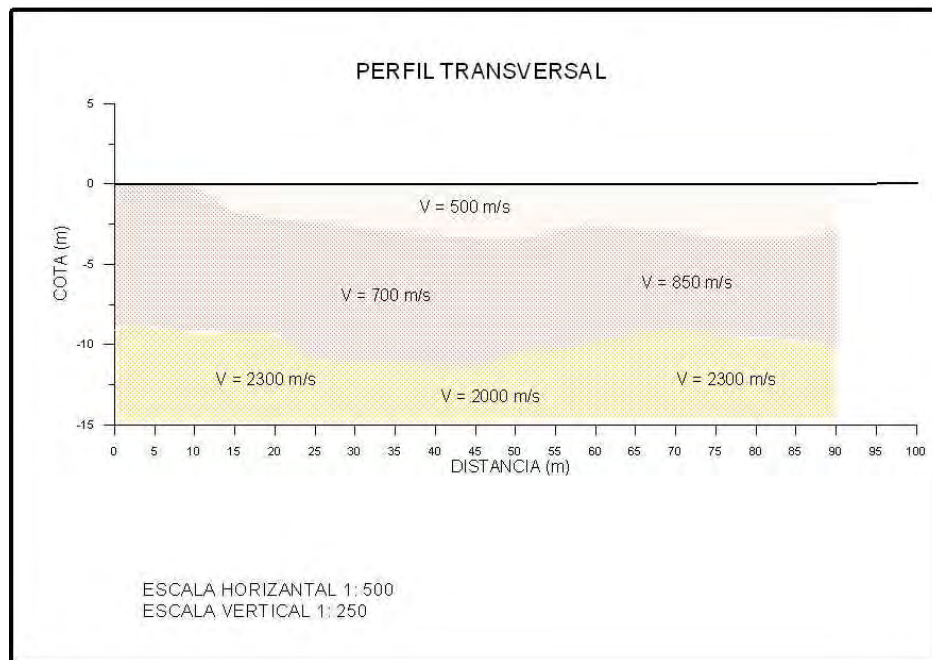


Fig. 3 Trabajos área La Giralddilla I. Perfil Transversal

METODOS ELÉCTRICOS.

PERFILAJE ELETRICO SIMETRICO (PES)

GIRALDILLA I.

Como se puede observar en el Fig. No. 4, se distinguen tres zonas con dirección NS que presentan las siguientes características: en el extremo Oeste se puede observar una franja con valores de intensidades mayores de 300 ohm-m, que alcanzan un máximo en algunos puntos de 700 ohm-m, en la franja central encontramos valores disminuidos por debajo de los 300 ohm-m, estando ubicados los valores menores hacia el extremo sur con intensidades menores de 200 ohm-m; en la franja Este las intensidades son similares a las de la franja Oeste, lo que hace suponer que la región central del área está afectada por algún fenómeno tectónico que provoca la desigualdad de los valores de esta zona con la del resto del área, aunque no existe afectación en los primeros 5 metros, se recomienda no perder de vista este fenómeno.

En la franja Oeste se construirán los edificios 9, 10, 11, 12 y 13, siendo una zona de alta resistividad y muy estable. Mientras en la franja central se planifican los edificios 1, 7 y 8, en una zona de baja resistividad, pero según los datos geofísicos hay que prestar la mayor atención al edificio 1, pues éste está situado entre la franja Este (alta resistividad) y la Central (baja resistividad), fenómeno detonante de los asentamientos diferenciales.

En la franja Este, zona de alta resistividad y muy estable desde el punto de vista de la intensidad de las resistividades eléctricas, se planifican los edificios 2, 3, 4, 5 y 6.

GIRALDILLA III

Valores menores a los 300 ohm-m se ubican en la parte norte del área. Figura No 5 pero en este caso los valores bajos parecen obedecer a una mayor potencia de arcillas y a un aumento de la humedad provocado por instalaciones hidráulicas defectuosas y a una zanja de aguas albañales que vierten constantemente hacia esa parte del área.

Estos contraste de resistividad señalan cambios desde el punto vista estructural o en la composición litológica del subsuelo, fenómeno que trae como consecuencia en muchos casos los asentamientos diferenciales, lo que hay tener en cuenta a la hora de diseñar o calcular los sistemas constructivos.

INTERPRETACION DE LOS SONDEOS ELECTRICOS (VERTICALES Y CIRCULARES).

Según los datos de la interpretación cuantitativa de los SEV, se determinó que el nivel freático está por debajo de los 20 metros de profundidad; la corrosividad se manifiesta de baja a normal en los primeros 10 metros (resistividades de 20 a mayores de 100 ohm-m). A partir de esta profundidad, la corrosividad se hace elevada con valores entre los 10 y los 20 ohm-m, constituyéndose este parámetro en elevado a partir de los 20 m de profundidad, con valores puntuales menores de 10 ohm-m.

Los diagramas polares confeccionados a partir de la interpretación de los SEC determinaron que la máxima dirección de agrietamiento es de NE-SO, por debajo de los 10m de profundidad, esto se explica porque en las primeras aberturas del dispositivo no existe una dirección predominante del agrietamiento. Estas características geoelectricas son comunes para ambas áreas.

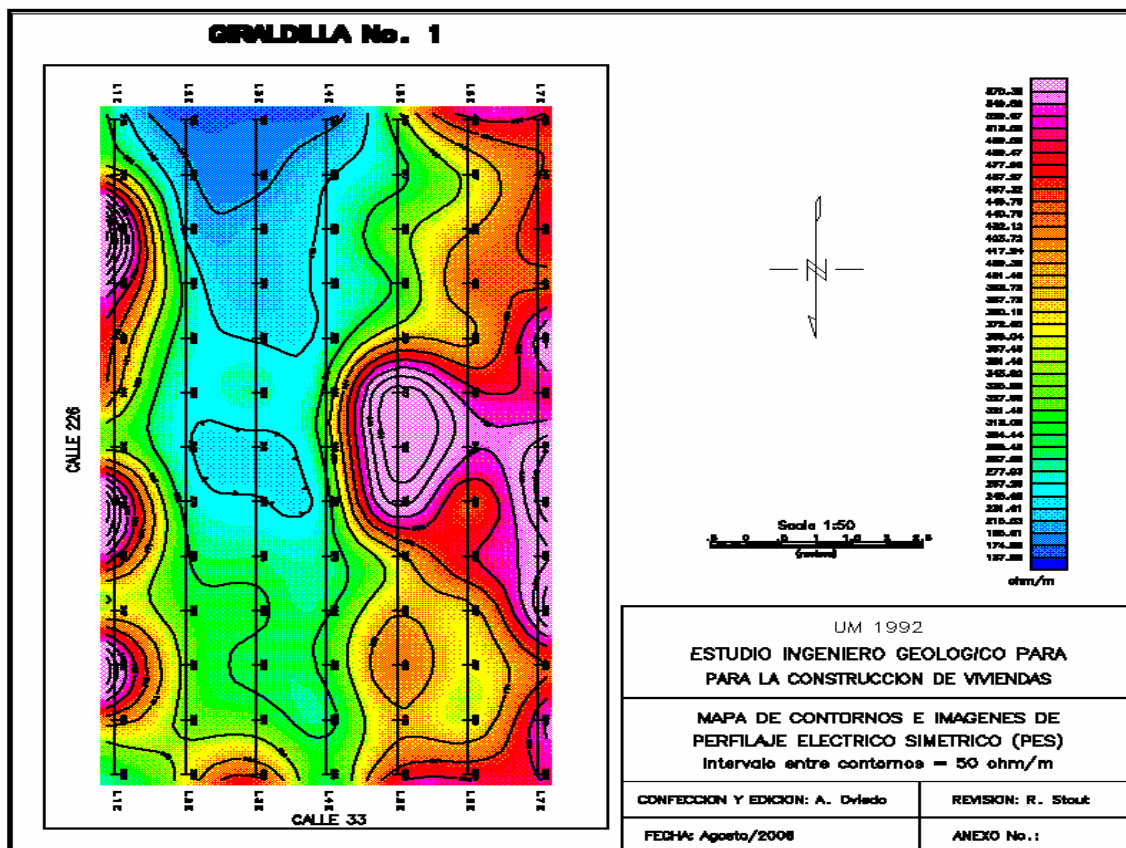


Fig. 4. Resultados del PES sector Giraldilla No. I.

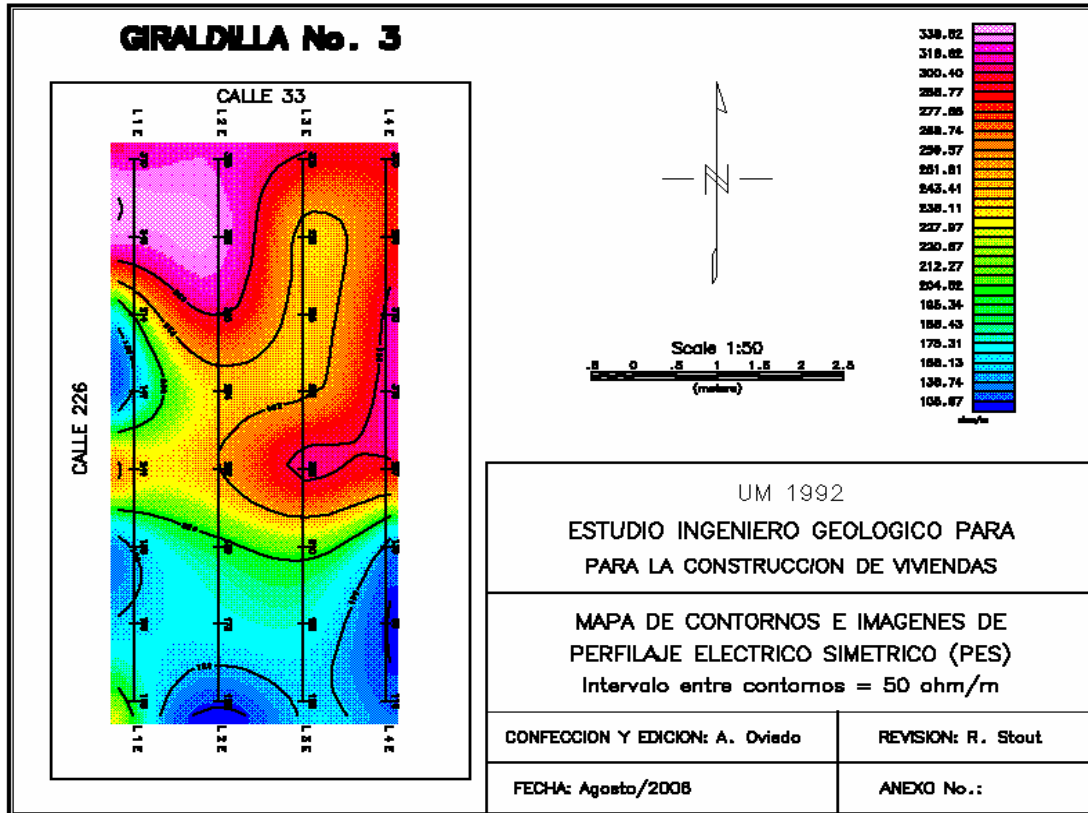


Fig. 5. Resultados del PES sector Giralilla III.

CONCLUSIONES.

Se determinaron las propiedades físico-mecánicas y dinámicas de las rocas a partir de la velocidad de las ondas sísmicas que permitieron los cálculos para la cimentación de las construcciones previstas en el sector. Las zonas investigadas no presentan deformaciones desde el punto de vista geológico hasta la profundidad de 15m que puedan afectar las construcciones planificadas.

El edificio # 1 es el que presenta mayores problemas en relación a la cimentación pues está planificada la construcción del mismo entre las zonas de alta y baja resistividad lo que significa que puede tener un asentamiento diferencial.

Por su parte la corrosividad de los suelos es normal según los datos de SEV hasta la profundidad de 15 m. A partir de la misma los suelos se hacen más agresivos por su corrosividad elevada.

La interpretación cualitativa del los SEV permitió determinar que el nivel freático se encuentra por debajo de los 20 m de profundidad.

BIBLOGRAFIA

Menshikov. VS, M.E. Calzadilla, O. Montes. Exploración Eléctrica Tomo I: 170 Pág.
Grupo Nacional de Geofísica. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. Ministerio de la Construcción. 1982 Instrucción Geofísica para la Aplicación de los métodos Geofísicos a las obras industriales.

SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2007.
Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de Marzo de 2007



APLICACIÓN DEL FILTRADO DIGITAL PARA EL ESCLARECIMIENTO DE LA INFORMACIÓN GEOFÍSICA, EN UN AREA COMPLEJA DESTINADA AL EMPLAZAMIENTO DE UN GRUPO ELECTRÓGENO DE ENVERGADURA

Autores: Alfonso A. Lang Rodríguez⁽¹⁾ y José L. Cuevas Ojeda⁽²⁾

(1) Empresa de Ingeniería Eléctrica para la Electricidad – UNE. MINBAS, La Habana, CUBA. Email: chinolang@inel.une.cu / chinolang2003@yahoo.com.mx

(2) Dpto. Geología Ambiental, Geofísica y Riesgos, Instituto de Geofísica y Astronomía, La Habana, CUBA. Telef. 271-0644, Fax: 273-9497, Email: jlcuevas@iga.cu;

RESUMEN

En Cuba se lleva a cabo en la actualidad una verdadera Revolución Energética producto de las fuertes inversiones que se realizan en el sector de la industria eléctrica. Nuestro trabajo se inscribe en este marco y forma parte de los esfuerzos por garantizar el mayor conocimiento de las áreas destinadas para estas obras.

El emplazamiento donde se realiza el estudio geofísico que en este trabajo se presenta, estará formado por 8 máquinas de 18,3 MW, con un valor superior a varias decenas de millones de dólares y está ubicado dentro del perímetro de la Termoeléctrica Máximo Gómez Báez del Mariel. Las investigaciones realizadas en el lugar señalan la existencia de sedimentos carbonatados representados fundamentalmente por las rocas pertenecientes a las formaciones Güines, Jaimanitas, Jaruco, Capdevila y Vía Blanca, las cuales se encuentran muy afectadas por los movimientos tectónicos y por la actividad antrópica.

Se aplica un complejo de métodos geofísicos donde se hace uso de la tomografía eléctrica de superficie, y la Radiometría, para ayudar a esclarecer los distintos fenómenos físico-geológicos que se presentan, tales como grietas, fallas, oquedades rellenas o vacías y otros que por su envergadura puedan afectar o encarecer las cimentaciones de los distintos objetos de obras que se construirán.

Un uso especial se hace de distintas técnicas de Filtrado Digital de la información geofísica para la separación de zonas anómalas y la correlación de alineamientos coincidentes con algunos de los fenómenos antes señalados, que esclarecen el cuadro ingeniero-geológico.

ABSTRACT

In Cuba a real revolution is actually taking place on the Power sector, all this supported by strong investments performed at every instance throughout this industry. The work described in this paper fits into this environment and is a contribution to the better understanding of building basement conditions.

The place considered for the geophysical study presented, involves eight generators outputting 18.3 MW each and valued in about ten millions dollars. It lies next to the Power Station Máximo Gómez Báez at Mariel. The site research performed highlights the presence of carbonated sediment mainly represented by Güines, Jaimanitas, Jaruco, Capdevila and Via Blanca formations; which are in turn really stressed by tectonic movements and men activity.

It has been applied a complex geophysical method derived of using surface imaging profiling and radiometry. It allows uncovering of the physical-geological phenomena present such as faults, karts and others, whose dimensions may jeopardize or increase the cost of buildings projected to be constructed.

A special use of techniques relating Digital Filtering of geophysical data allows cutting off of anomalous regions and also provides alignment correlation for some of the phenomena previously mentioned. That way the geological picture is quite clear.

INTRODUCCION



El contenido de este trabajo lo conforma el resultado del estudio mediante la aplicación de un complejo de métodos geofísicos en el emplazamiento de los Generadores de 18.4 MW, situados en un área dentro de la CTE Máximo Gómez Báez del Mariel. Estos estuvieron regidos por la Tarea Técnica emitida por la especialidad de Ingeniería Geológica para la realización de los mismos, como parte del Proyecto multidisciplinario que fue llevado a vías de hecho. En una etapa posterior y por necesidad del proyecto, se reajustó esta tarea, finalizándose el trabajo con una tarea complementaria dirigida a profundizar en el estudio de la zona que ocuparán los tres primeros generadores.

Los objetivos precisos del estudio geofísico, pueden resumirse como sigue:

- Detección de grietas y formas cársticas vacías, rellenas por agua o materiales sueltos, de dimensiones superiores a los **0.50 m** hasta la profundidad de **5.00 m**.
- Confección de perfiles de resistividad real por las direcciones especificadas en la tarea técnica.
- Confección de los planos de isolíneas de Resistividades Eléctricas reales en el área para las siguientes **profundidades 2.00, 3.00, 4.00 y 5.00 m**.
- Estudio sísmico de cuatro perfiles en la zona de los tres primeros generadores.
- Obtención de la intensidad de radiación gamma de los suelos y rocas en la zona de los primeros generadores y en perfiles definidos para el apoyo al mapeo geológico.
- Estudio detallado mediante Tomografía Eléctrica entre pozos de secciones definidas en los ejes de los primeros generadores.
- Se ejecutó un complejo de métodos geofísicos, en correspondencia con los requerimientos técnicos de los objetivos antes señalados, el cual estuvo compuesto por:
 - **Tomografía Eléctrica 2D (T.E.2D).**
 - **Radiometría (RAD).**
 -

Los trabajos de campo se ejecutaron entre el 21 de Noviembre del 2005 y el 17 de Febrero del 2006. Los trabajos de gabinete por los requerimientos del proyecto fueron realizándose a la par de la obtención de los datos de campo, concluyéndose la elaboración final entre el 20 de Febrero y el 10 de marzo del 2006.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación topográfica.

Para facilitar la ejecución del trabajo de campo fue fundamental el levantamiento y replanteo de los perfiles en el terreno, que como parte del proyecto concebido, realizó la comisión de topografía del CSIA. En este caso se trazó una red de estacas de 5 X 20 metros, es decir perfiles cada 5.00 metros y estacas a lo largo de los perfiles a 20.00 metros. Se ubicaron de esta forma 24 perfiles, denominados por la nomenclatura PG-1, PG-2,....., PG-24.

Se entregó por parte de la comisión de topografía un plano donde se señalaron las coordenadas y cotas de cada una de las estacas ubicadas en el área.

Tomografía Eléctrica en 2D.

El equipo con que se realizó la adquisición de la información de campo en los trabajos geoeléctricos fue el Scintrex Automatic Resistivity Imaging Sistem (**SARIS**), de procedencia canadiense, con mediciones en modo manual.



Se empleó un dispositivo de tipo **WENNER**, para realizar las mediciones. La base para realizar las secciones tuvo **25 electrodos**, espaciados a **1.00 m**, Se midieron hasta **6 niveles** para un total de **87 puntos** por sección. Las secciones se emplearon para detallar el corte en los primeros metros y se concatenaron **hasta 8 secciones por perfil** para lograr su recubrimiento total.

Las mediciones fueron realizadas de forma **manual**, utilizando el dispositivo conmutador **CPPM-25**. La distancia entre perfiles fue de **5.00 m**. El dispositivo empleado permitió tener información en el corte a través de las imágenes de resistividad eléctrica correspondientes. Debe señalarse que estaba previsto realizar las mediciones en los 25 perfiles replanteados pero que por decisión de la dirección del proyecto se midió hasta el perfil PG-15.

La interpretación de la información se hizo con el sistema **RES2INV** preparado por **Geotomo Software** para estos fines. La interpretación está basada en la inversión de los datos, es decir, la determinación del modelo de resistividades reales que producen las observaciones contenidas en cada imagen o sección. De esta forma se apreciaron las características del corte en cada punto, mediante la observación a profundidad real en las imágenes. En el proceso de interpretación, el error no fue mayor de un **12 %**.

Radiometría.

El objetivo de la realización de este método fue el apoyo al mapeo geológico del área, a pesar del alto nivel antrópico de esta. Para ello se utilizó el radiómetro diferencial **ALOKA** de fabricación Japonesa, el cual brinda los valores de intensidad de radiación Gamma de suelos y rocas directamente. No obstante a lo anterior se ubicó un punto de control cercano al área para poder determinar los desajustes y variaciones de niveles de radiación que pudieran existir durante el período de medición. Estos trabajos en el punto de control no arrojaron variaciones de la intensidad de radiación sustanciales y la variación de la intensidad resultante en este punto no sobrepasó el **0.3 %** del valor promedio.

Se realizaron mediciones **del perfil PG-1 hasta el perfil PG-10**, en una red de 5.00 x 5.00 metros y otras en coordinación con los geólogos en perfiles dentro del área destinados al mapeo.

Toda la preparación y procesamiento de la información primaria así como el dibujo de los anexos gráficos se realizó con los **Sistemas STADISTICA, SURFER 8.0 y AUTOCAD 2002** soportado sobre **WINDOW**.

En la **Tabla I** que a continuación se muestra se definen los volúmenes y sus características..

Tabla I.-Volúmenes de los trabajos y sus características.

Método	UM	RED (m)	Volumen	Dist e/ Observaciones o Receptores (m)	Características
T.E.2D	PF	5x1	9 222	1.00	Dispositivo de tipo WENNER, con 6 niveles de medición.
T.E.P	PF	1x1	4 226	1.00	Dispositivo de tipo POLO-POLO, con medición pozo-pozo y pozo-superficie.
RAD	PF	5x5	526	5.00	Medición de intensidad Gamma.



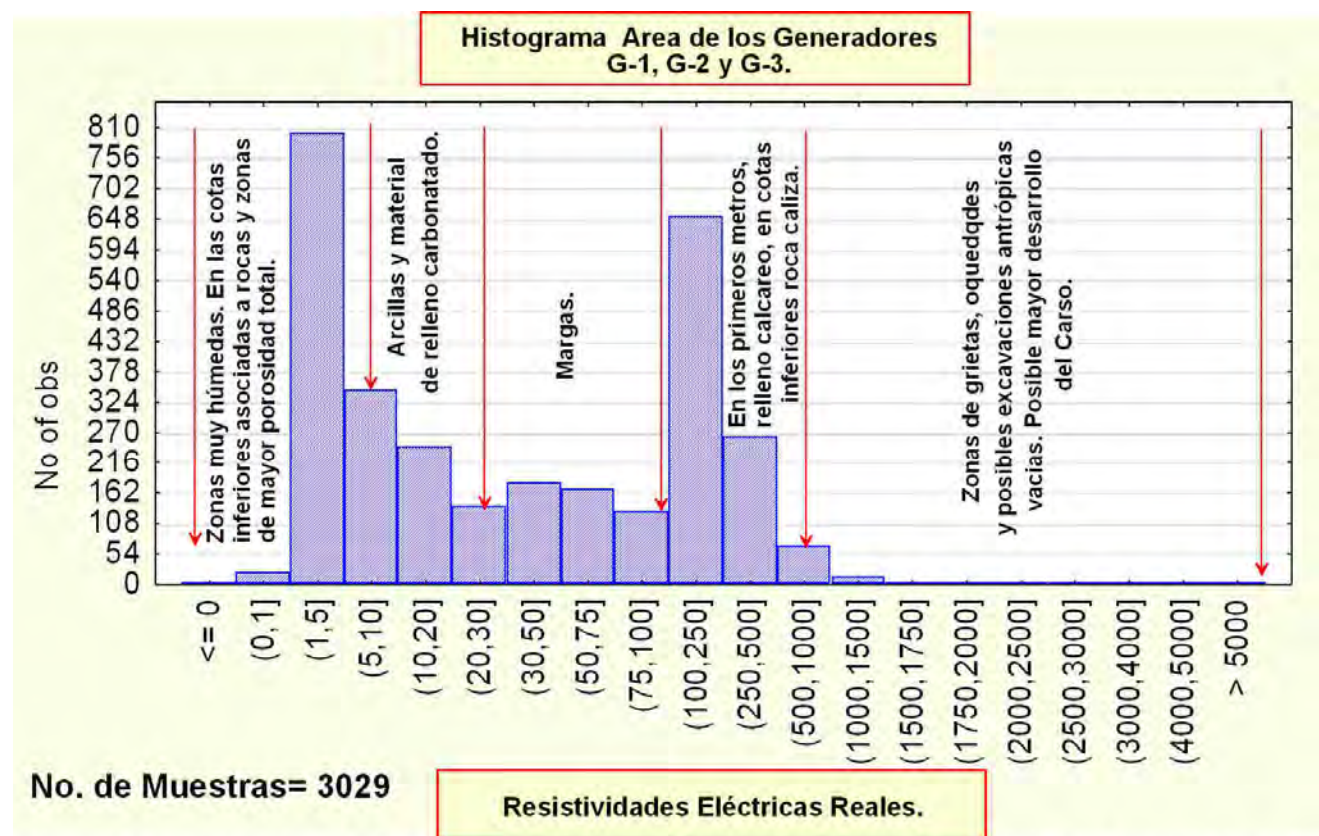
RESULTADOS OBTENIDOS.

Los resultados de los trabajos geofísicos en esta área se encuentran plasmados en los 18 Anexos gráficos elaborados a partir de la elaboración de la información de cada método aplicado. Se conoce desde los inicios del proyecto y por la experiencia de otros trabajos realizados en esta lugar que la geología es compleja, sumándose a esto factores antrópicos y medioambientales que la han complicado mucho más.

En este caso se esperaba que los métodos geofísicos tuviesen, como resultó cierto, limitaciones por las razones anteriores, además de la cercanía de las aguas subterráneas, sobre todo para los geoelectricos. No obstante existen algunos resultados positivos que serán expuestos seguidamente que obedecen en gran medida al empleo de técnicas muy elaboradas de interpretación de los materiales que se están aplicando en los últimos tiempos en los trabajos de la especialidad.

III.1.- Trabajos de Geoelectricidad.

La Resistividad eléctrica de los suelos y rocas del área fue obtenida mediante diferentes variantes de los métodos eléctricos empleados. Como premisa fundamental de la interpretación que se realiza en este trabajo mostramos a continuación una muestra y su comportamiento estadístico así como su posible asociación con los fenómenos ingeniero-geológicos que ocurren en el lugar.



Nota: La correspondencia de los rangos de resistividades que se muestran, debe ser consiliada con los resultados de las perforaciones.

Fig. No.1.-Comportamiento estadístico de la Resistividad Eléctrica.



Como puede apreciarse se distinguen rangos y modas muy definidas con las cuales se han hecho las asociaciones que pueden observarse. Estos resultados se han cogido como base para la interpretación de los materiales geoelectrónicos elaborados.

Específicamente en las **Figuras No. 2 y 3**, se brindan los planos de Resistividades Eléctricas Reales para **3.00 y 4.00 metros de profundidad**. En ellos a pesar de ser someros pueden distinguirse zonas de anomalías tanto de máximos como de mínimos y se han establecido mediante la correlación entre perfiles (**Uso del Sistema IMAG-PC, Instituto de Geofísica ACC**) y el filtrado digital implementado en el **SURFER 8.0**, direcciones predominantes en la correlación de estas anomalías, algunas de las cuales pueden coincidir con las fallas y grietas existentes, véanse las **Figuras No. 4 y 5**.



Fig. No. 2.- Modelo de resistividades reales para la cota + 0.50 (h= 3.00 m).

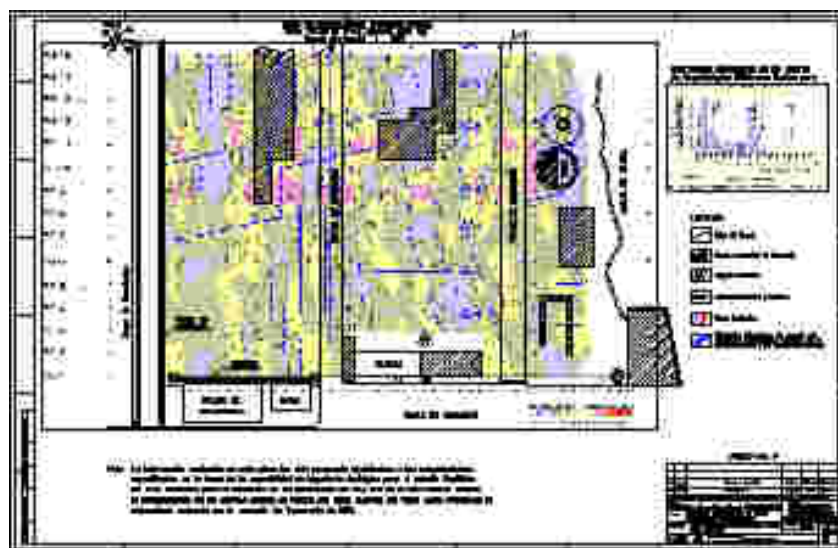


Fig. No. 3.- Modelo de resistividades reales para la cota - 0.50 (h= 4.00 m).

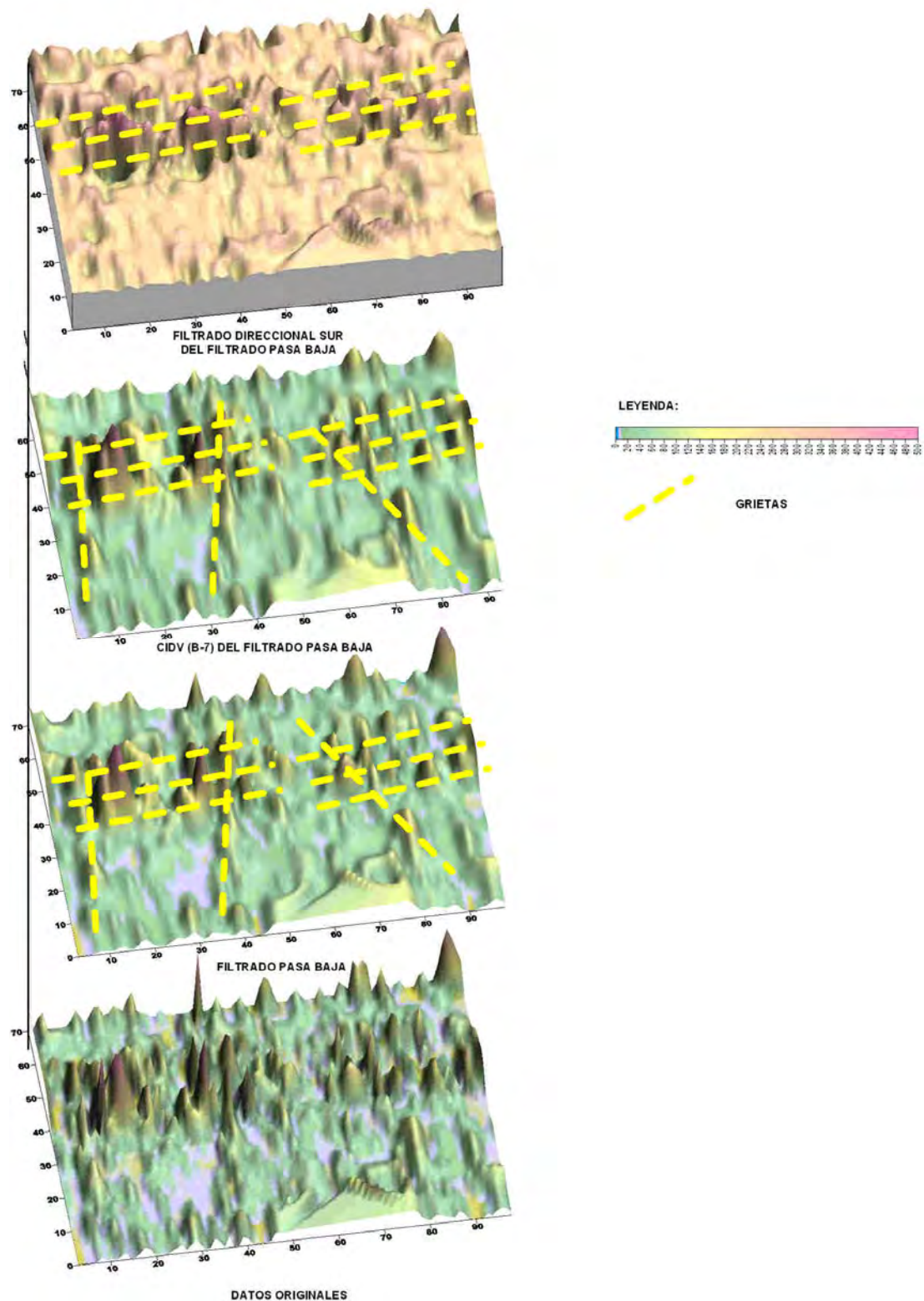


Fig. No. 4.- Filtrado del modelo de resistividades reales para la cota + 0.50 ($h = 3.00$ m).

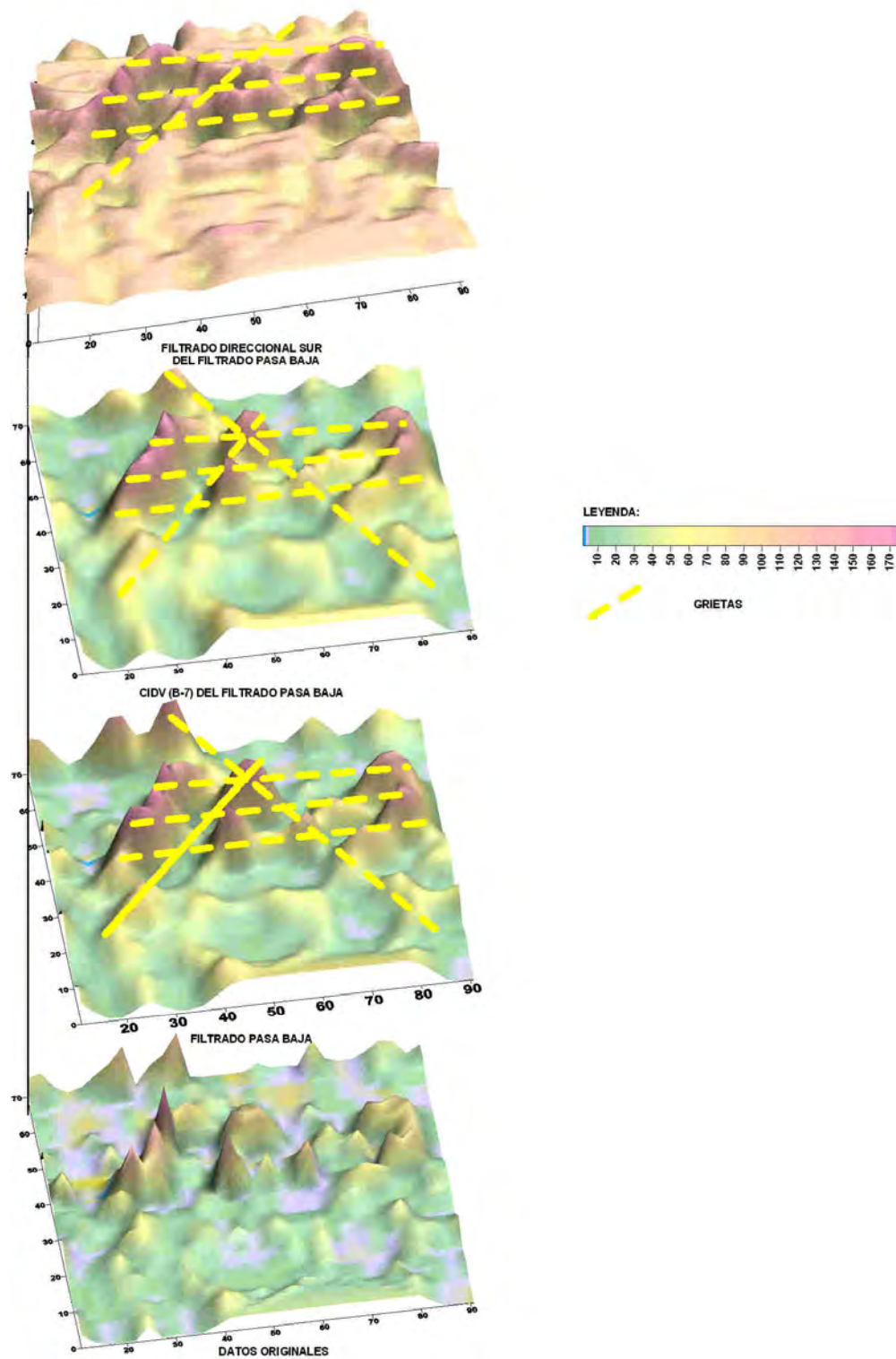


Fig. No. 5.- Filtrado del modelo de resistividades reales para la cota - 0.50 ($h=4.00$ m).

Radiometría.

La intensidad de radiación de los suelos y rocas del área se encuentra en correspondencia con el origen sedimentario de los mismos, estos no son altos de manera general, como puede apreciarse en la **Figura No. 6**. Del procesamiento estadístico de los valores medidos se infiere que para el área, los valores anómalos por defecto son aquellos menores de 3.5×10^{-3} mR/h y por exceso los que sobrepasan el valor de 4.5×10^{-3} mR/h.

A partir de esta clasificación se confeccionó el mapa de intensidades de radiación para la zona que cubren los 10 primeros perfiles geofísicos.

A esta información se le aplicó también el **IMAG-PC** y el filtrado digital soportado en el **SURFER 8.0**. En la **Figura No. 6**, se puede ver el resultado de las mediciones de Radiometría, las anomalías existentes así como la posible correlación de las mismas, de acuerdo al filtrado digital realizado.

Las anomalías de mínimo corresponden con zonas donde la presencia de rocas carbonatadas es mayor o en otros casos con lugares donde el lavado por las aguas que se infiltran de los materiales arcillosos ha sido mayor. Las anomalías de máximos deben estar asociadas a un mayor desarrollo de la arcillosidad.

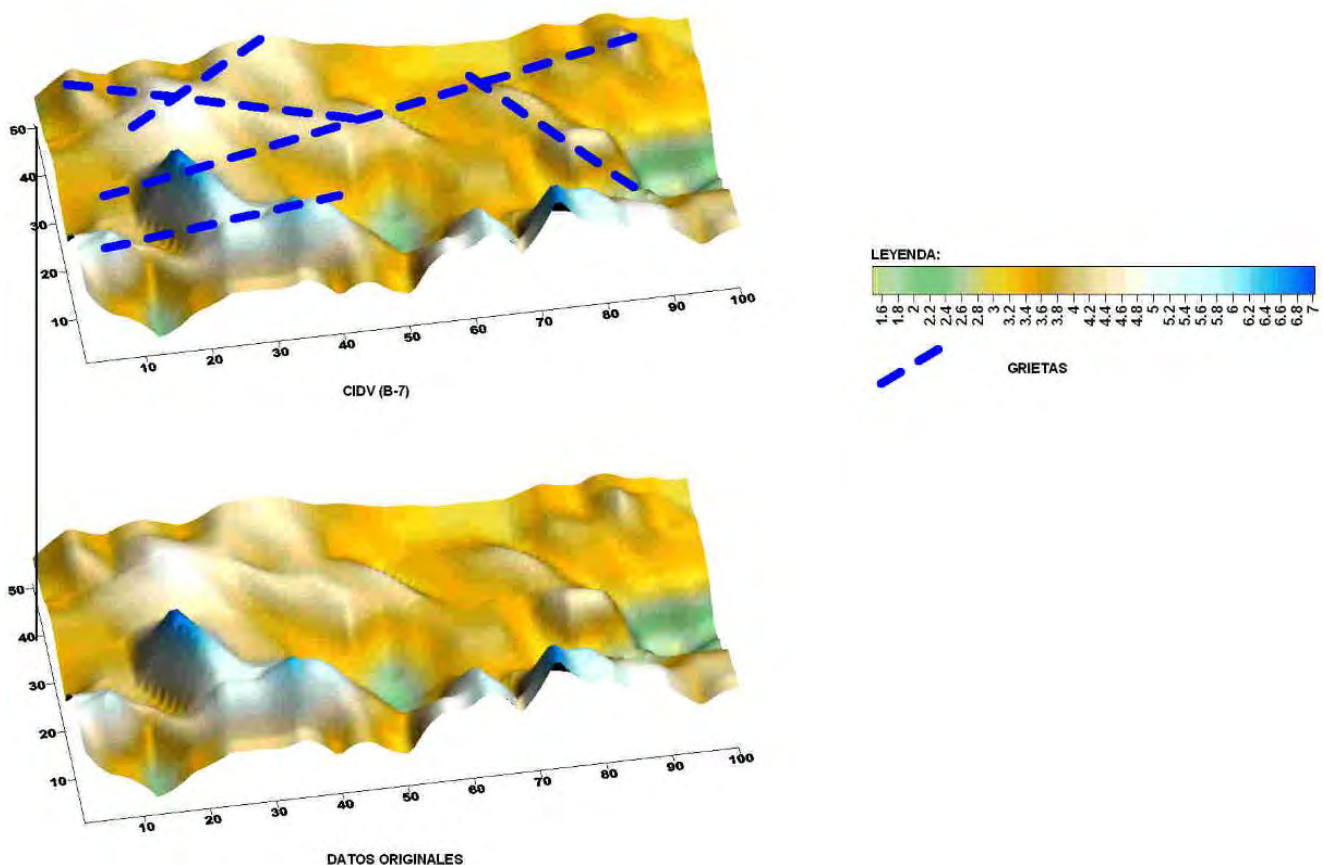


Fig. No. 6.- Filtrado de los datos de radiometría.



CONCLUSIONES.

A partir de los resultados obtenidos puede concluirse que:

- ◆ Los trabajos de **T.E.2D** sobre el nivel de las aguas subterráneas, aportan información valiosa sobre las anomalías y su correlación.
- ◆ La Radiometría aporta información sobre las grietas principales y su posible correlación.
- ◆ El filtrado digital aclara sustancialmente la correlación de los principales fenómenos y estructuras existentes.

RECOMENDACIONES.

- ◆ Realizar un estudio en 3D utilizando las técnicas de tomografía eléctrica para este caso.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Autores varios, 2002. Estudio ingeniero-geológico para la construcción de la nueva chimenea de la CTE Máximo Gómez. CSIA INEL.
- Autores varios, 2003. Estudio ingeniero-geológico para la construcción de los nuevos conductos de la chimenea de la CTE Máximo Gómez. CSIA INEL.
- Autores varios, 2006. Estudio ingeniero-geológico para la construcción del GE-18.3 MW de la CTE Máximo Gómez. CSIA INEL.



CARACTERIZACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA, POR DATOS GEOFÍSICOS EN CONDICIONES GEOLÓGICAS COMPLEJAS

Rafael Jiménez Reyes¹, Roberto Cabrera Serrano², Guillermo González Hernández³, Raimundo Pérez Delgado³, Miguel Silverio Navarrina³.

1) EIPH VC. Libertadores 201 e/ Jesús Menéndez y Danielito. Santa Clara VC, Cuba. 2) Empresa de Aprovechamiento Hidráulico VC, Libertadores 201 e/ Jesús Menéndez y Danielito. Santa Clara VC, Cuba. 3) ENIA. UIV # 4 VC.

RESUMEN

El avance espectacular del turismo en la región central y especialmente en la Cayería Norte de dicha región, están impulsando de forma vertiginosa un gran desarrollo de las construcciones civiles en la zona.

El presente trabajo responde a la ampliación y reajuste del Centro Sanatorial geográficamente localizado en la Cayería Noreste, específicamente en Cayo Santamaría de la Provincia de Villa Clara.

En el trabajo se definen los límites y las posibilidades de los métodos geofísicos de superficie en particular el **Método de Sísmica de Refracción Somera, en la variante de Perfilaje de Tiempo, mostrando sus posibilidades** en la determinación de las características del substrato, y su aplicación como una técnica útil en la solución de problemas relacionados con investigaciones aplicadas a la construcción, específicamente en zonas de intenso desarrollo del carso.

Los principales resultados se sintetizan en la demarcación de zonas de diferente grado de afectaciones cársticas por los métodos geofísicos, se valora la factibilidad constructiva de cada una de ellas, además se refieren los principales riesgos geológicos para la región y un estudio de las características sísmicas de la zona, tomando como base los datos sísmicos obtenidos durante la investigación.

ABSTRACT

The spectacular advanced of the tourism in the central region and especially in the North Key of this region, are impulsing in a vertiginous way a great development of the civil constructions in the area.

This work responds to the enlargement and adjusts of the Sanatorial Center which is geographically located in the North Key, specifically, in Santa Maria Key in the Villa Clara province.

In this research we define the possibilities of geophysical methods of surface in particular the Shallow Refraction Seismic, in the variant of Profiled of Time, showing it is possibilities in the determination of the features of substrate, and it is application as a useful technique in the solution of problems related to investigation applied to construction, specifically in the areas with an intense development of the karst.

The main results are synthesizing in the separation the areas with different rank of karst affectation, by geophysical methods, and we are valuating the feasibility constructible of each of them, besides it refers to the principal geologic risk for the region and the study of the seismic characteristics of the area, taking as support the seismic data obtained during the investigation.

INTRODUCCIÓN

El avance espectacular del turismo en la región central y especialmente en la Cayería Norte de dicha región, están impulsando de forma vertiginosa un gran desarrollo de las construcciones civiles en la zona. La zona de estudio "Centro Sanatorial" se encuentra ubicado en la Cayería Noroeste de la provincia de Villa Clara, (Ver Figura 1).

Cayo Santamaría está considerado como un área ecológicamente sensible o frágil ya que las características físico geográficas del territorio están condicionadas por el carácter insular, su posición geográfica y evolución paleogeográfica; y están determinadas fundamentalmente por la interrelación



del relieve, la vegetación, la fauna silvestre la cual ostenta valores notables por su endemismo local y nacional, los complejos litológicos de sedimentos y la intensidad de los procesos hidrodinámicos.

Las secuencias estratigráficas que aparecen en el territorio se enmarcan en el período Cuaternario, oscilando los depósitos desde el Pleistoceno, representados por la Formación Jaimanitas. La cual constituye el basamento rocoso de Cayo Santa María y gran parte de la plataforma, aflorando prácticamente en toda el área, y sólo ocasionalmente le sobreyacen formaciones más jóvenes, como la Formación Los Pinos.

Las posibilidades de la utilización exitosa de la prospección sísmica para la geología de un territorio, depende de las condiciones sismo-geológicas presentes en ellas, en esta zona dichas condiciones son consideradas complejas si se toman en cuenta las condiciones siguientes:

- ❖ El trabajo se realiza en la Zona de Bajas Velocidades (Z.B.V), es decir en la capa superior de las rocas que abarcan la zona de meteorización y de formación de sedimentos, lo que la hace una capa considerablemente heterogénea. Lo que influye grandemente en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas y en la densidad, con variaciones tanto en profundidad como en área, variando esta velocidad entre 800 m/s y 1700 m/s. Todo ello trae como consecuencia una notable variación en los tiempos de llegada de la onda y variaciones en la forma del registro.
- ❖ La presencia del carso como fenómeno físico geológico que se encuentra desarrollado en toda el área.

Los métodos geofísicos de superficie en particular el Método de Sísmica de Refracción Somera, en particular el Método de Perfilaje de Tiempo constituye una herramienta fundamental en la determinación de las características del substrato, constituyendo una técnica útil en la solución de problemas relacionados con investigaciones aplicadas a la construcción, específicamente en zonas de intenso desarrollo del carso como fenómeno físico geológico desarrollado en toda la región.

Los objetivos de la investigación son los siguientes:

- ❖ Describir las características geológicas e ingeniero-geológicas de la región, enfatizando en las particulares del carso.
- ❖ Reconocer los riesgos geológicos que amenazan a la región.
- ❖ Especificar los principales rasgos sismo-geológicos de la zona y evaluar las zonas de riesgos de esta naturaleza.

En el trabajo se hace un análisis de todas las zonas delimitadas por el método de sísmica de refracción, específicamente el Método de Perfilaje de Tiempo, permitiendo evaluar la factibilidad constructiva de cada una de ellas, se realiza un análisis de las componentes espectrales de las ondas sísmicas, a partir del cual se construyó el mapa de riesgo sísmico de la región, por último en el trabajo se describen los principales riesgos geológicos para el territorio.

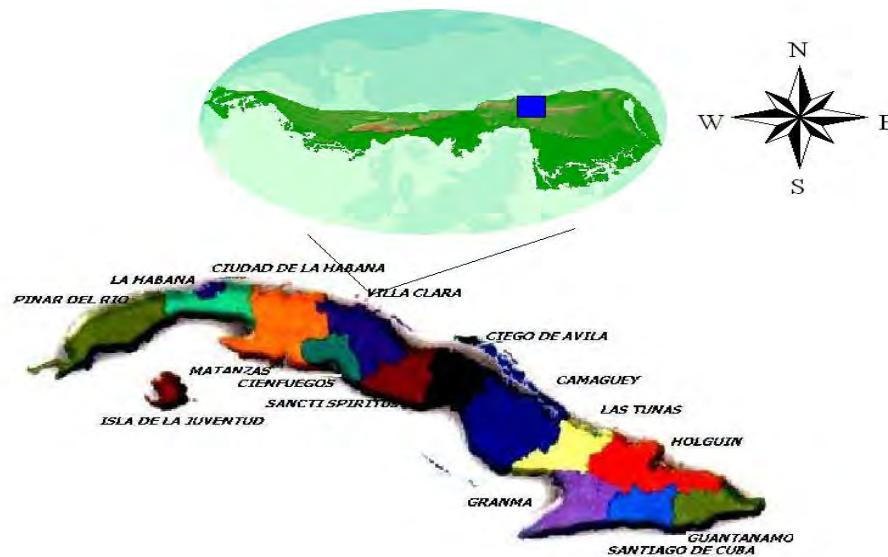


Figura 1. Esquema de Ubicación de los Trabajos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para dar cumplimiento a estos objetivos trazados en esta investigación se realizó una recopilación, evaluación y análisis de los materiales disponibles obtenidos en la literatura especializada, y los trabajos anteriores realizados por especialistas de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Villa Clara permitiendo abundar y consolidar acerca de las características geológicas e ingeniero geológicas de la zona Este de Cayo Santa María, donde se programó efectuar esta obra.

Las mediciones geofísicas se efectuaron en 10 perfiles. Se realizaron puestas sísmicas en zonas de mayor complejidad, utilizando longitudes de puesta de 25 metros y distancia entre geofónos de 1 metro. En total se realizaron 135 puntos de Perfilaje de Tiempo y 10 puestas sísmicas.

El método geofísico empleado fue el de Perfilaje de Tiempo, el cual constituye una de las variantes especiales de los métodos sísmicos y permite evaluar de forma rápida el grado de heterogeneidad de los sedimentos y las rocas que se encuentran cerca de la superficie, es decir esta metodología se aplica con la finalidad de valorar sin grandes complicaciones en los trabajos de campo y utilizando cualquier equipo que pueda registrar las señales de tiempo y estimar las propiedades físico mecánicas de las rocas a una profundidad aproximadamente constante.

El mismo consiste en medir el tiempo de llegada de las ondas elásticas a través del medio, manteniendo constante la distancia transmisor- receptor. De tal modo, las velocidades se calculan de la siguiente forma:

$$V^* = L/T$$

Donde:

V^* , es la velocidad aparente,

L , es la distancia entre transmisor y receptor,

T , el tiempo de llegada de las ondas elásticas al receptor.

RESULTADOS

A partir de los datos geofísicos se elaboró el mapa de isócronas e imágenes de isocronas, en el cual se observa las heterogeneidades de la zona debido a la presencia del carso como fenómeno físico geológico presente en toda la zona en sus diferentes manifestaciones, partiendo del mapa de isócronas (Figura 2), como base y la combinación de los diferentes criterios (geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos y los de foto área), se construyó el mapa ingeniero geológico de la zona como se observa en el (Figura 3).

En el mapa de isócronas e imágenes de isocronas se puede observar que las zonas más activas se manifiestan la parte central del área fundamentalmente entre los perfiles T 5A y T 3. Las principales anomalías se muestran en forma de circunferencias, coincidiendo con embudos y casimbas, además el aumento del gradiente de las isolíneas coincide con los límites de estas manifestaciones cárnicas.

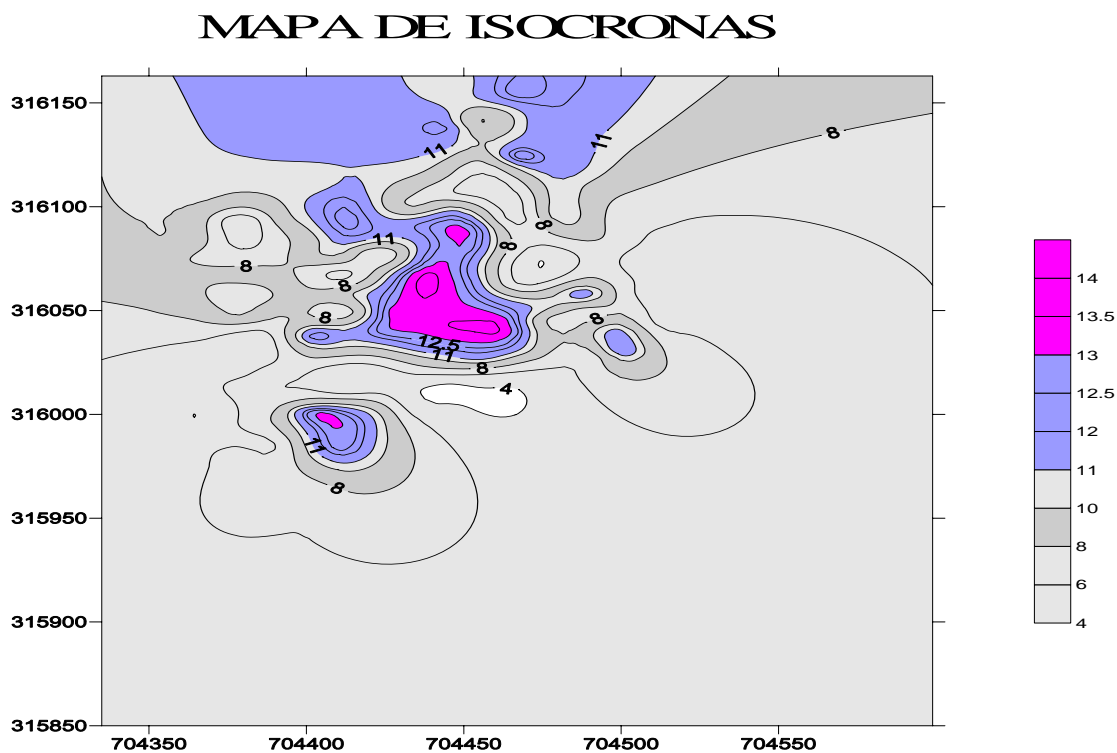


Figura 2. Mapa de Isocronas.

Los valores de velocidad de propagación de las ondas elásticas son bajos y varían entre 350 m/s y 900 m/s.

Entre los resultados también se realiza el análisis espectral del campo sísmico, presentándose la disminución de la amplitud de la señal en las zonas de intenso desarrollo del carso, ello permitió cartografiar zonas de carso encubierto, que pueden ser potencialmente zonas de desplomes del techo de las formas cársticas.

Integrando la interpretación del mapa de isocronas e imágenes de isocronas, el análisis espectral y estadístico de los datos podemos subdividir el área en tres zonas:

Zona 1. Es la zona donde existe menos desarrollo del Carso.

Zona 2. En la misma se presentan manifestaciones cársticas como: casimbas, embudos y oquedades, de dimensiones pequeñas (diámetros inferiores a los 0.50 metros.).

Zona 3. En esta zona existe un intenso desarrollo del carso, las manifestaciones cársticas (casimbas desplomadas, cavernas, oquedades, embudos, etc.), pueden alcanzar diámetros superiores a los 3 metros y profundidades entre 2 y 2.5 metros.

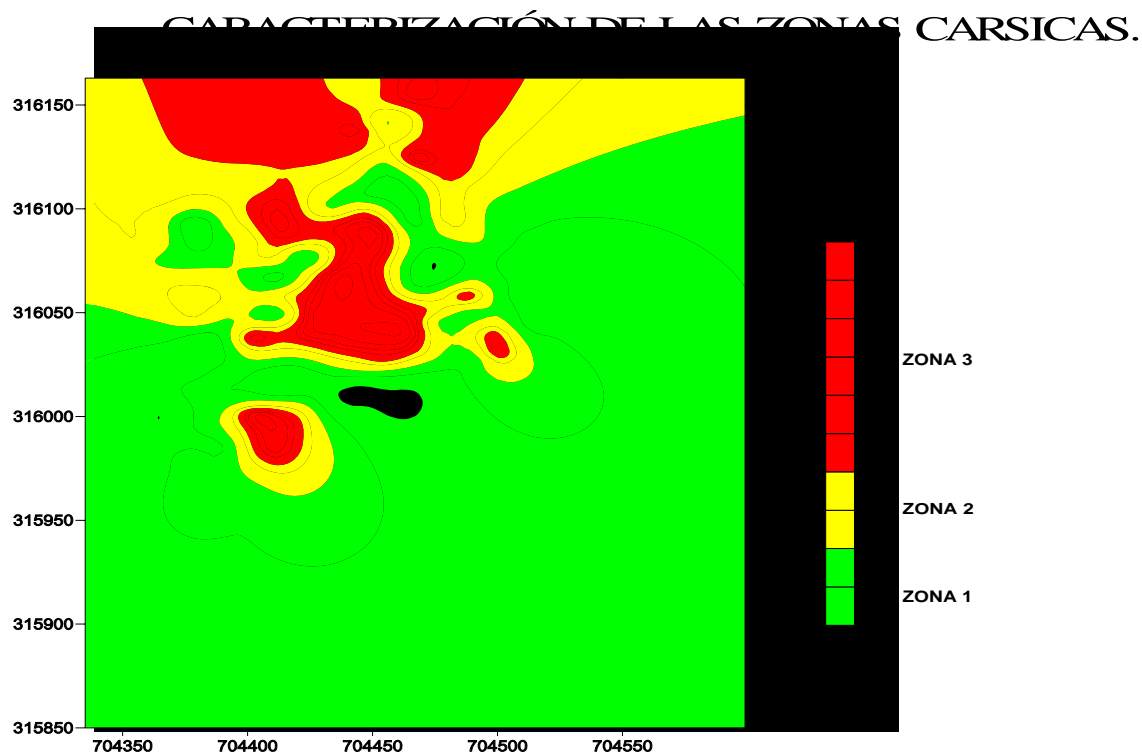


Figura 3. Mapa de Zonación Cársica.

Sismicidad de la Zona

Tomando en consideración las características de la estructura tectónica de Cuba Central, esta región de la Cayería Noreste de Villa Clara se considera de baja actividad sísmica, con una frecuencia baja de ocurrencia de sismos importantes y con predominio de eventos de fuerza moderada a baja, no se exceptúa al territorio de la ocurrencia de un sismo de mayor acción por ser esta una zona sismo generadora.



En el territorio se entrelazan fallas y sistemas de grietas, por lo que existe el riesgo de ocurrencia de movimientos telúricos de mayor intensidad que los ocurridos hasta la fecha. Muestra de ello es el sismo más fuerte registrado en la región central del país, el 15 de Agosto de 1939, cuyo epicentro se localizó en la falla norte cubana, específicamente al E-N-E de Caibarién y al norte de Cayo Santa María. Este evento produjo estremecimientos con intensidad máxima de siete grados en la escala MSK. En la ciudad de Caibarién se reportaron daños de cierta consideración en edificaciones sin tener cuantificados los mismos mediante un registro oficial. Su magnitud fue de 5-6 grados en la escala Richter.

Además a partir de 1970 se han producido en Caibarién otros terremotos como los de 1984 con magnitud 2.5 de intensidad de 4 y en Cayo Frago el 24 de Septiembre de 1992 con intensidad 4.

Desde el punto de vista sismo geológico la zona esta caracterizada por una sismicidad moderada y en la misma no se producirá efectos dañinos para las construcciones y donde no es necesario tomar medidas sismorresistentes en las estructuras y obras.

Es importante destacar que tomando en cuenta las características ingeniero geológica complejas de zona, dado por la presencia del carso como fenómeno físico geológico ampliamente desarrollado en la región, en el área el grado sísmico puede aumentar.

Características del Carso

Los fenómenos cárscicos se encuentran aflorando en la zona Centro Este de la región, caracterizado por un carso desnudo y semidesnudo, ya que la rocas carnificadas afloran en la superficie sin ningún tipo de cobertura considerable, lo que desde el punto de vista ingeniero geológico es considerado como joven, lo cual nos indica que predominan los procesos de ampliación de las cavidades, grietas, poros y oquedades. Como puede observarse este criterio no tienen relación con la edad relativa de las rocas, sino que está en dependencia del estado natural de las rocas y el carácter del relleno de sus formas cárscicas.

Los rasgos geomorfológicos del carso en la región están dados por el predominio del diente de perro, de diferentes tamaños, que pueden estar asociados a pequeñas casimbas o pequeñas depresiones que pueden ser cilíndricas o redondeadas, los diámetros de las misma varían desde 1 centímetro hasta 50 centímetros, estas casimbas pueden estar rellenas parcialmente de restos de suelo y en ocasiones de agua de lluvia.

Se observan además dolinas desplomadas, que presentan paredes abruptas, estas dolinas se encuentran en la región central, alcanzando dimensiones considerables con diámetros aproximados de 10 metros y profundidades entre 1.5 metro y 2 metros. En el fondo de las dolinas se encuentran depósitos terrígenos, restos de vegetación, carbolitos y fragmentos derrumbados.

Como elemento ingeniero geológico fundamental podemos señalar que estamos en presencia de un carso joven que presumiblemente continuará desarrollando sus formas cárscicas principales, lo que producirá mayor carsificación de las rocas, lo que como regla general produce mayor anisotropía y el empeoramiento de las propiedades físico mecánica de las rocas.

Principales Riesgos Geológicos

Los principales riesgos geológicos presentes en la zona son los siguientes:

- ❖ Erosión. Es un fenómeno muy difundido por la región y se origina por la acción erosiva del agua sobre unas rocas blandas y poco compactas de la zona. La erosión se manifiesta fundamentalmente en los límites de las zonas cárscicas y es típico de este tipo de carso.
- ❖ Desplome de casimbas y dolinas. Esta es una manifestación que es característica y muy



frecuente en las zonas cársticas, y puede ocurrir con reiteración en esta zona. Como elemento ingeniero geológico fundamental podemos señalar que estamos en presencia de un carso joven que presumiblemente continuará desarrollando sus formas cársticas principales, lo que producirá mayor carsificación de las rocas, lo que como regla general produce mayor anisotropía y el empeoramiento de las propiedades físico mecánica de las rocas.

- ❖ Terremotos. Cayo Santa María se encuentra en la Zona I. la cual se considera de baja sismicidad, sin efectos dañinos para la construcción y donde no es necesario tomar medidas sismorresistentes en estructuras y obras. No obstante desde el punto de vista estadístico, no se puede decir que existe sismicidad nula. Existen dos elementos de vital importancia en el incremento sísmico de la región, como son la presencia del carso como elemento ingeniero geológico complejo y la poca profundidad del nivel freático en determinadas zonas generalmente coincide con el Nivel Medio del Mar. Estas características pueden cambiar en dependencia de las propias características geológicas de la zona y el grado sísmico puede incrementarse.

DISCUSIÓN

La variación de las velocidades está en dependencia de las propiedades elásticas del medio por el cual se transmiten las ondas elásticas en su interior, siendo estas velocidades mayores cuanto más consolidado es el medio por el cual se propagan.

Las características geológicas de la zona inciden de forma directa y marcada en los valores de velocidad y en los tiempos de llegada de las ondas elásticas a los receptores luego de ser generadas por una fuente artificial, es decir que tanto las velocidades como los tiempos de llegada de las ondas elásticas representan un factor determinante que indica el grado de consolidación de las rocas estudiadas, en este caso las rocas de la Formación Jaimanitas la cual esta representadas por calizas órgano detríticas y organógenas cavernosas, las cuales constituyen la base rocosa de la región.

Los valores de tiempo medidos responden en gran medida al grado de carsificación de las rocas de la Formación Jaimanitas.

CONCLUSIONES

1. Las condiciones Ingeniero Geológica de la zona estudiada son extremadamente complejas caracterizada por el desarrollo intenso de los fenómenos cársticos.
2. La profundidad del carso está en dependencia de la litología y el agrietamiento, pero de forma general el mismo disminuye con la profundidad.
3. Las características sísmicas de la zona están condicionadas por la complejidad ingeniero geológicas de la misma y al profundidad del nivel freático.
4. Los principales riesgos geológicos son la erosión, el derrumbe de casimbas y dolinas y la ocurrencia de movimientos sísmicos superiores a los que han ocurrido hasta el momento en la zona.

RECOMENDACIONES

1. Para llevar a cabo la ejecución de las construcciones se debe tener en cuenta las medidas para mitigar los efectos de los fenómenos cársticos.
2. Realizar un estudio del incremento sísmico de la zona.



3. En el caso de realizar obras de excepcional importancia en la zona se deben realizar investigaciones geológicas para determinar las fallas actuales o potencialmente activas.

BIBLIOGRAFÍA

- Balado Piedra, E.J. y colaboradores; 2004. "El Mundo Subterráneo". Tabloide Especial. Grupo Edición Editorial Academia, La Habana
- Colectivo de Autores, Línea Base Ambiental de Cayo Santa María, Colectivo de Autores, 1992, Léxico Estratigráfico de Cuba, C. Habana,
- Grupo de Geofísica ENIA, 1982, Instructivo para determinar el Incremento Sísmico en los Trabajos de Micro regionalización Sísmica para las Construcciones, C Habana.
- Martínez del Pino, E., Investigaciones Geológicas para el Abasto Provincial del Cayo Santa María. 1997. Santa Clara. V.C Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos.
- Tenreiro R, C Rafca, 1988, Fundamentos de la Prospección Sísmica, C Habana, Editorial Pueblo y Educación.



PATOLOGIA DE UN EDIFICIO DE MAS DE 60 AÑOS DE CONSTRUIDO

Miguel Silverio Navarrina

Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. Unidad de Investigaciones para las Construcciones. Villa Clara. CUBA

RESUMEN

En la Universidad de las Ciencias Informáticas de Ciudad de La Habana, dada la creciente necesidad de contar con edificaciones para nuevos Laboratorios de Computación, se utilizan algunos de los edificios construidos hace más de 50 años los cuales inicialmente formaban parte de un centro de rehabilitación de menores.

Luego de algunas reparaciones se comenzaron a utilizar con los fines docentes ya descritos, pero recientemente han aparecido grietas en paredes y hundimientos (elevaciones) en pisos que evidencian movimientos en dichos edificios.

Debido a la rapidez con que continuaban las deformaciones en varios edificios del área, se solicita a la Empresa de Investigaciones Aplicadas una valoración rápida de lo que sucede y se decide realizar un estudio inicial en uno de los edificios mediante métodos no destructivos en paredes, pisos y losas de cubierta.

Los resultados de este estudio permiten hacer un levantamiento de todas las grietas presentes, tanto las visibles como otras que habían sido selladas en épocas anteriores, y además se plantea la siguiente hipótesis: "si se solucionan los problemas que provocan los posibles movimientos del edificio se aplacaría la formación de grietas y podrá realizarse una verdadera reparación en toda la estructura del mismo".

El estudio en el edificio fue realizado con mediciones de ultrasonido y empleo del esclerómetro y en exteriores se trabajó con el método de imágenes geoeléctricas.

Los resultados obtenidos sirvieron para guiar el estudio ingeniero-geológico definitivo y fueron un factor decisivo en la evaluación de los riesgos geológicos que se presentan en la zona.

ABSTRACT.

In the University of the Computer Sciences of City of Havana, given the growing necessity to have constructions for new Laboratories of Computation, some of the buildings that have more than 50 years have been used which initially formed part of a rehabilitation center.

After some repairs they began to use with the educational ends described, but recently cracks have appeared in walls and sinking (elevations) in floors that evidence movements in this buildings.

Due to the speed with which the deformations continued in several buildings of the area, it is requested to the Enterprise of Applied Investigations a quick valuation of what happens with initial study in one of the buildings by non destructive methods in walls, floors and cover flagstones.

The results of this study allow to know the presence of all the cracks, both the visible ones as others that had been sealed in previous times, and they also think about the following hypothesis: "if the problems that cause the possible movements of the building are solved the formation of cracks would be eliminated and they will be able to carried out a true repair in the whole structure.

The study in the building was carried out with ultrasonic mensurations and employment of the Schmidt Hammer and in external areas worked with the Method of electrical imaging.

The obtained results were good to guide the definitive engineer-geologic study and it were a decisive factor in the evaluation of the geologic risks that are presented in the area.

INTRODUCCIÓN.

Las construcciones que se vienen realizando en la Universidad de las Ciencias Informáticas de Ciudad de la Habana, requieren de una rapidez notoria dados los planes docentes-productivos que existen para esa entidad.



En áreas de la misma se construyen múltiples edificios para residencia de alumnos y profesores así como edificios donde se imparte o se impartirán los programas docentes.

La secuencia para la construcción de estos últimos no puede realizarse con la misma celeridad de los primeros, por lo que se requiere utilizar los edificios de más de 60 años de construidos utilizados con anterioridad como centro de rehabilitación de menores y posteriormente como base militar.

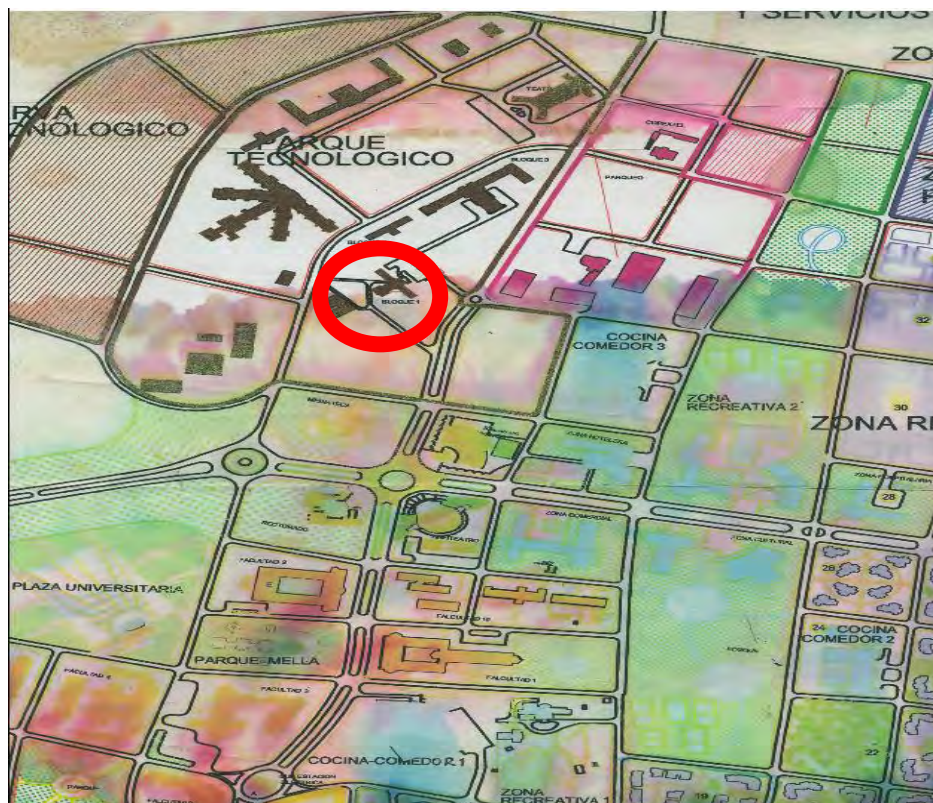


Figura 1. Ubicación de La edificación analizada con respecto al resto de la obra.

La adaptación de estos edificios a Laboratorios de Computación se realizó con relativa facilidad sin incluir nuevas paredes o losas que cambiaran su fisonomía exterior o interior, trabajándose fundamentalmente con paneles aligerados para división de locales y falsos techos para mejorar la apariencia de los mismos. Además se realizaron al parecer reparaciones generales en paredes y losas de techo lo cual enmascaró cualquier evidencia de fallos estructurales.

En el año 2005 aparecen grietas en paredes y ocurren levantamientos de pisos en el Laboratorio de Computación ubicado en esta área de edificios viejos y durante la reparación de esos problemas se solicita un estudio a la ENIA para que mediante la aplicación de métodos no destructivos se obtenga una valoración preliminar de la edificación.

Al respecto se decidió realizar mediciones de ultrasonido y esclerómetro en las paredes. Lo anterior unido al levantamiento visual realizado a toda la instalación, permitió recomendar un estudio geofísico en los alrededores de la misma, el cual se realizó con el Método de las Imágenes Eléctricas cuyos resultados corroboran los criterios emitidos desde los inicios de la investigación acerca del origen de los problemas en la zona.



En este trabajo se expone un resumen de la forma en que se realizaron las mediciones ultrasónicas y las restantes en exteriores, los criterios establecidos para la interpretación de los mismos así como los principales resultados obtenidos.

I.- GRADO DE CONOCIMIENTO DEL PROBLEMA.

- ✚ Los suelos que predominan en la zona son fundamentalmente arcillo-carbonatados, alternando entre argilitas, aleurolitas, margas, y suelos calizos o eluvios de caliza. Estos últimos presentan un grado de compacidad elevado y por tanto en todas las restantes áreas de la Universidad corresponde con la capa donde se empotran todos los cimientos.
- ✚ La profundidad del nivel freático es 12.00 m por lo que no debe afectar las cimentaciones que se realicen.
- ✚ La permeabilidad de toda el área es baja-media.
- ✚ El grado sísmico del área es 5 en la escala MSK y no se han registrado sismos de consideración.
- ✚ No existe desarrollo cárstico en el área.
- ✚ El edificio fue construido en la década del 40 y parece que ha sufrido varias reparaciones. Se encuentra ubicado en el llamado Parque Tecnológico (Fig. 1).
- ✚ En dicho edificio han aparecido una serie de grietas en paredes y levantamientos del piso (Fig. 2).



Figura 2. Aparición de grietas en pisos y paredes después de realizar algunas reparaciones.

II.- TRABAJOS REALIZADOS.

Los trabajos realizados con el esclerómetro fueron muy sencillos y sirvieron de guía en algunos casos a los restantes por lo que no se detallan en este trabajo.



II.1.- ULTRASONIDO.

Las mediciones con este método se realizaron con el equipo soviético UK10P-M de procedencia rusa, el cual permite valorar la forma de la onda ultrasónica a través de una pantalla donde se refleja ésta. Los transductores empleados fueron los correspondientes a 20 KHz. los cuales resultaron más eficaces para la detección de las anomalías planteadas, utilizándose los mismos de forma independiente como emisor y receptor empleándose además transductores especiales que se caracterizan por la conformación de ambos en un solo cuerpo.

La variante de medición empleada fue la de perfilaje ultrasónico donde se mantiene constante la distancia entre emisor y receptor, la cual fue de 15 cm. Para obtener la distancia anterior como la más adecuada se realizaron mediciones haciendo pequeños sondeos con longitud máxima de 38 cm. entre emisor y receptor, empleándose sus resultados, además, para la determinación de espesores de resano en algunas paredes afectadas.

II.2.- IMÁGENES ELÉCTRICAS.

El Método consiste en la obtención de una imagen geoelectrica del subsuelo, en este caso hasta 6.0 7.0 m de profundidad. La variante de medición empleada fue la de Wenner-Schlumberger con voltajes de energización al terreno entre 300-500 volt. La distancia máxima de la puesta fue de 30.0 m. El equipo empleado fue el Syskal Junior con el sistema de electrodos inteligentes con el cual trabaja, y en total se realizaron 7 puestas alrededor del edificio. Figura 4.

III.- METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Los criterios para la elaboración de los datos de ultrasonido fueron los siguientes:

1. La velocidad de la onda de ultrasonido en los resanos de las paredes fue de 600-920 m/s.
2. La velocidad del muro oscila entre 1250-2200 m/s.
3. El pulso ultrasónico se distorsiona alrededor de las zonas agrietadas, aumentando su longitud de onda.
4. Los hodógrafos en las áreas afectadas se distorsionan quebrando su continuidad.

Para la interpretación de las imágenes eléctricas se utilizó el programa Res2Dinv con los siguientes criterios:

1. El método para confeccionar los perfiles debe ser el de elementos finitos.
2. La interpolación se realizará considerando solamente el área que ocupan los puntos de medición.
3. Se calculará el número de elementos de forma tal que se dispongan dentro del intervalo de medición.
4. Los valores de resistividad eléctrica específica de acuerdo al tipo de suelo se presentan en la tabla N° 1.

Tabla1

TIPO DE SUELO	RESISTIVIDAD (ohm – m)
Arcillas muy saturadas (arcillas expansivas)	1 - 3
Arcillas gravo – arenosas – algo carbonatadas	3 - 15



Arcillas carbonatadas, aleurolitas, algo compactas,	15 - 30
Suelo calizo	30 - 50
Eluvio de caliza, roca intemperizada	50 - 150

IV.- RESULTADOS OBTENIDOS.

IV.1.- ANÁLISIS DEL AGRIETAMIENTO EN PISOS Y PAREDES.

1. Valorando cualitativamente los pulsos sísmicos, se conformó el cuadro ondulatorio de cada pared del edificio, corroborando que las grietas existentes no solo afectan el resano si no además la armazón de ladrillos y bloques. Dichas grietas son inclinadas generalmente (35° - 45°) y en todos los casos se corresponden con las ubicadas visualmente en los pisos, o sea, son una continuidad de éstas últimas.
2. Los espesores de resano en algunas paredes pueden alcanzar 8.0 cm.
3. Se detectaron zonas de debilitamiento en paredes que indican que en épocas anteriores se realizó un enmascaramiento de las mismas sólo superficialmente. Con todos estos datos se conformó un plano general con la disposición de las grietas detectadas y observadas (Fig. 3).

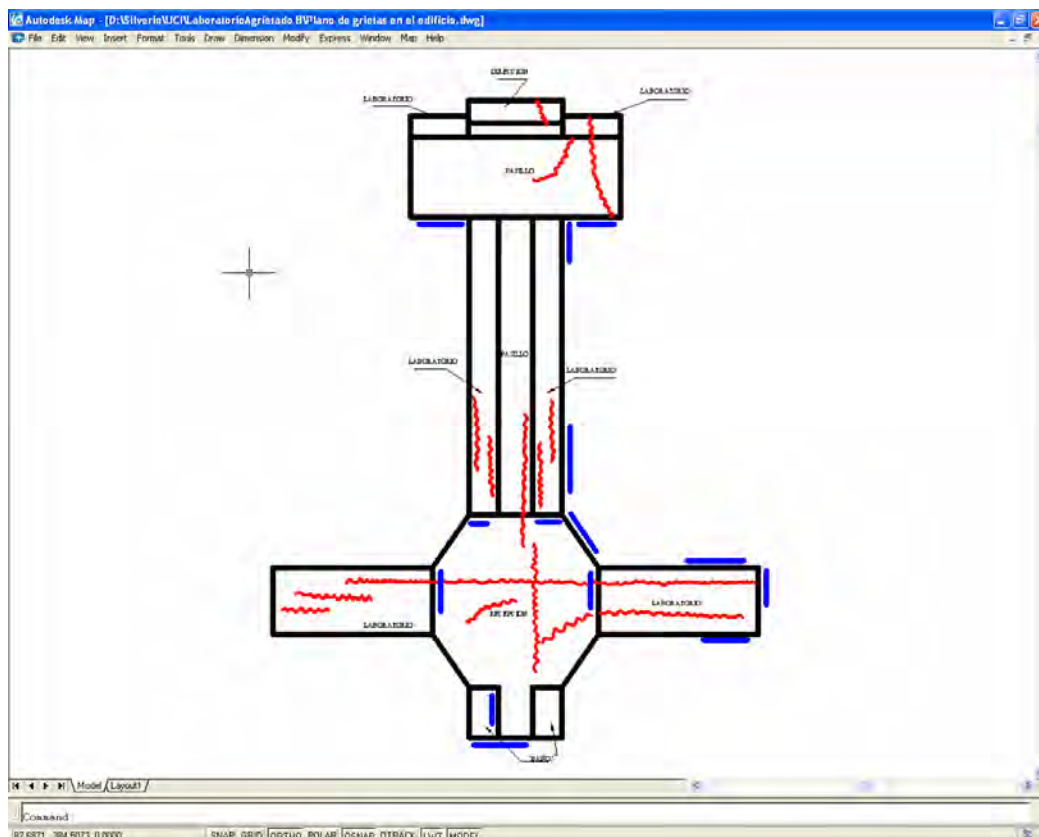


Figura 3. Inventario de grietas en pisos y paredes, detectadas por las mediciones de ultrasonido, esclerómetro y levantamiento visual. En rojo grietas en piso, en azul paredes agrietadas.

IV.2.- ANÁLISIS DE LOS PERFILES EN EXTERIORES.

La ubicación de las puestas para obtener los perfiles geoelectricos, se realizó lo más cercano a la edificación y sorteando los obstáculos en el área (Ver Fig. 4).

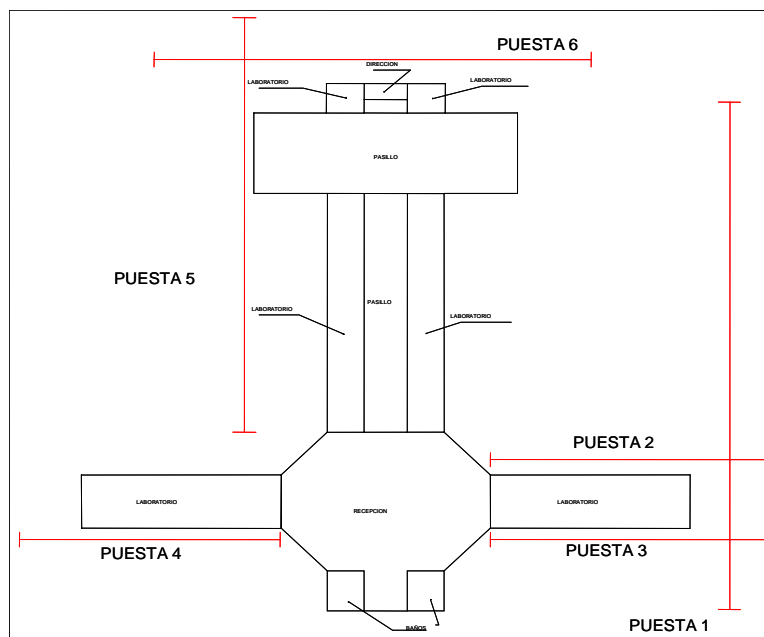


Fig. 4 Ubicación de puestos para imágenes geoelectricas

Los resultados en este caso se presentan en forma de perfiles en profundidad donde se diferencian las capas por sus valores de resistividad eléctrica. En todos los perfiles aparecen las capas de baja resistividad (colores en azul claro y fundamentalmente en azul oscuro), las zonas de arcillas poco consolidadas pero no consideradas del tipo expansivas (zonas en verde) y las zonas de alta compacidad y mayor contenido de carbonatos la que se detecta generalmente a profundidades de 5.0 m (zonas rojizas). Los valores de alta resistividad que aparecen en superficie corresponden con elementos de hormigón situados en las inmediaciones de los electrodos de medición, o sea, no corresponden con presencia de roca a esa profundidad. Los valores intermedios entre los rangos de resistividad citados, se asocian a los materiales de transición de materiales muy arcillosos a carbonatados.

Se observa en los perfiles que las capas de arcilla expansivas presentan espesores de hasta 3.0 m y que las zonas altamente saturadas no se encuentran distribuidas homogéneamente en la zona.

V.- CONCLUSIONES.

- ✚ En la zona se construyó sin tener en cuenta la existencia de arcillas de tipo expansivas cuya principal característica es la de producir movimientos como consecuencia de hinchamientos y retracciones del subsuelo. La estructura ha sido sometida a empujes verticales y asentamientos diferenciales, todo lo cual se determina con claridad por esta investigación.
- ✚ La capa de muy baja resistencia que se detecta a profundidades entre 2.0 m y 5.0 m es la causante de los procesos de asentamiento y subpresiones sobre la obra de interés.
- ✚ El buzamiento de las capas es prácticamente nulo.
- ✚ No se detecta con claridad la profundidad del nivel freático, pero todos los materiales que conforman el corte geológico estudiado están altamente saturados. y a su vez forman parte de la corteza de meteorización del área.
- ✚ El componente arcilloso de los suelos va disminuyendo con la profundidad predominando los componentes carbonatados a partir de 5.0 m.

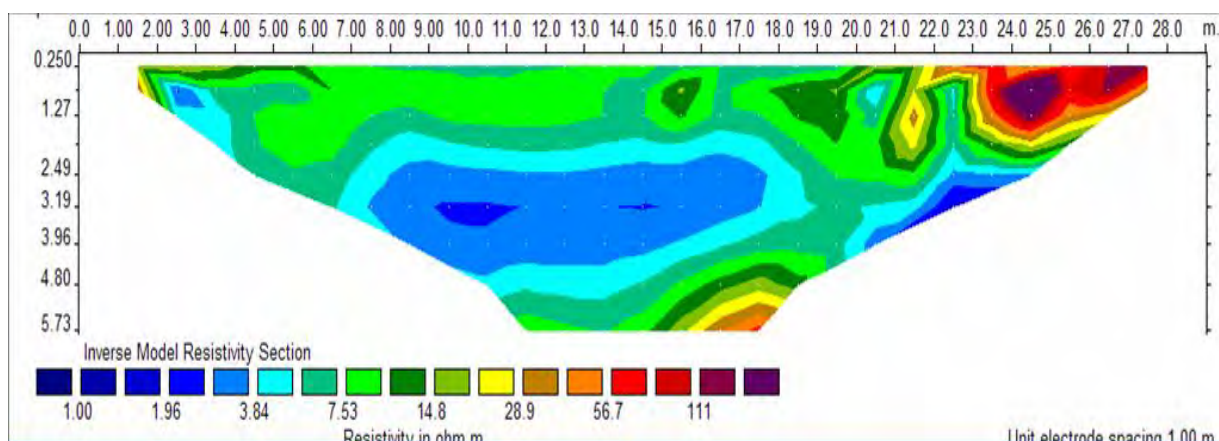


- La causa fundamental del aumento de humedad en el área es debido a los intensos salideros de los tanques que abastecen al edificio, la falta de drenaje en los alrededores que impide el escurrimiento, y por los salideros de las tuberías hidráulicas y albañales instaladas hace 1-2 años. Esto último puede deducirse ya que las aguas acumuladas en el subsuelo tienen un nivel de mineralización mucho mayor al que presenta el nivel freático en la zona.

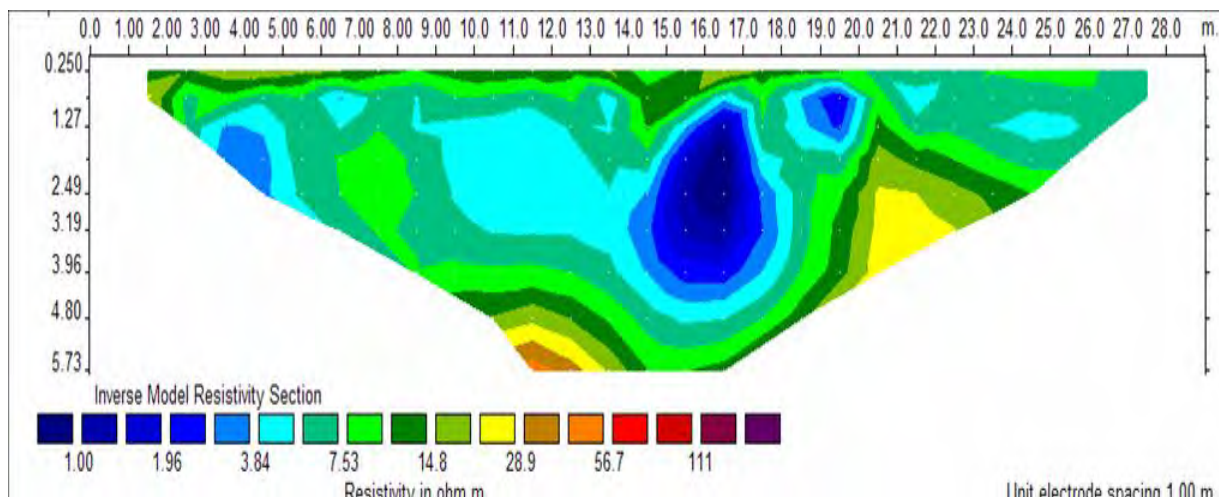
VI.- RECOMENDACIONES.

- Será estrictamente necesario tomar precauciones para no producir cambios de humedad en el subsuelo así como verificar que no existan acumulaciones de agua en los alrededores del edificio y una red de drenaje que impida la llegada de agua a la cota de apoyo de las cimentaciones.
- Es imprescindible realizar un estudio geotécnico definitivo que cuantifique con exactitud el grado de expansividad de las arcillas y permita presentar las recomendaciones necesarias para la preservación de la obra.
- Deben continuar los estudios geofísicos para precisar la presencia o no de arcillas expansivas en las restantes zonas donde se pretende construir.

PUESTA 1



PUESTA 2





PUESTA 3

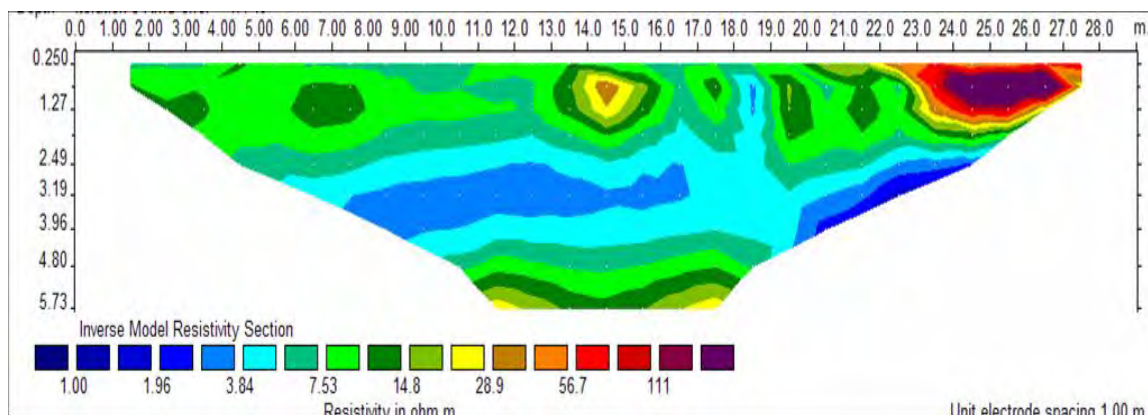
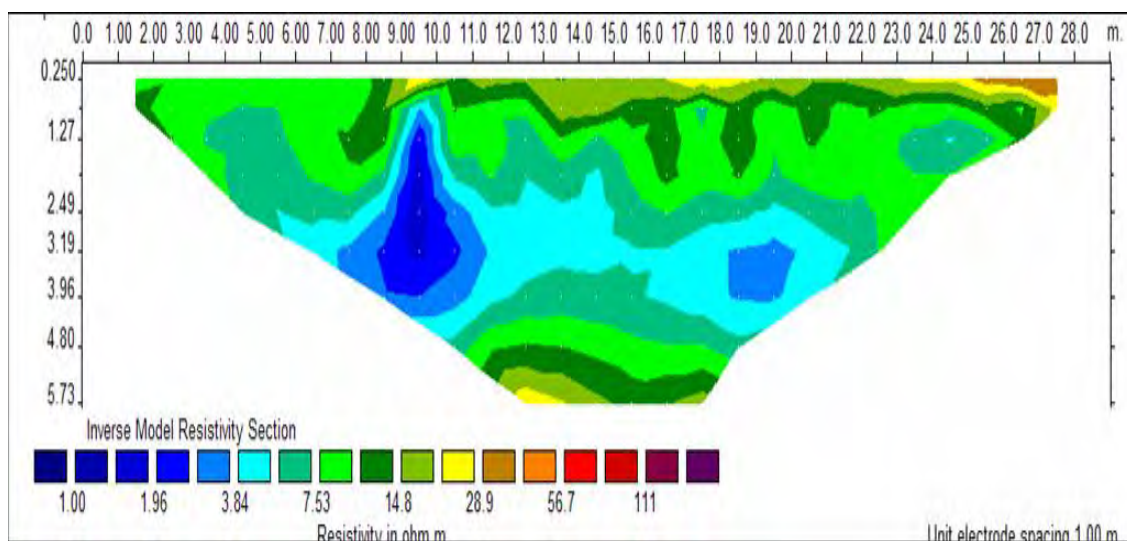
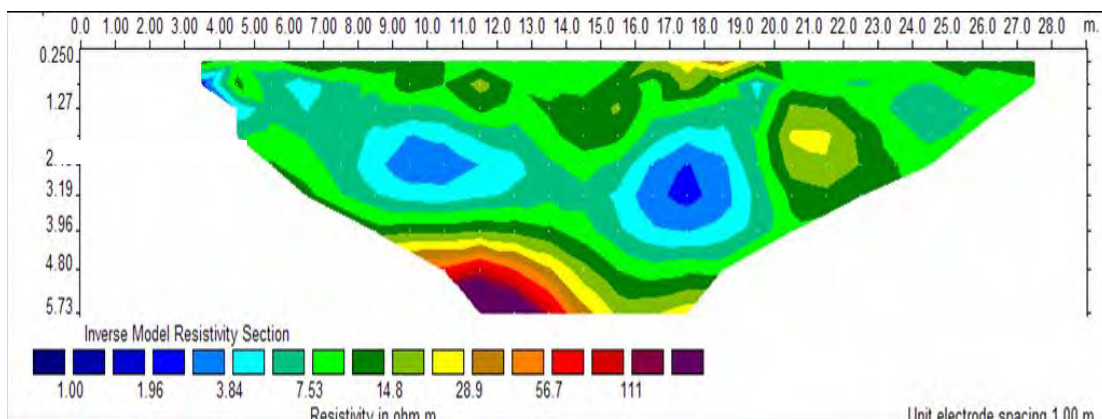


Figura 5. Representación de las Imágenes Eléctricas del Subsuelo. Las capas de colores azules claros y oscuros corresponden con zonas de saturación elevada dentro de las capas de arcillas, lo que provoca su expansividad.

PUESTA 4



PUESTA 5



PUESTA 6

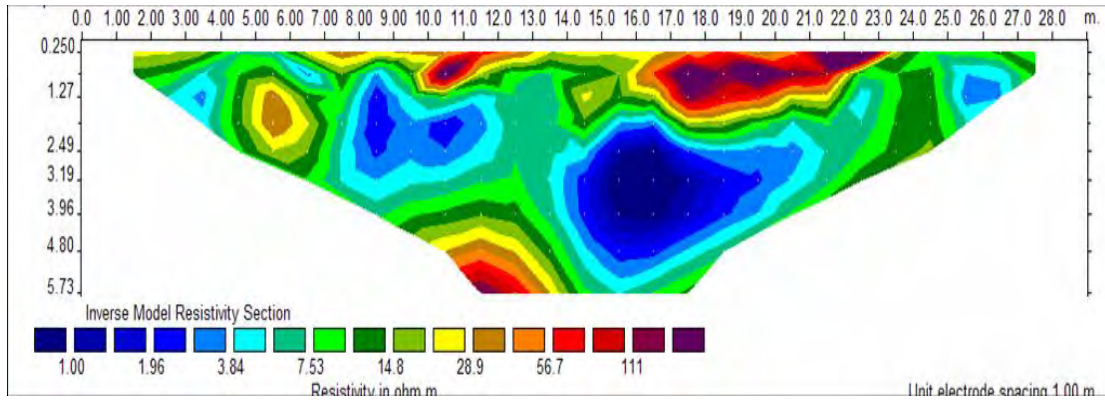


Figura 5. Representación de las Imágenes Eléctricas del Subsuelo. Las capas de colores azules claros y oscuros corresponden con zonas de saturación elevada dentro de las capas de arcillas, lo que provoca su expansividad.

BIBLIOGRAFIA

- Batalla O M. 2005. *Las dañinas arcillas expansivas*. www.construccion.co.cr.
- Brackley, I.J.A. 1992. *In situ measurement of total natural horizontal stresses in an expansive clay*. Geotechnique, vol 42, N° 2: p 443-451.
- Geociencias ISPJAE. Ciudad Habana: p 53-70.
- Rodríguez Pérez J. 1998. *Geología Ambiental*. Facultad de Ingeniería Civil Departamento de
- Yanes Bustamante E. Sevilla 1992. *Arcillas expansivas: su estudio y patología*, "Actas del Congreso sobre Patología y Control de Calidad en la Construcción", (Andalucía. España).



ARGUMENTACIÓN DE LA CONTINUACIÓN DE LA FALLA SAN ANDRÉS EN EL GOLFO DE MÉJICO MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DEL CAMPO GRAVITACIONAL

José Gemen Luís. Prol.Betancourt⁽¹⁾, María Rifá Hernández⁽¹⁾,

(1) Centro de investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET). Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado. Ciudad Habana, Habana 4, Cuba, prol@digicupet.cu.

RESUMEN.

En este trabajo se explican los elementos de juicio para suponer la presencia de un sistema de fallas transcorticales que pueden seguirse desde la región oriental del Golfo de México hasta el territorio cubano, donde penetra, limitando por el oeste a la denominada Unidad Tectónica de Bahía Honda. Para ese fin se utiliza la información gravimétrica regional tanto satelital, como la correspondiente a los últimos levantamientos de a bordo ejecutados en la Zona Económica exclusiva. Se emplearon diferentes métodos de transformación de los campos para estudiar la diferenciación cualitativa de las anomalías, y la información del mapa geológico de Cuba a escala 1: 500 000. Todo parece indicar que la falla que penetra en territorio cubano fue remodelada por los movimientos desde el Campaniano hasta el Eoceno Medio.

ABSTRACT.

In this paper are explained the judgments in order to forecasts that existence of a crust fault system, which can be followed from the central part of the Gulf of Mexico to the Cuban territory, were penetrates, limiting the *Bahía Honda* Unit for the west. The information about the regional gravity field was processed from satellite and sea surveys, acquired in the EEZ. Several methods of transformation were applied over the gravity field, in order to study the different types of anomalies. It is probable that the fault was modified by the movements occurred from the Campanian to Middle Eocene.

INTRODUCCIÓN

Antes de abordar el tema que corresponde a esta ponencia es conveniente repasar las ideas sobre la posición de las grandes fallas en el territorio cubano. La presencia de una gran estructura disyuntiva, nombrada por G. Furrázola como “Sierra de Jatibonico”, y extendida a lo largo de la Isla de Cuba, desde el norte de la provincia de Ciego de Ávila, hasta el sector marino inmediato al norte de Mariel, fue señalada por este investigador en el Esquema Tectónico de la Isla de Cuba, después de haber generalizado la información de numerosos geólogos, quienes habían trabajado para las compañías extranjeras en Cuba antes del año 1959 (G. Furrázola et al, 1964). Desde el límite entre las provincias de Ciego de Ávila y Camagüey hacia el occidente, la falla mencionada corre paralelamente a otra nombrada por estos autores como Las Villas. Hacia el oriente ambas fallas se unen, en una sola alineación que sale al mar con línea discontinua por la Bahía de Gibara (Furrázola, op cit). Entre ambas estructuras disyuntivas ellos señalan la denominada Elevación Marginal del Geosinclinal. Diez años después A. L. Knipper y R. Cabrera consideraron que los sedimentos presentes en esa zona en el sector de las Villas, correspondían a una cuenca no compensada o leptogeosinclinal, limitada en su borde norte por una falla a la cual denominaron Las Villas (Knipper et al, 1974). Esta estructura es el contacto tectónico entre las UTE Remedios y Camajuaní. Para la provincia de Camagüey, el borde sur de la UTE Remedios, o contacto en este caso de esta UTE con las serpentinitas que yacen al sur, ha sido denominado como Falla Cubitas (Iturralde, et al, 1982). Según M. Iturralde, la UTE Camajuaní en este sector de Camagüey, está recubierta por las serpentinitas (Iturralde op cit), en cuyo caso se

trata de la continuación hacia el oriente de la Falla Las Villas. Este contacto deja de aflorar hacia el oriente de Cuba debido al recubrimiento de serpentinitas y variedades del Arco Volcánico, aunque reaparece al norte de la Provincia de Holguín en el borde meridional de los afloramientos de la Formación Gibara conformada ésta fundamentalmente por calizas de banco. Lo expresado confiere a la Falla Las Villas, un carácter regional, que se manifiesta tanto en el campo gravitacional como en el magnético (Álvarez et al op cit, 2002). Para la región occidental del país, fue señalada la falla Consolación del Norte, como el contacto entre la Unidad Tectónica de Bahía Honda, y la Unidad Tectónica de Pinar del Río. La traza en el plano de esta estructura disyuntiva cambia su acimut desde el este-sureste en la costa norte de Pinar del Río, hasta el este franco en las cercanías de Caimito, conformando un arco que penetra en el territorio cubano (Furrazola op cit.). En el esquema tectónico de G. Furrazola, la estructura disyuntiva mencionada no continúa hasta el oriente de la Isla, ni hacia el Golfo de Méjico. Es indudable que el estudio de la continuación de ambas fallas en el mar requiere la interpretación de la información gravimétrica más regional adquirida en el Golfo de Méjico.

Análisis del campo gravitacional regional en el Golfo de México.

A juzgar por su coincidencia con los rasgos geomorfológicos regionales, los datos del campo gravitacional en el Golfo de México, obtenido con datos satelitales, (Keynes, 2000), permiten delimitar anomalías cuya relación con enormes estructuras corticales parece evidente (Fig. 1). Si se tienen en cuenta sus intensidades, los tipos de corteza que generan tales anomalías pueden ser clasificados a grandes rasgos (Sánchez, Prol et al, 2005).

Es razonable entonces asociar la región de mínimos L con la Microplaca de Yucatán y los J con el extremo sur de la Placa Norteamericana; entre las que los máximos K representan el efecto gravitacional de una apertura, probablemente inactiva en el presente. No obstante, trazar la demarcación a un grado más detallado de las zonas de influencia entre los grandes elementos estructurales no resulta tan fácil, toda vez que la resolución de las mediciones satelitales del campo gravitacional a partir de radioaltímetros suele pasar por alto longitudes de 10 a 15 km. Por otra parte, aunque no tenemos información suficiente sobre los errores de medición de ese levantamiento, ciertas ondulaciones de las isolíneas del mapa (M. Keynes, op cit) conducen a suponer que éstos son capaces de enmascarar detalles de interés para la regionalización tectónica. El Archipiélago Cubano cubre la articulación de los mínimos L (Yucatán) y J (La Florida) y el extremo sur-oriental del máximo K (Segsbee). Esta circunstancia es un hecho ineludible a la hora de estudiar la tectónica del Cinturón Plegado Cubano, pero a la vez, es un elemento que contribuye a complicar la interpretación geológica de las anomalías regionales.

Con el fin de atenuar las altas frecuencias en el Mapa de Anomalías en Reducción Bouguer del Golfo de México, se aplicó una media móvil con radio de 50 Km. y sobre el resultado se aplicó un operador de gradiente horizontal (Fig.1). Siguiendo los ejes de los máximos gradientes quedan delimitadas las grandes entidades (Microplaca Yucatán, Cuenca Segsbee y Borde sur de Placa Norteamericana).

Todo parece indicar que existe una influencia recíproca entre estas estructuras y el Cinturón Plegado Cubano, aunque la extensión de las mencionadas Placas dentro de éste, no pueda seguirse con toda claridad. Los autores de este trabajo consideran que la ausencia de mediciones en territorio cubano reducidas al mismo nivel del levantamiento satelital, y las deformaciones del Geode en las líneas costeras, son obstáculos que impiden extender los límites de placas en territorio cubano. No obstante, una solución al problema pudiera incluir el extremo más occidental de Cuba en la Microplaca de Yucatán y el norte de la Isla de Cuba, al este de Varadero, en el borde sur de la Placa Norteamericana; es decir, la Falla Las Villas, se va desviando hacia el norte bordeando a la península de la Florida, en tanto que la Falla Consolación del Norte, asume en la zona del Golfo una orientación cercana al norte (Fig.1). Es obvio que esta solución implica la influencia de la compresión



Campaniano- Eocénica sobre los bordes de esas placas, o lo que es igual, los bordes de esas placas forman parte, en la actualidad, del Cinturón Plegado Cubano.

Sin dudas, el aumento de la exactitud de las mediciones gravimétricas contribuye a seguir con mayor detalle las alineaciones del campo y, por consiguiente, las fallas regionales asociadas a tales alineaciones. Con ese fin se utilizaron los datos del levantamiento conducido por Fugro LCT Limited entre junio y septiembre del 2000 (Slack, et al, 2000). Según el Studio de la información disponible, el error medio cuadrático del valor de Anomalía en Reducción Bouguer correspondiente a este levantamiento debe ser ± 1 mGal. En el Mapa de Anomalías en Reducción Bouguer de la Zona Económica Exclusiva a escala 1: 500 000, confeccionado por el aspirante y sus colaboradores a partir de los ficheros originales, las isoanómalas mostraban cierta tendencia a alinearse en la dirección de los perfiles de medición. Esta direccionalidad fue eliminada después de rotar los ejes coordenados hasta colocar la ordenada "Y" paralelamente a las líneas de medición. Entonces fue reconstruida la malla para suavizar el campo con una media móvil, cuya ventana tenía una longitud en "X" igual a 2 veces la distancia entre perfiles (16 Km) y una longitud en "Y" apenas de 0.5 Km. De esta manera se garantizó la exclusión de las frecuencias f_x asociadas a anomalías paralelas a las líneas de medición, en tanto que las f_y fueron prácticamente preservadas. Posteriormente el sistema de coordenadas fue nuevamente rotado a su posición original. Este proceso es equivalente a un filtrado direccional. (. Prol, Sánchez, 2000). De esa manera quedó confeccionado el nuevo Mapa de Anomalías en Reducción Bouguer (Fig.2), que cumple los requerimientos de la escala 1:500 000.

En este mapa se muestran dos regiones A y B, diferentes por la intensidad del campo gravitacional y por el carácter cualitativo de las anomalías. Esta diferencia entre la zona oriental del mapa y la occidental se hace más evidente en el Mapa Regional, obtenido con una media móvil con radio de 20 Km. En general, un cambio de este tipo indica que en algún lugar existe una falla que separa dos ambientes geofísicos diferentes. La zona occidental se caracteriza por la presencia de una zona de máximos B, en tanto, en la zona oriental predomina un mínimo regional A. En los mapas residuales se muestra también el cambio. Así, en la región oriental las anomalías conservan un rumbo este-oeste, en tanto que en la zona occidental las anomalías se orientan con azimut noreste.

Hasta ahora, sólo ha sido supuesta la existencia de la falla por el carácter cualitativo de los campos, sin precisar su ubicación. Es conocido que los gradientes de los campos potenciales son indicadores para la ubicación de fallas. Por ese motivo fueron obtenidos los gradientes de dos mapas residuales; el primero había sido obtenido mediante una media móvil con radio de 8 Km., el segundo comprende la resta de dos medias móviles de 8 y 20 Km. respectivamente. Una vez obtenidos los gradientes horizontales de estos mapas, ambas matrices fueron sumadas. Se cumple que los eventos coherentes se refuerzan, en tanto, se anulan aquellos que poseen una baja correlación. Así aparece una alineación (en Fig.3) donde los ejes de las anomalías se interrumpen y cambian su rumbo bruscamente. J. Sánchez Arango ha mencionado la referencia de D. Rigassi-Studer en 1961, acerca de la existencia de una Falla en el lugar denominada "San Andrés" (Sánchez, 2005, comunicación personal), en cuyo caso la alineación determinada en los gradientes pudiera ser la expresión en el campo gravitacional de la mencionada Falla cuando la prolongamos al territorio cubano.

Otra alineación visible en el mapa con azimut promedio igual a 0° parte de la anterior y bordea por el este al Knoll de Jordan (C en Fig.3). Pero, la posición de estas fallas en el mar pudiera vincularse a un fenómeno somero, sin implicaciones profundas, asociado a la disposición de las estructuras en el espesor sedimentario de la Corteza Terrestre dado el paralelismo de esa estructura con la alineación mencionada; sin embargo, la alineación del campo persiste cuando aplicamos un operador de gradiente al mapa regional (Fig.3). En esta última transformación del campo, las altas frecuencias han sido excluidas, de manera que no pueden influir en la orientación de los gradientes; sin embargo las



alineaciones se hacen visibles en el campo regional. Este elemento inclina a pensar que las alineaciones están asociadas a fallas profundas, de un carácter transcortical.

La investigación desarrollada por los autores de esta ponencia ha contribuido a ubicar la frontera entre la región de plegamientos cubanos y la denominada Cuenca de Antepaís. En ese sentido cabe señalar que el Cinturón Plegado y Corrido Cubano se manifiesta, en las transformaciones del campo gravitacional, en la forma de anomalías locales de signo alterno, dispuestas paralelamente al denominado rumbo cubano (Fig.4). Es evidente que el efecto de plegamiento y contacto abrupto de diferentes secuencias establece a su vez cambios notables de las propiedades físicas de las rocas, capaces de generar anomalías locales. En primer lugar la ausencia de estas anomalías indica la existencia de un régimen tectónico diferente. Así, en las aguas profundas al norte de las provincias de Pinar del Río, Ciudad Habana y La Habana, la cadena de mínimos estrechos, señala la posición del borde frontal del Cinturón Plegado Cubano; los cuales tienen posiblemente sus fuentes en un espesor considerable de conglomerados y turbiditas anteriores al Eoceno Medio Temprano, depositados caóticamente al frente del orógeno, durante el avance del arco desde el sur.

CONCLUSIONES.

Una simple inspección al mapa en Reducción Bouguer a escala 1: 5 000 000 del Golfo de México plantea la existencia de tres anomalías fundamentales con las cuales hace contacto el Cinturón Plegado Cubano. La zona de mínimos de Yucatán y su plataforma sumergida al oeste, la zona de mínimos de la Florida al norte, y la extensión hacia el sur del máximo de Segsbee que se encuentra entre las dos anteriores.

Se puede demostrar que los datos a escala 1: 500 000 presentan una alineación notable del campo con acimut 0^0 , que extrapolada hacia el sur coincide con la Falla Consolación del Norte. Cabe la posibilidad entonces de que esa estructura disyuntiva sea la falla denominada San Andrés, mencionada por Rigassi-Studer.

El carácter del campo gravitacional al este y al oeste de la mencionada alineación es diferente tanto por la intensidad de las anomalías como por la dirección de sus gradientes; lo que inclina a suponer la existencia de dos medios geofísicos.

BIBLIOGRAFÍA.

- Álvarez, J. et al Evaluación de leads y prospectos para la exploración petrolera" Inédito. Archivo del CEINPET. 2002.
- Furrazola, G., C. Judoley, M. Mijailovskaya, Y Miroliuvov, I. Novojetsky, A Núñez-Jiménez y I. Solsona Geología de Cuba: Editorial Universitaria, La Habana, 1964.
- Iturralde, M., F. D. Roque. La falla Cubitas su edad y desplazamientos, Ciencias de la Tierra y el Espacio 4, pp 57-69. 1982.
- Keynes, Milton., Mapa de anomalías en Reducción Bouguer del Golfo de México a escala 1: 5 000 000. ARK Geophysics LTD, 2000.
- Knipper, A. I., R. Cabrera. Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mío y eugeosinclinal y del cinturón hiperbasítico de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. Publicación especial No. 2, 1974, p 15-77.
- Slack David, W, Steward, Shipborne Gravity and Bathymetry Survey. Offshore North West. Cuba. Gulf of México. Data Processing. Report. Fugro- LCT limited. Unpublished, 2000.
- Sánchez, J. R. Rodríguez, J. G. López, J. O. López, S. López, A. Sorá, S. Valladares, R. Socorro, R. Domínguez, J. Prol y otros, Síntesis del conocimiento actualizado de la exploración en la Zona Económica exclusiva del golfo de México. Inédito. Archivo del CEINPET, 2002.

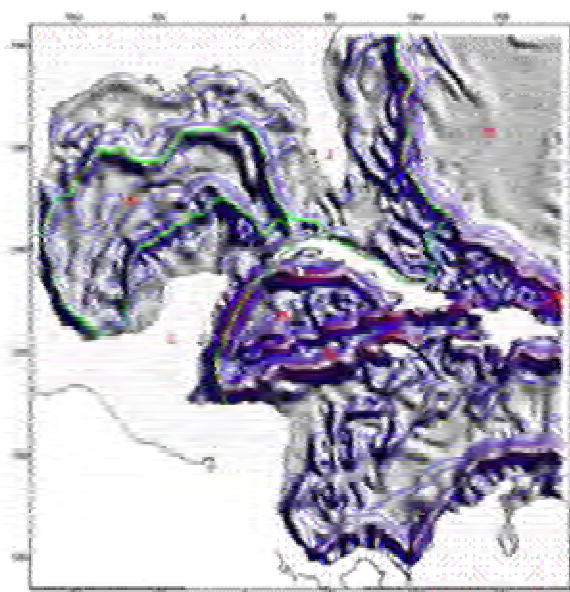


Fig.I. Mapa de los gradientes del campo de Anomalías en Reducción Bouguer del Golfo de México.

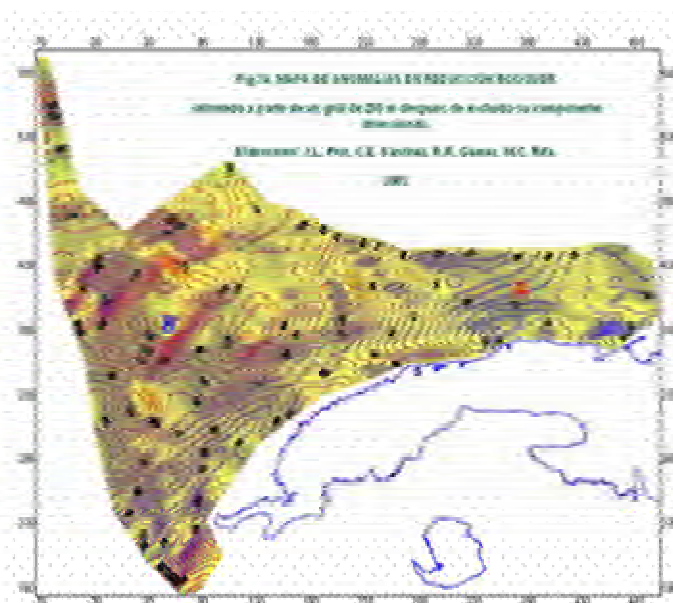


Fig.II. Mapa de anomalías en Reducción Bouguer de la ZEE.

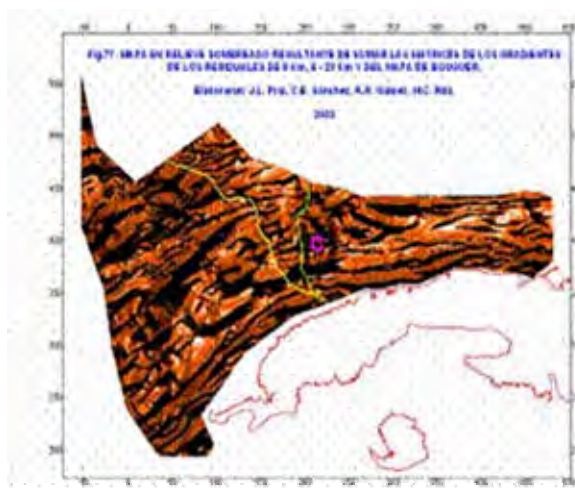


Fig.III. Mapa de la suma de gradientes de diferentes transformaciones de la ZEE.

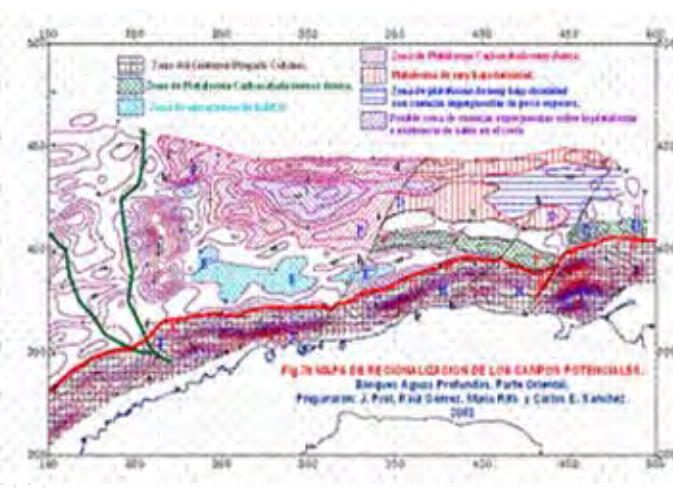


Fig.IV. Mapa de regionalización del campo gravitacional e la ZEE



TRASVASE ESTE OESTE CARACTERÍSTICAS GEOELECTRICAS E INGENIERO GEOLÓGICAS DE UNA OBRA HIDRÁULICA A PARTIR DE MÉTODOS GEOFÍSICO (TUNEL SAN ANDRES)

Rodolfo Modesto Bordón Roger.

Unidad Básica de Proyectos e Investigaciones de Holguín, EMPI.

RESUMEN

La Unidad Básica de Proyectos e Investigaciones de Holguín, EMPI, el Taller de Ingeniería Geológica de la propia entidad ejecutó un complejo de métodos geofísicos para la satisfacción del cliente, en este caso La EIPHH y La Unidad Básica de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Holguín con el objetivo de inferir las características ingeniero-geológicas del Túnel San Andrés del "TRASVASE ESTE OESTE" en la intercepción de esta obra con la carretera central Vía las Tunas.

Las tareas a resolver con la aplicación de métodos geofísicos en el trazado del túnel, según la tarea técnica emitida por el INRH fueron:

- Estimación de los contactos ingeniero geológico y litológico, potencia de las capas e inferencia litológica.
- Estimación de las potencias de las zonas agrietadas.
- Localización y pronóstico de la dirección de las fallas y sus zonas de influencia.
- Estimación del nivel de las aguas subterráneas
- Pronóstico de la influencia del medio en la corrosión y la factibilidad de toma a tierra o aterramiento de las obras.
- Estimación de las propiedades físico-mecánicas.

El complejo de método empleado fue.

Eléctricos: SEV

PES Doble abertura

El objetivo de su aplicación fue detallar el corte ingeniero geológico y establecer las propiedades físico-mecánicas de las diferentes capas representadas en dicho corte.

Presentamos los resultados de parte de los trabajos realizados utilizando Golden Software Surfer.

El área que abarcó la misma fue de algo más de 10 ha.

Los trabajos se iniciaron en Junio del 2006 y culminaron en Enero del 2007 y fueron ejecutados por la brigada de geofísica del taller de Ing. Geologic.

SUMMARY

The Basic Unit of Projects and Investigations of Holguín, EMPI, the Shop of Geologic Engineering of the own entity executed a complex of geophysical methods for the client's satisfaction, in this case The EIPHH and The Basic Unit of Investigations and Hydraulic Projects of Holguín with the objective of inferring the engineer-geologic characteristics of the Tunnel San Andrés of the "TRASVASE ESTE OESTE" in the interception of this work with the central highway Vía the Tunas.

The tasks to solve with the application of geophysical methods in the layout of the tunnel, according to the technical task emitted by the INRH were:

- Estimation of the geologic contacts engineer and litological, power of the layers and inference litological.
- Estimation of the powers of the cracked areas.
- Localization and presage of the address of the flaws and their influence areas.
- Estimation of the level of the underground waters
- Prognostics of the influence of the means in the corrosion and the taking feasibility to earth or aterramiento of the works.
- Estimation of the physical-mechanical properties.

The complex of used method was.

Electric: SEV



PES Double opening

The objective of its application was to detail the cut geologic engineer and to establish the physical-mechanical properties of the different layers represented in this court.

We present the results on behalf of the carried out works using Golden Software Surfer.

The area that embraced the same one was of something more than 10 there is.

The works began in June of the 2006 and they culminated in January of the 2007 and they were executed by the brigade of geophysics of the shop of Engineer Geologic

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo recoge los resultados de la investigación ingeniero geológica en la etapa de Proyecto Ejecutivo escala 1:500, para un túnel con fines hidráulico a ejecutarse en el objetivo "Trasvase Este – Oeste, Túnel San Andrés".

El área comprende 5.0 hectáreas, con una profundidad de investigación de aproximadamente 30.0 m, la categoría de investigación para esta obra es III y la categoría de dificultad es II.

Estos trabajos fueron solicitados por la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Holguín a nuestra Unidad Básica. Para dar respuesta a los aspectos solicitados en la tarea técnica Se empleó un complejo de métodos que incluyó las actividades de geología, perforación y geofísica Los trabajos geológicos estuvieron dirigidos por el M.Sc. Ing. Guillermo Fernández Pacheco, los trabajos de geofísica por el Ing. Rodolfo Bordón Roger y los trabajos de perforación por los operadores: Armando Quevedo, Pedro Sánchez. Omar Jardi y Ramón la O

METODOLOGIA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS

Trabajos geológicos.

- Levantamiento ingeniero geológico. Primeramente se realizó un recorrido por toda el área y sus alrededores, con el objetivo de detectar todos aquellos indicios que pudieran ser de interés para la interpretación previa de las características ingeniero - geológicas e hidrogeológicas del área en cuestión, éste se realizó por los caminos existentes y lugares transitables, abarcando de esta forma toda el área en su conjunto.

El levantamiento ingeniero geológico en el área se realizó a escala 1: 1000 por el método de los perfiles de estudio, los cuales estuvieron espaciados cada 50 m y estaquillados cada 20 m formando una red de 50 x 20 m. Las descripciones se realizaron en cada estaca, así como lugares de interés entre éstas.

Durante las descripciones se tuvo en cuenta el tipo litológico, las características tacto visuales de los suelos y rocas presentes, tales como color, dureza, grado de meteorización, agrietamiento, etc. Al culminar estos trabajos, como material gráfico, se confeccionó el plano ingeniero geológico del área a escala 1:1000.

- Descripción de calas. Se realizó la descripción de las características tacto visuales de los testigos de perforación, haciéndose énfasis en todos aquellos elementos que nos pudieran delimitar la presencia de diferentes capas en profundidad, así como todo lo relacionado con el líquido de lavado, y otros índices del régimen técnico de perforación, que nos puedan indicar la presencia de cualquier fenómeno geológico o la presencia del manto freático. Durante la misma se anotó en la libreta de campo la longitud de los sondeos, la longitud recuperada y el RQD de cada sondeo, con los cuales se



calculó posteriormente los porcentajes de recuperación y del RQD respectivamente, que nos sirvió para hacer una evaluación en cuanto a la dureza y grado de conservación de las capas de roca presentes en el área de estudio. Se describieron un total de 140.0 m de perforación, como resultado de 6 calas perforadas de profundidades entre 15.0 y 30.0 m..

Con la descripción se confeccionaron las tarjetas de calas, las cuales contienen una columna litológica de la cala perforada con un gráfico donde se representan los porcentajes de recuperación y RQD, así como otros datos referentes a la cala (ver tarjetas de calas en los anexos).

- Muestreo de laboratorio:

Con el objetivo de determinar las propiedades físico - mecánicas de las capas, se tomaron muestras de los testigos de perforación.

A medida que se fue realizando el muestreo se fue anotando el número de la cala, profundidad a que se tomó la muestra, con estos datos al final del muestreo se confeccionó la tarea técnica de solicitud de ensayos al laboratorio, donde se especificaron los diferentes ensayos a realizarles.

Se tomaron un total de 25 muestras, 15 muestras regulares de roca y 10 muestras de suelo.

En el caso del muestreo de agua, este se realizó en un pozo criollo cercano al extremo Sur del trazado y en la cala 1, ubicada en el extremo norte, se tomaron dos muestras para la determinación de la composición química y la agresividad.

Trabajos de Geofísica.

Se describirán en síntesis el desarrollo de cada método empleado y los objetivos a alcanzar por cada uno de ellos.

1- Método Eléctrico

Como aspectos generales pueden señalarse que el equipo utilizado para realizar todas las mediciones fue el SAS-300 B, auto compensador de alta precisión de fabricación sueca. Los trabajos de campo en cada una de las variantes fueron controlados en un 10% del volumen total y todas las mediciones se recalcularon en el gabinete, para eliminar los errores accidentales. Los trabajos de campo fueron ejecutados por la brigada de geofísica del taller de ingeniería geológica de la EMPI de Holguín bajo la dirección del Ing. Rodolfo Bordón Roger

1- Sondeo Eléctrico Vertical.

Este método consiste en la medición de la resistividad aparente del corte, mediante un dispositivo de cuatro electrodos, dos de alimentación de corriente y dos de medición de potencial. Estos electrodos se van abriendo en el terreno de manera que al aumentar las dimensiones entre ellos, la corriente eléctrica va alcanzando una mayor penetración y por tanto se obtienen resistividades a profundidades mayores. Estas se calculan por la expresión:

$$\rho_a = K \frac{\Delta U}{I} \quad \text{Donde:}$$

ρ_a es la resistividad aparente de la roca.

K es una constante que depende de las aberturas relativas de los electrodos.

ΔU es diferencia de potencial medido entre los electrodos de medición MN.

I es la corriente que circula por los electrodos AB.

Con los valores de ρ_a obtenidos, se construyen curvas de S.E.V. que reflejan las características geoelectricas del corte en profundidad.



En nuestro caso se utilizó una instalación de tipo Schlumberger (gradiente), con aberturas máximas de $AB=300$ m con empalmes de $MN = 0.5, 3.0$ y 12 m en las aberturas de $AB= 10.0, 14.0$ y $40.0, 55.0$ m respectivamente. Las mediciones se realizaron en una red de 40×50 m.

De esta forma, se ejecutaron en el área un total de 47 S.E.V, incluyendo el 10% para el control de la precisión.

El objetivo de los S.E.V. fue la obtención de los cortes de resistividades aparentes para cada perfil y los cortes geoeléctricos, luego de la interpretación de todas las curvas mediante el programa S.I.S. de los autores, Drs. José A. Roche y N. Pérez. Con ellos también se fijaron, luego de un análisis, las aberturas para realizar el P.E.S.

2- Perfilaje Eléctrico Simétrico Doble (P E S).

En este caso, luego de definidas las dimensiones de los electrodos de alimentación a utilizar, mediante el análisis del comportamiento de los S.E.V., se realizan mediciones con las mismas a lo largo del perfil sin alterarlas, es decir con una geometría de electrodos fija. Esto permite que dichas instalaciones nos arrojen información a lo largo del perfil, a una profundidad aproximadamente igual para cada abertura. Geológicamente, esta variante nos permite mapear zonas y detectar alineaciones de fallas y grietas, para su posterior correlación en planta.

Se utilizó un P.E.S. a dos aberturas, las cuales fueron $AB/2=10$ m y $A'B'/2=40$ m con electrodos de medición $MN = 6$ m y $MN = 20$ m respectivamente. En ambos casos, las instalaciones fueron de tipo Schlumberger. Las mediciones se realizaron en una red de 50×10 m, para un total de 170 puntos medidos, incluyendo el 10% para el control de la precisión. El procesamiento y elaboración de los datos se realizó con la ayuda del Microsoft Surfer de la Golden Software y estuvo a cargo del Ing. Rodolfo Bordón Roger.

Se confeccionaron los gráficos de resistividad aparente para cada perfil y las cartas o mapas de isohmas para cada abertura, a una escala de 1:000, para toda el área de investigación.

Tabla de los volúmenes realizados:

No	Método	UM	Cantidad	Ordinarios	Control
1	Sondeo Eléctrico Vertical	Obs.	47	43	4
2	Perfilaje Eléctrico Simétrico	Obs.	170	150	20

Trabajos de perforación.

Estos trabajos fueron realizados por cuatro dotaciones pertenecientes a la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Holguín, por el método de perforación rotaria a columna con selección de testigos y diámetro de 146 a 89 mm, con tres máquinas perforadoras URB-25 A y una UGB – 50 de fabricación soviética

Se perforaron 6 calas con un metraje total de 140.0 m.

La calidad de la perforación se puede considerar como regular pues sólo se obtuvo el 60.64 % de recuperación total, aunque hay que destacar que en esto influyeron las características de las rocas perforadas, pues partes de ellas se lavaban con facilidad durante el proceso de perforación,

1.3 Trabajos hidrogeológicos.

En el área de estudio los trabajos hidrogeológicos se basaron en la búsqueda de pozos en las cercanías de la misma para la medición del nivel del manto, durante el levantamiento ingeniero geológico, y durante los trabajos de perforación la medición del nivel en las calas que cortaban a este, así como la realización de un cubetéo en la cala No. 6 y un vertimiento en la cala No. 1 para determinar el coeficiente de filtración de las capas allí presente, además durante la interpretación de



los resultados de los métodos geoelectricos aplicados, se realizó un análisis para detectar cualquier indicio que pudiera indicar la presencia del nivel del manto freático dentro de la profundidad de investigación.

El cálculo del coeficiente de filtración (k_f) a partir de los datos del cubetéo se realizó según el método de N. N.N. Veriguin mediante la formula siguiente:

$$k_f = 3.82 \times \left(10^3 \times \frac{ro^2 \times \log 1.47 \times \frac{lt}{lt \times t}}{\beta \times ro} \right) \times \log \frac{So}{St} \text{ (m/día)}$$

Donde:

ro = Radio de la cala.

lt = Longitud del intervalo variable en el proceso de ensayo en función del tiempo (m).

$$lt = lo - \frac{(So + St)}{2}$$

$$lo = Hc - NE$$

NE = Nivel freático antes del cubetéo.

Hc = Profundidad de la cala.

lo = Longitud del intervalo de ensayo.

So = Descenso del nivel de las aguas en la cala.

St = Variación del nivel de las aguas en la cala en función del tiempo.

β = Coeficiente que depende de la ubicación del intervalo de prueba en la zona saturada. En la practica se puede tomar $\beta = 1$

En el caso del vertimiento se calculó también por el método de N. N. Veriguin, mediante la siguiente formula:

$$k_f = \frac{1}{2} \times \frac{ro^2 \times \ln \frac{1.47 \times lt}{\beta \times ro}}{lt \times t} \times \ln \frac{Ho}{Ht} \text{ (m/día)}$$

Donde:

ro = Radio de la cala.

lt = longitud del intervalo de prueba, que es variable en el proceso del ensayo en función del tiempo.

Ho = Columna de agua adicionada.

Ht = Variación del nivel de las aguas en la cala para un tiempo t .

β = Coeficiente que depende de la ubicación del intervalo de prueba en la zona saturada. En la practica se puede tomar $\beta = 1$

Análisis de los resultados:

Para el análisis de las condiciones ingeniero geológicas del área y atendiendo a los valores registrados del parámetro resistividad aparente de la roca la misma se divide en dos bloques que pueden estar asociados cada uno a las dos estructuras formacionales descritas en los levantamientos geológicos precedentes y que se reflejan en los gráficos y planos de resistividad construidos y que



están bien definidos por un gradiente de resistividad detectado en las mediciones y en el perfil central se refleja al nivel del estacionado 18+297 . Los mismos se pueden describir como:

Bloque Norte.

Se extiende desde el estacionado 18+297 en la parte de mayor altura o parte-aguas de la elevación hasta el final del trazado investigado estacionado 18+451 caracterizado por un rango de valores bajos de resistividad (5-38 ohms.m)

Bloque Sur.

Se extiende desde el estacionado 17+951 inicio del trazado del túnel hasta el estacionado 18+297 en la parte de mayor altura o parte-aguas de la elevación, caracterizado por un rango de valores altos de resistividad (54 -194 y hasta 436 ohms.m)

En las cartas de isohmas, para ambas aberturas se pueden asociar los colores claros a la existencia de un suelo carbonatado producido fundamentalmente a partir de la acción de los agentes de la meteorización sobre las rocas existentes y los colores oscuros a las zonas donde existe la resistividad mas elevada roca más duras y donde existe algún desarrollo cársico

Para este caso este el contacto entre los dos campos físicos están bien delimitados y representados por un gradiente geoeléctrico marcado en el estacionado 18+297

En la carta de isohmas, para la abertura de AB =20 m, resultan de interés la zona anómala estacionado 18+000 donde la resistividad es elevada, hasta los 436 ohms.m pudiendo esto estar asociado a la elevación del grado de cavernosidad de la roca

A partir de los datos geofísicos, calibrados con los datos geológicos y de la información de las perforaciones, establecimos en los cortes la existencia de 4 capas ingeniero- geológicas para el área de estudio, las cuales describiremos a continuación:

Capa I: Asociada a la capa vegetal o suelo con material calcáreo desde el punto de vista geoeléctrico se caracteriza por una resistividad promedio de 272 ohms.m para el bloque sur y 37 ohms .m para el bloque norte Presenta espesores que oscilan entre 0.3 y 0.8 m.

Capa II: Esta capa se encuentra subyaciendo a la capa 2 en toda el área la zona sur desde el punto de vista geoeléctrico se caracteriza por resistividades de 187 ohms.m. para el bloque sur y 38 ohms .m y pudiera estar asociadas las margas o arcillas margosas calcáreas con fragmentos de caliza Presentan espesores que oscilan entre 2.0 y 6.0 m.

Capa III: Esta capa se encuentra subyaciendo a la capa 1 en toda el área desde el punto de vista geoeléctrico se caracteriza por resistividades de 198 - 495 ohms.m para el bloque sur y 13 ohms .m. Presentan espesores que oscilan entre 4.0 y 8.0 m se asocia a la caliza órgano detrítica cavernosa.

Capa IV: Esta capa se encuentra subyaciendo a la capa 3 en toda el área desde el punto de vista geoeléctrico se caracteriza por resistividades de 64 ohms.m para el bloque sur y 12 ohms .m . Presentan espesores que oscilan entre 11.0 y 35.0 m.

De las cartas de isohmas confeccionadas para ambas aberturas se reflejan en el área una alineación relacionada con mínimos geoeléctricos y gradiente geoeléctrico, esta tiene la siguiente dirección.

Alineación

Dirección E NE - S SW

Perfil izq. Estacionado



Perfil cen. Estacionado 18+297.

Perfil der. Estacionado

Este fenómeno puede ser correlacionado en ambas cartas de isohmas y pudiera estar asociado a una zona de contacto entre las formaciones descritas en el área

Los datos geofísicos evidencian la existencia hasta la profundidad de investigación, de aguas subterráneas para la zona norte y se asocia a la disminución de la resistividad.

Por los resultados de las perforaciones que se ubicaron en el área, con el propósito de precisar el nivel de las aguas este se encuentra en la zona norte a 9.0 m y en la sur a 12.3 m.

Evaluación de la precisión de las mediciones.

Una vez terminado el trabajo de campo se procedió al cálculo y evaluación de la precisión de las mediciones.

Para calcular el valor del error de las mediciones en el método de PES se utilizaron 62 puntos de control y éste se calculó independiente para cada abertura

El error para este caso, se calculó utilizando la fórmula:

$$p = \frac{\sum 2 (\rho^1 - \rho^2)}{\rho^1 + \rho^2} \cdot 100\% \text{ donde:}$$

p = error de las mediciones.

ρ^1 = resistividad aparente en las mediciones ordinarias.

ρ^2 = resistividad aparente en las mediciones de control.

Para el PES, con la abertura de $AB / 2 = 20$ m, el error calculado fue ± 2.09 %

Para el PES, con la abertura de $AB / 2 = 40$ m, el error calculado fue ± 2.42 %

Para calcular el error del SEV se utilizaron 60 puntos obteniendo un error de ± 2.22 %

La calidad de la obtención de datos de campo, puede evaluarse de satisfactoria, alcanzándose alta precisión de las mediciones.

Conclusiones y recomendaciones.

Los campos físicos reflejan el carácter local del Carso así como su extensión

A través de la máxima extensión del área investigada y con tendencia por debajo del macizo rocoso que conforma la terraza de caliza se estudiaron los parámetros de resistividad

De los resultados alcanzados por los métodos geofísicos podemos plantear las siguientes conclusiones:

- 1- Existe un fenómeno físico-geológico de importancia, la carsificación. Este fenómeno influye grandemente en el grado de conservación de las rocas.
- 2- Se establecen 4 capas ingeniero geológicas.

Capa 1 Asociada a suelo con fragmentos de calizas o capa vegetal muy alterada

Capa 2 Asociada a roca caliza margosa o marga arcillosa calcárea con fragmentos de calizas.

Capa 3 Asociada a roca caliza alterada, intensamente agrietada y cavernosa

Capa 4 Asociada a roca caliza margosa algo alterada y húmeda.

Recomendaciones:

- 1- Desarrollar la obra en el macizo principal, evitando las zonas donde las rocas están afectadas por la cavernosidad.



Relación de anexos:

- Carta de isohmas para las aberturas de AB =20 m y AB =80 m a escala 1: 1000
- Grafico de perfiles a escala 1: 1000
- Tabla de condiciones de tomas a tierra y protección a pararrayos.

BIBLIOGRAFÍA

R. Bordón EMPI. - Programa de investigaciones geofísicas Túnel San Andrés.
H. Forte EIPHH – Proyecto General Túnel San Andrés
Varios EMPI Dpto Ing Geol. Manual de Procedimientos
Jan Danko Geoelectricidad.

Tabla de condiciones de tomas a tierra y protección de pararrayos.						
CAPAS	ρ_a ohm.m	AGRESIVIDAD			CONDICIONES DE:	
		Fe	Al	Hormigón en sulfatación.	Protección de pararrayos	Tomas a tierra
Bloque Sur						
I	272	Media	Media	Para los resistentes al sulfato no son agresivos	Media	Media
II	188	Media	Media	Para los resistentes al sulfato no son agresivos	Media	Media
III	198	Media	Media	Para los resistentes al sulfato no son agresivos	Media	Media
VI	64	Media	Media	Para los resistentes al sulfato no son agresivos	Media	Algo favorable
Bloque Norte						
I	36	Media	Media	Para los resistentes al sulfato no son agresivos	Media	Favorable
II	39	Media	Media	Para los resistentes al sulfato no son agresivos	Media	Favorable
III	13	Elevada	Elevada	Puede haber agresividad	Favorable	Favorable
VI	12	Elevada	Elevada	Puede haber agresividad	Favorable	Favorable

SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN DE SÍSMICA 3D

Pilar Aballí Fortén⁽¹⁾, Ariel Pérez López⁽²⁾, Jorge García Benítez⁽³⁾ y Gerardo Arriaza Fernandez⁽¹⁾

(1)UCTB de Investigaciones Geofísicas, CEINPET, 23 #105, Plaza de la Revolución, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: pilar@diqi.cupet.cu,

(2)Empresa de Servicios Petroleros, EMSEPET, 19 # 910, Plaza de la Revolución, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: arielp@geoserv.cupet.cu

(3)Comercial Cupet S.A., D # 511, Plaza de la Revolución, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: jgarcia@cupetsa.co.cu

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es realizar la selección de parámetros para ejecutar una adquisición de sísmica 3D a partir de trabajos anteriores y de esta forma hacer una valoración de dichos parámetros y obtener un diseño para efectuar la adquisición sísmica 3D, con el fin de optimizar los datos sísmicos y alcanzar una calidad de imagen superior y mejor, permitiendo una interpretación más segura y correcta de la información sísmica. Este estudio se hace a partir de datos sísmicos 2D ejecutados en la región de estudio donde se examinan los parámetros utilizados en las diferentes adquisiciones, calidad de los datos obtenidos, grado de complejidad estructural y geológica y los objetivos geológicos y geofísicos a determinar.

Teniendo en cuenta todas estas cuestiones y los antecedentes se hizo una evaluación, con el fin de corregir durante la migración de los datos adquiridos por la sísmica 2D los distintos ruidos presentes y analizar los diferentes atributos geofísicos con vistas a obtener una imagen sísmica más nítida y real. Así se estudiaron atributos sísmicos como es el azimut que es propio de una adquisición sísmica 3D que adiciona una nueva dimensión estadística muy útil para la obtención de una buena imagen sísmica, offset fuente-receptor.

ABSTRACT

The objective of this work is to carry out the selection of parameters to execute an acquisition of seismic 3D starting from previous works and this way to make a valuation of this parameters and to obtain a design to make the seismic acquisition 3D, with the purpose of to optimize the seismic data and to reach a superior and better display quality, allowing a surer and more correct interpretation of the seismic information. This study is made starting from seismic data 2D executed in the study region where the parameters are examined used in the different acquisitions, quality of the obtained data, grade of structural and geologic complexity and the geologic and geophysical objectives to determine.

Keeping in mind all these questions and the records were made an evaluation, with the purpose of to correct during the migration of the data acquired by the seismic one 2D the different present noises and to analyze the different geophysical attributes with a view to obtaining a clearer and realler seismic image. Seismic attributes were studied this way as it is the azimuth that is characteristic of a seismic acquisition 3D that it adds a new very useful statistical dimension for the obtaining of a good seismic image, offset source-receiver.

INTRODUCCION

En las investigaciones sísmicas de reflexión para la búsqueda de hidrocarburos, lo mas usado es la grabación de líneas sísmicas en una red, cuyas características varían según el grado de conocimiento que se tenga, pero en zonas de geología compleja, como es el caso de las mayoría de las áreas y sectores de nuestro país, que está ubicada en la zona de sobrecoorrimiento tectónico, la respuesta sísmica se ve afectada por señales de diferentes planos geológicos, complicado la imagen sísmica que se obtiene y un cuadro ondulatorio sumamente complejo donde muchas veces las señales útiles se encuentran enmascarada por los ruidos que se producen debido a la complejidad

geológica. Por tal motivo se procede a la utilizar la sismica en tres dimensiones que posibilita un seguimiento más continuo de los eventos geológicos que se encuentran en el subsuelo. Pero para realizar este tipo de investigación se necesita de parámetros que garanticen una buena de recepción de la imagen sísmica y para eso se utilizan datos de sismica 2D de la región de estudio para con el análisis de esos datos llegar a conclusiones sobre los parámetros 3D más convenientes a emplear.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Fue utilizado para realizar el estudio los datos y cortes sísmicos adquiridos en campañas sísmicas 2D anteriores (Fig. 1 y 2), efectuados en la región donde se pretende ejecutar la adquisición 3D. Con estos materiales fueron analizados los datos sísmicos obtenidos, parámetros usados durante adquisición (Tabla I), el grado de información y características de la imagen sísmica.

Se hizo un estudio del terreno (tipo de terreno, características del suelo, población existencia de agricultura entre otros), área de trabajo e inconvenientes existentes para la realización de este tipo de trabajo, presencia de hidrocarburos en la región, pozos perforados con tipo de registros.

RESULTADOS Y DISCUSION

De toda la valoración se estableció el siguiente análisis.

Las líneas sísmicas muestran una tectónica compleja con grandes fallas y buzamientos escalonados desde la superficie hasta tiempo de 2s.

Uno de los primeros criterios de diseño requerido es la resolución vertical, la cual determina la frecuencia más alta a ser grabada.

En la Fig. 3 se muestra la convolución de dos picos positivos de ondas de un incremento del ancho de banda y de la frecuencia dominante. Cuando dos reflectores están cercanos las ondas se interfieren, pero en cierto límite es imposible la diferenciación entre ellos: La distancia mínima necesaria de separación se le llama límite de la resolución vertical ("threshold").

La resolución lateral (R_h) se define como dos puntos de reflexión separados horizontalmente que aparentan casi un solo punto. En esta situación fallas muy cercanas pueden ser omitidas.

Antes de una migración, dos difracciones serán bien delimitadas si ellas están cercanas a la zona de Fresnel. Después de la migración, la resolución lateral depende de la frecuencia máxima reflejada del objetivo. Se asume que la resolución lateral (R_h) estará entre $1/4$ y $1/4$ ($N = 4$ o 2) de la longitud de onda dominante. La zona de Fresnel es la porción de un reflector a partir de la cual la energía puede conseguir la detección dentro de la mitad de la longitud de onda de la primera energía reflejada. El diámetro de la zona de Fresnel determina la resolución lateral antes de la migración. La migración de los datos 3D tiende a colapsar la zona de Fresnel aproximadamente a la mitad de la longitud de onda dominante.

La migración es necesaria para ubicar los horizontes inclinados y las fallas en su verdadera posición espacial. El área de cobertura total debe incrementarse con una superficie adicional contigua denominada apertura de migración que permite la migración correcta.

CONCLUSIONES

Una moderna adquisición de sismica 3D con gran rango de offset y buen muestreo espacial, deberá mejorar grandemente la calidad de la imagen de estas estructuras. Es por eso que se aconseja que

los offset largos estén orientados en la dirección de buzamiento ("dip") para resaltar mejor los planos de fallas.

Con el resultado y el evaluación de los diferentes parámetros estudiados como se observan en las Fig. 4; distribución de offset y azimut, mapa de offset máximo y mínimo Fig. 5 y 6, se llegó a la obtención de los siguientes parámetros para la adquisición de la sísmica 3D.

Los parámetros que se obtienen están en dependencia de los objetivos geológicos a obtener fundamentalmente y las características geólogo- estructurales de la región de estudio.

En nuestro caso de estudio como es un estudio que abarca una zona costera se plantean los siguientes parámetros:

Parámetros:

Tierra

Número de Líneas a grabar	6
Distancia entre LRP y LPT	$\Delta \text{LRP} = 240 \text{ m.} / \Delta \text{LPT} = 250 \text{ m}$
Distancia entre RP y PT	$\Delta \text{RP} = 25 \text{ m.} / \Delta \text{PT} = 25 \text{ m}$
Total de líneas de receptores	366
Total de líneas de Punto de energía	366
No. de recept. por línea	240
Receptores/Km ²	160
Cobertura	35
Densidad de PT/Km ²	160

Aguas someras

Número de Líneas a grabar	4
Distancia entre LRP y LPT	$\Delta \text{LRP} = 240 \text{ m.} / \Delta \text{LPT} = 240 \text{ m}$
Distancia entre RP y PT	$\Delta \text{RP} = 25 \text{ m.} / \Delta \text{PT} = 25 \text{ m}$
No. de recept. por línea	240
Receptores/Km ²	160
Cobertura	36
Densidad de PT/Km ²	320
Tamaño del bin	12.5 X 12.5
Fuente explosiva y no explosiva	

RECOMENDACIONES

Durante el proceso de adquisición utilizar los parámetros que fueron determinados durante la evaluación de éstos y precisar el resto como son en el caso de fuente explosiva la carga, profundidad y cantidad de pozos a utilizar y para la fuente no explosiva (en nuestro caso vibradores), el número de barrido, longitud del mismo, rango de frecuencia y otros mediante realización de pruebas.

BIBLIOGRAFÍA

Arriaza Gerardo, Pilar Aballí, Reporte sobre los resultados de los trabajos de adquisición sísmica en el cinturón plegado cubano en el periodo 2003-2004. DIGICUPET, 2004.
CGG. Diseño 3D Bloque 6. Evaluación de diseño 3D para un proyecto sísmico de reflexión. Cuba-CUPET, 2004.

CGG Estudio de Factibilidad. Evaluación y diseño de Proyecto sísmico 3D, 2006.

<ul style="list-style-type: none"> • Distancia entre RP: 25 m. • Distancia entre SP: 25 m. • Numero de canales activos: 240 • Cobertura: 120 • Longitud de registro: 5 s. • Intervalo de muestreo: 2 ms. 	
<p>Para líneas 2D, año 1997</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Número de geófonos por traza: 24 (en 25m) ❖ Tipo de fuente: Vibrador ❖ Barrido: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 4 vibradores ➤ 8 barridos de 18 s. ➤ Rango de frecuencia: 12-70 Hz 	<p>Para líneas 2D: año 1995</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Número de geófonos por traza: 12 (25m) ❖ Tipo de fuente: Vibrador ❖ Barrido: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 4 vibradores ➤ 8 barridos de 24 s. ➤ Rango de frecuencia: 8-72 Hz

Tabla I. Parámetros de adquisición de la sísmica 2D

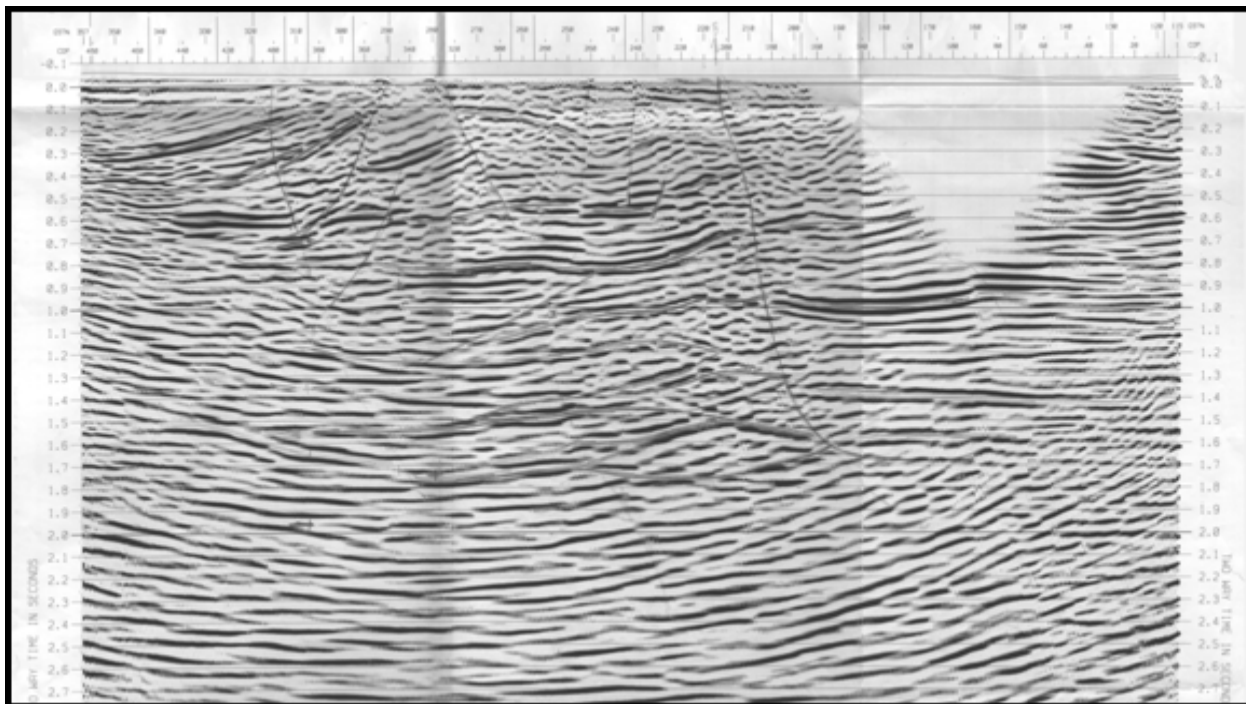


Fig. 1. Línea sísmica 2D año 1997.

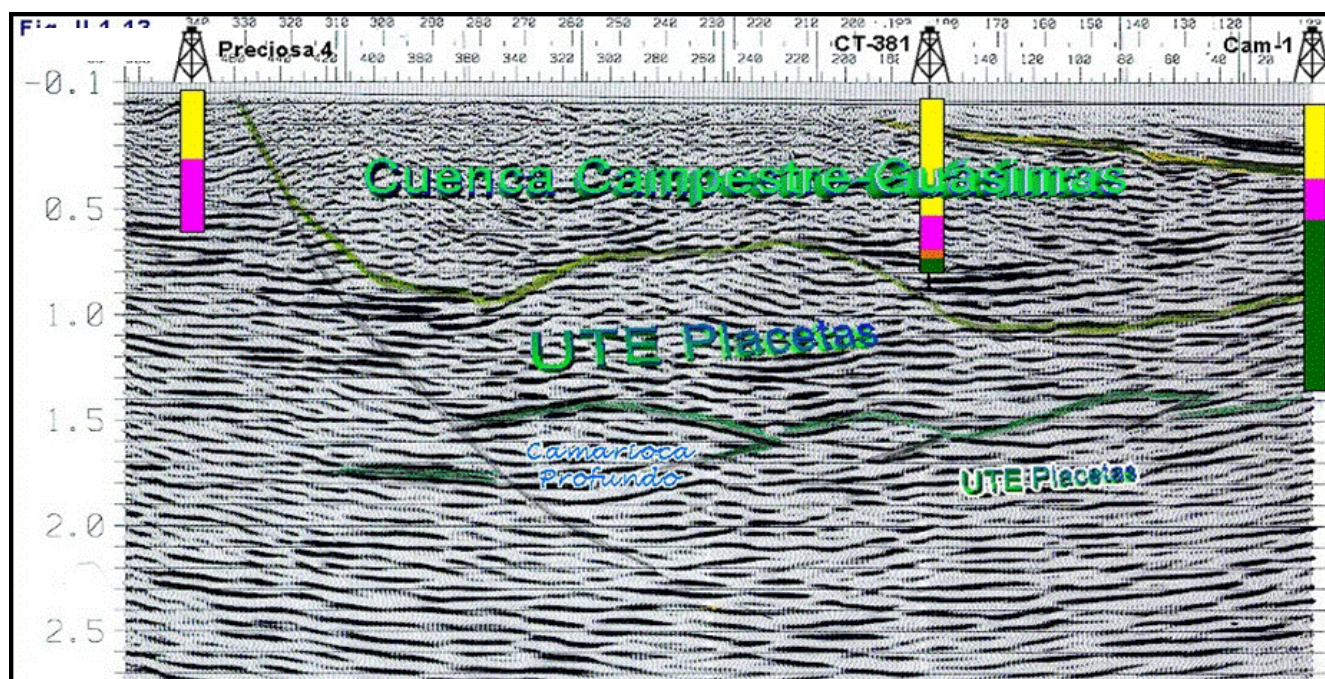


Fig. 2 Línea sísmica 2D año 1995

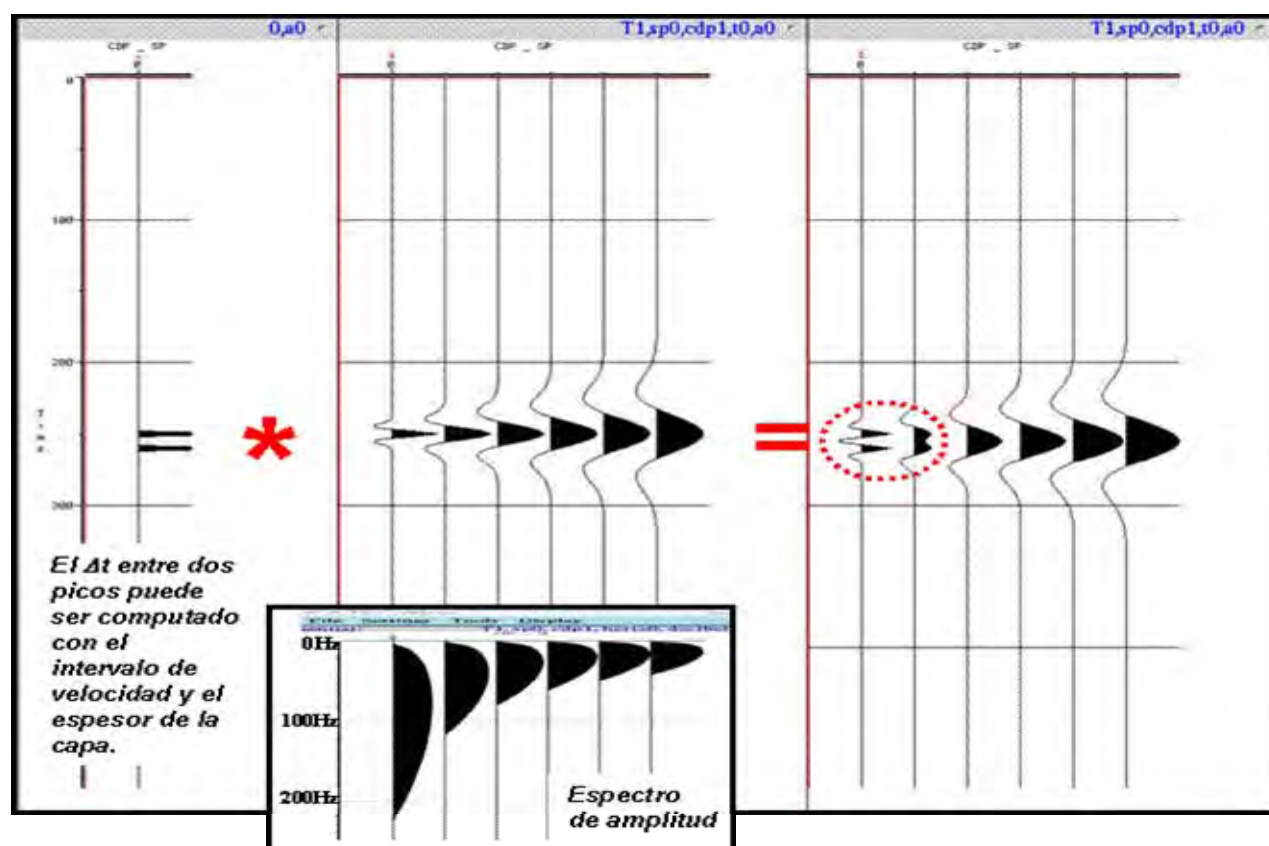


Fig. 3 Muestra del comportamiento Resolución Vertical

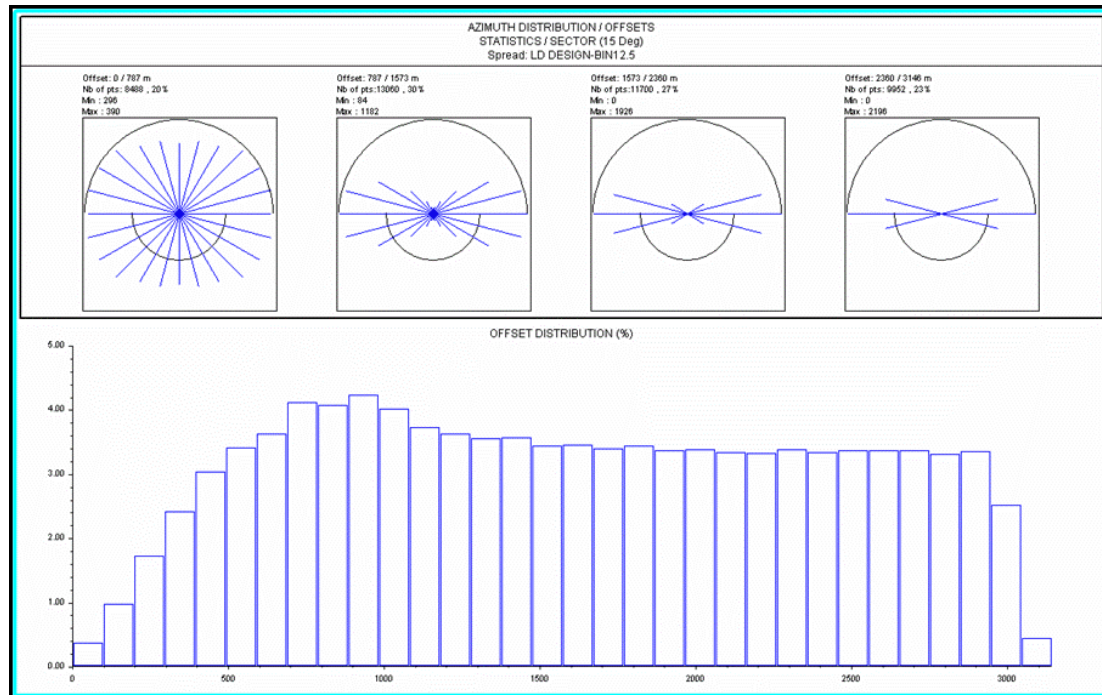


Fig. 4. Distribución de offset y azimut.

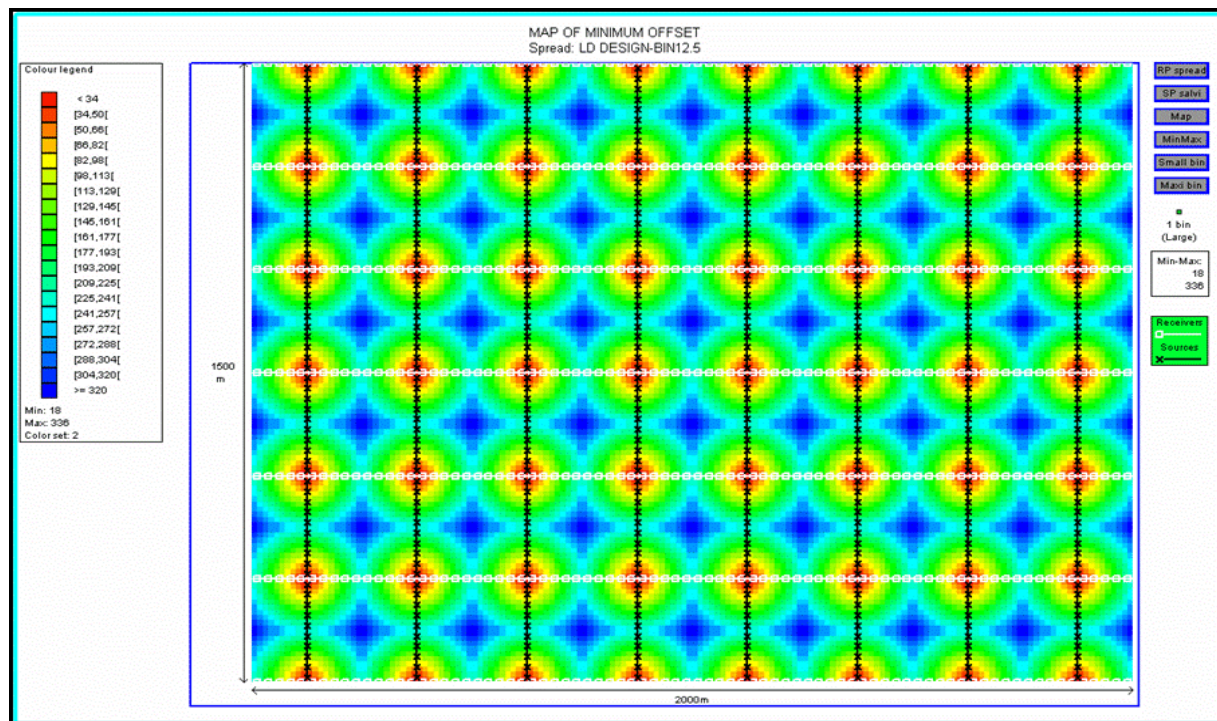


Fig. 5. Mapa de offset mínimo.

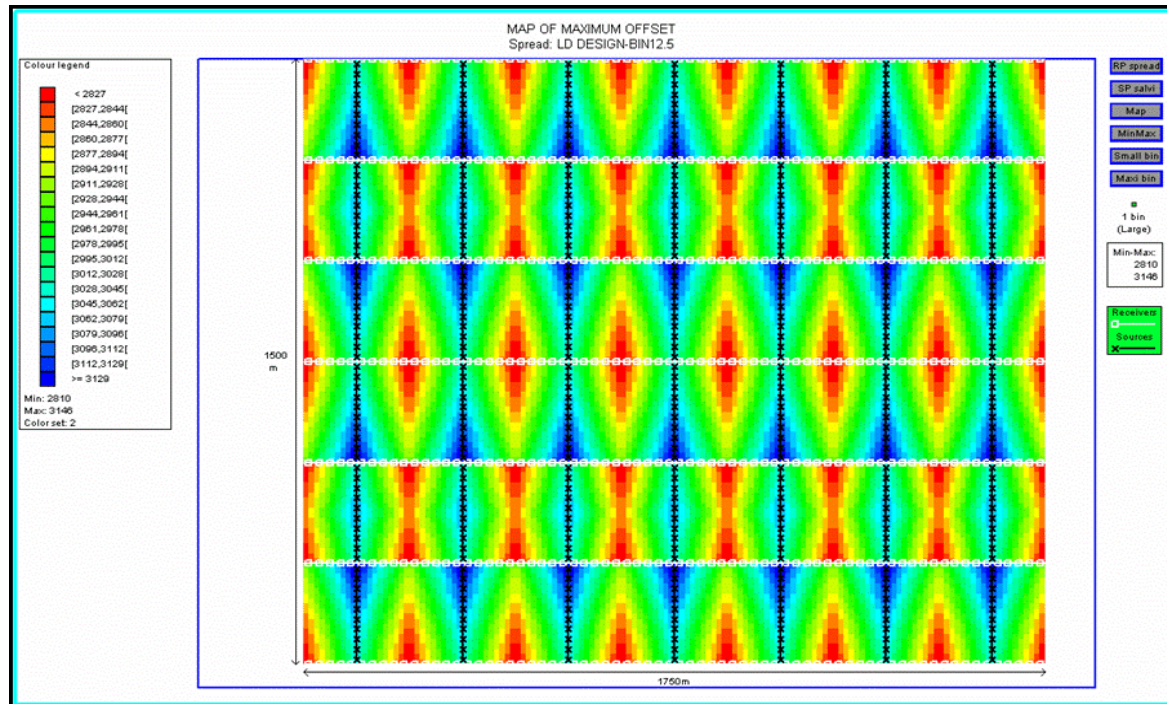


Fig. 6. Mapa de offset máximo



ANÁLISIS DE ACELERACIONES PICO POR EFECTO DE MICROTREPIDACIONES EN TUNJA, BOYACÁ, COLOMBIA

Luis Humberto Pinto Morales

Email:marcaf_humb@latinmail.com, I.GEOSOFTMINE, Colombia

RESUMEN

El trabajo trata sobre los resultados de un estudio realizado por la empresa I.GEOSOFTMINE- Colombia, consistente en el monitoreo y análisis de eventos producidos por el paso de automóviles, tractocamiones y trenes, en el local N° 4 del Centro Comercial Los Parques, municipio de Tunja, Boyacá, Colombia, con el objetivo de evaluar la incidencia de estas micro trepidaciones en una edificación donde serían ubicados equipos altamente sensibles para el servicio médico por la Empresa TECMEDIC LTDA.

Se empleó el equipo MINIMATE BLASTER, y se muestreó durante un mes, en el horario más transitable, para obtener una población representativa, que permitiera finalmente, ofrecer un dictamen acerca de la ubicación o no de los equipos en esta instalación.

El trabajo es de gran expectativa e importancia, y sirve como guía para estudios futuros en la región sobre microzonificación sísmica.

Contiene figuras representativas producto de la comparación de los registros obtenidos con el espectro de aceleración vs frecuencia (Hz).

Palabras clave: acelerógrafos, acelerogramas, aceleración, estudios sismológicos, minimate blaster

ABSTRACT

The work treats on the results of a study made by company I.GEOSOFTMINE-Colombia, consisting of the monitored and analysis of events produced by the passage of automobiles, tract camion's and trains, in the N° premises the 4 of the Commercial Center Parks, municipality of Tunja, Boyacá, Colombia, with the objective to evaluate the incidence of these micro trepidations in a construction where highly sensible equipment for the medical service by the Company would be located TECMEDIC LTDA.

The equipment was used MINIMATE BLASTER, and muster during a month, during the most passable schedule, in order to obtain a representative population, that it allowed finally, to offer an opinion about the location or not of the equipment in this installation.

The work is of great expectation and importance, and it serves as it guides for future studies in the region on seismic micro zincification.

Product of the comparison of the registries obtained with the phantom of acceleration versus contains representative figures frequency (Hertz).

Code words: accelerographs, accelerograms, acceleration, studies seismological, minimate blaster.



INTRODUCCIÓN

La Empresa TECMEDIC L.T.D.A., proyecta la instalación de equipos médicos sensible a vibraciones y más exactamente a la aceleración generada por tráfico de vehículos llámense tren, automóviles o tractocamiones cargados.

Debido a esto la Empresa solicita un estudio de monitoreo, análisis y comparación de los datos obtenidos con el espectro de aceleración Vs Frecuencia (Hz), recomendado por la empresa que diseño y construyó los equipos a instalar en el local N° 4 del Centro Comercial Los Parques en La Ciudad de Tunja, ver fotos 1 y 2.

El paso de automóviles, tractocamiones y el tren principalmente pueden generar alteraciones como vibraciones que en algunas circunstancias pueden originar daños en equipos y estructuras próximas al paso de los móviles.



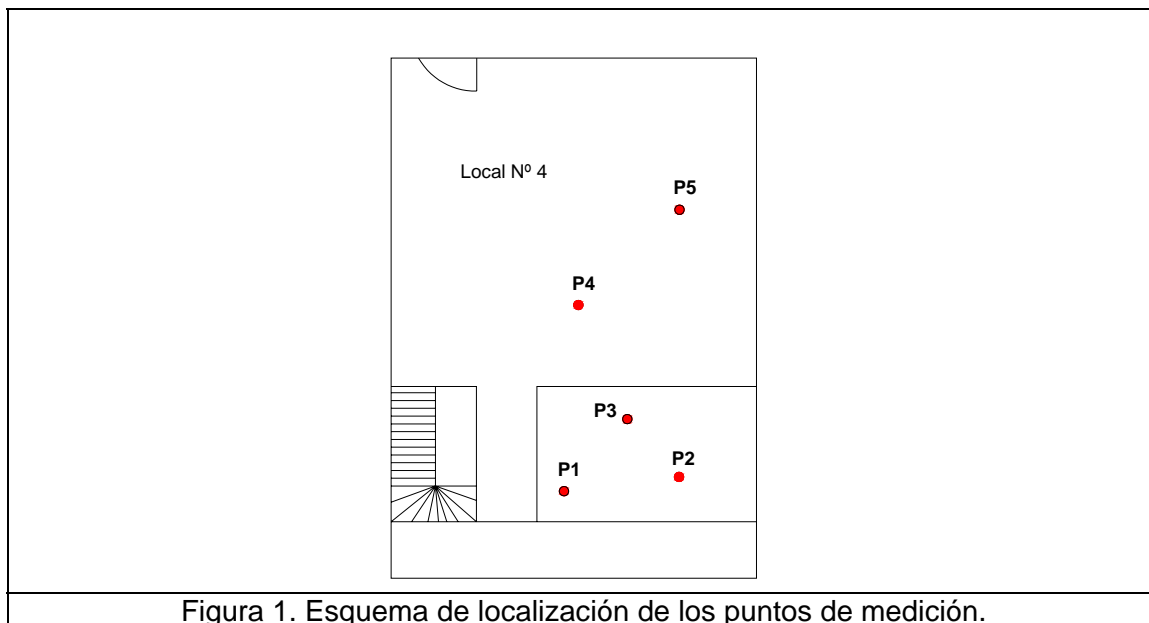
Equipo utilizado. MiniMate Plus: Consta de un geófono triaxial para captar las vibraciones terrestres y un sonómetro para captar ruido.





COMPARACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS CON EL UMBRAL SEGURO RECOMENDADO.

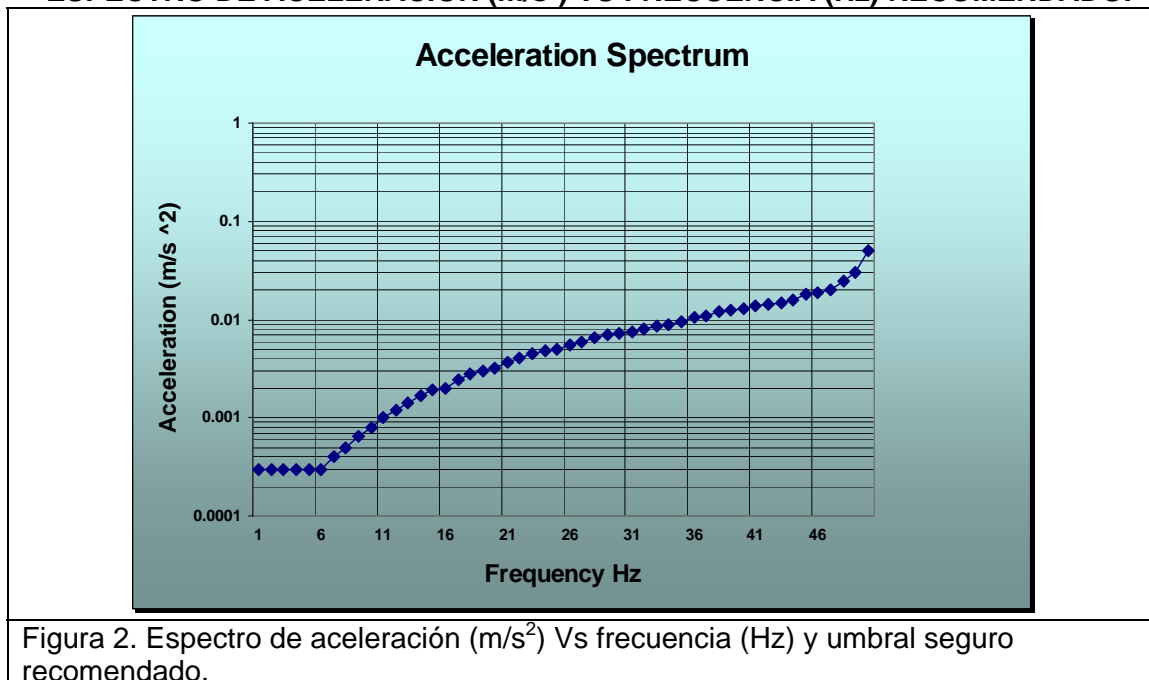
El trabajo se desarrolla dentro del local N° 4 local N° 4 del Centro Comercial Los Parques, distribuyendo estratégicamente cinco puntos de medición con la finalidad de monitorear aceleraciones pico, generadas inicialmente por el tren el día miércoles 15 de marzo (5.00 a 7.00 pm), y el tráfico de vehículos en la madrugada del día jueves 16 de marzo (4.00 a 9.00 am), ver figura 1.



Descripción de los datos obtenidos. Componente transversal (**Tran**), componente vertical (**Vert**) y componente longitudinal (**Long**).

Para cada componente define los siguientes parámetros sísmicos; Velocidad (mm/s), desplazamiento (mm) y aceleración (g), ver anexo 1.

ESPECTRO DE ACELERACIÓN (m/s^2) VS FRECUENCIA (Hz) RECOMENDADO.





PUNTO DE MEDICIÓN Nº 1

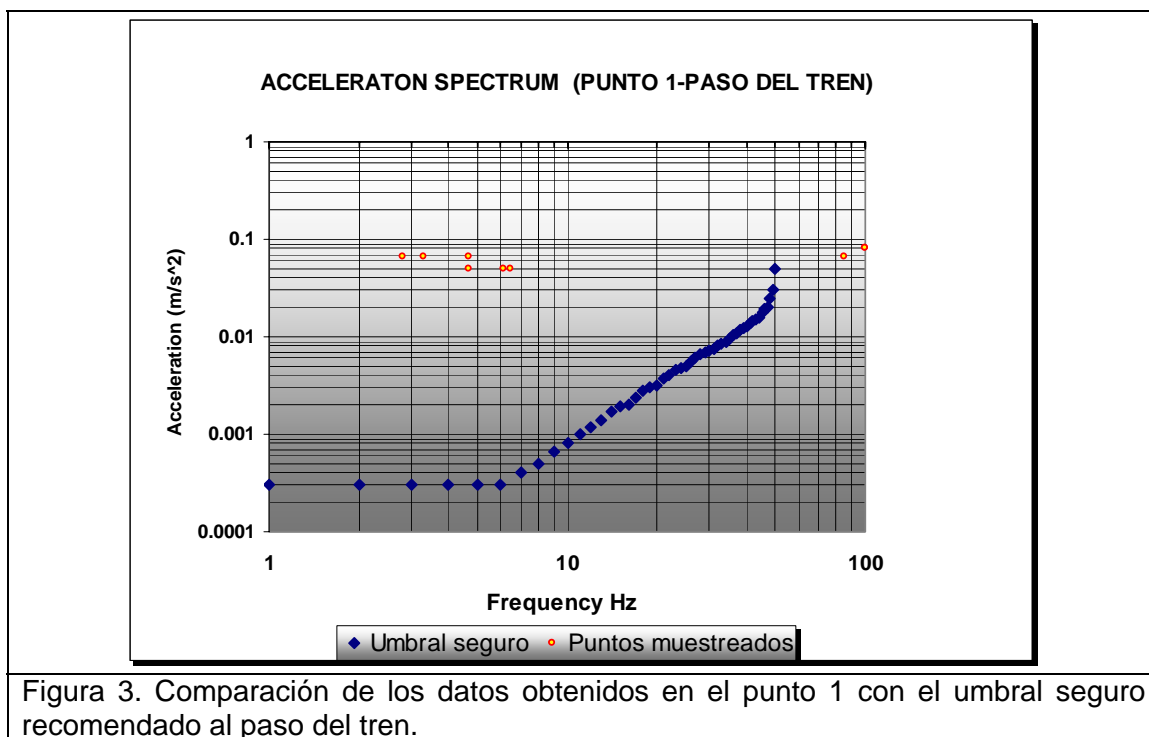


Figura 3. Comparación de los datos obtenidos en el punto 1 con el umbral seguro recomendado al paso del tren.

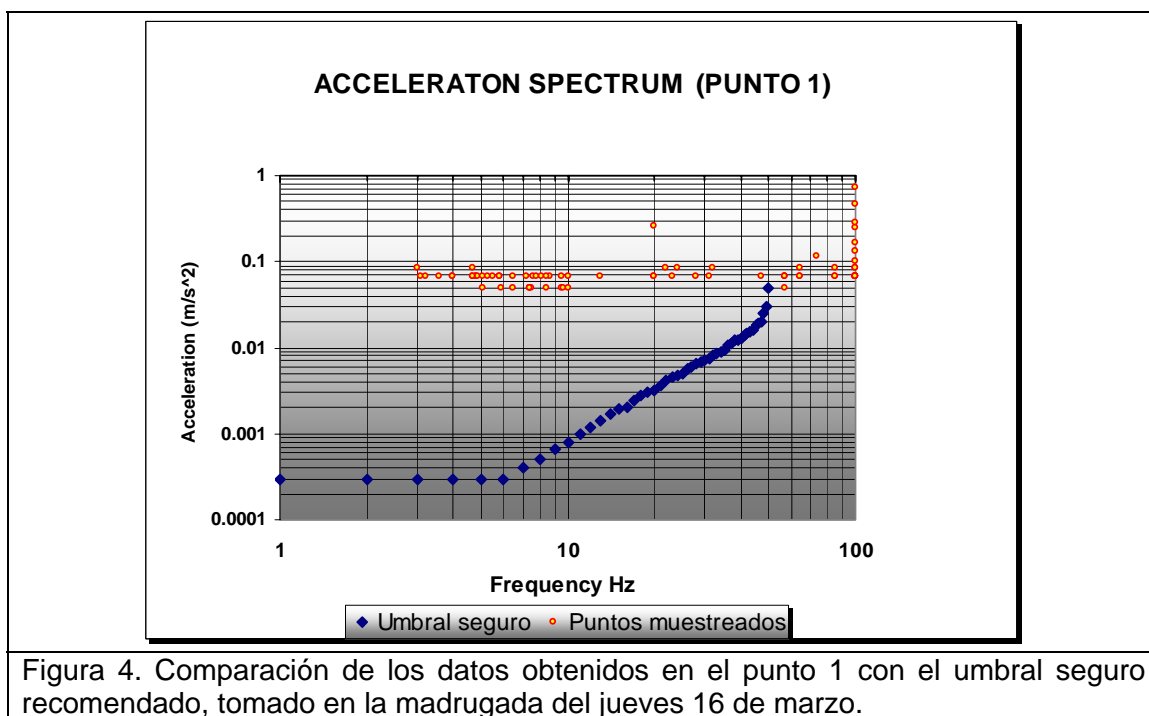


Figura 4. Comparación de los datos obtenidos en el punto 1 con el umbral seguro recomendado, tomado en la madrugada del jueves 16 de marzo.



PUNTO DE MEDICIÓN Nº 2

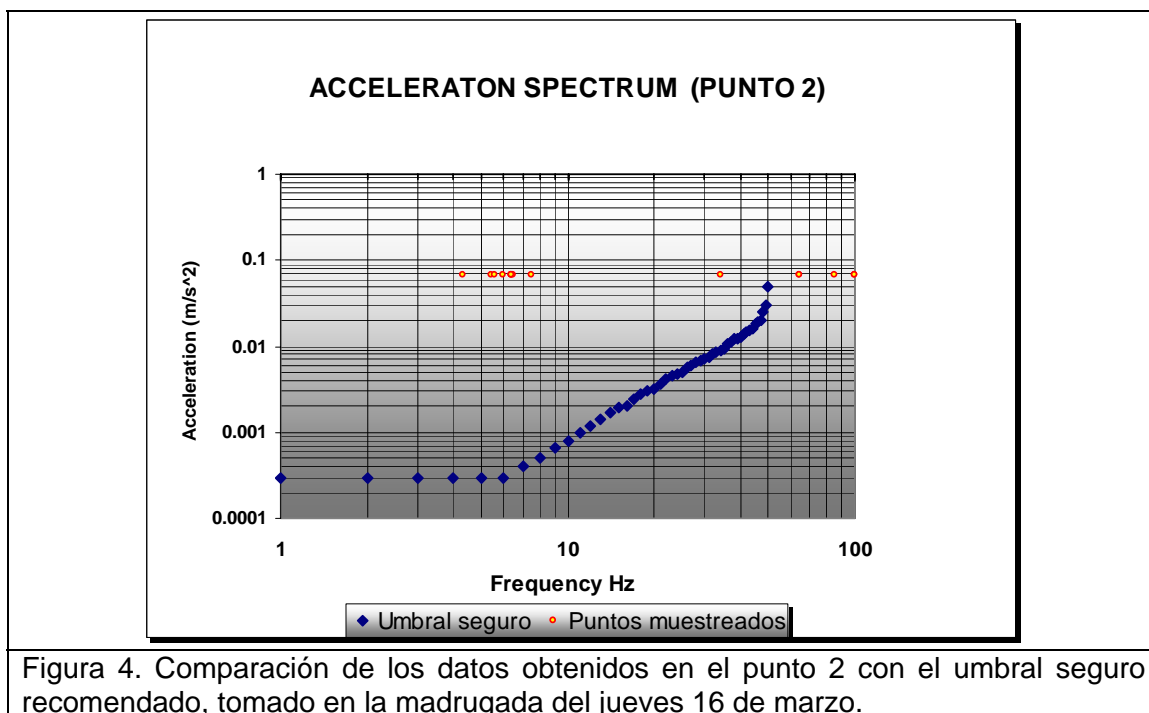


Figura 4. Comparación de los datos obtenidos en el punto 2 con el umbral seguro recomendado, tomado en la madrugada del jueves 16 de marzo.

PUNTO DE MEDICIÓN Nº 3

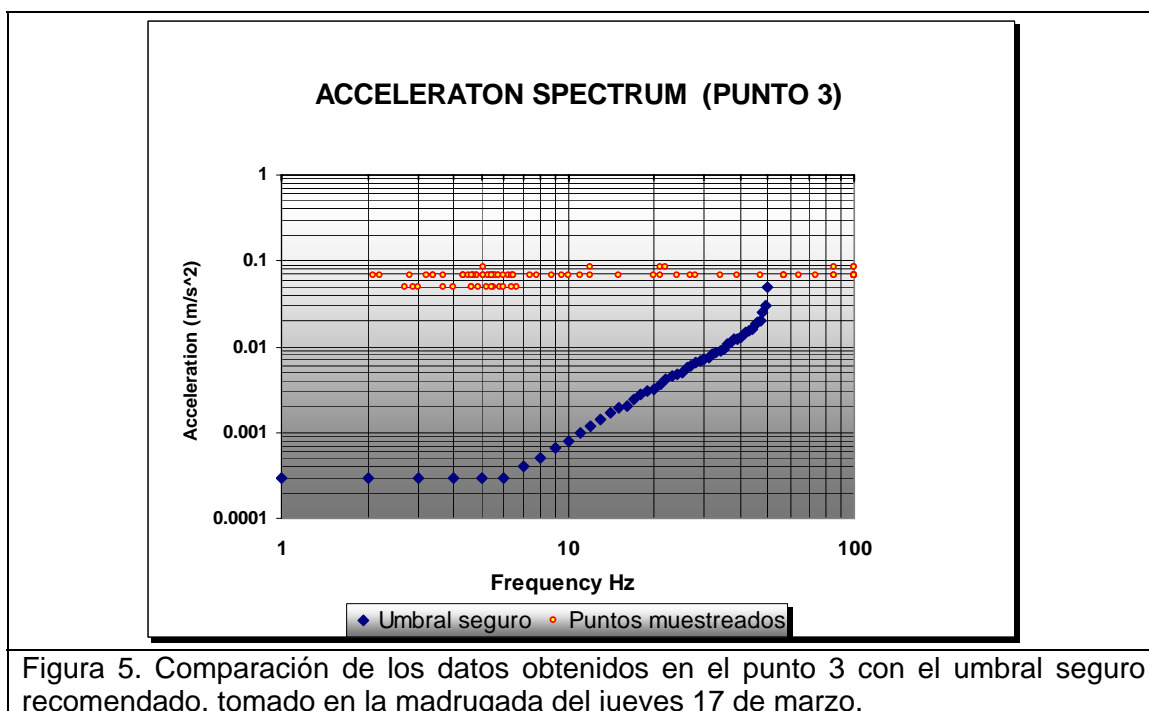


Figura 5. Comparación de los datos obtenidos en el punto 3 con el umbral seguro recomendado, tomado en la madrugada del jueves 17 de marzo.



PUNTO DE MEDICIÓN Nº 4

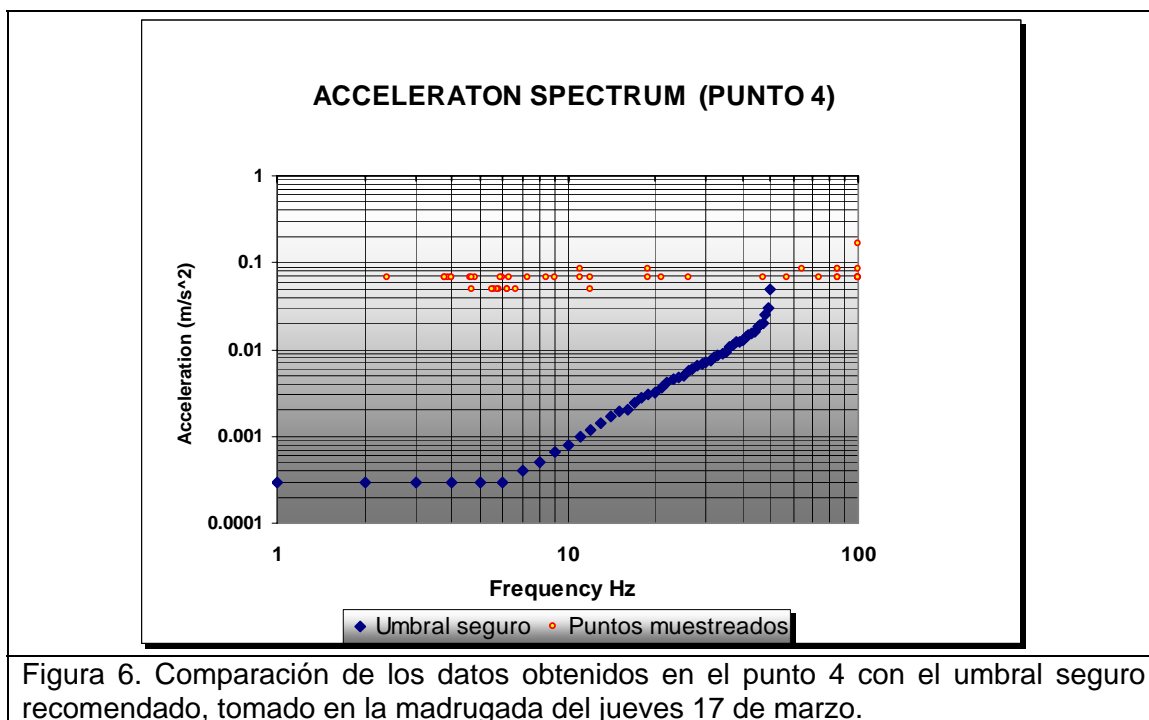


Figura 6. Comparación de los datos obtenidos en el punto 4 con el umbral seguro recomendado, tomado en la madrugada del jueves 17 de marzo.

PUNTO DE MEDICIÓN Nº 5

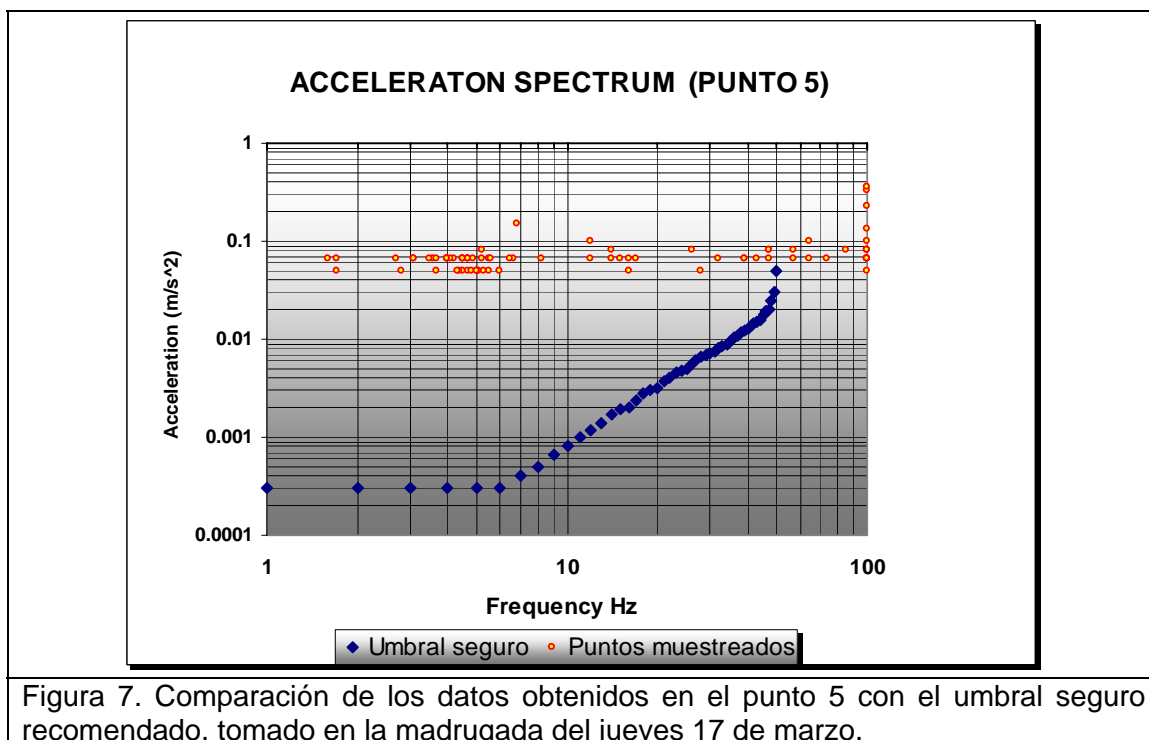


Figura 7. Comparación de los datos obtenidos en el punto 5 con el umbral seguro recomendado, tomado en la madrugada del jueves 17 de marzo.

Nota: El paso del tren fue registrado en el punto de medición Nº 1, el día miércoles 15 de marzo.



CONCLUSIONES

Del análisis y evaluación de los registros obtenidos a través del estudio en el local N° 4 del Centro Comercial Los Parques, se puede concluir que:

- ❖ Las aceleraciones (m/s^2), generadas por el paso de vehículos cerca al local N° 4 del Centro Comercial Los Parques, supera el umbral seguro recomendado.
- ❖ Las aceleraciones obtenidas presentan un rango de frecuencia promedio entre 3 a 20 Hz, lo cual las cataloga como bajas, esto implica una mayor influencia sobre las estructuras y directamente sobre los equipos.
- ❖ La estructura esta cimentada sobre materiales blandos no consolidados de origen aluvial (Qal), con posibilidad de amplificar las señales sísmicas generadas por el paso de vehículos.
- ❖ La saturación superficial de los materiales (nivel freático a 1.5 m de prof.), ayudan a propagar la señal con mayor facilidad (continuidad).

NOTA: Los materiales encontrados en profundidad según estudio de suelos del año 1997 son:

Arcillas limosas grises oscuras algo orgánicas, plásticas y húmedas de baja resistencia (1.0 a 2.0 m) - limos arcillosos grises oscuros orgánicos muy plásticos de baja resistencia (2.0 a 2.8 m) – Turbas (2.8 a 3.4 m) – Limos arcillosos pardos amarillentos, plásticos húmedos, de resistencia media a baja a la penetración (3.4 a 5.0 m), como se puede observa son materiales de mala calidad con baja capacidad de soporte.

RECOMENDACIONES

- ❖ No instalar equipos sensibles a vibraciones generadas por el paso de vehículos, en lugares cercanos a los focos de emisión (carretera central).
- ❖ El espectro recomendado es bastante restrictivo a las aceleraciones producidas por el paso de vehículos se recomienda instalar los equipos en áreas donde el flujo de vehículos se mínima.



MÉTODOS GEOFÍSICOS DE SEV Y SÍSMICA DE REFRACCIÓN EN EL PROYECTO PRESA LA COPA, PROVINCIA CENTRO, BOYACÁ, COLOMBIA

María Del Carmen Fuentes Fuentes

*Escuela de ingeniería geológica, Universidad pedagógica y tecnológica de colombia,
Sede sogamoso, Email: marcaf_humb@latinmail.com*

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre los resultados obtenidos con los estudios geofísicos de Sondeo Eléctrico Vertical y Sísmica de refracción, llevados a cabo en la vereda Tinsita, Boyacá, relacionados con el proyecto Presa La Copa, provincia Centro, Boyacá, Colombia, realizado a la empresa INCODER.

Se hace una valoración de los métodos geoelectrónicos empleados, así como de la geología de las regiones de estudio y la caracterización hidrogeológica de las formaciones.

El análisis de los materiales confeccionados se realizó a partir de los datos de las mediciones, mediante los cuales fue posible interpretar cualitativa y cuantitativamente el área, valorando el comportamiento de los parámetros medidos.

El trabajo contiene un corte Geoelectrónico – sísmico, donde se presentan las litologías encontradas en función de los valores de resistividades aparentes y espesores de las capas determinadas a través del método de Sondeo Eléctrico Vertical y las velocidades de propagación obtenidas con el método Sísmico de refracción.



INTRODUCCIÓN

El Sondeo Eléctrico Vertical es un método de prospección eléctrica que se basa en el estudio del comportamiento de las resistividades aparentes de las rocas presentes en un corte geológico por debajo del subsuelo, y que por las particularidades del dispositivo de medición utilizado, permite detectar capas u horizontes geoeléctricos que se encuentren contactando en forma horizontal. Se utiliza en diferentes investigaciones de superficie, de pozos, marinas, etc.

El método de refracción sísmica suministra datos acerca de la geometría de las formaciones, haciendo posible intentar la identificación de los materiales que hayan de ser cartografiados. Es especialmente valioso para reconocimiento en áreas cuya estructura tiene gran relieve y donde haya, por lo menos, una capa de referencia de alta velocidad recubierta por formaciones de baja velocidad, lo que se ajusta perfectamente a los sitios de investigación.

GENERALIDADES DEL MÉTODO DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (S.E.V.)

El Sondeo Eléctrico Vertical se realizó con el objetivo de determinar las variaciones de resistividad de los materiales por debajo de los puntos de observación, así como determinar espesores de esas capas, y evaluar dentro de lo posible, la profundidad del material de superficie en este punto.

Los fundamentos físico- geológicos de este método, son los establecidos en los diferentes métodos de resistividad, los cuales estudian la respuesta del medio geológico al paso de la corriente a través de dos electrodos de alimentación (A y B), que mantienen un circuito cerrado. Esta respuesta es determinable utilizando dos electrodos de medición (M y N). (Ver figura No.1).

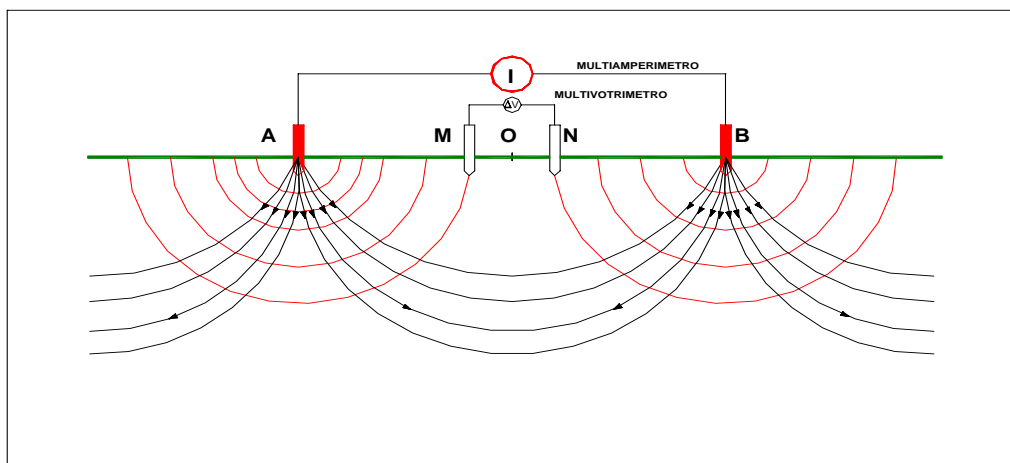


Fig. No.1. DISPOSITIVO SCHLUMBERGER.

----- CAMPO PRIMARIO - - - - CAMPO SECUNDARIO

El campo primario es cuando se introduce corriente al terreno durante un intervalo de 4- 6 seg. (Este intervalo es establecido según el tipo de material a estudiar). El campo secundario es el resultado de este campo primario, una vez interrumpida la



corriente primaria, es el campo residual, que por lo general, es máximo alrededor de los electrodos de corriente, producto del mismo efecto que crea el potencial de los electrodos. El parámetro físico que se estudia es la resistividad (ρ).

METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS DE CAMPO DEL SEV

Los trabajos de campo consisten en medir repetidas veces en un punto central de observación, la diferencia de potencial (ΔU) y la intensidad de corriente (I), para una sola posición de los electrodos de medición, variando la distancia entre los electrodos de alimentación, como se aprecia en la figura No. 2.

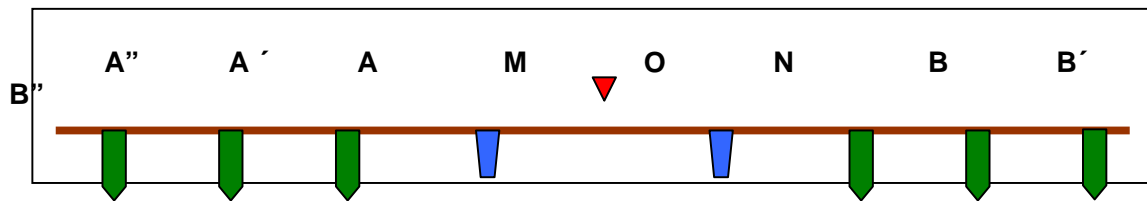


Fig. No. 2. ESQUEMA DE UBICACIÓN DEL DISPOSITIVO DE ELECTRODOS DE SEV

El equipamiento empleado estuvo compuesto por un transmisor, y un receptor, ambos digitales, marca PASI, de fabricación italiana. (ver foto 1). En el equipo receptor se obtienen automáticamente los valores de la diferencia de potencial ΔU y de las intensidades de corriente I , para las diferentes posiciones del sistema de electrodos. Se determinaron tres valores de resistividades aparentes ρ_a , de los cuales se buscó un promedio.

En el cálculo se empleó la fórmula: $\rho_a = K \Delta U / I$ (1)

donde:

K: Constante geométrica del dispositivo, depende de la posición mutua entre los electrodos de alimentación y de medición.

ΔU : Diferencia de potencial, se mide cuando cesa el campo primario

I: Intensidad de corriente, medida cuando se está generando el campo primario

FOTO No.1. INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS (RESISTIVÍMETRO Y TRANSMISOR)





INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE SEV

La interpretación de las curvas de SEV, permite conformar el corte geológico que compone un perfil de estudio, utilizando los espesores y profundidades que se han determinado empleando ábacos de curvas teóricas, a través de un procesamiento manual o computarizado que consiste en comparar las curvas de campo obtenidas y las curvas teóricas que se encuentran en estos juegos de curvas patrones.

Los datos de campo son plotados en escala bilogarítmica donde en el eje de las ordenadas van los valores de resistividad aparente promediados (ρ_a en $\Omega \times m$), y en el eje de las abscisas van los valores de $AB/2$ en m, (son las diferentes aberturas del dispositivo de alimentación empleados en este estudio. (ver figura No.3).

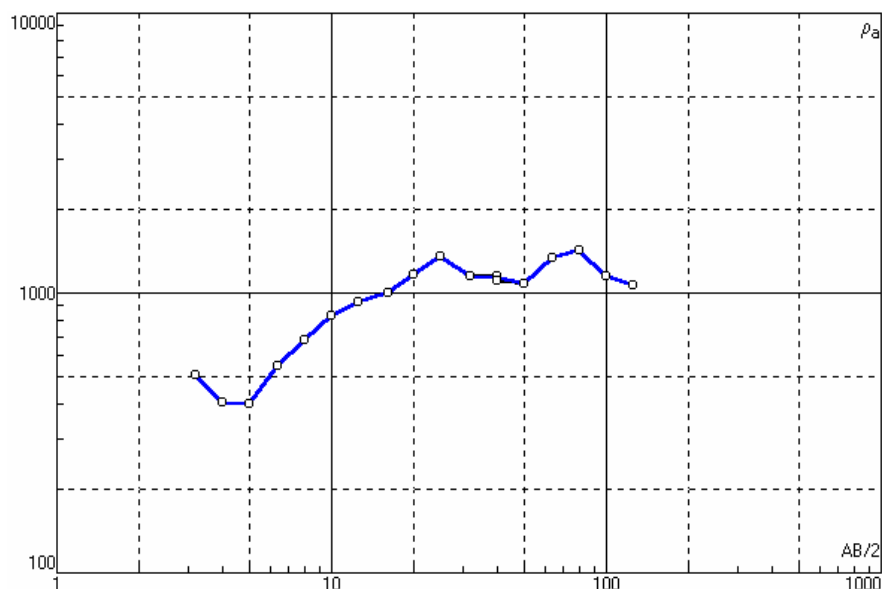


Fig. No. 3. EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CURVAS DE SEV

La interpretación de los valores de resistividades aparentes obtenidas, se realiza de varias formas, pero según expertos, los ábacos ó juegos de curvas patrones, confeccionadas por diferentes autores, ofrecen una interpretación cualitativa y cuantitativa más acertada. En la actualidad se encuentran compilados en programas que permiten que este proceso sea más rápido.

En este estudio fue consultado un paquete de curvas teóricas, que se encuentra compilado en un software del autor E. Orellana, que es ofrecido por los equipos, se utilizó un juego del autor A. M. Pylaiev, y se empleó como complemento un programa holandés RESIXP, el cual a través del procesamiento matemático, aportó los datos de resistividades y espesores de las diferentes capas debajo de cada punto de observación.



RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MÉTODO DE SEV

En este trabajo se llevaron a cabo un total de tres SEV, cuyos resultados obtenidos se aprecian las tablas 1, 2, 3.

TABLA N° 1. RESULTADOS DEL S. E. V. – 1

CAPA	PROFUNDIDAD	RESISTIVIDAD	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
	(metros)	(Ohmios-m)	
1	9.8	32	Material de depósito (Qc)
2	43	61	Arcillas, arcillolitas y limonitas (Kscn)
3	----	337	Areniscas arcillosas fracturadas (Kscn)

TABLA N° 2. RESULTADOS DEL S. E. V. – 2 (PARAMETRICO AL S.E.V. 1)

CAPA	PROFUNDIDAD	RESISTIVIDAD	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
	(metros)	(Ohmios-m)	
1	9.8	32	Material de depósito (Qc)
2	43	61	Arcillas, arcillolitas y limonitas (Kscn)
3	----	337	Areniscas arcillosas fracturadas (Kscn)

TABLA N° 3. RESULTADOS DEL S. E. V. – 3

CAPA	PROFUNDIDAD	RESISTIVIDAD	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
	(metros)	(Ohmios-m)	
1	1.2	26	Material de depósito (Qc)
2	52	52	Arcillas, arcillolitas y limonitas (Kscn)
3	----	296	Areniscas arcillosas fracturadas (Kscn)

Los datos de resistividades aparentes obtenidos en campo se asociaron a las litologías teniendo en cuenta que los materiales menos densos (arcillas y materiales poco consolidados), presentan los menores valores de resistividad, y los más densos (areniscas, etc.), presentan los mayores valores de resistividades.



GENERALIDADES DEL MÉTODO DE PROSPECCIÓN SÍSMICA

En la prospección sísmica, se emplean dos métodos principales: reflexión y refracción, de acuerdo al comportamiento de las ondas P, en su trayectoria por el subsuelo. En nuestro estudio se empleó el de refracción sísmica con el objetivo de evaluar el comportamiento de las velocidades de propagación de los materiales presentes por debajo de cada punto de observación, que servirán de apoyo para el cálculo de algunos parámetros físico- mecánicos, así como determinar el espesor de capas distintas dentro del material no consolidado, espesores de capas y tipo de material.

Los fundamentos teóricos que sustentan el método, están dados por las propiedades físicas de las rocas que permiten el desplazamiento de las ondas en el interior de la tierra (propiedades elásticas).

Las propiedades elásticas de las rocas dependen de su estructura física interna, de la porosidad y de la composición litológica. La densidad depende igualmente de estos factores, de tal forma, que a mayor densidad, mayor será también el valor de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el medio.

Resolviendo la ecuación de la onda, para los distintos tipos de ondas, se puede arribar a ciertas expresiones teóricas que relacionan la velocidad con las distintas constantes elásticas. Por ejemplo, la velocidad de propagación de las ondas longitudinales V_p depende del módulo de YOUNG (E), de la densidad (ρ) y del coeficiente de POISSON (μ) según la expresión siguiente:

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}} \quad (2)$$

Pero, si tomamos en consideración que el coeficiente de POISSON posee valores siempre muy cercanos a 0.25, la ecuación, adquiere la forma siguiente:

$$V_p = 1,095 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

Esta expresión es similar a la ecuación hallada para el caso del desplazamiento de una onda longitudinal a lo largo de una barra. En estas expresiones aparentemente existe una contradicción, pues se expresa una relación inversa entre la densidad y la velocidad. Sin embargo, en la realidad la magnitud del módulo de YOUNG aumenta mucho más rápidamente que la densidad y por esto la relación entre la velocidad y la densidad va a ser siempre directa. La velocidad de propagación de la onda transversal V_s se puede calcular a partir de la expresión siguiente:

$$V_s = \frac{\sqrt{E}}{\rho(2 + \mu)} \quad (4)$$



Si comparamos las ecuaciones anteriores, se puede fácilmente llegar a la conclusión que las ondas longitudinales (P), viajan con mayor velocidad que las ondas transversales (S), arribando siempre antes a los puntos alejados de la fuente de excitación (geófonos).

Los equipos de prospección sísmica, se diseñan de forma tal, que las ondas que recepcionen, sean las ondas longitudinales (P), y si se quiere conocer cual es la velocidad de las ondas transversales (S), ésta se calculará según la deducción siguiente.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{\sqrt{2(1-\mu)}}{(1-2\mu)} = \sqrt{3} = 1,73 \quad (5)$$

METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS DE CAMPO DE SÍSMICA DE REFRACCIÓN

Este método utiliza una fuente de excitación (explosiva o no explosiva), y una unidad de grabación (sismógrafo), para calcular la sección entre la superficie y el fondo.

La línea y ubicación de los geófonos estuvo diseñada como se aprecia en la figura No. 4. En total se efectuaron cinco líneas sísmicas para cada punto de estudio que fueron tres (SP1, SP2, SP3). El espaciamiento entre líneas fue de 1.5 m, y la distancia entre geófonos fue de 0.5 m.

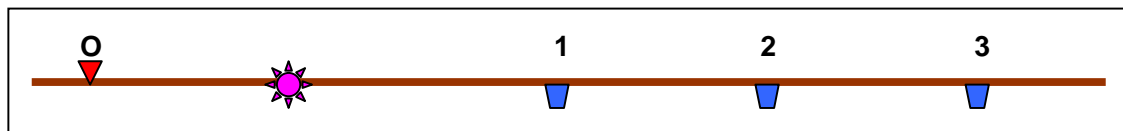


Fig. No. 4. ESQUEMA DE UBICACIÓN DE LA LÍNEA SÍSMICA

- ▼ Punto de observación (o)
- Geófonos (sismorreceptores) (1, 2, 3)
- ☀ Punto de excitación (golpes)

La fuente artificial estuvo compuesta por un martillo que permite dar varios golpes en la superficie terrestre, (foto 2), y como consecuencia de estos golpes, se realizó la suma de señales para obtener los sismogramas que se aprecian en la figura No. 5, 6, 7, como resultado de la selección de los diferentes registros obtenidos durante cada observación, ya que para considerar un sismograma como óptimo, éste debe reflejar claramente los tres primeros tiempos de llegada a cada geófono.

FOTO No.2. POSICIÓN DE TRABAJO CON EL MARTILLO, SISMÓGRAFO PASI



El equipo empleado fue un sismógrafo de tres canales, marca PASI de fabricación Italiana, que se aprecia en la foto 3, el cual tiene una conexión para el martillo, los geófonos y una impresora que permite imprimir automáticamente los sismogramas.

FOTO No.3. VISTA DEL EQUIPO SISMÓGRAFO PASI



INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS SÍSMICOS



El objetivo principal de la interpretación es llegar a conformar el corte geológico que compone un perfil de estudio, a través de un procesamiento manual o computarizado.

La primera interpretación parte de la selección de la información, que comienza con evaluación de la calidad de los registros obtenidos, cuestión que se debe comenzar a realizar en las labores de campo. Para considerar un sismograma con calidad éste debe reflejar claramente los tres primeros tiempos de llegada que corresponden a los tres primeros tiempos de llegada del primer frente de ondas a cada sismoreceptor, (geófono), los cuales se consideran los más óptimos debido a que cuando van avanzando los demás frentes de ondas, los registros se distorsionan producto de los diversos ruidos ambientales y de fuentes de baja energías que van llegando posteriormente y por consiguiente, afectando la calidad de los sismogramas.

Con los tiempos de llegada y las distancias entre los geófonos, se empleó el programa WINSISM, y se confeccionaron los domocromas, los cuales se emplearon para determinar las velocidades de propagación con sus espesores teniendo en cuenta los tiempos de intercepto en línea directa para los puntos SP1, SP2, SP3.

Estas velocidades de propagación obtenidas en los tres puntos de estudio, se correlacionaron y se representaron en un gráfico conjunto. En la figura No. 9 se observa que las pendientes para los puntos SP1 y SP3, tienen el mismo comportamiento, lo cual evidencia que el material presente en estos dos puntos, presenta las mismas características, a diferencia del punto SP2.

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MÉTODO

Estas líneas sísmicas arrojaron los resultados obtenidos según la explicación anterior.

Con los datos suministrados de los Sondeos Eléctricos Verticales y de los Sondeos sísmicos, se elaboró el corte representativo de la región de estudio.

Desde el punto de vista de la construcción de la presa, se considera que se debe tener en cuenta que las consecuencias de un evento dado sobre las construcciones existentes, en una zona, dependen fundamentalmente de la respuesta del sitio, la cual a su vez depende de las características topográficas y geotécnicas existentes. Por tales razones, se actualizará la información histórica existente y se realizará una evaluación y clasificación para confrontarla con los criterios internacionales para sismos.

Los criterios de diseño deben ser "defensivos", teniendo en cuenta el mayor sismo (MS) que puede ocurrir durante la vida del Proyecto

Con la Información regional recopilada se puede obtener la aceleración máxima probable. La intensidad modificada de Mercalli es aceptada generalmente para obtener los grados de intensidad.



GRADO	DESCRIPCION Y EFECTOS	ACELERACION (g)
I	Instrumentos. Lo detectan solamente los sismógrafos.	0.0002
II	Muy débil	0.0004
III	Suave	0.0008
IV	Moderado	0.001- 0.002
V	Medianamente fuerte	0.002- 0.005
VI	Fuerte, daños pequeños	0.005- 0.01
VII	Muy fuerte. Alarma general	0.01- 0.02
VIII	Destruyivo. Caída de paredes.	0.02- 0.05
IX	Ruinoso. Caída de casas	0.05- 0.10
X	Desastroso	0.10- 0.25
XI	Muy Desastroso. Fisuramientos terrestres- Movimiento Fallas	0.25- 0.50
XII	Catastrófico.- Destrucción Total	0.50- 1.00
	Total	

Con los datos y características de los eventos sísmicos, la magnitud, la profundidad alcanzada en cada caso y la distancia del epicentro respecto a la zona en estudio, es posible definir el sismo de diseño para el Proyecto.

Para complementar la información regional se requiere conocer la respuesta sísmica del sitio, suelos y rocas, instalando un red sismológica de mínimo cuatro instrumentos, para poder determinar las cuatro variables del foco de un sismo (x,y,z,t), pero en general es preferible contar con cinco para instalar cuatro formando un cuadrado y una en el centro.

La red deberá mantenerse instalada por un período razonable, del orden de unos seis meses, y conviene establecer un sitio equidistante de las alternativas o soluciones planteadas, de tal manera que el estudio general resultante pueda ser aplicable a todas ellas.

El parámetro básico que debe obtenerse en esta etapa es la aceleración máxima probable en la roca para utilizarlo en los prediseños de las obras.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✚ El trabajo complementó la información geológica del sitio donde se va fundar el muro de la presa, donde la morforología del sector y las características geológicas, son correlacionables con los resultados geofísicos obtenidos.
- ✚ Según los datos obtenidos en campo se recomienda realizar una perforación a una profundidad de 140 metros, con el fin de correlacionar los espesores obtenidos con las litologías asociadas.
- ✚ Luego de terminar las labores de perforación se deben correr registros de pozo con sondas de Gamma Ray, Potencial (SP) y Resistividad, con el fin de verificar las capas detectadas.
- ✚ Realizar análisis físico-químicos del agua de la región, con la finalidad de verificar su calidad y si es apta o no para el consumo humano.
- ✚ Las velocidades obtenidas sirven de apoyo al cálculo de parámetros físico-mecánicos, por lo que se recomienda el cálculo de éstos para su comparación con los obtenidos en laboratorio.



EL MÉTODO DE GROUND PENETRATION RADAR (GPR) EN EL RECONOCIMIENTO DEL SUBSUELO

FREDY ALEXANDER FONSECA BENÍTEZ

Escuela de Ingeniería Geológica, UPTC- Sogamoso, Email: frefonseca@yahoo.com

RESUMEN

El presente trabajo expone las perspectivas actuales de las técnicas geofísicas de Ground Penetration Radar para su aplicación en la resolución de problemas ingenieriles tales como: pavimentos, construcciones, zonas de contactos entre formaciones geológicas y estudios de prospección y exploración de yacimientos minerales.

Se exponen los principios del método, equipos empleados y finalmente, se presentan ejemplos de resultados obtenidos en varios estudios realizados en diferentes regiones del mundo. Se recomienda el uso de esta técnica, la cual ocupa los primeros lugares en la actualidad geológica- geofísica.

El GEORADAR es un método electromagnético de reflexión. Las ondas electromagnéticas son causadas por las diferentes propiedades dieléctricas, las cuales en caso de materiales geológicos dependen de la matriz en la cual se encuentran los mismos, su porosidad y el contenido de agua.

Un límite de la capa entre el material seco y húmedo rendirá una reflexión fuerte lo cual hace que el método sea útil para propósitos hidrogeológicos. Mientras que la desventaja del método radica en que las capas gruesas de materiales con resistencia baja se pueden atravesar apenas debido a su alta absorción de ondas electromagnéticas. Tales materiales son por ejemplo, las arcillas.

La profundidad de investigación del GPR depende tanto de la capacidad de absorción del material como de la frecuencia de la antena y el tipo de antena empleada.

Palabras claves: Ground Penetration Radar, geofísica, tomografías.



ABSTRACT

The present work exposes the present perspective of the geophysical techniques of Ground Penetration Radar for its application in the resolution of ingenieriles problems such as: pavements, constructions, geologic zones of contacts between formation and studies of prospection and exploration of mineral deposits,

The principles of the method are exposed, used equipment and finally, examples of results obtained in several studies made in different regions from the world appear. The use of this technique is recommended, which occupies the first places at the geophysical geologic present time.

The GEORADAR is an electromagnetic method of reflection. The electromagnetic waves are caused by the different dielectric properties, which in case of geologic materials depend on the matrix in which they are such, its porosity and the water content.

A limit of the layer between the dry and humid material will render a strong reflection which causes that the method is useful for hidrogeológicos intentions. Whereas the disadvantage of the method is in which the heavy layers of materials with low resistance can be crossed hardly due to their high absorption of electromagnetic waves. Such materials are for example, the clays.

The depth of investigation of the GPR depends as much on the capacity of absorption of the material like of the frequency of the antenna and the type of used antenn.

Key words: Ground Penetration Radar, geophysical, tomografías.

INTRODUCCIÓN

El método de prospección por GPR (Ground Penetration Radar), se basa en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas, capaz de reproducir imágenes del subsuelo y deducir el material presente bajo la superficie.

Es un método electromagnético de reflexión de alta frecuencia cuando las ondas encuentran un contraste dieléctrico y se reflejan hacia la superficie (ley de Snell-Descartes).

La propagación de las ondas a través del terreno están regidas por las ecuaciones de Maxwell y dependen de las propiedades dieléctricas y en especial de las heterogeneidades que encuentran al propagarse las ondas, las cuales en el medio geológico tienen influencia de las características del terreno, tales como: la matriz de sus materiales, su porosidad y contenido de agua.

El GPR contiene una unidad emisora, una unidad receptora y una unidad de registro, con base en el tiempo de retardo de la onda reflejada y la velocidad de propagación de la onda en la superficie a través de la cual se deslizan antenas, se deduce la profundidad hasta donde se encuentra el objeto reflector.

Su funcionamiento consiste en la emisión de ondas con una determinada frecuencia con el fin de detectar las reflexiones producidas por el objeto de interés.

La incidencia de la energía en las heterogeneidades del subsuelo genera reflexiones, refracciones y difracciones de las ondas, las cuales son captadas por una antena receptora que recibe la energía electromagnética tras su propagación por el medio. (figura 1).

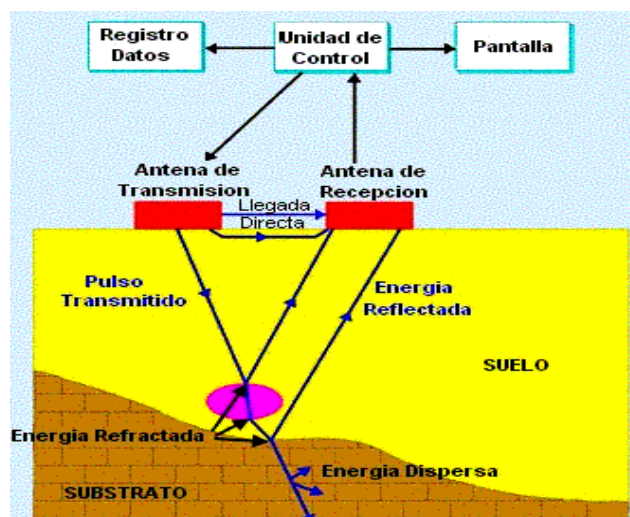


Fig. 1. Esquema de funcionamiento del sistema GPR.



Según se aprecia en la figura, cuando existe una superficie de separación entre dos medios de diferente composición, unas ondas se reflejan, otras se refractan y otras se dispersan logrando atravesar el medio 2.

El comportamiento de ondas utilizadas por el GPR relacionan los campos electromagnéticos y magnéticos con las fuentes que los producen, a partir de una serie de parámetros constantes para cada medio determinado.

Las constantes que definen electromagnéticamente un medio son:

- ✓ Conductividad: medida de respuesta de las cargas libres en presencia de un medio externo en un medio, factor de proporcionalidad entre las cargas libres aplicadas y la densidad de volumen de corriente debido al movimiento de cargas. La conductividad en un medio es inversa a la resistividad.
- ✓ Permitividad eléctrica: Es una constante de proporcionalidad entre la intensidad del campo eléctrico externo aplicado y el vector desplazamiento, es una medida de la capacidad de polarización.
- ✓ Permeabilidad magnética: Relaciona la inducción magnética con la intensidad del campo magnético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplean las antenas blindadas (apantalladas) y no blindadas (no apantalladas), en función del tipo de trabajo que se quiere realizar. Las apantalladas pueden ser de 100 - 1000 MHz de frecuencia. Las no apantalladas suelen ser de 10 – 100 MHz.

Antenas monoestáticas

En este tipo de antenas se emite y se recibe una onda electromagnética de una frecuencia dada. El modo monoestático es la posibilidad de reflexiones múltiples y por tanto, la repetición del patrón objetivo.

Con este tipo de antenas, se pueden adquirir datos mediante: perfiles, mediciones puntuales y mediciones por sondeos.

Antenas biestáticas

En este tipo de antenas, la transmisora es separada de la unidad receptora. La ventaja de este tipo de posibilidad de “iluminar” el subsuelo en forma inclinada y aumentar la posibilidad de resolución en objetos enterrados.

Con estas antenas se pueden obtener datos de registro mediante perfiles, mediciones puntuales y mediciones por sondeos, así como punto medio común y por tomografías...



MÉTODOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En la toma de mediciones se tienen en cuenta varios métodos con el fin de lograr una mejor calidad de las mismas, los cuales se enuncian a continuación.

Adquisición de perfiles

Se desplaza la antena a lo largo de una línea, se puede utilizar un GPS de tal manera que el trabajo quede referenciado. Durante el desplazamiento se emite un elevado número de pulsaciones por segundo, (se pueden emitir de 1- 100 pulsaciones por segundo), esto permite la adquisición de datos que aunque en realidad es puntual se puede considerar continua, por la cantidad de trazas que se tienen en todo el perfil.

El número de datos por segundo que se obtiene depende la velocidad de desplazamiento de la antena. La velocidad de desplazamiento debe ser constante por lo que se hace necesario la utilización de un odómetro. Para antenas apantalladas monoestáticas el trabajo puede ser realizado colocando la antena sobre el terreno, mientras que para la antena biestática es preciso que sea elevada mas o menos 5 cm de la superficie.

Adquisiciones puntuales

Se ubica la antena en un punto dado del área de estudio, y sin efectuar ningún desplazamiento en las antenas se realiza la emisión de energía y la adquisición de datos. De esta manera obtenemos información del medio bajo la vertical con respecto al punto. Si es realizado con una antena biestática se obtiene información correspondiente a la zona central entre ambas en las que se produce la reflexión. Se utilizan zonas en las cuales no se permite el desplazamiento adecuado de la antena.

Punto medio común

Conocido también como punto común en profundidad o punto de reflexión común. Este método se realiza con antenas biestáticas desplazando la emisora y la receptora en direcciones opuestas, respecto a un punto central entre ambas. Las antenas deben estar equidistantes con respecto a dicho punto.

Al representar los datos obtenidos en una gráfica distancia vs tiempo, se obtiene la forma de una hipérbola si únicamente tenemos un reflector bajo las antenas.

La ecuación de esta hipérbola depende del tiempo de propagación, de la distancia entre antenas, de la velocidad de propagación de las ondas por el medio y la profundidad a la cual se ubica el objeto reflector.



A partir de los datos conocidos es posible obtener los parámetros del medio (velocidad efectiva de propagación, profundidad del reflector). Si bajo las antenas existe mas de un medio reflector, el resultado es una hipérbola por cada una de ellos.

Los registros resultantes, contienen información sobre diferentes tipos de ondas electromagnéticas:

- ✓ Onda propagada por el aire
- ✓ Onda directa propagada en el primer medio
- ✓ Reflexiones registradas en forma de hipérbolas
- ✓ Refracciones de aquellas ondas que inciden en una discontinuidad con ángulo crítico, observadas en el registro en forma de recta.

La detección de ondas refractadas permite encontrar velocidades de propagación, como el inverso de la pendiente de las rectas registradas. Las ondas refractadas se producen si la velocidad del medio aumenta con la profundidad, es decir, si la permitividad relativa disminuye.

Un aumento del contenido de agua de un medio hace que la velocidad de la onda disminuya.

OTROS MÉTODOS

- ✓ Tomografías:

Se aplica a muros y medios de dos superficies paralelas en las que puedan ser situadas las antenas. Tiene una alta aplicabilidad en muros y columnas (antenas de alta frecuencia), túneles y minas (antenas de bajas frecuencias).

- ✓ Reflexión- refracción:

Se utiliza en medios donde las superficies reflectoras son aproximadamente planas y paralelas a la superficie. Este método consiste en dejar una antena estática y desplazar la otra aumentando la distancia entre ambas.

- ✓ Sondeos:

Se puede realizar de tres formas:

- Único sondeo
- Sondeo continuo
- Sondeo antena Bore Hole

PROCESAMIENTO DE DATOS

Antes de interpretar los datos obtenidos estos deben sufrir un procesamiento con el fin de mejorar la resolución y la relación señal ruido, lo cual es debido a



atenuaciones de las ondas irradiadas, ruidos externos y ruidos del instrumento. Los datos deben procesarse en función de las características del GPR, el entorno geológico y los objetos a investigar.

Los ruidos encontrados en los perfiles del GEORADAR son debido a fuentes como:

- ✓ Objetos en la superficie del terreno
- ✓ Cables de alta tensión
- ✓ Semáforos
- ✓ Señales electromagnéticas de alta frecuencia (antenas, microondas, celulares)

El procesamiento tiene tres etapas:

- ✓ Preprocesamiento: Filtro DC: atenuar las señales de bajas frecuencias. En esta etapa también se calcula la velocidad de propagación y la profundidad a la cual se encuentra el objeto.
- ✓ Ganancia: Corregir la atenuación de la señal debido a la penetración de la misma en el terreno.
- ✓ Filtrado: En esta etapa del procesamiento es importante la experiencia del intérprete, consiste en eliminar o minimizar aquellas señales que no son generadas por la geología.

MEDIDAS Y TRATAMIENTO DE LA SEÑAL

Se miden las variaciones de amplitud del campo eléctrico producido por las reflexiones y difracciones sobre los contrastes dieléctricos del medio en función del tiempo. Los equipos modernos permiten la toma de grandes cantidades de datos sin que existan excesivos problemas de muestreo y almacenamiento de datos, así como una rápida interpretación de los mismos.

El primer resultado en la prospección es un radargrama y un corte en función del tiempo (radargrama bruto). En las abscisas se encuentra la escala de recorrido y en las ordenadas una escala correspondiente al tiempo de llegada de reflexiones y difracciones de la onda electromagnética.

El siguiente paso es realizar un corte en función de la profundidad (filtrar e interpretar la información), la cual es realizada con el fin de obtener una imagen más legible del radargrama. Para esto se emplean algoritmos de tratamiento de señales. (ver figura 2).

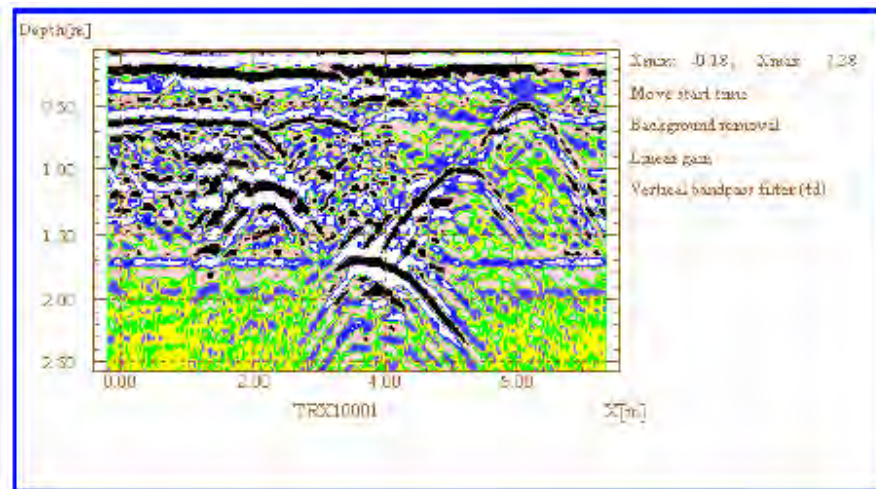


Fig. 2. Ejemplo de un radargrama obtenido con GPR

PUESTA A PUNTO DEL EQUIPO Y CALIBRADO DE LA SEÑAL

El GPR presenta alta resolución en la detección de huecos y conductores en un medio resistivo (mayor de 100 Ohmios por metro), en profundidad depende de la conductividad del medio encajante.

No es recomendable para la detección de cavidades en un medio conductor o en presencia de cobertura conductora, pues las ondas no se propagan debajo de ella.

RESULTADOS

Con el GPR se han obtenido numerosos resultados a lo largo de los años desde sus primeras aplicaciones, entre las cuales se pueden resaltar:

DETECCIÓN DE CAVIDADES POR GPR

La signatura de una cavidad es un contraste de amplitud más o menos pronunciado sobre el radargrama. El contraste es mas fuerte si la cavidad se encuentra vacía.

La señal asociada a ese contraste presenta generalmente hipérbolas de difracción. La señal es alta para una cavidad inundada, con presencia de reflexiones múltiples y sin embargo está muy atenuada cuando las ondas atraviesan medios rellenos de materiales conductivos (arcillas).

Detección de elementos metálicos y no metálicos (cables, tuberías)

INDUSTRIA DEL METAL

Tiene gran aplicación en la industria que procesa minerales sintéticos y no sintéticos, porque permite la exploración de la superficie de los metales y minerales como ej: diamante, siendo una técnica de mapeo no destructiva.

EXPLORACIÓN Y MINERÍA

Permite la localización de yacimientos minerales diseminados; el análisis de la estratigrafía y estado de sometimiento de las paredes de las minas subterráneas.

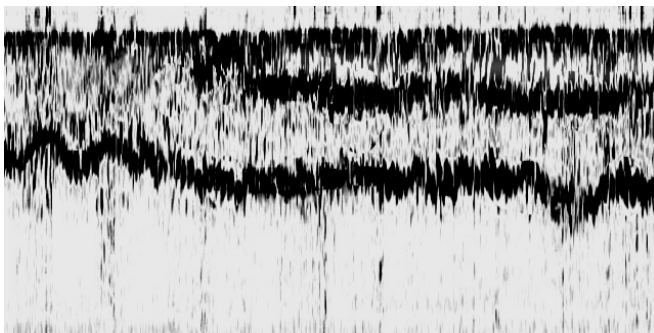


Fig. 3. Perfil típico de una exploración de yacimiento de bauxita, Indonesia.

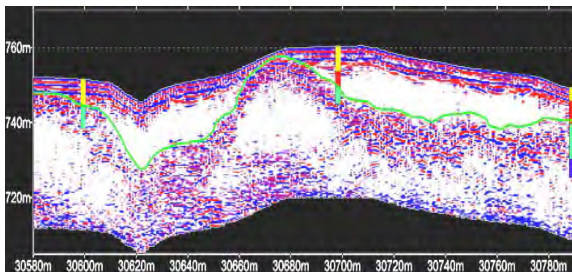


Fig. 4. Resultados de exploración de lateritas con GPR , Nueva Guinea, Africa.

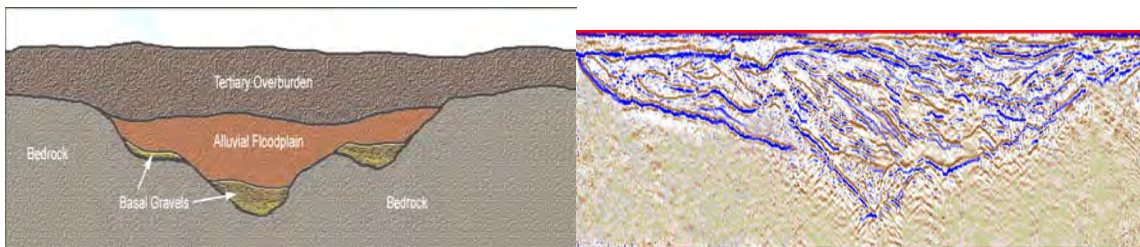


Fig. 5. Ejemplo de determinación de cuencas sedimentarias con GPR.

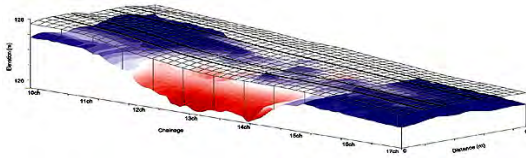


Fig. 6. Ejemplo en 3D, de determinación de cuencas sedimentarias con GPR.

OTRAS APLICACIONES

DETECCIÓN DE ESTRUCTURAS ENTERRADAS (TÚNELES, AVIONES, OBJETOS MILITARES)

INSPECCIÓN DE OBRAS CIVILES

INSPECCIÓN DE PAVIMENTOS

PROSPECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Permite mapear acuíferos.

MEDIO AMBIENTE (DELINEAMIENTO DE TERRENOS Y FLUIDOS CONTAMINADOS)

INSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA

Permite la ubicación de los diferentes sitios históricos.

EMPLEO EN ESTUDIOS FORENSES

BÚSQUEDA DE HIDROCARBUROS

Las limitantes de la aplicación del GPR son:

- Las superficies de estudio, deben tener características eléctricas o magnéticas suficientemente diferenciables para su caracterización.
- Cuanto más grande es el espesor de la superficie de estudio, mayor es la profundidad de la detectabilidad.
- GPR no trabaja en arcillas o lechos conductores.
- GPR no puede penetrar a través del agua salina.
- Los exámenes de baja frecuencia no se deben conducir cerca de las torres de radio o de las líneas de alto voltaje

CONCLUSIONES

- ✓ El método de prospección por GPR se basa en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas, reproduciendo imágenes de alta resolución del subsuelo.



- ✓ La profundidad de investigación y el grado de resolución depende del tipo de antena utilizada y de la frecuencia empleada.
- ✓ Con antenas blindadas, se obtiene una alta resolución pero una menor profundidad de investigación comparada con una antena no blindada.
- ✓ En antenas apantalladas (alta frecuencia) se obtiene un mayor control de ruido.
- ✓ El GPR es un método de tipo no destructivo, en el cual no es necesario utilizar un contacto físico "electrodos".
- ✓ El método de prospección GPR es similar al método sísmico de reflexión, en la toma de datos y en el procesamiento de los mismos.
- ✓ El método de GPR se diferencia del método de prospección sísmica en que estudia el medio geológico en el dominio de la frecuencia.
- ✓ El método es útil para buscar cuerpos con un gran contraste en las propiedades electromagnéticas con el medio encajante.
- ✓ A pesar de la efectividad del método en distintas condiciones geológicas, no se obtiene el mejor resultado en aquellos medios conductores, y las ondas electromagnéticas no son capaces de atravesar el agua salina.

REFERENCIAS

1. Gutiérrez Jorge Martín: Análisis del subsuelo utilizando técnicas geofísicas, sistema Georadar RAMAC/GPR, VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía, Madrid, España, 19- 22 Octubre de 2004.
2. K. Biskup, H. Lorenzo y P. Arias: Aplicabilidad del Radar del subsuelo para el estudio de la zona no saturada del suelo: ejemplos en ambientes arenosos y costeros. 2005.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a la Comisión Organizadora de la II CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, por permitirme mostrar resultados que pueden ser muy importantes para la exploración geofísica, ya que el empleo del GPR, permite resolver problemas propios de cualquier actividad ingenieril.

REFLEXIONES SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA GEOFISICA EN CUBA

Guillermo Miró Pagés⁽¹⁾ José Pérez Lazo⁽¹⁾

(1) Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Calle 124 s/n, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba. C.Eléct.: geofisica@civl.cujae.edu.cu

RESUMEN

El Departamento de Geociencias del Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", ha trabajado en la formación y superación de profesionales en la rama de la ingeniería geofísica durante más de 35 años.

El desarrollo de la carrera de Geofísica surgió con posterioridad al triunfo de la Revolución Cubana en consecuencia de la necesidad de estudiar los recursos minerales del territorio nacional como una premisa para el desarrollo económico del País a partir de la década del 60.

En el presente trabajo, se expone una breve reseña histórica sobre la formación y superación de ingenieros geofísicos en Cuba, a partir de la creación de la Escuela de Ingeniería Geofísica en la Ciudad Universitaria "José Antonio Echevarría" (CUJAE) en 1966 exponiéndose algunas consideraciones sobre las necesidades actuales y perspectivas de esta carrera universitaria.

El objetivo principal del presente artículo es promover la reflexión y el análisis no solo sobre las necesidades previsibles de este tipo de especialistas en Cuba desde el punto de vista cuantitativo sino también sobre algunos aspectos de carácter cualitativo que deberían caracterizar este empeño en el futuro, atendiendo al estado del arte alcanzado por la enseñanza de la geofísica internacionalmente.

ABSTRACT

The Department of Geosciences of the High Polytechnic Institute "José Antonio Echeverría", has worked in the formation of many professionals in the branch of the geophysical engineering during more than 35 years.

The development of the career of Geophysics arose after the victory of the Cuban Revolution in consequence of the necessity of studying the mineral resources of the national territory as a premise for the economic development of the Country starting from the decade of the 60.

In presently work, a brief historical review is exposed about the formation of geophysical engineers in Cuba, starting from the creation of the School of Geophysical Engineering in the University City "José Antonio Echeverría" (CUJAE) in 1966, being exposed some considerations on the current necessities and perspectives of this university career.

The main objective of the present article is to promote the reflection and the analysis non single envelope the foregone necessities of this type of specialists in Cuba from the quantitative point of view, but also on some aspects of qualitative character that should characterize this zeal in the future, assisting to the state of the art reached internationally by the teaching of the geophysics.

INTRODUCCION

La formación y superación de profesionales universitarios en cualquier país constituye sin dudas una importante premisa para contribuir a alcanzar su pleno desarrollo.

En el caso de Cuba, como es conocido, desde el triunfo de la Revolución en 1959, se ha propiciado en forma acelerada el desarrollo multilateral de formación y superación de profesionales de nivel superior en numerosas especialidades cardinales para propiciar el desarrollo económico nacional.



Muchas, como es el caso de la Ingeniería Geofísica, iniciaron su desarrollo en Cuba en la década del 60 a tenor con los requerimientos de desarrollo del País planteados desde aquel entonces.

Dentro de este contexto histórico tuvo lugar la creación de la Escuela de Ingeniería Geofísica en la CUJAE en 1966, la que ha logrado la formación y superación de cientos de profesionales universitarios tanto nacionales como extranjeros a lo largo de más de 35 años de trabajo ininterrumpido.

MATERIALES Y METODOS

➤ Breve síntesis histórica sobre el surgimiento y desarrollo de la carrera de ingeniería geofísica en Cuba.

La apertura de esta carrera, prácticamente desconocida en Cuba antes del triunfo de la Revolución, estuvo condicionada por la necesidad de explorar y explotar nuestros recursos minerales mediante técnicas modernas que abaratan y a la vez incrementan el grado de certeza de las prospecciones.

Correspondió al ya desaparecido profesor y destacado especialista checoslovaco J. Hladyck, la iniciativa de proponer a nuestras autoridades universitarias, la apertura de la carrera de Ingeniería Geofísica en Cuba y de luchar con perseverancia por su surgimiento y consolidación durante la década de los años sesenta. A partir de entonces, la carrera fue gradualmente desarrollándose gracias a la colaboración de numerosos distinguidos profesionales tanto cubanos como extranjeros entre los cuales cabe mencionar de forma especial en calidad de fundadores a algunos lamentablemente ya desaparecidos físicamente como Zdenek Novy, Ana Luisa Betancourt Morales y Gladstone Oliva Gutiérrez y de otros que para satisfacción nuestra aun nos acompañan como Cesar Rodríguez Godines.

Una vez establecida la Escuela, esta diseñó y perfeccionó paulatinamente sus planes de estudios y sus textos básicos con el auxilio y asesoramiento de varios destacados docentes extranjeros del extinto campo socialista de Europa del Este y logró el aseguramiento de la base material de estudio indispensable para la formación de los futuros profesionales; así mismo se garantizó una permanente política de investigaciones y de superación postgraduada de su claustro lo que creó las premisas requeridas para el desarrollo y madurez de éste, lo que ha propiciado que actualmente el 100% del mismo ya ostenta grados científicos.

Desde 1969 hasta 1994, año en que se graduó el último grupo de ingenieros geofísicos, esta carrera universitaria preparó con un nivel adecuado a cientos de profesionales que fueron ubicados en diferentes organismos e instituciones del País vinculadas a la prospección geológica, los que han brindado su valiosa contribución al desarrollo de la Nación.

Sería muy difícil enumerar, todos los aportes que han hecho en Cuba y en el extranjero los egresados de la Escuela de Ingeniería Geofísica; no obstante, deben ser resaltados algunos logros significativos tales como:

- ♦ La realización de importantes estudios sobre la estructura geológica profunda del territorio cubano para la prospección petrolera.
- ♦ La detección de anomalías vinculadas a la ubicación de yacimientos minerales metálicos y no metálicos a lo largo de todo el País.
- ♦ La búsqueda y hallazgo de agua subterránea como fuente de abasto para diferentes fines.



- ♦ El estudio del subsuelo en distintas regiones del territorio nacional, con fines ingeniero geológicos para el establecimiento de obras estructurales.
- ♦ La realización de importantes contribuciones vinculadas al estudio y protección del medio ambiente.
- ♦ Las asesorías docentes brindadas en distintos países para la formación y superación de profesionales en el campo de la ingeniería geofísica.
- ♦ El desarrollo de algunos softwares originales propios y la explotación de otros extranjeros para el procesamiento matemático y la cartografía digital de la información geológica y geofísica.

En el marco de estos logros se destaca el aporte fundamental realizado por varios de nuestros geofísicos cubanos a la solución de una tarea de tanta complejidad técnica e importancia histórica como fue la búsqueda y exitoso hallazgo de los restos del Guerrillero Heroico Ernesto Che Guevara y sus compañeros caídos en Bolivia.

En el año 1989 a partir de una serie de consideraciones, se tomó la decisión por el MES de cerrar la carrera de ingeniería geofísica y pasar a formar un Ingeniero Geólogo de perfil ancho, que pudiera orientarse eventualmente, atendiendo a las necesidades, hacia esta especialidad mediante estudios de postgrado, lo que en los hechos posteriormente no se ha materializado en la práctica; también se decidió, dirigir el potencial del Departamento al desarrollo de investigaciones científicas y a propiciar en una forma creciente la superación de nuestros egresados, lo que se ha concretado mediante la impartición de numerosos cursos de posgrado, de Maestrías, de Especialidad, de Diplomados así como mediante la tutoría de numerosos trabajos de doctorado desde aquel entonces.

➤ **Estado actual y perspectivas futuras.**

La práctica más aceptada internacionalmente en el campo de la formación pedagógica en el área de las geociencias desde hace años, no aconseja la formación de geólogos y geofísicos a partir de un tronco común sino en forma diferenciada desde los primeros años de las carreras respectivas, partiendo no solo de las especificidades en las formas de pensamiento y análisis de ambos tipos de profesionales en la solución de los problemas relacionados con la Tierra sino también del ancho espectro que en sí caracteriza a cada uno de estos perfiles de las geociencias (Cordany U, 2002).

Actualmente el desarrollo y extraordinario grado de especialización tecnológica alcanzado internacionalmente por la ingeniería geofísica hacen que esta carrera como tal, sea considerada como de perfil ancho ya que el campo que la misma abarca es tan extenso como heterogéneo incluyendo vertientes muy diferenciadas dirigidas a la exploración petrolera, de minerales metálicos, solución de problemas hidrogeológicos, ingeniero geológicos, medio ambientales etc.

Sin embargo como ya fue anteriormente señalado, hace más de 10 años que en nuestro País no se forman ingenieros geofísicos, lo que ya comienza a sentirse e incidirá desfavorablemente en los próximos años, si no se toman con la celeridad requerida, medidas correctivas de esta situación.

Puede estimarse que más del 50% de nuestros egresados reorientaron su perfil laboral a partir de 1991 debido a la recesión que experimentó la prospección geológica en relación con la entrada del País en la etapa del período especial (Pérez J et al, 2001). Debido a esta circunstancia, al envejecimiento natural que va experimentando esta fuerza laboral y a la reanimación que viene produciéndose en el servicio geológico nacional, puede constatar que actualmente ya el número de ingenieros geofísicos con que se cuenta y sobre todo que se requerirán para hacer frente a las tareas que demanda el País en las distintas ramas de la prospección resulta insuficiente.



Ya en la Convención de Geología y Geofísica celebrada en nuestro País durante el año 2001 al discutirse este asunto, en el marco de un panel presidido por el Departamento de Geociencias de la CUJAE, dedicado al análisis de la formación de profesionales universitarios en esta rama, se constató esta situación. En aquella ocasión, a partir de los acuerdos tomados en aquel mismo evento, la División de Geofísica de la Sociedad Cubana de Geología hubo trasladar esta preocupación a las direcciones del MES y el MINBAS respectivamente. Es de significar que en gran medida producto de estos esfuerzos, surgió la Especialidad de Posgrado “Geofísica Petrolera” la que se impartió exitosamente en estrecha coordinación entre el Departamento de Geociencias de la CUJAE, el Centro Politécnico del Petróleo, el ISMM de Moa, DIGICUPET y el CEINPET.

No obstante lo positivo de este esfuerzo que arrojó el resultado de la graduación de un grupo de 15 especialistas, puede considerarse que el mismo no constituye más que un paliativo, si tenemos en cuenta no solo nuestras necesidades nacionales crecientes en relación a la salida gradual del País del periodo especial sino también nuestros eventuales compromisos de cooperación internacional.

Atendiendo a estas consideraciones, recientemente ha comenzado a plantearse la posible reapertura de la carrera de pregrado de ingeniería geofísica en la CUJAE principalmente por los efectos de la industria petrolera dada la especial reanimación que experimenta esta rama. No obstante, las necesidades actuales y perspectivas de este tipo de profesional evidentemente no conciernen tan solo a este sector, todo lo cual ha motivado profundas reflexiones por parte del claustro del Departamento de Geociencias cuyos resultados son expuestos a continuación.

RESULTADOS

- Debería hacerse por las autoridades correspondientes, un estudio dirigido a tratar de cuantificar las necesidades actuales y perspectivas de este tipo de profesional ya que aunque tal necesidad se percibe, su precisa dimensión no fue objetivo del presente trabajo. Tal vez con este fin, pudiera constituirse una comisión de trabajo presidida por el MES e integrada por los principales organismos usuarios de estos ingenieros con la participación de la Sociedad Cubana de Geología.
- El carácter limitado que siempre tendrá la demanda de este tipo de profesional, sugieren que en nuestras condiciones debe formarse un profesional universitario de perfil amplio en ingeniería geofísica que pueda orientar su especialización hacia áreas más estrechas en función de las necesidades existentes durante los últimos años de estudio y una vez egresados, mediante cursos de postgrado.
- El plan de estudios debería ser suficientemente amplio, balanceado y flexible, incluyendo las asignaturas requeridas de los ciclos geológico y geofísico, las que deben estar encaminadas a brindar una formación teórico-práctica suficientemente sólida al estudiante.
- Se requeriría de matriculas constituidas por grupos de alumnos de alto rendimiento y con las motivaciones y aptitudes requeridas atendiendo a las características y complejidad de este tipo de carrera, a fin de evitar índices elevados de “mortalidad” docente.
- Se requeriría de la contribución de los organismos nacionales receptores de estos ingenieros a fin de cubrir las necesidades principales que acarrearía este proceso formativo. Esta estrategia constituye una práctica universalmente empleada, incluso en los países más desarrollados (Kurt M,



2000), dado lo costoso que resultan los recursos de todo tipo requeridos para la enseñanza de la adquisición, procesamiento e interpretación de la información geofísica actualmente.

- Constituye una prioridad de la mayor importancia, él prever así mismo con urgencia la selección y formación del profesorado de esta carrera considerando que el claustro actual del Dpto. de Geociencias de la CUJAE (y del personal de experiencia de los organismos afines dedicados a la exploración geofísica) ya tiene una edad media que rebasa los 51 años por lo que ya el mismo no podrá ser en lo fundamental el protagonista directo de la formación de los futuros ingenieros aunque si debiese comenzar a jugar en breve un rol primordial en la formación docente, metodológica y técnica del claustro futuro cuya selección constituye también una tarea de gran prioridad.
- Resulta obvio que habría que introducir adecuaciones importantes en los planes de trabajo de los especialistas de la industria que se requerirían para participar en este empeño docente ya que la impartición de los cursos de pregrado requieren una mayor dedicación de tiempo que los de postgrado, que es en los que principalmente en los últimos años, han colaborado los especialistas de la producción.
- Los planes y programas que habría que elaborar para la formación de estos nuevos profesionales, tendrían que considerar las reformas sustanciales a que se ha visto sometida la educación superior internacionalmente en los últimos años (Cordany U, 2002, Garvin D. A., 1991) y que han tenido entre otros como puntos cardinales, la disminución del tiempo presencial en clases de los alumnos sobre la base del apoyo de las Nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICS), el desarrollo de programas de estudio que hacen un amplio uso del trabajo práctico grupal, la asignación de una mayor autonomía a los educandos en el proceso de aprendizaje haciéndose cada vez un mayor énfasis en enseñar a aprender en forma independiente.
- También estos planes deberían ser diseñados fortaleciendo el papel de las disciplinas básicas para la formación de los ingenieros (Dean C, 1998; Sandoval Ochoa, J H, 2000; Plan UNAM, 2005), como matemáticas, física, computación, geología e idioma extranjero, a fin de prepararlos adecuadamente para asimilar los vertiginosos cambios que experimentan las tecnologías de adquisición, procesamiento e interpretación de la información geofísica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Actualmente se está comenzando a plantear la posible reapertura de la carrera universitaria de ingeniería geofísica en Cuba, la que internacionalmente se imparte con un perfil amplio que permite a los educandos tomar vertientes específicas durante los últimos cursos y una vez graduados mediante cursos de posgrado.
- Este empeño requeriría del diseño de planes y programas de estudio que brindaran una sólida formación básica a los futuros ingenieros, acorde con los nuevos desafíos planteados ante la educación superior contemporánea en esta esfera del conocimiento.
- Se requeriría de un significativo y multilateral apoyo por parte de los organismos usuarios de este tipo de profesional, para poder llevar adelante en forma exitosa este empeño.
- Que se constituya una comisión de trabajo presidida por el MES y esté integrada por los principales organismos usuarios de estos ingenieros con la participación de la Sociedad Cubana de

Geología, a fin de cuantificar en la forma mas precisa posible las eventuales necesidades perspectivas de este tipo de profesional en el País y sugerir en consecuencia las estrategias de formación mas aconsejables

BIBLIOGRAFIA

- Cordany U, 2002: "Situación actual y potencial científico en el área de las Geociencias", Brasil, en INTERNET.
- Pérez J, Miró G, 2001: "Preparación y superación de ingenieros geofísicos: breve historia, estado actual y perspectivas futuras", Congreso de Geofísica, c La Habana
- Kurt M, Hua-Wei Zhou, K. K. Sekharan, Robert E. Sheriff, Stuart A. Hall, Seiichi Nagihara, Anning Hou, 2000: "Future need for geophysicists and geophysical research in the oil business? Conclusions of a listening tour", The Leading Edge, USA.
- Garvin D. A., 1991: "Barreras y vías para el aprendizaje", Education for Judgement. Harvard Business School, Boston Massachusetts, USA.
- Dean C, 1998: Is this a good time to talk about careers in geophysics? The Leading Edge, USA.
- Sandoval Ochoa, J H, 2000: "Algunas reflexiones sobre la formación del ingeniero geofísico en la enseñanza aprendizaje de temas en exploración petrolera", UNAM, en INTERNET.
- Plan de estudios de la carrera de Ingeniería Geofísica, UNAM en INTERNET, 2005

IMPACTO DE LA METODOLOGÍA DE PROCESAMIENTO MIGRACION PRESUMA EN PROFUNDIDAD 2D EN CUBA CENTRAL CON CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS COMPLEJAS

Nancy E. Sterling Baños⁽¹⁾, Esthenis Martinez Rojas⁽¹⁾.

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET) Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba. nancy@digi.cupet.cu

RESUMEN

En momentos en que uno de los retos de la exploración es dar respuesta a la necesidad de ampliar nuestras reservas de hidrocarburos se abordan en la presente investigación temas actualizados del procesamiento de migración presuma en profundidad (PSDM) de la sísmica 2D terrestre en condiciones geológicas complejas, siendo importante alcanzar durante el procesamiento una imagen sísmica en profundidad que tenga buen poder resolutivo para disminuir los riesgos en la interpretación.

La PSDM se realizó en líneas de interés con presencia de objetivos revelados en secciones sísmicas obtenidas con otras metodologías, destacándose en este sector la necesidad de aplicar esta para aclarar más la configuración espacial y en profundidad de las estructuras detectadas en interpretaciones anteriores, además de obtener nuevas estructuras no reveladas con vista al ajuste de los programas de perforación en el área.

El resultado de esta investigación destaca que el dato de entrada (deconvolución) a migrar requiere como premisa estar limpio de ruidos. Se observan en las secciones migradas en profundidad buena relación señal/ruido y correlación de los ejes cofásicos, además se definen con más detalle en la migración presuma en profundidad, los objetivos geológicos detectados con la migración después de la suma en tiempo y la migración antes de la suma en tiempo. Se justifica la aplicación de PSDM, por presentar los objetivos geológicos a detallar grandes variaciones laterales en las velocidades.

ABSTRACT

In time in which one of the challenges of the exploration is to give answer to the necessity of enlarging our reservations of hydrocarbons, in the present investigation are approached up-to-date topics concerning to pre-stack depth migration (PSDM) of 2D seismic land under complex geological conditions, being important to reach during the processing a high resolution seismic image in order to be able to resolutely to diminish the risks in the interpretation.

The PSDM was carried on lines of interest with presence of objectives revealed in seismic sections obtained with other methodologies, standing out in this sector the necessity to apply this methodology to clarify more the spatial and depth configuration of the structures detected in previous interpretations, besides to obtain new structures not revealed before, looking to the adjustment of the drilling programs in the area.

The result of this investigation stands out that the input data (deconvolution) to migrate require as premise to be clean of noises. In the depth migrated section are observed good signal to noise ratio and good phase correlation as well, also in the pre-stack depth migration are defined with more detail geologic objectives detected with post-stack time migration and pre-stack time migration. The application of PSDM is justified by the fact that the geological objectives to be detailed present big lateral velocity variations.

INTRODUCCION

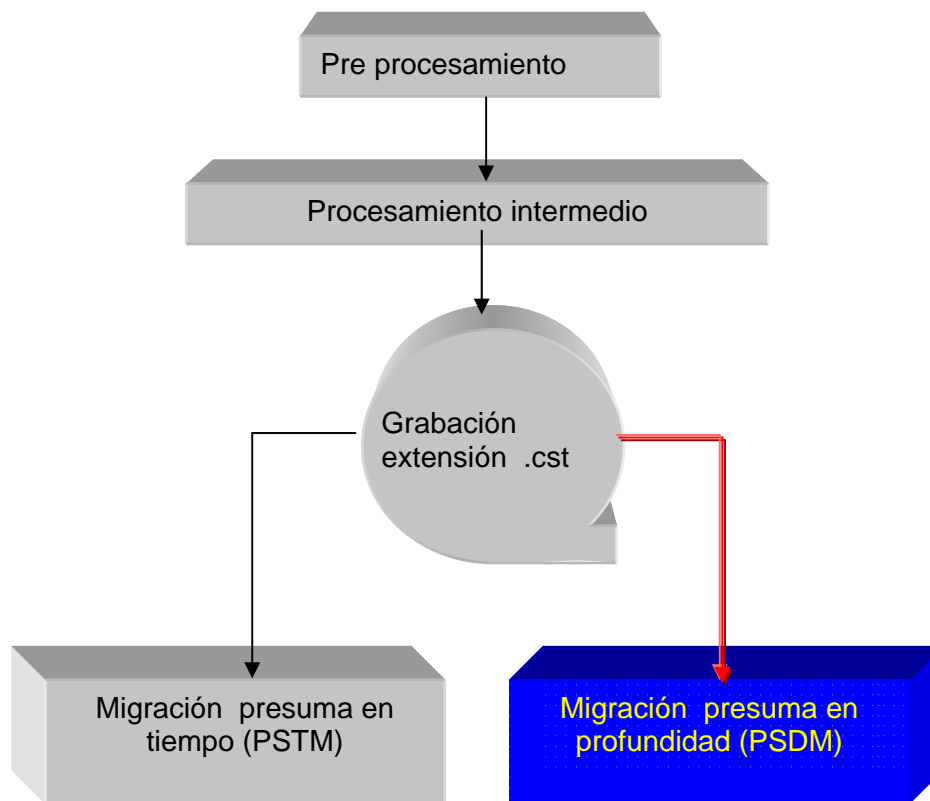
El objetivo de este trabajo es mostrar la secuencia de procesamiento PSDM aplicada en este sector y demostrar la necesidad de aplicar esta metodología para aclarar mas la configuración espacial y en profundidad de las estructuras detectadas en interpretaciones anteriores realizadas en secciones sísmicas de migración post-suma y pre-suma en tiempo Figura.1, además obtener nuevas estructuras no reveladas con vista al ajuste de los programas de perforación en el área.

En la zona existen particularidades que producen complejidad en el modelo geológico, encontrándose eventos de plegamientos y sobrecorrimientos que están a su vez afectados por la falla de transurrencia “La Trocha” que pueden crear zonas distensivas y compresivas, esta situación llevó a la actualización del modelo en cada línea sísmica para poder realizar un buen procesamiento con la metodología PSDM donde el principal dilema que presenta es de requerir de un modelo estructural-geológico que responda a un modelo de velocidades.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

La secuencia de procesamiento PSDM partió de un dato intermedio obtenido en el reprocesamiento de la PSTM, como se indica en el diagrama de bloque 1.

Diagrama de bloque 1



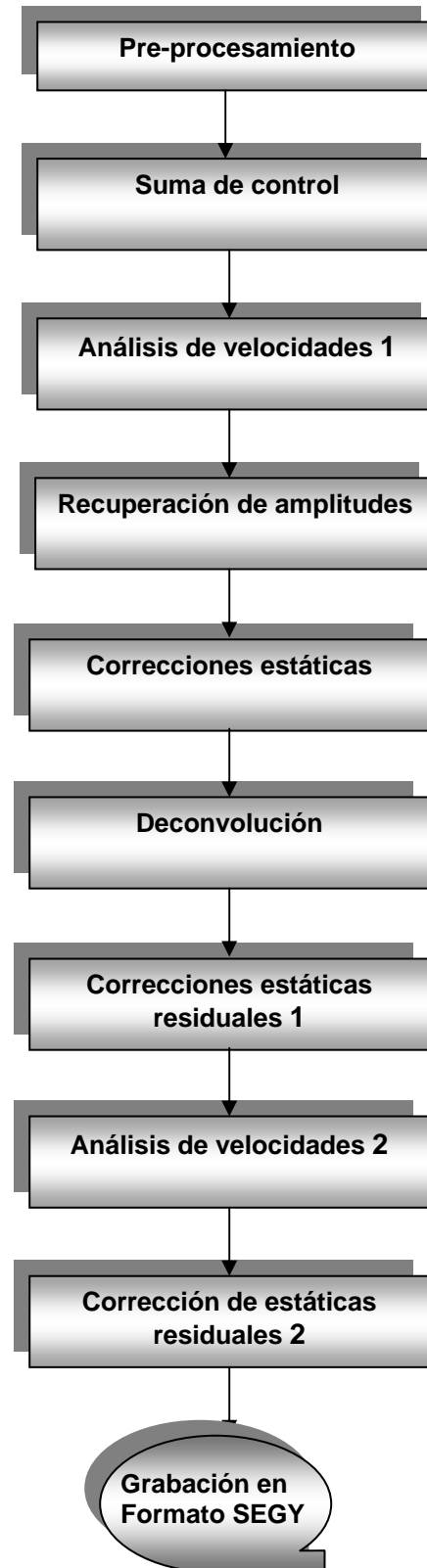
En el año 2005 con la metodología de PSTM se reprocesaron las líneas a partir del dato adquirido con las nuevas tecnologías de eliminación de ruidos

Secuencia de [Pre-Procesamiento](#):

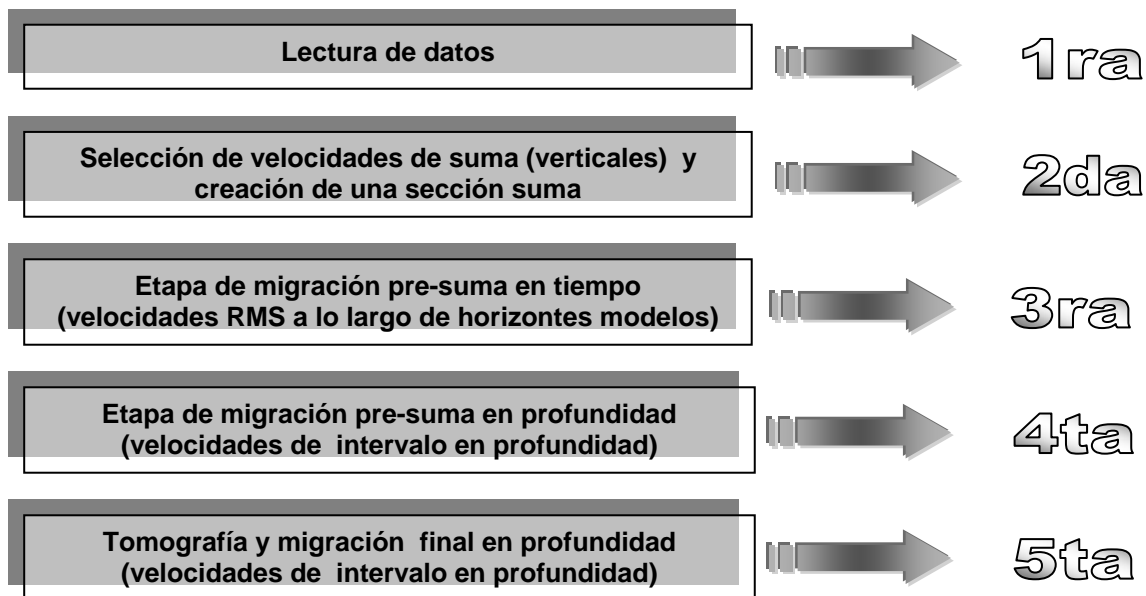


El software utilizado para la ejecución del pre stack en profundidad fue el GeoDepth, y para el pre y post procesamiento de los datos se utilizó el GeoClúster.

Secuencia de [Procesamiento Intermedio](#):



Secuencia de [Procesamiento PSDM](#)



DESARROLLO

En los diferentes pasos de la PSDM se destacan aspectos importantes a tener en cuenta como:

- El dato de entrada (deconvolución) a migrar requiere como premisa en la migración presuma estar limpios de ruidos, en este procesamiento se cumplió con tal requisito.
- El corte migrado en tiempo obtenido en el 3^{er} paso se le entrega al interpretador para la construcción del modelo geológico. Este trabajo unido del interpretador-procesador tuvo un peso importante en esta etapa con la construcción de los horizontes modelos para salvar el principal dilema que presenta esta migración de requerir un modelo geológico con iteraciones de modelo de velocidades. A partir del modelo entregado por interpretación en la sección migrada, se pasa a construir los horizontes de interpretación. Este paso se hizo bien trabajoso, por la presencia de modelos geológicos complejos en la zona que nos ocupa. Para su construcción se tuvo en cuenta en la variante (1); los atributos sísmicos de la sección migrada (de fase instantánea y amplitud instantánea) y la sección de velocidades Figura.2, además se realizó otra variante (b) en la construcción de los horizontes para valorar la influencia del modelo de interpretación en el resultado final del corte migrado en profundidad Figura.3.
- La tomografía se realizó con el objetivo de ajustar más el modelo de velocidad, y a partir del realizar la migración final en profundidad y en tiempo con la transformación de esta.

CONCLUSIONES

- Las secciones migradas presuma en profundidad presentan buena correlación de los ejes cofásicos con buena relación señal/ruido.

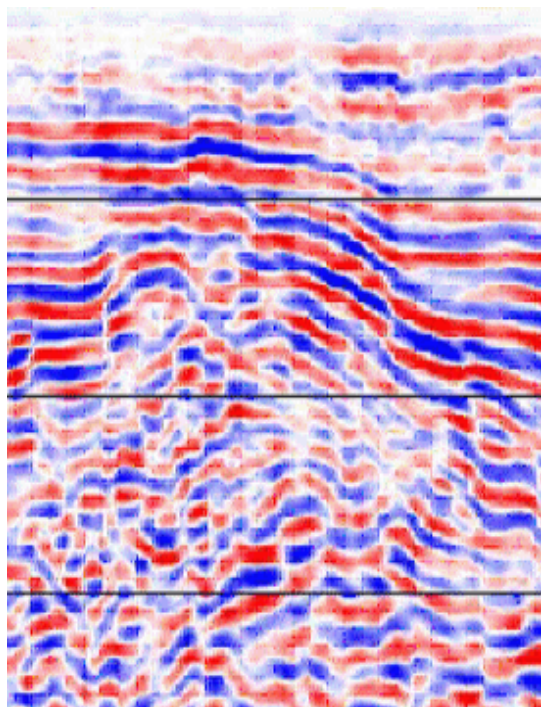
- Se definen con más detalle en la migración presuma en profundidad los objetivos geológicos detectados en la migración después de la suma y antes de la suma en tiempo.
- El trabajo unido del interpretador-procesador tuvo un peso importante en la construcción de los horizontes modelos para salvar el principal dilema que presenta esta migración de requerir un modelo geológico con iteraciones de modelo de velocidades.
- En los cortes sísmicos migrados en profundidad (variante a y b) se aprecian diferencias en el cuadro ondulatorio, ambos tienen expresividad de sus eventos reflectivos, sin embargo la variante (a) se ajusta mas al modelo geológico del área destacándose el objetivo geológico sin embargo en la variante (b) no se observa, tal afirmación esta avalada por datos de pozos.
- Se justifica la aplicación de PSDM, por presentar los objetivos geológicos a detallar con grandes variaciones laterales en las velocidades.

RECOMENDACIONES

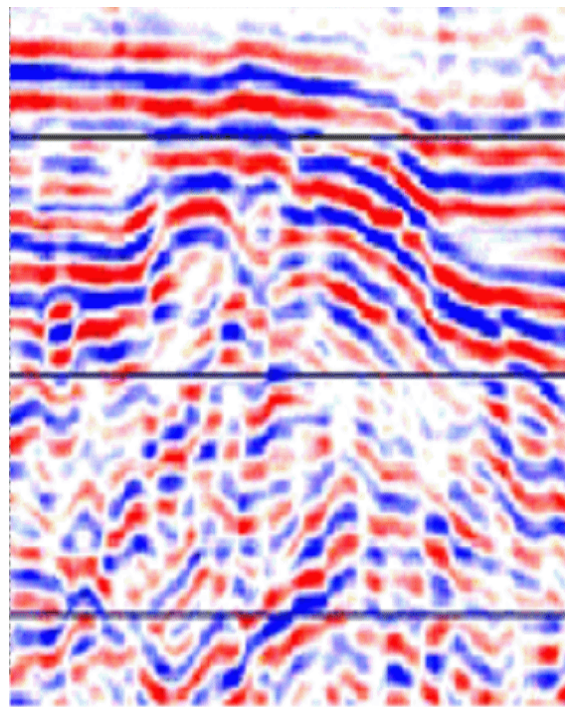
Para disminuir los riesgos en la ubicación de los pozos, la interpretación sísmica debe realizarse sobre cortes migrados con la metodología de PSDM.

BIBLIOGRAFÍA

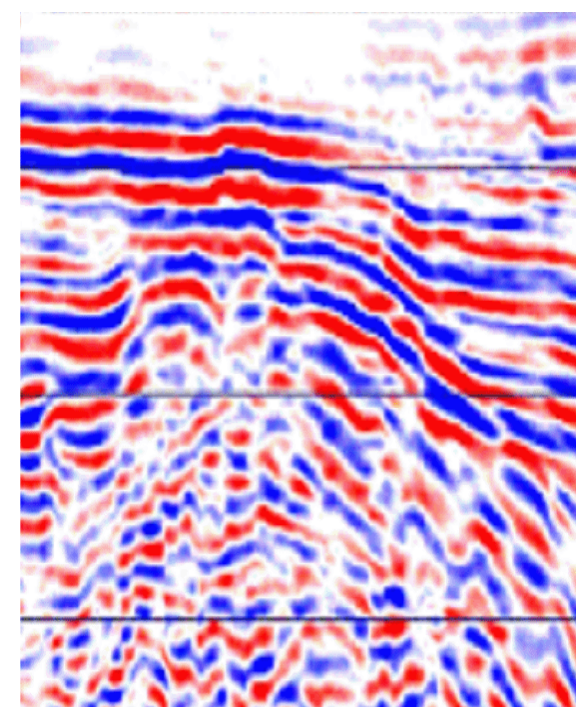
- Martínez E, Toucet S, Gómez R, et.al .2004."Informe sobre los resultados de la Adquisición 2004 en el Bloque 21". Digicupet-CEINPET. Archivo CEINPET. Cuba.
- Sterling Nancy, Proyecto 2512 etapa 2 2005. "Procesamiento con migración prestack en profundidad de las líneas sísmicas del Bloque 21 Cupet 2004".
- Sterling Nancy, Proyecto 2512 etapa 6 2005. "Resultados del reprocesamiento 2D efectuado en DIGICUPET de los datos sísmicos de la línea 21 Premier 94 del Bloque 21, con migración presuma en profundidad".
- Oz Yilmaz. Seismic data analysis. Volumen 1 y 2. 1987
- GeoDepth Power2D Training Manual



(a) Migración después de la suma en tiempo

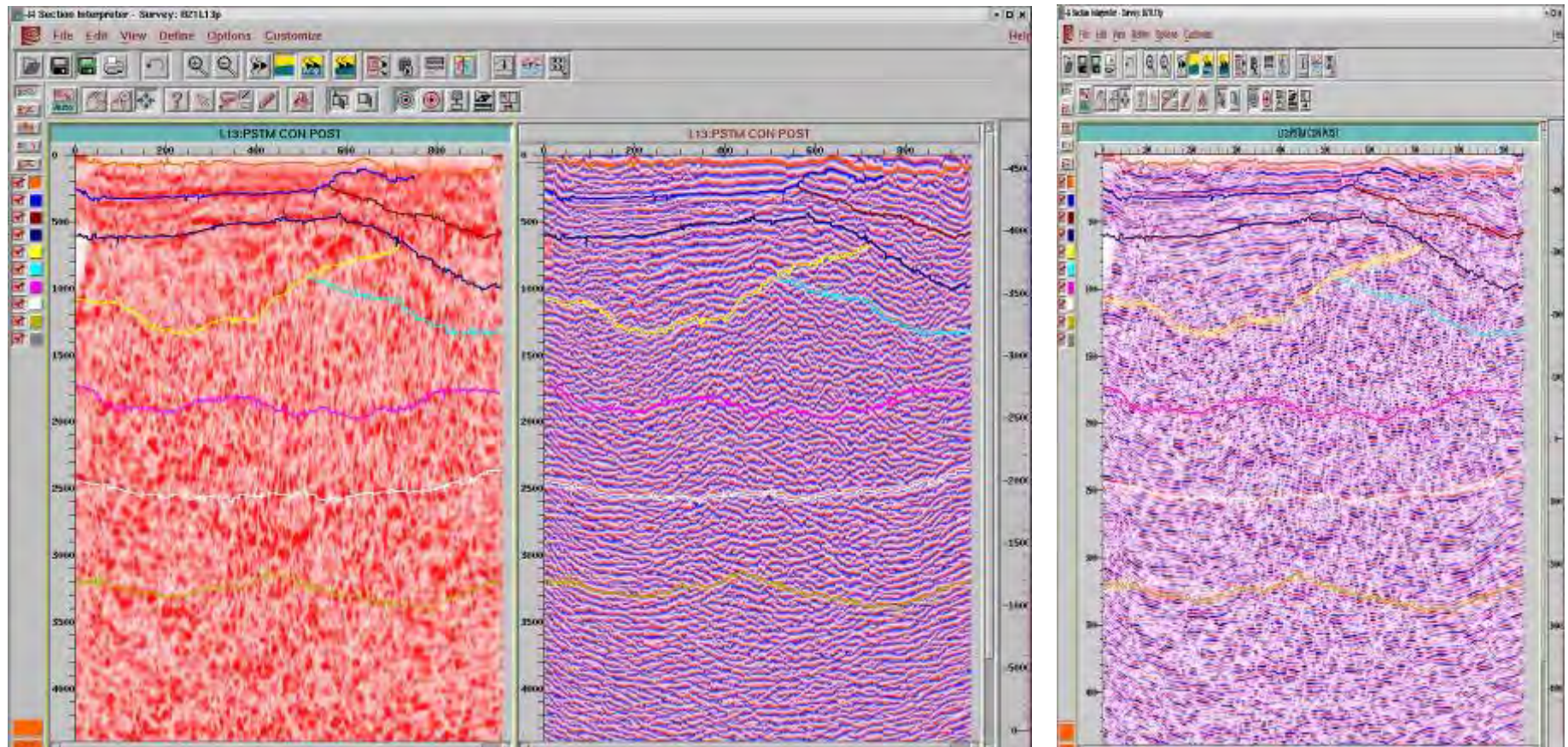


(b) Migración antes de la suma en tiempo



(b) Migración antes de la suma en profundidad

Fig.1 (a), (b) y (c) muestran una vista ampliada de un sector perteneciente a un objetivo geológico de interés, se puede comparar el resultado de aplicar en la misma línea las tres metodología de procesamiento. En la migración antes de la suma en profundidad se manifiesta mayor detalle en la respuesta de los reflectores dentro del objetivo geológico como se puede apreciar.



(a) Atributo sísmico amplitud instantánea

(b) Atributo sísmico fase instantánea

(c) Migración antes de la suma en profundidad

Fig.2 Para la confección de los horizontes de interpretación sobre la sección migrada en tiempo, se toman en consideración los atributos sísmicos, el modelo geológico dado por interpretación y la sección de velocidades.

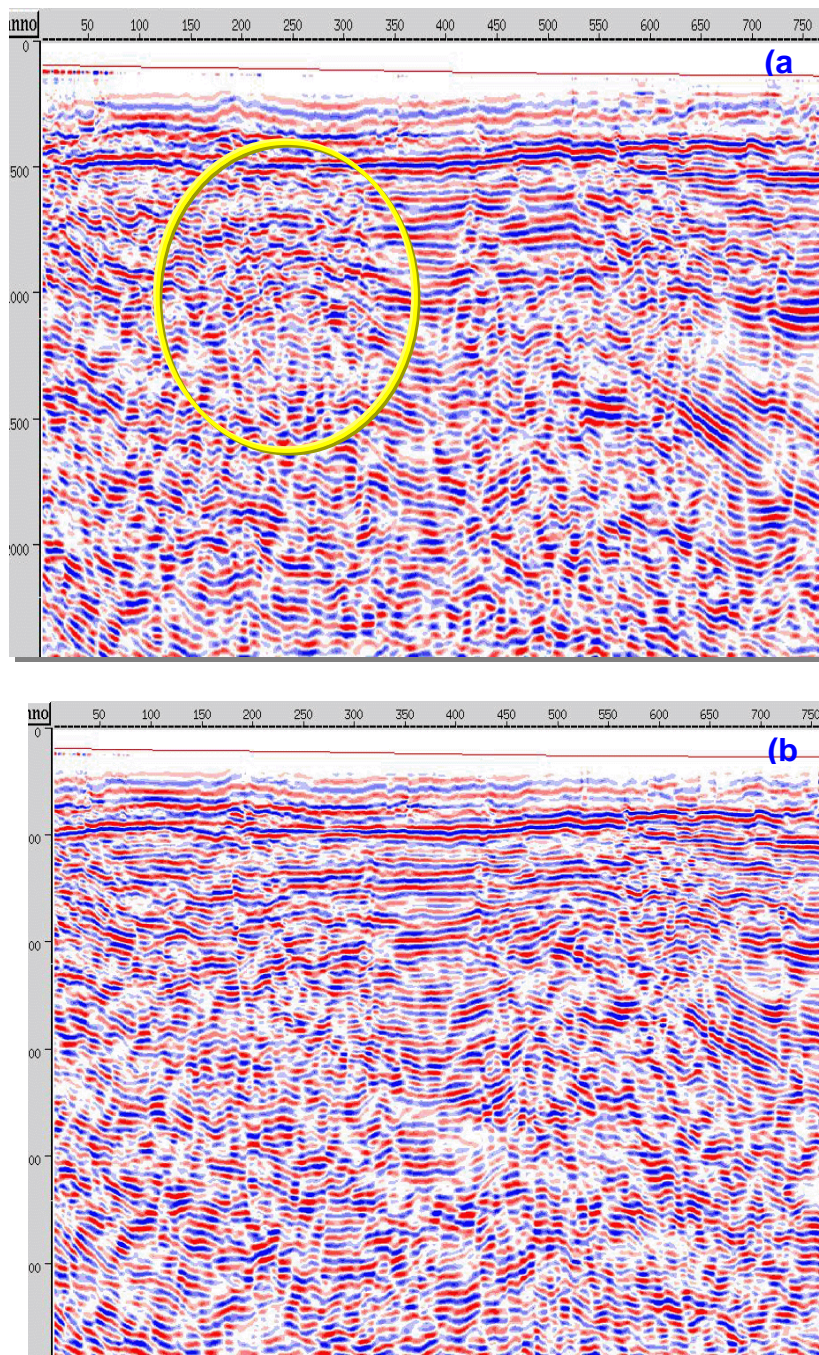


Fig.3 En los cortes sísmicos migrados en profundidad (variante a y b) se aprecia diferencias en el cuadro ondulatorio, ambos tienen expresividad de sus eventos reflectivos, sin embargo la variante (a) se ajusta más al modelo geológico del área.

INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS DE POZOS Y DE VELOCIDAD DE INTERVALO SÍSMICA CON FINES DE PROSPECCIÓN PETROLERA

Autores: Jorge Genaro Ruiz Ibarra¹ Javier Díaz Guio² Guillermo Miro Pages³

¹) Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Calle 124 s/n, Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: jorge@civil.cujae.edu.cu.

²) Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Calle 124 s/n, Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba.

³) Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Calle 124 s/n, Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: gmiro@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN:

En este trabajo se muestra el empleo de una técnica para el procesamiento de la información de los perfiles sísmicos y datos de pozos, ya empleada en Cortes Carbonatados de Margen Continental en Cuba, con el objetivo de construir e interpretar los cortes de velocidad de intervalo y los gráficos de compactación de los mismos para definir sus características geológico estructurales en una Cuenca Terrígena Sedimentaria yaciendo sobre un Basamento Volcánico en Colombia. Los resultados obtenidos han permitido confirmar y ampliar la aplicación de esta técnica para este tipo de corte geológico.

ABSTRACT.

In this work one is to the use of a technique for the information processing of the seismic profiles and well data, already used in Carbonated of Continental Margin in Cuba, with the objective to construct and to interpret the cuts of speed of interval and the graphs of compaction of such defining its structural characteristics in a River basin lying on a Volcanic Plinth in Colombia. The obtained results have allowed to confirm and to extend the application of this technique for this type of geologic cut.

INTRODUCCIÓN:

La técnica empleada consiste en la construcción e interpretación de los cortes de velocidad de intervalo en forma de mapas de isolineas (aportadas del procesamiento de los corte en tiempo) y de los gráficos de compactación (relación entre el logaritmo de la velocidad de intervalo y la profundidad) en cada uno de los puntos de reflexión común CDP de los perfil sísmico.

Esta técnica ha sido aplicada en cuencas vulcanógeno sedimentarias sobre sedimentos carbonatados de margen continental y en sedimentos carbonatados de margen continental en Cuba (1), (2) y (3). En ambos casos ha permitido correlacionar los datos de pozos con la interpretación del corte en tiempo sísmico, caracterizar el corte geológico y estructural, en particular: determinar los contactos verticales que pueden ser indicados como zonas de fallas, definir los contactos horizontales que se correlacionan con la presencia de distintas secuencias o capas de rocas y permite dar criterios de la distribución de la velocidad de intervalo con la profundidad (gráficos de compactación) y con ello de la posible litología presente en el perfil, Por otra parte con los datos de velocidad y la relación de esta con los datos de las propiedades colectoras de las rocas de información de pozo, ha sido posible la construcción de cortes en profundidad de las propiedades de las rocas tales como porosidad y densidad,.

En este trabajo se aplican estas técnica en una cuenca sedimentaria en Colombia (4), en la que desde el punto de vista litológico y tectónico no es de elevada complejidad y esta compuesta en lo esencial de cuatro secuencias terrígenas yaciendo sobre el basamento cristalino sin grandes buzamientos ni desplazamientos tectónicos, nombradas Formaciones Tubara, Porquero Superior,

Medio e Inferior. Estas secuencias han sido detectadas en los dos pozos perforados en el área de estudio.

Con la aplicación de estas técnicas, ha sido posible extrapolar la presencia de las diferentes secuencias estratigráficas cortadas por los pozos a los perfiles sísmicos e identificarlas en el área de estudio y detectar la presencia de fallas y diferentes características estructurales en los perfiles.

DESARROLLO:

La construcción y la interpretación de los gráficos de velocidad y los cortes de velocidad en el área estudiada han permitido:

1.- Definición de las diferentes secuencias estratigráficas en los perfiles y en el área de estudio.

3. Definición de las fallas y la distribución de las distintas secuencias a ambos lados de las mismas.

Definición de las secuencias estratigráficas. Uno de los aspectos esenciales de la interpretación de los perfiles sísmicos lo constituye el asociar a una frontera sísmica definida una litología determinada. El procedimiento empleado para ello, en este trabajo, consiste en el análisis de las curvas de compactación calculadas para cada punto del perfil sísmico mediante los datos de las velocidades de intervalo y el asociar a cada uno de los eventos de compactación definido en estas curvas a la litología en cuestión, confirmada o no por la información de pozo.

Para la construcción de las curvas de compactación mediante los datos de la velocidad de intervalo para todos los perfiles se efectuó el ploteo de esta propiedad con la profundidad en escala log - normal. El tipo de escala de las graficas es debido a que la relación de compresión entre la porosidad y la profundidad es una función exponencial y que la relación entre la velocidad con la porosidad es lineal.

Este estudio se efectúa para todos los perfiles. Cada evento de compresión o secuencias de rocas con iguales coeficientes de compactación, en el grafico, se manifiesta como una línea recta, lo que permite diferenciarlo en la profundidad.

Al realizar el análisis del conjunto de las curvas de compactación obtenidas en el área de los cortes sísmicos, se pudo separar dos grupos con características diferentes, lo que infiere dos regimenes de sedimentación.

El primer grupo Figura 1 el conjunto de las curvas de compactación define cinco eventos con la profundidad.

- El primero asociado a la Formación Tubara, con pequeña pendiente y donde la velocidad crece con la profundidad, manifestándose hasta aproximadamente los 1000m.
- El segundo evento con pendiente mayor que el anterior, que se asocia con terrígenos de la Formación Porquero Superior y que llega hasta profundidades próximas a los 2000 metros.
- El tercero con pendiente elevada donde crece poco la velocidad con la profundidad, que llega hasta profundidades próximas a los 4000 m, y se asocia a las Formaciones Porquero Medio,
- El cuarto evento con pequeñas pendientes, donde la velocidad aumenta vertiginosamente con la profundidad y que se manifiesta hasta la profundidad de 4500m y que se asocia con la Formación Porquero Inferior.
- El quinto evento con pequeñas pendientes que se manifiesta hasta grandes profundidades y que se asocia a la presencia del basamento en el sector.

El segundo grupo Figura 2, el conjunto de las curvas de compactación definen cuatro eventos con la profundidad.

- El primero con pendiente suave que incrementa la velocidad hasta los ≈ 3200 m/seg. en un intervalo de profundidad que llega hasta los 1500m y que se asocia con la formación Tubara.

- El segundo evento en el que la velocidad permanece constante con un valor aproximado de 3300m/seg., con una profundidad que llega hasta los 3800m y se asocia con la formación Porquero Medio y que es semejante al tercer evento del primer grupo.
- El tercer evento con una pendiente pequeña lo que se demuestra con un aumento en la velocidad desde ≈ 3300 -4500m/seg, con una profundidad que llegan hasta los 5000m. Que se asocia a la formación Porquero Inferior y que es semejante al cuarto evento del primer grupo.
- El cuarto evento, semejante al quinto del primer grupo se asocia a la presencia del basamento.

Las diferencias que existe entre un grupo de curvas y el otro en lo fundamental es que en el segundo no se manifiesta la formación Porquero Superior, mientras que en el primer grupo se encuentran todas las formaciones. Por otra parte la distribución de las diferentes curvas de compactación define en el corte de velocidad las distintas secuencias que conforman el perfil, como se muestra en la Figura 3.

Las formas de las curvas de compactación de estos dos grupos caracterizan a las de todos los perfiles, y separan en dos zonas al área de estudio Figura 4. En la primera zona, ubicada en el noreste del área de estudio, las curvas de compactación son semejantes a las del primer grupo mientras que los perfiles que se encuentran en la zona suroeste del área de estudio, las curvas de compactación son semejantes a las del grupo dos, lo que indica que la Formación Porquero Superior esta ausente o posee espesor muy pequeño.

Definición de fallas. Como un criterio adicional de verificación analizamos el comportamiento de las velocidades de procesamiento sísmico a lo largo de las líneas partiendo del supuesto de que de existir efectivamente las fallas, ellas deben constituir “fronteras de cambio” del comportamiento de las curvas de velocidades en profundidad obtenidas a ambos lados de las mismas.

Los resultados de este análisis se expresan a continuación en los ejemplos de las Figuras 5, 6, 7 y 8 en las que se comparan las curvas de velocidades a ambos lados de las fallas y sobre los sitios de emplazamiento de estas

Para facilitar el análisis se distinguió con colores las curvas velocidad profundidad para los distintos CDP en superficie, de la siguiente manera:

Linea	Curvas de velocidad de intervalo de los CDP a la izquierda de la falla	-----
	Curvas de velocidad de intervalo de los CDP sobre la falla	-----
	Curvas de velocidad de intervalo de los CDP a la derecha de la falla	-----

En cada una de los ejemplos el comportamiento en la parte superior de los gráficos de velocidad muestran homogeneidad hasta una profundidad de unos 500 m lo cual parece indicar a esta profundidad como coincidente con el tope superior de la falla debajo de la primera Formación Tubara. La diferencia en los valores de velocidad debajo de este punto se explica por las distintas profundidades de esta formación a ambos lados de la falla.

A partir de esta profundidad, como puede verse, se nota una evidente separación en las tendencias de las curvas de velocidades obtenidas a ambos lados de la falla con la profundidad, lo que indudablemente parece corroborar la existencia objetiva de esta y por otra parte, las diferencias entre

las velocidades de las curvas a ambos lados de la misma es indicativo de la posición espacial de las diferentes secuencias en los dos lados de la falla.

Por otra parte llama la atención en esta y en las restantes líneas analizadas que las velocidades de procesamiento toman valores generalmente mayores a la derecha de la falla lo cual tal vez pudiera ser explicado entre otros factores por el hecho que precisamente en este flanco según se aprecia en las líneas sísmicas los buzamientos de las fronteras se hacen mas abruptos y como es conocido los valores de estas velocidades son proporcionales a los buzamientos de las fronteras que dan lugar a los hodógrafos a partir de los cuales ellas son calculadas.

CONCLUSIONES

La técnica empleada a partir del análisis de los gráficos como de los cortes de velocidad de intervalo posibilita la definición de las características estratigráficas en los perfiles sísmicos y la extrapolación de los datos de pozos a los mismos.

La confirmación y el análisis de las fallas mediante el estudio del comportamiento de las curvas de compactación a ambos lados de la misma permiten definir las características geométricas de las secuencias en esas posiciones.

Lo presentado en el trabajo plantea que hasta ahora el análisis realizado es factible en cuencas sedimentarias de tectónica no compleja.

BIBLIOGRAFÍA

- G. Miro y J. Ruiz. Algunas características de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas. Presentado en el II Congreso Cubano de Geofísica 2002 "Ciudad Habana" y en la Jornada Científica de la Filial Ciudad Habana de la Sociedad Cubana de Geología, octubre 2001.
- J. Ruiz, G. Miro y M. Rodríguez. Evaluación de las propiedades colectoras de los prospectos petroleros ubicados en el sector sur oriental de Cuba. Presentado en el IV Congreso de Geología y Minería. "Ciudad Habana
- J. Ruiz, G. Miro y M. Rodríguez. Técnicas para el análisis conjunto de los datos sísmicos y geofísicos de pozos para evaluar las propiedades colectoras de las áreas perspectivas petroleras. Presentado en el II Congreso Cubano de Geofísica 2002 y en la Jornada Científica de la Filial "Ciudad Habana" de la Sociedad Cubana de Geología, octubre 2001.
- J. Díaz. Interpretación combinada de los datos sísmicos y geofísicos de pozos en las áreas correspondiente al Valle Inferior del Rio Magdalena. Tesis de Maestría. ISPJAE. Cuba. Agosto. 2005

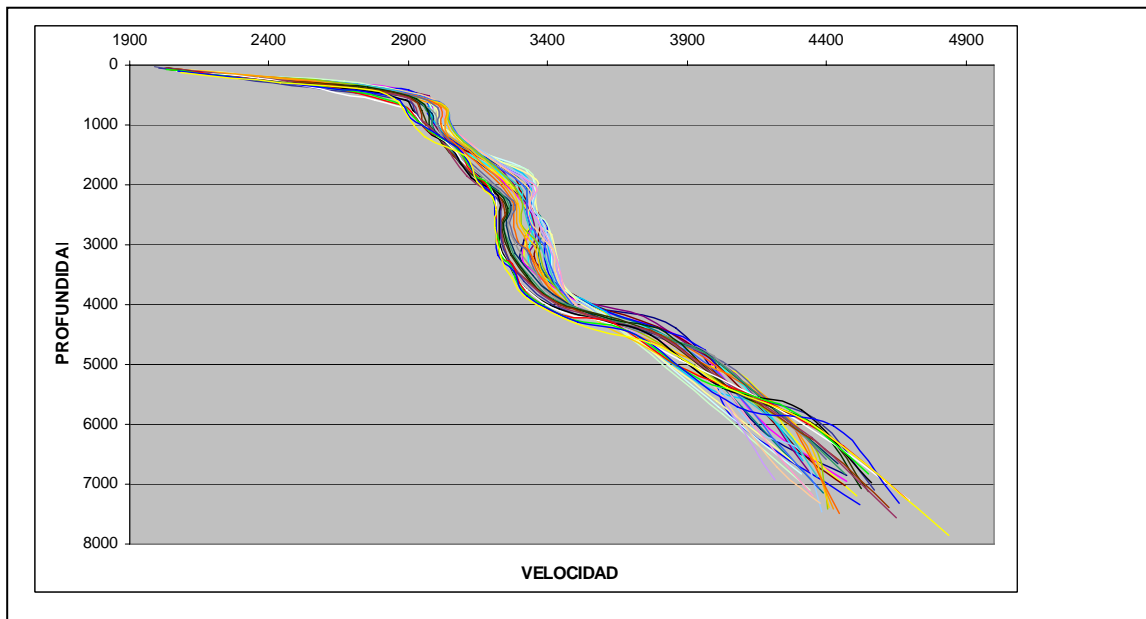


Fig. 1 Conjunto de las curvas de compactación que caracterizan al primer grupo.

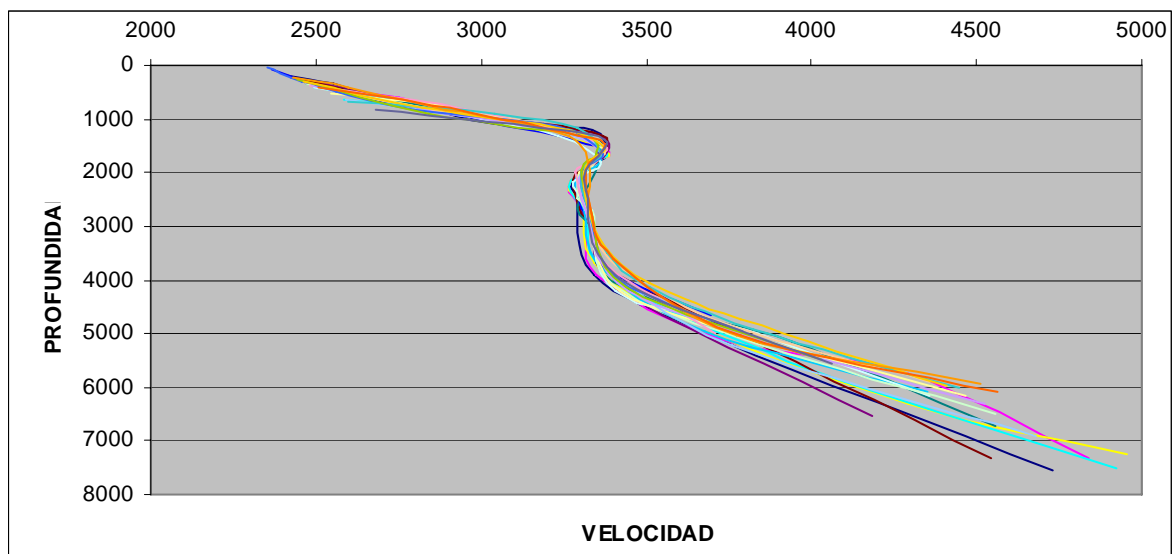


Fig. 2 Conjunto de las curvas de compactación que caracterizan al segundo grupo.

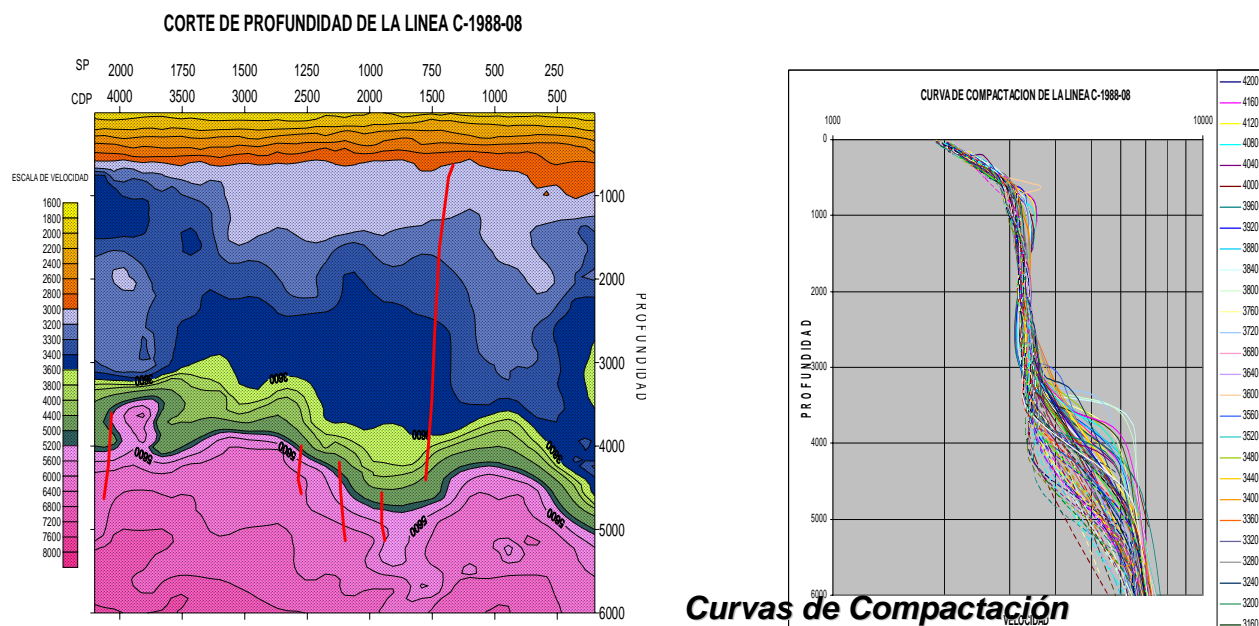


Figura 3. Ejemplo de Corte de Velocidad de Intervalo e interpretación conjunta con los gráficos de compactación

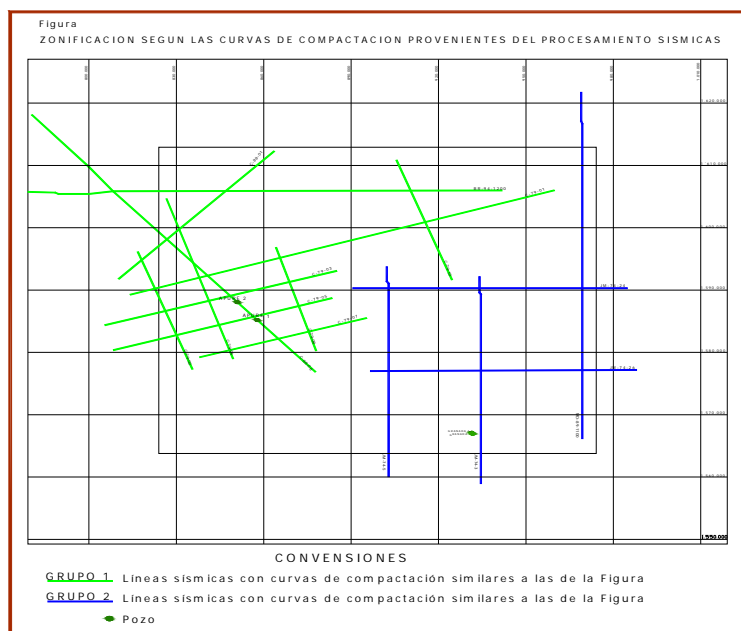


Figura 4.- Ubicación de los perfiles sísmicos con características similares en las curvas de compactación.

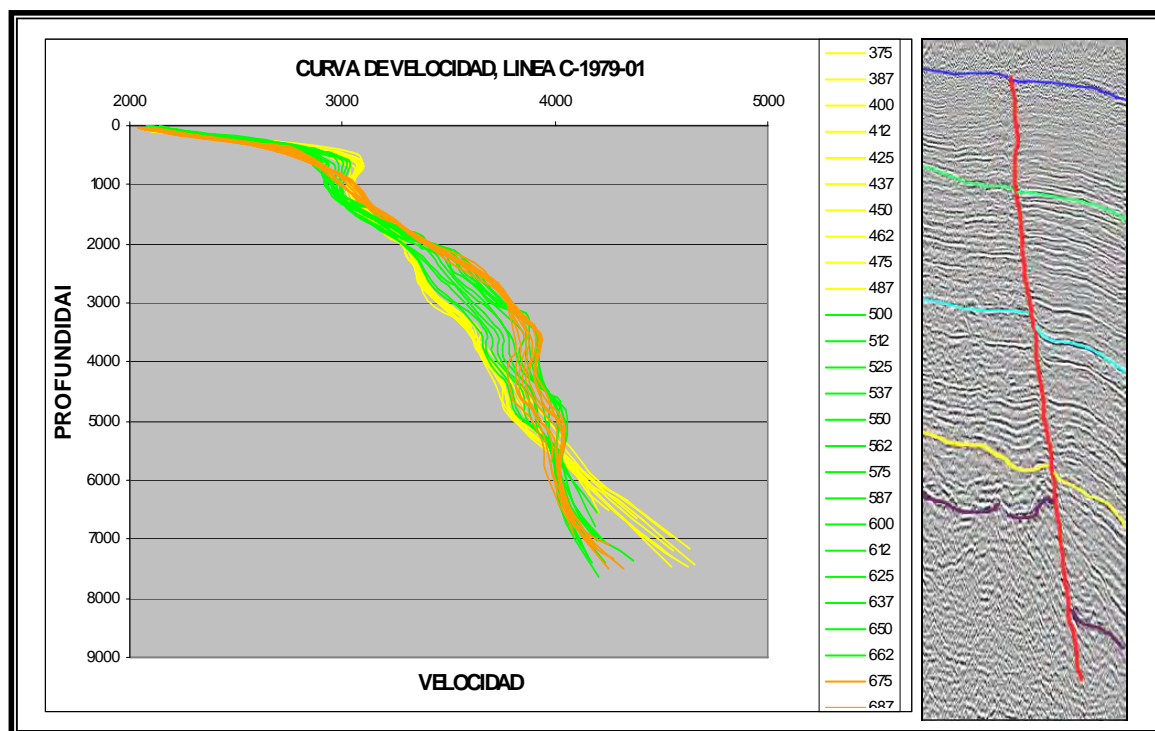


Figura 5.- Ejemplo de interpretación de una falla con las curvas de compactación.

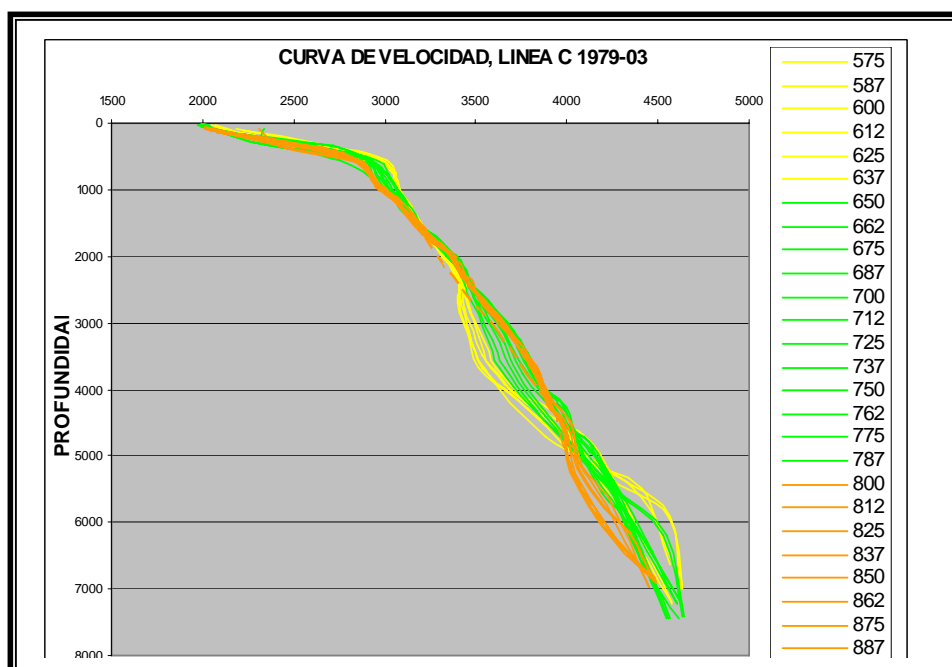


Figura 6.- Ejemplo de definición de la profundidad del basamento

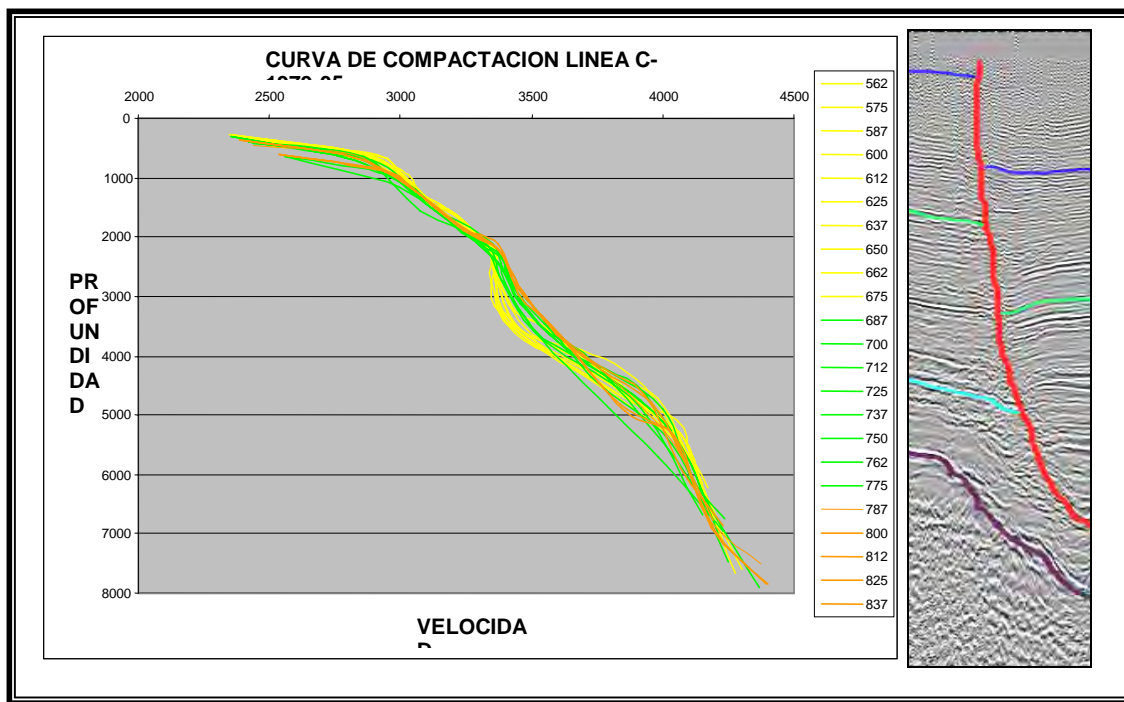


Figura 7.- Ejemplo de definición de falla y profundidad del basamento

PROPAGACIÓN DE ONDAS DE UN GEORADAR EN MEDIOS ISÓTROPOS Y ANISÓTROPOS

Pilar Gentil Govantes, Francisco J. Nieves Pavón y Francisco Gascón Latasa

Departamento de Física Aplicada II, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla, Avda. Reina Mercedes nº 2; 41012, Sevilla, España, E-mail: pgentil@us.es; nieves@us.es; fgascon@us.es

RESUMEN

Hemos realizado una serie de trabajos preliminares a la aplicación del georadar como "nueva técnica de análisis en la rehabilitación de edificios", investigación que venimos desarrollando en el Departamento. Se estudia el comportamiento de las ondas electromagnéticas en medios isótropos y anisótropos. Las ondas de frecuencia 1600 MHz son producidas y recibidas por un georadar comercial. Las tareas propuestas son: 1ª) Calibración del equipo como distanciómetro. 2ª) Detección de un reflector puntual en el aire. Desarrollo de un método académico. 3ª) Transmisión a través de un medio homogéneo e isótropo, mortero de cemento 4ª) Transmisión a través del mismo medio con anisotropía inducida por compresión uniaxial. Las conclusiones preliminares obtenidas son: 1ª) Con la antena utilizada existe una zona de incertidumbre en el aire en los primeros 20 cm atravesados, en los que no se puede precisar el instante de arribo de la onda reflejada. 2ª) Con el georadar utilizado, el método académico desarrollado nos permite detectar un reflector en el aire, determinando su posición respecto a un sistema de referencia, con un error inferior al 2%. Dicho método puede ser utilizado para determinar la velocidad de propagación de las ondas en el medio isótropo en que se encontrara inmerso el reflector detectado, con un error inferior al 1%. 3ª) La velocidad de propagación de las ondas del georadar en el mortero de cemento (de dosificación y características similares al usado en obras de rehabilitación) es de 14 cm/ns y la detección de la anisotropía inducida es muy difícil.

ABSTRACT

We have made several preliminary works to the application of georadar as a "new analysis technique for buildings rehabilitation", investigation that we are developing in the Department. The behavior of the electromagnetic waves in isotropic and anisotropic media are studied. The waves of 1600 MHz are produced and received by a commercial georadar. The tasks proposed are: 1st) Calibration of the equipment as distance meter. 2nd) Detection of a punctual reflector in air. Development of an academic method. 3rd) Transmission through homogenous isotropic cement mortar. 4th) Transmission through this material with anisotropy induced by uniaxial compression. The preliminary conclusions obtained are: 1st) A 20-cm zone of uncertainty closed to the used antenna exists in the air, in which the arrival instant of the reflected wave cannot be precisely determined. 2nd) With the used georadar, the developed academic method allows to detect a reflector in the air, by determining its position with respect to a reference system, with an error lower than 2 %. This method can be used to determine the wave propagation velocity in isotropic medium which surrounds the detected reflector,

with an error less than 1 %. 3rd) the wave propagation velocity of georadar in the cement mortar (of dosing and characteristics similar to the used in rehabilitation works) is of 14 cm/ns and the detection of the induced anisotropy is very difficult.

I.- INTRODUCCIÓN

El georadar, o radar de penetración en el subsuelo, es un dispositivo que emite pulsos de ondas electromagnéticas que, dispersadas por el medio en que se propagan, son recibidas y analizadas por el propio dispositivo. El medio en que se propagan habitualmente estas ondas es el suelo, de ahí su nombre. La frecuencia de las ondas es relativamente pequeña respecto de otros radares con objeto de que la absorción sea pequeña (Ref. Daniels). El georadar utilizado en este estudio es de frecuencia 1600 MHz y de marca Ingegneria dei Sistemi, S. P. A (IDS), modelo DAD-CH1.

El medio en que se propagan las ondas suele ser de propiedades físicas desconocidas, por ejemplo es usual no conocer la velocidad de propagación de las ondas. Tampoco es conocida la profundidad a la que se encuentra el objeto que se quiere detectar ni su forma. A estas dificultades se añade la presencia de múltiples objetos, heterogeneidades y anisotropías. Por ello, la interpretación de un radargrama es muy difícil.

Se precisa pues una simplificación del medio por el que se van a propagar las ondas electromagnéticas. Así en este trabajo que pretende ser cuantitativo o al menos semicuantitativo se estudian solamente dos modelos, uno homogéneo e isótropo y otro homogéneo y anisótropo con anisotropía simple. El modelo isótropo a su vez se divide en dos uno el vacío (aire) y otro mortero de cemento. El modelo anisótropo a su vez se divide también en dos uno con anisotropía natural del tipo transversalmente isótropa y otro con anisotropía del tipo transversalmente isótropa inducida al someterlo a esfuerzos.

Las aplicaciones de este estudio son entre otras del campo de la Geofísica, en la que con frecuencia aparecen materiales anisótropos, y de la construcción, que son anisótropos simplemente por las tensiones a que están sometidos.

La primera parte del trabajo realizado y que constituye el contenido de esta ponencia va dirigida a calibrar el georadar del que disponemos, al objeto de adquirir un mayor rigor en la interpretación de los radargramas obtenidos en su aplicación como técnica de análisis en la rehabilitación de edificios, objetivo final de la investigación desarrollada.

II.- CALIBRACIÓN COMO DISTANCIÓMETRO

El objetivo de esta serie de ensayos es la calibración del equipo. Se pretenden obtener los siguientes

parámetros:

- **Cero de la antena.** Se trata de determinar el origen de la escala de tiempos de los radargramas para que el tiempo doble de propagación entre este punto origen y el punto de arribo de una señal reflejada sea tal que proporcione el mínimo error posible al convertir este intervalo de tiempos en distancias.
- **Distancia mínima de no interferencia entre la antena y la superficie del medio.** Se pretende obtener la distancia mínima que hay que mantener entre la antena y la superficie del medio reflector para que no se produzca acoplamiento entre la señal interna de la antena y la reflexión en la superficie de este medio. La aplicación práctica de este ensayo es poder estimar antes de efectuar la adquisición de datos, la zona del medio que quedará indeterminada a causa del acoplamiento de las primeras señales.

Descripción del ensayo

El dispositivo experimental consiste en un reflector metálico (chapa de acero), situado frente a la antena, paralelo a su superficie emisora. Las dimensiones de este elemento son tales que permiten que la huella de la antena quede comprendida enteramente en la superficie metálica. Utilizando conclusiones de otros autores se ha tomado una placa metálica de superficie superior a 60 cm x 60 cm que garantiza lo anterior, para la distancia máxima utilizada de 100 cm.

Procedimiento seguido

La adquisición de datos se realiza desplazando la antena lentamente en dirección perpendicular a la placa metálica, acercándola desde una distancia $x=120$ cm. El rango utilizado es de 10 ns como tiempo máximo desde la salida del pulso de microondas hasta su recepción. El registro se ha realizado de dos formas.

- Mediante un ensayo dinámico acercando la antena a la superficie reflectora desde una distancia de 120 cm, introduciendo marcas de distancias cada 20 cm. Se utiliza un odómetro acoplado a la placa, para situar en cada momento la antena respecto a la superficie reflectora (Fig.1).
- Como un ensayo estático realizando la adquisición de datos por etapas cada 20 cm (Fig. 2).

Incluimos en las figuras 1 y 2 dos de los radargramas obtenidos en los ensayos respectivos realizados.

Para las distancias consideradas, los tiempos dobles de propagación que se esperan para la reflexión en la placa son de 1,33 ns para 20 cm de separación, de 2,67 ns para 40 cm y de 4 ns para 60 cm de

separación. Si sobre un registro dinámico (Fig.1) se superpone la recta que definen estos tres pares de puntos se puede apreciar que la recta de tiempos de llegada esperados coincide con la señal registrada a partir casi de los 20 cm de distancia entre la placa y la antenna.

Destacamos en el registro dinámico tres factores:

- El origen de tiempos se sitúa en el origen de la perturbación interna de la antenna que en la fig.1 coincide con el inicio del registro (eje $t = 0$). Esta correspondencia se cumple para esta antenna particularmente debido a sus características de conmutación. Este resultado se confirma en los ensayos estáticos.
- A partir de una separación entre la antenna y la placa de 40 cm la marca de la primera reflexión es menos nítida y aparecen efectos anómalos en el registro, más importantes cuanto mayor es la proximidad entre antenna y reflector, atribuibles a efectos de campo próximo.
- Para distancias inferiores a 20 cm es difícil determinar con exactitud el punto de arribo de la reflexión, aunque se observa continuidad en la traza del registro conforme nos acercamos a la placa.

Para comprobar estos resultados se trabaja con los registros obtenidos a diferentes distancias de la placa metálica. Uno de estos registros es el mostrado en la fig.2. Se trata de un registro con un rango de 10 ns.

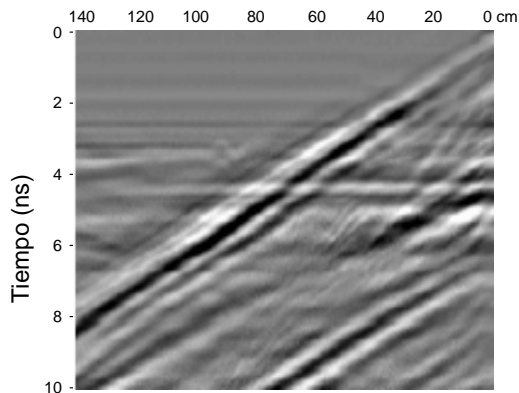


Fig.1. Ensayo dinámico

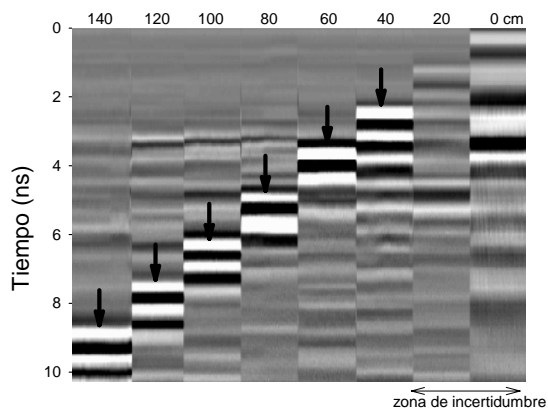


Fig.2. Ensayo estático

A partir de este ensayo se concluye que si se quiere analizar un medio con esta antenna, identificando

claramente la reflexión que se produzca en su superficie, hay que mantener la antena separada de dicha superficie como mínimo 20 cm. Se trata de una zona de incertidumbre en la que se puede detectar la presencia de elementos anómalos porque se produce un acoplamiento de señales que deforma la onda inicial conocida, pero donde no se puede determinar con exactitud la separación entre la antena y la superficie reflectora, salvo que dispongamos del ensayo dinámico como es nuestro caso.

III.- DETECCIÓN DE UN OBJETO PUNTUAL EN EL AIRE

Utilizando la propiedad de las ondas electromagnéticas de reflejarse cuando encuentran un objeto metálico, desarrollamos un método académico que nos permite detectar (situarlo en profundidad y posición), un objeto casi puntual metálico inmerso en un medio isótropo de velocidad de transmisión desconocida.

Los ensayos de aplicación del método se han realizado en el aire (medio cuya velocidad de transmisión es bien conocida), sirviéndonos estos además para completar la calibración de la antena de 1600 MHz utilizada.

a) Supóngase que el obstáculo está bajo el epicentro E y a la profundidad p conocidos. Se sitúan los ejes OXY en la superficie, el OZ vertical descendente y el origen O en E .

La antena A se sitúa en un punto (x,y) del terreno y el tiempo empleado por el pulso en recorrer la distancia d desde el reflector R hasta la antena A es t :

$$v^2 t^2 = d^2 = x^2 + y^2 + p^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{t^2}{p^2/v^2} - \frac{x^2}{p^2} - \frac{y^2}{p^2} = 1 \quad (1)$$

Que corresponde a un hiperboloide de revolución en el espacio plano horizontal-tiempo. El tiempo (mínimo) si A está en el vértice es p/v .

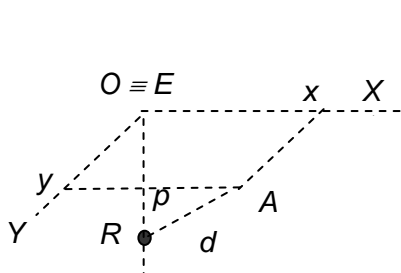


Fig.3. Sistema de referencia y situación del objeto R

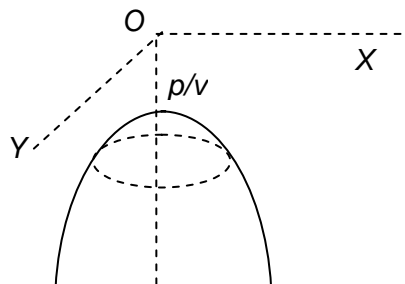


Fig.4. Hiperboloide de revolución

b) Se ignora la posición y la profundidad, pero se conoce la velocidad de propagación de la onda.

1º Un recorrido l' desde el inicio l no pasa en general sobre el obstáculo. Se dibuja OX paralelo al recorrido a una distancia h desconocida del epicentro. Con $y=h$, se obtiene la hipérbola C de ecuación

$$\frac{t^2}{(p^2 + h^2)/v^2} - \frac{x^2}{p^2 + h^2} = 1 \quad (2)$$

representada en la Fig. 5, donde d' se mide con la rueda métrica desde l al vértice de la hipérbola. La hipérbola C es la que aparece en un recorrido ordinario.

En este primer recorrido l' se marca el vértice O' de la hipérbola C . Se efectúa el segundo recorrido $l''l'''$ sobre la perpendicular que pasa por O' . Así se localiza el epicentro E . Este método puede ser óptimo si la emisión es principalmente en la dirección del recorrido. Si es así, en el segundo recorrido la ecuación de la hipérbola puede determinar h y p .

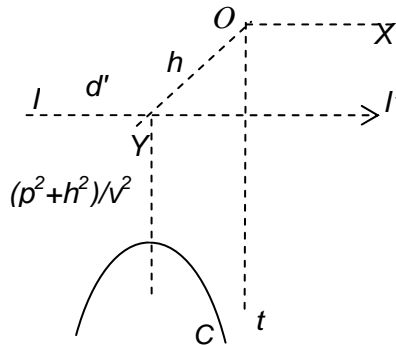


Fig.5. Hipérbola C para el recorrido l'

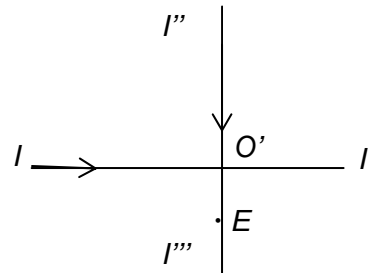


Fig.6. Segundo recorrido $l''l'''$

2º Se efectúan dos recorridos paralelos separados en Δ conocida. Se traza el eje OX paralelo a los recorridos a distancias h (desconocida) del primero y $h+\Delta$ del segundo. Por tanto:

$$\frac{t^2}{(p^2 + h^2)/v^2} - \frac{x^2}{p^2 + h^2} = 1 \quad (3)$$

$$\frac{t^2}{(p^2 + (h + D)^2)/v^2} - \frac{x^2}{p^2 + (h + D)^2} = 1 \quad (4)$$

Los denominadores $t_1^2 \circ (p^2 + h^2)/v^2$ y $t_2^2 \circ (p^2 + (h + D)^2)/v^2$ son los cuadrados de las profundidades medidas en unidades de tiempo de los vértices de las hipérbolas. Si se supone conocida v y se miden t_1 y t_2 , el sistema de ecuaciones permite determinar p y h . En efecto,

$$h = 0.5v^2(t_2^2 - t_1^2)/D - 0.5D \quad (5)$$

$$p = (v^2 t_1^2 - h^2)^{1/2} \quad (6)$$

c) Si no se conoce tampoco v , un tercer recorrido paralelo a los dos anteriores determina v mediante la expresión:

$$v = \{D(D + D')/t_3^2 - t_1^2 + (D + D')(t_2^2 - t_1^2)/D\}^{1/2} \quad (7)$$

Cálculo directo de la velocidad.

En la primera opción (dos recorridos perpendiculares) el corte de la hipérbola con $t=\text{dato}=t'$ en el recorrido $y=h$ resulta la ecuación

$$\frac{t'^2}{(p^2 + h^2)/v^2} - \frac{x'^2}{p^2 + h^2} = 1 \quad (8)$$

donde x' se mide en el radargrama correspondiente. El vértice se localiza en ese mismo recorrido en

$$t_1^2 = (p^2 + h^2)/v^2 \quad (9)$$

De las dos últimas ecuaciones se obtiene la velocidad como

$$v^2 = \frac{x'^2}{t'^2 - t_1^2} \quad (10)$$

Método académico

Se desconocen la posición del epicentro, la profundidad del objeto y la velocidad de propagación de la onda. Se trazan los ejes coordenados OXYZ sobre el terreno (Fig. 7). Para un punto cualquiera del terreno se verifica

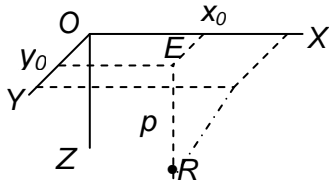


Fig.7. Situación del objeto R

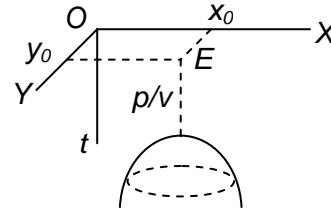


Fig.8. Hiperboloide

$$v^2 t^2 = d^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + p^2 \Rightarrow \frac{t^2}{p^2 / v^2} - \frac{(x - x_0)^2}{p^2} - \frac{(y - y_0)^2}{p^2} = 1 \quad (11)$$

que es la ecuación de un hiperboloide en el espacio plano-tiempo (Fig. 8).

Para los recorridos $y = 0$, $x = 0$, etc., se obtienen los respectivos hiperboides:

$$\begin{aligned} y = 0 &\Rightarrow \frac{t^2}{p^2 / v^2} - \frac{(x - x_0)^2}{p^2} - \frac{y_0^2}{p^2} = 1 \\ x = 0 &\Rightarrow \frac{t^2}{p^2 / v^2} - \frac{x_0^2}{p^2} - \frac{(y - y_0)^2}{p^2} = 1 \\ y = \Delta &\Rightarrow \frac{t^2}{p^2 / v^2} - \frac{(x - x_0)^2}{p^2} - \frac{(\Delta - y_0)^2}{p^2} = 1 \\ x = \Delta' &\Rightarrow \frac{t^2}{p^2 / v^2} - \frac{(\Delta' - x_0)^2}{p^2} - \frac{(y - y_0)^2}{p^2} = 1 \quad \forall \Delta' \neq \Delta \end{aligned} \quad (12)$$

Luego, por $y = 0$ es

$$\frac{t^2}{(p^2 + y_0^2) / v^2} - \frac{(x - x_0)^2}{p^2 + y_0^2} = 1 \Rightarrow t_1^2 = (p^2 + y_0^2) / v^2 \quad (13)$$

que señala el instante t_1 donde está el vértice de la hipérbola.

$$\text{Idem por } x = 0 \quad t_2^2 = (p^2 + x_0^2) / v^2 \quad (14)$$

$$\text{Idem por } y = \Delta \quad t_3^2 = (p^2 + (\Delta - y_0)^2) / v^2 \quad (15)$$

$$\text{Idem por } x = \Delta' \quad t_4^2 = (p^2 + (\Delta' - x_0)^2) / v^2 \quad (16)$$

Sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas (x_0 , y_0 , p , v), que permite calcular la posición del epicentro, la profundidad del punto reflector y la velocidad de propagación de la onda.

Descripción del ensayo

El objetivo de estos ensayos es comprobar que el método académico desarrollado en los puntos anteriores para detectar un objeto puntual, es aplicable en el aire y podría ser utilizado en otros medios de velocidad de transmisión desconocida.

Dispositivo experimental

El dispositivo experimental consiste en un reflector metálico puntual constituido por una bola de acero inoxidable de 3 cm de diámetro colgada de un punto cualquiera (x_0 , y_0) de la cara inferior de un tablero de aglomerado de 1,6 cm de espesor. La bola está fijada al suelo mediante un soporte de porexpán para evitar que oscile.

Se han realizado previamente ensayos, apoyando el tablero en otros elementos como caballetes de madera o bloques de cartón, apareciendo en ambos casos reflexiones que enmascaran los registros. La bola está por tanto en el aire siendo este medio el único existente entre el tablero y el suelo en las proximidades del reflector puntual.

Finalmente el tablero de aglomerado lo hemos apoyado sobre bloques de porexpán, manteniéndolo a una distancia de 88 cm del suelo. Hemos elegido bloques de porexpán tras haber comprobado que no produce reflexiones que enmascaren el registro obtenido. La altura del tablero sobre el que se desplaza la antena respecto al suelo evita que para el rango utilizado (7 ns), la señal llegue antes al suelo que al objeto puntual (bola de acero) colocado.

Procedimiento

Se trata de un ensayo dinámico en el que la adquisición de datos se realiza desplazando la antena lentamente por la superficie del tablero bajo el que se encuentra la bola, siguiendo un eje previamente

trazado. El recorrido es de 100 cm aproximadamente. La antena dispone de un odómetro acoplado que nos va indicando las distancias recorridas. Hemos marcado un origen de coordenadas y dibujado sobre el tablero los ejes OX y OY. Se hacen varios recorridos siguiendo las rectas $x=0$ cm, $x=20$ cm, $x=40$ cm, $y=0$ cm, $y=20$ cm, e $y=40$ cm.

Al desplazarse lentamente la antena por la superficie del tablero la onda se propaga por el aire y alcanza el reflector puntual donde experimenta una reflexión (el coeficiente de reflexión de los metales se aproxima a la unidad), alcanzando de nuevo la antena. El georadar registra la amplitud de la onda y el tiempo de propagación desde el inicio del registro.

Adquisición de datos

Los radargramas obtenidos para cada uno de los recorridos nos permiten medir los tiempos dobles de propagación mínimos (vértice de la hipérbola), que se corresponden con las distancias medidas para la velocidad conocida. Incluimos en la figura 9 el radargrama obtenido al desplazar la antena por la recta $y = 0$.

Rango

El rango máximo de registro ha sido de 7 ns y se ha mantenido constante en todos los ensayos realizados.

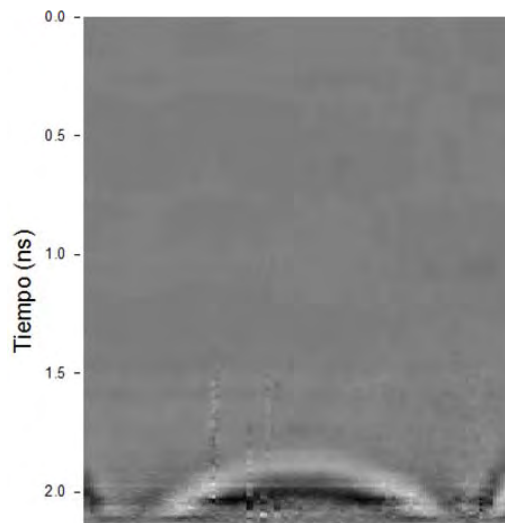


Fig. 9. Radargrama obtenido en el recorrido y=0

Distancia de no superposición

Utilizando el radargrama obtenido al calibrar la antena como distanciómetro hemos deducido la distancia mínima a que debe ser situado el objeto reflector para que no se produzcan dudas derivadas probablemente de la huella de la antena y de acoplamientos entre las señales internas de la antena (onda directa y ruidos) y la señal reflejada.

La antena utilizada no dispone de emisor y receptor separados, ya que es de conmutación. Por este motivo no se registra la onda directa y la primera señal en el radargrama es debida a los efectos de conmutación principalmente.

De la serie de ensayos realizados con el reflector puntual colocado a una profundidad conocida de $p=35$ cm, deducimos un error en el tiempo doble de propagación medido en los radargramas (vértice de la hipérbola), de 1,4 ns que traducidos a distancias supone que en los primeros 21 cm existe un intervalo de indeterminación o duda.

Correcciones efectuadas

Se han realizado las siguientes correcciones a los tiempos mínimos medidos en los radargramas:

- 1) Corrección de tiempos Δt_1 debido al empleado por la onda en atravesar el tablero de aglomerado de espesor 1,6 cm, ya que la velocidad de propagación en madera no coincide con la del aire.
- 2) Corrección de tiempo Δt_2 deducida de la calibración de la antena (ajuste de distancias medidas) a partir del experimento realizado colgando la bola de acero de la antena en el aire mediante un hilo de longitud conocida y realizando un ensayo estático (la antena emite sin ser desplazada).

1.-Para realizar la primera corrección tendremos en cuenta que:

$$\Delta v_{agl} = c/\sqrt{\epsilon_r} \quad \Rightarrow \quad \Delta t_1 = e/v_{agl} - e/c = e\sqrt{\epsilon_r}/c - e/c = e/c(\sqrt{\epsilon_r} - 1) \quad (17)$$

Hemos tomado el valor de $\epsilon_r=2$, obtenido como valor medio de los valores de materiales similares (madera, derivados de ésta,...). Obtendremos por tanto

$$\Delta t_1 = (\sqrt{2} - 1) 1,6/30 = 0,02ns \quad (18)$$

Este Δt_1 tendría valor negativo en nuestro experimento definitivo.

2.-Para realizar la segunda corrección Δt_2 hemos colgado la bola de acero (reflector puntual) directamente de la antena mediante un hilo de 42 cm de longitud, emitiendo sin que haya reflectores próximos que puedan interferir. En el radagrama obtenido, el reflector puntual aparece a 40 cm de profundidad, lo que supone un error de 2cm, que traducido a tiempos nos daría

$$\Delta t_2 = 2 \text{ cm} / 30 \text{ cm/ns} = 0,07 \text{ ns} \quad (19)$$

Resultados del experimento

Hemos situado la bola en la posición $x=0$, $y=0$, $p=60$ cm

Al desplazar la antena por la superficie del tablero obtenemos para los diferentes recorridos y efectuadas las correcciones analizadas con anterioridad:

Tabla I : Datos obtenidos de los radagramas

Recorridos	tiempos medidos (ns)	tiempos corregidos (ns)
$y=0$	$t_0 = 1,93$	$t_1 = 1,983$
$x=0$	$t_0 = 1,93$	$t_2 = 1,983$
$x=20$	$t_{20} = 2,03$	$t_3 = 2,083$
$y=20$	$t_{20} = 2,03$	$t_4 = 2,083$
$y=40$	$t_{40} = 2,33$	$t_5 = 2,38$

Para evitar redundancias se han Introducidos los valores t_1 , t_2 , t_3 , t_5 en las expresiones 13,14,15,16, obtenemos los siguientes resultados:

$$x_0 = 1,02 \text{ cm} ; y_0 = 1,02 \text{ cm} ; p = 59,01 \text{ cm} ; v = 29,82 \text{ cm/ns.}$$

que suponen una aproximación muy buena. En efecto, el error en las distancias es menor que el radio de la bola.

IV.- TRANSMISIÓN POR MORTERO DE CEMENTO

En los estudios que se realizan con georradar, conocer la velocidad de propagación de la onda en los materiales estudiados es un factor importante para elaborar una correcta interpretación de los registros. Por un lado este valor es necesario para poder pasar de tiempos dobles de propagación a profundidades en el interior del medio y, por lo tanto estimar distancias a los elementos reflectores y

por otro, puede ser utilizado para caracterizar el medio y por tanto evaluar posibles cambios en el mismo.

El mortero de cemento es un material isótropo utilizado en construcción, que aparece en todas las obras objeto de rehabilitación, afectado en mayor o menor medida por diversos factores de degradación. Esto exige un análisis de las propiedades de este material con anterioridad a cualquier tipo de intervención sobre el mismo. Debido a esto lo hemos elegido como modelo para analizar el comportamiento de las ondas electromagnéticas producidas por el georradar al propagarse a través de este material.

De los diferentes procedimientos que se pueden utilizar para obtener la velocidad de propagación utilizando el georradar, hemos optado por la realización en laboratorio de ensayos estáticos sobre muestras de espesor conocido. Midiendo los tiempos dobles de propagación, se obtienen las velocidades.

Procedimiento

En este caso se dispone de una muestra del material de tamaño adecuado para que los efectos de contorno no impidan observar las reflexiones que interesan. La muestra dispone de dos superficies paralelas. En una de las superficies se coloca la antena de 1600 MHz con la que hemos realizado el ensayo. En la superficie opuesta se coloca una placa metálica para que la amplitud de la reflexión sea la mayor posible. Conocido el tiempo doble y el espesor del material se obtiene la velocidad de propagación.

Se han realizado varios ensayos sobre una muestra de mortero de cemento de dosificación conocida de 12 cm de espesor, de los que presentamos aquí uno de los registros obtenidos con la antena de 1600 MHz, utilizando un rango de 5ns (Fig. 10). Cada uno de los registros consta de tres partes. Primero se aplica la antena sobre la superficie del mortero, mientras que en la superficie contraria se coloca la placa metálica. A continuación se quita la placa metálica. Finalmente se coloca la antena separada de la placa metálica una distancia igual al espesor del mortero pero emitiendo al aire. De esta forma se tienen registros formados por tres partes diferenciadas. La primera corresponde a la reflexión en la placa metálica tras haberse propagado por los 12 cm de mortero, la segunda a la reflexión en la interfaz mortero-aire, y la tercera corresponde a la reflexión en la placa metálica tras haberse propagado por la misma distancia, 12 cm, en el aire cuya velocidad de propagación es conocida, lo que nos permite identificar claramente la reflexión, a pesar de la pérdida de contraste probablemente debida a la misma banda parásita que aparece en las otras dos partes.

El tiempo doble de propagación para la reflexión en la chapa metálica tras la propagación en mortero, medido en el registro es de 1,73 ns. Esto quiere decir que la velocidad de propagación a través de este medio es de unos 13,9 cm/ns.

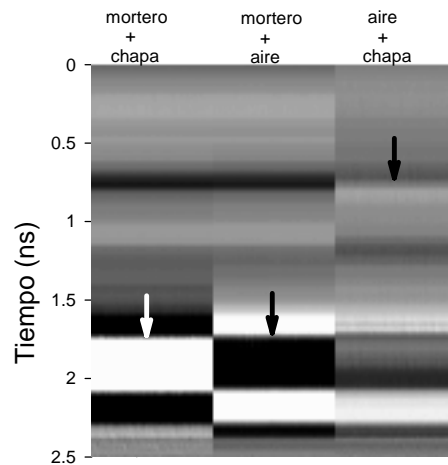


Fig. 10. Radargrama correspondiente a la determinación de la velocidad de propagación en el mortero.

V.-TRANSMISIÓN POR MORTERO CON COMPRESIÓN UNIAXIAL

Los cristales pertenecientes al sistema hexagonal y otros tienen la propiedad de la birrefringencia o doble refracción. Ello se debe a que la polarizabilidad eléctrica depende de la dirección del campo eléctrico aplicado. En los materiales llamados uniáxicos el desplazamiento de los electrones de los átomos cuando se someten a un campo eléctrico tiene distinta facilidad para producirse en una dirección, llamada eje óptico, que en cualquiera de las direcciones perpendiculares a él, que serán equivalentes entre sí. Es de esperar que un material isótropo sometido a una compresión uniaxial se deforme de modo que la polarizabilidad en la dirección de la fuerza aplicada sea diferente que en cualquier otra de las direcciones perpendiculares. Conviene pues hacer una síntesis de algunas propiedades de los materiales anisótropos desde el punto de vista electromagnético y en especial de los uniáxicos.

Al considerar un material homogéneo, no conductor (conductividad eléctrica nula), isótropo magnéticamente ($\mathbf{B}=\mu\mathbf{H}$), pero anisótropo y lineal en cuanto a su polarizabilidad, el campo eléctrico \mathbf{D} y el campo eléctrico \mathbf{E} estarán relacionados mediante funciones lineales de la forma

$$D_i = \varepsilon_{ij} E_j \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (20)$$

El tensor dieléctrico ε_{ij} es simétrico y pueden calcularse sus autovalores y autovectores, los cuales suministran las direcciones de sus ejes principales, respecto de los que el tensor tiene una representación diagonal con sus constantes dieléctricas principales.

Respecto de los ejes principales se construye el elipsoide de normales a la onda

$$\frac{x^2}{\epsilon_x} + \frac{y^2}{\epsilon_y} + \frac{z^2}{\epsilon_z} = 1 \quad (21)$$

cuyos semiejes son las raíces cuadradas respectivas de los autovalores del tensor dieléctrico, o sea los índices de refracción, por lo que se llama también elipsoide de índices. Si se aplican las ecuaciones de Maxwell se llega a la conclusión de que los vectores del campo electromagnético **E** y **D** son perpendiculares al campo magnético **H** y por tanto también al **B**. Los vectores **D** y **B** definen el frente de onda y su perpendicular **s** en el sentido definido por **D** × **B** señala la dirección de propagación que lo hace con la velocidad de fase. La onda es pues transversal respecto de **D**. La energía se propaga en la dirección de **t** definida por **E** × **H**, señalando la dirección del rayo y propagándose con una velocidad tal que la proyección de la velocidad de propagación de la energía proyectada sobre la dirección **s** es la velocidad de fase.

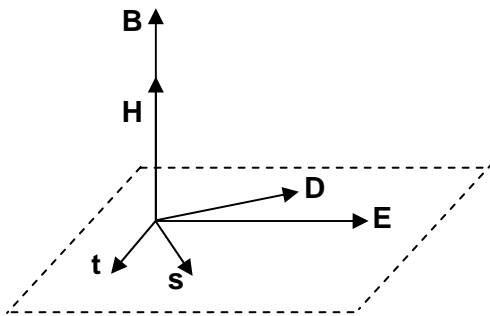


Fig.11. Vectores electromagnéticos

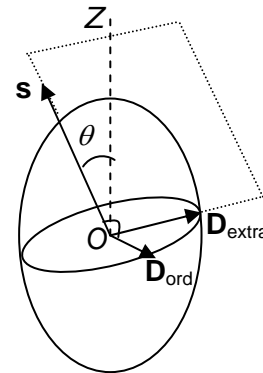


Fig.12. Elipsoide de normales

En los cristales uniáxicos el eje óptico es el de simetría de revolución y se toma como eje OZ. El elipsoide de normales es de revolución. Para una dirección de propagación **s** que forma un ángulo θ con el eje OZ, existen dos posibles polarizaciones una de ellas con **D** en el plano formado por **s** y OZ, llamándose al rayo extraordinario y otra donde **D** es perpendicular al plano formado por **s** y OZ, llamándose al rayo ordinario.

Por otra parte, si el material en estudio es elásticamente lineal, el tensor de esfuerzos está relacionado linealmente con el tensor deformación. Ambos tensores son simétricos y pueden influir en el tensor dieléctrico. En primera aproximación puede considerarse que las variaciones de las componentes del tensor dieléctrico son linealmente dependientes de las componentes del tensor de

esfuerzos.

El elipsoide de normales a la onda (21) para un material electromagnéticamente isótropo se convierte en la superficie esférica

$$\frac{x^2}{\varepsilon} + \frac{y^2}{\varepsilon} + \frac{z^2}{\varepsilon} = 1 \quad (22)$$

Al aplicar esfuerzos el elipsoide adquiere la forma más general

$$a_{xx}x^2 + a_{yy}y^2 + \dots + a_{xy}xy = 1 \quad (23)$$

Las variaciones habidas en los coeficientes serán

$$\begin{aligned} a_{xx} - \frac{1}{\varepsilon} &= q_{11}P_{xx} + q_{12}P_{yy} + \dots + q_{16}P_{xy} \\ a_{yz} &= q_{41}P_{xx} + q_{42}P_{yy} + \dots + q_{46}P_{xy} \\ &\dots \end{aligned} \quad (24)$$

En el caso que nos interesa de un material isótropo antes de aplicarle fuerzas, debido a la simetría, las ecuaciones (24) adquieren la forma simple

$$\begin{aligned} a_{xx} - \frac{1}{\varepsilon} &= q_{11}P_{xx} + q_{12}P_{yy} + q_{12}P_{zz} \\ a_{yy} - \frac{1}{\varepsilon} &= q_{12}P_{xx} + q_{11}P_{yy} + q_{12}P_{zz} \\ a_{zz} - \frac{1}{\varepsilon} &= q_{11}P_{xx} + q_{12}P_{yy} + q_{11}P_{zz} \\ a_{yz} &= a_{zx} = a_{xy} = 0 \end{aligned} \quad (25)$$

lo que demuestra que las direcciones principales del tensor de esfuerzos P_{ij} y los ejes del elipsoide de normales a la onda son coincidentes.

En una compresión axial en la dirección del eje OZ, todas las componentes del tensor de esfuerzos son nulas salvo P_{zz} con lo que las ecuaciones (25) se reducen a

$$\begin{aligned} a_{xx} - \frac{1}{\varepsilon} &= q_{12} P_{zz} \\ a_{yy} - \frac{1}{\varepsilon} &= q_{12} P_{zz} \\ a_{zz} - \frac{1}{\varepsilon} &= q_{11} P_{zz} \\ a_{yz} &= a_{zx} = q_{xy} = 0 \end{aligned} \quad (26)$$

Luego para el caso que nos interesa las únicas constantes elástico-ópticas a considerar son q_{12} y q_{11} . El elipsoide de normales es

$$a_{xx}x^2 + a_{yy}y^2 + a_{zz}z^2 = 1 \quad (27)$$

Si una onda electromagnética atraviesa el material con dirección de propagación coincidente con el eje OX (perpendicular al eje OZ), los índices de refracción para las dos ondas posibles de polarizaciones perpendiculares son

$$\begin{aligned} n_o &= \frac{1}{\sqrt{a_{yy}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\varepsilon} + q_{12} P_{zz}}} \\ n_e &= \frac{1}{\sqrt{a_{zz}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\varepsilon} + q_{11} P_{zz}}} \end{aligned} \quad (28)$$

lo que origina una diferencia de fase entre ambas ondas

$$\delta = \frac{2\pi h}{\lambda} (n_e - n_o) \quad (29)$$

Si la onda incidente está polarizada linealmente con su campo eléctrico formando un ángulo θ con el eje principal o sea con la dirección de la fuerza, se propagará una onda extraordinaria de amplitud $A \cos \theta$ y una ordinaria de amplitud $A \sin \theta$ y a la salida tendrán una diferencia de fase dada por la (29). En consecuencia, a la salida de la probeta la interferencia de ambas ondas da lugar a una única onda polarizada elípticamente en general y el campo eléctrico a la salida describe una elipse inscrita dentro de un rectángulo de lados $A \cos \theta$ y $A \sin \theta$.

Si en un experimento no se ejerce presión alguna sobre la probeta, $P_{zz}=0$, los índices de refracción n_e y n_o son iguales, luego la diferencia de fase introducida por el paso de la onda a través del material es nula y la onda sale con la misma polarización lineal que tenía. Si la presión ejercida sobre el material es muy pequeña el extremo del vector campo eléctrico \mathbf{D} describe una elipse oblicua y muy excéntrica. Si la presión aumenta gradualmente, la elipse se hace menos excéntrica y menos oblicua y llega un momento, cuando la diferencia de fase es 90° , en que está referida a los ejes principales, etc. A partir de una diferencia de fase de 360° se repite el fenómeno.

Si se coloca un analizador (polarizador) a la salida de la onda y en una cierta dirección, la onda saldrá de él polarizada linealmente y con un campo eléctrico que es igual al campo eléctrico emergente de la probeta proyectado sobre dicha dirección. Por ejemplo, si el polarizador es perpendicular al analizador, en ausencia de presión no saldrá ninguna onda de éste, en cambio si hay presión la onda emergerá con intensidad variable con la presión. La amplitud del campo eléctrico a la salida del analizador cuando el polarizador y analizador son perpendiculares es (Ref. Jenkins, p.615).

$$A_o^2 = A^2 \sin^2(2\theta) \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right) \quad (30)$$

De todo lo anterior se deduce que en el experimento de compresión uniaxial la intensidad de la luz emergente permite, en principio, medir la tensión de compresión aplicada. Los datos necesarios son: θ , ε , q_{11} y q_{12} .

Combinando las (26) y (28) se puede escribir de forma aproximada

$$\delta = \frac{2\pi h}{\lambda} (n_e - n_o) \approx \frac{\pi h}{\lambda} n_o^3 (q_{11} - q_{12}) P_{zz} \quad (31)$$

Para el vidrio de cuarzo (Ref. Cabrera, p.101) $q_{11}-q_{12}$ es del orden de 10^{-12} Pa^{-1} y n^3 del orden de 2, luego con una presión de 10 MPa resulta una diferencia de índices del orden de 10^{-4} . Con una probeta de espesor 0.05 m y luz visible de longitud de onda de 500 nm, la diferencia de fase es de 6 rad, lo que es más que suficiente para percibir el fenómeno analizado. Para una frecuencia de radar de 1600 MHz (longitud de onda de 0.19 m) y una probeta de $h=0.20$ m resulta la diferencia de fase de 0.00007 rad, lo que resulta difícil de detectar.

La división de una onda incidente en ordinaria y extraordinaria de diferentes direcciones solo existe si el rayo incidente es oblicuo respecto del eje de simetría, lo que hace que el experimento sea difícil de realizar

Agradecimiento

Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por el Gobierno español a través del Plan Nacional de I+D+i 2004-2007 Proyecto No. BIA2004-07428-C02 del Programa Nacional de Construcción.

Referencias

Daniels, D. J., 1996. Surface- penetrating radar, The institution of Electrical Engineers, London.

Cabrera, J. M., F. Agulló, F. J. López, 2000. Óptica electromagnética, Vol. II, Addison-Wesley/UAM.

Jenkins, F. A., H. E. White, 1963, Fundamentos de Óptica. Aguilar, Madrid.

CONSIDERACIONES DE LA REINTERPRETACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS EN LA BAHÍA DE CÁRDENAS, REFERENTES A LA EXPLORACIÓN PETROLERA. PROVINCIA MATANZAS

M. Álvarez Ortiz⁽¹⁾, J. L. Perdomo Castillo⁽¹⁾, J. G. L. Prol Betancourt⁽²⁾, O. Hernández Valdés⁽¹⁾, J. M. Véliz Basabe⁽¹⁾ G. Miró Pages⁽³⁾

(1) GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 112000, Ciudad de La Habana, Cuba. Telef: 977575, Ext. 114 y 107, Fax: 97 0019. e-mail: mora@emarinis.geocuba.cu, gem@emarinis.geocuba.cu

(2) Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET) Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba. e-mail: prol@digicupet.cu

(3) Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Calle 124 s/n Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba

RESUMEN

Se abordan los resultados de la reinterpretación de los datos magnéticos, registros sísmicos y batimétricos obtenidos del estudio realizado entre 1987- 1988 en Bahía de Cárdenas y áreas adyacentes, Provincia Matanzas; así como su correlación con estructuras geológicas profundas. Se tomaron como base los mapas de anomalías magnéticas del campo total (ΔT_a), profundidad del lecho marino y del techo de la roca confeccionados. Además del análisis detallado de los registros sísmicos, orientado a la búsqueda de zonas de discontinuidad; levantamiento y hundimiento de los bloques; la presencia de reflexiones opacas posiblemente asociadas con emanaciones gaseosas o estructuras favorables para la búsqueda de hidrocarburos.

Los aportes de esta reinterpretación definen un patrón de anomalías magnéticas, caracterizado por valores negativos que ocupan la mayor parte de la bahía, con un predominio de los valores positivos en la parte norte reflejo de un levantamiento del basamento magnético en esta dirección. Igualmente se detectaron algunas anomalías magnéticas de pequeña magnitud, además de una serie de estructuras sismo-geológicas definidas a partir de la caracterización morfológica de los registros sísmicos. Al comparar estos datos, con los similares de otros métodos geofísicos empleados en la región, observa una estrecha relación entre las morfoestructuras someras y profundas. Lo anterior confirma las amplias posibilidades del empleo del perfilaje sísmico de reflexión de alta resolución y la magnetometría marina como métodos de avances en la evaluación de zonas con fines estructurales; debido a su relativa sencillez, tipo de información que aporta y efectividad geólogo – económica de los mismos.

ABSTRACT

The results of the reinterpretation of the magnetic data, seismic registrations and obtained batimétricos of the study are approached carried out among 1987 - 1988 in Bay of Cardinal red and adjacent areas, County Matanzas; as well as their correlation with deep geologic structures. They took like base the maps of magnetic anomalies of the total field (ΔT_a), depth of the marine channel and of the roof of the made rock. Besides the detailed analysis of the seismic registrations, guided to the search of discontinuity areas; rising and sinking of the blocks; the presence of opaque reflections possibly associated with gassy emanations or favorable structures for the search of hydrocarbons.

The contributions of this reinterpretation define a pattern of magnetic anomalies, characterized by negative values that occupy most of the bay, with a prevalence of the positive values in the reflective north part of a rising of the magnetic basement in this address. Equally some magnetic anomalies of small magnitude were detected, besides a series of defined earthquake-geologic structures starting from the characterization morfológica of the seismic registrations. When comparing these data, with the similar of other methods geophysical employees in the region, he/she observes a narrow relationship among the shallow and deep morfoestructuras. The above-mentioned confirms the wide possibilities of the employment of the seismic perfilaje of reflection of high resolution and the marine magnetometría as methods of advances in the evaluation of areas with structural

ends; due to their relative simplicity, type of information that contributes and effectiveness geologist - economic of the same ones.

INTRODUCCIÓN

Durante los años 1987- 1988 a solicitud del Ministerio de la Industria Básica se realizaron una serie de investigaciones geofísicas en la Bahía de Cárdenas y áreas adyacentes con vistas a conocer las características fundamentales del fondo y subfondo marino de la región, además obtener el comportamiento del campo magnético, (Hernandez O., 1990).

El desarrollo actual de la industria del petróleo en nuestro país y el avance de las técnicas de procesamiento digital motivó a realizar un análisis de la información disponible por nuestra entidad en el área con el objetivo de revelar algunos datos de interés para la exploración petrolera.

En el presente trabajo se abordan los resultados de la reinterpretación de los datos magnéticos, registros sísmicos y batimétricos obtenidos de estos estudios, así como de su correlación con las estructuras geológicas profundas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para preparar este trabajo se tomaron los datos primarios obtenidos durante el levantamiento magnético marino realizado en el área. El equipo empleado en la investigación fue el hidromagnetómetro protónico 7704 en la variante remolque con un ciclo de medición de 2 s. Los datos obtenidos fueron corregidos por variación diurna paso secular y campo normal para la obtención de los mapas de anomalías magnéticas de la intensidad total (ΔT_a). A los valores anómalos obtenidos fue necesario aplicarles correcciones adicionales con el fin de compatibilizar posibles errores asociados al cálculo de las variaciones diurnas y de navegación, además durante el procesamiento fue aplicado a los datos un filtrado digital (pasa baja) para eliminar los efectos asociados a fuentes pequeñas o superficiales (Perdomo, J, 2005).

No obstante a estos posibles errores hemos concluido que la información reflejada en el mapa de anomalía magnética puede ser utilizada a los efectos de la interpretación y delimitación de la continuidad de las estructuras desde tierra hacia el mar, lo cual quedó demostrado durante la comparación realizada entre los resultados obtenidos con los aportados por las investigaciones magnéticas terrestres anteriormente realizadas en áreas adyacentes.

En los estudios sísmicos y batimétricos, para obtener los registros, se emplearon un perfilador sísmico de alta resolución (M-2A o NE-19C) y una ecosonda ATLAS respectivamente, ambos basados en el principio de la reflexión acústica pero con diferentes gamas de frecuencia, (300 a 3000 Hz) para el primero y (33 a 210 KHz) para el segundo.

Con la finalidad de obtener índices estructurales a partir de los patrones de reflexión de los registros sísmicos y batimétricos, se le realizó análisis detallado de estos, orientado a la búsqueda de zonas de discontinuidades, levantamiento y hundimiento de bloques; presencia de reflexiones opacas posiblemente asociadas con emanaciones gaseosas o estructuras favorables para la búsqueda de hidrocarburos. Los resultados del análisis de los registros fueron trasladados a un mapa de posiciones de las líneas de sondeo dándole continuidad a las diferentes anomalías del cuadro ondulatorio, reflejo de las estructuras sismo- geológicas someras presentes en el área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de esta reinterpretación se identifica un patrón de anomalías magnéticas (Figura 1), caracterizado por valores negativos del campo que ocupan la mayor parte de la bahía hacia el sur, con un predominio del campo positivos hacia la zona exterior, al norte del área de estudio reflejo de un levantamiento del basamento magnético en esta dirección, lo cual se demuestra a partir de las perforaciones realizadas en la región y se correlaciona bien con el levantamiento gravimétrico realizado con anterioridad, (Krisov, 1985). Igualmente se detectaron algunas anomalías magnéticas de pequeña magnitud que pudieran estar asociadas con clastos aislados de rocas magnéticas (volcánicas y/o ofiolitas) que yacen cerca de la superficie.

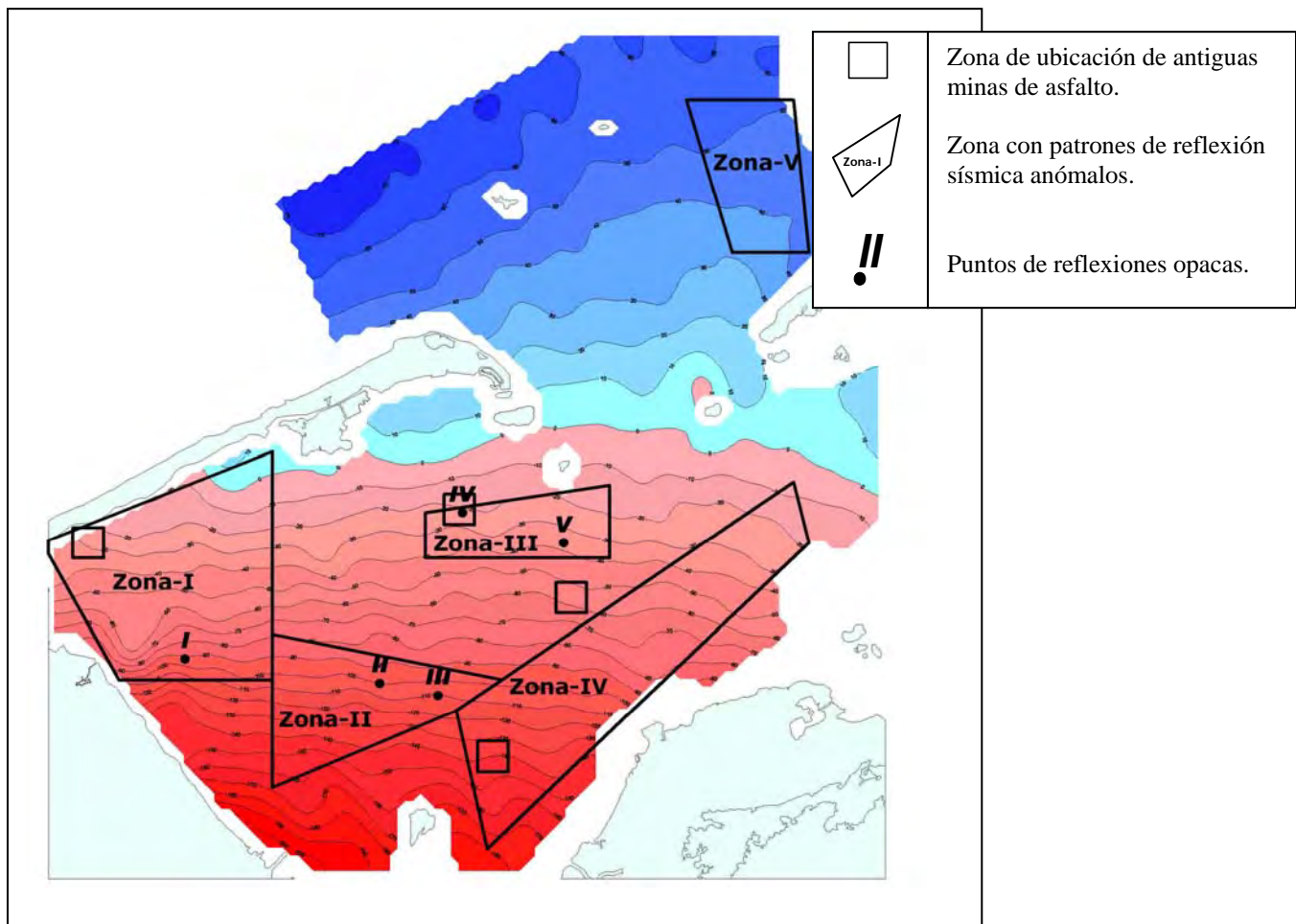


Figura 1. Mapa de anomalías magnéticas del campo total (ΔT_a) en el área de la Bahía de Cárdenas y sus accesos, además de la ubicación de zonas de anomalías sísmicas.

El mapa de anomalías de los patrones de reflexión obtenido de los registros sísmicos y batimétricos a partir de su caracterización morfológica mostró una serie de estructuras sismo-geológicas bien definidas, observándose levantamientos y hundimientos de bloques. Además se observaron reflexiones opacas en diferentes intervalos de los registros sísmicos (Figura 2.) con un patrón posiblemente asociado con emanaciones gaseosas (García-Gil S et al., 1999) las cuales pudieran emplearse como un posible índice directo para detectar la presencia de hidrocarburos.

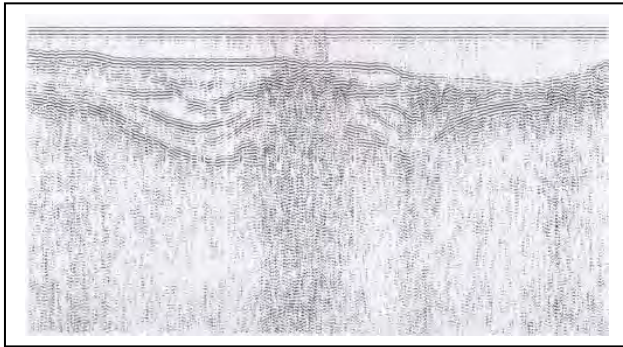


Figura 2. Registros de sísmica somera de alta resolución obtenidos en las aguas de la bahía de Cárdenas, donde se aprecia un cuadro ondulatorio anómalo con presencia de reflexiones opacas posiblemente asociadas con emanaciones gaseosas.

Estas anomalías de gran complejidad sísmica se encuentran ubicadas en las zonas siguientes (ver Fig. 1):

1. Noroeste de la bahía: En esta área los registros sísmicos se manifiestan de forma muy compleja manifestando zonas deprimidas y levantadas del paleorrelieve marino, al sur se manifiesta una zona con reflexiones opacas. Se observa próximo a esta área una anomalía magnética de pequeña magnitud.
2. Norte de Cayo Cupey: Aparece una serie de estructuras plegadas en dirección este - oeste, atravesando el canal de entrada al puerto de Cárdenas, donde los patrones de reflexión caracterizan anomalías de interés, además de observarse dos zonas con reflexiones opacas en las cuales se refleja acumulaciones de gas en los sedimentos, así como la evidencias de escape del mismo. (Figura 2.).
3. Suroeste de Cayo Diana y sur- sureste de Cayo Diana: En ambos caso se observa una zona de reflexiones opacas dentro de un cuadro ondulatorio complejo asociado a una estructura sismo-geológica bien definida, coincidiendo con una posible antigua mina de asfalto.
4. Sureste de la bahía: En el mapa obtenido, los patrones de reflexión caóticos de los registros evidencian una serie de estructuras sismo-geológicas, las cuales enmarcan un área en dirección suroeste- noreste sobre una franja que cubre el sector.
5. Oeste de Cayo Blanco: Aquí también se definen patrones anómalos en los registros con zonas de hundimiento y levantamiento.

Al norte del área exterior de la bahía los registros reflejan los niveles de terrazas marinas correspondientes a las diferentes oscilaciones del nivel del mar.

Como resultado de esta reinterpretación de los materiales primarios, se pudo identificar a partir las características de los registros un cambio en los patrones de reflexión, cual infiere una zona de transición asociada al cambio litológico entre los sedimentos cieno- arcillosos de la bahía de Cárdenas y los arenosos del área exterior.

Al comparar estos datos, con los análogos de otros métodos geofísicos empleados en el área de interés, por ejemplo la sísmica profunda y la gravimetría, se observa una estrecha relación entre las morfoestructuras someras y profundas existentes en esta región.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La información expuesta en el mapa de anomalía magnética puede ser utilizada a los efectos de la interpretación y delimitación de la continuidad lateral de las estructuras desde tierra hacia el mar.
2. El análisis de los registros sísmicos y batimétricos definió una serie de puntos caracterizados por reflexiones opacas con un patrón asociados con emanaciones gaseosas.
3. Se definieron 5 sectores con patrones de reflexión anómalos en base a la caracterización morfológica de los registros sísmicos, las cuales se corresponden con estructuras sismo-geológicas favorables para la búsqueda de hidrocarburos.
4. Lo anterior confirma las amplias posibilidades del empleo del perfilaje sísmico de reflexión de alta resolución y la magnetometría marina como métodos de avances en la evaluación preliminar de zonas interesantes debido a su relativa sencillez, tipo de información que aporta y efectividad geólogo – económica de los mismos.
5. Recomendamos utilizar una metodología similar para áreas con características análogas (bahías, aguas someras, etc.)

BIBLIOGRAFÍA

- Furrazola, G. y K. Nuñez. 1997. Estudios sobre Geología de Cuba. 1ra edición 1997. La Habana: Centro Nacional de Información Geológica (CNDIG), Instituto de Geología y Paleontología. P 179-196
- Gabilondo, J. et. al. 1998. Resultado de las investigaciones geofísicas para el descubrimiento de antiguas minas de asfalto en la Bahía de Cárdenas, ICH, La Habana.
- García-Gil S., A. García-García y F. Vilas (1999): "Identificación sismo-acústica de las diferentes formas de aparición de gas en la Ría de Vigo (NO de España)" Rev. Soc. Geol. España. Vol. 12 (2): 301-307
- Gordón, V, M et al, 1986. Magnetometría Marina (Traducción). Editorial Nedra. 132-200p.
- Gveiman, M. y R. Tenreiro, 1982 Esquema tectónico-estructural según los datos geofísicos. Escala 1: 25 000
- Hernandez, O. et. al. 1990. Sobre las investigaciones sismoacústicas, magnéticas, batimétricas y de muestreo de sedimentos superficiales realizadas en la Bahía de Cárdenas y sus accesos, ICH, La Habana.
- Perdomo, J. L., M. Álvarez, 2005. Mapa magnético reinterpretado a partir del levantamiento hidromagnético ejecutado en 1989. Escala 1: 50 000. Geocuba Estudios Marinos, La Habana.
- K. Krisov, 1985. Mapa de anomalías gravimétricas a escala 1: 50 000 .Instituto Cubano de Recursos Minerales, La Habana.
- Gveiman, M. y R. Tenreiro, 1982 Esquema tectónico-estructural según los datos geofísicos. Escala 1: 25 000

ALGUNAS PARTICULARIDADES DEL PROCESAMIENTO 3D MARINO EN LOS BLOQUES 6A -7A

Edenia C. Camejo⁽¹⁾ **Grisel Ameijeiras**⁽¹⁾.

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET). Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba. Email: edenia@digicupet.cu

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la presentación de algunas particularidades del procesamiento 3D realizado en las líneas de enlace de los bloques 6A-7A marinos.

El tipo de adquisición la conforman 3 líneas de navegación compuestas de 12 inlines cada una, con características 3D, con una cobertura máxima de 6000%.

El procesamiento consistió en realizar una pseudo 3D para cada línea de navegación, donde se aplicaron técnicas adecuadas, que permiten darle cumplimiento a esta tarea.

El objetivo de este procesamiento estuvo encaminado a enlazar los resultados geólogo-geofísicos del Bloque 6A con los del Bloque 7A.

Debe aclararse que se trata de una pseudo 3D porque, si bien la adquisición fue diseñada como 3D, al tratarse de líneas navegadas aisladas, sin solapamiento entre ellas, el resultado es equivalente a una 2D estándar.

La calidad de la información fue buena, aunque se vio afectada por el ruido del oleaje y la presencia de ondas múltiples provenientes del fondo marino, entre otros.

ABSTRACT

The present paper has as objective the presentation of some particularities of 3D processing carried out on the tie-up lines of marine blocks 6A-7A.

The acquisition is conformed by 3 sailing lines made up of 12 inlines each, 3D type, with a maximum covering of 6000%.

The processing consisted on carrying out a pseudo 3D for each sailing line, where appropriate techniques were applied, that allow to accomplish this task.

The objective of this processing was aimed toward to tie-up the geological-geophysical results from Block 6A with those from Block 7A.

The data quality was good, although it was affected by swell noises and multiple from sea bottom, among others.

A 3D sequence of processing was used, although it was treated as a pseudo 3D because, even the acquisition was designed as a 3D, being in presence of isolated navigated lines, without overlap between them, the result is equivalent to a 2D standard.

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad las adquisiciones sísmicas 3D constituyen un reto para la búsqueda y exploración de hidrocarburos, estas nos permiten detallar áreas con geologías complejas, donde la sísmica 2D no pueda dar respuestas a estas.

En nuestro centro contamos con nuevas técnicas para el procesamiento de los datos, que nos ha permitido mejorar la calidad de la imagen sísmica.

MÉTODO.

La secuencia de procesamiento usada fue:

1. Reformateo.
2. Entrada y chequeo en el proceso de los datos de radionavegación.
3. Compensación del retardo de la fuente.
4. Atenuación de los ruidos impulsivos.
5. Aplicación de la signatura y su deconvolución.
6. Aplicación de filtro corte bajo para la atenuación del oleaje.
7. Filtro FK en SP.
8. Actualización en los encabezamientos de las trazas sísmicas del dato de navegación.
9. Normalización de las amplitudes.
10. Binnig estático y dinámico...
11. Primer análisis de velocidad y mute.
12. Eliminación de las ondas múltiples.
13. Segundo análisis velocidad y mute.
14. Corrección por divergencia esférica.
15. Eliminación de residuales de las ondas múltiples.
16. Atenuación de ruidos impulsivos.
17. Migración pre suma de KIRCHHOFF Primera iteración.
18. Primer análisis de las velocidades migradas.
19. Migración pre suma de KIRCHHOFF. Segunda iteración.
20. Segundo análisis de las velocidades migradas.
21. Suma migrada.
22. Filtro FK en suma.
23. Mezcla
24. Filtro pasa banda.
25. Ecualización.
26. Atenuación de ruidos aleatorios.

Esta secuencia se desarrolló con el software de procesamiento que cuenta nuestro centro. (GeoClúster)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Breve descripción de algunos pasos importantes de esta secuencia:

Encabezamiento de las trazas de radio navegación.

También se realiza un control de la geometría, indicando el tipo de fuente, cables, cantidad de canales, verificamos la secuencia de los SP, secuencia y sincronismo de las fuentes y posición de estas en términos de crossline e inline. Fig. 1

Aplicación de la signatura y su deconvolución.

Se obtuvo un filtro de refase donde el dato fue llevado a fase cero, conjuntamente con la signatura de la fuente obtenida en la adquisición, además de aplicar una deconvolución de gap grande para la

eliminación del efecto burbuja. Con este proceso se le aplica al dato sísmico un filtro que llevará la señal de fase mixta a fase cero y se atenúan las reverberaciones.

Aplicación de filtro corte bajo para la atenuación del oleaje.

Para la atenuación del ruido producido por las olas del mar, se aplicó un filtro de corte de las bajas frecuencias de 5 Hz. Fig. 2

Binnig estático y dinámico.

En esta etapa se regulariza la cobertura llenando y homogenizando los espacios vacíos producidos por el feathering de los cables, que trae como resultado que se dupliquen o se pierdan algunas clases de offset.

El binnig dinámico copia de las trazas vecinas y el binnig estático de la misma traza, según criterio de selección. Esto se realizó para cada una de las líneas de navegación, que fueron tratadas como mini cubos pseudo 3D Fig. 3

Eliminación de las ondas múltiples.

Para la atenuación de las múltiples, fueron utilizados los nuevos módulos, éstos sustraen el modelo de las múltiples formado por pequeñas parábolas, considerando solo los eventos primarios. Fig. 4

Migración pre suma de KIRCHHOFF Primera iteración.

La migración pre-suma es importante realizarla en zonas de grandes variaciones de velocidad, tanto en la horizontal como en la vertical y de geología estructural compleja.

Se realizó la migración pre suma por el método integral de Kirchhoff, en el cual los datos en multi-offset son individualmente migrados y después sumados.

En este paso se utilizó una librería GD para delimitar la malla 3D y eliminar los efectos de los bordes extremos debido a que la información proviene de solo una porción de la abertura del registro y poder disminuir la influencia de estos a la hora de ser migrados.

Al cubo conformado por la línea de navegación se le realizó la migración pre suma en tiempo, y se le hizo la interpretación sísmica de la inline central de esta.

Como resultado final se obtuvo una migración Pre Stack en tiempo Fig. 5

CONCLUSIONES

- Se aplicó la metodología de Procesamiento pseudo 3D pre-suma en tiempo para cada línea de navegación, aportándose mejores resultados que la procesada como 2D
- Se aplicó un módulo de eliminación de ruidos aleatorios para 3D con muy buenos resultados.

- Se observa una mejoría en las imágenes sísmicas a medida que avanza el procesamiento, lo que se corrobora con los controles de calidad realizados a lo largo del mismo.

BIBLIOGRAFÍA.

Ameijeiras G. Informe de procesamiento de las líneas de enlace bloque 6A -7A, adquisición 2006.
Oz Yilmaz. Seismic data análisis. Volumen 1 y 2 1987.
Cefoga. 3D Marine Part 1. March 2004.

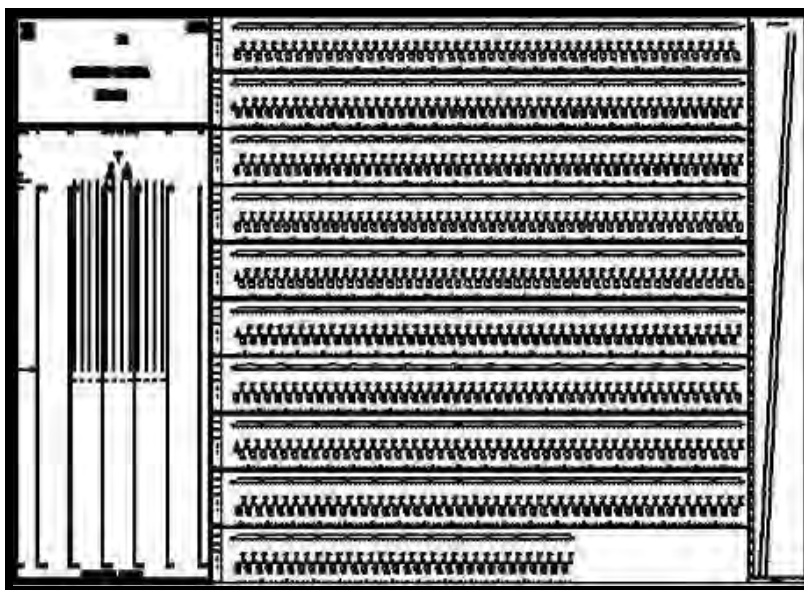


Fig. 1 Control de la geometría.

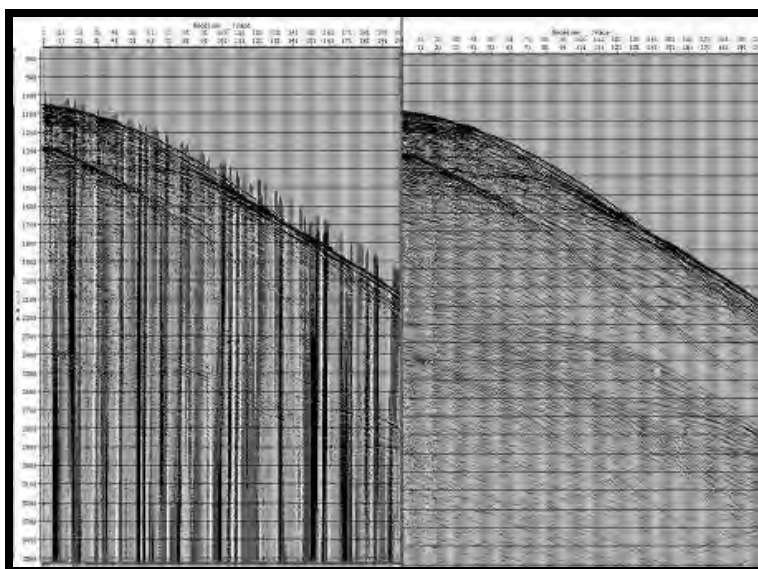


Fig. 2 Eliminación del Swell



Fig. 3 Pre-Post Habin.

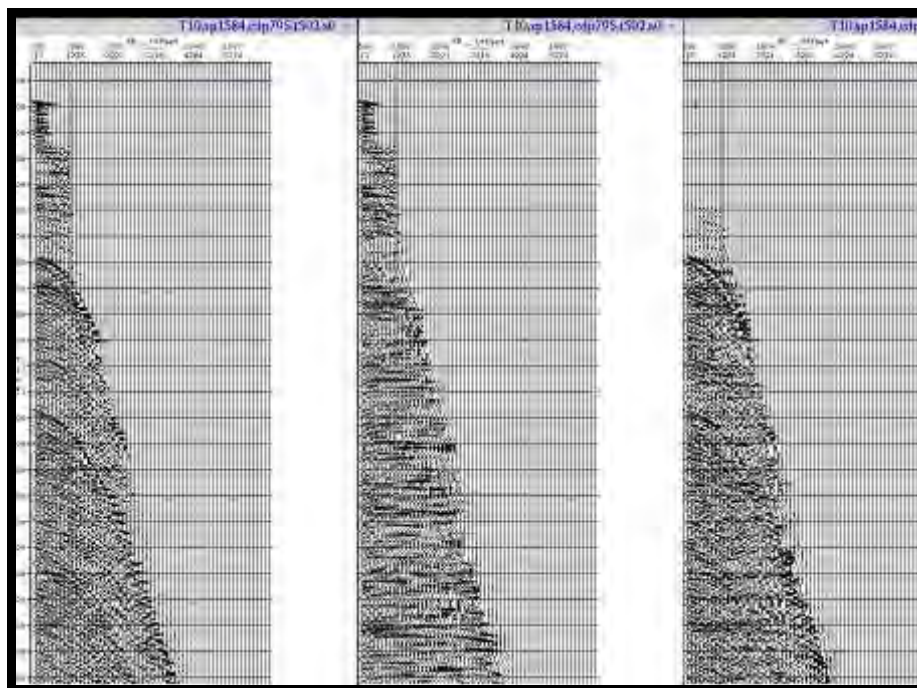


Fig. 4 CDP antes y después de la eliminación de la múltiple y diferencia

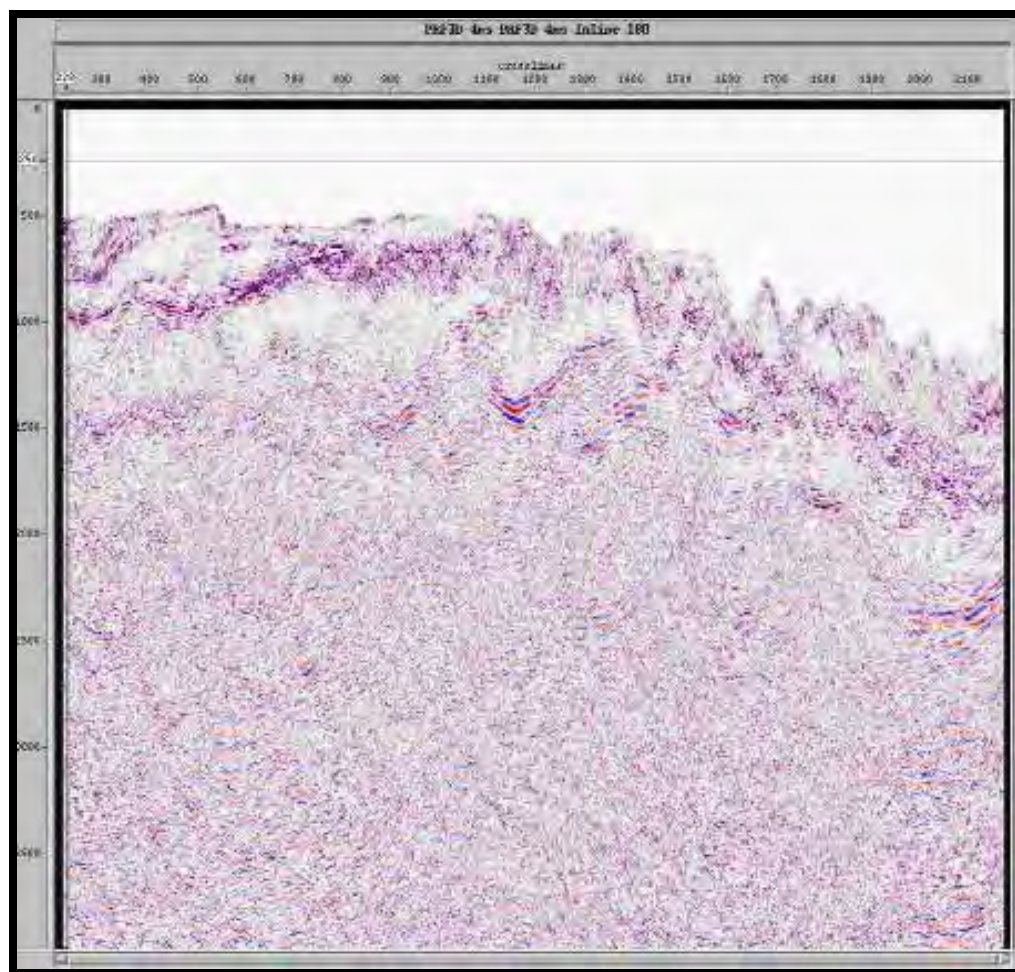


Fig. 5 Migración Pre Suma de la inline 185.

APLICACIÓN DE LA MAGNETOMETRIA DE ALTA PRECISION DURANTE LA BUSQUEDA DE PETRÓLEO Y GAS

Jorge Luis Perdomo Castillo⁽¹⁾ y José Gandarillas Hevia⁽²⁾

(1) GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina s/n. Regla. Ciudad de la Habana, Cuba. Teléfono 97-8255, 970015-18 Ext. 107, 114 y 118.

(2) Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31. Reparto La Coronela. La Lisa. Ciudad de La Habana, Cuba. Teléfonos 2710644 y 2714331.

RESUMEN

En el trabajo se recogen los resultados del primer Levantamiento Magnético Marino (LMM) ejecutado por la empresa Geocuba Estudios Marinos, en el bloque 6A de la zona de exclusividad económica (ZEE) de Cuba en el SE Golfo de México, a solicitud del CEINPET.

Además de mostrar los resultados del LMM, el trabajo presentado tiene un carácter metodológico para nuestro país. Se describe la secuencia de pasos seguida durante la ejecución del LMM, abarcando desde los trabajos preparatorios, las mediciones experimentales para el emplazamiento de la estación de variación magnética hasta la obtención del mapa de anomalías magnéticas (ΔT_a) solicitado, con la precisión requerida.

Los resultados obtenidos se evalúan por los autores y el cliente, de muy positivos. A partir de las prospecciones de sísmica de reflexión profunda, ejecutada con anterioridad y la magnética encarada con un magnetómetro protónico Overhauser de 0.001 nT de resolución y el GPS, se pudieron precisar los sectores anómalos potencialmente favorables para la perforación de pozos exploratorios o prueba "Gato salvaje", cuyos resultados productivos son muy halagüeños, además de aportar nuevos datos al mapa tectónico-estructural de la región. De la comparación con los resultados de investigaciones magnéticas precedentes en las áreas aledañas y de solapamiento, se obtuvo una correlación totalmente satisfactoria entre todos los datos comparados.

Como conclusión, se demuestra que nuestro país está en condiciones de asumir las investigaciones magnéticas marinas para la prospección y exploración de yacimientos de petróleo y gas en la ZEE, con personal técnico capacitado y tecnologías netamente cubanos, lo que hasta el momento se ha venido ejecutando por compañías extranjeras, esencialmente de Canadá, Francia y España.

ABSTRACT

In the work the results of the application of the Magnetic Marine survey are picked up (LMM) developed by the company Geocuba Estudios Marinos, in the block 6A of the area of economic exclusivity (ZEE) of Cuba in the SE Gulf of Mexico, like part of the general studies foreseen to be developed inside the mark of the project: "New exploration of petroleum and gas with own means". The investigations were executed to application of DIGICUPET - Company of Geophysics.

The presented work also has a methodological character for our country. The sequence of steps is described to continue for the execution of each stage of the LMM, embracing from the preparatory works and the experimental mensurations for the location of the station of magnetic variation, until the obtaining of the map of magnetic anomalies (ΔT_a) requested, with the required precision.

The obtained results are evaluated by the authors, as very positive. Starting from the prospectings of seismic of deep reflection, executed previously and the magnetic one faced with a magnetometer proton Overhauser whose sensibility is of 0.001 nT and the GPS, they could be necessary the anomalous sectors potentially favorable for the perforation of exploratory wells or it proves "wildCat" and to contribute new data to the tectonic-structural map of the region. Of the comparison with the results of the investigations magnetic precedents in the nearby and commons areas, a completely satisfactory correlation was obtained among all the compared data.

As conclusion, it is demonstrated that our country is under conditions of assuming all the magnetic investigations for the prospecting and exploration of locations of petroleum and gas in the **ZEE**, with the qualified technical personnel and the new appropriate technologies, what has been come executing for foreign companies until this moment, essentially of Canada, France and Spain.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la enorme importancia que para el desarrollo económico de país tiene la exploración petrolera y el descubrimiento de nuevos yacimientos de hidrocarburos, desde mediados de 1999 el gobierno cubano tomó la decisión de abrir las puertas a la inversión extranjera de todo el archipiélago nacional, incluyendo su zona de exclusividad económica (**ZEE**) en el del golfo de México. En tal sentido, de acuerdo con las fuentes consultadas, se han suscrito contratos de exploración y producción a riesgo con varias compañías extranjeras, esencialmente de Canadá, Francia y España.

En el presente trabajo se recogen los resultados del **LMM** para la búsqueda de petróleo y gas, aplicado por la empresa Geocuba Estudios Marinos, en el sector oriental de la **ZEE** comprendido entre la bahía de Cabañas, provincia de Pinar del Río y la desembocadura del río Almendares en Ciudad de la Habana. Las investigaciones se realizaron a solicitud del Grupo de campos potenciales de DIGICUPET, unidad científico técnico subordinada al Centro de Investigación de Petróleo (**CEINPET**) de la Unión CUPET, y se enmarcan dentro del proyecto: "**Nueva exploración petrolera con medios propios**". Consultar Figura. No. I.

El trabajo presentado tiene además un carácter metodológico para nuestro país, pues constituye la primera experiencia netamente cubana en la ejecución de investigaciones magnéticas marinas con medios propios para la búsqueda de yacimientos de hidrocarburos, en la **ZEE** del sureste del golfo de México. En esta oportunidad además de los resultados obtenidos, haremos énfasis en la metodología específica empleada para dar solución a los objetivos propuestos, entre los cuales se incluyeron:

- Confeccionar el mapa de anomalías magnéticas de la intensidad total (ΔT_a) para todo el sector investigado con una precisión tal, que permita revelar anomalías locales similares a las obtenidas sobre el pozo exploratorio Basilio, representadas por valores positivos del campo, a fin de evitarlas durante las perforaciones.
- Estudiar la coincidencia de estas anomalías locales con las estructuras reveladas por la sísmica profunda.
- Contribuir con estos nuevos datos al mapa tectónico de la región.
- Contar con datos magnetométricos precisos, para determinar mediante modelaje los parámetros de yacencia de los cuerpos causantes de tales anomalías.
- Sobre la base de los resultados sísmicos y magnéticos, seleccionar las zonas más favorables para ubicar los pozos de exploración o prueba, conocidos en el argot petrolero como "**Gato Salvaje**"

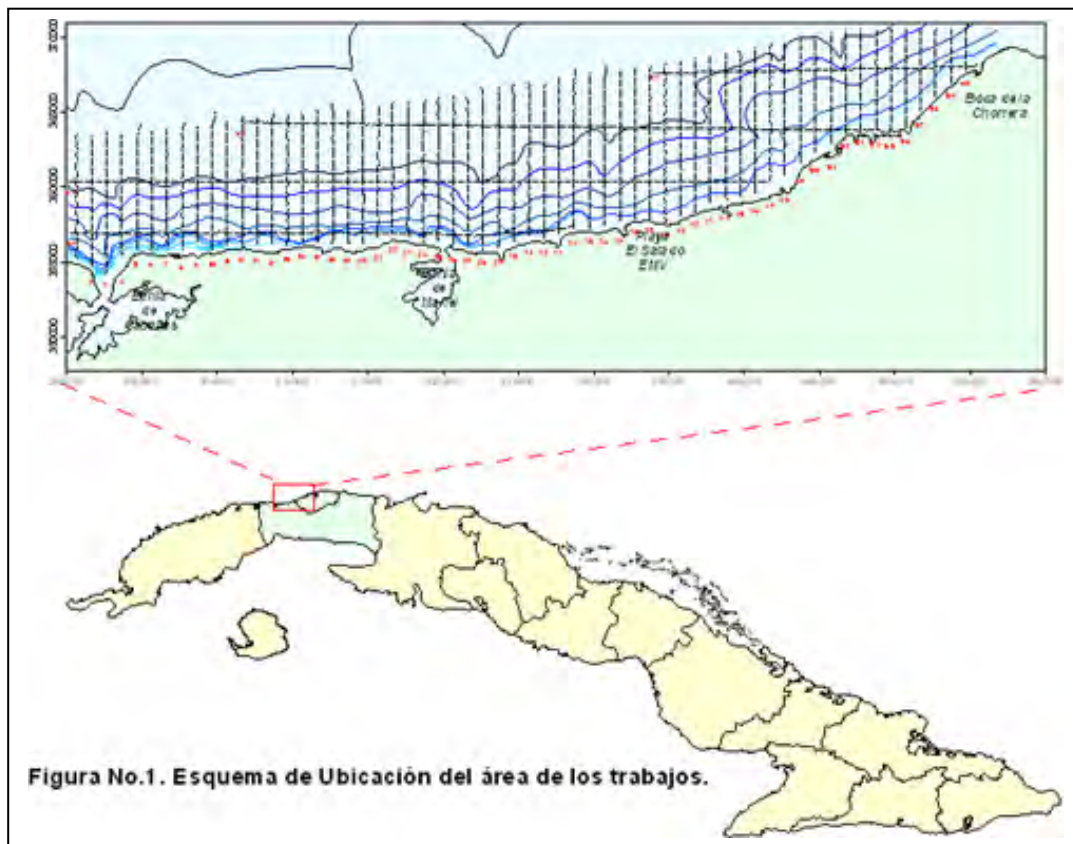


Figura No. 1. Esquema de ubicación del área de los trabajos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la preparación del presente trabajo se utilizó como material básico, toda la información geofísica e hidrográfica obtenida de la aplicación del **LMM** y la Batimetría acompañante en el sector estudiado. En esta ocasión el trabajo consistió en la adquisición, procesamiento e interpretación de 825 Km lineales de perfiles magnéticos de investigación, incluyendo la medición de las profundidades hasta el fondo marino.

Para el **LMM** se empleó un magnetómetro protónico Overhauser SPY, de 0.001 nT de resolución y un ciclo de medición de 3 s. La distribución de los perfiles de observaciones se corresponde con la exigida en la tarea técnica recibida. Con una separación promedio de 1 y 4 Km, para los perfiles longitudinales (N-S) y transversales (E-W) respectivamente.

Conjuntamente con las observaciones de **T** se obtuvieron las profundidades del fondo marino hasta los 35 m, alcance máximo del ecosonda **SI-TEX HE 203** empleada como apoyo a la seguridad de la navegación y la interpretación cualitativa y cuantitativa del campo geopotencial.

La localización geográfica de los perfiles magnéticos y batimétricos, se efectuó con un GPS Magellans con una precisión de ± 5 m en cada medición individual.

Como el trabajo presentado constituye una exposición de una metodología propia para la realización de los **LMM**, a continuación detallaremos brevemente la secuencia de pasos empleada:

1. Recepción y análisis de la solicitud de investigación técnica emitida por los especialistas del grupo de campos potenciales de DIGICUPET. Esto incluyó la recopilación de toda la información disponible sobre investigaciones geólogo-geofísicas precedentes en el área de trabajo, para la confección del mapa de grado de estudio y el Proyecto Técnico Organizativo.

En este sentido fueron realizadas varias reuniones técnicas entre los especialistas del Grupo de campos potenciales (cliente) y de GEOCUBA Estudios Marinos (ejecutor) para debatir y esclarecer aspectos de gran interés para ambas partes y el desarrollo exitoso de los trabajos solicitados. Estos aspectos una vez definidos fueron incluidos dentro de las especificaciones técnicas de las investigaciones y anexados al contrato.

2. Trabajos preparatorios en la base y embarcación de trabajo (Geomar II).
3. Contratación o calibración de todos los equipos magnetométricos a emplear. Para este objetivo los equipos fueron llevados al observatorio magnético Habana, del Instituto de Geofísica y Astronomía y se reajustaron o comprobaron los parámetros técnicos principales (sensibilidad, ciclos de medición, precisión, valor de control), quedando aptos todos para los trabajos.
4. Propuesta y selección, a partir de mediciones experimentales, del punto de emplazamiento de la estación de variación magnética (**EVM**) en el área de trabajo, teniendo en cuenta su vinculación con la zona de influencia del efecto costero.

Para la corrección de los datos magnéticos obtenidos por las variaciones temporales del campo se empleó un magnetómetro protónico Elsec 7704, con el que se registró la intensidad del campo total a intervalos de 3 segundos. Este equipo estuvo ubicado durante la campaña de campo, en una base fija situada en las inmediaciones de la playa "El Salado" perteneciente a la Villa Cocomar, de la corporación Cubanacan.

5. Mediciones experimentales en la zona de ubicación de la **EMV**. Con todos los equipos a emplearen el **LMM**, para valorar el comportamiento real de las variaciones diurnas (según las especificaciones técnicas) y comprobar la estabilidad de las mediciones con los equipos, ya en las condiciones específicas del área de trabajo. Consultar Figura. No. 2.

En tal sentido los magnetómetros de la **EMV** y **LMM** registraron de forma simultánea (6 horas) las variaciones diurnas del campo magnético total (**T**) con los sensores ubicados más de 25 m de distancia uno del otro, esta operación nos permitió:

- Determinar el intervalo óptimo de registro de las variaciones.
- Calcular el error cuadrático medio de las variaciones.
- Sincronizar los equipos por el GPS y determinar las diferencias entre los ciclos de medición seleccionados.
- Trabajos de mar que incluyeron:
- Comunicación con la **EMV** para obtener información sobre el comportamiento de las variaciones temporales del campo magnético.
- Mediciones especiales para la determinación de la distancia óptima de remolque (o arrastre) del sensor del magnetómetro Overhauser.
- Mediciones especiales (Calibración) por el método de "La Estrella" para la determinación de las correcciones por desviación (Rumbos), al comienzo y final del **LMM**.

- Levantamiento magnético marino **LMM**. La variante empleada en la investigación, fue la de magnetómetro a remolque. La distancia del centro geométrico del captador magnético de medición a la antena del receptor GPS fue de 116.0 m y la profundidad de inmersión variable entre 2.0 y 5.0 m, en función esencialmente de la velocidad de la embarcación de trabajo y de la intensidad y dirección de las corrientes marinas. Las mediciones marinas comenzaban y terminaban en un **perfil de control** ubicado cercano a la basificación (bahía del Mariel).

El perfil de control (**PC**) se ubicó en una zona de campo magnético tranquilo, alejado de las perturbaciones magnéticas industriales o fuentes artificiales, como artefactos u objetos ferrosos sumergidos, embarcaciones, grandes edificaciones de estructura metálica próximas a la costa y otras. Este **PC** nos permitió:

- Valorar la estabilidad y capacidad de trabajo del sensor Overhauser y del transductor del ecosonda HE-203.
- Determinar la calidad del cálculo y aplicación de la corrección por variación.
- Valorar la calidad del cálculo y aplicación de la corrección por desviación.
- Determinar el error medio cuadrático de las mediciones en el **PC**.
- Realizar el amarre gráfico del mapa magnético.
- Procesamiento preliminar o control diario de las observaciones de **T**.
- Ploteo y revisión automatizada de las líneas de investigación ejecutadas durante la jornada laboral.
- Control de la profundidad de inmersión de los sensores (magnético y batimétrico)
- Cálculo y evaluación de las divergencias entre los valores de **T**, en los cruces entre las líneas transversales (E-W) y longitudinales (N-S) y en los **PC** al comienzo y final de la jornada diaria.
- En periodos prolongados de mal tiempo o después de la reparación de algún equipo magnetométrico se realizaron mediciones de comprobación o calibración en la **EMV** con todos los equipos disponibles.

Este procesamiento primario nos permitió:

- Corregir o variar el plan de trabajo propuesto.
- Señalar de forma operativa las regiones a detallar.
- Evaluar el cumplimiento del cronograma de ejecución de los trabajos.
- 8. Procesamiento final. Se ejecutó íntegramente en la empresa GEOCUBA Estudios Marinos y consistió básicamente en la aplicación de las correcciones correspondientes a los valores observados de **T**, tales como:
 - Aplicación de la corrección por variación diurna.
 - Aplicación de la corrección por desviación (Rumbos).
 - Corrección por el campo geomagnético de referencia internacional (**T₀**) a los valores de **T** corregidos por variación y desviación, con lo que se obtuvo la anomalía magnética del campo total. Para esto se empleó el modelo IGRF-2000 para la posición y fecha de registro de los datos.
 - Nivelación o compensación de los valores de **ΔT_a**.
 - Confección del mapa de contornos **ΔT_a**.
 - Confección del informe técnico final.



Figura No. 2. Equipos empleados en la Estación Magnética de Variación, playa "El Salado"

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fueron obtenidos los mapas de la distribución real y anómala de la intensidad magnética total para todo el sector investigado, los cuales se representaron a escala 1: 100 000.

A partir de los resultados obtenidos con la metodología específica empleada se demuestra la factibilidad de detectar satisfactoriamente y de manera expresiva las anomalías magnéticas (ΔT_a) con la precisión y todos los requisitos técnicos exigidos. Esto garantiza su interpretación con diversos fines y da una idea sobre las posibilidades de su aplicación científico-práctico.

El mapa de anomalías magnéticas (ΔT_a) confeccionado permitió comprobar las estructuras detectadas previamente con la exploración sísmica profunda y cumplió con las expectativas. Se demuestra a partir de la correlación con los datos sísmicos y batimétricos de las anomalías magnéticas, la posibilidad de ubicar satisfactoriamente los "gatos salvajes". Consultar figura No. 3

Los resultados obtenidos se evalúan por los autores y el cliente, de muy positivos. La veracidad de esta afirmación se demuestra en la práctica, a partir de la comparación de los resultados obtenidos con los alcanzados por investigaciones precedentes en las zonas aledañas hacia el sur, sobre el borde costero y de recubrimiento o solapamiento con **REPSOL YPF** de España, hacia el norte (2.0 Km). En todos los casos se obtuvo una coincidencia totalmente satisfactoria entre los datos comparados.

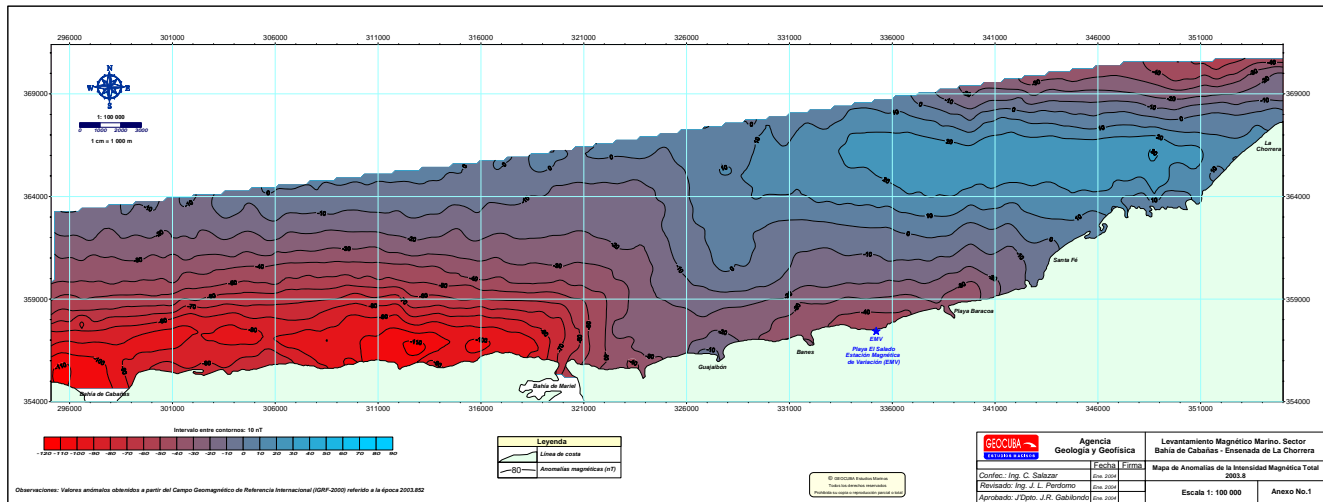


Figura No. 3. Mapa de Anomalías Magnéticas (ΔT_a).

CONCLUSIONES

Sobre la base del análisis de los resultados obtenidos y la información geólogo – geofísica de investigaciones precedentes consultadas fue posible:

- Obtener el mapa de anomalías magnéticas (ΔT_a) del sector investigado con la precisión necesaria para revelar anomalías locales similares a las obtenidas sobre el pozo exploratorio Basilio, a fin de evadirlas durante las perforaciones.
- Demostrar el gran valor práctico de las investigaciones magnéticas sobre los espacios acuosos, en los que el **LMM** es el método más efectivo y barato para el estudio de la estructura geológica de los fondos marinos.
- Contribuir con nuevos datos al esclarecimiento de la tectónica de la región.
- Contar con datos magnetométricos precisos para determinar mediante modelaje automatizado, los parámetros magnéticos y geométricos de los cuerpos causantes de las anomalías obtenidas.
- A partir del estudio de la correlación de las anomalías (ΔT_a) y las estructuras reveladas por la sísmica profunda, se logro ubicar los pozos exploratorios para el descubrimiento de posibles nuevos campos de hidrocarburos. Los pozos de exploración o prueba perforados desde tierra firme hacia el mar con profundidad e inclinación variable, confirmaron y validaron la calidad de los datos registrados reflejados en los planos confeccionados.
- Queda claro y se demuestra con los resultados obtenidos, que nuestro país está en condiciones de asumir todos los trabajos de prospección y exploración magnética marina en la **ZEE**, con la tecnología y el personal técnico adecuados, lo que hasta el momento se ha venido ejecutando en la variante aérea, pero por compañías extranjeras, esencialmente de España, Francia y Canadá.

BIBLIOGRAFÍA

- AQUASCAN Internacional, LTD, 1994. Manual de operaciones del Magnetómetro AX-2000.
Colectivo de autores, 1991. Resultado del levantamiento magnético aéreo del Bloque 9 y Bahía de Santa Clara. Compañía Francesa con el permiso de la TOTAL. Fondo Geológico, Cuba.
Gordón, V, M et al, 1986. Magnetometría Marina (Traducción). Editorial Nedra. 132-200p.
Garmin Internacional, Inc, 1993. Manual de operaciones del GPS Garmin.

- Little More Corporation Cientific Ingeniering. Manual de operaciones del Magnetómetro protónico marino 7704.
- Marine Magnetics Corporation. Manual de operaciones del Magnetómetro protónico marino **Overhauser SeaSPY**.
- Perdomo, J.L, 2004.Resultado del levantamiento magnético marino para la búsqueda de petróleo y gas. Sector bahía de cabañas-ensenada de la Chorrera. Empresa GEOCUBA Estudios Marinos, Ciudad Habana, Cuba.
- Perdomo, J.L, 2004.Proyecto Técnico Organizativo. Levantamiento magnético marino para la búsqueda de petróleo y gas. Sector bahía de cabañas-ensenada de la Chorrera. Empresa GEOCUBA Estudios Marinos, Ciudad Habana, Cuba.
- W Fishers MFG, Inc.Manual de operaciones y mantenimiento del Magnetómetro protónico marino **PROTÓN – 3**.



MODELO DE VELOCIDADES SISMICA DE CUBA ORIENTAL

Raúl Palau Clares, Bladimir Moreno Toirán y Miguel Ángel Blanco Rodríguez

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. CENAIIS

RESUMEN

El presente estudio determina un modelo de velocidades de ondas sísmicas unidimensional muy útil en la rutina diaria de análisis de datos para la localización geográfica de los eventos sísmicos y como modelo inicial para los estudios de tomografía sísmica 3D. Para determinar el modelo de velocidades se utilizó el catalogo cubano de terremotos desde 1998 hasta el 2004, la zona escogida para el estudio se encuentra ubicada en la parte oriental de la isla de Cuba, específicamente entre los 19.80-21.00 latitud norte y los 74.33-77.00 longitud oeste. De un total de 209 eventos locales, fueron seleccionados 117 eventos con tiempo residual (RMS) entre 0-1 segundo, ángulo residual de cobertura de estaciones sismológicas (GAP) entre 0-180 grados y registrados por 3 o más estaciones. Se obtuvo un modelo de velocidades compuesto fundamentalmente por tres capas; una capa superficial de un espesor de 1 km con una velocidad promedio de la onda P de 3.6 km/seg, una capa intermedia de 6 km de espesor con una velocidad promedio de 5.8 km/seg y una capa inferior de 13 km de espesor con una velocidad promedio de 6.9 km/seg. Los resultados sugieren una corteza predominantemente de transición con una espesor promedio de 20 km.

ABSTRACT

This study determines a one-dimensional seismic velocity model to be used in the daily routine of earthquake data for the geographical localization of the seismic events as well as initial model for 3D seismic tomography studies. In order to calculate the velocity model, the Cuban earthquake catalogue from 1998 until the 2004 was used. The chosen area for the study is located in the eastern part of the Cuban Island, specifically between 19.80-21.00 north latitude and 74.33-77.00 west longitude. From a total of 209 local events, 117 events with RMS between 0-1 seconds, GAP between 0-180° and recorded for 3 or more stations were selected. The obtained velocity model has mainly three layers. A shallow layer with a 1 km thickness and P-wave velocity of 3.6 km/sec, an intermediate layer with a 6 km thickness and P-wave velocity of 5.8 km/sec and a bottom layer with a 13 km thickness and P-wave velocity of 6.9 km/sec. The results suggest a transitional crust with an average thickness of 20 km.

INTRODUCCION

La Falla Oriente (OF) representa la mayor amenaza sísmica en el territorio Cubano. Esta define un segmento de frontera de placa entre la placa de Norte América y la placa del Caribe dominada por deformaciones de deslizamiento por rumbo (strike-slip) (Figura 1). Gran parte de esta deformación se concentra en la zona de transtensión y transpresión, tal como la cuenca de Cabo Cruz (CCB) y el Cinturón Deformado de Santiago (SDB). Esta zona de falla forma parte del sistema Bartlett-Cayman, y es responsable de más del 90% de la sismicidad y de los terremotos más destructivos observados en el territorio cubano. Según datos históricos han ocurrido 20 terremotos fuertes durante los últimos 400 años con intensidad VII o superior en la escala MSK (Alvarez et. al., 1973). Terremotos de magnitud mayor que 7 han ocurrido en esta zona, como es el caso de los terremotos de 12 de Junio de 1766 y 20 de agosto de 1852. El terremoto fuerte más reciente de esta área ocurrió el 25 de mayo de 1992 con una magnitud (Ms) de 6.9, con epicentro en CCB (Perrot et. al., 1997).

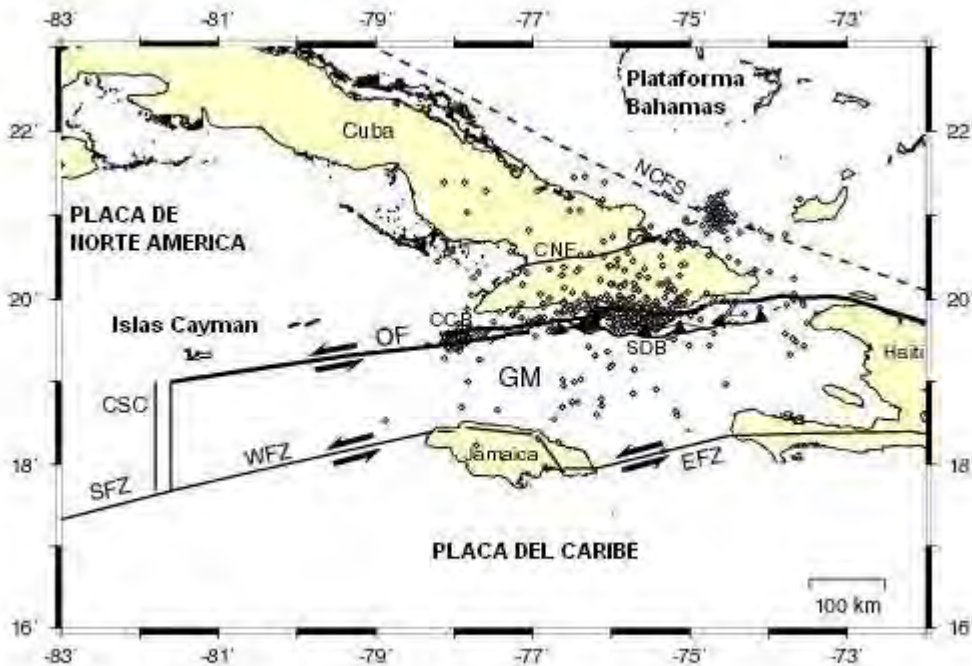


Figure 1. Equema sismotectónico de Cuba Sur-oriental tomado de Moreno et al., 2002. OF- Falla Oriente; WFZ – Zona de Falla Walton; EFZ – Zona de Falla de Enriquillo; CNF – Falla Cauto Nipe; NCFS – Sistema de Fallas Nortecubanas; SFZ- Zona de Falla Swan; CSC – Centro de generación de corteza Cayman; GM- Microplaca de Gonave; CCB- Cuenca de Cabo Cruz; SDB- Cinturón Deformado de Santiago. Las líneas discontinuas representan trazas de fallas asumidas. Círculos muestran 569 eventos sísmicos registrados por 3 o más estaciones entre Marzo de 1998 a Julio del 2000.

Estudios previos de la corteza en Cuba y zonas aledañas han sido realizados con el uso de perfiles sísmicos y mediciones gravimétricas (Ewing et al., 1960; Edgar et al., 1971; Goreau, 1983; Calais & Mercier de Lépinay, 1990, 1991; Case et al., 1990; Donnelly T.W., 1994). La mayoría han sido enmarcados en el área del mar caribe entre Cuba y Jamaica. Otros estudios han caracterizado el interior de la isla (Bush & Shcherbakova, 1986). La zona del mar Caribe entre Cuba y Jamaica tiene una estructura bastante compleja con variaciones laterales en velocidad de la onda sísmica y espesor irregular de la corteza oceánica. El espesor de la corteza varía entre 5 y 20 km excluyendo la profundidad del agua (Case et al., 1990). Según estudios de refracción sísmica, la velocidad de la onda P muestra variaciones laterales de 7,8 km/s a 8,2 km/s en el manto superior y de 5,4 km/s a 6,4 km/s en la capa basáltica de la corteza (Ewing et al., 1960). El interior de la isla está caracterizado principalmente por una corteza de transición con un rango de espesor entre 17 a 30 km (Bush & Shcherbakova, 1986). Según Bush & Shcherbakova (1986) la corteza de Cuba Oriental se puede dividir en tres capas: (1) Una capa sedimentaria volcánica con velocidad de la onda P de 4,0 a 4,8 km/s; (2) Una capa superior de corteza consolidada (5.8- 6,4 km/s); y (3) Una capa inferior de corteza consolidada (6.3- 6,7 km/s). Moreno et al., (2002) determinó un modelo de velocidades para la zona del mar Caribe entre Cuba y Jamaica por lo que el presente estudio se enmarca en el interior de la isla de Cuba, particularmente en la zona oriental. El objetivo principal del trabajo era determinar un modelo de velocidades tridimensional pero la cantidad de eventos sísmicos disponible no permitió



una densidad adecuada de rayos sísmicos para este tipo de cálculos. El presente estudio determina un modelo de velocidades unidimensional muy útil para la localización geográfica de los eventos sísmicos.

FUENTES DE DATOS

La red de estaciones sismológicas de Cuba está formada por 8 estaciones asistidas (con personal 24 horas) localizadas a lo largo de la isla de las cuales 7 son estaciones de banda ancha (0.05Hz – 20Hz) y una de período corto (1 Hz -12Hz). También existen cinco estaciones telemétricas de 3-componentes y período corto concentrada en la parte oriental de Cuba. Todas las estaciones están sincronizadas por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Más información acerca de la red puede ser encontrada en Moreno (2002).

Para establecer el modelo de velocidades 1-D usado en la determinación de hipocentros se utilizó el catálogo cubano de terremotos desde 1998 hasta el 2004, la zona escogida para el estudio se encuentra ubicada en la parte oriental del archipiélago cubano específicamente entre los 19.80-21.00 latitud Norte y los 74.33-77.00 longitud Oeste (Figura 2). De un total de 209 eventos locales registrados por las estaciones, fueron seleccionados 117 eventos con RMS entre 0 y 1 segundo, GAP entre 0 y 200 grados y registrados por 3 o más estaciones. El criterio de selección está basado en el residuo medio (root mean square RMS) de la diferencia entre los tiempos de llegada teóricos y reales y la cobertura (GAP) de estaciones que registraron el evento. El área de estudio enmarca 5 estaciones de banda ancha, Río Carpintero, Maisí, Moa, Cascorro y Las Mercedes, una de período corto, Holguín y 5 estaciones telemétricas, también de período corto, Cies, Sabaneta, Yarey, Pinares y Guantánamo. Todos los datos seleccionados fueron reanalizados lo cual significó inspeccionar la traza sísmica de cada registro. Un listado de los eventos sísmicos usados en este estudio está mostrado en el anexo 1.

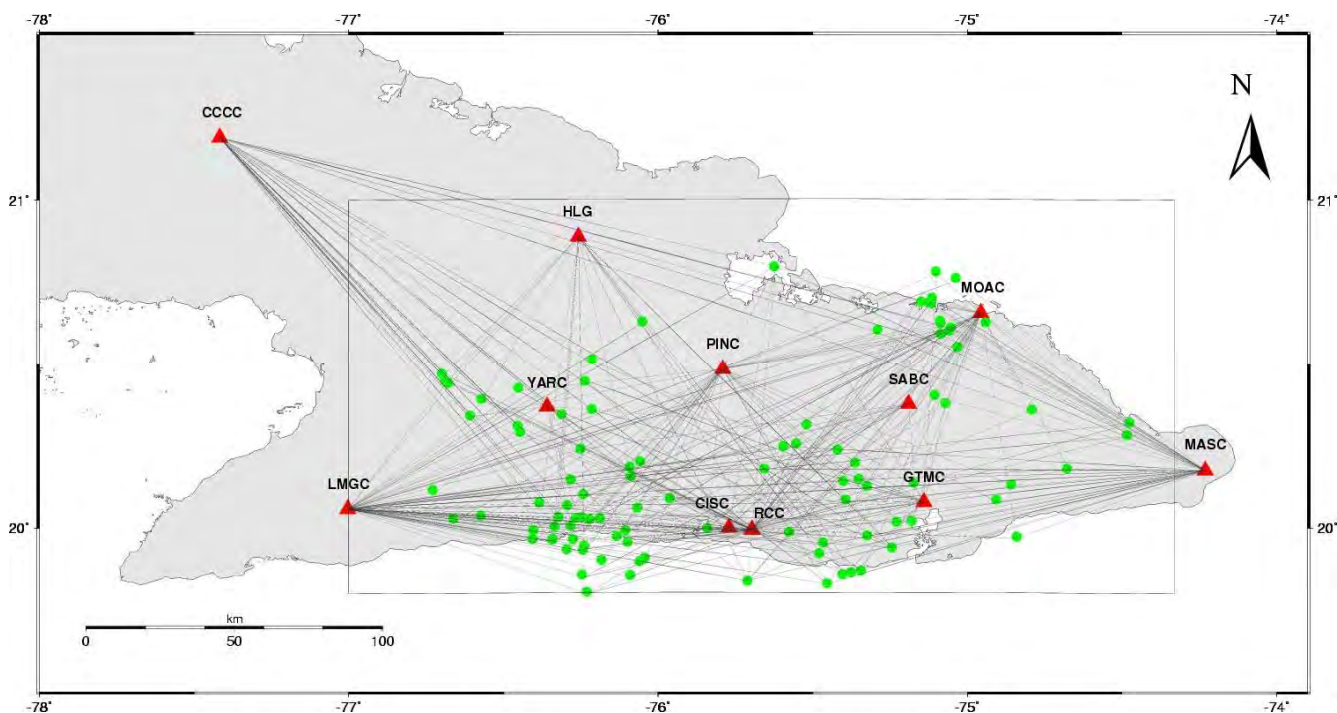


Figura 2. Trayectoria de los rayos sísmicos en la zona de estudio. Los círculos representan los epicentros y los triángulos representan las estaciones. El rectángulo enmarca el área de estudio.



MATERIALES Y METODOS

La herramienta usada en este estudio fue el programa VELEST (Kissling et. al., 1995). El mismo es una rutina escrita en FORTRAN77 diseñada para derivar un modelo unidimensional (1D) de velocidades que puede ser usado en la localización de terremotos y como modelo de referencia inicial para estudios de tomografía sísmica (Kissling 1988; Kissling et al., 1994). Originalmente fue escrito en 1976 por W.L. Ellsworth y S. Roecker para estudios de tomografía sísmica con el nombre del programa HYPO2D, Ellsworth (1977). En 1984 E. Kissling y W. L. Ellsworth después de modificaciones del flujo estructura y la implementación de nuevas opciones lo usaron para calcular el óptimo modelo de velocidades que mejor ajuste en localizar terremotos y tomografía sísmica 3-D del área de Long Valley, California. Desde entonces se ha aplicado VELEST a diferentes áreas en California, Alaska, Wyoming, Utah, y Alps (Kissling 1988; Kissling & Larh, 1991).

Una detallada explicación del problema del acople hipocentros-modelo de velocidad puede ser vista en Crosson (1976), Ellsworth (1977), and Thurber (1992). VELEST como programa aplicado a un problema no lineal puede trabajar en dos modos: (1) Simultáneo y (2) Simple. En el modo simultáneo resuelve el problema del acople Hipocentros-Modelo de velocidades para terremotos locales y explosiones y para un modelo de velocidades y corrección de estaciones invariables, VELEST realiza la determinación conjunta de hipocentros (JHD). En el modo simple realiza la localización de terremotos y explosiones.

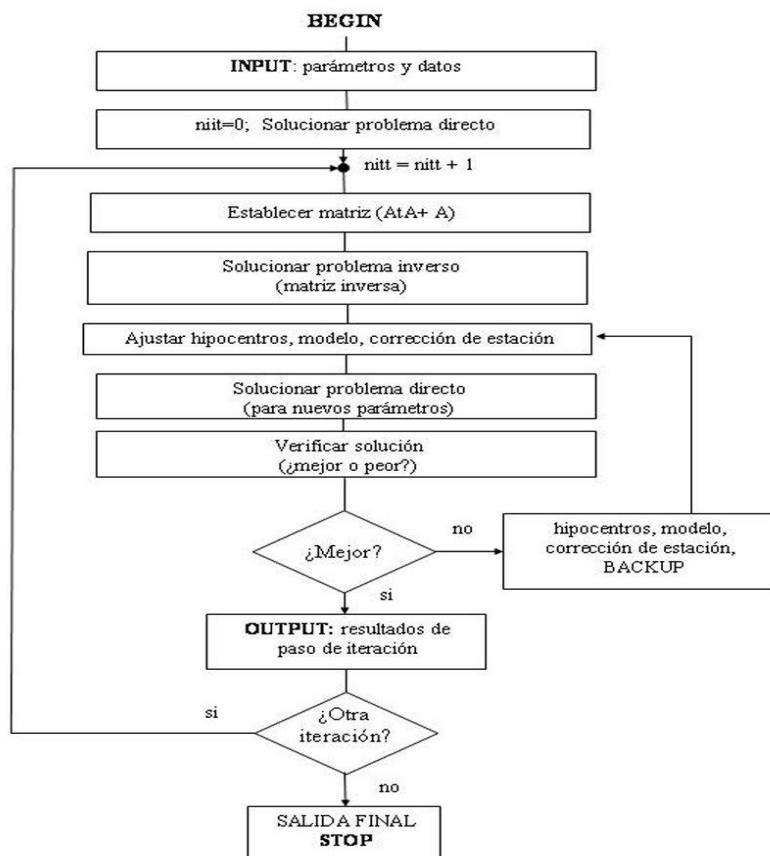


Figura 3. Diagrama de flujo del programa VELEST



El modelo consiste en una serie de capas de velocidades de ondas sísmicas y correcciones de estaciones. En ambos modos el problema es resuelto usando teoría de trayectoria de rayos sísmicos (ray tracing) de la fuente al destino, calculando los rayos directo, refractado y opcionalmente reflejado que pasan a través del modelo de velocidades. El problema inverso es resuelto por medio del mínimo cuadrado de la inversión completa de la matriz $[AtA + L]$, donde A es la matriz jacobiana, At es la matriz transpuesta y L la matriz amortiguada (damped matrix). Debido a que la inversión es no-lineal, la solución es obtenida de forma iterativa (Figura 3).

VELEST no está exento de las principales limitaciones encontradas en la inversión de problemas no lineales. En primer lugar está la gran variedad de soluciones que pueden satisfacer el problema inverso. La solución depende del modelo de velocidades inicial y la ubicación de los eventos que inicialmente se usen para el proceso iterativo. VELEST define un gran número de variables de control que deben de ser modificadas en un largo proceso de prueba y error. También se debe de tener cuidado en la selección del espesor de las diferentes capas del modelo de velocidades. Este proceso se hace manualmente ya que VELEST no tiene la posibilidad de cambiar los espesores de las capas de forma automática.

RESULTADOS

Modelo de Velocidades

El problema del acople hipocentro-velocidad se resolvió con el método del "Joint-Hypocentre-Determination" (JHD) usando ambos tiempos de la llegada de las ondas P y S. La solución fue obtenida por un proceso de prueba y error con varios modelos de velocidades iniciales y con combinaciones diferentes de factores de amortiguamiento.

La relación V_p/V_s (cociente de velocidades entre la onda P y onda S) es un parámetro importante usado en el algoritmo de inversión. El cálculo de este valor se realizó con el diagrama de Wadati del sistema SEISAN (Havskov & Ottemöller 1999). Para los eventos seleccionados se obtuvo una V_p/V_s de 1,74 con una desviación standar de 0.05. Una estación de referencia, que mantiene su coeficiente de ajuste inicial, (normalmente cero) también se requiere para el proceso de inversión. Considerando la distribución espacial de los terremotos y el número de observaciones, se seleccionó RCC como la estación de referencia. Esta estación tiene más del 95% de las lecturas totales y está localizada cerca de la zona más activa.

La solución del problema inverso depende fuertemente del modelo inicial e hipocentros iniciales. Como modelo inicial se seleccionó el obtenido por Moreno et al (2002) (Figura 4). Sólo un 50% de los eventos sísmicos seleccionados tenía inicialmente un RMS menor que 0.5, por lo que se hicieron varias corridas de VELEST usando cada vez, más terremotos y un modelo inicial diferente. Después de cada corrida se usó el modelo de velocidad obtenido, para relocalizar todo el catálogo y como nuevo modelo de entrada para la próxima corrida. Ese procedimiento permitió que aumentara el número de terremotos con bajo RMS y entonces usarlos como datos iniciales para la próxima corrida. Finalmente se obtuvo más del 90% de los datos con RMS menor o igual a 0,5 y un probable modelo final (Figura. 4). La figura 4 muestra además el modelo de velocidades de onda P obtenido por Moreno et al.,(2002). Ambos modelos son similares con algunas diferencias en el número de capas superficiales, pero en general las velocidades de cada una de las capas son similares. Esto indica que el modelo obtenido por Moreno et al.,(2002) es bastante representativo para toda la región oriental. Las diferencias entre estos dos modelos consisten en el hecho de que las áreas estudiadas son diferentes. En este estudio solo se incluye la parte de tierra de Cuba Oriental con una mejor

cobertura de estaciones sismológicas y por ende un resultado final más preciso. Moreno et al., (2002) estudiaron toda el área entre Cuba y Jamaica. También hay que señalar que el conjunto de datos usado en este estudio tiene un mayor número de eventos superficiales que el que se usó en Moreno et al., (2002), por lo que existió un mayor control en el proceso de inversión para las primeras capas.

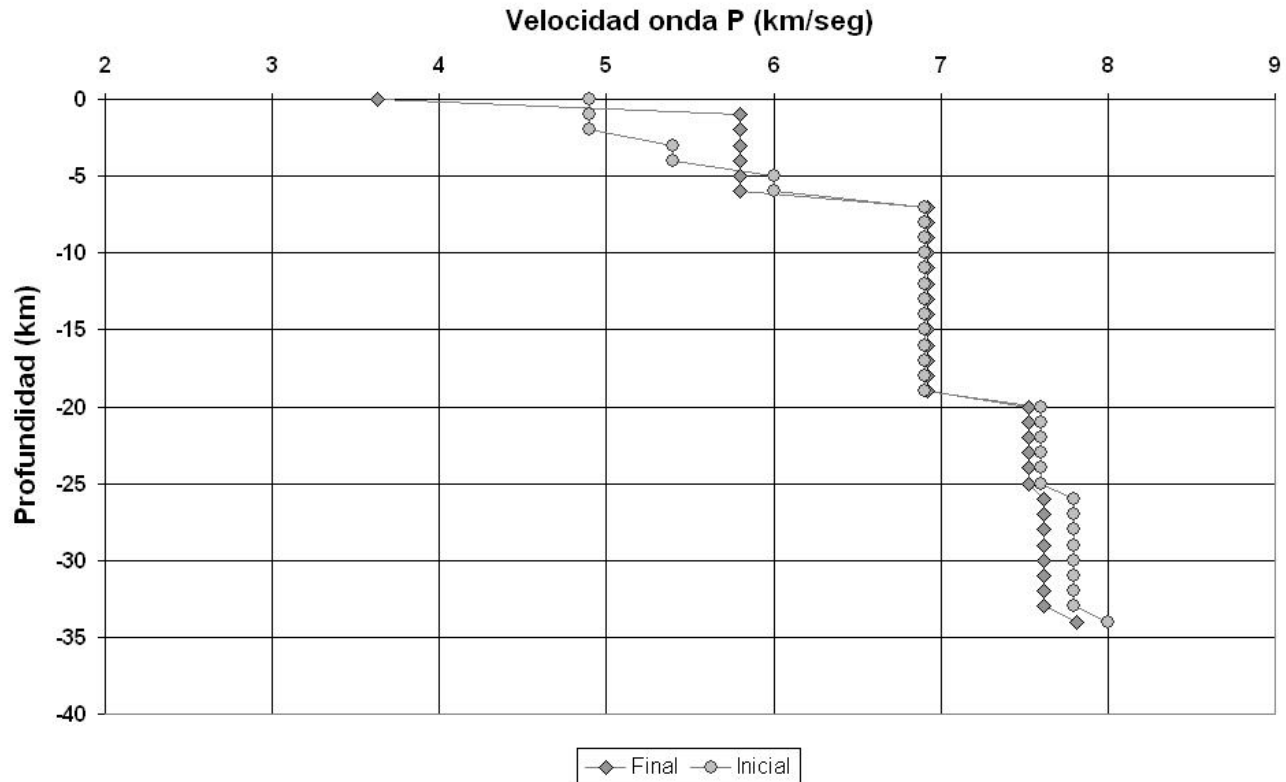


Figura 4. Modelos de velocidades obtenido en este estudio y por Moreno et al., 2002

De que forma la solución converge hacia un mínimo local depende del modelo de velocidad inicial e hipocentros iniciales. Para probar la variabilidad de la convergencia de la solución con respecto al modelo de entrada, se corrió VELEST con varios modelos de entrada diferentes (Figura. 5). Los modelos de entrada no tienen capa más allá de 34 km debido a la conocida sismicidad poco profunda del área y el espesor de la corteza. Las soluciones muestran geometría similar pero variabilidad grande en las velocidades, particularmente en las capas superiores (Figura. 6). Las capas superficiales no convergieron debido al número pequeño de terremotos con profundidades menores que 5 km. La mayoría de los terremotos se generaron a más de 5 km de profundidad. Los rayos provenientes de las capas inferiores penetran sub-verticalmente a las capas superiores, por lo que las longitudes del rayo son más cortas en las capas superiores y por consiguiente, el tiempo de viaje de esos segmentos lleva menos peso en el proceso de inversión. Estos resultados indican que el problema de la inversión tiene una solución espacial con varios mínimos locales.

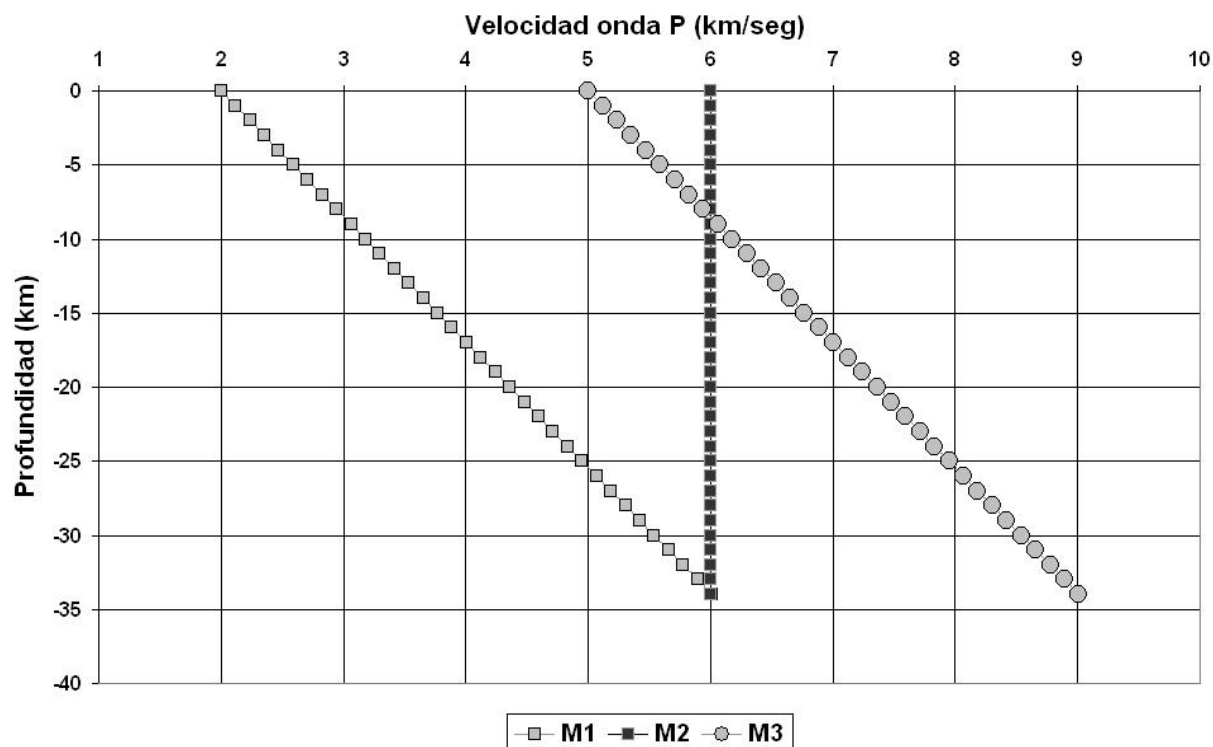


Figura 5. Modelos iniciales para explorar el espacio residual de la inversión

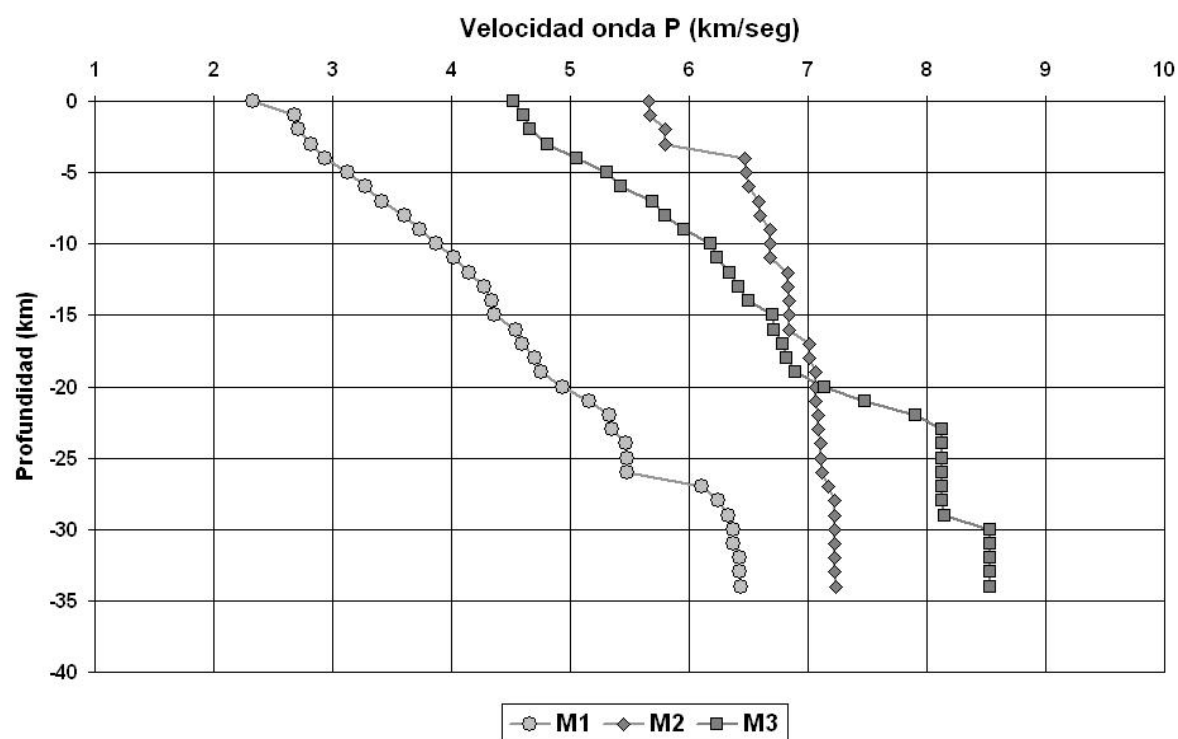


Figura 6. Resultado de la inversión con el uso de los modelos iniciales mostrado en la figura 5



De todas las soluciones alcanzadas la de menor residual medio corresponde a la mostrada en las figura 4 y 7. (Tabla I)

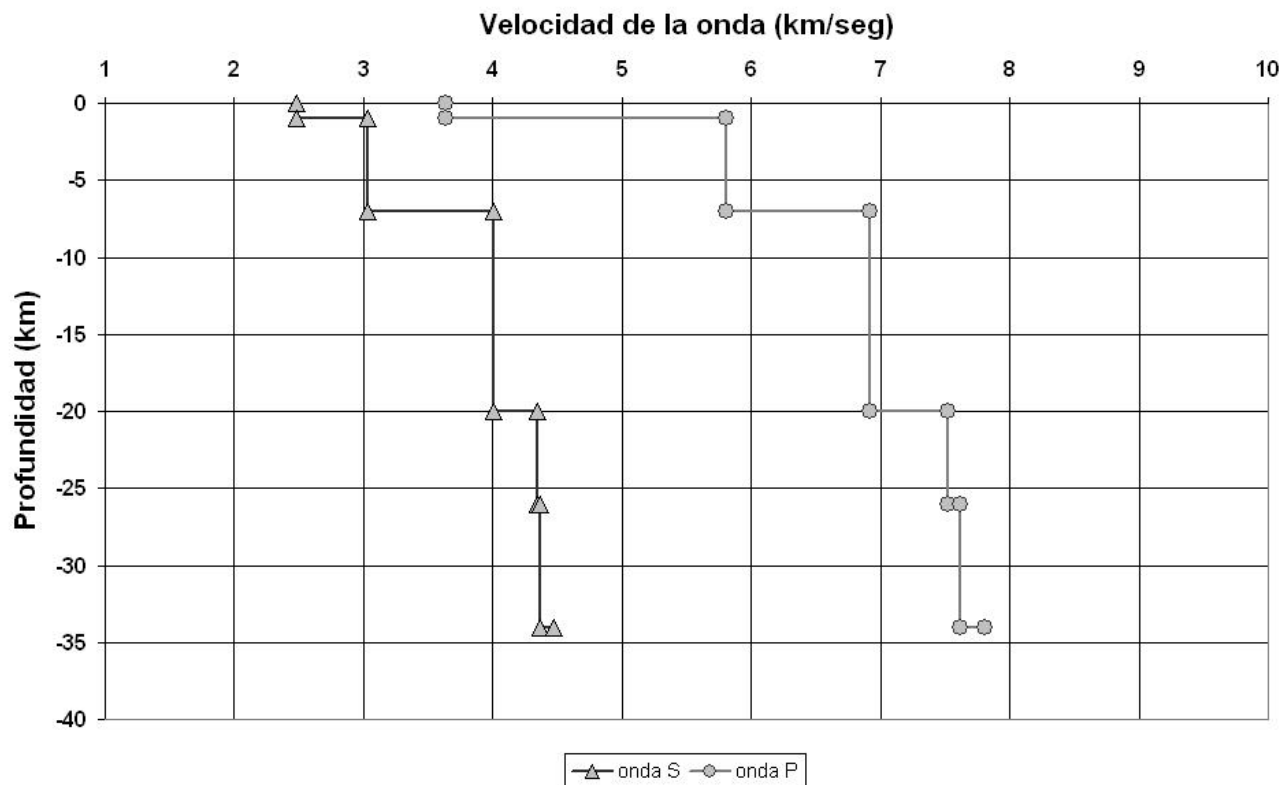


Figura 7. Modelo de velocidades de P y S para Cuba Oriental.

Tabla I. Valores de los modelos de velocidades de la onda P y S para Cuba Oriental

Profundidad (km)	Velocidad onda P (km/seg)	Velocidad onda S (km/seg)
0	3.633	2.485
1	5.802	3.036
7	6.924	4.008
20	7.525	4.347
26	7.619	4.370
34	7.810	4.468

Factores de corrección de las Estaciones

Las correcciones de la estación son residuos del tiempo de viaje de las ondas con respecto a la estación de referencia y representan anomalías locales en la velocidad. El tiempo de retraso de la llegada de la onda P por cada estación (corrección de la estación) se determina conjuntamente con los hipocentros y el modelo de velocidad durante el proceso de inversión. Para determinar las correcciones de la estación para la onda P y S, se corrió VELEST en el JHD modo con el nuevo modelo de velocidad y el mismo juego de datos usado antes. El modelo de velocidad se mantuvo invariable durante el proceso de inversión. La corrección de la onda P para la estación de referencia se mantuvo constante al valor inicial, cero, y para la onda S, se dejó libre para que se ajuste a la relación de V_p/V_s . Los valores que resultan de las correcciones de la estación tuvieron una



variabilidad de -0.37 a 0.12 segundos para la onda P y de -0.49 a 0.45 segundos para la onda S (Tabla II).

Tabla II. Factores de corrección de la estación

Estación	Tipo (No. Comp)	Latitud Norte (°)	Longitud Oeste (°)	Altitud (metros)	Corrección onda P (seg)	Corrección onda S (seg)
CCC	Banda Ancha. (3)	21.1894	77.4170	66	0.11	0.12
RCC	Banda Ancha. (3)	19.9953	75.6965	100	0.0	-0.19
MAS	Banda Ancha.(3)	20.1760	74.2310	350	0.06	0.45
MOA	Banda Ancha.(3)	20.6583	74.9568	50	-0.26	-0.29
LMG	Banda Ancha.(3)	20.0584	77.0029	167	-0.05	-0.18
HLG	Corto Período. (3)	20.8899	76.2576	140	0.12	0.06
CIES	Corto Período. (3)	20.0020	75.7710	90	0.00	-0.08
YARC	Corto Período. (3)	20.3715	76.3584	209	-0.14	-0.49
PINC	Corto Período. (3)	20.4870	75.7910	647	-0.13	-0.16
GTMO	Corto Período.(3)	20.0800	75.1400	55	-0.37	-0.38
SABC	Corto Período. (3)	20.3800	75.1900	400	-0.09	-0.29

DISCUSIÓN

Estos resultados son similares al estudio realizado por Moreno et al., (2002) para toda el área entre Cuba y Jamaica con algunas diferencias en las capas superficiales (Figura 4). Según Tenreyro et al (1994), el oriente de Cuba está constituido por corteza oceánica (costa sur) y corteza transicional (costa norte). En un estudio posterior Otero et al (1998), basado en perfiles sísmicos, datos geológicos y datos gravimétricos, caracterizaron la corteza situada al este de la falla Cauto Nipe (Figura 1) de tipo oceánica (menor que 20 km) y la corteza situada al oeste de esta falla de tipo transicional (entre 20 y 30 km). Por otra parte, en un estudio de publicación más reciente, Moreno (2003), basándose en un análisis de funciones receptoras, sugería la existencia de corteza oceánica en la costa del extremo sur y corteza transicional en la costa norte. Los tres modelos tienen en común la existencia de ambos tipos de corteza en la región de estudio, pero difieren en la descripción de la zona norte oriental. Los modelos de Tenreyro et al (1994) y Moreno (2003) proponen una corteza transicional en esta zona y el modelo de Otero et al (1998) la describe como corteza oceánica. Esta



diferencia se debe principalmente a la falta de información (perfiles sísmicos) en la parte norte oriental ya que el trabajo de Otero et al (1998) hace una interpolación de los datos para esta zona. Los resultados obtenidos en este estudio no entran en contradicción con estudios anteriores.

CONCLUSIONES

El modelo de velocidades obtenido en este estudio (Figura 6) indica la existencia de tres capas fundamentales en la corteza de Cuba Oriental. Una capa superficial de un espesor de 1 km con una velocidad promedio de la onda P de 3.6 km/seg, una capa intermedia de 6 km de espesor con una velocidad promedio de 5.8 km/seg y una capa inferior de 13 km de espesor con una velocidad promedio de 6.9 km/seg. Los resultados sugieren una corteza predominantemente de transición con una espesor promedio de 20 km. Este modelo de velocidades puede ser usado en la rutina diaria de análisis de datos para la localización de eventos sísmicos y como dato de entrada para realizar estudios de tomografía sísmica tridimensional.

REFERENCIAS

- Alvarez, J., Blanco, P., Medvedev, S.V., Menende, L., & Shteynberg, V.V., 1973. The seismic conditions of Santiago de Cuba. *Bull. (Izv.) Acad. Sci. USSR, Earth Phys.* **5**, 320-324.
- Bush, V.A., & Shcherbakova I.N., 1986. New data on the deep tectonics of Cuba. *Geotectonics*, **20**, 192-203.
- Calais, E., & Mercier de Lépinay, B., 1991. From Transtension to Transpression along the Southern Caribbean Plate Boundary of Cuba: implications for the Recent motion of the Caribbean plate, *Tectonophysics*, **186**, 329-350.
- Calais, E., & Mercier de Lépinay, B., 1990. A natural model of active transpressional tectonics: The *en échelon* structures of the Oriente deep along the northern Caribbean transcurrent plate boundary (Southern Cuban margin), *Rev. Inst. Fr. Pét.* **45**, 147-160.
- Case, J.E., MacDonald, W.D., & Fox, P.J., 1990. Caribbean crustal provinces; Seismic and gravity evidence, in *The Geology of North America, The Caribbean Region*, Vol. H, pp. 15-36, ed. Dengo, G. & Case, J.E., Geological Society of America, Boulder, Colorado.
- Crosson, R.S., 1976. Crustal structure modelling of earthquake data, 1, Simultaneous least squares estimation of hypocenter and velocity parameters, *J. Geophys. Res.* **81**, 3036-3046.
- De Mets, C., Jansma, P.E., Mattioli, G.S., Dixon, T., Farina, P., Bilham, R., Calais E., & Mann, P., 2000. GPS geodetic constraints on Caribbean - North American Plate motion, *Geophys. Res. Lett.* **27**, 437 - 440.
- Donnelly, T.W., 1994. The Caribbean Sea Floor, in *Caribbean Geology: An Introduction*, pp. 41-63, U.W.I. Publishers' Association, Kingston.
- Ellsworth, W.L.: Three-dimensional structure of the crust and mantle beneath the island of Hawaii. Ph D thesis, MIT, Massachusetts, USA, 1977.
- Edgar, N.T., Ewing J.I., & Hennion, J., 1971. Seismic Refraction and Reflection in the Caribbean Sea, *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.* **55**, 833-870.
- Ewing J., Antoine J., & Ewing M., 1960. Geophysical measurements in the western Caribbean Sea and in the Gulf of Mexico, *J. Geophys. Res.*, **65**, 4087-4126.
- Goreau P.D.E., 1983. *The Tectonic Evolution of the North-central Caribbean Plate Margin*, PhD Thesis, Woods Hole Oceanographic Institution, WHOI 83-84, 245pp.
- Havskov J., & Otemöller, L., 1999. SEISAN: The earthquake analysis software, Version 7.0, Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Norway, 226pp.
- Kissling, E. 1988. Geotomography with local earthquake data, *Rev. Geophys.* **26**, 659-698.
- Kissling, E., Ellsworth, W. L., Eberhart Phillips, D. & Kradolfer, U. 1994. Initial reference models in local earthquake tomography, *J. Geophys. Res.* **99**, 19635-19646.
- Kissling, E., Kradolfer, U. & Maurer, H. 1995. VELEST user's guide – Short introduction, Institute of geophysics and Swiss seismological service, ETH Zürich, 25pp.
- Kissling, E., & J. C., Larh, 1991. Tomographic image of the Pacific slab under southern Alaska, *Eclogae Geol. Helv.* **84**, 297-315.
- Moreno B., 2002. The new Cuban Seismograph Network, *Seism. Res. Lett.*, **73**, 505-518.



- Moreno, B., Grandison, M., and Atakan, K., 2002, Crustal velocity model along the southern Cuban margin: Implications for the tectonic regime at an active plate boundary, *Geophysical Journal International*, 151, 632-645.
- Moreno, B., 2003. The crustal structure of Cuba derived from receiver function analysis. *Journal of Seismology*, 7, pp. 359-375.
- Otero, R., Prol, J.L., Tenreyro, R. and Arriaza, G.L., 1998. Características de la corteza terrestre de Cuba y su plataforma marina, *Minería y Geología*, 15, pp. 31-35.
- Perrot, J., Calais, E. & Mercier de Lépinay, B., 1997. Tectonic and Kinematic Regime along the Northern Caribbean Plate Boundary: new insights from Broad-band Modeling of the May 25, 1992, Ms=6.9 Cabo Cruz, Cuba, earthquake, *Pure Appli. Geophys.* **147**. 475-487.
- Tenreyro, R., López, J. G., Echevarría, G., Alvarez, J., Sánchez, J. R. (1994). Geologic evolution and structural geology of Cuba. Abstracts AAPG Annual Meeting, June 12- 15. Denver. Colorado.
- Thurber, C.H., 1992. Hypocenter-velocity structure coupling in local earthquake tomography, *Phys. Earth Planet Int.*, **75**, 55-62

PELIGRO SISMICO DE LA REGION DE BAYAMO CONSIDERANDO TIPOLOGIAS LOCALES DEL SUELO

Zulima C. Rivera Alvarez⁽¹⁾, Darío Slejko⁽²⁾, Julio García Pelaez⁽¹⁾, Laura Peruzza⁽²⁾, Alexandro Rebez⁽²⁾ y Marco Santulin⁽²⁾

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Calle 17 No. 61. Entre 4 y 6 Reparto Vista Alegre. Santiago de Cuba. CP 91 400. Cuba. E-mail: zuli@cenaais.cu

(2) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Borgo Grotta Gigante, 42c, 34010 Sgonico, Trieste, Italy. E-mail: dslejko@ogs.trieste.it; lperuzza@ogs.trieste.it; arebez@ogs.trieste.it; msantulin@ogs.trieste.it

RESUMEN

Las estimaciones probabilísticas del peligro sísmico para la región de Bayamo, fueron calculadas teniendo en cuenta las características locales del suelo, a partir de estimaciones conocidas del peligro sísmico regional. Fue propuesta una detallada subdivisión de las condiciones del suelo en términos de categorías tipo del suelo usando el mapa geológico disponible para la región. Fueron seguidas dos aproximaciones computarizadas del peligro dependiente del suelo: la primera implica el uso de relaciones de atenuación suelo-dependiente, la segunda aplica factores de amplificación del suelo para estimados del lecho rocoso.

Para los cálculos fueron utilizadas dos aproximaciones la Europea y la Americana, ambas consideradas y compuestas en una estructura de árbol lógico. Los factores de amplificación de la aceleración horizontal pico para la respuesta del suelo son tomados de los códigos constructivos de Europa y los Estados Unidos. Similarmente son calculados y construidos los mapas de intensidad macrosísmica usando incrementos de amplificación de literaturas Europeas y Americanas. El mapa final fue convertido en un mapa de peligro en términos de intensidad macrosísmica y comparado con el mapa obtenido usando los datos de intensidad e incrementos de amplificación del suelo por intensidad.

El resultado final es un mapa de peligro local de aceleración horizontal pico del suelo, el cual puede ser usado para planeamiento urbano y una detallada estimación del riesgo, al tiempo que el mapa en términos de intensidad macrosísmica da una aproximación inmediata de los posibles daños estimados y puede ser usado con fines de mitigación y prevención del riesgo.

ABSTRACT

The seismic hazard probabilistic estimations for the Bayamo region where computed take into account the local soil characteristics, from very updated regional seismic hazard estimations. Was proposed a detailed division of soil conditions in terms of soil categories using a geological map of the region. Two approaches for site-dependent hazard computation follow: the first implies the use of soil-related attenuation relations, the second applies soil amplification factors to the bedrock estimates.

For this calculation where used two approaches, the American and European, both of then are considered and composed into a logic-tree structure. The amplification factors for horizontal aceleration for soil response where taken from European an U.S building codes. The final map was converted from PGA to seismic hazard according to macroseismic intensity and compared with the map obtained using intensity data and soil-dependent amplification increments for intensity.

The final result is a map with local seismic hazard estimation based of horizontal peak aceleration, which can be use for urban planning, very useful for seismic hazard estimation and natural disaster mitigation and risk.

INTRODUCCION

La ciudad de Bayamo, localizada en la provincia Granma se encuentra muy próxima a la zona sismogénica de Oriente, la cual es la principal zona sismogeneradora que afecta a Cuba, en el contacto entre la placa Norteamericana y la placa del Caribe, por lo cual la ciudad se ha visto afectada por la ocurrencia de sismos fuertes tanto con epicentro en el área como cercanos a la misma. Por estudios probabilísticos en la ciudad de Bayamo se estima la ocurrencia de terremotos de alta magnitud.

El primer evento sísmico reportado en Bayamo es el ocurrido en 1522; desde entonces la ciudad ha sufrido daños otras veces (Chuy, 1999) en 1551 (I=VIII MSK [Medvedev-Sponheuer-Karnik]) y 1624 (I=VII MSK). Los terremotos mas recientes sentidos en Bayamo fueron en 1987 y 1988 (ambos con I=V MSK) y el del 25 de Mayo de 1992 (I=VI MSK).

Son muchos los estudios que se han realizado desde hace algunos años en aras de mejorar los estimados probabilísticos de peligrosidad sísmica, así como los estudios de riesgo sísmico con fines ingenieriles, de planificación y preparación a la población ante terremotos fuertes. El intento del presente trabajo es perfeccionar los estimados de peligro sísmico siguiendo una estimación probabilística para la región de Bayamo, la cual tiene en cuenta las topologías del suelo del área estudiada. La importancia de un mapa de peligro sísmico suelo-dependiente tiene un incremento grande sobre los mapas realizados en años pasados especialmente en los de escala regional (Field and the SCEC Working Group, 2000; Rebez et al., 2001). Este constituye en trabajo preliminar para completar la estimación del riesgo sísmico.

GEOLOGÍA Y TECTÓNICA DE LA REGIÓN DE BAYAMO.

La provincia Gramna ubicada al este de la región oriental de Cuba, tiene como municipio cabecera la ciudad de Bayamo y esta caracterizada por la cercanía a algunas fallas activas significantes, entre las más importantes se encuentran: Cubitas, Cauto Nipe, Baconao y Oriente (Iturralde-Vinent, 1996). Todas estas fallas presentan de baja a media sismicidad con excepción de la falla Oriente, la cual se encuentra a lo largo del profundo sistema de fallas Bartlett-Caimán y es donde se producen los terremotos de mayor magnitud; la sismicidad regional depende de esta falla y representa el borde de la zona entre la placa Norteamericana y la placa del Caribe.

La detallada estimación del peligro sísmico para la región de Bayamo fue preparada acorde a la consolidada aproximación probabilística sismotectónica (Cornell, 1968). Esta aproximación requiere de la definición espacial y la caracterización sísmica de las zonas sismogénicas. El presente estudio se beneficia de los resultados obtenidos por García et al. (2003) ya que aquí usamos el mismo modelo sísmico; la zonación sismogénica fue tomada de previos estudios de Cotilla et al. (1991), Chuy y Alvarez (1995) y Rodríguez et al. (1997).

Esto es posible para establecer las diferencias entre la compleja geología y la tectónica del territorio de Bayamo gracias a las diferentes evoluciones de los años, teniendo en cuenta la edad, la tectónica y las características geológicas. En el área de Bayamo se pueden observar dos importantes estructuras geológicas desde el punto de vista morfoestructural (Nagy, 1983), cada una caracterizada por sus típicas formaciones geológicas: El Anticlinorium de la Sierra Maestra y la Cuenca del Cauto (ver descripción en la **Tabla I y Figura 1**). La primera esta constituida fundamentalmente por rocas

del Arco de Isla del Paleógeno, que transicionan gradualmente a terrígenas y secuencias carbonatadas o ambos y la segunda esta constituida por sedimentos típicos terrígeno-carbonatos Neoplatafórmicos de edad Neógeno-Cuaternario.

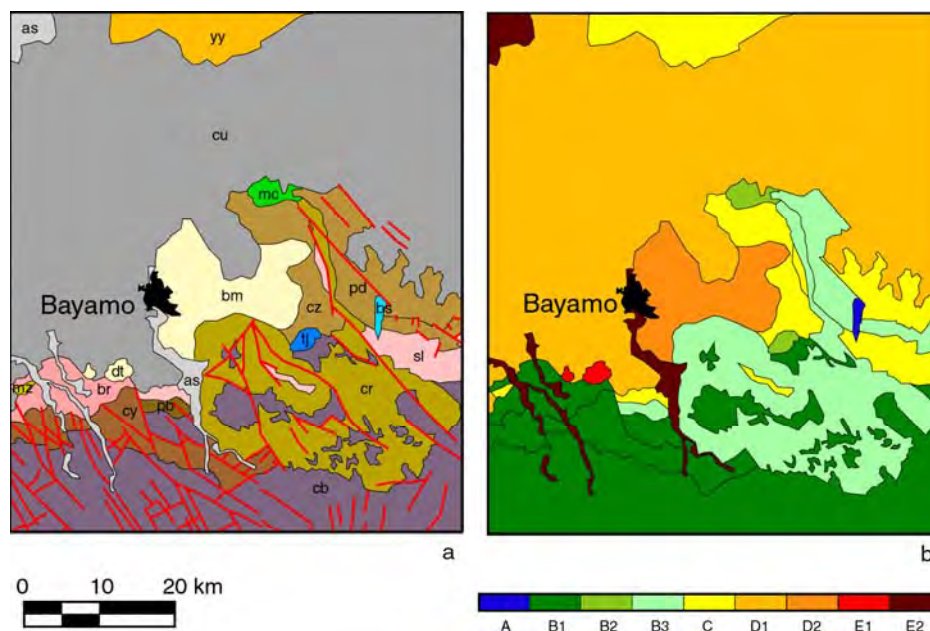


Figura 1: Caracterización geológica de la región de Bayamo. a) mapa geológico regional del área de estudio, b) caracterización de los suelos acorde a la Tabla I.

PELIGRO SÍSMICO DEPENDIENTE DEL SUELO.

Los mapas de peligro sísmico generalmente muestran las sacudidas a esperar en referencia al tipo de suelo (usualmente roca). Los mapas de peligro que tienen en cuenta la respuesta local pueden tener una gran importancia en la planificación urbana (ver Peruzza et al. 2001), para la construcción de los mapas de peligro suelo-dependiente es necesario cuantificar la respuesta local en base a la geología regional (Figura 2).

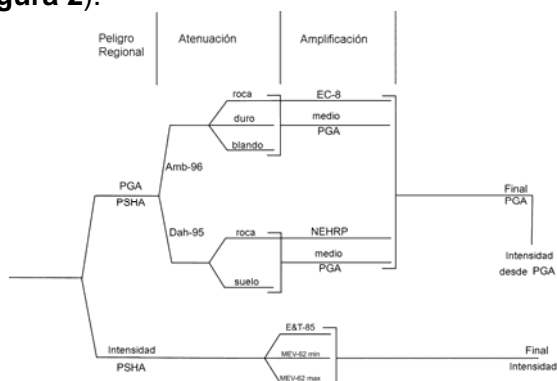


Figura 2: Arbol lógico usado para los estimados de aceleración horizontal pico del terreno (PGA) y su comparación con la intensidad estimada.

La estimación probabilística del peligro sísmico (PSHA) fue computarizada acorde con la aproximación standard de Cornell (1968) y la formulación computarizada de Bender y Perkins (1987). La aproximación de Cornell (1968) se basa en dos hipótesis de trabajo: el tiempo de recurrencia de los terremotos sigue una distribución de Poisson (las llegadas son entonces independientes y el proceso es estacionario en el tiempo) y la magnitud es exponencialmente distribuida (la relación Gutenberg-Richter contenida por magnitud y numero de evento en cada magnitud de clases). En adición la sismicidad es considerada uniformemente distribuida sobre la zona sismogénica.

El método de Cornell (1968) necesita los siguientes datos de entrada: la definición espacial de la zona sismogénica, el registro de sismicidad en términos de promedio del número de terremotos por intervalo de magnitud y la relación de atenuación. La sismicidad fue modelada en términos de gráficos de frecuencia-magnitud computarizando las proporciones individuales en 100 años teniendo en cuenta diferentes periodos de retorno para los rangos de magnitudes diferentes (García, 2001). Los mapas de peligro tienen validez regional y fueron calculados para 475 años del periodo de retorno (90% no excedencia de la probabilidad en 50 años) y para diferentes tipos de suelos considerado las relaciones de atenuación para la aceleración horizontal pico del terreno (PGA) media evaluada y teniendo en cuenta la desviación standard normal de las relaciones.

Para obtener el mapa de aceleración horizontal pico del terreno suelo-dependiente, las características locales del suelo, descritas por las diferentes formaciones geológicas presentes en el área tuvieron que ser asociadas a las principales características de los suelos disponibles en la literatura.

Como no esta codificada una aproximación standard para la construcción de los mapas suelo-dependiente y pueden ser seguidas diferentes metodologías, el árbol lógico de aproximaciones (McGuire, 1977; McGuire and Shedlock, 1981; Kulkarni et al., 1984; Coppersmith and Youngs, 1986) es empleado aquí teniendo en cuenta la incertidumbre epistémica. Mas precisamente, el árbol lógico de decisiones (**Figura 2**) tiene dos ramas: la primera sigue la aproximación standard Europea y la segunda la Americana. A su vez cada rama tiene dos elaboraciones: la primera basada en la relaciones de atenuación suelo-dependiente, mientras la segunda en factores propios de amplificación, son aplicados para su evaluación referidos a roca. Para el cálculo de las sacudidas esperadas la información variada de las tipologías del suelo y la distribución espacial de los diferentes sectores, así como la aceleración horizontal pico esperada fueron asociadas mediante un sistema de información geográfica.

Relaciones de atenuación Europea y factores de amplificación del suelo.

La topología del suelo usada en Europa esta establecida en el código sísmico Europeo EC8 (CEN, 2002) y es derivado de las características de los suelos propuesta en el U.S. por Boore et al. (1993), mas precisamente, el EC8 (CEN, 2002) estipula un listado de cuatro categorías de los suelos (**Tabla II**) acorde con la velocidad de la onda cortante en los 30 m superiores (V_{30}).

Tabla II. Comparación de la clasificación de los suelos entre el NEHRP (BSSC, 2001) y el EC8 (CEN, 2002). A_f es el factor de amplificación.

NEH RP				EC 8			
Clases	Descripción	V_{30}	A_f	Clases	Descripción	V_{30}	A_f
A	Roca dura	>1500	0.8				

B	Roca	760-1500	1.0	a	Roca	>800	1.0
C	Roca blanda	360-760	1.2	b	Suelo duro	360-800	1.2
D	Suelo duro	180-360	1.6	c	Suelo blando	180-360	1.15
E	Suelo blando	<180	2.5	d	Suelo muy blando	<180	1.35

La relación de atenuación del movimiento fuerte de Ambraseys et al. (1996) es basada en las categorías de los suelos del EC8 y fue calibrada con terremotos Europeos. La distancia considerada en la relación es la distancia de la falla, pero para calcular esta distancia fue posible solo con terremotos fuertes, en los otros casos fue usada la distancia epicentral. En la aproximación de Cornell (1968) la sismicidad es uniformemente distribuida sobre el área de la zona sismogénica y difundida para el punto de estudio desde el centro de la masa de los elementos circulares pequeños dentro del cual la zona sismogénica es subdividida. No fueron encontrados bastantes datos para separar suelo blando de suelo muy blando, consecuentemente las relaciones de atenuación fueron definidas solo por tres tipos de suelos diferentes, llamados roca, suelo duro y suelo blando; sin embargo, las curvas empíricas correspondientes a suelo duro y suelo blando son muy similares.

En la **Tabla I** se muestra la asociación entre las formaciones geológicas de la región de Bayamo y los tipos de suelo por Ambraseys et al. (1996) y sus diferencias son reportadas en la (**Figura 1b**). Se puede observar que la región de estudio se caracteriza por un área ancha al norte de suelo blando, incluyendo la ciudad de Bayamo, mientras las rocas que circundan la parte sur oriental de la región de estudio corresponden a las montañas de la Sierra Maestra.

Los mapas de PGA con 475 años de periodo de retorno en el suroeste de Cuba, obtenidos a partir de PSHA para diferentes tipos de suelo (Ambraseys et al. 1996) rocas y suelo blando, se omite aquí el mapa para suelo duro debido a que es prácticamente idéntico al de suelo blando: el radio promedio suelo duro/roca es igual a 1.30 mientras el radio suelo blando/roca es igual a 1.32. La forma general es similar en ambos mapas con los valores mayores localizados en el exterior, los valores esperados son alrededor de 25% menores para condiciones de roca. Enfocando nuestra atención en la ciudad de Bayamo, los resultados son 0.12 g para roca y 0.15 g para ambos, suelo duro y suelo blando. En este punto, resulto fácil obtener el mapa PGA de acuerdo a las diferentes relaciones de atenuación según Ambraseys et al (1996) con 475 años de periodo de retorno calculado acorde a la tipología de los suelos de la **Figura 1b**, simplemente tomando el valor PGA apropiado de acuerdo al tipo de suelo (roca, suelo duro o suelo blando) la sacudida esperada para toda la región varía entre 0.11 y 0.23 g, con valores máximos (excediendo 0.19 g) solo a lo largo de algunos valles de ríos del anticlinorium Sierra Maestra. Prácticamente no se aprecia ninguna variación alrededor de Bayamo (0.15 a 0.17 G).

El código sísmico Europeo EC8 (CEN, 2002) define los factores de amplificación del suelo para 4 tipos fundamentales: saber roca, suelo duro, blando y muy blando, todos con respecto al PGA de la roca patrón. V_{30} fue estimado de acuerdo a las propiedades geotécnicas para las formaciones geológicas en la región de Bayamo, por tanto, las clases de suelo y el factor de amplificación relacionado fueron asignados (**Tabla I y Figura 1b**) de acuerdo a EC8 (CEN, 2002).

Aplicando el factor de amplificación apropiado para los suelos al estimado PGA con 475 años de periodo de retorno en el suroeste de Cuba para roca, fue calculada la amplificación (CEN, 2002) con 475 años de periodo de retorno acorde a la tipología de los suelos de la **Figura 1b**. La parte sur del mapa muestra fuertes semejanzas con el obtenido por las diferentes relaciones de atenuación de Ambraseys et al. (1996) en tanto los valores mínimos pueden ser encontrados ahora en la zona

central y norte. Esto es debido a que el factor de amplificación EC8 para suelo blando es menor que para el suelo duro, siendo esta la diferencia con la relación de atenuación PGA (Ambraseys et al., 1996).

Relaciones de atenuación y factores de amplificación del suelo para América.

Los registros de terremotos fuertes no están disponibles para Cuba, por tanto no existen relaciones de atenuación PGA locales. Entre algunas relaciones de atenuación calibradas a partir de la data de terremotos fuertes registrados en América Central (Douglas. 2001), la propuesta por Dahle et al. (1995) resulta adecuada para nuestras necesidades. En realidad, los registros de zonas de subducción son una parte marginal del set de datos usados y esta relación de atenuación considera dos tipos de suelo (roca y suelo). El comportamiento de la relación de atenuación de Dahle et al. (1995) es diferente al de Ambraseys et al. (1996); mostrando un decrecimiento suave de los valores PGA con relación a la distancia, especialmente en el caso del suelo.

Este aspecto es reflejado en los estimados de peligro obtenidos a través de la aplicación de esta última relación (mapas de PGA con 475 años de periodo de retorno en el suroeste de Cuba según Dahle et al. 1995) el radio promedio suelo/roca de los resultados obtenidos es 1.38. Como consecuencia, los estimados PGA suelo-dependientes son mayores cuando se aplica la relación de atenuación de Dahle et al. (1995) que con la relación de Ambraseys et al (1996) para casi toda el área de estudio.

La mejor concordancia es encontrada en el sector extremo sur, donde los valores de PGA son casi iguales, mientras alrededor de Bayamo la diferencia es alrededor de 0.05 g. Centrando nuestra atención en la ciudad de Bayamo, los resultados son 0.14 g para roca y 0.19 g para suelo.

La topología de suelo usada en U.S. esta establecida en los códigos constructivos y se derivan de la caracterización del suelo propuesta por Borchardt (1994) y formalizadas en el "Programa Nacional para la reducción de Peligro de Terremoto (NEHRP), (BSSC, 1997). Mas preciso, el NEHRP (BSSC, 1997) lista seis categorías de suelos (**Tabla II**) de acuerdo a la velocidad de las ondas superficiales en los 30 metros superiores (V_{30}). Similar a la metodología Europea, las clases de suelo de la NEHRP (BSSC, 1997) fueron asociadas a las formaciones geológicas en la región de Bayamo, de acuerdo a su estimado V_{30} y los factores de amplificación asociados (BSSC, 1997) fueron usados (**Tabla I**). En este caso, los valores de PGA con 475 años de periodo de retorno en el suroeste de Cuba en roca fueron amplificados por los coeficientes de la **Tabla I** obteniéndose el PGA con 475 años de periodo de retorno calculado acorde a la tipología de los suelos de la Figura 1b. Se aprecia que los valores PGA esperados ahora resultan mayores que los equivalentes según los parámetros europeos o en el mapa obtenido a través de las relaciones de atenuación de Dahle et al. (1995). De hecho, el valor PGA esperado ahora excede 0.21 en un área amplia alrededor de Bayamo y se aproxima a 0,5 g en los sedimentos aluviales a lo largo de los valles de los ríos, donde los factores de amplificación de NEHRP (BSSC, 1997) aumentan estos valores en mas de 0.1 g.

PGA y estimado promedio de intensidad macrosísmica.

Como no existe forma de juzgar, cual de los cuatro mapas previos es preferible, se decidió promediar los estimados PGA. El mapa final (**Figura 3a**) muestra que la mayor parte de la región de Bayamo esta caracterizada por valores entre 0.13 y 0.19 g. Un amplio sector SE de Bayamo muestra valores

menores cuando los valores altos (mas de 0.21 g) son esperados a lo largo de los valles de los ríos, los que cruzan la ciudad de Bayamo de Norte a Sur.

Los mapas de peligro sísmico, en términos de intensidad macrosísmica fueron populares en el pasado y resultan vigentes hoy, especialmente en países donde la data de terremotos fuertes no esta disponible. Este es el caso de Cuba, donde los estimados de peligro usados para definir los códigos constructivos (Chuy et al., 1983) son expresados en intensidad macrosísmica en la escala Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK).

Los valores de PGA en la **Figura 3a** fueron, por tanto, transformados en valores de intensidad por el inverso de la relación Murphy and O'Brian (1977) que actualiza los resultados previos de Trifunac and Brady (1975). Como la fuerte incertidumbre introducida cuando usamos relaciones lineales entre PGA e intensidad son bien conocidas (Reiter, 1990), podemos despreciar el prejuicio introducido cuando es usada la formula inversa. La relación Murphy and O'Brian (1977) fue calibrada para el rango desde IV hasta VIII Mercalli (MM) modificada, la cual corresponde a los rangos de PGA entre 0.018 y 0.18 g y puede ser extrapolada hasta X MM porque los valores que ella da están de acuerdo con los valores estimados por relaciones previas (ver detalles en Trifunac and Brady, 1975).

Como las escalas macrosísmicas MM and MSK pueden ser consideradas equivalentes en el rango de interés (Mueller and Mayer-Rosa, 1980), la relación es efectiva para nuestros propósitos. El mapa obtenido es mostrado en la **Figura 3b**, el rango de valores ahora es entre VII-VIII y VIII-IX MM, con puntos de IX MM a lo largo de zonas limitadas de algunos valles de ríos.

La forma de las áreas de igual intensidad es ahora controlada por las características geológicas, la máxima sigue los depósitos de valles fluviales. Tiene que ser puntualizado que estos estimados de intensidad se obtienen de los estimados PGA medios mas una desviación standard de la relación de atenuación mientras la incertidumbre es generalmente considerada en los mapas de peligro expresados en términos de intensidad.

Consecuentemente, la diferencia promedio de un grado MM puede ser sugerida cuando comparamos los valores de intensidad obtenidos de los valores PGA medios más la desviación standard y los valores medios PGA. El estimado de un grado se obtiene de la diferencia entre la vibración esperada con y sin la desviación standard trasladadas a valores de intensidad por la relación Murphy and O'Brian (1977).

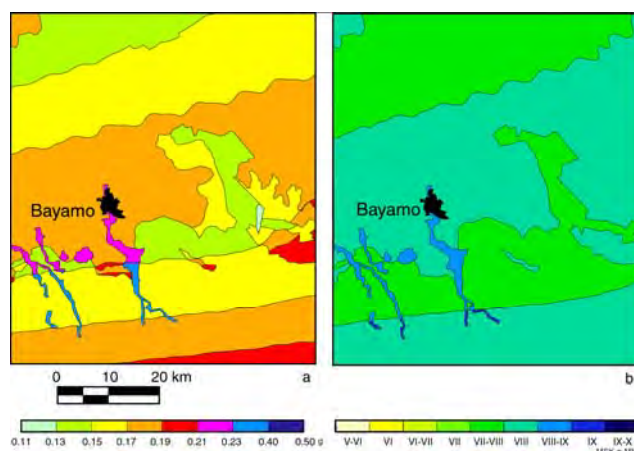


Figura 3: Mapas de peligro sísmico para la región de Bayamo: a) PGA (evaluación media mas una desviación standard de la relación de atenuación) con 475 años de periodo de retorno calculado para el promedio de los diferentes resultados de las dos aproximaciones (la Europea y la Americana); b) intensidad macrosísmica (evaluación media) con 475 años de periodo de retorno calculado por la transformación del PGA según Murphy and O'Brian (1977).

PELIGRO SISMICO EN INTENSIDAD MACROSISMICA.

El mas reciente mapa de peligro para Cuba (García et al., 2003) muestra un patrón regular en la región de Bayamo con incrementos del valor medio desde VII MSK hasta VIII MSK desde NW hasta SE (como es usual, no se introducen desviaciones standards en la atenuación), las relaciones de atenuación usadas en ese estudio son de fuentes especificas (han sido calibradas en terremotos representativos de las zonas sismogeneradoras (ZS) y pueden variar de una ZS a otra) por eso, obviamente no es capaz de tener en cuenta apropiadamente la respuesta local. El set de datos de intensidad, indirectamente incluye los efectos locales de sitio y hace que la relación de atenuación obtenida sea equivalente a aquella calibrada mediante PGA para condiciones de suelo promedio. Los factores de amplificación locales del suelo, por tanto, deben ser aplicados a los mapas de intensidad con especial cuidado, con el objetivo de evitar una doble caracterización del tipo de suelo.

La amplificación local del suelo en términos de intensidad ha sido propuesta por varios autores. Medvedev (1962) calculó los incrementos de intensidad basados en la litología de las unidades geológicas y la escala MSK. Esta técnica fue también usada por Barosh (1969) y reconsiderada por Evernden and Thomson (1985), quien relacionó las amplificaciones de intensidad local (MM) observadas en clasificación geológica independiente de la edad en California. Mas recientemente, Astroza and Monge (1991) definieron los incrementos de intensidad para diversos tipos de rocas en Chile Central. Las clasificaciones de Medvedev (1962) y Evernden and Thomson (1985) fueron aplicadas también en el presente estudio considerando el mapa geológico (**Figura 1a**) y los términos de amplificación (**Tabla I y Figura 1a**), estos términos son incrementos y no factores de multiplicación como aquellos usados en los casos de PGA. Note que, la cuantificación de los incrementos de intensidad están basados en un set de datos limitados; Los coeficientes de Medvedev (1962) están dados de forma forzada y la asociación de las formaciones geológicas cubanas con los litotipos de California son necesariamente aproximadas.

Para aplicar los incrementos descritos previamente al mapa de peligro sísmico, debemos de degradar los resultados regionales obtenidos por García et al., 2003, a partir del suelo promedio para condiciones de roca. Nosotros hicimos este cálculo mediante los valores de incremento de intensidad reportadas en la **Tabla I** (nombrada 1.5) y disminuyendo los valores regionales en la misma cuantía.

Entonces, podemos aplicar otra vez los términos de amplificación dependiendo de las condiciones del sitio sin el riesgo de una doble clasificación del tipo de suelo. La **Figura 4** difiere fuertemente del mapa regional presentado previamente: en general los valores no se incrementan mas de norte a sur y la mas evidente característica es la gran intensidad a lo largo de los valles de los ríos.

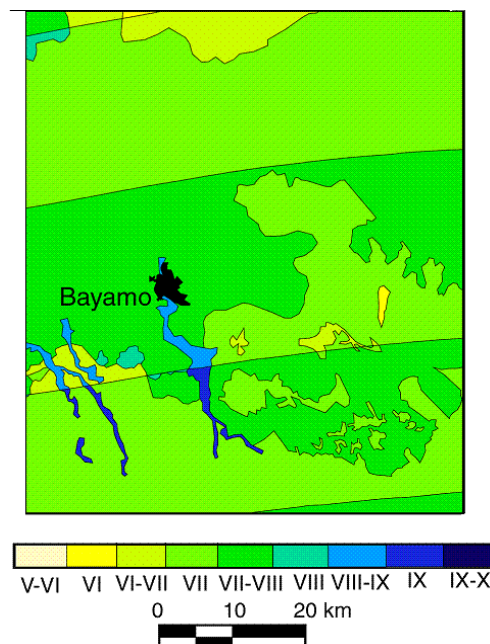


Figura 4: Mapa de intensidad calculado por el promedio de los resultados previos según Medvedev (1962) para incrementos máximos y mínimos y Evernden and Thomson (1985).

Los incrementos de intensidad por el método de Medvedev (1962) mínimo y máximo, muestran algunas diferencias respecto a las de Evernden and Thomson y fueron clasificados usando criterios diferentes. Bayamo está localizado en un área donde los rangos de intensidad van desde VII MSK hasta VIII MSK, obteniéndose valores altos hasta IX MSK a lo largo del valle del río Bayamo. Los valores mas fuertes fueron mapeados en la parte superior de los valles de los ríos, con valores de IX-X MSK, aquí el lateral contraste de los valores de la intensidad son enfatizados por las formaciones rocosas del Anticlinorium Sierra Maestra.

El mapa final de intensidad del peligro suelo-dependiente es mostrado en la **Figura 4**, donde los valores obtenidos de acuerdo a las hipótesis de diferentes autores fueron igualmente sopesados. Los valores predecidos muestran un razonable compromiso entre la historia sísmica de Bayamo, donde las sacudidas de VIII MSK correspondientes a los terremotos de 1551 y 1766 y los daños causados, fueron reportados muchas veces durante los siglos pasados.

El acuerdo entre el mapa de intensidad promedio (**Figura 4**) y aquel obtenido transformando los resultados PGA (**Figura 3b**) es extremadamente bueno si nosotros consideramos que, en el ultimo, los valores fueron sobreestimados en alrededor de un grado MSK debido a la influencia de la desviación de la relación de atenuación PGA.

Este análisis demuestra que se debe tener mucho cuidado al manipular términos de amplificación en general, especialmente para intensidades macrosísmicas. La relaciones de atenuación en realidad son obtenidas a través de la regresión de la data experimental, donde las intensidades macrosísmicas, por definición, no están filtradas para efectos locales, como amplificaciones

morfológicas y del suelo. Posteriores análisis pueden precisar la cuantificación de los factores de amplificación regionales.

CONCLUSIONES

- En el estudio presente fueron introducidas las condiciones locales en la estimación probabilística del peligro sísmico regional. Siguiendo dos aproximaciones diferentes: el uso de relaciones de atenuación diferenciadas y la aplicación de coeficientes de amplificación para resultados de peligro referidos al lecho rocoso. Además, se hizo una comparación con los resultados del peligro expresados en términos de intensidad macrosísmica. Por lo cual se considera como un ejemplo metodológico global de la valoración del peligro probabilístico de regional a una escala local.
- Los mapas de peligro presentados, tienen en cuenta la información geológica detallada disponible para la región de Bayamo, lo cual es importante para la valoración del riesgo sísmico regional.
- La aceleración horizontal pico del terreno (PGA) esperada en ciudad de Bayamo está entre 0.17 y 0.23 g para un 475 años de periodo de retorno, el cual corresponde a una intensidad entre VII y VIII MM. Estos valores no son muy altos pero localiza a la ciudad de Bayamo entre los poblados donde la sismicidad puede representar un riesgo natural.

BIBLIOGRAFÍA

- Ambraseys N.N., Simpson K.A. and Bommer J.J.; 1996: Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25, 371-400.
- Astroza M. and Monge J.; 1991: Regional seismic zonation in central Chile. In: *Proc. 4th International Conference on Seismic Zonation*, vol. 3, pp. 487-494.
- Barosh P. J.; 1969: Use of seismic intensity data to predict the effects of earthquakes and underground nuclear explosions in various geological settings. *U. S. Geological Survey Bulletin* 1279.
- Bender B. and Perkins D.M.; 1987: Seisrisk III: a computer program for seismic hazard estimation. *U.S. Geological Survey Bulletin* 1772, 48 pp.
- Boore D.M., Joyner W.B. and Fumal T.E.; 1993: Estimation of response spectra and peak acceleration from western north American earthquakes: an interim report. *Open-File Report* 93-509, U.S.G.S., Denver, 72 pp.
- Borcherdt R.D.; 1994: Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification). *Earthquake Spectra*, 10, 617-653.
- BSSC (Building Seismic Safety Council); 1997: NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings. Part 1 - Provisions, 1997 edition. BSSC, Washington D.C., 337 pp.
- CEN (Comité Européen de Normalisation); 2002: Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance. Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. Draft No 5, Doc CEN/T250/SC8/N317, CEN, Brussels, 100 pp.
- Chuy T.; 1999: Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad sísmica. Master Thesis, Instituto de Geofísica y Astronomía, La Habana, 487 pp.
- Chuy T. and Alvarez L.; 1995: Seismic hazard map of Cuba for the new building code of the Republic of Cuba. Internal Report 1995/03/CONCE-CENAI. Ministry of Construction, La Habana, 19 pp.
- Chuy T., Gonzalez B. and Alvarez L.; 1983: On seismic hazard in Cuba. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4, 37-52.
- Coppersmith K.J. and Youngs R.R.; 1986: Capturing uncertainty in probabilistic seismic hazard assessments within intraplate environments. In: *Proceedings of the Third U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, August 24-28, 1986, Charleston, SC, Earthquake Engineering Research Institute, El Cerrito CA U.S.A., vol. 1, pp. 301-312.
- Cornell C.A.; 1968: Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 1583-1606.

- Cotilla M., Bankwitz P., Franzke A., Alvarez L., González E., Díaz J., Gruenthal G., Pilarski J. and Arteaga F.; 1991: Mapa sismotectónico de Cuba. Escala 1:1000000. Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, No. 23, 49 pp., 1^{er} Anexo.
- Dahle A., Climent A., Taylor W., Bungum H., Santos P., Ciudad Real M., Linholm C., Strauch W. and Segura F.; 1995: New spectral strong motion attenuation models for Central America. In: Proceedings 5th International Conference on Seismic Zonation, Ouest Editions Presses Academiques, Nantes, vol. 2, pp. 1005-1012.
- Douglas J.; 2001: A comprehensive worldwide summary of strong-motion attenuation relationships for peak ground acceleration and spectral ordinates (1969-2000). Imperial College of Science, Technology and Medicine, Civil Engineering Department, London, 138 pp.
- Evernden J. F. and Thomson J. M.; 1985: Predicting seismic intensities. In: Ziony J.I. (ed), Evaluating earthquake hazards in the Los Angeles region - An earth-science perspective. U. S. Geological Survey Professional Paper 1360, pp. 151-202.
- Field E. H. and the SCEC Working Group; 2000: Accounting for site effects in probabilistic seismic hazard analysis of Southern California: overview of the SCEC phase III report. Bull. Seismol. Soc. Am., 90, S1-S31.
- García J., Slejko D., Alvarez L., Peruzza L. and Rebez A.; 2003: Seismic hazard maps for Cuba and surrounding areas. Boll. Seismol. Soc. Am., in press.
- Kulkarni R.B., Youngs R.R. and Coppersmith K.J.; 1984: Assessment of confidence intervals for results of seismic hazard analysis. In: Proceedings of the Eighth World Conference on Earthquake Engineering, July 21-28, 1984, San Francisco CA U.S.A., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs NJ U.S.A., vol. 1, pp. 263-270.
- Iturralde-Vinent M. (ed); 1996: Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba, First Contribution of IGCP Project 364 "Geological Correlation of Ophiolites and Volcanic Arc Terrains in the Circum Caribbean Region", Museo Nacional de Historia Natural, La Habana, 265 pp.
- McGuire R.K.; 1977: Effects of uncertainties in seismicity on estimates of seismic hazard for the east coast of the United States. Bull. Seismol. Soc. Am., 67, 827-848.
- McGuire R.K. and Shedlock K.M.; 1981: Statistical uncertainties in seismic hazard evaluations in the United States. Bull. Seismol. Soc. Am., 71, 1287-1308.
- Medvedev J.; 1962: Engineering seismology. Academia Nauk Press, Moscow, 260 pp.
- Mueller S. and Mayer-Rosa D.; 1980: The new seismic hazard maps for Switzerland. Revista Geofísica, 13, 7-19.
- Murphy A.J. and O'Brien L.J.; 1977: The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters. Bull. Seismol. Soc. Am., 67, 877-915.
- Nagy E.; 1983: Contribución a la geología de Cuba Oriental. Instituto de Geología y Paleontología, Acc. Editorial Científico Técnica, La Habana, 273 pp.
- Peruzza L., Rebez A. and Slejko D.; 2001: Seismic hazard mapping for administrative purposes. Natural Hazard, 23, 431-442.
- Rebez A., Carulli G.B., Codermatz R., Cucchi F., Peruzza L. and Slejko D.; 2001: Soil type dependent spectral seismic hazard in Friuli - Venezia Giulia (NE Italy). Boll. Geof. Teor. Appl., 42, 121-138.
- Reiter L.; 1990: Earthquake Hazard Analysis: issues and insights. Columbia University Press, New York, 252 pp.
- Rodríguez M., Alvarez L. and García J.; 1997: Estimaciones probabilísticas de la peligrosidad sísmica en Cuba. Revista Geofísica, 47, 46-77.
- Trifunac M. D. and Brady A. G.; 1975: On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion. Bull. Seismol. Soc. Am., 65, 139-162.
- Toro G.R., Abrahamson N.A. and Schneider J.F.; 1997: Model of strong motions from earthquakes in central and eastern North America: best estimates and uncertainties. Seismol. Res. Lett., 68, 41-57.

Tabla I- Descripción de los suelos (Nagy, 1983) y clasificación para la región de Bayamo acorde con diversos métodos.

Formación Geológica	Descripción Geologica	g. str.	Amb96	Dah95	NEHRP	EC8	M62m	M62M	E&T85	cl.
bm = Bayamo	Arcilla, arena, areniscas polimícticas con nódulos de calcita, gohetita y fragmentos de ferromanganeso.	2	S	s	D	c	1.2	1.8	2.0	D2
br = Barrancas	Tufitas, areniscas vulcanimícticas y polimícticas, aleurolitas, calizas y tobas.	1	R	r	B	a	0.2	1.3	0.3	B1
cb = El Cobre	Rocas volcánicas, vulcanógeno-sedimentarias, tífitas, lavas, tobas, calizas, cuerpos de diques.	1	R	r	B	a	0.2	1.3	0.3	B1
cr = Charco Redondo	Calizas órgano-detriticas con brechas y fósiles.	1	R	r	B	a	0.2	1.3	1.2	B3
cu = Cauto	Arcillas, limos, arenas, gravas polimícticas y conglomerados.	2	S	s	D	c	1.0	1.6	2.0	D1
cy = Caney	Alternancia de tobas, tufitas, calizas, lavas, con intercalación de aglomerados.	1	R	r	B	a	0.2	1.3	0.3	B1
cz = Camazán	Caliza coralino-algaceas, calizas biotriticas con intercalación de arcilla y marga, ocasionalmente yeso.	1	T	s	C	b	0.6	1.4	1.5	C
dt = Dátil	Fanglomerados polimícticos masivos.	2	S	s	E	d	1.2	2.1	3.0	E1
mc = Mícará	Aleurolitas, brechas, arenisca, arcilla, caliza, marga, gravas, conglomerados y tobas.	1	R	r	B	a	0.2	1.3	0.8	B3
mz = Manzanillo	Calizas biotriticas, arcilla, gravas y arenas de vulcanitas, margas y aleurolitas, fósiles.	2	T	s	C	b	0.6	1.4	1.5	C
pb = Puerto de Boniato	Calizas órgano-detriticas y margas con intercalación de sílice.	1	R	r	B	a	0.2	1.3	1.2	B3
pd = Pedernales	Conglomerados polimícticos cementados con clastos de diabasas, gabros y ultramafitas.	2	R	r	B	a	0.2	1.3	1.2	B3
sl = San Luis	Areniscas polimícticas, aleurolitas, marga, arcillas, calizas, arena y conglomerado polimíctico, es cortada por diques y cuerpos de basaltos.	1	T	s	C	b	0.6	1.4	1.5	D1
tj = Tejas	Tobas, arenas tobaceas, esquisto, cortado por diques de andesitas	1	R	r	B	a	0.2	1.3	0.8	B2
yy = Yayal	Calizas micriticas, aleurolitas y areniscas, intercalación de sílice con radiolarios.	2	T	s	C	b	0.6	1.4	1.5	C
as (sedimentos aluviales)	Sedimentos aluviales, capa vegetal, bloques, gravas, arenas y arcillas.	2	S	s	E	d	1.7	2.8	3.0	E2
bs (diques)	Cuerpos de basaltos	1	R	r	A	a	0.0	0.0	0.0	A

g. str. = estructura geológica: 1 = Anticlinorium de la Sierra Maestra, 2 = Cuenca del Cauto;
Amb96 = clases acorde con Ambraseys et al. (1996); R = roca; T = suelo duro; S = suelo blando
Dah95 = clases acorde con Dahle et al. (1995); r = roca; s = suelo
NEHRP = clases y término de multiplicación acorde con NEHRP (BSSC, 2001);

EC8 = clases acorde con EC8 (CEN, 2002);
M62m = mínimo incremento de intensidad acorde con Medvedev (1962);
M62M = máximo incremento de intensidad acorde Medvedev (1962);
E&T85 = incrementos de intensidad acorde Evernden and Thomson (1985);
cl. = clasificación usada en este estudio



EVALUACIÓN DETALLADA DEL PELIGRO SISMICO Y MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE LAS AREAS DE EMPLAZAMIENTO DE INSTALACIONES CRITICAS

Bertha E. González ⁽¹⁾, **Carlos R. González** ⁽²⁾, **Manuel Serrano** ⁽¹⁾, **Luis D. Pérez** ⁽¹⁾,
Carlos Coronado ⁽²⁾ y **Mario L. Basulto** ⁽¹⁾

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, CITMA. Calle 212 No 2906e/29 y 31, Rpto. La Coronela, Lisa La Habana e-mail bertha@chcenais.cu

(2) Empresa INEL, MINBAS. Calle 23 e/O y P, Vedado, La Habana

RESUMEN

Las instalaciones críticas son aquellas instalaciones que por su función, área de servicio o singularidad, pueden causar daños corporales o afectar servicios básicos si sus actividades son repentinamente interrumpidas. Entre estas instalaciones se encuentran aquellas que deben mantener su vitalidad en situaciones de emergencia como las centrales eléctricas y los sistemas de grupos electrógenos. Para la selección de las áreas de emplazamiento de estas estructuras se requiere la realización de estudios especiales que garanticen su máxima seguridad, como los de peligro sísmico detallado (PSD) y microzonificación sísmica (MS), en las zonas propensas a este tipo de amenaza geológica.

En el trabajo se presentan los resultados de la evaluación del PSD y la MS del área de futuro emplazamiento de un Sistema de Grupos Electrógenos de 18,4 MW en el municipio de Mariel, región occidental de Cuba.

Para la obtención de los estimados del peligro sísmico a que está sometida el área se analizaron la sismicidad y la tectónica de la región para la selección de los terremotos de escenario (local y cercano), susceptibles de producir diferentes impactos en el área. Para dichos terremotos se evaluaron los parámetros del efecto sísmico: aceleración pico horizontal, periodo, duración e intensidad mediante diferentes fórmulas empíricas.

Para la MS del área se utilizaron dos métodos experimentales indirectos: el método de la rigidez sísmica y el de los microsismos. Estos métodos, además de proporcionar las variaciones de la intensidad sísmica en el área, permitieron evaluar la respuesta dinámica de los suelos (periodos predominantes). Se calcularon, a partir de los incrementos de la intensidad sísmica relativos a la roca (suelo S1), los factores de amplificación correspondientes al intervalo de periodos 0,1-0,6 seg. Se valoró también la influencia de las fallas y fracturas en los incrementos del peligro sísmico y en la estabilidad de la futura obra. Finalmente, se evaluó la susceptibilidad a la licuefacción de las arenas limosas del Holoceno (Horizonte No 3), por la ocurrencia del terremoto máximo potencial en un sector de la Falla Pinar situado a una distancia mínima de 25 km. del área de estudio. Se utilizó para esto el criterio magnitud-distancia.

INTRODUCCION

Como parte de los estudios de riesgos de desastres de origen sísmico, de las áreas de futuro emplazamiento de instalaciones críticas, es necesario realizar la evaluación del peligro sísmico local que incluye las etapas siguientes:

- 1) Evaluación detallada del peligro sísmico a que esta sometida el área de futuro emplazamiento de la instalación.
- 2) Cálculo de los parámetros de las oscilaciones máximas producidas por los terremotos con una mayor susceptibilidad de afectar la instalación durante su tiempo de vida útil.
- 3) Evaluación del efecto de la geología superficial en los movimientos sísmicos: microzonificación sísmica.



El área objeto de este estudio posee unas dimensiones de 180m de largo por 90m de ancho, Se encuentra ubicada en el poblado de La Boca, perteneciente al Municipio de Mariel, en la explanada situada entre la fachada de la Unidad No 8 de la Central Termoeléctrica Máximo Gómez, la línea de costa y el talud Oeste del canal de salida de la propia central. En dicha área, deberá construirse una Central Diesel Eléctrica (CDE), compuesta por 8 grupos electrógenos Diesel de 18,4 MW cada uno. Su función será respaldar el arranque de la actual Central Termoeléctrica ante eventos naturales extremos. Esta nueva instalación, por sus características específicas, y la necesidad de que mantenga su vitalidad en situaciones de emergencia se considera, a los efectos de este análisis, como una instalación crítica de Categoría I. Para este tipo de obra se requiere realizar estudios especiales que garanticen su máxima seguridad.

EVALUACION DETALLADA DEL PELIGRO SISMICO

La evaluación detallada del peligro sísmico tiene entre sus objetivos principales precisar el nivel de peligro que esta sometido un emplazamiento particular. En este caso, se toman en consideración sólo aquellas zonas sismogénicas cuyos eventos representen un peligro potencial para la estructura que será ubicada en el mismo. Obviamente, esta información no puede ser obtenida directamente del mapa anexo a la Norma Cubana NC 53 114 de 1999 para la construcción en zonas sísmicas.

Para un estudio de este tipo, se analizan la sismicidad y la tectónica de la región con vistas a seleccionar los llamados “terremotos de escenario”, que deberán producir impactos diferentes en el área. Posteriormente, se calculan los parámetros del efecto sísmico de estos terremotos: aceleración pico horizontal, periodo, duración e intensidad de las sacudidas con ayuda de formulas empíricas, o a partir de los registros reales o sintéticos de dichos terremotos.

Características generales de la Sismicidad

El territorio de Cuba posee dos tipos diferentes de sismicidad. El primer tipo se asocia a la frontera activa entre las placas del Caribe y Norteamérica que está representada, en la región sudoriental de Cuba, por la Falla Oriente o Bartlett-Caymán. Las magnitudes máximas (M_{max}) de los terremotos correspondientes a este tipo de sismicidad pueden alcanzar valores grandes, mayores que 7,0, en la escala de Richter. Las profundidades de estos eventos están, por lo general, comprendidas en el intervalo 15-40 km.

El segundo tipo de sismicidad, denominado de interior de placas, se asocia a fallas activas que afectan al territorio de Cuba insular. Se caracteriza por una baja frecuencia temporal de ocurrencia de eventos sísmicos, cuyas magnitudes máximas observadas no han sobrepasado el valor de 6,0 en la escala de Richter. Sin embargo, es preciso señalar que el potencial sísmico de algunas estructuras disyuntivas de la zona de interior de placas es relativamente alto, pudiendo generar terremotos de magnitudes relativamente altas. Las Fallas Pinar, La Trocha y Cauto Nipe, por solo citar algunas, son ejemplo de estructuras de este tipo. Las profundidades de los sismos de la zona de interior de placas son menores que las de los sismos de la zona límite de placas (5-20 Km.). Esto determina que, en ocasiones, sus efectos en la superficie del terreno sean significativos pudiendo causar daños ligeros y moderados en determinadas estructuras.

La información sobre la ocurrencia de eventos sísmicos en Cuba, data de poco tiempo después de la llegada de los españoles a la Isla (1502). El análisis detallado de las descripciones de los daños provocados por los eventos sísmicos de mediana y gran intensidad ha permitido realizar una reconstrucción de los mismos, trazar sus mapas de isosistas y determinar el área de perceptibilidad y los parámetros de localización y tamaño: coordenadas epicentrales, profundidad y magnitud. La información macrosísmica histórica es muy valiosa para la estimación del peligro sísmico de las



zonas de baja sismicidad donde el registro instrumental de terremotos es escaso. Evidentemente, en este tipo de zonas, suelen ser ubicadas muchas obras de envergadura como las centrales nucleares, las termoeléctricas, las hidroeléctricas y otras.

Sismicidad Histórica e Instrumental de Cuba Occidental

El terremoto más fuerte ocurrido en el occidente del país fué el del 23 de Enero de 1880. La zona epicentral de dicho evento, donde se reportaron los mayores daños, se ubicó en el territorio que comprende a las localidades de San Cristóbal y Candelaria, en la provincia de Pinar del Río. Este fuerte terremoto tuvo una magnitud de 6,0 en la escala de Richter y produjo una intensidad máxima (Io) de VIII grados en la escala MSK de XII grados.

En la Fig. 1, se muestra el mapa de isosistas del mencionado evento sísmico.

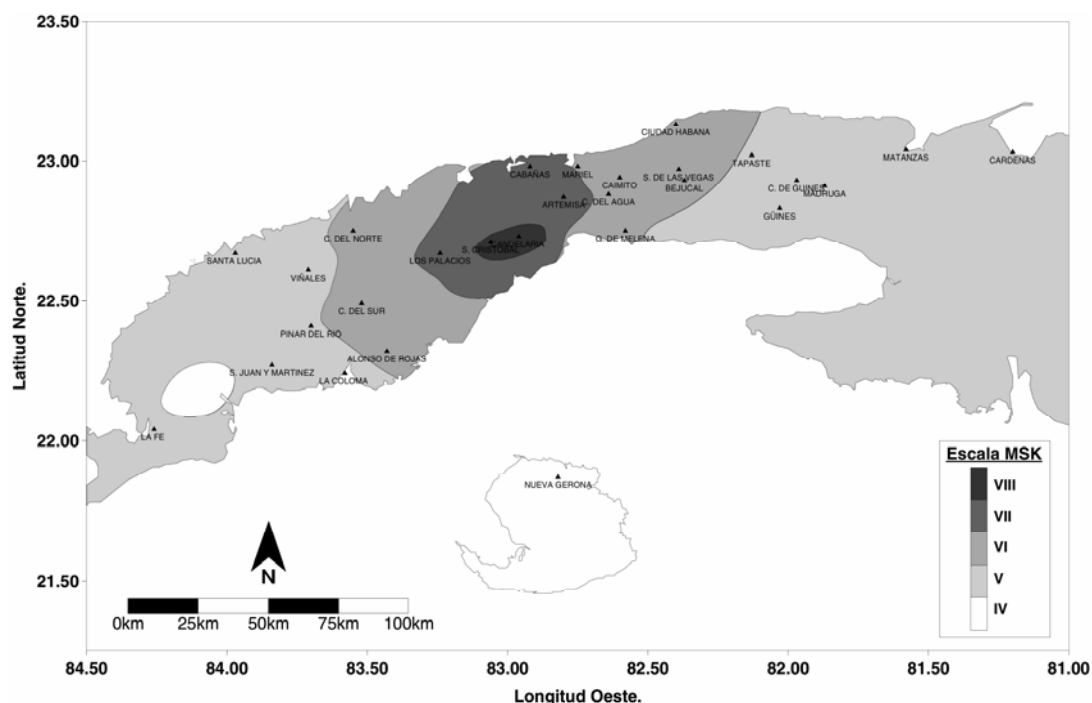


Fig. 1 Mapa de isosistas del terremoto del 23 de enero de 1880. En el mismo se señalan las áreas donde se reportaron efectos de diferente intensidad en la escala MSK

El terremoto fué sentido con fuerza en toda la región occidental del País y su área de perceptibilidad se extendió hasta la actual provincia de Cienfuegos. Fué también sentido en las penínsulas de la Florida y Yucatán.

Algunas de las localidades del territorio de la actual provincia La Habana, donde se reportaron sus efectos se presentan en la tabla I.

Tabla I Localidades de la Habana afectadas por el sismo de 1880

Localidad	Intensidad (Escala MSK).
Cabañas	VII



Localidad	Intensidad (Escala MSK).
Ceiba del Agua	VI
Alquízar	VI
Bejucal	VI
Mariel	VI
Caimito	VI
Guanajay	VI
Güira de Melena	V-VI
Güines	V
Tapaste	V
Catalina de Güines	V
Jaruco	V
San José de las Lajas.	Sentido sin especificaciones.
San Antonio de los Baños.	Sentido sin especificaciones.
Batabanó	Sentido sin especificaciones.

De la región donde se encuentra ubicada el área de estudio (Municipio de Mariel), existen reportes de perceptibilidad en tres localidades: Cabañas, Quiebra Hacha y Mariel. Estos asentamientos fueron fundados en el primer lustro del siglo XIX. Sin embargo, como se aprecia en el mapa de la **Fig. 1**, en todo el territorio del Municipio de Mariel se debieron producir sacudidas entre VI y VII grados de intensidad. Esto se corrobora mediante el análisis del gráfico de la **Fig.2**. En este gráfico se presentan los resultados obtenidos de la inversión de las intensidades del terremoto, utilizando diferentes fórmulas empíricas de atenuación de la intensidad con la distancia. Se observa que para distancias inferiores a 50 Km., debieron producirse sacudidas mayores o iguales a VI grados en la escala MSK, sí $I_0=VIII$.

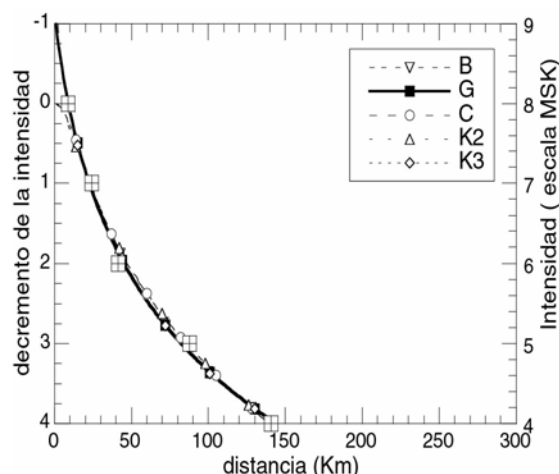


Fig. 2 Ajuste de las intensidades del terremoto ocurrido el 23 de enero de 1880, mediante las fórmulas de Koveslighety, (1907); con dos (K2) o tres (K3) coeficientes desconocidos, Blake, (1941) (B), Grandori et al. (1985) (G) y, Berardi et al. (1994) (C). En la leyenda, las letras mayúsculas se refieren al modelo utilizado, los cuadrados indican los valores de intensidad a las distancias reales (segundo eje Y). La línea mas gruesa rellena representa la curva del modelo para el que se obtuvo la mejor bondad de ajuste.

La sismicidad reportada dentro del territorio de la actual provincia Habana, desde 1762 hasta la fecha, se ha caracterizado por eventos perceptibles de baja energía (tabla II). Las magnitudes de estos eventos están comprendidas entre 2.5 y 3.8 en la escala de Richter y sus profundidades entre 5 y 10 km. Esto hace que los estremecimientos en la superficie del terreno, al menos en el zona epicentral, alcancen intensidades relativamente altas, de V grados o más, pudiendo causar daños ligeros en las

edificaciones. Se pueden citar como ejemplos los casos de los terremotos ocurridos en 1953, en el caserío “La Jaula,” del Consejo Popular de Tapaste, y en el poblado de Ganuza (San José de la Lajas). Este último evento sísmico, con una magnitud de sólo 2.8 en la escala de Richter, provocó estremecimientos de V-VI grados en la zona epicentral.

Tabla II Sismos perceptibles con epicentro en el territorio de Provincia Habana

AÑO	MES	DIA	LAT-N	LON-W	H(km.)	MS	I _{max}	Zona Epicentral
1762	11	13	22.98	82.37	10	3.1	IV	Santiago de las Vegas
1777	7	7	22.83	82.03	10	3.7	V	Güines
1846	10	10	23.00	82.08	10	2.8	IV-V	Madrugá
1872	-	-	22.91	81.86	10	2.5	III	Madrugá
1880	2	25	22.75	82.80	15	3.6	IV	Las Mangas
1905	-	-	23.05	82.01	10	3.1	IV	Jaruco
1914	5	27	22.72	82.28	10	3.1	IV	Batabanó
1914	5	28	22.72	82.28	10	3.7	V	Batabanó
1921	9	23	22.91	82.61	10	3.1	IV	Caimito-Ceiba del Agua
1953	5	16	23.03	82.13	10	3.8	V	Tapaste
1995	3	9	22.83	82.36	0	2.8	V	Ganuza

En la **Fig. 3**, se presenta el mapa de epicentros de los sismos correspondientes a la parte oeste del territorio de provincia Habana. En dicho mapa, los eventos perceptibles se representan con triángulos y los no perceptibles con círculos. Aparece representados también los epicentros del Este de la provincia de Pinar del Río.

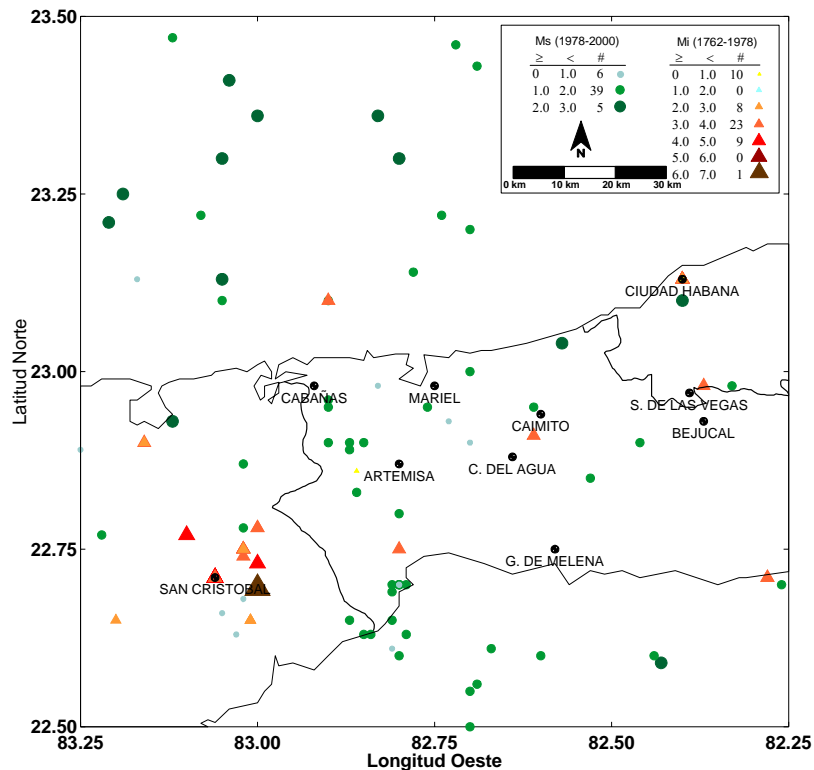


Fig. 3 Mapa de epicentros de la parte oeste de las provincias habaneras



ZONAS SISMOGÉNICAS

Las zonas sismogénicas son regiones geográficas susceptibles de generar sismos fuertes. Estas zonas generalmente se asocian con fallas activas en la etapa neotectónica o que jugaron un papel importante en la evolución tectónica de un territorio y se mantienen activas en la actualidad. El régimen sísmico de los eventos asociados a estas estructuras puede ser diferente, en función de una serie de parámetros que determinan su potencial. El mismo se expresa mediante la frecuencia temporal de ocurrencia de eventos sísmicos y la magnitud (o energía) de dichos eventos.

La región occidental de Cuba, es una zona de baja sismicidad donde la frecuencia de ocurrencia de eventos sísmicos es baja, y las magnitudes de los terremotos máximos observados no han excedido el valor 6,0 en la escala de Richter. En las zonas de baja sismicidad no se instalan, por lo general, estaciones sismológicas o su número es escaso. Esto hace que el registro de la actividad sísmica sea pobre al perderse la información sobre los sismos débiles. Por este motivo, muchos consideran incorrectamente a estas zonas como asísmicas y minimizan la amenaza que estas representan.

La delimitación de las zonas sismogénicas en los territorios de baja sismicidad se hace sumamente compleja, ya que muchas fallas no poseen una expresión clara en el relieve o se encuentran cubiertas. Esto dificulta el trazado y evaluación del potencial sismogenerador de las mismas. A esto se une el escaso número de terremotos que se detecta y el error en las determinaciones de sus parámetros, debido al reducido número de estaciones sismológicas.

El territorio de Mariel se encuentra afectado por la Falla Pinar, que ocupa una posición peculiar entre las estructuras disyuntivas de Cuba, por delimitar dos zonas diferentes en cuanto a facies y a tectónica. La Falla Pinar es una falla profunda (25 Km.), con una extensión de 160 y más de 4 Km. de ancho. La misma afecta a toda la provincia de Pinar del Río y a una parte de la actual provincia de la Habana. Esta estructura se ha catalogado como una falla de rechazo horizontal que mantiene su actividad en la actualidad. La salida de la misma al mar, por la zona del Mariel, fué argumentada por Piotrowska (1987). Según la opinión de otros autores como Meyerhoff y Hatten (1974), la Falla Pinar se prolonga hacia el nordeste hasta el estrecho de la Florida. Dicha hipótesis se sustenta en los reportes de perceptibilidad, en dicha zona, del terremoto del 23 de Enero de 1880.

Aunque los datos existentes no permiten establecer, con absoluta certeza, el carácter de los desplazamientos actuales de la Falla Pinar, parece existir un franco predominio de los movimientos verticales sobre los horizontales. Sin embargo, se pueden observar en los espejos de las fallas verticales en la zona de Soroa estrías de desplazamiento oblicuas, con un ángulo de 45°.

Desde el punto de vista de su potencialidad, la falla Pinar puede ser considerada como de segunda categoría con una $M_{\max}=6.5$. Este valor es próximo al de la magnitud máxima observada $M=6,0$, en la región que corresponde al terremoto del 23 de enero de 1880.

La zona de Fallas Pinar se encuentra a una distancia mínima de 20 Km. del territorio del Mariel, por lo que constituye la mayor amenaza para el mismo. El epicentro macrosísmico del terremoto 1880 se ubica a una distancia aproximada de 40-45 Km. del área de estudio.

Por su proximidad al área, se debe considerar también la Falla Mariel-Carraguao. Esta estructura afecta el flanco Este de la Bahía de Mariel que posee un origen tectónico. Existen claras evidencias geológicas y geomorfológicas de que esta falla se encuentra activa en la actualidad. A la misma, se puede asociar la actividad sísmica local del territorio, registrada por la estación de Soroa,



perteneciente a la Red del Servicio Sismológico Nacional. Sin embargo, la magnitud del terremoto máximo posible que puede generar esta estructura de cuarta categoría, no debe sobrepasar los 5,0 grados de magnitud en la escala de Richter.

Otras estructuras disyuntivas como las fallas Consolación del Norte y Habana, de tercera categoría, que pueden generar terremotos de magnitudes máximas entre 5,0 y 5,5, no deben influir en la amenaza sísmica del área de estudio por la distancia a la que se encuentran de la misma.

Después de realizado el análisis de la sismicidad y de las fallas sismogénicas con la mayor influencia en el peligro sísmico del área, se seleccionaron como terremotos de escenario los siguientes:

- (1) Sismo de $M=6,0$; $\Delta=45$ Km., similar al del 23 de enero de 1880.
 - (2) Sismo de $M=4,5$; $\Delta=5,0$ Km., en la Falla Mariel-Carraguao.
- Estos sismos se pueden considerar como los de campo intermedio y cercano, respectivamente.

Cálculo de los periodos de recurrencia de las sacudidas sísmicas en el área

La región occidental de Cuba, ha sido objeto de varios estudios, desde mediados de la década del 80, para la estimación del peligro sísmico. Se utilizaron para la realización de los mismos, metodologías y datos de entrada diferentes. Esta información está representada por estimados puntuales de los períodos de recurrencia de las sacudidas sísmicas de diferentes intensidades, o de otros parámetros que caracterizan los movimientos del terreno en los nodos de una red regular que cubre la totalidad del territorio nacional. Los principales estudios son:

1. Mapas de peligro sísmico para el Nuevo Atlas Nacional de Cuba (1991).
2. Mapas de zonación sísmica detallada, generalizados en el mapa de la Norma para la construcción en zonas sísmicas (1995).
3. Estimados probabilísticos de la peligrosidad sísmica de Cuba (1997)
4. Nuevos estimados del peligro sísmico con el error asociado para el territorio nacional (2004).

A partir de las bases de datos utilizadas para estos estudios se obtuvieron, mediante una interpolación espacial por el método del inverso de la distancia, los valores de los períodos de recurrencia de las intensidades y aceleraciones para el área de interés. Estos valores se muestran en las tablas III y IV:

Tabla III Períodos de recurrencia o retorno de las sacudidas sísmicas de diferentes intensidades (escala MSK) en el área de estudio

IV	V	VI	VII	VIII	IX
46,85	130,16	334,25	906	2737,5	50911

Tabla IV Períodos de recurrencia o retorno de las sacudidas sísmicas de diferentes aceleraciones pico horizontales (en % de g) en el área de estudio

4%	10%	20%	30%	40%
114	898	6820	15277	104436



Considerando válido el modelo poissoniano de ocurrencia temporal de las sacudidas sísmicas, se obtuvieron las probabilidades de que determinados valores de intensidad, no sean igualados o excedidos en diferentes tiempos de espera de 10, 20, 50, 70, 100 y 200 años (Fig. 4.). Estos tiempos de espera (o de exposición) pueden ser homologados con los tiempos de vida útil de las edificaciones.

Sin embargo, se debe señalar que los estimados anteriores corresponden a suelos de tipo S2, con un comportamiento relativamente favorable ante los sismos. Las condiciones locales pueden incrementar significativamente el efecto sísmico en las diferentes partes de un área. Con el objetivo de precisar esos incrementos se llevan a cabo los estudios de microzonificación sísmica. Estos estudios se realizan a escalas muy detalladas, sobre la base de las perforaciones y perfiles realizados en el área, lo cual permite poner en evidencia todos los factores que influyen en el incremento del peligro. Se debe tener en cuenta que la dependencia entre la intensidad del terremoto y la tipología del suelo es compleja. Cada área puede representar un problema peculiar que deberá ser resuelto mediante el análisis conjunto de toda la información disponible.

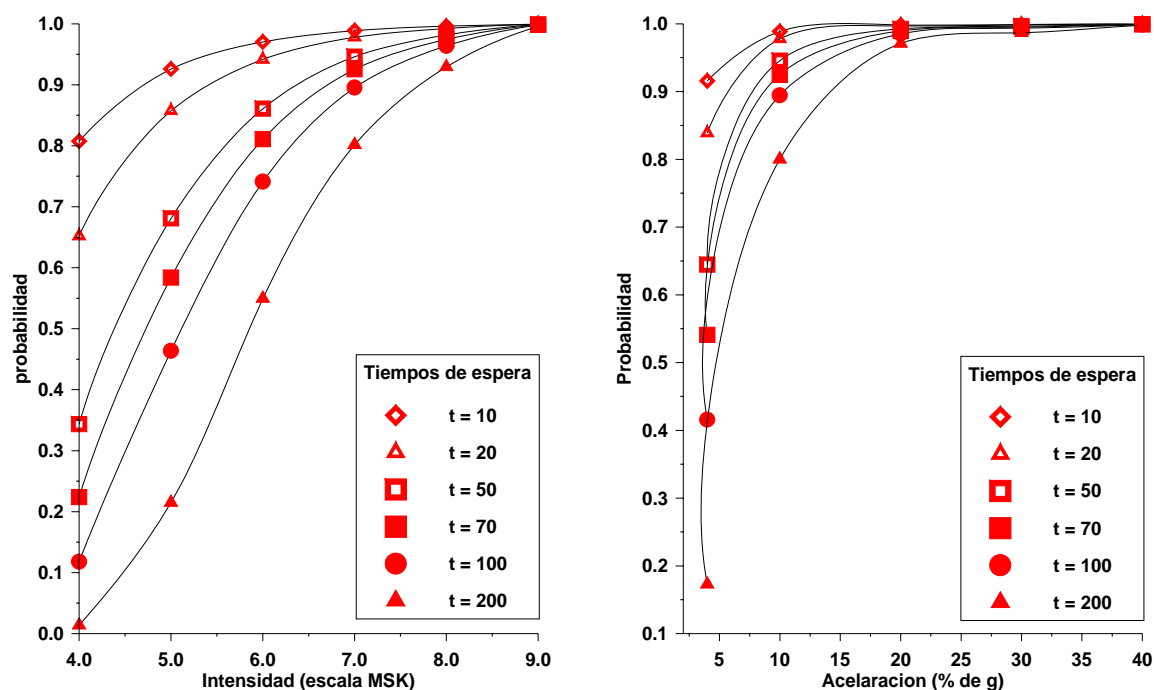


Fig.4 Probabilidades de que no sean igualados o excedidos determinados valores de intensidad y aceleración pico horizontal para diferentes tiempos de espera (en años), en el caso de un modelo poissoniano de ocurrencia de terremotos.

En los últimos tiempos, se ha considerado conveniente adoptar en las normas internacionales para la construcción en zonas sísmicas, un nivel de probabilidad de 0,9 y un tiempo de espera de 50 años. En las Fig. 5 y 6 se muestran los mapas de zonación regional del peligro sísmico del territorio, en términos de intensidad y aceleración pico horizontal, para el referido nivel de probabilidad y tiempo de espera.

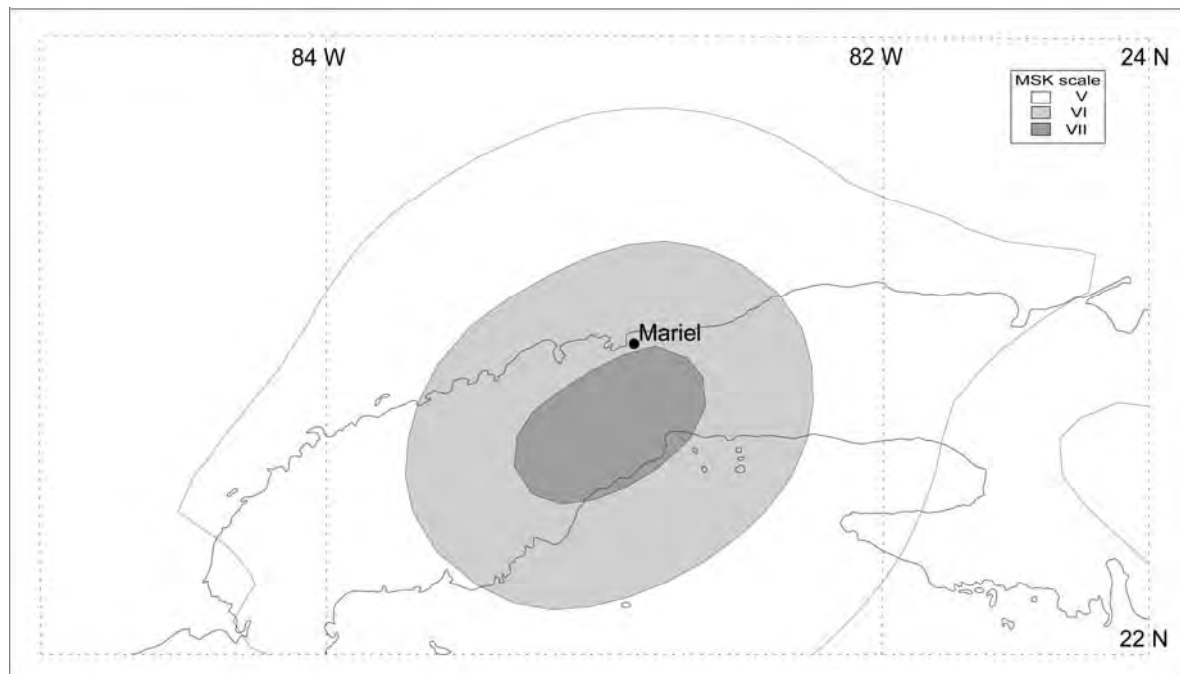


Fig.5 Zonificación de la intensidad sísmica que no deberá ser excedida con una probabilidad del 90% en 50 años, obtenida a partir de la inversión de las intensidades de terremotos reales de Cuba. Se consideran suelos S2

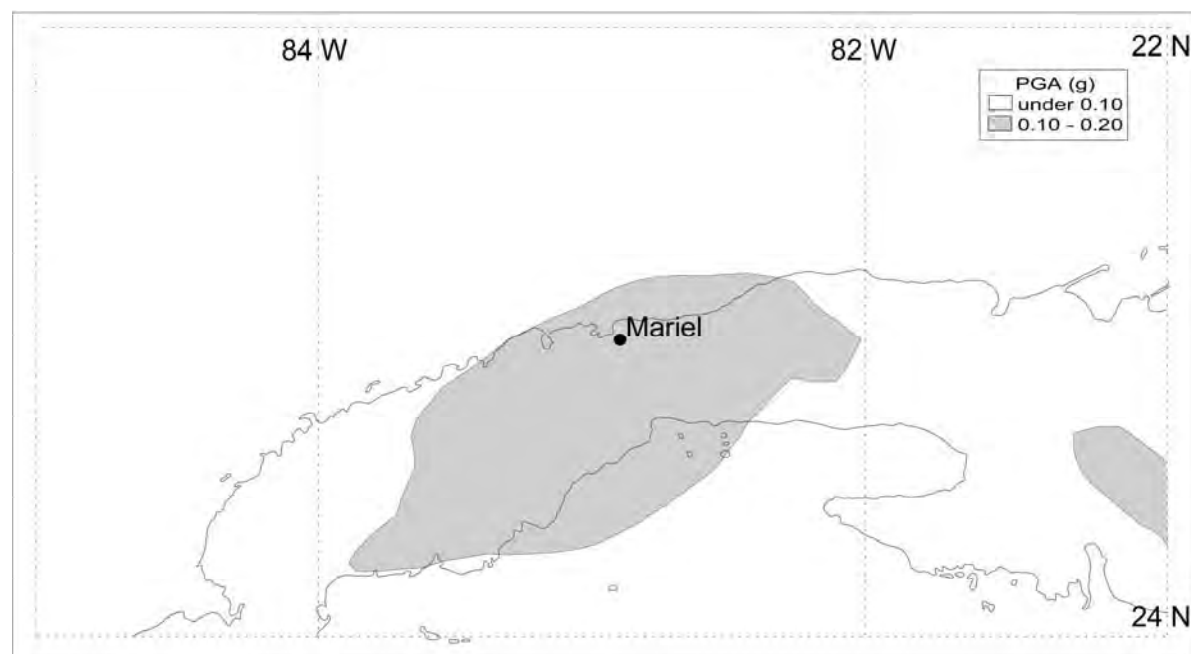


Fig. 6 Zonificación de la aceleración pico horizontal que no deberá ser excedida con una probabilidad del 90% en 50 años. Se consideran suelos S2

Parámetros de los movimientos del terreno producidos por los terremotos de escenario en el área de la CTE- Mariel



Los sismos en función de su magnitud y distancia del hipocentro al sitio de interés pueden producir movimientos del terreno con características diferentes en cuanto a su amplitud, período y duración. Estos tres parámetros juegan un papel decisivo en las afectaciones al medio construido.

El efecto de la duración de los sismos había sido ignorado en muchas normas de diseño, debido a que el espectro de aceleración resulta insensible a la duración del sismo. En este espectro aparecen solo reflejadas las aceleraciones máximas de respuesta ocurridas durante el evento sísmico. Cuando ocurren sismos de larga duración pueden manifestarse fenómenos de degradación de la resistencia y rigidez de las estructuras. Esto es debido al número de ciclos de carga que deben soportar los elementos estructurales. Considerando todo esto el diseño sismorresistente deberá diferenciarse para sismos de corta y larga duración, independientemente de la aceleración de diseño. La duración aumenta con la magnitud y la distancia del área al epicentro del terremoto.

Los sismos que ocurren a distancias inferiores a 20 Km., producen aceleraciones grandes en el intervalo de períodos cortos, amplitudes pequeñas del desplazamiento y movimientos del terreno de corta duración. Por esta razón, son susceptibles de afectar a las construcciones rígidas, cuyos períodos propios de oscilación están comprendidos entre 0.1 y 0.3 seg.

Los sismos que ocurren a distancias epicentrales inferiores a 100 Km., generan también aceleraciones grandes en el intervalo de períodos cortos, entre 0.15 y 0.3 seg., así como velocidades grandes, en el intervalo de períodos de 0.4-0.6 seg. La duración de los movimientos más intensos del terreno es mayor que la de los eventos locales, así como más amplio el contenido espectral del movimiento. Por esta razón, pueden afectar estructuras de variado tipo. Los más peligrosos son aquellos que se localizan dentro de un área circular de 100 Km. con centro en el emplazamiento.

A medida que el foco del evento sísmico se aleja del área, las aceleraciones del terreno disminuyen sensiblemente y el espectro de respuesta se va a caracterizar por la presencia de picos en el dominio de los períodos largos y desplazamientos grandes. Por este motivo los sismos lejanos suelen ser peligrosos para las estructuras esbeltas y flexibles.

Para el caso específico del área de emplazamiento la CTE-Mariel, fueron considerados dos prototipos de sismos que pueden generar dos escenarios de daños diferentes. Esto se debe a las diferencias en la intensidad, contenido espectral y duración de las sacudidas que deberán producir los mismos en el área.

- *Sismo de campo cercano* ($\Delta=5,0$ Km.) con epicentro en la falla Mariel-Carraguao. Para este sismo se considera una magnitud $M_{\max}=4,5$
- *Sismo de campo intermedio* ($\Delta=45,0$ Km.) con epicentro en la Falla Pinar. Para este sismo se considera una $M_{\max}=6,0$ Los parámetros de este evento se corresponden con los del terremoto del 23 de Enero de 1880.

Los parámetros de los movimientos del terreno que deberán producir estos terremotos en el área fueron calculados con ayuda de las fórmulas empíricas propuestas por Aptikaev (1987), válidas para suelos medios.

Se seleccionaron estas expresiones, por haber sido obtenidas a partir de acelerogramas reales correspondientes a una muestra estadística de gran tamaño. Dicha muestra es representativa de



diferentes ambientes geológicos. Además, las expresiones anteriores permiten calcular la totalidad de los parámetros del efecto sísmico. Los resultados de los cálculos se muestran en la tabla V

Tabla V Parámetros de los prototipos de terremotos seleccionados

Sismo	Zona sismogénica	Δ (km)	M_{\max}	A_{\max} (cm/s ²)	V_{\max} (cm/s)	T(seg)	D (seg)	I_{\max}
Cercano	Pinar	45	6.0	80	7.0	0.5	6.1	VI-VII
Local	Mariel-Carraguao	5	4.5	50	5.0	0,14	2.3	VI

Los valores de las intensidades que aparecen en la tabla anterior (I_{\max}), fueron obtenidos a partir de la aceleración A_{\max} , calculada como la media geométrica de las aceleraciones horizontal y vertical de registros reales de terremotos correspondientes a dichos intervalos de magnitudes y distancias. Se tomó también en consideración la duración de la fase fuerte del sismo D (seg.). Este último parámetro tiene una gran influencia en la magnitud de las afectaciones producidas por los sismos. Las aceleraciones e intensidades obtenidas, se corresponden con las de la escala MSK-78 para períodos de 0,1-0,5 seg.

MICROZONIFICACION SISMICA DEL AREA

Las condiciones geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas locales, pueden influir en las características de los movimientos sísmicos modificando sus efectos en las diferentes partes de un área. Las investigaciones de microzonificación sísmica tienen como objetivo fundamental detectar estas modificaciones, y delimitar las zonas geográficas con diferentes niveles de peligrosidad sísmica dentro del área del emplazamiento. Estos estudios se basan en investigaciones locales de las condiciones geólogo-geotécnicas e hidrogeológicas realizadas previamente, y en mediciones instrumentales de microsismos u otras señales sísmicas. Estas mediciones permiten caracterizar las vibraciones del terreno desde el punto de vista de su contenido espectral (amplitudes y frecuencias). Con estos estudios se puede también anticipar la ocurrencia del dañino fenómeno de la resonancia, cuando la frecuencia propia de oscilación del suelo es similar a la de la estructura.

En el caso específico de las obras de gran porte, la delimitación de las zonas poco favorables desde el punto de vista sísmico reviste una gran importancia. Esto se debe a que estas estructuras pueden ejercer cargas considerables sobre el estrato portante, provocando la pérdida de la estabilidad del mismo.

En la microzonificación sísmica se utilizan métodos directos e indirectos. Los métodos directos se basan en la comparación de los registros de terremotos débiles o fuertes en zonas con diferentes condiciones geológicas. Estos solo son aplicables en las zonas con una actividad sísmica alta. Los métodos indirectos se clasifican en teóricos y experimentales. Los métodos experimentales basados en el registro de microsismos de origen antrópico, son ampliamente utilizados por su rapidez y economía, y proporcionan las características de amplitud-frecuencia de los movimientos del terreno. Cuando existen estudios geólogo-geotécnicos detallados, como en el caso que nos ocupa, se utilizan conjuntamente con el método de los microsismos, los métodos de analogías ingeniero geológicas y rigidez sísmica. En la microzonificación sísmica del área de emplazamiento de los grupos electrógenos de Mariel, se utilizó el método de analogías ingeniero-geológicas, para identificar las condiciones típicas del área y realizar, a grosso modo, una evaluación de los potenciales incrementos de la intensidad. Los métodos de rigidez sísmica y microsismos fueron posteriormente utilizados para precisar dichos estimados y evaluar la respuesta dinámica del subsuelo. Se consideró también la influencia de las fallas y fracturas en el incremento del peligro sísmico.



Breve caracterización ingeniero- geológica del área

Las investigaciones ingeniero-geológicas detalladas, realizadas por la Empresa INEL, estuvieron basadas en más de 60 pozos con profundidades de 20 m o más. Se realizaron también, por parte de dicha empresa, trabajos geofísicos de prospección sísmica y sismocarotajes en varios pozos. Estos estudios constituyeron la base fundamental de la microzonificación sísmica.

A continuación se presenta la descripción de los horizontes geotécnicos que pudieron ser diferenciados en el corte litológico estudiado, conjuntamente con los valores promedio y de cálculo de sus principales parámetros físicos y mecánicos:

Horizonte N° 1: Relleno, compuesto por materiales arcillo – limo - arenosos con contenido de gravas entre un 15 - 25 %, de composición calcárea, de color amarillo, crema y carmelita claro, gravas angulosas y subangulosas 3cm tamaño mayor, duras, con trazas de bloques de caliza de hasta 50cm de tamaño. Presenta una compacidad media a alta. Este horizonte aparece de forma discontinua en la superficie del área y yace generalmente por encima del horizonte N° 2.

Principales propiedades físicas.

Propiedades físicas		Unidad de Medida	Valor
Peso volumétrico seco	(γ_d)	t/m ³	1.4
Humedad	(w)	%	25
Índice de poros	(e)	Adim	1.06
Peso específico	(G_s)	t/m ³	2.71
Saturación	(S)	%	86
Gravas	(G)	%	16
Arenas	(A)	%	28
Limos	(L)	%	24
Arcillas	(A)	%	32
Límite líquido	(LL)	%	45
Límite plástico	(LP)	%	28
Índice plástico	(IP)	%	17

Horizonte N° 2: Relleno compuesto de materiales arcillo limosos con gravas entre un 10-25 %, de composición generalmente terrígena, color gris verdoso a verde oscuro, gravas subangulosas 2cm tamaño mayor, semiduras a blandas de rocas predominantemente volcánicas y metamórficas, con trazas de bloques y cantos de esa misma composición, bloques de hormigón, restos de materiales de la construcción, piezas y pedazos de metal, materiales arcillo arenosos mezclados con hidrocarburos y resto de instalaciones eléctricas soterradas, generalmente poco compactados.

Horizonte N° 3: Arena bien graduada, de color gris claro, con trazas de gravas compuestas por fragmentos de conchas y caracoles, de baja compacidad, húmeda, de composición calcárea, origen marino, edad Holoceno (Q₄). Clasifica según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como SM (arenas limosas)



Principales propiedades físicas.

Propiedades físicas	Unidad de Medida	Valor
Gravas (G)	%	10
Arenas (A)	%	71
Limos y Arcillas (L)	%	19
Límite plástico (LP)	%	N.P

Horizonte N° 4: Limos arcillosos y arcillas limo-arenosas, con alto % de materia orgánica, muy húmedos, de plasticidad media a baja, consistencia blanda, de color gris negruzco a negro, olor fétido, por tramos fibroso con aspecto de turba y deleznable al tacto, reacción entre débil y fuerte al HCL, origen lacuno-palustre, edad Holoceno (Q4).

Principales propiedades físico-mecánicas

Propiedades físico mecánicas	Unidad de Medida	Rango de Valores		Valor Promedio
		Mínimo	Máximo	
Peso volumétrico natural (γ_t)	t/m ³	1.620	1.833	1.630
Peso volumétrico seco (γ_d)	t/m ³	1.149	1.202	1.175
Humedad (w)	%	52.6	53	52.8
Índice de poros (e)	Adim	1.25	1.35	1.30
Peso específico (G_s)	Adim	2.63	2.70	2.66
Saturación (S)	%	100	100	100
Módulo de deformación (E)	Kg./cm ²	4	10	8
Cohesión (C)	Kg./cm ²			0.1
Angulo Fricción interna (ζ)	grados			0
Contenido de materia orgánica	%	36	61	48

Este horizonte geotécnico es el más desfavorable dentro de los límites del área investigada, en sectores aislados y en la zona de emplazamiento de las unidades 6, 7, 8, la unidad de arranque y la casa de bomba de combustible es donde aparece con sus máximas potencias, generalmente por debajo del nivel superior de las aguas subterráneas, condicionando las soluciones de cimentación para los objetos de obras anteriormente relacionados.

Horizonte N° 5: Calizas biohérticas, Calcarenitas, Calizas arrecifales, poco cementadas, porosas, estructura masiva, color crema, amarillo y carmelita amarillento, moderadamente meteorizadas a meteorizadas, poco resistentes, carsificadas a poco carsificadas, agrietadas a poco agrietadas, origen marino, edad Pleistoceno Medio- Superior, Formación Jaimanitas.

Principales propiedades físico-mecánicas.

Propiedades físico mecánicas	Unidad de Medida	Rango de Valores		Valor Promedio
		Mínimo	Máximo	
Peso específico húmedo (γ_h)	t/m ³	1.510	2.198	1.987
Peso específico seco (γ_d)	t/m ³	1.535	2.184	1.951
Peso específico saturado (γ_s)	t/m ³	1.687	2.272	2.073
Humedad (w)	%	2.55	12.61	6.84



Absorción (A)	%	3.85	9.7	6.71
Relación de vacíos (e)		0.51	0.59	0.54
Porosidad (n)	%	32	37	34
Peso específico (G_s)	Adim	2.72	2.76	2.74
Carga admisible (q_a)	Kg./cm ²			7
Módulo de deformación (E)	Kg./cm ²	1300	2100	1650
Resistencia a la Compresión	Kg./cm ²	24	151	92
Angulo Fricción interna (ζ)	grados	8	12	9
Cohesión (C)	Kg./cm ²	0.3	1.0	0.6

Horizonte N° 6: Calizas organógenas, Calizas organodetríticas, Calizas fragmentarias, Calizas dolomitizadas, Calizas pelitomórficas, recristalizadas, de estructura masiva, cavernosas, de color crema, amarillo, blanco y rosado, moderadamente meteorizadas a meteorizadas, medio resistentes a resistentes, fracturadas, de origen marino, edad Mioceno medio parte alta, Formación Güines.

Principales propiedades físico-mecánicas.

Propiedades físico mecánicas	Unidad de Medida	Rango de Valores		Valor Promedio
		Mínimo	Máximo	
Peso específico húmedo (γ_h)	t/m ³	1.882	2.290	2.074
Peso específico seco (γ_d)	t/m ³	1.780	2.245	2.004
Peso específico saturado (γ_s)	t/m ³	2.004	2.303	2.135
Humedad (w)	%	2.55	12.61	6.84
Absorción (A)	%	3	13	7
Peso específico (G_s)	Adim	2.70	2.78	2.74
Resistencia a la Compresión	Kg/cm ²	88.0	281.2	145
Angulo Fricción interna (ζ)	grados	8	20	12
Cohesión (C)	kg/cm ²	0.3	1.0	0.7
Carga admisible* (q_a)	Kg./cm ²			17
Módulo de deformación (E)	Kg./cm ²	1450	2800	2283

*El valor de carga admisible que aparece en la tabla anterior es solo válido cuando el horizonte aparece fuera de los límites de la zona de falla. Dentro de los límites de la zona de falla, donde se manifiesta una alta fracturación, formas cavernosas vacías o rellenas por materiales arcillosos, sueltos y plásticos no consolidados, se considerara que este horizonte se comporta como un material no rocoso, que en este caso, rellena las formas anteriormente mencionadas de composición arcillo areno gravoso. Los parámetros físicos-mecánicos de cálculos para la determinación de la carga admisible son entonces los siguientes:

Peso específico húmedo (γ_h) = 1.78 t/m³
 Angulo Fricción interna (ζ) = 11°
 Cohesión (C) = 0.5 kg/cm²
 Módulo de deformación (E) = 110 kg/cm²

Horizonte N° 7: Calizas arenosas, Margas calcáreas de grano medio a grueso, Calizas arcillosas, generalmente poco cementadas (por tramos muy aislados recristalizadas), porosas, de color blanco, beige y crema blancuzco, meteorizadas, poco resistentes a semi-rocosas, con estructura masiva, poco fracturadas a fracturadas, de origen marino, de edad Mioceno inferior-Mioceno Medio parte baja, posiblemente Formación Jaruco.



Principales propiedades físico-mecánicas.

Propiedades físico mecánicas	Unidad de Medida	Rango de Valores		Valor Promedio
		Mínimo	Máximo	
Peso específico húmedo (γ_h)	t/m ³	1.546	1.661	1.601
Peso específico seco (γ_d)	t/m ³	1.322	1.440	1.361
Peso específico saturado (γ_s)	t/m ³	1.660	1.745	1.696
Humedad (w)	%	21.13	27.42	24.72
Absorción (A)	%	21	27	24.7
Peso específico (G_s)	Adim	2.70	2.75	2.74
Resistencia a la Compresión	Kg./cm ²	11.4	13.4	12.1
Angulo Fricción interna (ζ)	grados	6	8	7
Cohesión (C)	Kg./cm ²	0.3	0.7	0.4
Carga admisible* (qa)	Kg./cm ²			4.8
Módulo de deformación (E)	Kg./cm ²	1200	1700	1600

El valor de la carga admisible es válido solo cuando el horizonte aparece fuera de los límites de la zona de falla. En el caso en que este horizonte se encuentra dentro de las zonas de falla su carga admisible se reduce a 2.4 Kg./cm²

Horizonte N° 8: Margas arcillosas, de color crema (con venas o bandas anaranjadas y grises) o de color gris-azul, estructura masiva, muy fisuradas, muy meteorizadas, "eluvios estructurales", los núcleos de la perforación se pueden moldear con fuerte presión de las manos en condiciones de alta humedad, poco resistentes, origen marino, edad Eoceno Medio, Formación Universidad (Miembro Príncipe).

Principales propiedades físico-mecánicas

Propiedades físico mecánicas	Unidad de Medida	Rango de Valores		Valor Promedio
		Mínimo	Máximo	
Peso volumétrico natural (γ_f)	t/m ³	1.679	2.021	1.779
Peso volumétrico seco (γ_d)	t/m ³	1.133	1.588	1.275
Humedad (w)	%	27.3	48.3	40.2
Índice de poros (e)	Adim	0.78	1.41	1.16
Peso específico (G_s)	t/m ³	2.70	2.82	2.73
Saturación (S)	%	90	99	94
Módulo de deformación (E)	Kg./cm ²	103	246	150
Cohesión (C)	Kg./cm ²			0.3
Angulo Fricción interna (ζ)	Grados			20
Resist. a la compresión (Rc)	Kg./cm ²	2.5	11	7
Carga admisible (qa)	Kg./cm ²			2.1

Horizonte N° 9: Intercalaciones de capas de Limolitas calcáreas y Areniscas polimícticas con cemento calcáreo, de color carmelita oscuro y carmelita a gris verdoso, en capas poco potentes (2 a 15 cm. de espesor), de estructura estratificada, muy meteorizadas (eluvio estructural), puede presentar meteorización diferencial (las capas de Limolitas moldeables o deleznales al tacto, las capas de Areniscas duras y resistentes), generalmente poco resistentes, de origen marino, edad Eoceno Inferior, Formación Capdevila.



Principales propiedades físico-mecánicas

Propiedades físico mecánicas	Unidad de Medida	Rango de Valores		Valor Promedio
		Mínimo	Máximo	
Peso volumétrico natural (γ_f)	t/m ³	1.733	1.857	1.795
Peso volumétrico seco (γ_d)	t/m ³	1.212	1.282	1.247
Humedad (w)	%	43	49.9	46.4
Índice de poros (e)	Adim	1.18	1.31	1.24
Peso específico (G_s)	t/m ³	2.73	2.78	2.76
Saturación (S)	%	92	100	96
Módulo de deformación (E)	Kg./cm ²	113	168	146
Cohesión (C)	Kg./cm ²			0.4
Angulo Fricción interna (ζ)	Grados			19

Horizonte N° 10: Intercalaciones rítmicas de capas finas de Areniscas polimícticas, Limolitas calcáreas y Lutitas calcáreas, de color gris oscuro, muy fisuradas, muy meteorizadas, "eluvio estructural", muy poco resistentes, húmedas, se pueden moldear con fuerte presión de las manos, edad Cretácico Superior, origen Marino, Formación Vía Blanca.

Principales propiedades físico-mecánicas

Propiedades físico mecánicas	Unidad de Medida	Rango de Valores		Valor Promedio
		Mínimo	Máximo	
Peso volumétrico natural (γ_f)	t/m ³	1.76	1.98	1.79
Peso volumétrico seco (γ_d)	t/m ³	1.29	1.53	1.34
Humedad (w)	%	29.4	35.9	33.4
Índice de poros (e)	Adim	0.97	1.15	1.10
Peso específico (G_s)	t/m ³	2.74	2.79	2.75
Saturación (S)	%	83	92	89
Gravas (G)	%	0	0	0
Arenas (A)	%	2	12	5
Limos (L)	%	15	24	19
Arcillas (A)	%	77	82	76
Límite líquido (LL)	%	64	79	74
Límite plástico (LP)	%	42	48	44
Índice plástico (IP)	%	20	37	30
Módulo de deformación (E)	Kg./cm ²	150	220	180
Cohesión (C)	Kg./cm ²			1.4
Angulo Fricción interna (ζ)	grados			8
Axial de suelo (qu)	Kg./cm ²	2	5	3.5

Método de las Analogías Ingeniero-Geológicas

Las observaciones de campo posteriores a la ocurrencia de un sismo fuerte han mostrado que los mayores daños en las estructuras ocurren en las zonas cuyas condiciones geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas son desfavorables.



Popov (1959) determinó, de forma experimental, los incrementos de la intensidad sísmica en la escala MSK para 17 perfiles típicos que resumen las características geológicas, geomorfológicas e ingeniero-geológicas de numerosas zonas sísmicas del territorio de la antigua Unión Soviética. La extrapolación de estos valores a zonas con características similares donde no se hayan reportado sismos fuertes, o que sólo dispongan de información histórica constituye la esencia del Método de Analogías Ingeniero-Geológicas (Medveded, 1977).

Para la identificación de perfiles análogos a los típicos en el área de estudio, se analizaron las condiciones generales de la misma, los datos de las perforaciones realizadas, los perfiles y el esquema ingeniero-geológico confeccionado por los especialistas de INEL. En el área se identificaron los siguientes perfiles:

Perfil geológico típico 10

Compuesto por eluvios estructurales, donde la roca se ha transformado en arcilla y otros sedimentos detríticos friables húmedos. Para este perfil, se pueden producir incrementos de la intensidad entre 1,6-2,8 grados, con respecto a la roca no alterada y de 1 grado con respecto al suelo medio S2.

Perfil geológico típico 12

Compuesto por formaciones arcillosas, arenosas o limosas, saturadas con agua de origen marino o lacustre. Para este perfil se pueden producir incrementos de la intensidad entre 2,3 y 3,9 grados, con respecto a la roca no alterada y de 1-2 grados con respecto al suelo medio S2.

Perfil geológico típico 13

Suelos de relleno y diferentes materiales artificiales con potencia menor de 3-5 m, saturados con agua. Son muy peligrosos por su capacidad de provocar hundimientos intensos e irregulares. Para este perfil se pueden producir incrementos de la intensidad entre 2,3-3,9 respecto a la roca no alterada y de 1-2 grados con respecto al medio suelo S2.

Perfil geológico típico 14

Rocas duras y semiduras carbonatadas carsificadas, con cavidades cársticas vacías o rellenas con arcilla. Son muy peligrosas debido a los hundimientos irregulares que pueden ocurrir. Para este perfil se pueden producir incrementos de 2,0-4,0 con respecto a la roca no alterada y de 1-2 grados con respecto al medio suelo S2.

Perfil geológico típico 17

Rocas duras, semiduras o blandas, afectadas por grietas o fallas que afloran en la superficie o están ocultas por sedimentos friables, secos o saturados con agua. Extremadamente peligroso desde el punto de vista sísmico. Se pueden producir incrementos de la intensidad de 3,0 – 4,0 grados con respecto a la roca no alterada o de 2 grados respecto al suelo medio S2

El método de analogías ingeniero geológicas proporciona una visión preliminar de las condiciones del área y permite realizar una estimación, a grosso modo, de los incrementos de la intensidad sísmica con relación al suelo medio (S2). A este suelo, como se mencionó anteriormente, están referidas las estimaciones regionales del peligro sísmico y el mapa de zonificación sísmica que sirvió de base a la Norma NC 53 114 de 1999 para el diseño de estructuras antisísmicas.



Método de la Rigidez Sísmica

El método de la rigidez sísmica propuesto por S.V Medvedev (1973, 1977), es ampliamente utilizado en las investigaciones de microzonificación sísmica. El mismo se basa en el estudio de dos características intrínsecas del suelo: la velocidad de propagación de las ondas sísmicas longitudinales o transversales y la densidad natural.

La rigidez sísmica se define como el producto de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas (longitudinales o transversales) y la densidad del medio a través del cual se propagan dichas ondas.

Las variaciones de la intensidad sísmica se determinan con ayuda de la relación:

$$\Delta I = \Delta I_c + \Delta I_n.f + \Delta I_{res}$$

donde: ΔI_c es la variación de la intensidad sísmica dada por el cociente de la rigidez sísmica del suelo patrón ($V_0 \rho_0$) y del suelo investigado ($V_i \rho_i$), que se expresa mediante la fórmula:

$$\Delta I_c = 1,67 \log (\rho_0 V_0) / (\rho_i V_i)$$

V_i , V_0 son las velocidades de propagación de las ondas sísmicas longitudinales o transversales en los suelos patrón e investigado respectivamente, y ρ_0 , ρ_i las densidades de dichos suelos.

$\Delta I_n.f$ es el incremento de la intensidad sísmica debido a la humedad del suelo.

$$\Delta I_n.f = a e^{-0,04h^2}$$

Donde: h es la profundidad de yacencia del manto freático (en metros).

ΔI_{res} es el incremento de la intensidad sísmica debido a las propiedades de resonancia de la capa investigada. Este último incremento se calcula solo cuando el corte geológico está formado por capas homogéneas desde el punto de vista de su rigidez sísmica, constituidas por sedimentos friables, que yacen directamente sobre rocas con valores de rigidez sísmica mucho mayores. Estas condiciones no se presentan en el área de estudio.

Como parte de los estudios geofísicos llevados a cabo por INEL con el objetivo de esclarecer el cuadro geólogo-estructural del área, se realizaron 8 puestas sísmicas para la obtención de las ondas longitudinales en los perfiles PG-4, PG-5, PG-7 y PG-9. Se realizaron también sismocarotajes en los pozos PM-1, PM-21, PM-10 A, PM-38A y PM-48. A partir de estos trabajos, se determinaron las velocidades media y real de las ondas longitudinales correspondientes a los diferentes elementos ingeniero-geológicos interceptados por dichas perforaciones.

Sobre la base de los datos de velocidad obtenidos en dichos pozos y de las correspondientes densidades húmedas, obtenidas mediante de ensayos de laboratorio, se calcularon los incrementos de la intensidad sísmica relativos a una roca sana (granito). Se determinaron también las variaciones (incrementos y decrementos) de la intensidad sísmica con respecto a un punto patrón (cala PM-1).

Se seleccionó una muestra del resto de los pozos del área, y se le asignó, a cada elemento ingeniero-geológico, el valor de la velocidad promedio correspondiente al mismo determinada a partir de los trabajos de prospección sísmica somera. Los resultados del cálculo de los incrementos de la



intensidad mediante la comparación del valor de la rigidez sísmica del suelo y la roca, tomando en cuenta la influencia de las aguas subterráneas, se muestran en la tabla VI

Tabla VI Incrementos de la intensidad por el método de la rigidez sísmica

No pozo	Suelo predominante	Nf(m)	Vp	H(m)	Pg/cm3	ΔI_r	ΔI_{nf}	$\Delta I_r + \Delta I_{nf}$	ΔI (PM-1)
PM-1	8	2,52	1606	5	1,779	1,25	0,39	1,64	0
PM-21	7	2,46	1250	5	1,98	1,36	0,4	1,76	+0,12
PM-10 ^a	6	2,93	1353	11	2,074	1,27	0,3	1,57	-0,07
PM-38 ^a	6	2,5	1190	23,5	2,07	1,37	0,39	1,76	+0,12
PM-48	4	2,5	780	5	1,63	1,85	0,39	2,24	+0,6
PM-14	7	2,45	1300	9,3	1,9	1,3	0,4	1,7	+0,06
PM-8	8	2,48	1500	5,5	1,77	1,4	0,4	1,8	+0,16
PM-50	7	2,70	1200	18	1,98	1,38	0,36	1,74	+0,10
PM-55	7	2,80	1500	25	1,98	1,24	0,35	1,59	-0,05
PCHI-45	7	2,20	1300	20	1,98	1,33	0,49	1,82	+0,18
PT-93	5	2,57	1060	9	1,987	1,48	0,38	1,86	+0,22
PT-94	5	2,58	980	6	1,75	1,63	0,38	2,01	+0,37
PT-95	5	2,70	1000	6	1,75	1,61	0,36	1,97	+0,33

En la tabla anterior se observa que los incrementos de la intensidad sísmica con respecto a la roca sana (suelo S1), oscilan entre 1,57 y 2,24. Entonces, con respecto al suelo S2, estos incrementos oscilarían entre 0,57 y 1,24. Si se redondean los valores obtenidos, se tendrá un incremento de dos grados respecto al suelo S1 y de un grado respecto al S2. Esto demuestra que los suelos del área, por sus características geotécnicas desfavorables, se comportan como suelos de categoría S3 y hasta S4 en las zonas de fallas. También se pudo constatar que las condiciones geotécnicas y las propiedades sísmicas de los suelos son desfavorables en toda el área. Las variaciones relativas de la intensidad sísmica respecto al pozo PM-1 así lo demuestran. Sin embargo, se debe señalar que existe un ligero empeoramiento de estas condiciones hacia el norte de área.

Cálculo de los factores de amplificación de los suelos del área

La obtención de los incrementos de la intensidad sísmica de los suelos del área, en relación con las rocas graníticas, posibilita calcular los factores de amplificación del suelo. Para ello se utilizó la fórmula propuesta por Borchardt y Gibbs (1976), válida para periodos de los suelos comprendidos entre 0,1-0,6 segundos

$$FA = (\Delta I - 0,27) / 0,27$$

donde: ΔI es el incremento de la intensidad sísmica respecto al granito

El factor de amplificación del suelo se utiliza para corregir el valor de la aceleración pico horizontal o efectiva, que en las estimaciones del peligro sísmico a escala regional está referida generalmente a la roca (suelo S1). Los valores del factor de amplificación del suelo oscilan por lo general entre 2 y 5, pudiendo excepcionalmente alcanzar valores superiores a 10 (Constantinescu, y otros, 1979). Esto ocurre solamente cuando existen contrastes de rigidez sísmica muy pronunciados entre la capa de sedimentos friables y la roca subyacente. Para el área investigada, se obtuvieron valores del factor de amplificación del suelo FA relativamente altos (4-7), aunque dentro de los límites normales. Los mismos se muestran en la tabla VII.



Tabla VII Factor de amplificación del suelo respecto a la roca

No pozo	Suelo predominante	H(m)	ΔI	FA
PM-1	8	5	1,64	5
PM-21	7	5	1,76	5,5
PM-10 ^a	6	11	1,57	4,8
PM-38 ^a	6	23,5	1,76	5,5
PM-48	4	5	2,24	7,2
PM-14	7	9,3	1,7	5,2
PM-8	8	5,5	1,8	5,6
PM-50	7	18	1,74	5,4
PM-55	7	25	1,59	4,8
PCHI-45	7	20	1,82	5,7
PT-93	5	9	1,86	5,8
PT-94	5	6	2,01	6,4
PT-95	5	6	1,97	6,3

Los valores de FA obtenidos permiten concluir que los suelos del área son capaces de amplificar considerablemente las ondas recibidas de un sismo, que produzca vibraciones con periodos comprendidos entre 0,1-0,6 seg.

Los terremotos de magnitudes inferiores a 5,5, que ocurran a distancias epicentrales entre 5 y 35 Km. del área deberán producir en la misma oscilaciones con periodos entre 0,1-0,5 seg. Oscilaciones de periodos similares (0,1 - 0,5 seg.) deberán producir los sismos con magnitudes comprendidas entre 5,5 y 6,0, que ocurran a distancias entre 8 y 40 Km. A distancias algo mayores (40-75 Km.), los periodos estarían comprendidos entonces entre 0,2-0,75 seg. (Medvedev, 1977). Estas observaciones resultan sumamente importantes, dado que los prototipos de sismos con mayor incidencia en el área investigada, como se vio anteriormente, son los de $M=6,0$ y $M=4,5$, generados por las Fallas Pinar y Mariel Carraguao respectivamente. Estos eventos pueden producir oscilaciones con las mismas características de frecuencia en el área por su magnitud y distancia a la misma.

Influencia de las fallas y fracturas en el incremento del peligro sísmico

Las fallas y fracturas que afectan un área, deben ser tomadas en cuenta en los trabajos de microzonación sísmica por constituir un peligro potencial para las construcciones.

La zona dislocada constituye un volumen donde la roca presenta una sensible alteración de sus propiedades físico-mecánicas. En muchos casos, las dimensiones de estas dislocaciones son comparables a las de las propias edificaciones que serán construidas en el interior o en las proximidades de la zona de influencia.

No existe actualmente una clasificación única de las fallas desde el punto de vista ingenieril. No obstante, para los fines de la microzonación sísmica resulta de interés clasificar las mismas atendiendo a su longitud, ancho y capacidad de actuar como "barreras" que puedan condicionar, en un momento dado, las condiciones hidrogeológicas locales.

De acuerdo con el criterio de algunos autores, resulta imprescindible tener en cuenta la constitución y características particulares de la zona de dislocación tectónica, su influencia en el campo de ondas sísmicas y la posibilidad de que en dicha zona ocurran desplazamientos.



En las zonas de fallas, cuyo ancho puede variar desde los centímetros hasta los cientos de metros, se identifican zonas con diferente grado de alteración. En la microzonación sísmica, resulta importante conocer la potencia de la zona triturada y las características de las mencionadas zonas, con el objetivo de determinar la diferencia de su comportamiento con relación al de las zonas aledañas no afectadas.

Por ejemplo, los resultados de estudios de este tipo, basados en el análisis estadístico de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, para la roca sana y la zona de fracturación, en sitios de construcción de objetivos económicos de Cuba (González et al, 1990), muestran que ocurre un significativo descenso en el valor de ambas velocidades (V_p y V_s). Por ejemplo, si se calcula el valor de la rigidez sísmica para ambas zonas, considerando como patrón a una roca sana del mismo tipo, se obtienen incrementos de hasta 0,5 grados de intensidad en la escala MSK. Por esta razón, en las zonas de fallas y fracturas geológicamente comprobadas se consideran incrementos adicionales de la intensidad sísmica de hasta 0,5 grados y se trazan "corredores de seguridad" a lo largo de las mismas. Esto último cobra mayor importancia en las áreas de construcción de estructuras críticas, donde se realizan trabajos detallados de microzonación sísmica de nivel 3.

Específicamente en el área de estudio, como resultado del complejo de métodos geólogo-geofísicos realizados por los especialistas de INEL, se pudo corroborar la existencia de 4 zonas de fallas. Tres de estas fallas se corresponden con los alineamientos detectados durante los trabajos de desciframiento de las fotos aéreas. Estas zonas de fallas fueron comprobadas por las perforaciones, por los trabajos de prospección geofísica en tramos aislados, y mediante observaciones directas en los afloramientos naturales y artificiales, fuera de los límites del área.

La intercepción de estas 4 fallas, divide al bloque donde se encuentra ubicada el área en una serie de microbloques (7 en total) cuyas relaciones tectónicas y mecanismos de activación se desconocen.

Las fallas descubiertas fueron nombradas F1, F2, F3 y F4. La más importante es la Falla F1, que parece tener una relación genética con la Falla Mariel-Carraguo, que afecta al flanco Oeste de la Bahía de Mariel y que ha manifestado actividad sísmica de baja energía como se mencionó anteriormente. En todos los casos, en mayor o menor grado, las rocas en las zonas de fallas están muy alteradas y degradadas. Esto constituye un factor muy desfavorable que influye, de forma determinante en la estabilidad del área y de las obras que sobre ella se asienten.

Método de los microsismos

Los microsismos constituyen oscilaciones continuas de la superficie del terreno de amplitudes muy pequeñas, del orden de los micrones o decenas de micrones, producidas por causas naturales o artificiales (tráfico vehicular, actividad industrial, acción del viento, etc.). Los periodos de los microsismos están comprendidos entre 0,1 y 10 seg. Los de periodo corto, inferior a 1-2 seg., son los de mayor aplicación en la microzonificación sísmica y la sísmica ingeniera, dada su estrecha relación con el comportamiento dinámico de las capas superficiales del subsuelo. El registro y análisis de los microsismos, permite solucionar diferentes tareas:

- 1) Clasificación de los suelos sobre la base de los periodos predominantes de los microsismos para su aplicación en la microzonificación sísmica.
- 2) Evaluación del periodo de resonancia de la capa friable superficial y de las estructuras constructivas.
- 3) Caracterización de la respuesta dinámica del suelo ante un evento sísmico.



Esto se debe a que la distribución de los periodos de los microsismos está determinada por el tipo y la naturaleza del terreno. Más aún, al espectro de los microsismos pueden contribuir no solo las formaciones superficiales, sino otras situadas a mayor profundidad, en función de la relación de sus espesores y contrastes de rigidez sísmica.

Las mediciones de microsismos se realizan con ayuda de estaciones portátiles compuestas por sismómetros de alta sensibilidad que detectan las tres componentes del movimiento del terreno NS, EW y Z. Resulta importante cuando se utiliza este método, que se logre estandarizar las condiciones de medición de los microsismos para obtener resultados confiables. Se debe evitar la circulación de vehículos a menos de 150 m de distancia del punto de medición. Tampoco se deben realizar observaciones en los momentos en que ocurran cambios bruscos en las condiciones meteorológicas, en días lluviosos, etc.

El equipamiento utilizado para las mediciones de microsismos en el área, estaba compuesto por tres velocímetros de alta sensibilidad, dotados de un sistema de bobinas móviles. El periodo natural es de 1seg, aunque puede ser extendido a 5 seg. Las señales sísmicas después de ser amplificadas y cifradas son registradas en una computadora portátil. El sistema permite realizar el procesamiento preliminar en condiciones de terreno.

Se realizaron mediciones en 10 puntos de observación, en la parte del área correspondiente a la sala de máquinas, chimeneas, transformadores y unidad de arranque, con dimensiones aproximadas de 90 m de largo por 50 m de ancho. Los puntos de medición coinciden con las calas PM-1, PM-8, PM-21, PM-28, PM-33, PM-43, PM-10-A, PM-32, PM-50 y PM-56. En algunas de estas calas (PM-1, PM-10 A y PM-21) se realizó sismocarotaje para la determinación de las velocidades medias de la onda longitudinal por capas y las velocidades medidas de la onda longitudinal en profundidad. Los puntos de medición seleccionados constituyen una muestra representativa de las condiciones del área y satisfacen los requerimientos de la escala de trabajo.

El registro en cada punto tuvo una duración de 180 seg. El análisis de la señal se realizó dividiendo dicho segmento en intervalos de 10 seg. cada uno. Para los intervalos seleccionados, con una mayor calidad de la señal, se calculó el espectro de Fourier para las tres componentes del registro (NS, EW y Z). El suavizamiento del espectro se realizó con ayuda de una ventana de Parzen (ventana de potencia) de 0,3 Hz de ancho.

Una relación de los puntos de medición con sus coordenadas y algunas observaciones específicas de los mismos, se presentan en la tabla VIII. En la tabla IX se muestran los periodos predominantes obtenidos a partir del procesamiento de los registros de los microsismos en el dominio de la frecuencia.



Tabla VIII Relación de los puntos de medición de microsismos

No cala	X	Y	Observaciones
PM-1	320,643.927	355,675.135	Sismocarotaje
PM-8	320,666.525	355,671.688	
PM-10A	320,694.678	355,652.933	Sismocarotaje
PM-21	320,676.647	355,686.732	Sismocarotaje
PM-28	320,690.193	355,688.125	intersección de fallas
PM-32	320,695.300	355,695.600	
PM-33	320,705.200	355,690.300	
PM-43	320,702.374	355,707.558	
PM-50	320,707.406	355,714.795	
PM-56	320,712.241	355,722.267	

Tabla IX Periodos predominantes de los suelos obtenidos a partir de los espectros de velocidad de los microsismos de periodo corto (0,1-1 seg.)

No Punto	TNS (seg.)	TEW (seg.)	TZ (seg.)	Tp (seg.)
PM-1	0,16	0,11	0,13	0,14
PM-8	0,12	0,12	0,12	0,12
PM-10A	0,17	0,16	0,13	0,17
PM-21	0,13	0,26	0,16	0,20
PM-28	0,17	0,13	0,17	0,15
PM-32	0,57	0,14	0,13	0,40
PM-33	0,13	0,32	0,13	0,23
PM-43	0,13	0,22	0,12	0,18
PM-50	0,52	0,42	0,13	0,47
PM-56	0,49	0,38	0,13	0,44

Los periodos promedio T_p , de las componentes horizontales (NS Y EW) del registro de los microsismos se corresponden con los de las semirrocas alteradas por los procesos de meteorización, carso, etc. y con los de los suelos areno- arcillosos o areno gravosos del Cuaternario (Pleistoceno). Los mayores valores de T_p se obtuvieron en los puntos de observación que coinciden con las calas que intersectaron las capas de arena y cieno (horizontes 3 y 4).

Se debe señalar que muchos de los espectros obtenidos presentan varios picos, es decir, son multimodales. Esto se debe a los bajos contrastes de rigidez sísmica entre las capas del subsuelo, al aumento gradual de la velocidad con la profundidad y a las inversiones de velocidad que se observan frecuentemente en el corte lito- estratigráfico. Estos factores conspiran contra la resolución del método, es decir, su capacidad de distinguir, separar o detallar los rasgos geológicos en el subsuelo. También en la resolución influye la relación señal-ruido, que en el caso específico del área de estudio era baja por la presencia constante y aleatoria de interferencias de ruido de alta frecuencia.

CONCLUSIONES

- 1) Se obtuvieron, para el área de estudio, los períodos de recurrencia de las sacudidas sísmicas de diferentes intensidades (MSK) y aceleraciones (Tablas 3 y 4). Estos estimados corresponden a suelos medios, de categoría S2, que tienen un comportamiento relativamente favorable ante los sismos.



- 2) Como resultado de la microzonificación sísmica del área, se obtuvieron incrementos de 2 grados de intensidad con respecto a la roca (Suelo S1) y de 1 grado con respecto al suelo S2. Estos incrementos deberán tomarse en cuenta para el diseño de las estructuras.
- 3) El área, en general, presenta condiciones ingeniero-geológicas e hidrogeológicas desfavorables. Sin embargo, se observa cierto empeoramiento de estas condiciones hacia el Norte, debido a la presencia de capas de cieno y arena en el corte a pesar de no ser grande la potencia de las mismas.
- 4) Las condiciones hidrogeológicas son muy desfavorables. Los NMF se encuentran siempre a profundidades inferiores a 3,0 m, pudiendo incrementar el efecto sísmico en casi 0,5 grados de intensidad.
- 5) Los suelos del área pueden amplificar considerablemente las ondas recibidas de un sismo para el intervalo de periodos comprendido entre 0,1 y 0,6 seg. Los valores de los factores de amplificación del suelo, relativos a las rocas graníticas, oscilan entre 4 y 7.
- 6) La presencia de fallas y fracturas en el área es un factor sumamente desfavorable, que puede incrementar el efecto sísmico en 0,5 grados en la zona de influencia de las mismas, donde se manifiesta una alteración importante de las propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas. Se deben considerar dos factores: el peligro que representan las fracturas por sí mismas y el efecto de los movimientos sísmicos en las fracturas, debido a las variaciones en el campo de esfuerzos en la zona.
- 7) Se llevaron a cabo mediciones instrumentales de microsismos en 10 puntos de observación coincidentes con perforaciones realizadas anteriormente. Se obtuvieron periodos predominantes de las oscilaciones comprendidos entre 0,12 y 0,54 seg. Estos periodos se corresponden, en general, con los de los tipos de suelos y rocas presentes en el área. Se debe señalar que las condiciones en que se realizaron estas mediciones no fueron buenas, pues existían alteraciones de las condiciones naturales del área por los movimientos de tierra. Se debe también mencionar la influencia negativa de una fuente de ruido industrial permanente (Central Termoeléctrica), cuya amplitud máxima corresponde al periodo $T=0,07$ seg. Además la circulación intermitente del transporte pesado a menos de 150 m de los puntos de observación, contaminó también las señales.
- 8) Los periodos naturales del suelo son cercanos a los que deben producir en el área, por sus magnitudes y distancias epicentrales, los sismos de campo lejano e intermedio. Esto puede propiciar la ocurrencia del fenómeno de la resonancia, en particular cuando el periodo de las oscilaciones del suelo es próximo al de la estructura.

RECOMENDACIONES

Por las condiciones ingeniero-geológicas sumamente desfavorables del área, y en particular, por la presencia de fallas y fracturas en la misma, se recomienda que se analice una variante alternativa para el emplazamiento de los grupos electrógenos. Si no fuera posible cambiar el emplazamiento de la obra se deberán tener en cuenta las cuestiones siguientes para el diseño:

- 1) Incrementar en un grado la intensidad del área de emplazamiento, con respecto a la que establece el mapa de la Norma NC 53 114, 1999 para el suelo medio (S2).
- 2) Tomar en consideración los periodos de las oscilaciones de los prototipos de sismos susceptibles de afectar el área y los periodos predominantes de los suelos en el diseño de la estructura para así evitar la ocurrencia del fenómeno de la resonancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Aptikaev, F. F., 1987. Detailed hazard assessment for critical structures. Proceedings of the UNDRO/ USSR/ UNDP/UNESCO Training seminar on earthquake prediction and mitigation of earthquake losses, United Nations.
- CENAI-IGA (Colectivo de autores): Evaluación de los peligros naturales y su impacto sobre el medio ambiente en el territorio del Municipio de Mariel. Informe final del proyecto asociado al Programa Nacional de Ciencia e Innovación Tecnológica de la Defensa Civil, La Habana, marzo 2004.
- Chuy, T. y L., Álvarez, 1995 Mapa de peligro sísmico para la Norma Cubana Sismorresistente de la República de Cuba.
- Constantinescu, P., 1979 Geofísica ingenieril, Editora Técnica, Bucarest.
- CSIA-INEL (Colectivo de autores): Informe de las investigaciones ingeniero-geológicas e hidrogeológicas correspondientes a la etapa de proyecto técnico-ejecutivo GED 18,4 MW, Mariel, La Habana, abril 2006.
- González, B. E.; T., Chuy; L. D. Pérez y otros, 1991. Informe Científico-Técnico Mapas unificados de microzonificación sísmica de las áreas de las variantes 2 y 10, propuestas para la ubicación de la CEN de Holguín, Archivo CENAI
- GREDES: Guía para la realización de los estudios de riesgo de desastres. Elaborado para el Estado Mayor General de la Defensa Civil por el Grupo de Estudio de Desastres, La Habana, 2004.
- Jun, L., 1992. Seismic hazard in the ground fissure zone. Selected Papers of the Second International Conference on Continental Earthquakes, IASPEI Publication Series for the IDNDR, Volume No, 3.
- Medvedev S. V. (editor), 1962. Ingeniería Sismológica, Moscú
- Medvedev, S. V. (editor), 1977: Microzonificación sísmica, Editorial Nauka, Moscú.
- Normas para la proyección y ejecución de medidas técnico-ingenieras de Defensa Civil, La Habana, 2001.
- SEAN (Colectivo de autores), 1991. Investigación sísmica de la región de emplazamiento del Centro de Investigaciones Nucleares, La Habana.

COMPORTAMIENTO DE LA SISMICIDAD EN LA ZONA DE ACTIVIDAD SÍSMICA DE CHIVIRICO AL SUR DE LA REGIÓN ORIENTAL A PARTIR DEL AÑO 2001

Griselda Despaigne Longchamp

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Calle 17 No. 61 entre 4 y 6, Reparto Vista Alegre. Santiago de Cuba 90400. Cuba. E-mail: grisy@sssn.ciges.inf.cu

RESUMEN

En los últimos años la Zona Sísmica de Chivirico, en la porción sur oriental de Cuba ha venido manifestando una actividad significativa en forma de series de terremotos, esto es un elemento importante en la caracterización de la sismicidad de la región y lo que constituye el objetivo de este trabajo.

Con el propósito de establecer las tendencias de ocurrencias de sismos en esta zona, y partiendo de la información desde el año 2001 contenida en los Catálogos de Terremotos del SSSN se presenta una caracterización de la sismicidad presente en la Zona de Actividad Sísmica de Chivirico, teniendo en cuenta la liberación de energía, su distribución espacio temporal y en profundidad y las características de los registros.

ABSTRACT

In the last few years, the Seismic Zone Chivirico, located on the south-eastern part of Cuba has been showing a significant activity in the shape of earthquakes series. This is an important element for the seismic characterisation of the region and is the objective of this work.

With the purpose of establishing the tendencies of seismic occurrences in this zone, and starting with the information available since 2001 contained on the SSSN Earthquake Catalogues, a characterisation of the seismic activity present on the "Chivirico Seismic Activity Zone" taking into account the energy released, its space-time and depth distribution and the register characteristics.

INTRODUCCIÓN

El Servicio Sismológico desde el año 2001 estableció para el seguimiento de la actividad sísmica zonas de estudios llamadas Zonas de Actividad Sísmica. Estas zonas fueron delimitadas por la manifestación de sismicidad en cada una de ellas. Una de estas zonas es la conocida como ZAS Chivirico, que en los últimos años ha manifestado una actividad importante fundamentalmente en forma de series de terremotos que han tenido en su comportamiento la ocurrencia de varios sismos perceptibles, la misma se encuentra en la ventana de los 76.21 – 76.99 LW y los 19.30 – 20.20 LN.

Con la utilización de la información contenida en los Catálogos de Terremotos del SSSN a partir del 2001, se presenta una caracterización de la sismicidad presente en la Zona de Actividad Sísmica de Chivirico, teniendo en cuenta la liberación de energía, su distribución espacio temporal, etc.

Se tienen evidencias de varias series de terremotos en esta Zona de Actividad Sísmica, por ejemplo en el año 1992 (14 de junio-10 de septiembre) con 64 eventos y 1 perceptible, otra en 1992 (11 de noviembre-26 de diciembre) con 73 eventos sísmicos y 5 perceptibles, en 1996 (6 de junio-9 de julio) con 167 eventos y 16 perceptibles, en 1998 (17 de mayo) con 9 eventos y 3 perceptibles, luego en noviembre del 2001 se registró otra serie de terremotos con 360 eventos sísmicos con 6 eventos

perceptibles, el mayor de ello con magnitud de 4.2 grados y finalmente del 28 de enero – 18 febrero del 2006 con 385 eventos y 3 perceptibles. Este tipo de actividad anómala es característica de esa región, siendo esta la más intensa después de la registrada en los meses de Junio-Julio del 1996 e incluso no fue superada por esta serie que recién ha ocurrido en la zona en este año, sobre todo en cantidad de energía liberada.

Como caso de estudio se ejemplifican las series de terremotos ocurridas en el 2001 y la ocurrida en el 2006, poniéndose de manifiesto la existencia de una combinación de materiales homogéneos y heterogéneos en la génesis de los terremotos en esta Zona de Actividad Sísmica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar este trabajo se tomó la información Sismológica de los Catálogos de Terremotos del Servicio Sismológico Nacional. Para el procesamiento de esta información fue utilizado el Software de análisis SEISAN en su versión 7.0 y el programa Microsoft Excel para el tratamiento estadístico.

Para determinar el tiempo de ruptura y el área que abarcan las series se utilizó la tabla de Gardner y Knoppof de 1974 para el estudio de las réplicas.

La clasificación de las series se llevó a cabo atendiendo a la forma de ocurrencia de sus eventos sísmicos. Según la clasificación de las series establecidas por Mogi 1963, existen tres tipos:

TIPO I. No se producen premonitores. El sismo principal es el primero seguido de una serie de terremotos de menor magnitud.

TIPO II. Se dan premonitores cuyo número aumenta rápidamente antes del principal.

TIPO III. La secuencia de terremotos sucede en la forma de un enjambre en que no se distingue un terremoto principal.

La energía liberada en forma de ondas elásticas fue calculada a partir de la expresión original de la fórmula de Gutenberg-Richter, 1956. La expresión matemática utilizada es la siguiente:

$$\text{Log } E = 5.9 + 2.5 M_d \quad (\text{Joule})$$

RESULTADOS

Después de analizada la información sismológica existente, se tiene como resultado que del 2001 al 28 de febrero del 2006 se registraron 1434 sismos en la zona de Actividad Sísmica de Chivirico, **Figura 1.** El mayor se registró con una magnitud de 4.2 grados, el 19 de noviembre del 2001 a las 4h 9' 37.4" en los 19.73 grados de LN y los -76.27 LW, a 30.22 km al SurSureste de Chivirico. El menor se registró con una magnitud de -0.1grados, el 4 de febrero del 2006 a las 7h 40' 22.7" en los 19.95 grados de LN y los -76.47 grados de LW, a 6.92 km. al Oeste de Chivirico.

La distribución de esta actividad sísmica por rangos de magnitud se presenta en la **Figura 2**, observándose que la mayor frecuencia de ocurrencia la tienen los sismos con magnitudes entre 1.5 – 2.0 grados Richter, sin restar importancia a los 77 y 28 que ocurren en los siguientes rangos, por ser estos en muchos de los casos, los sismos perceptibles de la zona.

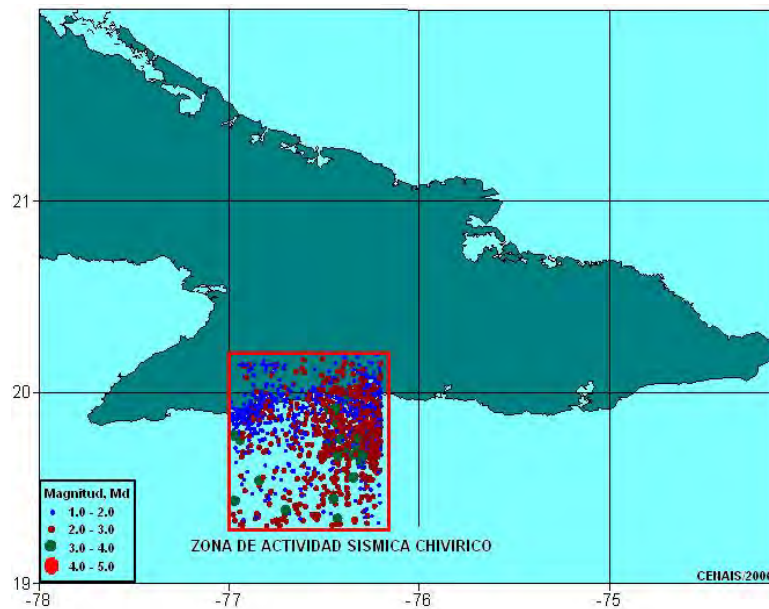


Figura 1. Distribución de los sismos en la ZAS Chivirico, 2001-02/2006

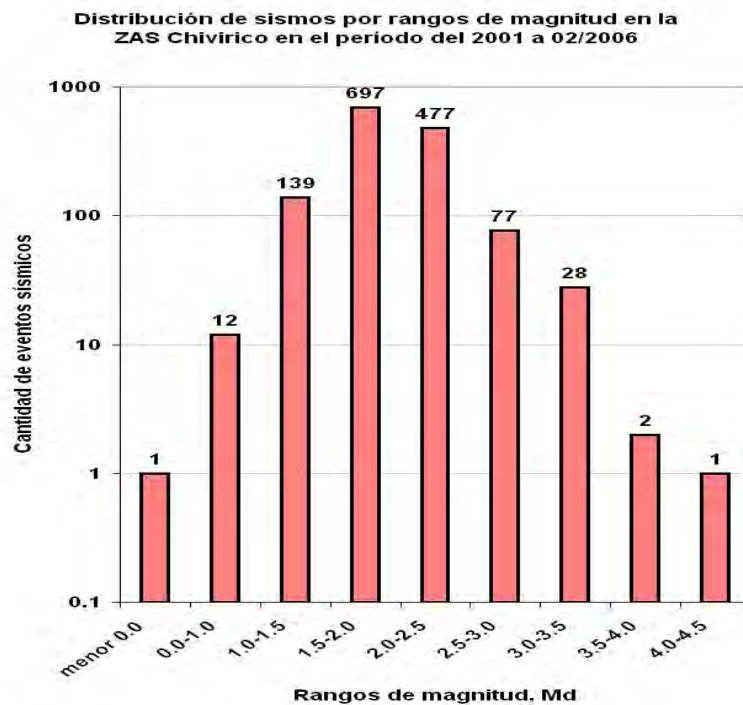


Figura 2. Distribución de los sismos por rangos de magnitud en la ZAS Chivirico.

De las series de terremotos registradas en la zona se tiene evidencias en el año 1992 (14 de junio-10 de septiembre) con 64 eventos y 1 perceptible, otra en 1992 (11 de noviembre-26 de diciembre) con 73 eventos sísmicos y 5 perceptibles, en 1996 (6 de junio-9 de julio) con 167 eventos y 16

perceptibles, en 1998 (17 de mayo) con 9 eventos y 3 perceptibles, luego en noviembre del 2001 se registró otra serie de terremotos con 360 eventos sísmicos con 6 eventos perceptibles, el mayor de ellos con magnitud de 4.2 grados y finalmente del 28 de enero – 18 febrero del 2006 con 385 eventos y 3 perceptibles. Este tipo de actividad anómala es característica de esa región, siendo esta la más intensa después de la registrada en los meses de Junio-Julio del 1996 e incluso no fue superada por esta serie que recién ha ocurrido en la zona en este año, sobre todo en cantidad de energía liberada.

Para el análisis de las características de ocurrencia de estas series tomamos como ejemplo las ocurridas en el 2001 y la del 2006 (**Tabla I**), teniendo en cuenta que ya a partir de esta fecha la Red del Sistema Sismológico Nacional fue modernizada y se introdujo un nuevo equipamiento con sensores de mayor capacidad de registro y quedaron establecidas las Zonas de Actividad Sísmica.

Tabla I. Principales características de las series de terremoto del 2001 y 2006

Serie	Fecha	Magnitud máxima	Magnitud mínima	Cantidad de réplicas	Cantidad perceptible
2001	17 noviembre	4.2	1.7	360	6
2006	28 enero	3.4	0.1	385	3

La distribución diaria de la energía para cada una de estas series se muestra en las **figuras 3 y 4**, a partir de esta distribución nos permitimos clasificar a que tipo de series de terremotos pertenecen. Como se observa en los gráficos, para la serie del 2001 (**Figura 3**), el sismo principal está precedido de dos sismos premonitores y en la serie de terremoto del 2006 (**Figura 4**), ocurre que el sismo principal es el primero seguido de una serie de réplicas.

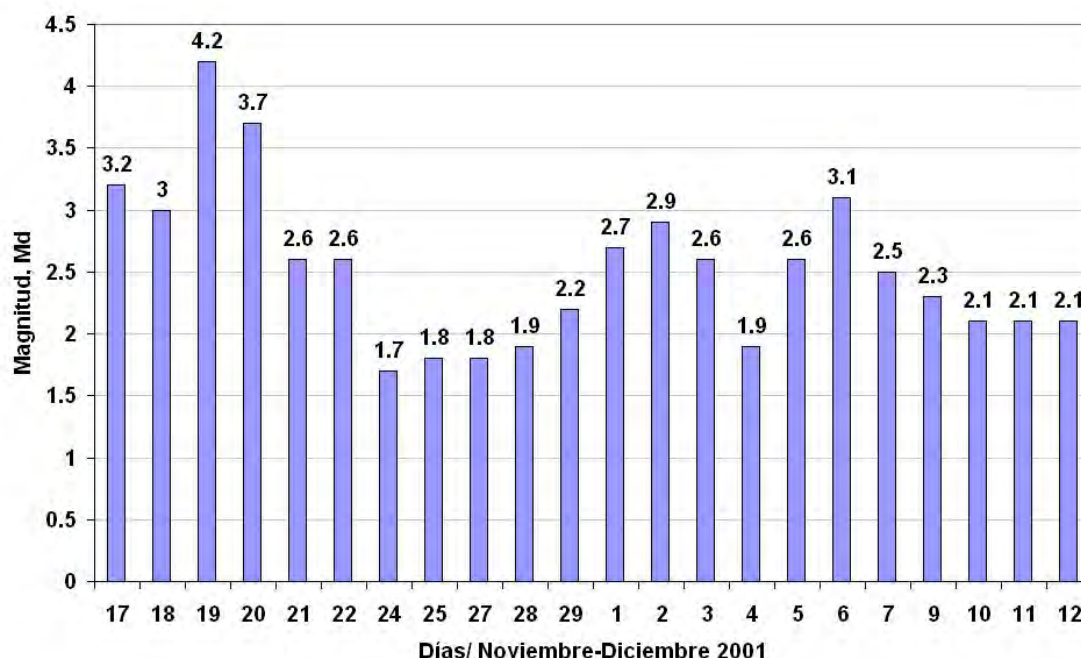


Figura 3. Distribución diaria de las magnitudes máximas registradas durante la serie de terremotos del 2001.

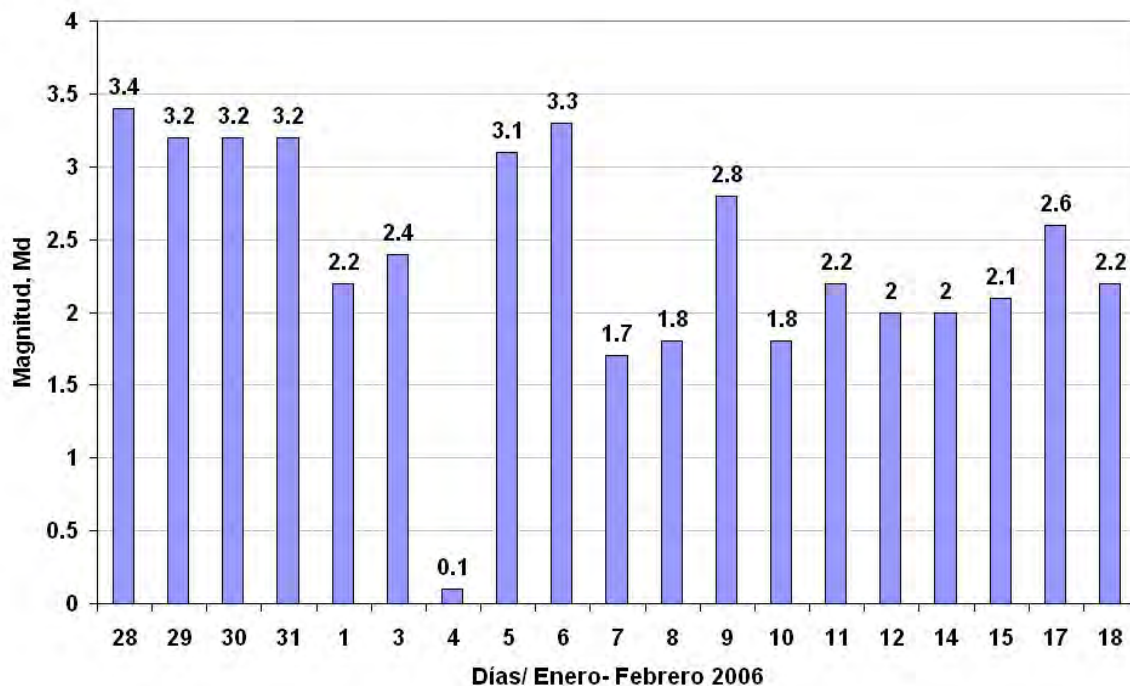


Figura 4. Distribución diaria de las magnitudes máximas registradas durante la serie de terremotos del 2006.

Distribución espacial de las series de terremotos del 2001 y el 2006.

En la distribución espacial de estas series de terremotos (**Figura 5**) se observa cierto alineamiento de norte a sur, sin poder establecer la posibilidad de la presencia de alguna fractura en esa dirección, aunque a algunos de los eventos que se localizan en el área ha sido posible determinar su mecanismo focal (Moreno B, 2001) y han dado como solución una fuerte componente de deslizamiento por el rumbo (**Figura 6**).

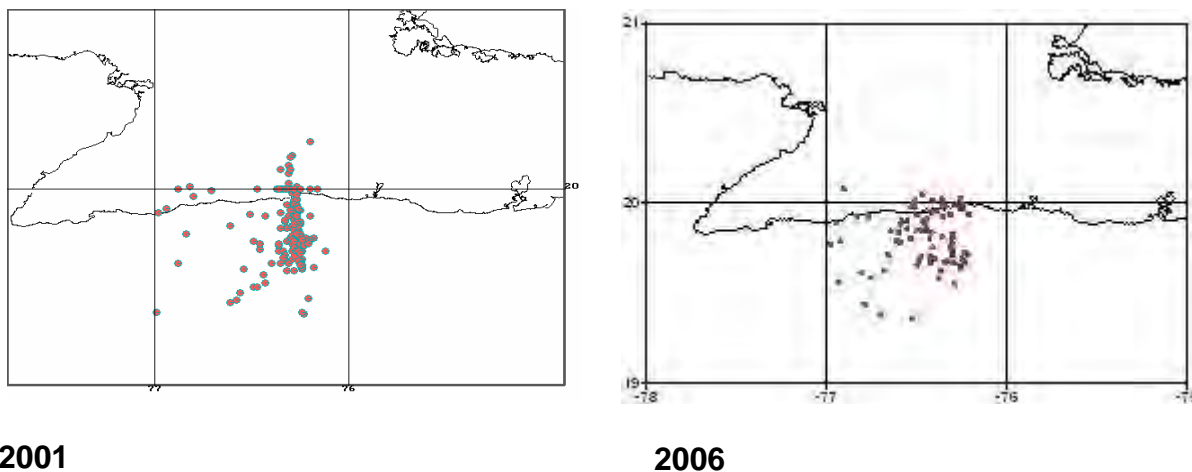


Figura 5. Distribución de los epicentros de las series de terremotos registradas en la zona de actividad sísmica de Chivirico.

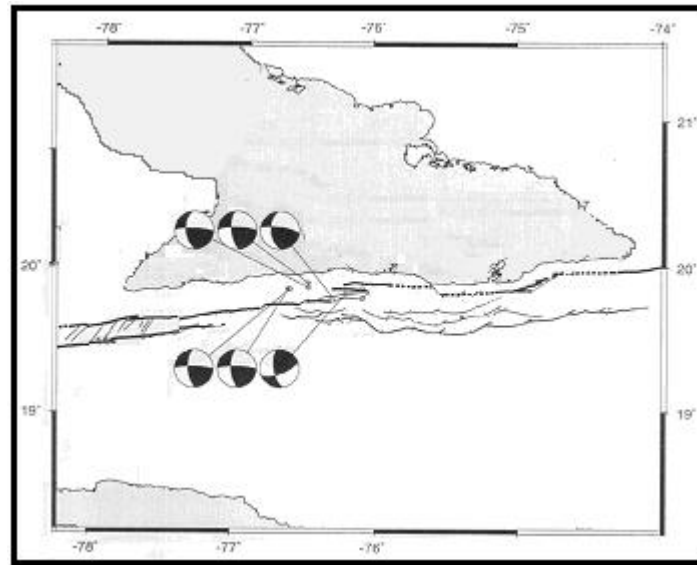


Figura 6. Soluciones focales de terremotos localizados en la ZAS Chirivico. (Moreno B. 2001).

Relación de la ocurrencia de series con la geodinámica presente en el área

Refiriéndonos a procesos geodinámicos que ocurren en esta zona, Arango (1996) la define como **Oriente (Figura 7)**, sector este que se corresponde con la Fosa de Bartlett (o de Oriente), que por sus características morfométricas permiten interpretarlo como una estructura de tipo **extensional** (proceso propuesto por Boulter en 1990 para este tipo de situación), relacionado con un proceso de abertura de la corteza, que pudo haber comenzado al formarse la fosa y continuar hasta nuestros días.

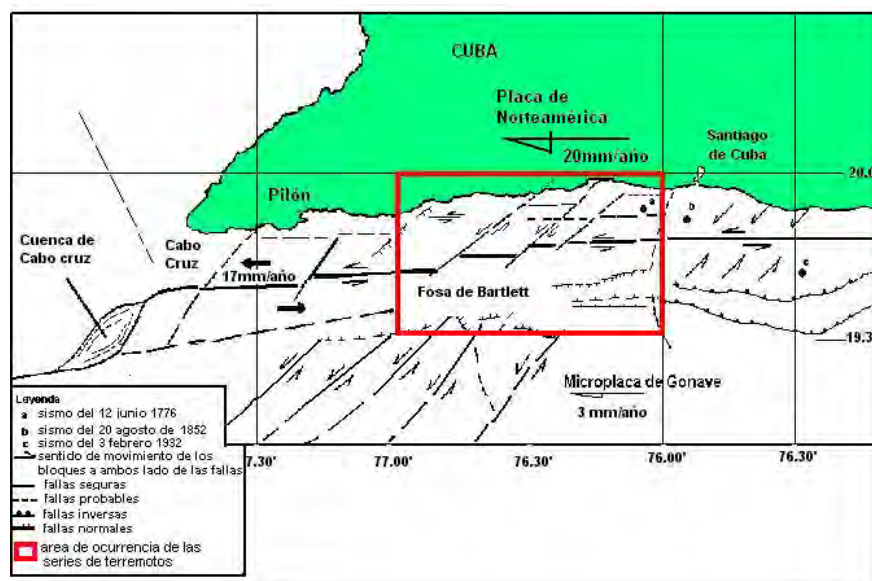


Figura 7. Esquema Geodinámico propuesto por Arango, 1996

En este sector al que se le llama **Estructura Extensional "Oriente"**, la falla principal se encuentra dislocada por fallas de segundo orden del tipo sintéticas, que desplazan a la primera en forma escalonada y se aproximan más a la costa, coincidiendo con una pequeña depresión submarina muy cerca de la localidad de Chivirico.

Según el Modelo de Relajación de Esfuerzos en la generación de terremotos (Udías, 1986), esta zona manifiesta elementos que se corresponden con lo que encontramos en la literatura, referidos a que en los lugares donde existen procesos extensionales como Oriente, abundan los sismos de moderada magnitud como se han manifestado en la zona de estudio.

Energía liberada en la ZAS Chivirico

Se ha comprobado que las réplicas no son el resultado pasivo de la ocurrencia del terremoto principal, sino una continuación activa de la liberación de energía provocada por él, Udías y Mézcua, 1986. Es por ello que en el gráfico de liberación de energía (**Figura 8**) se aprecian los mayores valores en aquellos años donde ocurrieron estas series.



Figura 8. Energía liberada en la zona de Chivirico en el período del 2001- 02/2006.

Peligro Sísmico de la zona de estudio

Teniendo en cuenta las diferentes Zonas Sismogénicas que inciden sobre esta área, los valores de magnitud máxima, la frecuencia de ocurrencia de los terremotos y la ley de atenuación en ella se han obtenido los valores del Peligro Sísmico. La aceleración horizontal máxima esperada puede llegar hasta los 370.82 cm/ss para una Intensidad de 9.0 grados en la escala MSK para un 50 % de vida útil y 85 % de probabilidad de no excedencia, indicando los altos niveles de amenaza sísmica a que esta sometida esta región.

No obstante en la zona es más frecuente la ocurrencia de estas series de terremotos, donde ocurren varios eventos perceptibles, que a pesar de ser de moderada magnitud y de baja intensidad, no dejan de ser importantes, sobre todo por la alarma que causa en la población que se encuentra asentada en las cercanías de esta Zona de Actividad Sísmica.

DISCUSIÓN

Las series son parte de la actividad sísmica y estas tienen su manifestaciones en la zona y se han comportado como una liberación de energía en la zona con varios sismos perceptibles y luego una serie de réplicas de menor magnitud que disminuyen y desaparecen en el tiempo. La sismicidad en el área se caracteriza por tener una mayor frecuencia de ocurrencia de sismos con magnitudes entre 1.5 – 2.0 grados Richter.

Según el Modelo de Relajación de Esfuerzos en la generación de terremotos (Udías, 1986), esta zona manifiesta elementos que se corresponden con lo que encontramos en la literatura, referidos a que en los lugares donde existen procesos extensionales como Oriente, abundan los sismos de moderada magnitud como se han manifestado en la zona de estudio. Por las soluciones focales que se han podido determinar se puede argumentar que la actividad sísmica que se localiza en esta área tiene su génesis en la falla transformante Bartllet-Caimán.

Por la distribución que presentan los sismos en cada serie, la ocurrida en el 2006 pertenece al **tipo I** y al **tipo II**, la ocurrida en el 2001, según la clasificación de Mogi, 1963. (**Figuras 5 y 6**). Este tipo de clasificación esta relacionada con los materiales donde se acumulan esfuerzos y tensiones, pero que en el primer de los casos se consideran materiales homogéneos en que después de tanta acumulación, se libera la energía. En el segundo caso, se debe a la existencia de materiales heterogéneos donde los esfuerzos acumulados se van relajando en forma de pequeños terremotos antes de que se produzca el terremoto principal.

CONCLUSIONES

1. La sismicidad en la Zona de Actividad Sísmica de Chivirico presenta una importante manifestación en forma de series de terremotos, encontrándose del tipo I y Tipo II, según clasificación de Mogi, 1963.
2. La geodinámica del área nos permite inferir que esta ZAS se caracteriza por la ocurrencia en mayor frecuencia de eventos sísmicos moderados, sin obviar los valores estimados del Peligro Sísmico, cuya probabilidad de ocurrencia de un sismo de gran intensidad en 50 años de vida útil es de un 15 %.
3. Las series de terremotos han representado el mayor aporte de liberación de energía en la zona, observándose en el año 2001 y en la tendencia al aumento en el 2006.
4. Las series de terremotos en esta zona constituyen indicios de que existe una combinación de materiales con una composición heterogénea en algunos casos y homogénea en otros.
5. La existencia de series de terremotos del tipo II, da lugar a que el seguimiento de la actividad en la misma, debe ser un factor de alerta ante la ocurrencia de eventos de pequeña magnitud que pueden ser la antesala de un evento mayor.
6. Continuar los estudios de Sismicidad que incluyan otras variables sismológicas y geólogo geofísicas para incrementar el grado de estudio y que permitan correlacionarla con otros los elementos geológicos en profundidad que existen de esta zona de actividad sísmica.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, J.L. (1995): Sacudida. Versión 2.0. Un Programa para la estimación de la Peligrosidad Sísmica. Editorial Academia, La Habana, 59 pp.
- Arango, E. (1996): Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en el límite de las Placas de Norteamérica y el Caribe. Tesis en opción al Grado de Master in Science. Instituto Politécnico Nacional, México D.F. 111 pp.
- Calais, E. (1992): Aspectos estructurales de un límite de placas en colisión: la frontera Norcaribeña de Cuba y La Española (Antillas Mayores). p. 118.

- Chuy, T. J. (1999): Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. 273 pp.
- Chuy, T.J. y Alvarez, J.L. (1995): Peligrosidad Sísmica de Cuba con fines de la Norma Sismorresistente Cubana. Reporte de Investigación. Fondos del CENAI. Categoría de Destacado en X Forum Nacional de Ciencia y Técnica.
- Despaigne G. (2001): Distribución espacio-temporal y energética de agrupamientos de terremotos ocurridos en la región suroriental de Cuba. En Revista " Red de Estaciones e Investigaciones sismológicas en Cuba". Editorial Academia. La Habana. ISBN 959-02-0244-6 : 41-43.
- Havskov, J. y Otemöller, L.. (1999): SEISAN: The earthquake analysis software, versión 7.0. Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Norway. 226 p.
- Gadner, J. G., Knopoff, L. (1974): Is the sequence of earthquakes in Southern California with aftershocks Poissonian. BSSA (5) (64): 1363 – 1367.
- Gutenberg, B. and Richter C. F. (1956): Magnitude and energy of earthquake. Annali di Geofísica (9): 1-15.
- Mc Guire, R.K. (1993): Computations of Seismic Hazard. En: Annali di Geofísica, Vol. (XXXVI, No 3-4): 181-200.
- Mogi, K. (1963): Some discussion on aftershocks, foreshocks and earthquake swarms. Bull Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ. (41): 615-658.
- Moreno, B., Gradison, M. y Arakan, K. (2001): Crustal velocity model along the southern Cuban Margin: implication for the tectonic regime in an active plate boundary. Submitted Geophys. J. Int.
- Richter, C. F. (1958): Elementary Seismology, W. H. Freeman, San Francisco. 768 p
- Udías A., Mézcua J. (1986): Fundamentos de Geofísica. Editorial Alambra S. A. Primera Edición. (Madrid): 201-216.
- Zapata J. Alejandro, et al (2002): Servicio Sismológico Nacional cubano como Sistema de Alerta Temprana: año 2001. En Revista " Servicio Sismológico Nacional. Año 2001". Editorial Academia. La Habana. ISBN 959-02-0348-5 : 7-66.

INFLUENCIA DE LA DURACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS SÍSMICOS SOBRE LAS CONSTRUCCIONES

MSc. Víctor M. Valdés Jiménez, MSc. Dalia Pupo Ordoño

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS). Departamento Provincial de Holguín

RESUMEN

El Parámetro de Intensidad Sísmica (PIS) para medir la fuerza destructiva de los sismos, tradicionalmente se relaciona con la Aceleración Máxima del Terreno (PGA). Sin embargo, otros estudios han demostrado que este parámetro ofrece aún muy poca información del daño sísmico a las estructuras, y no es suficientemente fiable, si se tiene en cuenta que se han observado daños poco relevantes en estructuras sometidas a movimientos sísmicos con aceleraciones máximas muy altas. Esto se debe a que otras características de los sismos, tales como los contenidos de frecuencias, la duración de la fase fuerte y la secuencia en que se producen los choques, pudieran tener una influencia mucho más importante en la degradación de la estructura.

Muchos estudios de influencia de las características del movimiento sobre las estructuras, se han conducido en otras partes del mundo, por su gran importancia en la predicción de daños a las construcciones existentes, y en la evaluación de la seguridad sísmica de las tipologías estructurales, ante diferentes niveles de movimientos de diseño.

En el presente trabajo se aborda, la una valoración acerca de la influencia de la duración de la fase fuerte del movimiento sísmico en las características de respuesta de un edificio de hormigón armado de seis pisos y de una pila de un puente, sobre la base de una comparación de resultados obtenidos en modelos de análisis para dichas estructuras, de uno y varios grados de libertad dinámico, mediante análisis no lineal estático y no lineal dinámico.

ABSTRACT

The seismic intensity parameter (PIS) to measure the destructive force of earthquakes, has been traditionally related with the peak ground acceleration of the soil (PGA). However, some other research have shown this parameter still provide a very poor information about structural damage and there is no reliable enough, taking account damage previously observed in structures subjected to earthquake motion (with very high values of peak ground acceleration) are not very relevant. It is due to other motion features, like content of frequencies, strong phase of motion duration, and the sequence in which the shakes takes place, may have much more influence in the structural degradation.

Many studies about influence of motion features on the structures, have been conducted in other parts of the world, because of its remarkable importance in the damage prediction of existent buildings and so, on the seismic reliability appraisal of structural types that submit different levels of earthquake for desing.

The present framework approach the influence of the seismic movement duration on the structural response features. In this case deal whit a six story concrete building and a bridge pile, it is conducted on base of comparing the arrival results of pattern analysis for these structures, and it consist of one to several freedom degree model, computed by mean of static lineal and dynamic non lineal analysis.

INTRODUCCION

Es conocido que la respuesta sísmica de las construcciones está regida por la relación entre las características espectrales del movimiento de entrada y el período fundamental de la estructura. La evaluación cuantitativa de la capacidad de respuesta estructural (rigidez y resistencia), a partir de cantidades de energía suministrada por excitaciones sísmicas de diferente duración, resulta un problema complejo en el análisis y diseño de las estructuras, ya que esto implica conocer cómo y en

qué medida ocurre la degradación de los parámetros mencionados arriba, y en muchos casos la confiabilidad de los resultados obtenidos ha de ser calibrada con experimentación rigurosa.

El camino recorrido para llegar a las consecuencias del tránsito de la estructura en el rango de comportamiento no lineal y con ello el nivel de daño ocasionado por movimientos de entrada ha sido muy tortuoso, a pesar de los innumerables métodos y modelos creados para su evaluación, que crecen cada día en complejidad, en muchos casos sólo la experiencia real de terremotos pasados y en otros casos, los datos aportados por ensayos practicados a estructuras, han venido a desentrañar las escalas de daño y los verdaderos mecanismos de fallos de las estructuras.

No obstante al hecho de que la estimación del movimiento sísmico siempre lleva implícito no pocos niveles de incertidumbres, se realizan, con frecuencia, estudios para determinar los efectos de los diferentes parámetros del movimiento sísmico (PGA), duración de la fase fuerte del sismo, contenidos de frecuencias, y otros, sobre las construcciones, con vistas a que su conocimiento nos lleve a disminuir los niveles de daño que pudieran causar futuros terremotos sobre ellas y de la misma manera a proyectar obras menos vulnerables a la acción sísmica.

Otra vertiente de investigaciones en el campo de la ingeniería estructural sismo-resistente es la que hace énfasis en la posibilidad de determinar y proveer a las estructuras de una óptima capacidad de respuesta, en vistas de la burda estimación del movimiento sísmico de diseño que todavía prevalece en muchos códigos de diseño, como sucede en países donde se utiliza un espectro de peligro de diseño de Peligro Uniforme para grandes regiones. Y ya en los últimos años se ha dado paso al diseño basado en los enfoques energéticos, en sustitución de aquellos fundamentados en fuerzas; lo que ha posibilitado que en aquellas regiones donde existen bases de datos de registros de movimientos fuertes, se puedan estudiar con detenimiento los parámetros de las excitaciones sísmicas caracterizándolas, por tipos de fuentes generadoras, condiciones geólogo-tectónicas, se incorporan los estudios de sitio y su influencia en las formas y amplitudes de los espectros de diseño, en fin, estamos asistiendo a una época en que los ingenieros estructurales encargados de estos temas, sienten cada vez más el interés de que la demanda sísmica deje de ser una burda estimación.

En Cuba se da la problemática, de que a pesar de ser una región eminentemente sísmica en casi toda su extensión, la recurrencia histórica de movimientos fuertes ha sido baja, aún existiendo zonas de gran actividad, como es el caso de la región oriental; ésta ha sido la causa que ha imposibilitado un mayor refinamiento en la caracterización de nuestras fuentes generadoras y nuestros esquemas de clasificación de sitio, a partir de modelos que consideren los registros, como en otras partes del mundo. Por estas razones, los estudios acerca de la influencia de parámetros del movimiento sísmico sobre nuestras estructuras, se realizan a partir de registros de movimientos reales de otras partes del mundo escalados a una PGA, que represente el nivel de amenaza sobre la región de estudio, que en dependencia de la importancia de la obra, pudiera ser una estimación de peligro puntual o el peligro uniforme definido por nuestra normativa de cálculo, para grandes zonas.

De esta manera, y a la luz de las posibilidades reales actuales, el estudio conducido por los autores pretenden enfocar de manera determinista lo que sucede en dos tipos de estructuras: un edificio de pórticos de hormigón armado, de seis niveles estructurales, ubicado en zona de alta sismicidad (Santiago de Cuba), ante la acción de dos sismos de diferentes duración de la fase fuerte, escalados a la misma aceleración máxima del terreno (PGA) señalada por la definición de la amenaza para dicha ciudad. Se caracteriza además el comportamiento sísmico de una pila de un puente para las mismas condiciones de peligro sísmico.

Objetivo 1

El edificio analizado tiene una retícula de 6x6m y las alturas de los entrepisos de 3m. En la tabla I se muestra una parte de los principales datos necesarios para modelación estructural.

Tabla I. Datos del edificio

Tipo de obra	Edificio de Oficinas
Importancia de la obra	1
Perfil de Suelo	S2
Reducción por ductilidad	6

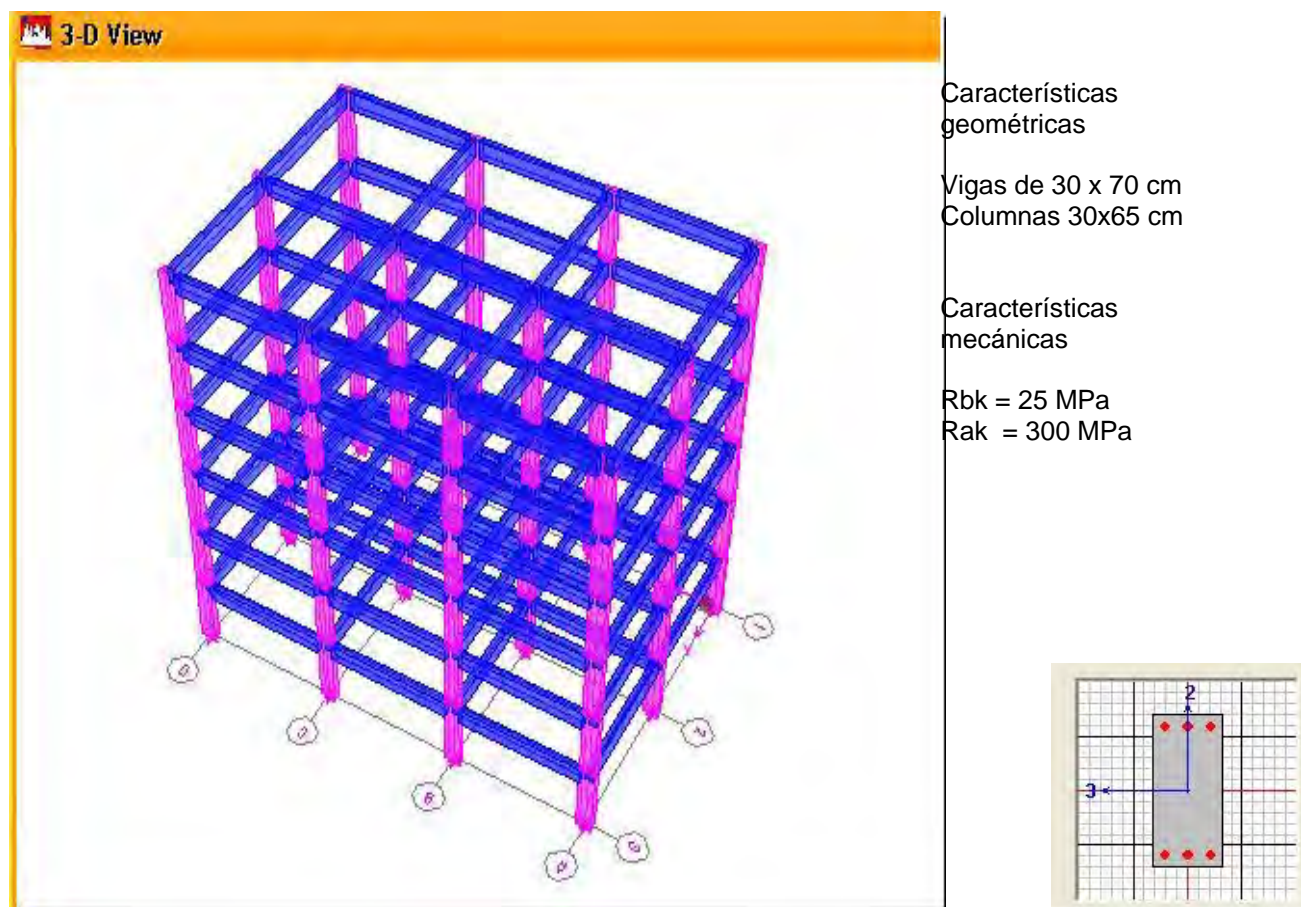


Figura 1. Isométrico del edificio y sección genérica de miembros estructurales

DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LA EDIFICACIÓN

Algunas consideraciones se tuvieron en cuenta para el calculo de los pesos correspondientes a las cargas de uso de la edificación (NC : 284 : 2003) : el 50% se consideró como de larga de duración y el 50% de corta duración (NC : 283 : 2003). Los resultados de las masas por entrepiso y sus respectivos centro de masas se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Masas de los pisos

Pisos	Diafragmas	Masas X (KN s ² /m)	MasasY (KN s ² /m)	XCM	YCM
Piso 1	DIAF1	155,889	155,889	9	6
Piso 2	DIAF2	155,889	155,889	9	6
Piso 3	DIAF3	155,889	155,889	9	6
Piso 4	DIAF4	155,889	155,889	9	6
Piso 5	DIAF5	155,889	155,889	9	6
Piso 6	DIAF6	94,899	94,899	9	6

MODELO DINÁMICO DE LA ESTRUCTURA

Se consideró un sistema de masas concentradas en tres grados de libertad por piso, teniendo en cuenta la rigidez traslacional y rotacional de toda la estructura; determinándose los espectros de frecuencias de la estructura mediante la utilización del módulo dinámico, del Software profesional ETABS Versión 8.13. En el entrepiso se utilizó el concepto de diafragma, que tienen en cuenta la formulación de entrepiso rígido. Se realizó el análisis modal, que incluyó el cálculo de las frecuencias de los modos superiores, incluyendo los de vibración por torsión, utilizando la solución en valores propios.

RESULTADOS DE ANÁLISIS DINÁMICO

Tabla III. Períodos de vibración para diferentes modos y participación modal

Modos	Periodos	UX	UY	UZ
1	0,86467	0,0000	85,1051	0,0000
2	0,55607	82,6071	0,0000	0,0000
3	0,28825	0,0000	9,6366	0,0000
4	0,17872	10,3459	0,0000	0,0000
5	0,17354	0,0000	3,2105	0,0000
6	0,12723	0,0000	1,3752	0,0000
7	0,10450	0,0000	0,5428	0,0000
8	0,10152	3,8998	0,0000	0,0000
9	0,09366	0,0000	0,1299	0,0000
10	0,06985	1,9505	0,0000	0,0000
11	0,05398	0,9291	0,0000	0,0000
12	0,04620	0,2675	0,0000	0,0000

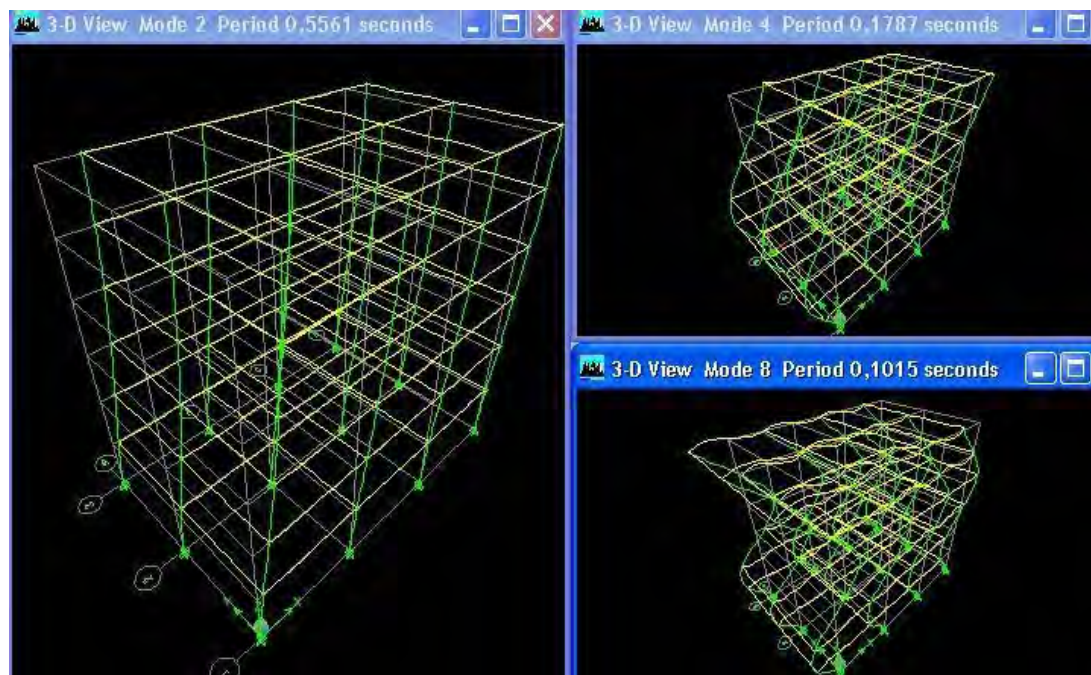


Figura 2. Modos de vibración

RESULTADOS DE LAS FUERZAS SÍSMICAS POR PISOS

Las fuerzas sísmicas por pisos fueron obtenidas aplicando los criterios establecidos por la normativa cubana NC-46-1999 (Construcciones sismo-resistentes. Especificaciones de Proyecto y Diseño). Se consideró para los efectos de este estudio, el análisis del edificio en la dirección X solamente (NC : 46 : 1999).

Tabla IV. Fuerzas sísmicas por pisos en la dirección X

Pisos	FX (KN)
1	60,608
2	121,21
3	181,82
4	242,43
5	303,04
6	221,37

DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS SÍSMICOS

Se realizó la distribución de fuerzas horizontales, a partir del método estático lineal, para la combinación con la carga sísmica, determinándose las solicitaciones pésimas para el cálculo de los esfuerzos de diseño en vigas y columnas. Se obtuvo un prediseño de armado de 3 Φ 25 mm el cual se colocó en la parte inferior y superior de las secciones transversales de los elementos, los cercos fueron de acero de 10 mm espaciados a 10 cm, tanto en vigas como en columnas para las zonas más esforzadas. Además, se tuvieron en cuenta las disposiciones constructivas para lograr el nivel de

ductilidad preestablecido por nuestra normativa y un mecanismo de falla de viga débil-columna fuerte (Lima, B, 1992).

Se obtuvieron, a partir del prediseño, los diagramas momentos-curvaturas en las zonas de posible formación de las articulaciones plásticas.

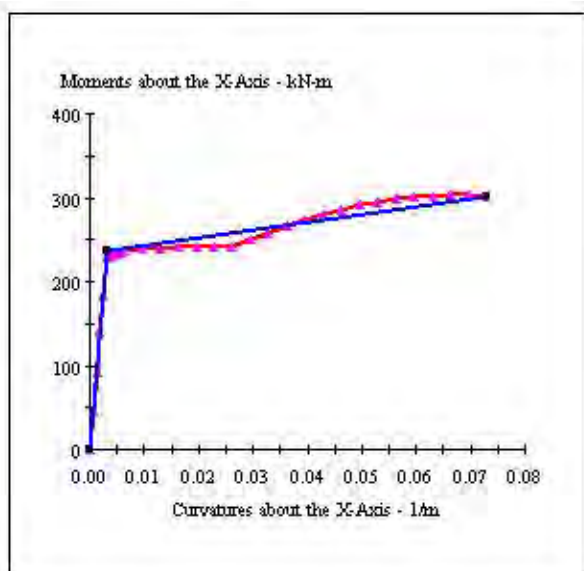


Figura 2. Momento curvatura Vigas.

Curvatura de fluencia: $3,10 \text{ E-3 l/m}$
Curvatura última: $73,04 \text{ E-3 l/m}$
Momento de fluencia: 230,2 KN.m
Momento último: 301,4 KN.m

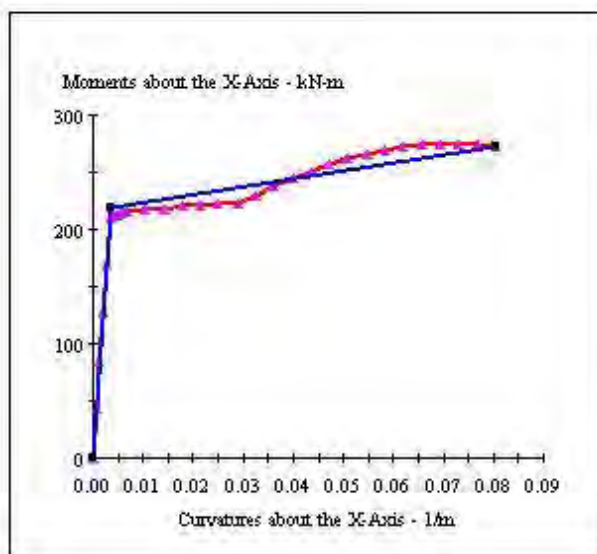


Figura 3. Momento curvatura columnas

Curvatura de fluencia: $3,367 \text{ E-3 l/m}$
Curvatura última: $80,41 \text{ E-3 l/m}$
Momento de fluencia : 210,1 KN.m
Momento último : 272,6 KN.m

VERIFICACIÓN DEL ESTADO LIMITE DE SERVICIO

Se chequearon los valores calculados contra los admisibles, establecidos por nuestra normativa respecto a los derivas y al desplazamiento lateral en el tope del edificio, cumpliéndose en ambos casos.

Admisible	Calculado	
0,0075 m	> 0,00128 m	Derivas
0.03 m	> 0,0162 m	Desplazamiento en el tope

ANÁLISIS ESTÁTICO NO-LINEAL PUSHOVER

Con este análisis se obtuvo la curva de capacidad, para la posterior verificación de la relación demanda-capacidad del edificio, cuyos resultados pueden verse en las Figuras 4, 5 y 6. La figura 4 representa específicamente las articulaciones plásticas en viga y columnas que se formaron en la estructura, en el paso 36.

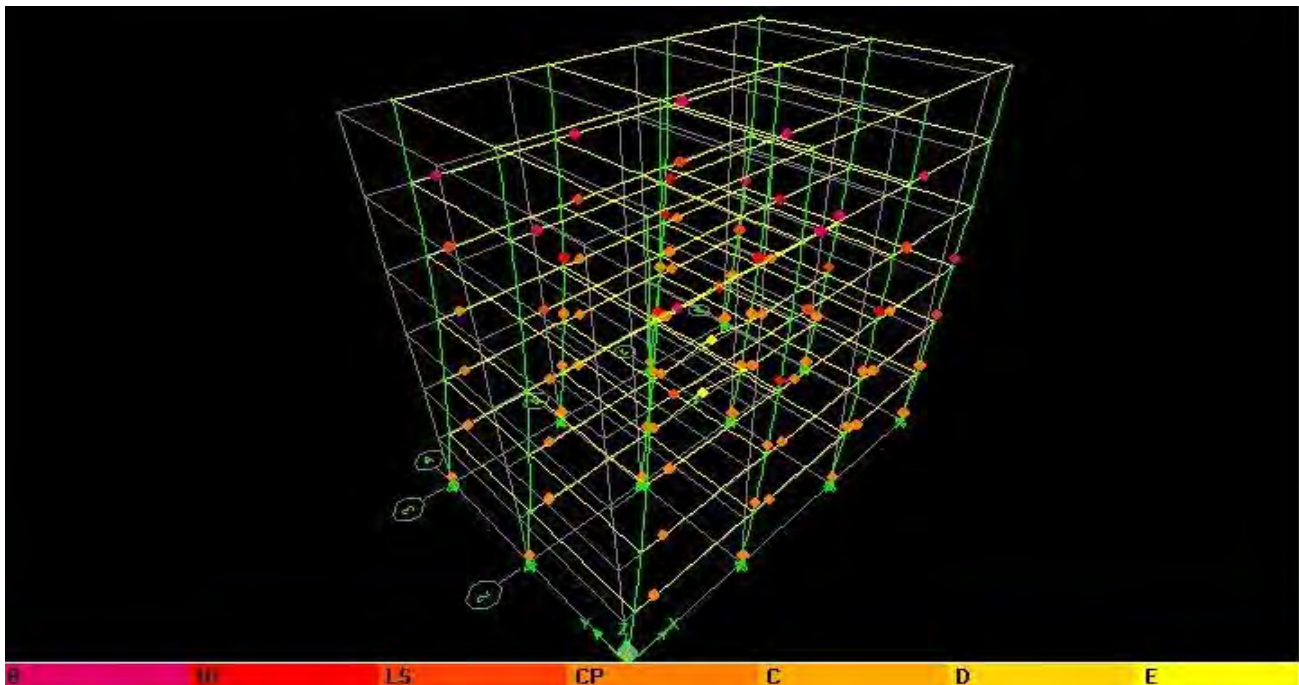


Figura 4. Mecanismo de formación de articulaciones plásticas en vigas y columnas

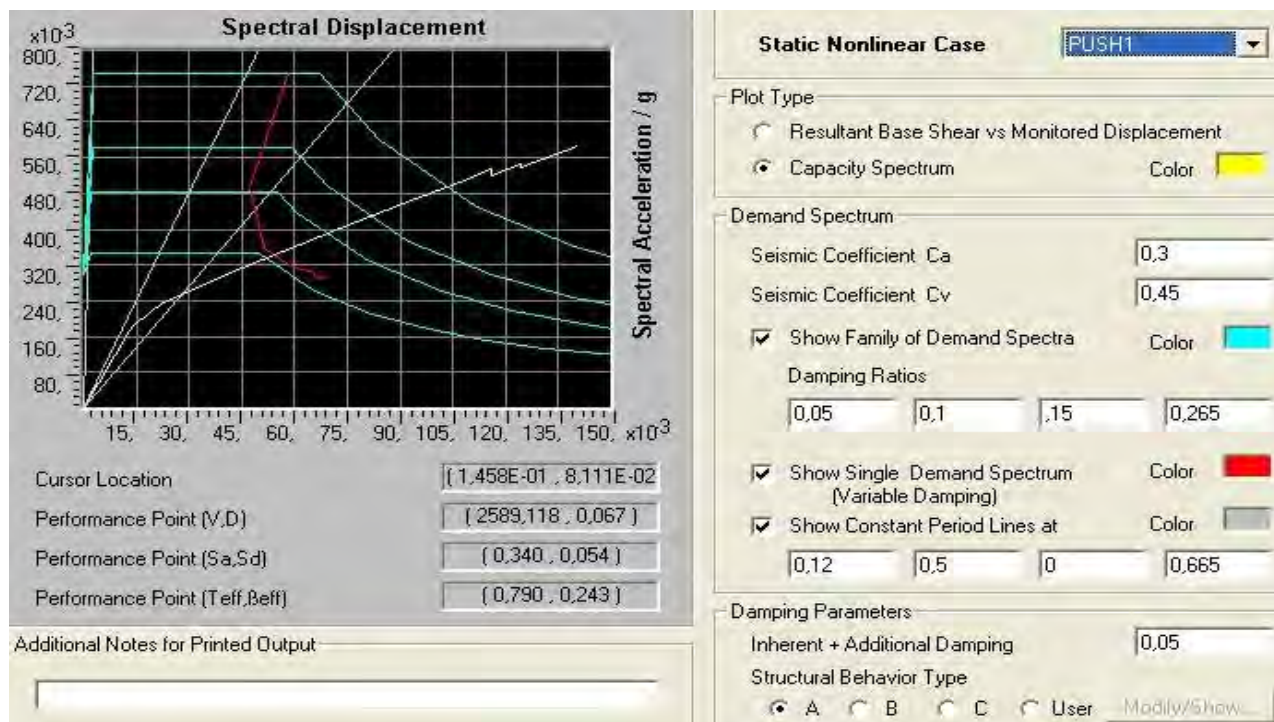


Figura 5. Relación Demanda- Capacidad. (Resultado del Pushover)

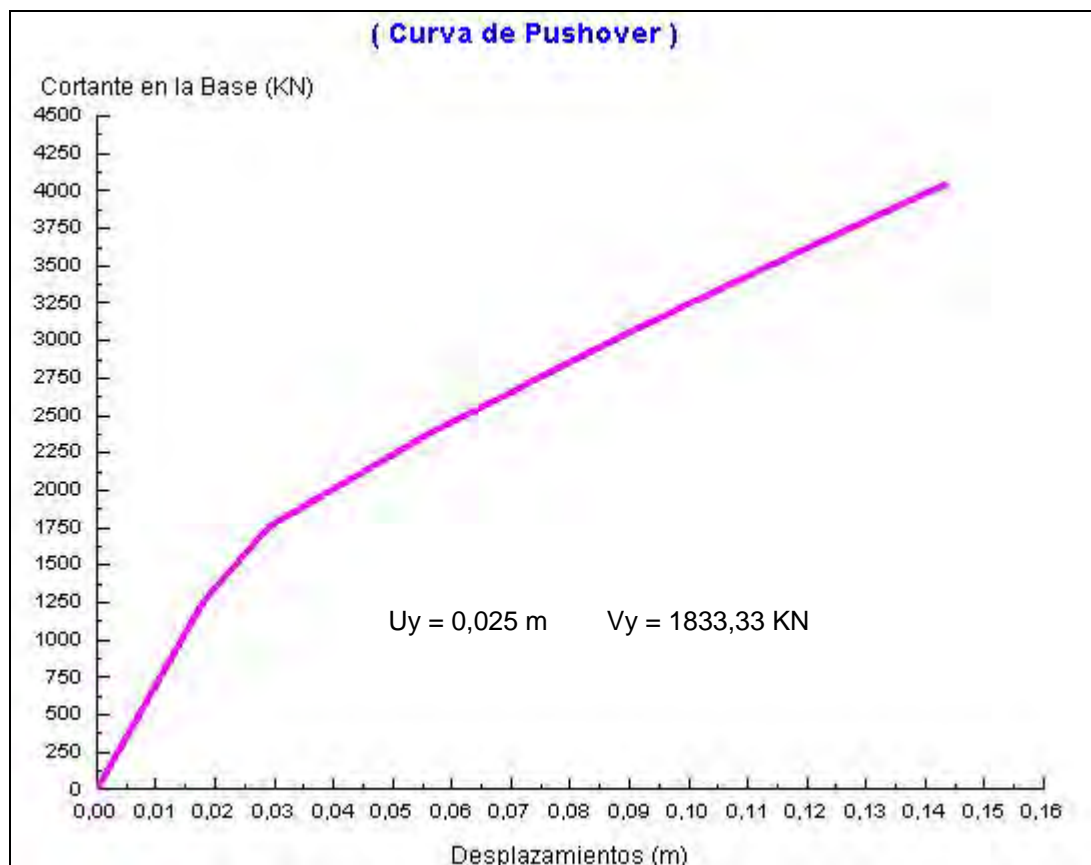


Figura 6. Curva de capacidad de la estructura, para la cual la demanda de ductilidad fue de 2,16.

ANÁLISIS NO LINEAL DINÁMICO

Se empleó un modelo de un solo grado de libertad dinámico, en el Programa NOLIN, sometido a la acción de dos sismos de diferente duración de la fase fuerte, escalados al valor de la Aceleración Máxima del Terreno de la Ciudad de Santiago de Cuba (0,3 g). Ver Figura 7

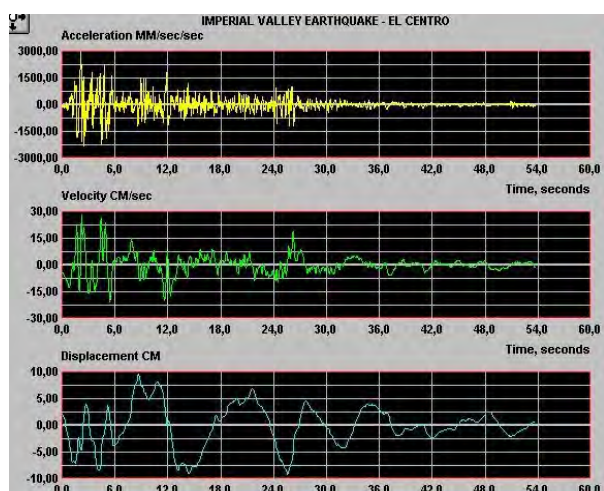


Figura 7. a) Sismo “El Centro” escalado

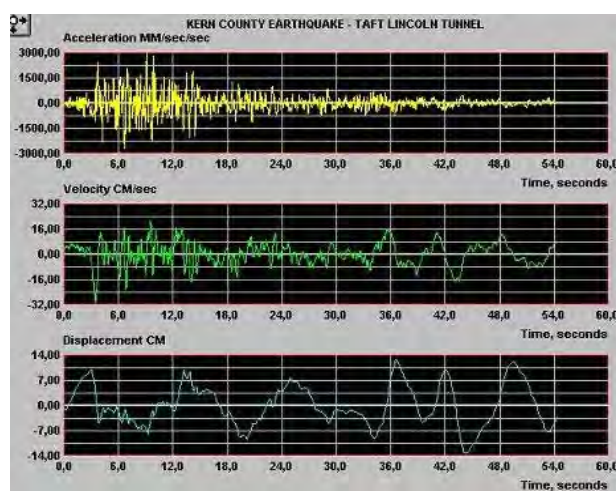


Figura 7. b) Sismo “Taft” escalado

Tabla V. Datos necesarios de la estructura para la modelación

K_1 (KN/m)	K_2 (KN/m)	W^* (KN)	FY (KN)
91987,507	18654,307	7085,5	1833,33

RESULTADOS DEL ANÁLISIS NO LINEAL DINÁMICO DEL EDIFICIO

Tabla VI. Resumen de las Respuestas Máximas en el Edificio

Parámetros	El centro	Taft
Fuerza Inercial Máxima	3904,1489 KN	2880,8508 KN
Fuerza de Amortiguamiento Máximo	354,5077 KN	294,8511 KN
Fuerza de Resorte Máxima	2314,3276 KN	2134,2509 KN
Amortiguamiento + Fuerza de Resorte	2399,0061 KN	2183,6807 KN
Fuerza Total Máxima	2167,3295 KN	21673295 KN
Desplazamiento Máximo Calculado	0,0457 m	0,0361 m
Velocidad Máxima Calculada	0,4349 m/s	0,3617 m/s
Aceleración Máxima Calculada	5,4041 m/s ²	3,9877 m/s ²
Número de Ciclos de Fluencia	14	23
Demanda de Ductilidad de Desplazamiento	2,295	1,810

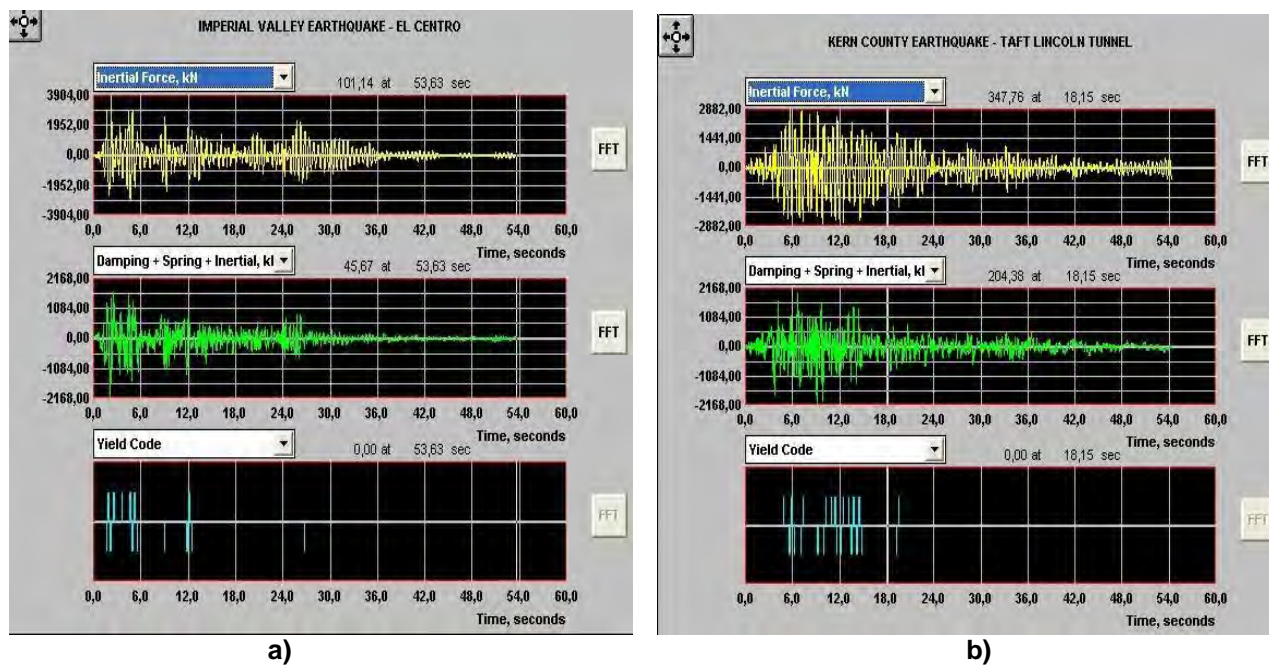


Figura 8. Fuerzas Inerciales, Amortiguamiento y Fluencia obtenidas para los dos movimientos: a) "El Centro" y b) "Taft"

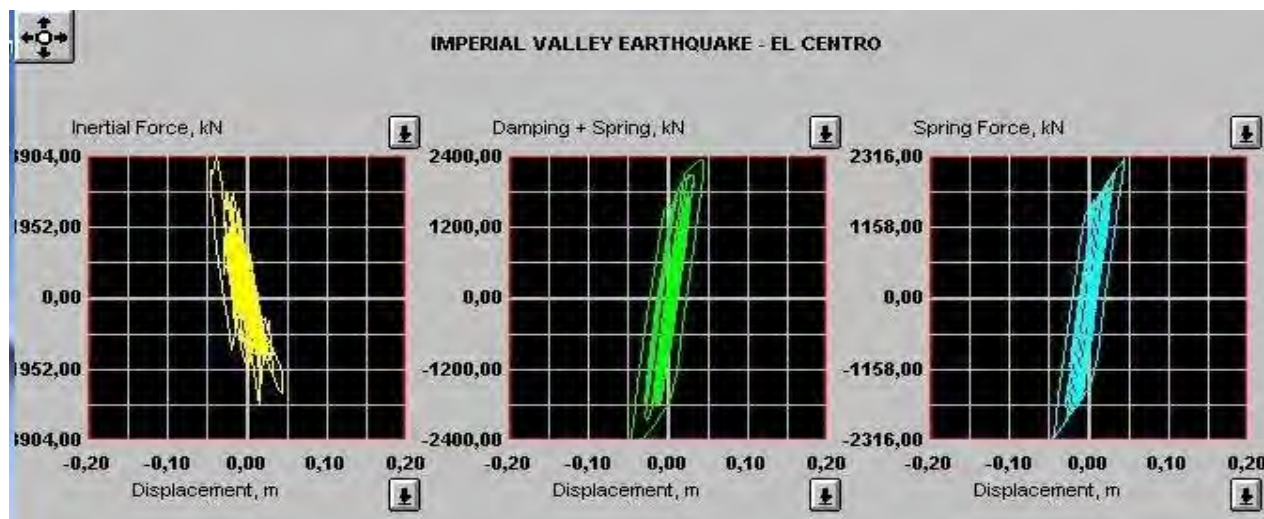


Figura 9. Ciclos de histéresis para el sismo “El Centro”

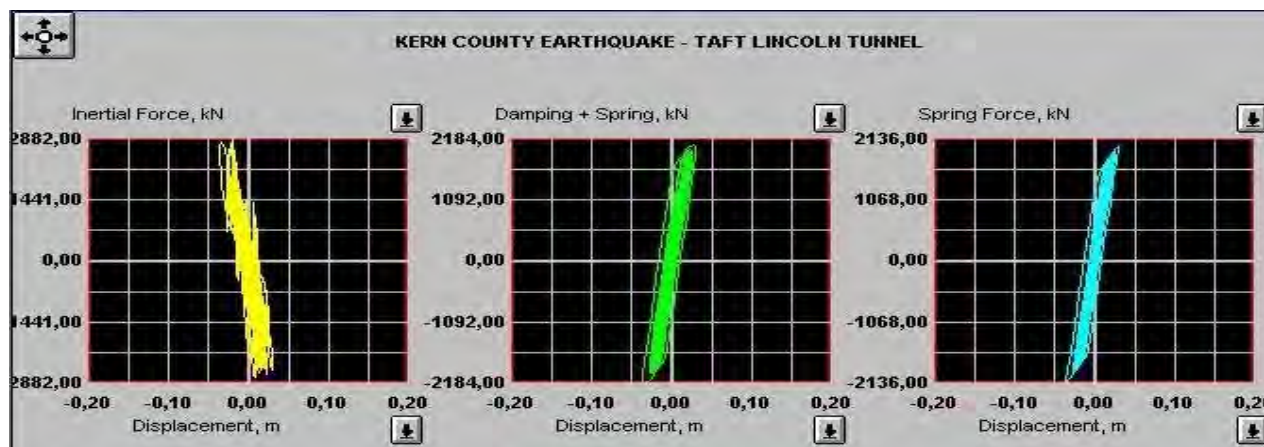


Figura 10. Ciclos de histéresis para el sismo “Taft”

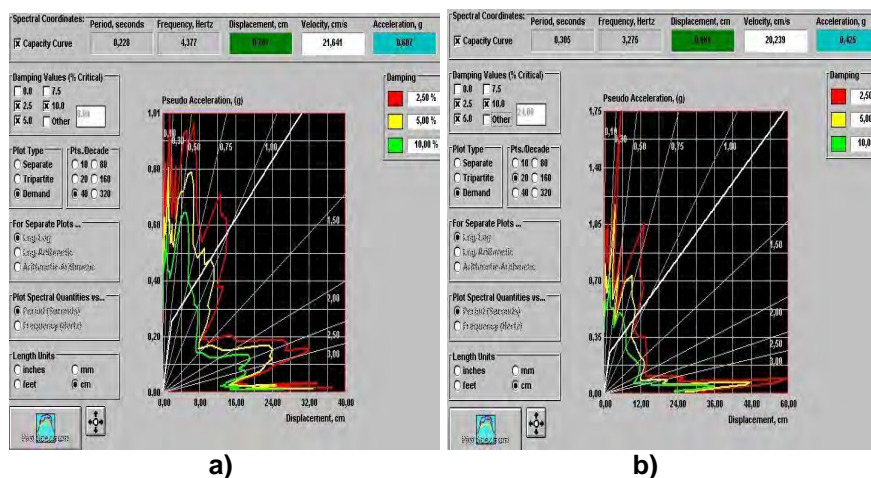


Figura 11. Curvas Demanda-Capacidad para los movimientos a) “El centro” y b) “Taft”

Objetivo 2

En este caso se realizó la revisión de una Pila que sirve de apoyo a la superestructura de un puente de tres tramos. Las pilas y los estribos están contruidos por una columna y un cabezal de hormigón armado, fundido in situ. Teniendo en cuenta la clasificación de zona sísmica de la Norma Cubana vigente hasta el año 1999 (NC 53-114-1984), se consideró ubicado en una zona sísmica de grado VIII en la escala de intensidad MSK-1964, bajo las estipulaciones del actual Reglamento Sísmico Cubano (NC 46-1999), se considera una Zona 3, alta sismicidad, con un valor esperado de aceleración máxima del terreno de $0,3g$.

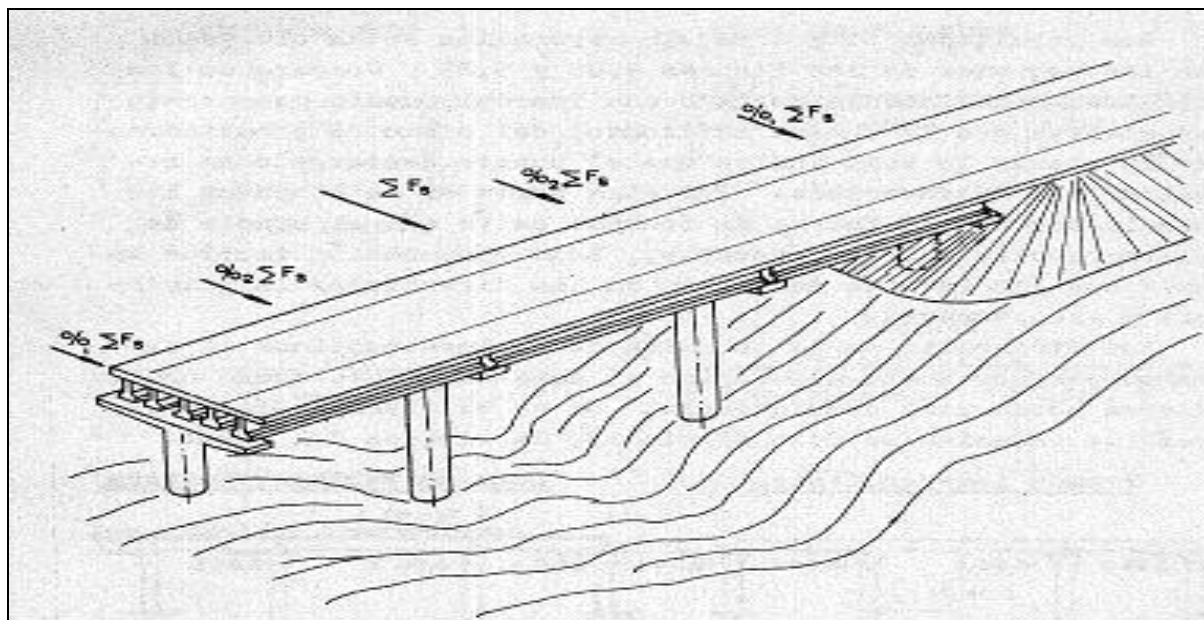


Figura 12. Esquema de Puente de tres tramos analizado

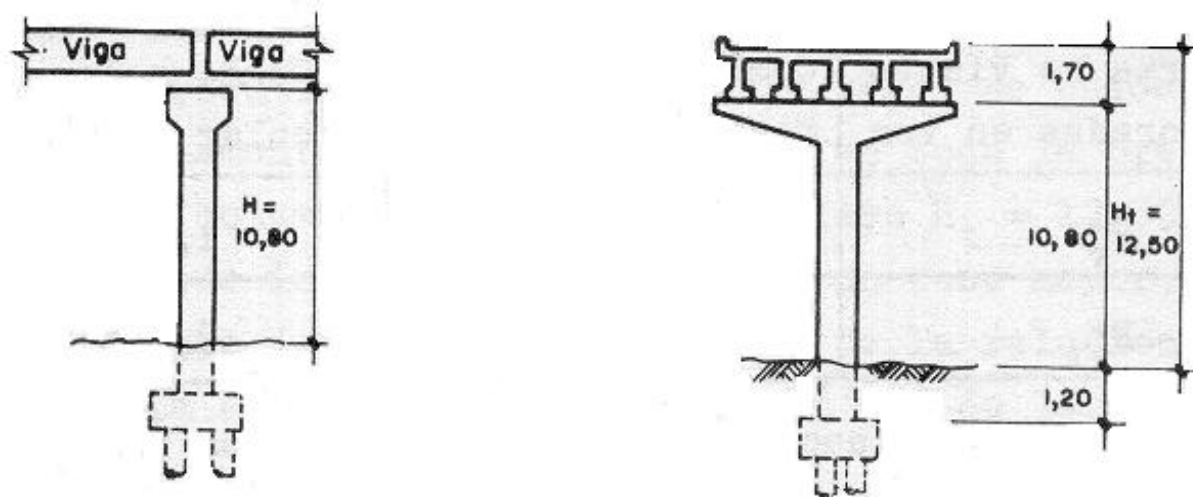
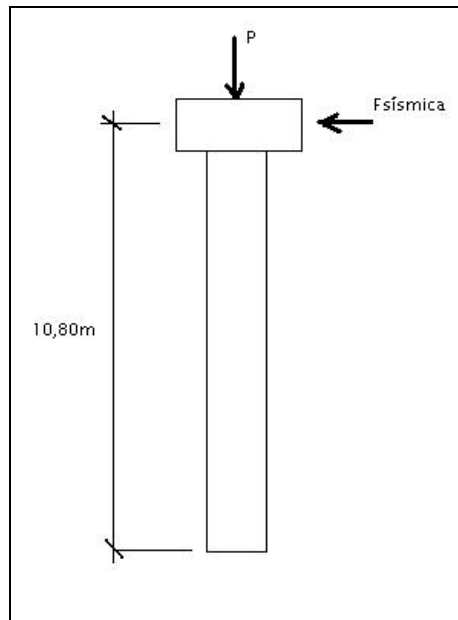
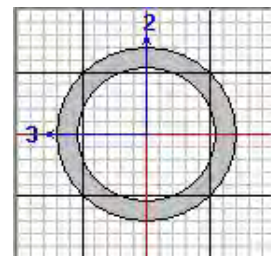


Figura 13. Secciones Longitudinal y Transversal del Puente

Se caracterizó el comportamiento sísmico de una Pila de un puente de vigas, considerando los efectos (P- Δ), ante la acción de dos sismos de diferente duración de la fase fuerte y contenido de frecuencias, escalados como en el caso del edificio anterior, a una misma Aceleración Máxima del Terreno 0,3g.



F sísmica = 162,5 kN



D interior = 1,70 m
Espesor = 0,20 m

Figura 14 a) Pila de puente

Figura 14 b) Sección Transversal de la Pila

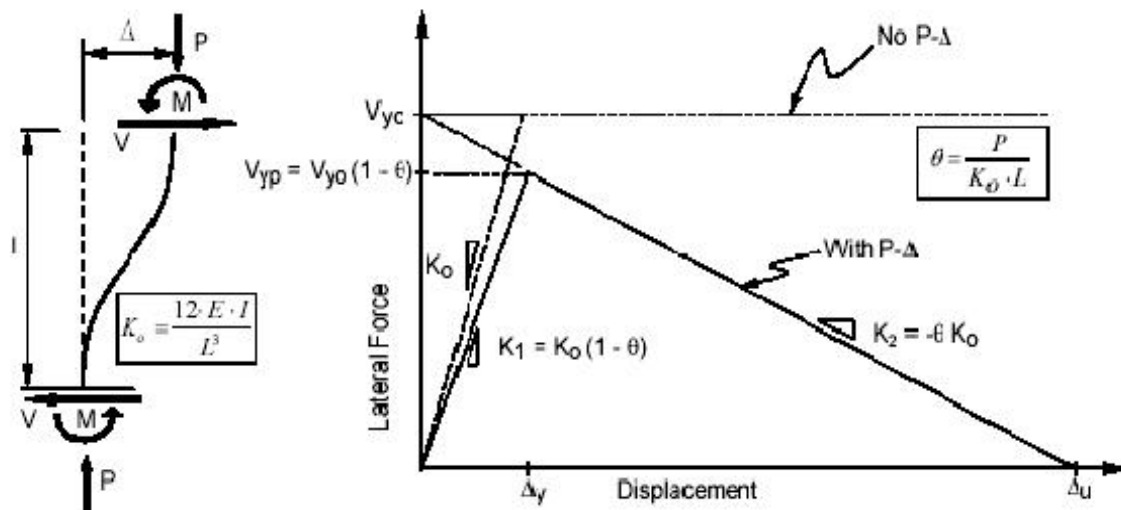


Figura 15. Diagrama típico para considerar los efectos P- Δ en sistemas de un grado de libertad dinámico

Tabla VII . Datos de la Pila

H (m)	K ₀ (KN/m)	P (KN)	θ	K ₂ (KN/m)	K ₁ (KN/m)	V _{yo} (KN)	V _{yp} (KN)
10,8	58772,4627	2500	0,0039386	-231,481481	58540,9812	162,05	161,411749

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DINÁMICO DE LA PILA DE UN PUENTE DE VIGAS

Tabla VIII. Resumen de Respuestas Máximas en la Pila Central

Parámetros	El centro	Taft
Fuerza Inercial Máxima	773,2922 KN	904,4091 KN
Fuerza de Amortiguamiento Máximo	110,1474 KN	90,7739 KN
Fuerza de Resorte Máximo	172,1617 KN	181,1968 KN
Amortiguamiento + Fuerza de Resorte	268,6607 KN	261,3143 KN
Fuerza Total Máxima	764,7599 KN	764,7599 KN
Desplazamiento Máximo Calculado	0,0512 m	0,0902 m
Velocidad Máxima calculada	0,2851 m/s	0,2350 m/s
Aceleración Máxima calculada	3,0335 m/s ²	3,5478 m/s ²
Número de Ciclos de Fluencia	83	107
Demanda de Ductilidad de Desplazamiento	18.605	32.801

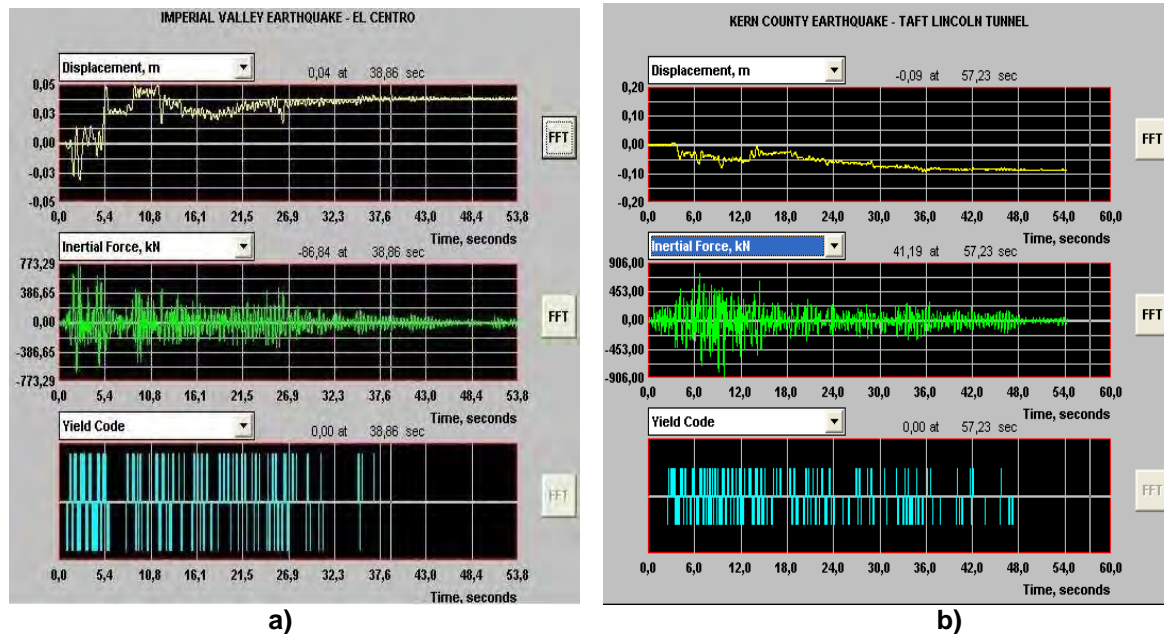


Figura 16. Fuerzas Inerciales, Amortiguamiento y Fluencia obtenidas para los dos movimientos: a) “El Centro” y b) “Taft”

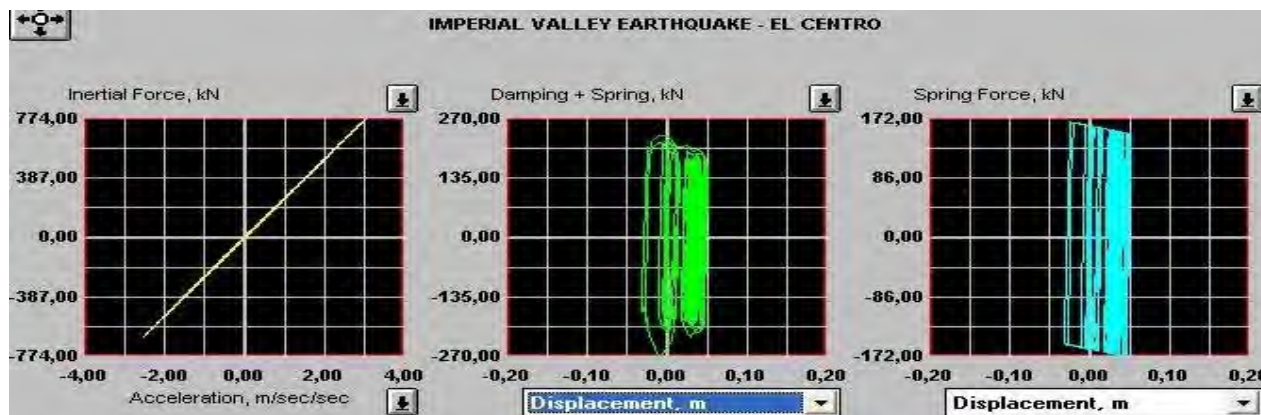


Figura 17 . Ciclos de histéresis para el sismo “El Centro”

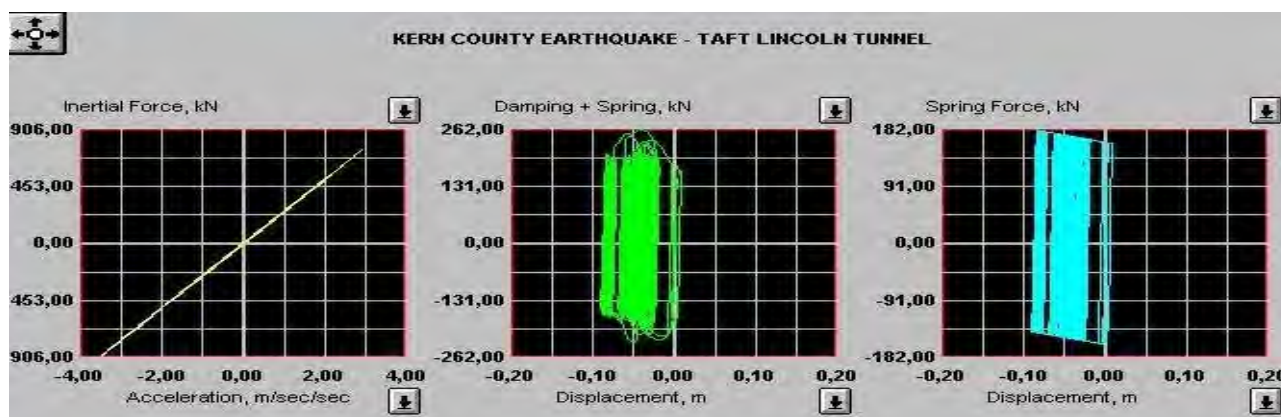


Figura 18 . Ciclos de histéresis para el sismo “Taft”

CONCLUSIONES

- 1- El valor obtenido del índice de estabilidad de la Pila del Puente fue de 0,0039, valor mucho menor que el umbral límite de 0,10 que establecen diferentes Normativa para que sean considerados los efectos $P-\Delta$, sin embargo se obtuvieron resultados que demuestran importantes amplificaciones de estos efectos de segundo orden, para una carga sísmica pequeña.
- 2- En el caso del registro “El Centro” la demanda de ductilidad fue de 18,60 mientras que para el caso del registro “Taft” es prácticamente el doble, con un valor de 32,80. Estas demandas de ductilidad no es posible lograrlas, aún cumpliendo, este elemento, con especificaciones de diseño sísmico especiales pues de lo que se trata es que comprometen la estabilidad general de la estructura.
- 3- Como se puede observar en la Tabla VIII el número de ciclos de fluencia en que incurrió la Pila aumentó para el movimiento “Taft” a 107, debido a la mayor duración de la fase fuerte del registro, lo que influye en una mayor degradación o daño del elemento.
- 4- En ambos casos (Movimientos “El Centro” y “Taft”) se superó considerablemente, el valor límite de desplazamiento lateral establecido por nuestra Normativa, siendo el doble en magnitud para el caso del sismo Taft.

- 5- El edificio fue analizado teniendo en cuenta disposiciones especiales del diseño sísmico, de lo cual se puede extraer como resultado que manifestó una gran reserva de ductilidad, ya que tanto en el análisis no lineal estático (pushover), como en el análisis no lineal dinámico y para ambos registros de movimientos, los valores de Demanda de Ductilidad, fueron menores que el valor estimado para el diseño del edificio, ver en Tabla VI y Figura 6. De esta manera, si se cuenta con un buen mecanismo de disipación de energía, (adecuado detallado) la influencia de la duración de la fase fuerte suele ser menos perjudicial y como consecuencia menores índices de daño para la estructura.

BIBLIOGRAFÍAS

- Lima, B, 1990, "Análisis elasto-plástico de segundo orden contra análisis de primer orden en pórticos de hormigón armado", Revista Estructural y Vial, 14(1).
- Lima, B, 1992, "Un comentario sobre la capacidad rotacional de articulaciones plásticas en elementos de hormigón armado", Revista Estructural y Vial, 13 (3).
- Portabell, J, 2001, "Ductilidad de las estructuras prefabricadas de hormigón", Memorias del 2^{do} Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica.
- Rodríguez, M, 2001 "Criterios de diseño sísmico por desempeño. Aplicación a estructuras prefabricadas", Instituto Ingeniería, UNAM, México.
- NC : 46 : 1999, Construcciones sismo resistente. Requisitos básicos para el diseño y construcción.
- NC : 207 : 2003, Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón.
- NC : 283 : 2003, Densidad de materiales naturales, artificiales y elementos de construcción como carga de diseño.
- NC : 284 : 2003, Edificaciones. Cargas de uso.



DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE RIESGOS Y LA VALORACIÓN DE SU USO COMO INFORMACIÓN EN LA INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES

José Carlos Núñez Mora

**Calle 4 No 302 e/3ra y 3ra A Miramar Playa email jcnunez@geocuba.cu
UCT Geocuba IC**

RESUMEN

La gestión de riesgos, tiene como objetivo articular los tipos de intervención sobre el desastre, las cuales se vinculan al desarrollo de las políticas preventivas que en largo plazo conduzcan a disminuir de manera significativa las necesidades de intervenir sobre los desastres ocurridos.

En este sentido, una política de gestión no sólo se refiere a la identidad territorial, sino por su propósito, a la articulación, de las diversas fuerzas existentes: sociales, políticas, institucionales, públicas y privadas de todos los niveles territoriales.

Considerando que la infraestructura de datos espaciales es el conjunto de medios tecnológicos, políticos y marco regulatorio, estándares, recursos humanos y financieros, para producir, procesar, almacenar y mejorar la información, la que se administra y distribuye a través de redes electrónicas, el lograr un sistema de indicadores representativos de la gestión de los riesgos permite una mejora considerable en la representación espacial de la gestión de riesgos, mejorando por consecuencia la importancia de la información geoespacial y las IDEs como soporte a las decisiones, así como le agrega un valor añadido importante a su uso, en la definición de escenarios de riesgos.

El presente trabajo propone los métodos a seguir para la definición de indicadores de riesgos, su representación espacial y su utilización como método de trabajo en los centros de reducción de riesgos.

ABSTRACT

The risks management, must as objective articulate the types of intervention on the disaster, which tie to the development of the preventive policies that in long term lead to diminish of significant way the necessities to take part on the happened disasters.

In this sense, a management policy not only talks about the territorial identity, but by its intention, to the joint, of the diverse existing forces: social, political, institutional, public and prevailed of all the territorial levels.

Considering which the infrastructure of spatial data is the technological, political means set and regulatory frame, human and financial standards, resources, to produce, to process, to store and to improve the information, the one that are administered and distributed through electronic networks, obtaining a system of representative indicators of the management of the risks allows to a considerable improvement in the space representation of the management of risks, improving by consequence the importance of the geoespacial information and the IDEs like support to the decisions, as well as it adds a value to him added important to its use, in the definition of scenes of risks.

The present work proposes the methods to follow for the definition of indicators of risks, its space representation and its use like method of work in the centers of reduction of risks.

Conceptos y definiciones.

Indicador. Es un término común y propio de todos lo tipos de actividad humana. Se definen como una "variable cuantitativa o cualitativa que se puede medir o describir y que demuestra tendencias cuando se observa periódicamente".



Criterios. Agrupan una serie de indicadores afines que “representan una categoría de condiciones mediante los cuales se puede evaluar, en el caso que nos ocupa, el manejo forestal”.

Semántica. Relativo a la significación de las palabras. Estudio del significado de los signos lingüísticos y de sus combinaciones, desde un punto de vista combinado o cronológico.

INTRODUCCIÓN

La opción de los conceptos de sostenibilidad y desarrollo sostenible, implican una redefinición de los enfoques tradicionales para abordar los problemas ambientales. Su reciente formulación demanda un esfuerzo definitorio, como categorías interpretativas y operativas idóneas. Las ciudades, por ejemplo, pueden favorecer o impedir procesos de sostenibilidad a partir de sus relaciones con el medio y dependiendo de su forma y estructuras, ya que a su vez son ordenadoras del territorio, generan procesos de producción, son consumidoras y productoras de desechos.

La aplicación del concepto de “sostenibilidad” debe necesariamente referirse a formas de ocupar, producir y consumir el espacio, para garantizar la permanente regeneración de sus sistemas sociales y económicos lo cual sólo se logra mediante la adopción de patrones de ordenamiento y ocupación del suelo que garanticen dicha regeneración (Otero y Martí 1995). Estos patrones de ordenamiento se materializan en diversos “atributos” que distinguen una región sostenible de una que no lo es, independiente de su tamaño, localización o papel regional.

La gestión de riesgos es el conjunto de elementos, medidas y herramientas dirigidas a la intervención de la amenaza o la vulnerabilidad, con el fin de disminuirlos a través de esquemas de intervención que puedan reducir el riesgo. En este sentido la recuperación (rehabilitación y reconstrucción) se ha visto imbuida de la idea de la prevención y mitigación de futuros desastres y mitigar los riesgos existentes. Este concepto de prevención ha jugado un papel delimitador respecto a otro conjunto de elementos, medidas y herramientas cuyo objetivo es intervenir principalmente ante la ocurrencia misma de un desastre, es decir que conforman el campo de los preparativos para la atención de emergencias, la respuesta y la reconstrucción una vez ocurrido un suceso.

La gestión de riesgos, tiene como objetivo articular los tipos de intervención sobre el desastre, las cuales se vinculan al desarrollo de las políticas preventivas que en largo plazo conduzcan a disminuir de manera significativa las necesidades de intervenir sobre los desastres ocurridos, por lo que desempeña un papel decisivo en cualquier análisis de sostenibilidad, la misma no sólo debe identificarse con lo que significa sino que debe estimular una convocatoria dirigida tanto a las fuerzas gubernamentales como no gubernamentales, con el propósito de enfrentar los desastres con en forma preventiva.

En este sentido, una política de gestión no sólo se refiere a la identidad territorial, sino por su propósito, a la articulación, de las diversas fuerzas existentes: sociales, políticas, institucionales, públicas y privadas de todos los niveles territoriales. Esto permite planteamientos de participación democráticos, suma de esfuerzos y responsabilidades, de acuerdo con el ámbito de competencia de cada cual.

Los conceptos desarrolladas en las secciones anteriores sobre el riesgo, los desastres y la intervención por vía de la gestión de riesgos ayudan perfilar una serie de áreas de intervención o acción de riesgos, a saber:

- a) Conocimientos sobre la dinámica. La incidencia, la causalidad y la naturaleza de los factores de riesgo, amenazas y vulnerabilidades, y la capacidad de construir escenarios y mapas dinámicos de riesgo para el país y sus distintos territorios.
- b) El estímulo y promoción de diversos mecanismos y acciones adecuadas para la reducción de las condiciones de riesgo existentes incluyendo mecanismos de reordenamiento humano, recuperación y control ambiental, reforzamiento de estructuras, construcción de infraestructura de protección ambiental, diversificación de estructuras productivas, fortalecimiento de los niveles organizacionales, etc.
- c) Capacidades para predecir, pronosticar, medir y difundir información fidedigna sobre cambios continuos en el ambiente físico y social y sobre la inminencia de eventos dañinos, destructivos o desastrosos.
- d) Mecanismos de preparación de la población, de instituciones y organizaciones para enfrentar casos inminentes de desastres y para responder eficazmente después del impacto de un determinado suceso físico. Esto en el marco de la promoción de esquemas que fortalecen y aprovechan las habilidades de la población fortaleciendo las opciones de desarrollo a través de la intervención humanitaria.
- e) Mecanismos que garanticen la instrumentación, organización y control eficaz de esquemas de rehabilitación y reconstrucción que consideren, entre otras cosas, la reducción del riesgo en las zonas afectadas.
- f) La reducción en prospectiva del riesgo en futuros proyectos de desarrollo, a través del fomento de la incorporación del análisis de riesgo en los procesos de toma de decisiones y de inversiones y la utilización de mecanismos de ordenamiento del territorio, de control sobre construcciones, de gestión ambiental, etc.
- g) El fomento de procesos educativos a todo nivel que garanticen un más adecuado entendimiento del problema de riesgo y de las opciones para su control, reducción o modificación.

Medir el riesgo y la gestión de riesgos a causa de fenómenos naturales, mediante un sistema de indicadores transparentes, representativos y robustos de fácil comprensión por parte de decisores y que permita la agrupación y comparación, es una necesidad mayor por lo que se imponen dos objetivos fundamentales

- Definir un modelo para el dimensionamiento relativo del riesgo y su gestión a nivel local, utilizando indicadores factibles soportados en técnicas numéricas que garanticen la confiabilidad de la información.
- Mejorar el uso y la presentación de información sobre riesgos a través de una caracterización holística espacial representada por los indicadores.
- Instrumentar la información y su uso a través de la infraestructura de datos espaciales y los sistemas de información territoriales.



Considerando que la infraestructura de datos espaciales es el conjunto de medios tecnológicos, políticos y marco regulatorio, estándares, recursos humanos y financieros, para producir, procesar, almacenar y mejorar la información, la que se administra y distribuye a través de redes electrónicas, el lograr un sistema de indicadores representativos de la gestión de los riesgos permite una mejora considerable en la representación espacial de su gestión, a partir de la instrumentación de estándares y marcos regulatorios que aporta, mejorando por consecuencia la importancia de la información geoespacial y las IDEs como soporte a las decisiones.

Esta importancia de los indicadores y su representación espacial esta fundamentada en su carácter holístico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los antecedentes fundamentales del tratamiento informativo a la información para el manejo de desastres y los sistemas de gestión de riesgos están vinculados al uso de los sistemas de información geográficos (SIG) los cuales se han convertido en una herramienta poderosa de gran alcance dentro de la infraestructura informática de hoy, proporcionando un marco alrededor del cual podemos analizar y entender mejor nuestro mundo. Los SIG proveen un marco intuitivo alrededor del cual podemos analizar nuestro ambiente natural y artificial. Aunque organizar alrededor de lugar o localización pueda considerarse instintivo, es solamente mediante un SIG que podemos hacerlo de una manera estructurada que también puede ser duplicada y accesible para el público en general.

Los SIG han introducido nuevos conceptos relacionados al análisis y modelaje de datos complejos, mapas interactivos y la integración de gran variedad de datos con información geoespacial. Además, ha introducido nuevos formatos de visualización y de procesamiento de datos geo-referenciados, cuyos conceptos están avanzando, no solamente la geografía sino a todas las ciencias. Dentro del espectro de los SIG y sus aplicaciones, esta plataforma también ha sido efectivamente utilizada para estudiar y resolver problemas relativos a desastres NATURALES.

Los peligros naturales incluyen acontecimientos geológicos y meteorológicos tales como terremotos, inundaciones, huracanes, sequías, tornados, deslizamientos, fuegos forestales y tsunamis. Estos son fenómenos geo-espaciales complejos que varían grandemente en magnitud y frecuencia, y que pueden resultar en muerte o lesión para los seres humanos, daños a la infraestructura, a las actividades socioeconómicas, y en ocasiones incluso a los ecosistemas.

Para atenuar las consecuencias devastadoras, algunas organizaciones científicas y agencias estatales han incorporado las tecnologías de información existentes como los SIG y la percepción remota en la mitigación de los desastres naturales. Muchos investigadores han evaluado estudios de desastres naturales y han sugerido que la tecnología de SIG puede desempeñar un papel importante e integral, en disminuir los impactos adversos de PELIGROS NATURALES en la sociedad. El uso de los SIG para entender la complejidad de los peligros naturales en el contexto geo-espacial y temporal se considera vital.

El riesgo de los eventos naturales resulta de la interacción entre un agente de peligro que es el fenómeno natural frecuentemente impredecible y una comunidad vulnerable. La relación cualitativa de "Riesgo = Peligro Natural x Vulnerabilidad" se puede utilizar para elaborar una relación entre estos tres aspectos. Este entendimiento abraza una relación fundamental e importante entre el ambiente natural y los seres humanos y ofrece una perspectiva de evaluación de riesgo del peligro natural. La evaluación de riesgo se puede definir dependiendo del contexto. Sin embargo, se refiere sobretudo al grado al cual la población, la infraestructura, y las actividades socioeconómicas son susceptibles al

daño provocado por un evento natural con variedad de aspectos físicos (Ej. : localización, magnitud, frecuencia, duración, proceso, etc.). Los peligros naturales y la vulnerabilidad de la comunidad se distribuyen en el espacio, y por ello, el riesgo es intrínsecamente un fenómeno geo-espacial y su evaluación debe tratar no solamente su magnitud, pero también sus variaciones geo-espaciales. La evaluación de riesgo es compleja y requiere una amplia gama del conocimiento de las ciencias físicas y socioeconómicas, y por lo tanto, es multidisciplinaria en su naturaleza.

Una gran cantidad de aplicaciones de los SIG se han desarrollado, particularmente durante la última década para el análisis de riesgo y la gerencia de los desastres naturales. Los SIG pueden beneficiar grandemente en la mitigación de desastres naturales porque las metodologías espaciales pueden ser exploradas completamente en el proceso de evaluación de riesgo, desde la integración de los datos hasta las tareas de evaluación y la toma de decisiones.

En primer lugar, los datos espacialmente referenciados confiables y actualizados, son importantes en la evaluación de riesgo de los peligros naturales. Las tareas de evaluación y toma de decisiones son limitadas, en última instancia, por la disponibilidad y la calidad de los datos. En segundo lugar, el análisis espacial de los SIG con sus variados métodos y técnicas, tienen la habilidad de integrar los datos ambientales y socioeconómicos en el análisis de vulnerabilidad. Finalmente, el propósito del proceso de evaluación de riesgo es apoyar la toma de decisiones racionales, y tomar medidas prácticas relevantes en la gerencia de los peligros. El formato de toma de decisiones debe ser capaz de proporcionar los procedimientos definidos y sistemáticos para medir la aceptabilidad de los riesgos. Una de las ventajas dominantes de usar los herramientas de los SIG en la toma de decisiones es el uso eficiente de hacer múltiples análisis variando parámetros generando panoramas alternos en un contexto geo-espacial. La generación y la consideración de soluciones alternas permite la investigación de resultados con variedad de impactos entre los factores multivariados y/o que están en conflicto, resultando en la identificación de características potencialmente indeseables de las soluciones a los panoramas alternos de la decisión.

Un peligro natural es descrito generalmente por datos físicos ambientales. Las capas de datos típicamente usados en los SIG incluyen: tipos de suelos, usos del terreno, la vegetación, la topografía, la meteorología, la geología, etc.; y se adquieren o se derivan de observaciones in situ y de imágenes de fotografías aéreas o de satélites. Muchos de las aplicaciones de los SIG son basados en la manipulación de estas capas de datos y su interacción. Los datos socioeconómicos también se incorporan para determinar vulnerabilidad de la comunidad e incluyen datos de censo de la población y datos sobre la infraestructura de utilidades y acceso. Estos datos socioeconómicos son esenciales en el análisis de vulnerabilidad. La información detallada sobre tipo de hogar, forma de sustento, seguridad, sistemas de transportación, etc., son requeridos. Por ejemplo, los datos sobre vivienda incluyen los materiales y tipo de construcción y las edades de edificios. Los datos sobre las utilidades (Ej. : agua, electricidad, telecomunicación, líneas de gas, y alcantarillado), los datos sobre instalaciones de seguridad (Ej. los hospitales, unidades de policías, centros de manejo de emergencia, etc.), y los datos sobre el acceso a los lugares (Ej.: carreteras, puentes, túneles, etc.) también se requieren, donde sea posible. Toda esta gama de información se almacena en el SIG mediante una base de datos geo-referenciados conocidos como geo-bases de datos ("geodatabase").

Los geo-bases de datos son depósitos donde se almacena la información física y socioeconómica. Estas bases de datos contienen la información geográfica, numérica y alfanumérica en varios formatos digitales, incluyendo mapas vector y "raster", las mensuras terrestres, imágenes aéreas y de satélites, los textos, los documentos y los datos tabulados. La información almacenada en geo-bases de datos se compila en diversas escalas geográficas y temporales, usando una variedad de métodos y de tecnologías. Estos geo-bases de datos son utilizados por los administradores de la política



pública, los ingenieros, científicos, y las agencias del estado. Para muchos científicos, los geo-bases de datos representan fuentes importantes de información para validar los modelos físicos, estadísticos o conceptuales. En las últimas dos décadas, las organizaciones regionales, nacionales e internacionales han hecho esfuerzos considerables en diseñar, poner en práctica y mantener inventarios digitales con información ambiental y temática sobre los peligros naturales e información socioeconómica.

Consecuentemente, los geo-bases de datos se han establecido como una herramienta esencial para cualquier investigación cuyo objetivo es determinar el riesgo planteado por fenómenos naturales peligrosos. Las bases de datos temáticos, los inventarios digitales y los archivos cartográficos se han convertido en una parte importante de estrategias integradas para evaluar el riesgo de los peligros naturales o aquellos generados por el hombre. Los sistemas de aviso han sido diseñados para alertar a la población y tienen como objetivo proteger la misma, sus estructuras y la infraestructura, de acontecimientos naturales dañinos confiando en los geo-bases de datos para proporcionar pronósticos exactos, confiables y oportunos. El personal civil de manejo de emergencias de las agencias municipales, regionales y nacionales y los encargados de riesgo que trabajan para las compañías de seguros, utilizan geo-bases de datos para estimar la frecuencia y las características perjudiciales de acontecimientos naturales dañinos. Además, los usuarios profesionales y los consultores pueden utilizar geo-bases de datos para solucionar problemas locales de peligro. Hasta donde sea posible, los ciudadanos concernidos y el público en general debe tener acceso a los geo-bases de datos para obtener información de gran utilidad sobre una variedad de peligros naturales de forma tal que puedan indagar sobre las consecuencias de un sitio específico.

En el país se ha venido trabajando en la implementación de los Sistemas de Información Geográfica Territoriales a nivel municipal en todo el país desde 1998 hasta la fecha en Manicaragua, Yaguajay, Placetas, Santa Clara, Camajuaní y Florida, entre otros. Los mismos tienen como alcance principal la implementación de la infraestructura administrativa y las principales temáticas de interés del Gobierno como, formaciones del suelo y geología, yacimientos minerales, modelo digital del terreno, uso del suelo, educación, cultura y recreación, salud, transporte, entre otros. Estos sistemas informativos constituyen herramientas de apoyo a la toma de decisiones por los diferentes órganos de la administración territorial, así como a otras entidades municipales respecto al municipio, por lo que la gestión de riesgos ha estado implícitamente incluida en los mismos.

Resultados

Nuestro país por su posición geográfica es un país muy vulnerable a la ocurrencia de desastres naturales, principalmente por los ciclones tropicales que constituyen el fenómeno meteorológico adverso que mayores afectaciones han ocasionado con el decursar del tiempo, que junto a los fuertes vientos e intensas lluvias provocan grandes inundaciones en zonas costeras y en el interior por el desborde de ríos y embalses. Por lo que el empleo de los mapas impresos, primero y posteriormente de los SIG, se han hecho imprescindible para el manejo de dichos fenómenos.

En los estudios de riesgos que actualmente se realizan, previo a la ejecución de proyectos constructivos, se utilizan los SIG para analizar temáticas como: "peligros geológicos; características de las pendientes; series climáticas de hasta 200 años; penetraciones del mar; calidad de las masas de agua cercanas o que pudieran ser afectadas por el proyecto, de las superficiales y subterráneas; peligros acarreados por la aparición de fuerzas de supresión provocadas por las aguas subterráneas; los caudales máximos para las diferentes probabilidades; escorrentías; grado de conservación de la vegetación y los daños que puede sufrir durante el embate de los eventos meteorológicos extremos; descripción de las instalaciones desde el punto de vista constructivo; vulnerabilidad ingeniero-geológica, estructural, no estructural y funcional; la valoración de los riesgos a que se someten las instalaciones"

Hoy en día se ha extendido el empleo de los SIG a los Puestos de Mando Provinciales de la Defensa Civil, así como a los Centros Territoriales de Gestión de Riesgos dotados con tecnologías de punta para el cumplimiento de su misión. Además se monitorean otros fenómenos adversos como incendios forestales desde y epidemias, que conciben el empleo de imágenes satelitarias y salidas Web utilizado todo como soporte informativo de los sistemas de gestión de riesgos.

Para el funcionamiento mas eficiente de los sistemas de gestión de riesgos es necesario definir el conjunto de indicadores de riesgos que deberá incluirse en el procesamiento de la información, los que serán utilizados para la toma de las decisiones correspondientes, tanto a nivel nacional como territorial. Así como oorganizar el sistema que permita captar estos datos, verificar su confiabilidad, ejecutar su procesamiento y garantizar el flujo informativo a los distintos niveles que inciden en el proceso de toma de decisiones. Integrar los indicadores ambientales a los planes de desarrollo de la economía nacional y elaborar sistemáticamente reportes contentivos del estado del sistema de gestión de riesgos, por parte de las autoridades correspondientes y del grado de cumplimiento de los planes de reducción de desastres.

Los sistemas de gestión de riesgos son interdisciplinarios y por lo tanto son difíciles de diseñar, construir y mantener. Los componentes técnicos requieren conocimiento avanzado y habilidades en ingeniería e informática. Los componentes sociales requieren un entendimiento del diseño organizacional de la política pública, de sociología y comunicaciones. Los mismos requieren un enfoque de equipo para operaciones efectivas, puesto que una persona no puede tener todo el conocimiento y las habilidades requeridas para manejar tareas complejas, un grupo de especialistas experimentados y capaces, cada uno con un conocimiento profundo y con habilidades específicas y con suficiente entendimiento de los campos complementarios, es más efectivo para orientar y mantener un sistema de gestión. Puesto que estos sistemas son interdependientes y funcionan con la base en entendimiento mutuo, la comunicación efectiva es requisito para que cada miembro participe en la adecuada toma de decisiones.

Desarrollar sistemas integrados de informaciones es uno de los aspectos más complejos pero que a criterio del autor es fundamental para mejorar la efectividad en la concepción y puesta en marcha de un sistema integrado de información que sea descentralizado, interinstitucional y coherente. La información es la base de la planificación y de la adecuada respuesta en casos de situaciones de crisis y facilita la sinergia que debe procurarse entre las entidades y los individuos.

La gestión de riesgos involucra tres dimensiones de la política publica distintas la identificación del riesgo, que comprende la percepción del riesgo, la representación social y estimación objetiva, la reducción del riesgo y el manejo de desastres, donde juega un importante papel la representación espacial de la información.

Se puede decir que la efectividad de esta política viene dado por su interdisciplinariedad y enfoque integral lo cual depende mucho del acceso a la información y por ende al nivel de acceso al mismo.

Esta ultima recomendación es de especial importancia, dado que la capacidad técnica para ordenar, almacenar, recuperar y diseminar información entre múltiples usuarios en forma simultanea, la posibilidad de representar el conocimiento visualmente y la posibilidad de monitorear las diferentes instituciones en diferentes niveles de ejecución esta creado un potencial de nuevos enfoques para enfrentar los problemas del riesgo. Sin lugar a duda, el encadenamiento de información tecnológica a la capacidad organizacional para enmarcar y revisar políticas que afecten la comunidad como un todo, puede facilitar la creación de un "ambiente rico en información" que le dé soporte a la acción voluntaria e informada, al aprendizaje colectivo y a la autoorganización interinstitucional para reducir el riesgo. Este encadenamiento fortalece la gestión de riesgos, en la cual la habilidad e intercambio



oportuno de información precisa entre múltiples participantes le daría lugar a un enfoque más amplio, creativo y responsable para resolver problemas compartidos.

Los estudios para la prevención de desastres demandan un elevado volumen informativo en tanto que se refiere a la compleja urdimbre de relaciones que tienen lugar entre naturaleza, economía y población. Visualizar esa realidad representa incluso una transformación en el pensamiento científico, que transita desde perspectivas eminentemente naturistas hasta las posiciones realistas que ubican a los aspectos socioeconómicos como sustantivos dinamizadores del medio.

Dentro de todo ello, uno de los problemas más álgidos al enfrentar tales estudios deviene de la adecuada selección de la unidad de análisis, pues los patrones establecidos por la naturaleza, se han visto transformados por la organización de la sociedad, que ha impuesto otros marcos político-administrativos dentro de los cuales realiza en concreto sus intervenciones. Conjuguar en forma objetiva y lógica tales unidades ha ocupado a muchos, que de acuerdo con sus propias percepciones, han aportado elementos en torno a una u otra tendencia interpretativa y conductual.

Considerando que la infraestructura de datos espaciales es el conjunto de medios tecnológicos, políticos y marco regulatorio, estándares, recursos humanos y financieros, para producir, procesar, almacenar y mejorar la información la que se administra y distribuye a través de redes electrónicas, el lograr un sistema de indicadores representativos de la gestión de los riesgos permite una mejora considerable en la cartografía de los mismos, mejorando por consecuencia esta infraestructura.

Por otra parte, teniendo en cuenta los nuevos paradigmas que se plantean en relación con la manera de llevar a cabo la estimación de la vulnerabilidad y el riesgo, para mejorar la efectividad y eficacia de la gestión de riesgos es necesario tener en cuenta que:

- a) El conocimiento de las amenazas naturales, su monitoreo y análisis es condición necesaria pero no es suficiente para disminuir el impacto de los fenómenos peligrosos.
- b) Las condiciones de vulnerabilidad de la población se disminuye con el mejoramiento de sus condiciones de vida. Es decir, como condición esencial para disminuir la ocurrencia de desastres, debe ser superado el estado de subdesarrollo de los países, y en especial, las condiciones de pobreza.
- c) La reducción de riesgos, al entenderse como parte del desarrollo de los países no puede darse bajo condiciones de deterioro del entorno que o bien acentúan o bien crean nuevos riesgos. Por lo tanto, no existe más alternativa que buscar el equilibrio entre el modelo de desarrollo que se adopte y la conservación del medio ambiente.
- d) Especial énfasis debe hacerse sobre el riesgo en las zonas urbanas, en especial en aquellos países donde las ciudades siguen creciendo a ritmo acelerado y la planificación y los controles de ese crecimiento son superados por la realidad, acentuándose y aumentando el riesgo de un cada vez mayor número de personas.
- e) La comunidad enfrentada a una amenaza natural cualquiera debe ser consistente de esa amenaza y debe tener el conocimiento suficiente para convivir con ella.
- f) El modelo de descentralización sobre análisis y toma de decisiones es condición necesaria para la real participación de la comunidad y de las autoridades locales. La responsabilidad de disminuir el impacto de los fenómenos naturales y tecnológicos es multisectorial e

interinstitucional. La tarea debe comprometer a los gobiernos, a la comunidad, al sector privado, al sector político, a los organismos no gubernamentales y a la comunidad internacional. La autonomía de las comunidades y de sus propias autoridades debe ser una estrategia explícita para lograr resultados efectivos de intervención.

- g) La comunidad internacional y las agencias y organismos bilaterales y multilaterales deben apoyar las iniciativas nacionales y facilitar el intercambio de información así como promover la cooperación técnica horizontal entre los países que deben desarrollar estrategias similares en el análisis de sus amenazas y riesgos, la intervención de las vulnerabilidades y en la gestión del riesgo en general.

Normalmente se distingue entre indicadores simples e indicadores complejos, sintéticos o índices. Los primeros hacen referencia a estadísticas no muy elaboradas, obtenidas directamente de la realidad, normalmente presentadas en forma relativa a la superficie o la población. La información que se infiere de estos indicadores es muy limitada. Los indicadores sintéticos o índices son medidas adimensionales resultado de combinar varios indicadores simples, mediante un sistema de ponderación que jerarquiza los componentes. La información que se obtiene de estos indicadores es mayor, si bien la interpretación de la misma es en muchos casos más dificultosa y con ciertas restricciones.

Este último concepto es el resultado del compromiso entre el conocimiento científico disponible y la necesidad de información ambiental en la toma de decisiones.

La necesidad de índices de sostenibilidad, surge de la incapacidad de los indicadores convencionales de representar los problemas o procesos en sus múltiples dimensiones

Estos índices deben contener los siguientes criterios operativos

1. Estar obtenidos a partir de un procedimiento de cálculo objetivo y científico.
2. Estar relacionados con objetivos claros y específicos.
3. Tener una interpretación clara y entendible para los no científicos.
4. Han de estar basados en unos parámetros cuyos valores sean estables en un periodo de tiempo suficientemente bajo.
5. Han de estar contruidos en una escala espacial y temporal relevante para los fenómenos naturales y socioeconómicos.
6. Han de especificar valores umbrales o límites que permitan la evaluación de la desviación entre el actual estado y la evolución determinada por la norma u objetivo deseado.

Como una componente importante de la sostenibilidad, están los elementos más representativos de los sistemas de gestión de riesgos.

Medir el riesgo y la gestión de riesgos a causa de fenómenos naturales, mediante un sistema de indicadores transparentes, representativos y robustos, de fácil comprensión por parte de decidores y que permitan la agrupación y comparación.

La aceptación de ciertos enfoques o criterios de simplificación, debido a la facilidad de uso, la ausencia de datos o la inherente baja resolución de la información significa el sacrificio de algunas características científico técnico como la exactitud, por esta razón este proyecto pretende descubrir

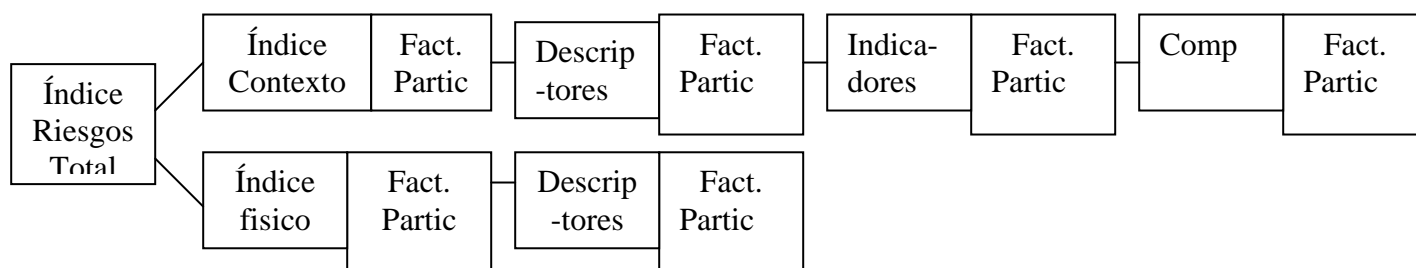
un modelo para el dimensionamiento relativo del riesgo y su gestión a nivel de municipio. Esta evaluación se propone utilizando indicadores factibles que reflejan la vulnerabilidad y la efectividad de los planes de reducción de desastres del municipio, utilizando técnicas numéricas consistentes que permiten la formulación de acuerdo al estado actual del conocimiento

Discusión

El uso de mapas de indicadores posibilita el dimensionamiento del riesgo usando indicadores relativos, para facilitar la toma de decisiones y su monitoreo a nivel municipal y de consejo popular para proponer acciones efectivas de gestión de riesgos, identificando aspectos esenciales que lo caractericen desde una perspectiva social manteniendo una condición holística lo cual le da un carácter integrador a la información.

La evaluación holística del riesgo se realiza a partir de componentes o variables de entrada, de los cuales se van obteniendo indicadores, descriptores hasta llegar a los índices, de los que pueden tener representación espacial la mayoría de los componentes y todos los índices.

La aplicación de las IDE para su aplicación en los SGR, está asociada al diseño de indicadores específicos de Riesgos, lo que de forma general se puede expresar como:



Evaluación de los índices de riesgos físico

Se realiza una evaluación sistematizada de las oficina de catastro y de la tipología de edificaciones, se hicieron valoraciones de daño a partir de la confección de matrices de daño por consejo de expertos. Se dedujeron posibles costes de reparación a partir de los componentes de un sistema de información de daños. Para la determinación del Índice de riesgo Físico se definan los siguientes descriptores:

- Área destruida
 - Número de heridos
 - Rotura de redes de agua
 - Rotura de líneas eléctricas
 - Rotura de líneas telefónicas
 - Número de vías afectadas
- } tienen representación espacial

Evaluación de los índices de riesgos del contexto

Para la determinación del Índice de Riesgo del Contexto se definió el resultado del producto escalado del Peligro y la vulnerabilidad.

Se consideraron como descriptores, el Peligro y la vulnerabilidad del contexto



A continuación se refiere los siguientes indicadores y componentes de los peligros, todos con representación espacial

<u>Indicadores</u>	<u>Componentes</u>
- Licuefacción de suelos -----	{ Índice Plasticidad Humedad
- Asentamientos de suelos (represent. espacial) -----	{ Mod. Deform. Suelos Resist. Compresión
- Expansión de suelos (represent. espacial) -----	{ Hinchamiento libre
- Prop. Dinam de suelos y rocas (represent. espacial) -----	{ Factor amplificación *Resistencia al esfuerzo cortante Frec. resonancia
- Corrosión de suelos (represent. espacial) -----	{ Resistividad eléctrica
- Erosión de suelos (represent. espacial) -----	{ Factor K
- Estabilidad talud -----	{ Ángulo de Reposo
- inundaciones -----	{ coef de escorrentía
- Vulnerabilidad de acuíferos	{ pendiente

La vulnerabilidad del contexto es la suma de valores que expresan aspectos de exposición poblacional, económica y estratégica, ausencia de desarrollo, debilidades para absorber el impacto y falta de capacidad en la respuesta. Todos sus componentes y los indicadores tienen representación espacial

<u>Indicador</u>	<u>Componentes</u>
Exposición -----	{ *Población *Dens. Población *Área construida *Área Industrial *Área Institucional
Fragilidad Social -----	{ *Área Barrios Insalubres
Falta de resiliencia -----	{ *Camas hospitalarias *Recursos Humanos en salud *Espacio público (albergue) *Operatividad en emergencia

Conclusiones

En conclusión, los resultados de índices relativos aquí propuestos permiten caracterizar la amenaza, la vulnerabilidad y los riesgos en diferentes áreas de una ciudad, región o país. Esta técnica permite actualizar fácilmente el valor de las variables, lo que favorece la realización de análisis de sensibilidad y calibración y de la misma manera puede llevarse a cabo el seguimiento del escenario de riesgo y de la efectividad y eficacia de las medidas de prevención y mitigación.

Una vez representado espacialmente los resultados para cada una de las localidades, es sencillo identificar los aspectos más relevante del riesgo, siendo esto una de las mejores potencialidades que presentan la infraestructura de datos espaciales en el manejo de desastres.

La principal ventaja de la técnica descrita, es la posibilidad de desagregar los índices en descriptores, y esto a su vez en indicadores para identificar de esta manera, la razón por la cual una localidad presenta mayor riesgo que otra, priorizando las acciones de prevención y planificación, parámetros que en su gran mayoría tiene una representación espacial y presentan la posibilidad de compartir este tipo de información geográfica, ofreciendo la posibilidad de un servicio, con amplia conectividad, mejorando la calidad de la información geoespacial.

Bibliografía

- <http://www.desenredando.org>
<http://www.tierramerica.org>
<http://www.habitare.infohab.org>
<http://www.revistapesquisa.fapesp> Bucek, A. (1983): Problemas de la investigación geográfica del medio ambiente. *Studia Geographica* 86:17- 26.
Bucek, A, L. González Otero, M. Arcia Rodríguez y M. C. Martínez Hernández (1989): Aseguramiento territorial de la estabilidad ecológica y sus condiciones en Cuba. En: *Unidad Hombre Naturaleza*, Academia de Ciencias de Cuba, pp. 9- 24.
CAME (1987): Principios geoecológicos de la protección de los geosistemas técnicos- naturales. Progreso, Moscú, pp. 5- 18.
Cárdenas, O. (2000): Diagnóstico ambiental subcuenca Seibabo (Inédito) Tesis de Maestría. Facultad de Geografía, Ciudad de la Habana, 338 pp.
Carreras, F. (2000): Proyecto de reubicación de la Comunidad Playa Rosario. Dirección Provincial de Planificación Física, La Habana, pp. 7-8.
CEPDE (2001): Indicadores demográficos por provincias y municipios 2000. Centro de Estudios de Población y Desarrollo. Oficina Nacional de Estadísticas, La Habana s.p.
CEPAL, (1998): Manejo Integrado del recurso agua con la perspectiva de los principios de Dublín. En: CEPAL 64, 165 pp.
Díaz L.R. y J. E. Rodríguez (1994): Estudio hidrológico de la cuenca del río Cuyaguatzeje. Academia, La Habana, 97 pp.
Dourojeanni, A. (1994): La gestión del agua y las cuencas en América Latina. *Revista de la CEPAL*, No. 53, pp 111-157.
FAO (1996): Planificación y manejo integrado de cuencas hidrográficas en zonas áridas y semiáridas de América Latina. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, 160 pp.
Faustino, J. (1999): Sistemas de gestión de comité de agua en el manejo de las cuencas hidrográficas. V Reunión Regional de lucha contra la Desertificación, Lima, 28 pp.
Fundación BETEGUMA (¿?): La cuenca del Cabi: madre de aguas.
<http://www.biodiversidadla.org/documentos41.htm>.
Gaceta Oficial (1997): Ley No. 81 del Medio Ambiente. Gaceta Oficial, La Habana, 68 pp.

- González Otero, L. (1994): Cuestiones teórico- metodológicas de la planificación ecológica del uso del territorio. En: Geografía del medio ambiente. Una alternativa del ordenamiento ecológico. UAEM, México D.F., pp. 234- 239.
- Hernández Becerra, E. (1993): Monitoreo y evaluación de los logros en proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas. FAO, Roma, 160 pp.

VALORACION DE ESCENARIOS BAJO RIESGO COMO PREMISA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE. CASO SANTIAGO DE CUBA

Tomás J. Chuy Rodríguez⁽¹⁾, Guillermo Puente González⁽²⁾, Carmen Calderín Medina⁽³⁾, Oscar Borges Escandón⁽⁴⁾, Zulima C. Rivera Alvarez⁽¹⁾, Adalberto Salas Díaz⁽³⁾, José A. Planas⁽⁵⁾, Félix Alcántara Guerrero⁽⁶⁾, Caridad Imbert Lamorú⁽²⁾, Marianela Cintra Arencibia⁽⁴⁾, Onell Pérez Hernández⁽⁷⁾, Madelín Villalón Semanet⁽¹⁾ e Julio C. Vázquez Batista⁽¹⁾.

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS), Calle 17 No. 61 e/ 4 y 6, Vista Alegre, Santiago de Cuba, CP 90 400, Cuba. C-Elect: chuy@cenais.cu

(2) Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba, Cuba

(3) MEGACEN, Cuba.

(4) Estación de Suelos de Guantánamo, Cuba.

(5) Centro de Investigaciones de Energía Solar, Cuba.

(6) Cuerpo de Guardabosques de Santiago de Cuba, Cuba.

(7) Universidad de Oriente, Cuba.

RESUMEN

El municipio de Santiago de Cuba está ubicado en una región sometida al potencial impacto de diferentes fenómenos extremos que pueden producir al manifestarse, significativos daños socioeconómicos. Para este territorio se tienen en consideración terremotos, deslizamientos, lluvias máximas y ácidas, ciclones tropicales, inundaciones, tormentas locales severas, sequías, penetraciones del mar, degradación de suelos, escapes tóxicos potenciales, contaminación ambiental, incendios forestales, entre otros.

Por consiguiente, se presenta la caracterización cronológica y algunos de los principales aspectos espacio-temporales de estos fenómenos, se estiman para algunos sus posibilidades de ocurrencia y se valoran de forma integradora en este entorno, de forma que puedan proponerse medidas adecuadas de prevención y mitigación, que aseguren para el territorio un desarrollo sostenible. En particular, todo este aspecto del conocimiento necesita una divulgación comunitaria imprescindible, por lo que se propone la promoción de sus principales aspectos en forma de Multimedia, presentando el acceso a su versión final en este trabajo.

ABSTRACT

The municipality of Santiago from Cuba is located in a region subjected to the potential impact of several extremes phenomenon that could produce upon manifesting, significant social and economic damages. For this territory are taking in consideration earthquakes, slips, maximal and acid rains, tropical hurricanes, floods, local severe storms, drought, penetrations of the sea, soils' degradation, potential toxics leak, environmental contamination, forest fires, and others.

Consequently, their chronological characterization is presented and some of the principal time-space aspects of these phenomenon. For some their possibilities of occurrence are valued and for others an integral valuation in the environment was done, so that they could propose adequate measurements of prevention and mitigation, which permit a sustainable development for the territory. In particular, all this aspects of the knowledge needs an essential community popularization. This last one means the promotion in form of Multimedia, presenting the access to their final version in this work.

INTRODUCCION

El incremento actual en la región de Santiago de Cuba de la vulnerabilidad ante los distintos tipos de fenómenos naturales y antrópicos, hacen imprescindible la necesidad de conocer con más precisión su aparición y comportamiento. En consecuencia, se presentan consideraciones acerca de los potenciales impactos negativos que se pueden producir en la ciudad y municipio de Santiago de Cuba por terremotos, deslizamientos, rotura de presas, escapes tóxicos, ciclones tropicales, lluvias máximas y ácidas, sequías, degradación de suelos, inundaciones, penetraciones del mar, contaminación, incendios forestales, entre otros; y como el uso de este conocimiento es imprescindible para garantizar el desarrollo sostenible del territorio, sus nuevas inversiones y precisar acciones de rehabilitación.

Este material tiene como propósito introducir a la población del municipio Santiago de Cuba, en el conocimiento imprescindible acerca de las amenazas naturales a que está sometido directamente este territorio, así como a la definición de sus potenciales impactos negativos. Se presentan por consiguiente, con fines de prevención y mitigación, no sólo los principales elementos relacionados con estos fenómenos y la forma de evaluarlos, si no también, se muestran los impactos que han producido en ese territorio.

PELIGROSIDAD SISMICA DE LA REGION Y CIUDAD DE SANTIAGO DE CUBA

Para la provincia de Santiago de Cuba se destaca el tipo de Sismicidad conocida como de “entre placas”, vinculada a la estructura de Bartlett - Caimán (Zona Sismogénica Oriente), por la frecuencia de los terremotos que ocurren y los valores altos de magnitud e intensidad alcanzados históricamente (Chuy, 1999). Por estas razones, este territorio es considerado el de mayor peligrosidad sísmica del país; señalándose en él 20 reportes de terremotos fuertes (Intensidad $I \geq 7.0$ MSK) en el sector comprendido entre las localidades de Chivirico y Baconao, vinculado con la provincia y ciudad de Santiago de Cuba.

Por otra parte, utilizando el nivel actual de conocimiento que se tiene de las Zonas Sismogénicas de Cuba y sus niveles de actividad sísmica específica, se han obtenido estimados de Peligrosidad Sísmica en términos de intensidad sísmica y otros parámetros dinámicos tales como la aceleración horizontal, tanto en forma de probabilidades, como de forma determinística. Esto último se refleja en los periodos de repetibilidad o de recurrencia, de que determinados valores de intensidad sísmica puedan repetirse cada cierto número de años.

En esos mapas el valor de intensidad sísmica de 8.0 MSK puede repetirse en periodos menores de 100 años para la ciudad de Santiago de Cuba y zonas costeras aledañas. De hecho para esta ciudad, esto es equivalente a decir que el valor de aceleración horizontal máxima del terreno para una probabilidad de ocurrencia de un 15 % considerando tiempos de vida útil de las edificaciones de 50 años, es del orden de 325 – 350 cm/s², lo que en términos de intensidad sísmica representa un valor de 8.5 grados MSK para la mayor parte de la ciudad.

Sin embargo, es de todos conocido que en casos de sismos fuertes, el grado de destrucción no ha sido uniforme dentro del territorio de la ciudad, notándose que en algunas zonas los efectos producidos por la acción de terremotos han sido más importantes que en otras y que es necesario considerar otros elementos que inciden en el nivel de las afectaciones que pueden producirse.

Posibilidad de deslizamientos catalizados por terremotos fuertes.

Los movimientos de laderas (deslizamientos, derrumbes) cualquiera que sea su origen, constituyen uno de los peligros geológicos de mayor impacto. No obstante, el hecho de que tengan su aparición

de manera muy localizada, así como que se produzcan en áreas de baja densidad de población, ha motivado que no siempre se le ha preste la atención que corresponde. En Santiago de Cuba, en ocasión de terremotos fuertes se han reportado deslizamientos dentro del área de la ciudad y sus alrededores, siendo el ejemplo más significativo el ocurrido en 1947 (Chuy, 1999), aunque en ocasión del terremoto de Pílon de 1976, se produjeron varios deslizamientos en la carretera Granma. Es de significar, que en ocasión de lluvias extremas en este vial se han producido también deslizamientos que han bloqueado el paso vehicular.

Incidencia de las condiciones tectónicas locales.

Las principales afectaciones relacionadas con la fallas activas en la ciudad de Santiago de Cuba ante la ocurrencia de un sismo fuerte, están dadas por el hecho de que éstas constituyen zonas débiles en la superficie en las que se producen incrementos de la intensidad sísmica. En este tipo de consideración se confecciona el Mapa de Inestabilidad Tectónica (**Figura 1**) donde se considera un ancho de afectaciones respecto de las trazas, para las fallas principales de 200 metros y para las secundarias de 100 metros (García et al, 2002).

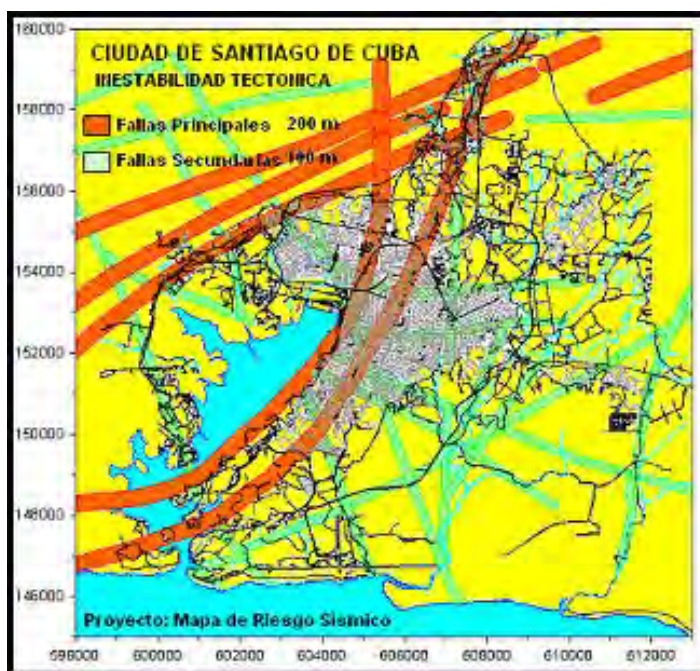


Figura 1. Mapa de inestabilidad tectónica de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores (Tomado de García et al, 2002).

Susceptibilidad de Licuefacción por efectos de terremotos.

La posibilidad real de ocurrencia del fenómeno de licuefacción inducido por un terremoto fuerte, en una ciudad de alta densidad poblacional y gran volumen de industrias, puede traer consigo afectaciones socioeconómicas incalculables. La máxima extensión de licuefacción, puede ser estimada sobre la base de la intensidad sísmica esperada.

El grado de intensidad 8.0 en la escala MSK puede ser usado como la primera intensidad peligrosa para que ocurra este fenómeno, aunque depende de la susceptibilidad propia de cada tipo de suelo. En particular, los más susceptibles son las arenas y los sedimentos arenosos, aunque puede aparecer en suelos arcillosos dependiendo del tamaño de los granos (García et al, 2002).

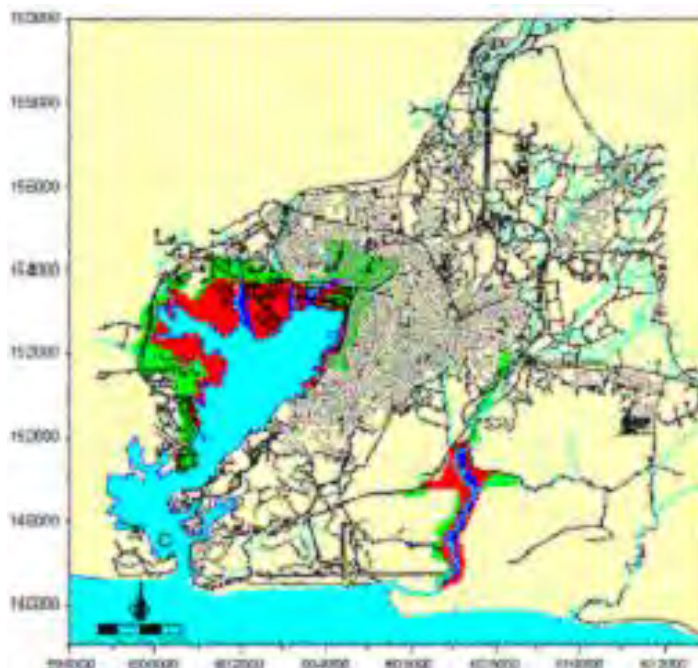
En la **Figura 2** se presentan según su susceptibilidad a la licuefacción, la clasificación de las zonas de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.

CICLONES TROPICALES EN LA REGION DE SANTIAGO DE CUBA

Para muchos estudiosos de la meteorología, un ciclón es el fenómeno atmosférico más espectacular, quizá porque cuando tienen que definirlo como fenómeno, suelen afirmar que los efectos que provocan son los más devastadores de todos los fenómenos atmosféricos. Las cantidades de energía que arrastra y desprende un fenómeno de estas características son en ocasiones extremadamente grandes. Un ciclón suele tener una extensión de entre 300 y 500 kilómetros o más, de forma espiral. La presión central, en lo que se denomina "ojo" del huracán o ciclón es muy baja. Las causas de las grandes pérdidas económicas y de vidas humanas es debido a que estos fenómenos van acompañados de fuertes vientos, lluvias torrenciales, ya que son generadores de grandes olas e inundaciones costeras por penetraciones del mar.

Las características de los huracanes en la región fueron analizadas en 100 años, a partir de 1900. Se encontró que en este período cruzaron a 150 km o menos de distancia de la ciudad de Santiago de Cuba, 28 organismos ciclónicos de los cuales 2 llegaron a ser de categoría V en la escala de Saffir – Simpson y 5 de categoría IV. El comportamiento de la actividad del período 1900 – 2004 se representa en las **Figura 3 y 4**.

Figura 2. Susceptibilidad a la licuefacción en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores (García et al, 2002). Azul – alta; Rojo – media; Verde – baja; Amarillo – No ocurre. Note que la zona de mayor susceptibilidad en esta área es la que se encuentra en los alrededores de la bahía.



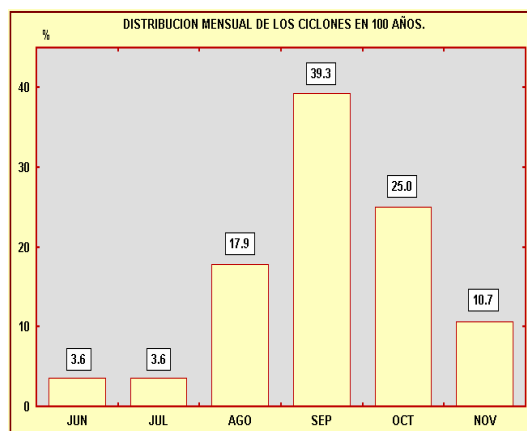
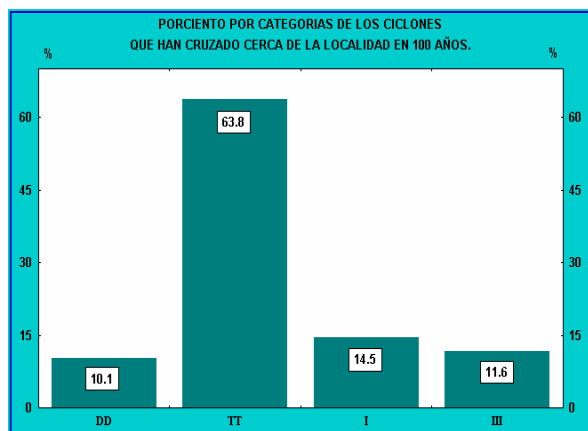


Figura 3. Frecuencia Relativa por Categorías de Ciclones Tropicales. DD: paso de Ciclones Tropicales por la Depresiones; TT: Tormentas Tropicales; I- III: Categorías en la Escala Zaffir – Simpson.

Figura 4. Frecuencia Relativa Mensual de paso de Ciclones Tropicales por la región. Tomado de Chuy et al, 2006.

Al igual que Debby pasó y no se sintieron sus efectos, puede ocurrir que un ciclón pase fuera del área de afectación y provoque daños a la economía de la región, dependiendo de su trayectoria y su categoría, como lo fue el huracán Iván del 2004, que pasó por el Sur de Jamaica y sin embargo, provocó penetraciones del mar en el litoral santiaguero con pérdidas de cierta consideración (**Figura 5**).



Figura 5. Afectaciones por penetraciones del mar en el litoral de Santiago de Cuba. Izquierda: Huracán Iván (2004). Derecha: Huracán Dennis (2005).

Hay que destacar que los daños causados por los ciclones tropicales, no son sólo por motivo de la velocidad de sus vientos, también el volumen de las precipitaciones causa grandes daños aunque el huracán sea de categoría I o sea sólo una tormenta tropical. La temporada de huracanes, en nuestra región, se extiende desde el 1 de junio hasta el 30 de noviembre.

Durante el período de estudio, el mayor porcentaje de huracanes que han atravesado la zona lo han hecho durante el mes de septiembre con una frecuencia de un 39.3 %, acumulándose en el trimestre agosto – octubre, mas del 80 % de los casos y con mayor categoría. Fuera del mismo sólo han ocurrido tormentas tropicales o depresiones, es decir, los vientos no han sido nunca superiores a 117 km/h.

Según los valores de velocidad máxima de vientos sostenidos para el rango más probable y para el rango general, la presión horizontal ejercida por el viento sobre una pared, precisamente la causante de las principales afectaciones en las edificaciones, se presenta en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Rangos más probables de presión horizontal para los ciclones en Santiago de Cuba

Rango	Presión (kg / m ²)
Más Probable.	13.8 – 115.9
Mínimo – Máximo.	7.8 – 237.2

Tormentas Locales Severas en el 2004 en Santiago de Cuba.

Un fenómeno meteorológico vinculado con fuertes vientos que dejan pérdidas cuantiosas a la economía y a la sociedad, en algunos casos, son las **TLS** o **Tormentas Locales Severas**. Observando los datos de las TLS en la provincia de Santiago de Cuba desde el año 1986 hasta octubre del 2004, encontramos que se han reportado 34 fenómenos de esta índole, de los cuales 15 han sido localizados dentro del municipio cabecera. La gran mayoría de los mismos han ocurrido en los horarios de la tarde y en muchos casos, la velocidad de los vientos ha sido superior a los 95 Km/h. Varios eventos han sido acompañados de granizos, los cuales han destruido cultivos, dañado tendidos eléctricos, así como viviendas con daños parciales y totales. También hay reportes de algunos animales muertos, como fue el caso del 21 de abril de 1988, donde tormentas locales severas en las localidades de Pinalito, Mella y en Santiago de Cuba granizos de gran tamaño, cayeron entre las 6 y 7 de la noche.

En este año también han ocurrido algunas causantes de pérdidas económicas, como fue la del 2 de junio en el poblado de San Luis, donde alrededor de las 4 de la tarde, un tornado con vientos moderados causó los siguientes daños en dicha localidad: 28 derrumbes totales de viviendas y 18 parciales, cultivos destruidos, cables arrancados. En julio se registraron tres tormentas locales severas; el día 13 en el poblado cabecera de Mella, el día 14 en Palmarito de Cauto y el día 25 en Palma Soriano, en todos los casos se registraron vientos fuertes que sobrepasaron los 100 km/h, reportándose daños severos en viviendas con algunos derrumbes totales. El número de días con tormentas en el año es de 102, distribuyéndose el 88.2 % de los mismos durante el período mayo – octubre y el otro 11.8 % en el resto de los meses. En las **Figuras 6 y 7** se muestran características de las Tormentas en Santiago de Cuba.

Aquí se observa como la actividad de tormenta es más típica de la época donde las temperaturas son mas elevadas y por tanto la convección más poderosa. Véase como los máximos valores alcanzados son superiores siempre a 10 días de tormenta sólo durante los meses de mayo a noviembre.

LLUVIAS MAXIMAS EN 24 HORAS

Se entiende por lluvias máximas en 24 horas (extremas), aquellas que superan los 25 mm en 6 horas, o los 50 en 12 horas o también los 100 mm en 24 horas. Las lluvias que caen en nuestra región, en un 96 % de los casos, tienen duración de menos de 6 horas. Por esto es bastante práctico usar para el análisis la variable señalada. El 43.3 % de las máximos registros anuales de lluvia en 24 horas, ocurre en los meses de mayo y octubre, seguido de noviembre con un 13.3 %. De estos tres meses, mayo posee la frecuencia mayor.

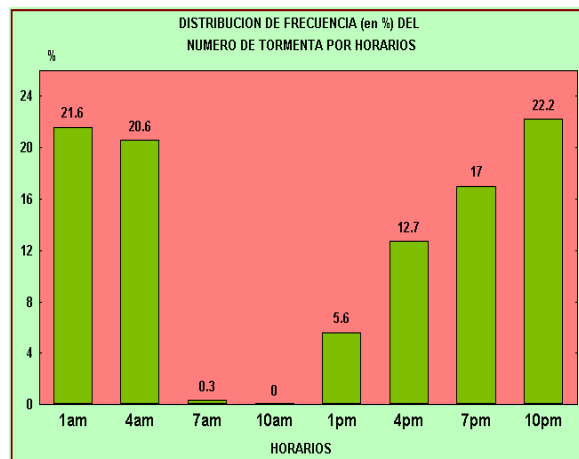
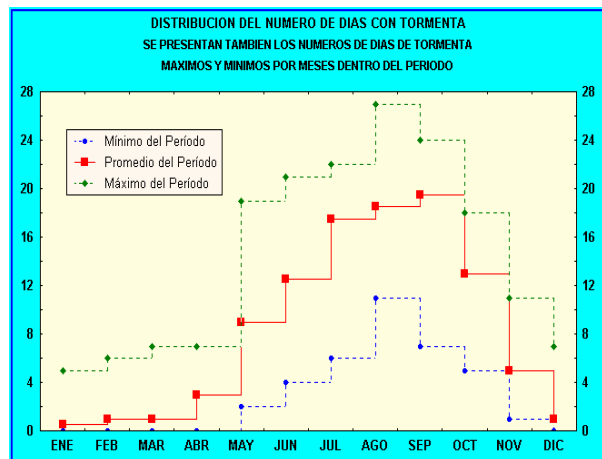


Figura 6. Comportamiento del Número de días con Tormenta por meses durante el año. Tomado de Chuy et al, 2006.

Figura 7. Frecuencia en porcentaje del número de Tormentas por horarios.

La probabilidad en porcentaje de que en el año ocurra un día con lluvia igual o superior a 100 mm es de 53.3 %, es decir, lluvias de esta índole ocurren por término medio cada 2 años. Lluvias iguales o mayores que 200 mm, tienen período de retorno de 10 años, y superiores a 225 mm ocurren una vez cada 15 años. Son significativas las afectaciones de inundaciones producidas por estos eventos en la zona Noreste de la bahía de Santiago de Cuba y en algunos tramos costeros.

INUNDACIONES

En las partes bajas de las corrientes de agua que son objetos de estudio y que sus desembocaduras se localizan en la bahía de Santiago de Cuba. Es frecuente que el cauce ocupado por las crecidas sea mayor que el cauce ordinario (principal), dando origen durante las mismas al desbordamiento de éste. En la zona de investigación los cauces tienen pocas profundidades y pendientes muy suaves, lo que origina que en ellos las aguas circulen con pocas velocidades, contribuyendo esto a que no pueda existir una circulación adicional de caudales y por tanto, los niveles aumentan; dando lugar a que gran parte de la zona que se encuentra alrededor de la bahía sea inundada para la probabilidad de ocurrencia del 5%. Esto se aprecia en la **Figura 8**.

La causa básica de la mayoría de las inundaciones en el área de estudio es la incidencia de fuertes lluvias, pero no todas las inundaciones graves ni los daños provocados por las crecidas tienen como causa a este fenómeno hidrometeorológico. En muchas ocasiones actúan otros factores que agudizan el problema de otra crecida ya existente a los creados por la propia crecida.

Lo más frecuente es que estos factores estén relacionados con el aumento de la carga hidráulica producida por nuevos niveles de agua. Esto incluye tanto obstrucciones en el canal o cauce de avenidas, residuos y fragmentos flotantes, así como la sobre elevación del nivel de las aguas por efecto del oleaje de las mareas en los estuarios, etc.

ACIDEZ EN LA LLUVIA

La lluvia normal es ligeramente ácida. Se considera de forma práctica como ácida cuando su pH es menor de 5.6. El rango de valores de pH observado en una muestra de 14 años de valores mensuales de esta variable, es representado en la **Figura 13**, en la que podemos observar que el

84.5 % de los valores tienen un carácter sólo ligeramente ácido, pero dentro de los parámetros normales para la lluvia. En este período, el 12.6 % de los meses representaron lluvias de carácter ácido. Señalamos, que estos valores se mantienen en monitoreo continuado, teniendo en los últimos meses del año 2002, lluvias de pH inferior a 5.6, es decir, de carácter ácido.

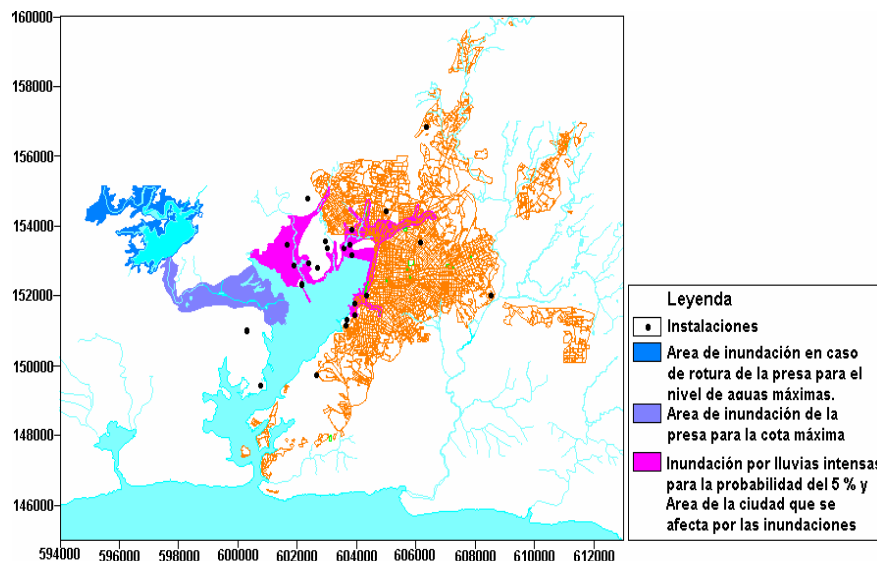


Figura 8. Areas de inundación de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores (Rivera et al, 2003).

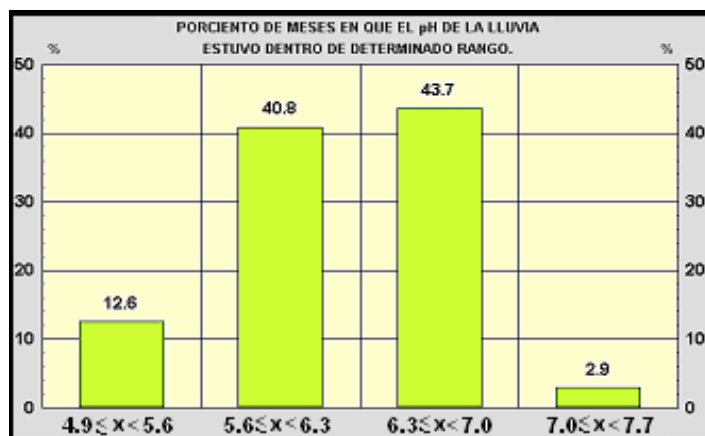


Figura 9. Comportamiento del pH de la Lluvia por intervalo de clase. Tomado de Chuy et al, 2006.

Si analizamos el comportamiento medio mensual del pH de la lluvia, puede verse que el mismo, en término medio para todos los meses del período analizado, oscila entre los valores de 6.0 a 6.4, lo que no representa lluvias de carácter ácido. Se puede valorar una tendencia a valores superiores en los primeros meses del año, y luego estos valores van disminuyendo, alcanzando el valor mínimo en el mes de octubre.

SEQUÍA

La sequía se define usualmente por un prolongado periodo seco (precipitaciones deficitarias). La diferencia entre el promedio de los periodos lluviosos (mayo – octubre) de 1961 a 1980 con respecto al de 1981 a 2000, se muestra en la **Figura 10**, notándose en todo el municipio una disminución de la lamina que en la mayor área abarca entre 65 y 130 mm, siendo superior en la zona occidental de este municipio cabecera.

Esta tendencia al déficit de precipitaciones en los últimos años ocurre en el período lluvioso, precisamente el período de mayor aporte al acumulado anual. Es de interés señalar para el municipio de Santiago de Cuba, de que cuando durante el año aparecen mas de 5 meses con sequía, la posibilidad de que el acumulado anual de la región sea inferior a la norma, es más del doble de que llueva por encima de la misma.

FUENTES CONTAMINANTES

Cerca del área de estudio, se encuentra la bahía de Santiago de Cuba, generadora de núcleos de cloruros que el aire esparce y mantiene incluso después de la lluvia, hasta varios días en suspensión. Pero esta fuente natural no es la única que hay que tener en cuenta a la hora de realizar inversiones importantes, existen otras fuentes antropogénicas, como la fábrica de cemento localizada hacia el Sur, por lo que los productos que esta emite al aire durante el día, por la brisa marina se mueven hacia el Norte cubriendo el área de la ciudad, con polvo y otros aerosoles.

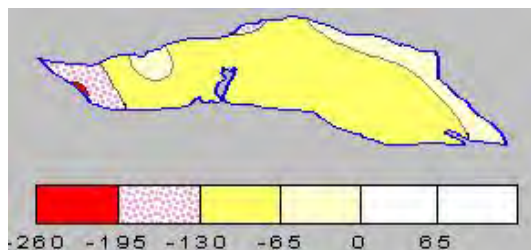


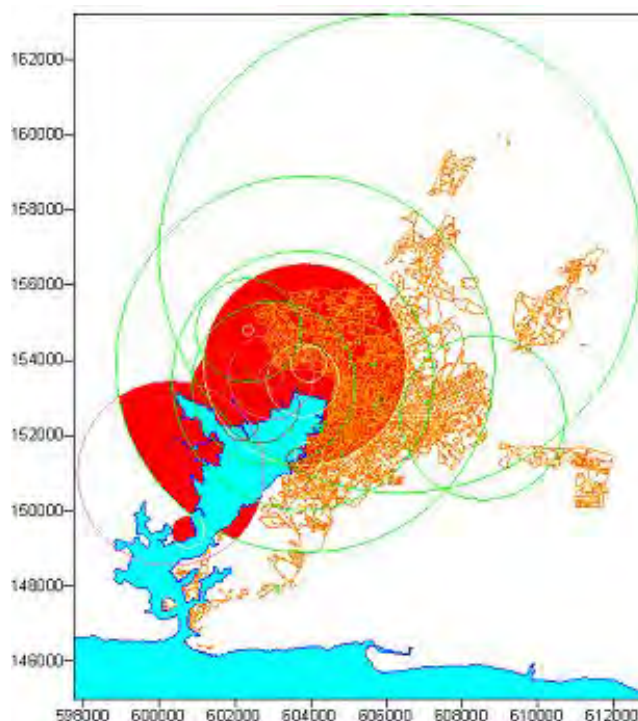
Figura 10. Diferencia de los promedios de lluvia en Santiago de Cuba. 1961 – 2000. Tomado de Chuy et al, 2006.

PRODUCTOS TOXICOS

Otro elemento de amenaza a considerar está vinculado con la ubicación de instalaciones que almacenan y utilizan productos tóxicos que pueden ser vertidos a la atmósfera.

Como elemento de referencia se presenta en la **Figura 11** el caso de los radios de afectación para inversión en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.

Figura 11. Areas afectantes en la ciudad de Santiago de Cuba para el caso de escape simultaneo de productos tóxicos. Tomado de Chuy et al, 2006.



DEGRADACION DE SUELOS

Otro elemento a considerar sobre la base de la incidencia de otros fenómenos naturales y antrópicos, son los efectos que sobre los suelos del municipio de Santiago de Cuba se están manifestando en este momento. Un reflejo actual vinculado con la erosión se presenta en la **Figura 12**.

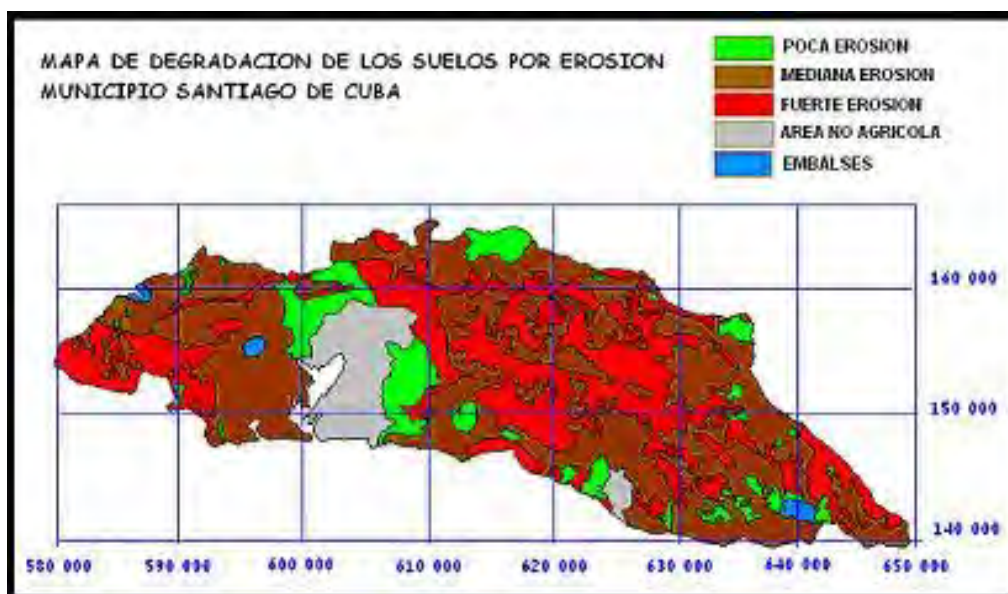


Figura 12. Degradación de suelos por erosión en Santiago de Cuba. Tomado de Chuy et al, 2006.

CONCLUSIONES.

SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2007.
Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de Marzo de 2007

La gestión y manejo de impactos para el planeamiento sostenible de zonas urbanizadas, impone el análisis combinado de las variables que influyen sobre el escenario estudiado, es por ello que se debe analizar de forma integral la dinámica de las amenazas presentes, su relación con los elementos antrópicos y sus efectos sobre el medio ambiente. Estos resultados se presentan en forma de CD – Multimedia para implementar su divulgación.

BIBLIOGRAFIA

- Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba (2004). Base de Datos.
- Chuy, T. J. (1999): Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas y del MES. 487 pp.
- Chuy, T. J. (2000): Estimados de peligrosidad y microzonación sísmica de Cuba utilizando terremotos perceptibles. En: Sismos perceptibles, Peligro y Vulnerabilidad Sísmica en Cuba. Editorial Academia. ISBN 959-02-0243-8.
- Chuy, T. J. (2001): Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad sísmica. En: Revista Geología y Minería. No. 4.
- Chuy, T. J., Puente, G., Borges, O., Calderín, C., Rivera, Z. C., Salas, A., Planas, J. A., Alcántara, F., Imbert, C., Villalón, M. y Cintra, M. (2006): Caracterización e Impacto de Amenazas Naturales Extremas en el municipio Santiago de Cuba. Multimedia. Registro de Autor en el CENDA No. 1995 – 2006.
- Chuy, T. J. y J. L. Alvarez (1995): Mapa de Peligrosidad Sísmica de Cuba con fines de la Norma Sismorresistente Cubana. Reporte de Investigación. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas y del X Forum Nacional de Ciencia y Técnica.
- García, J., Zapata, J. A., Arango, E. D., Monnar, O., Chuy, T. J., Fernández, B. C., Reyes, C. R. y Oliva, R. (2002): Manejo y evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Santiago de Cuba, a partir de su implementación en un Sistema de Información Geográfica (SIG). En: Revista "Nuevas Investigaciones Sismológicas en Cuba". Editorial Academia. La Habana ISBN 959-02-0347-7. pp 73 – 82.
- Rivera, Z. C., Zapata, J. A., García, J., Morejón, G. et al (2003): Potencialidad de peligros naturales y riesgos inducidos en los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba. Reporte de Investigación. Fondos del CENAI.
- Servicio Sismológico Nacional de Cuba SSN (2004): Base de Datos de Terremotos registrados en Cuba. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológica.



RIESGOS GEOLOGO-GEOFISICOS Y TECNOLOGICOS INDUCIDOS POR DESLIZAMIENTOS, INUNDACIONES, LLUVIAS Y SISMOS, EN CONDICIONES DE MONTAÑA Y VALLES COLINDANTES: GUAMUHAYA

**José L. Cuevas Ojeda⁽¹⁾, Manuel J. Fundora Granda⁽¹⁾, Bárbara Polo González⁽¹⁾,
Ida I. Pedroso Herrera⁽¹⁾ y Bertha E. González Raynal⁽²⁾**

(1) Dpto. Geología Ambiental, Geofísica y Riesgos, Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela, La Lisa, La Habana, CUBA. Email: jlcuevas@iga.cu

(2) Dpto. Sismología Ciudad Habana, Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, La Habana, CUBA.

RESUMEN

En el trabajo se discuten los mapas de riesgos, conjuntamente con los mapas de vulnerabilidad ante las inundaciones, lluvias intensas, deslizamientos de tierra y sismos en las montañas de Guamuhaya y sus valles colindantes. La mayor vulnerabilidad del área es a las intensas lluvias y las inundaciones que generan; las primeras, afectan prácticamente a toda la región, siendo los municipios más afectados, Cumanayagua, Manicaragua y Trinidad. Las segundas afectan fundamentalmente a los municipios de Trinidad y Cumanayagua y en menor grado a Manicaragua. Las pérdidas estimadas oscilan entre los cientos de miles de pesos hasta más del millón de pesos. El segundo lugar en vulnerabilidad lo ocupan las posibles afectaciones por terremotos de intensidad VII y VIII, que afectarían fuertemente a las viviendas de 28 poblados y sus pobladores. Las zonas de mayor riesgo sísmico se localizan en las montañas de Trinidad, con pérdidas potenciales entre 2000 y 6000 MP para 50 años de vida útil de las edificaciones en riesgo. En tercer lugar están los deslizamientos pudiendo afectarse unos 34 poblados además de las vías de comunicaciones, dada la constitución geológica, las pendientes y la alta frecuencia e intensidad de las lluvias intensas en esta región del país. Las pérdidas estimadas pueden alcanzar las primeras unidades de millones de pesos.

Los resultados obtenidos hacen necesario e imprescindible tomar medidas que permitirán a los órganos locales de gobierno incluirlos en la planificación y diseño de nuevas obras de desarrollo económico y social; y a la Defensa Civil incidir en el perfeccionamiento de medidas de mitigación.

ABSTRACT

In this paper the maps of risks they are discussed, jointly with the vulnerability maps due to the floods, intense rains, landslides and earthquakes in the mountains of Guamuhaya and their adjacent valleys. The biggest vulnerability in the area is to the intense rains and the floods affecting practically to the whole region, the first ones; although the affected municipalities are Cumanayagua, Manicaragua and Trinidad. The second affect Trinidad and Cumanayagua fundamentally and in smaller degree to Manicaragua, The estimated losses oscillate among the hundred of thousands of pesos until more than the million of pesos. The second place in vulnerability occupies it the possible affectations for earthquakes of intensity VII and VIII that would affect the housings of 28 towns and its residents strongly. The areas of more seismic risk are located in the mountains of Trinidad, with potential losses between 2000 and 6000 MP for 50 years of useful life of the buildings in risk. In third place they are the slips being been able to affect about 34 towns besides the roads of communications, given the geologic constitution, the slopes and the high frequency and intensity of the intense rains in this region of the country. The estimated losses can reach the first units of millions of pesos. The obtained results make necessary and indispensable to take measures that will allow to government's local organs to include them in the planning and design of new constructions of economic and social development; and to the Civil Defence to impact in the improvement of mitigation measures.

INTRODUCCION

Para reducir los riesgos de desastres y la vulnerabilidad es muy importante y fundamental que haya un aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres y que se traduzcan en actividades concretas en desarrollo, para reducir los efectos de los fenómenos peligrosos, de ahí la importancia que ha tenido y tiene para la comunidad mundial la observación, estudio, modelación, monitoreo de los fenómenos, evaluación de las técnicas a aplicar en diferentes zonas para la estimación de los peligros, la vulnerabilidad y los riesgos naturales a las que están sometidas las diferentes comunidades sociales, industrias y en general la infraestructura construida por el hombre y el propio medio físico, con el objetivo de mitigar y reducir las consecuencias de los diferentes fenómenos naturales y antrópicos que causan los desastres. Es en esta dirección en que está encaminada la presente investigación.

Los riesgos están estrechamente relacionados con la actividad humana. El estudio sistemático de la vulnerabilidad y el riesgo, así como de sus implicaciones sociales, económicas y políticas, es relativamente reciente.

Aún cuando los fenómenos peligrosos pueden tener impacto en las construcciones, el medio ambiente y la sociedad, creando situaciones de desastres de mayor o menor cuantía dependiendo de la vulnerabilidad existente, sus características son diferentes. Así a diferencia de los ciclones, cuya trayectoria puede seguirse, fuertes lluvias e inundaciones, estimarse sus intensidades, los sismos o terremotos, tienen un origen súbito y su acción puede crear situaciones de desastres de mayor o menor cuantía dependiendo de la vulnerabilidad física o social existente y del tamaño e intensidad del sismo.

En la actualidad no existe un completo acuerdo sobre los conceptos principales de vulnerabilidad y riesgo. Una de las definiciones más aceptadas del riesgo, es la que lo expresa como el producto o convolución de tres factores: la probabilidad (P) que ocurra un evento potencialmente dañino para los elementos expuestos o bajo riesgo (esta cantidad es conocida como peligro o amenaza), el segundo factor es la vulnerabilidad (V) y el tercero el valor de los elementos (C); esto es, el riesgo R se puede representar mediante la siguiente expresión (Ordaz, 1996):

$$R = P V C \quad (1)$$

La vulnerabilidad es un valor adimensional que esta acotado entre 0 y 1, al igual que P; por tanto, el riesgo tiene las mismas unidades de C. Por lo general C viene expresado en unidades monetarias cuando los elementos son susceptibles a cuantificar en términos monetarios (tangibles).

El riesgo se puede también definir como las pérdidas probables esperadas en un periodo de tiempo, debido a la ocurrencia de eventos peligrosos de determinadas intensidades en un sitio determinado (PNUD, 1991).

Partiendo de los mapas de Peligros Múltiples y las probabilidades de ocurrencia de los distintos eventos peligrosos que se obtuvieron del Proyecto "ZONACIÓN DE LOS RIESGOS GEÓLOGO-GEOFÍSICOS Y TECNOLÓGICOS ASOCIADOS, EN EL MACIZO MONTAÑOSO DE GUAMUHAYA" (Cuevas et al., 2004). se realizó la caracterización de los asentamientos poblacionales atendiendo a la susceptibilidad del medio construido y sus habitantes de acuerdo con sus elementos componentes que las hacen vulnerables en diferentes grados de acuerdo con la tipología constructiva de las instalaciones, su estado técnico. Todo ello permite evaluar la vulnerabilidad partiendo del cálculo de las pérdidas o daños esperados de acuerdo con las intensidades con que se manifiestan los peligros naturales a

que pueden ser sometidas aplicando diferentes métodos desarrollados por instituciones como el PREMIDES, el CENAIIS e IGA.

Lo antes explicado es premisa para que en el presente trabajo se tuvieran como objetivos: a) la estimación de las vulnerabilidades medias de los diferentes medios expuestos a los fenómenos peligrosos, determinados en las montañas de Guamuhaya y en sus áreas cercanas y b) la estimación del riesgo en términos de pérdidas monetarias, por inundaciones, acción de las lluvias intensas, deslizamientos de tierra y sismos, en la zona de estudio, que permitan tener una valoración necesaria para los decisores.

La labor de los cálculos de la vulnerabilidad y los riesgos, así como su cartografía digital en el territorio, se ha realizado utilizando las potencialidades de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con las bases de datos generadas a partir de las características antrotopectógenas de cada asentamiento y otras informaciones sobre las intensidades con que se manifiestan los distintos eventos peligrosos.

Contar con los mapas de Vulnerabilidad y Riesgos ante las inundaciones, lluvias intensas y sismos en las montañas de Guamuhaya constituye ya una útil herramienta para los decisores de los órganos de gobierno y la Defensa Civil de los territorios involucrados, ya que son necesarios, los primeros, para la planificación y diseño de nuevas obras de desarrollo económico o social, y los segundos para el diseño de medidas de mitigación dirigidas a la reducción del impacto de posibles desastres en la infraestructura ya existente y la elaboración más precisas de los planes contra desastres.

MATERIALES Y METODOS

Área de ubicación de los trabajos

Los trabajos tienen como área objeto de estudio, la región montañosa central del país. La misma se encuentra aproximadamente entre los 21,79° - 22,7° de Latitud Norte y los 78,79° - 80,33° de Longitud Oeste, equivalente a X=569 200 – 727 500, Y=220 000 – 319 220. Desde el punto de vista político-administrativo, la región ocupa partes de las provincias de Sancti Spiritus (42%), Villa Clara (33%), Cienfuegos (15%). En la figura 1 puede observarse la zona de los trabajos. En la figura 2, se muestra la división municipal y la ubicación de algunos de los principales poblados que se encuentran en el área de estudio, y a los que se harán referencia más adelante.



Fig. 1 Área de estudio

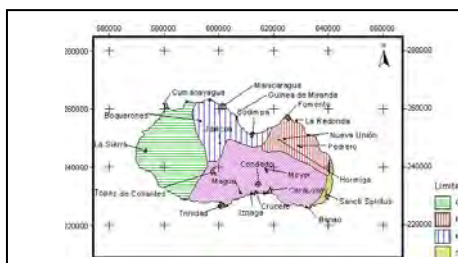


Fig. 2. Mapa de ubicación de los trabajos

Para la estimación de la vulnerabilidad física de los elementos en riesgo y estimar el riesgo en términos monetarios, ante la acción de peligros de origen geofísico-meteorológicos, se partió de los mapas de peligros múltiples y las probabilidades de ocurrencia de los distintos eventos peligrosos que se obtuvieron, donde se concluyó que los peligros naturales que más afectaban al territorio de las montañas de Guamuhaya (Cuevas et al., 2005a; Cuevas et al., 2004) son: las inundaciones terrestres y fluviales por lluvias intensas, que tienen como fuente los fenómenos naturales de origen geofísico-meteorológicos: ciclones tropicales, acompañados de fuertes

vientos y en ocasiones intensas lluvias. En las primeras la existencia de un relieve abrupto en prácticamente todo el territorio y de una red fluvial extensa, favorece la acumulación de las aguas y el desborde de los ríos hacia los planos de inundación y las zonas bajas en casi todos sus cursos y aguas abajo. En las segundas se identificaron varias áreas deprimidas y con posibilidades de acumulación de agua en las que la acción antrópica puede incrementar el peligro por el desarrollo de construcciones en las mismas. También otro fenómeno estudiado para la determinación de los elementos en riesgos fueron los sismos locales de Intensidad VI de la escala MSK, en Trinidad para una probabilidad anual del 0,0259 y un período de retorno de 338 años y de Intensidad V de dicha escala en Remedios, con una Probabilidad anual de ocurrencia de 0,01255 y un período de retorno de 66 años, los que se han sentido en la región con diferentes intensidades de acuerdo con los mapas de isosistas (fig. 3).

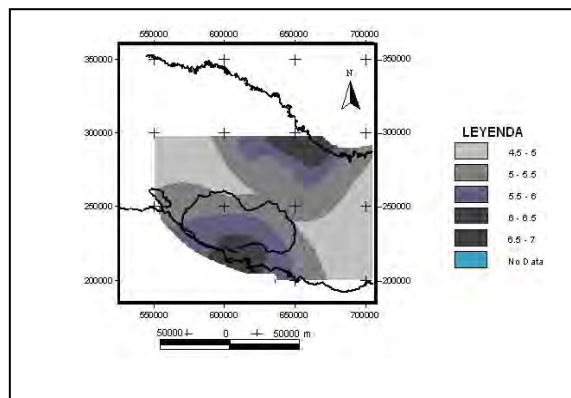


Fig. 3. Mapa de isosistas de los terremotos de Remedios (15 de agosto de 1939, en la

Estos terremotos pueden incrementar sus grados base hasta $I_{Max} = VII$ e incluso $I_{Max} = VIII$ de la escala MSK, como evento extremo, debido a las características ingeniero-geológicas con presencia de actividad cárstica y la amenaza de la sismicidad regional. Las lluvias intensas, bastantes frecuentes en la zona y los sismos, menos frecuentes, pueden desencadenar deslizamientos u otros movimientos de carácter gravitacional que pueden afectar fundamentalmente las parte central, norte y noroccidental del municipio Trinidad, el suroeste del municipio Manicaragua, la franja central del municipio Cumanayagua y algunas zonas del centro y sur del municipio de Fomento.

Estos peligros fueron representados cartográficamente en los mapas de peligros múltiples de origen geofísico-meteorológicos y por sismos en la zona, un detalle de referencia sobre los escenarios de peligros y la estimación de los mismos en términos de tiempo de recurrencia pueden consultarse en Cuevas et al., (2005a).

También se utilizaron diferentes materiales cartográficos en formato digital necesarios para caracterizar asentamientos desde el punto de vista de las amenazas que las afectan, como por ejemplo, inundaciones, fluviales o terrestres, sismos de distintas intensidades y fuertes vientos, u otros parámetros que afectan la vulnerabilidad de las instalaciones ante estos eventos, como son: mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa hidrológico, mapa de pendientes, mapas tectónico-estructurales sobre la base de la interpretación de materiales geofísicos (gravimétrico y geomagnético), mapa de instalaciones críticas, mapas de isosistas y otros Cuevas et al., (2005a).



Se tomaron como punto de partida las bases de datos georeferenciados elaboradas por Rivero et al. (2000). Estas bases de datos se desarrollaron y completaron, obteniéndose otras bases de datos georeferenciados, que fueron manejadas con el SIG Riesgos Guamuhaya v 1.0 (fig. 4) (Cuevas et al., 2005b).

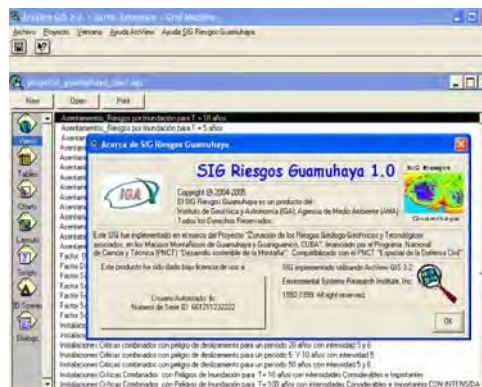


Fig. 4. Vista del Sistema de Información Geográfica Riesgos Guamuhaya v 1.0 / 2005.

Para las operaciones lógicas y matemáticas (álgebra de mapas), así como para la edición de algunos mapas. Para estas bases de datos se actualizaron algunos campos mediante la consulta de informes del Estado mayor de la Defensa Civil, Dirección Municipal de Planificación Física de Trinidad, también se generaron otros campos mediante la superposición de diferentes capas para caracterizar el medio ambiente construido y social, como Índice de calidad de vivienda (susceptibilidad habitacional), susceptibilidad poblacional, entre otras que sirvieron para calcular las pérdidas o daños del medio construido.

Muy importante resultaron los trabajos desarrollados por el Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara en la evaluación de las intensas lluvias para diferentes períodos de retorno e intensidades, a través de la elaboración estadística de los registros pluviométricos en las estaciones meteorológicas de la Red Nacional del INSMET en la región y de la Red Nacional Pluviométrica de la Oficina Territorial del INRH, que permitieron construir los mapas de isoyetas para las diferentes estaciones y anual así como calcular las lluvias intensas para distintas intensidades y períodos de recurrencia (Cuevas et al., 2004).

Algunos antecedentes que se tuvieron en cuenta fueron los trabajos desarrollados por el CENAIIS en Santiago de Cuba para la caracterización de la "Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Santiago de Cuba" de Oliva y otros (1982), los Proyectos ejecutados por el IGA en el marco del programa Ramal de la Agencia de Medio Ambiente, "Elaboración y Validación de una metodología para los Estimados de Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos y Tecnológicos Conexos en el Municipio San José de las Lajas, provincia La Habana" de Fundora et al. (2000) y "Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos, Geofísicos-meteorológicos y Tecnológicos Conexos en el municipio capitalino Playa" de Fundora et al. (2003), así como diferentes tareas de investigación que se han realizado en el CENAIIS.

Métodos

Métodos para la determinación de las vulnerabilidades y riesgos

La Vulnerabilidad se define como la susceptibilidad que tienen los elementos expuestos a sufrir daños bajo la acción de un fenómeno peligroso o perturbador. La vulnerabilidad (**V**) puede expresarse desde

el punto de vista matemático como un número que está acotado entre cero (0) y uno (1). Esto implica que para un evento de determinada intensidad V tome el valor 0 cuando los daños son nulos y 1 cuando los daños son totales (PNUD, 1991). Por lo general, la vulnerabilidad puede expresarse mediante funciones matemáticas o por las llamadas matrices de vulnerabilidad para los diferentes grados de peligro.

El nivel de vulnerabilidad existente de los elementos bajo riesgo, condiciona la magnitud de las pérdidas al impactar un agente peligroso de una "intensidad" dada, el cual puede ocasionar una situación de desastre en un área determinada. Este nivel de vulnerabilidad existente es una responsabilidad netamente del hombre, que no toma las medidas preventivas adecuadas para la reducción de la vulnerabilidad y por ende del riesgo.

La vulnerabilidad física se define como la susceptibilidad o el nivel de daños que experimentan o pueden experimentar determinados elementos expuestos o bajo riesgo, cuando son sometidos a los eventos peligrosos de una intensidad, aceleración, velocidad o desplazamiento dado (PNUD, 1991). Para la evaluación de los daños es necesario tener en cuenta, además del estado técnico de las construcciones, la tipología constructiva de las viviendas, pero no de manera única sino que tenga en cuenta qué tipo de evento se está evaluando.

La clasificación por tipología constructiva de la DAU divide las edificaciones según las características constructivas de los elementos que las componen (paredes, techo, pisos, etc.) en cuatro categorías (INV, 1997).

En sismología, en la escala de intensidades MSK-78, utilizada en la evaluación de los daños ocasionados por los sismos en Cuba, las edificaciones se clasifican según la tipología constructiva en A, B y C, la que a diferencia de la clasificación de la DAU, toma en cuenta, a fundamentalmente el tipo de material (hormigón, bloques y ladrillos, adobe, madera, etc.) que predomina en la edificación, considerándolas sin medidas antisísmicas. Por esta razón, fue necesario adecuar la clasificación de la DAU (cuatro categorías), para poder pronosticar los daños en caso de un evento sísmico de acuerdo a la escala MSK-78. De esta forma las edificaciones de tipología I serían del tipo C, las de tipología II y III de tipo B y las de tipología IV de tipo A. Así en este trabajo se utilizan ambas clasificaciones teniendo en cuenta cuál utilizar según el evento peligroso que se está considerando. Otro factor es el grado de daños clasificado en 5 categorías: Grado 1: Sin daños, Grado 2: daños ligeros o leves, Grado 3: daños moderados, Grado 4: daños considerables, Grado 5: daños graves. Un mayor detalle se puede encontrar en Cuevas et al. (2004; 2005a).

Para la obtención de los mapas de riesgos por inundaciones, sismos y deslizamientos, es necesario primero la obtención de los mapas de vulnerabilidad ante los distintos eventos peligrosos, partiendo del análisis temporal previo del factor o factores de disparo desencadenantes de cada uno de estos fenómenos y de la estimación de los costos de los bienes expuestos.

Los métodos utilizados van desde la compilación y evaluación bibliográfica, trabajo de gabinete para la elaboración estadística de los registros históricos meteorológicos y sismológicos y estimaciones de los periodos de retorno para cada evento, utilizando diferentes métodos según la experiencia internacional de los centros rectores en materia meteorológica y sismológica, hasta el geoprocesamiento cartográfico para la preparación y edición de mapas temáticos del medio físico (Cuevas et al., 2002), los mapas de vulnerabilidad de las instalaciones ante fenómenos peligrosos que se estudiaron anteriormente por Cuevas et al., (2005a), desde el punto de vista metodológico, aprovechando las bondades del SIG.

Las matrices vulnerabilidad se evaluaron a partir de los daños esperados ante eventos de diferente intensidad tomando en cuenta la experiencia nacional e internacional, según la tipología de las construcciones y su estado técnico (Hirschberg et al., 1978). Los riesgos fueron estimados a partir de los costos de las viviendas de acuerdo con su tipología utilizando las normas del Instituto Nacional de la Vivienda, la vulnerabilidad estimada y la expresión dada por Ordaz (1996). También se utilizaron las bases metodológicas de la estimación de la vulnerabilidad introducidos por Fundora et al. (2000; 2003).

En este trabajo se utilizará el concepto básico del riesgo, expresado de manera general en la ecuación 1. Esta ecuación expresa el riesgo que enfrenta un bien expuesto ante la ocurrencia de los fenómenos posibles del tipo que se analiza, o sea, que nos expresa el riesgo a que esta sometida una determinada zona para eventos de determinada intensidad. En resumen el riesgo se puede definir como las pérdidas probables esperadas en un periodo de tiempo, debido a la ocurrencia de eventos peligrosos de determinadas intensidades en un sitio determinado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Riesgos por inundación y acción de las lluvias intensas

En etapas anteriores se establecieron los escenarios de peligros por inundación y lluvias intensas, a partir de la combinación de los diferentes factores de susceptibilidad asociados a cada uno de estos fenómenos (Cuevas et al., 2005a). En esta etapa se pretenden obtener los mapas de riesgos por inundaciones y lluvias intensas, a partir de la confección de los mapas de vulnerabilidad, del análisis temporal del factor o factores de disparo desencadenantes de estos fenómenos y de la estimación de los costos de los bienes expuestos utilizando la expresión 1.

Se entiende por inundación, el desborde lateral de las aguas de los ríos, lagos y mares que cubren temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas de inundación. Suelen ocurrir en épocas de grandes precipitaciones pluviales y altas mareas. Sus causas están dadas: por el aumento considerable del caudal de un río sobrepasando el dimensionamiento de su cauce; obstrucción del lecho y desviación de las aguas fuera de su curso normal; acumulación periódica de materiales transportados por el río que elevan el nivel del cauce; invasión de los terrenos dejados por el río (lecho antiguo), reduciendo su capacidad sin tener en cuenta los caudales excepcionales, así como la existencia de zonas deprimidas con mal drenaje natural o por acción antrópica. En las montañas de Guamuhaya están presentes las tres posibilidades.

Se entiende como lluvias intensas las precipitaciones de 100 mm o más en 24 horas, como se analizó anteriormente (Cuevas et al., 2005a), las precipitaciones en las montañas de Guamuhaya alcanzan niveles de intensidad bastante altos, pudiéndose establecer, a partir del procesamiento estadístico de los datos, tres niveles de intensidad: el primero entre 1000 y 425 mm/24h; el segundo, entre 426 y 625 y el tercero, mayor de 625 mm/24h.

Vulnerabilidad de las instalaciones ante las lluvias intensas e inundaciones

Para las inundaciones y las intensas lluvias se utilizó un procedimiento similar al descrito anteriormente utilizando la expresión:

$$Vm_i = \sum_{j=1}^5 F_j * D_{ji} \quad (2)$$

Donde:

V_{mi} - Vulnerabilidad media i ésima de las construcciones frente a un evento de intensidad i ésima



D_i - Daño que sufre una construcción de tipología j ésima frente a un evento de intensidad i ésima.

F_j - fracción de las viviendas de tipología j ésima dentro de una zona

La clasificación de Tipología utilizada fue la de la **DAU** que tiene en cuenta los tipos de techos, pisos y paredes, que son los elementos que más pueden afectar las inundaciones y las lluvias intensas, según el Manual del Programa para el Desarrollo Tecnológico de la Vivienda (1998-2000). Tomando en consideración el estado técnico de bien (B), regular (R) y mal (M), se combinaron ambas características y se obtuvo la susceptibilidad habitacional o índice de seguridad de las viviendas. Para ello se establece la matriz de vulnerabilidad o de daños esperados para los distintos niveles de intensidad de las lluvias y las inundaciones esperadas aguas abajo de los ríos y en las zonas deprimidas (Cuevas et al., 2004). En ambos casos se calculó la vulnerabilidad media teniendo en cuenta diferentes períodos de recurrencia entre 5, 10 y 50 años, este último considerando que es el período de vida útil de las construcciones. Según la ecuación 2, se obtuvieron los valores de vulnerabilidad media para cada uno de los caseríos en función de la intensidad de las lluvias. Para una mejor comparación de los resultados hasta aquí obtenidos, se realizó una categorización de los valores de vulnerabilidad independiente de la intensidad del fenómeno perturbador, los que quedaron de las siguientes forma: baja (0,1 – 0,3), media (0,31 – 0,5), alta (0,51 – 0,7) y muy alta (0,71-1,0). Para el periodo de recurrencia de 5 años (fig. 5).

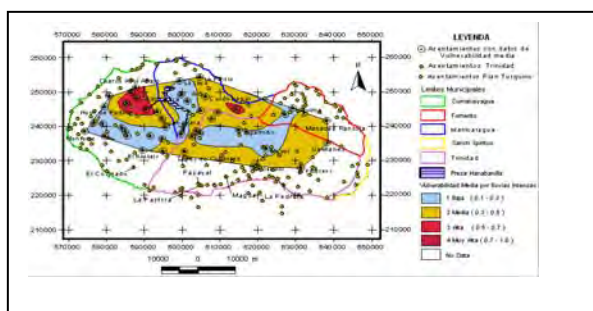


Fig. 5. Mapa de vulnerabilidad media, por lluvias intensas

La vulnerabilidad media toma valores altos hacia el noreste del municipio Cumanayagua, donde se incluyen los poblados de Vegueta, Ayuales, El Mamey, Yaguanusa, Rancho Capitana, y Charco Azul Arriba, y en el sureste de Manicaragua, en el caserío de Los Canarreos Rodeando a estas zonas de Vm alta, se encuentra otra zona de Vm media que abarca un número considerable de poblados, entre ellos: La Playa, Cimarrones, Río Chiquito, Ballesteros, Aguacate y Cuatro Vientos en Cumanayagua; así como Topes de Coyantes, KanKan, Mayaguara, Victoria de Girón, paso Viejo, Las Trampas, La Guanábana, entre otros en el municipio Trinidad. Hacia el Norte, en el municipio Manicaragua, caen esta zona otros poblados, entre ellos: Güinia de Miranda, Herradura, Ángel Bombino, Eucalipto, Rincón Naranjo, Pico Blanco, La Corua y El Quirro entre otros.

Para el periodo de recurrencia de 10 años (fig. 6), la zona de Vm alta se amplía añadiéndose a los poblados de la anterior zona alta los poblados de Las Bellezas y KanKan. También se amplía la zona de Vulnerabilidad media a costa de disminuir el área de la Vm baja. Esa misma tendencia a incrementar el área de Vm alta y Vm media, se observa cuando se amplía el periodo de recurrencia a 50 años (fig.7).

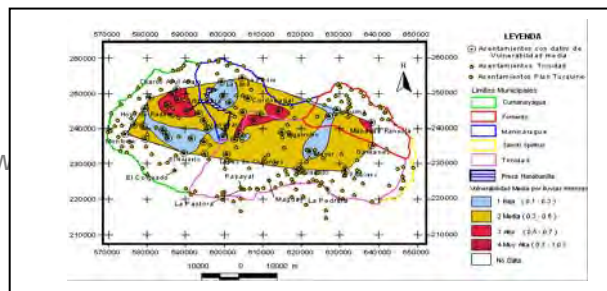
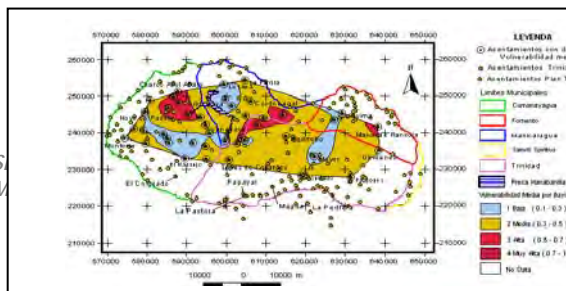


Fig. 7. Mapa de vulnerabilidad media, por lluvias intensas para un período de recurrencia $T_r = 50$ años.

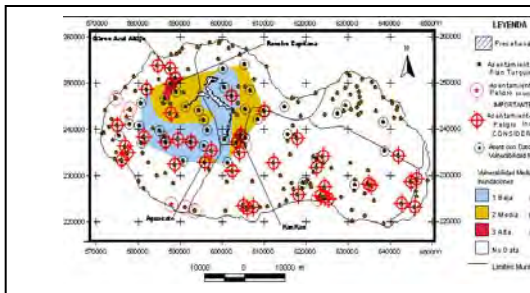


Fig.10. Mapa de vulnerabilidad media, por inundaciones para $Tr = 50$ años

Para $T_r = 50$ años (fig. 10), la zona de Vm se amplía aun más cubriendo casi todo el municipio de Manicaragua (exceptuando su parte oriental) y se adiciona la parte suroeste del municipio Fomento.

Los resultados obtenidos en la determinación de la vulnerabilidad se multiplicaron por los costos, según la tipología constructiva de las viviendas localizadas en los escenarios de peligro (zonas de inundación y por la probabilidad de ocurrencia de estas inundaciones de acuerdo con las de lluvias intensas y las de penetraciones del mar, obteniéndose de esta forma el riesgo, según la ecuación 1.

Los estimados de los riesgos por lluvias intensas se realizaron para períodos de recurrencia de 5, 10 y 50 años, los resultados se muestran en las figuras 11, 12 y 13. En términos generales sus valores oscilan entre 0,6 miles de pesos (MP) y 650 MP. El riesgo total para $Tr=5$ años (fig. 11) varía entre 0,6 y 650 MP, sus valores más altos (430 MP a 650

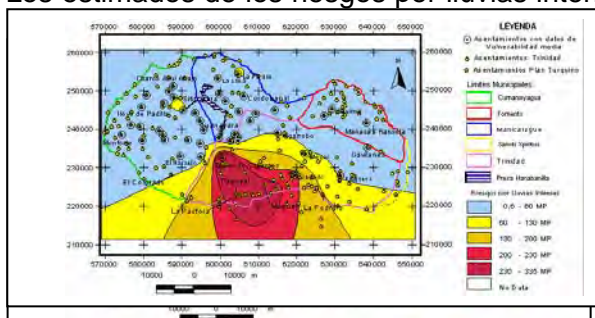


Fig.12. Riesgos por lluvias intensas en un período de recurrencia $T_r = 10$ años



MP) aparecen hacia el Sur del macizo, en el municipio Trinidad, con centro en el caserío de Topes de Collantes, incluyendo los poblados de Vegas Grandes y Mangos Pelones. Hacia el sureste de esta zona caen varios caseríos en una zona de riesgos medios entre 230 y 430 MP, entre ellos Lagunilla, San Juan de Letrán, Corojo, Papayal, La Pastora, El Abanico, Guarico, Sabanilla, Teca, El Vallecito, Mangos Pelones y Miramar. Esta situación se repite para $Tr = 10$ años (fig. 12). Para el caso de $Tr = 50$ años, en la zona de riesgo mayor de 230 MP, caen varios poblados del municipio Trinidad entre ellos

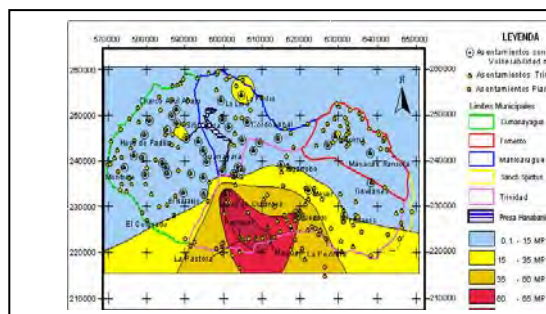


Fig. 13. Riesgos por lluvias intensas en un tiempo de recurrencia $Tr = 50$ años

Papayal, La Pastora, El Abanico, Guarico, Sabanilla, Vegas Grandes, Mangos Pelones y Topes de Collantes, mientras que para el Riesgo medio de 130 a 230 MP, caen los poblados de: Mayaguara, Las Trampas, Palo Viejo, Lagunilla, Los Coquitos, San Juan de Letrán, El Guije, La Guanábana, La Paloma TRI, Caimito, Algada, Lorente, La Ermita, Corojo, Teca, El Vallecito, Algaba, Rio de Ay, Lampito, Miramar, Caracusey y Condado, del propio municipio. El resto de los poblados de los municipios Cumanayagua y Manicaragua caen en una zona de Riesgo bajo de menos de 60 MP (fig. 13).

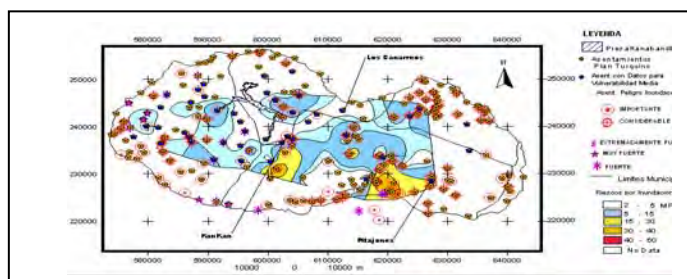


Fig. 14. Riesgos de inundación para $Tr = 50$ años

que oscilan entre mas de 35 MP y menos de 90 MP de pérdidas) corresponden a poblados de los municipios Cumanayagua y Manicaragua (Rancho Capitana, La Presa, Eucalipto, KanKan, Cien Rosas, Mayan, El Naranjal, Tres Palmas y Centro Cubano). Mientras que para Riesgos inferiores a 35 MP caen poblados de estos municipios, entre ellos: Cimarrones, Las Playas, Vegueta, Ayuales, El Nicho, Crucecitas, El Mamey, Yaguanusa, Sitio Yara, La Lima, Charco Azul Arriba, Cordobán, Veguitas, La Granja, Rincón de Naranjo, Las Bellezas, Las Vegas, Sabanita de la Cruz, Gavita, Cuatro Vientos, Guanayara y Herradura. En este caso como en los demás donde se observa una zona en que no se estiman los riesgos es debido a la falta de información para estimar la susceptibilidad habitacional, según los datos disponibles en cuanto a tipología de la vivienda y su calidad. Es por ello, que en estos mapas se destacan los asentamientos con peligros de inundación clasificados de categorías importantes y considerables.

Riesgos por inundaciones

En cuanto a los riesgos por inundaciones la situación es la siguiente. Este oscila entre menos de 2 MP hasta 130 MP. Las áreas de mayor riesgo por inundaciones (más de 90 MP) para $Tr = 5$ años (fig. 14) caen en los límites de los municipios Manicaragua y Trinidad así como al sur este del municipio de Cumanayagua en los poblados de Topes de Collantes, Ballestero, El Sopapo, Lagunilla y Pico Blanco, entre otros. Riesgos medios



Finalmente para $T_r = 50$ años, los riesgos por inundación (fig 14), para la clasificación de Riesgo muy alto (entre 230 y 335 MP), están afectados los poblados y caseríos de La Paloma, Caimito, Algaba, Caracusey y Trinidad, en el municipio de este último nombre, mientras que estarían en Riesgo alto (entre 200 y 230 MP) los poblados de La Jíquima en el municipio de Fomento y los de San Francisco, Bijabo, Mayaguara, Limones Cantero, Lagunilla, Los Cocos y El Quemado, en el municipio de Trinidad. En Riesgo medio (más de 60 y menos de 220 MP) caerían caseríos de los municipios Cumanayagua (El Sopapo, Ballesteros, El Naranjo, Buena Vista, El Nicho, Vegueta y Las Playas), Manicaragua (Boquerones, Cordobanal, Veguitas y Rincón Naranjo), Trinidad (El Aguacate, Algarrobo, Victoria de Girón, La Gloria, La Escofina, Pitajones, La Doce, Tres Palma Dos, Río de Ay, Buenavista), y Fomento (Sopinpa y Carolina).

En riesgo bajo están, del municipio Manicaragua: Sitio Yara, Ángel Bombino, La Granja, Los Canarreos, La Corua, KanKan, Guanayara, Herradura y Güinia de Miranda; del municipio Trinidad: Las Belleza, Pico Blanco, El Lumbre, Paso Viejo, Güinia de Soto, Las Trampas, Palo Viejo, Los Coquitos, San Juan de Letrán, El Guije, La Guanaba, Lorente, La Ermita, Corojá, Topes de Collantes, Meyer y Condado, y del municipio Cumanayagua: Cimarrones, La Tinajita, Hoyo de Padilla, Cuevitas, Crucecitas, Tarabico, San Narciso, El Mamey, Yaguanusa, Rancho Capitana, Charco Azul Abajo, El Mamoncillo, Charco Azul Arriba, Las Vegas, Cien Rosas, Sabanita de la Cruz, El Naranjal, Gaviña, Monforte, San José CUM, Cuatro Vientos, Cabagancito, San Blas, La Sierrita, y Herradura.

Riesgos por deslizamientos

El deslizamiento, no es más, que la ruptura o desplazamiento pendiente abajo y hacia afuera, de pequeñas a grandes masas de suelos, rocas, rellenos artificiales o combinaciones de éstos en un talud natural o artificial. Se origina por la pérdida de soporte lateral de un talud natural, generalmente en la construcción de obras viales, irrigación, eléctricas, viviendas; sobresaturación del terreno por el agua; acción de la gravedad y movimientos sísmicos; desintegración gradual e hidratación del afloramiento rocoso; intercalación de estratos competentes con incompetentes por ejemplo areniscas con lutitas, sirviendo las lutitas como plano de deslizamiento y la gravedad.

Entre las medidas para minimizar y controlar sus efectos se encuentran: la estabilización de las laderas mediante la forestación intensiva; construcción de banquetas en los taludes; cunetas de coronación; anclajes o pilotes; contrafuertes; inyecciones; mejoramiento de la resistencia del terreno; entre otras.

Vulnerabilidad de las instalaciones ante deslizamientos

Los daños provocados por los deslizamientos inducidos por sismos o lluvias excepcionales, a las instalaciones son, por lo general a nivel internacional, de gran cuantía, por ejemplo, el arrastre y la destrucción total de las instalaciones ubicadas sobre o en el trayecto del deslizamiento. También es común la obstrucción de tramos de viales ubicados cerca de las laderas de las pendientes. Sólo se analizará la vulnerabilidad de las viviendas antes los deslizamientos independientemente del factor de disparo.

Para la estimación de la vulnerabilidad se utilizó la misma metodología desarrollada para el caso de las inundaciones, partiendo del estimado del grado de afectación o monto del daño de las viviendas según su calidad o seguridad.



En este caso particular, el cálculo de la vulnerabilidad se realizó por intensidades, correlacionando los coeficientes de daños de los tres niveles de lluvias intensas y de las tres intensidades sísmicas posibles en el territorio ya que estos son los disparadores de este peligro de deslizamientos.

En la fig. 15 se representan los comportamientos de la vulnerabilidad media de las viviendas e instalaciones, ante los deslizamientos para el período de recurrencia de 50 años.

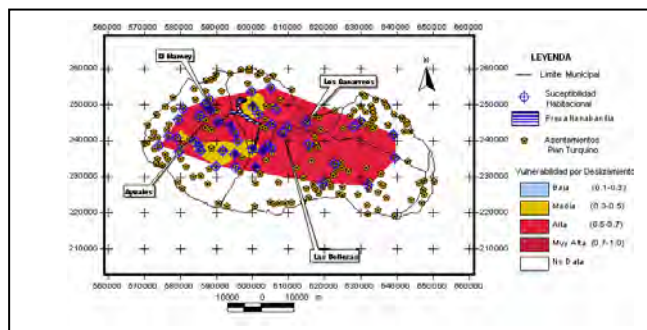


Fig. 15. Mapa de vulnerabilidad media por deslizamientos para $Tr = 50$ años

Los valores de vulnerabilidad media obtenidos oscilan entre 0.3 y 0.92. Las zonas más vulnerables o menos preparadas desde el punto de vista de la tipología constructiva, se localizan en los caseríos de Canarreos y KanKan, en el municipio Manicaragua; así como en el caserío de Las Bellezas en Trinidad. En el municipio Cumanayagua, los caseríos más vulnerables son: Vegueta, Ayuales, El Nicho, Crucecitas, El Mamey, Yaguanusa, Rancho Capitana y Charco Azul Arriba.

Presentan también una alta Vulnerabilidad; en Fomento: Sopinpa, Sierra Alta y El Aguacate; en Cumanayagua, El Cafetal, Aguacate, Ballesteros, Cuatro Vientos, Río Chiquito, El Naranjal, Cuevitas, Cimarrones y Las Playas; en Manicaragua, los caseríos afectados serían Güinia de Miranda, Herradura, Tres Palmas, El Naranjal, La Corua, Rincón de Naranjo, Eucalipto, Cordobanal, Veguitas, La Granja, Ángel Bombino, El Quirro, La Presa y La Lima. En Trinidad los caseríos afectados serían: Pico Blanco, Sierra alta, El Aguacate, Algarrobo, Victoria de Girón, La Gloria, El Lumbre, Paso Viejo, San Francisco, La Escofina, Bijabo, Güinia de Soto, Mayaguara, Limones Cantero, Las Trampas, Palo Viejo, Lagunilla, Los Coquitos, La Guanábana, La Doce, El Naranjal, Tres Palmas Dos, Río Chiquito, Cuatro Vientos, Ballesteros, Topes de Collantes, Meyer, Herradura y Sopinpa.

Presentan una Vulnerabilidad media los siguientes caseríos en el municipio Cumanayagua: Hoyo de Padilla, Boquerones, Las Vegas, La Felicidad, Cien Rosas, Mayón, Sabanita de la Cruz, Gaviña, El Sopapo, Centro Cubano, San Blas y Guanayara.

Estimados de Riesgos por deslizamientos

Una vez determinada la vulnerabilidad y la probabilidad de ocurrencia de los eventos, se estimaron el riesgo por deslizamiento empleándose la ecuación 1 a la que se le hicieron algunos cambios, para incluir la probabilidad de ocurrencia de un terremoto de una intensidad dada y de lluvias intensas, como fenómenos disparadores.

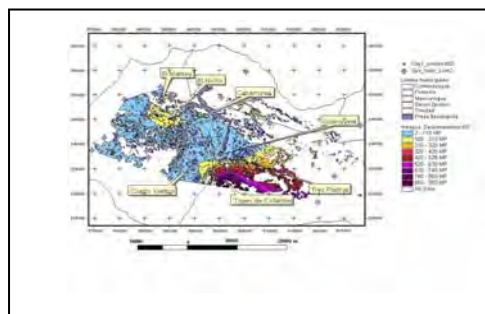


Fig.16. Riesgos por deslizamientos para un período de recurrencia $Tr = 50$ años

Los costos, como antes, fueron determinados a partir de la cantidad de viviendas de determinada tipología en los caseríos susceptibles de ser afectadas por deslizamientos según la clasificación preparada a partir de las tipologías y sus estados técnicos dadas por la DAU de acuerdo con los valores propuestos en el Programa para el Desarrollo Tecnológico de la Vivienda correspondiente al período 1997-2000 (INV, 1997) y reclasificadas según la escala MSK-80.

En la fig. 16 se presenta el mapa de riesgo por deslizamientos expresados en MP, donde las zonas con mayores valores de riesgos (entre 525 y 1000 MP) está limitado al poblado de Topes de Collantes y a los caseríos de Ayuales, El Nicho, El Mamey y Ballesteros, cercanos a las altas pendientes en las laderas de las montañas y a los viales que los comunican, en el municipio Trinidad. El Riesgo Medio que toma valores desde 135 a 500 MP, afecta a poblados de los municipios de: Cumanayagua, (Cimarrones, Vegueta, Cuevitas, Charco Azul Arriba y Cuatro Vientos) y Manicaragua (Tres Palmas y Guanayara), y los viales que los comunican.

Riesgo sísmico

Los sismos son los desastres naturales que internacionalmente más daños han causado al hombre y la propiedad, a pesar de poseer una frecuencia menor que la de otros tipos de desastres. La baja probabilidad de lograr predicciones sísmicas exitosas, ha determinado que los científicos, ingenieros y planificadores dediquen los mayores esfuerzos a la mitigación de las consecuencias de estos eventos, mediante una planificación correcta y racional del uso del suelo, un mejor diseño sismorresistente y el reforzamiento de las estructuras mas vulnerables a la acción de las fuerzas sísmicas.

Vulnerabilidad sísmica

Los factores fundamentales a tener en cuenta para el análisis y evaluación de la vulnerabilidad son los siguientes:

El peligro sísmico puntual del área o sitio de interés (localización específica).

Las condiciones ingeniero geológicas del sitio de ubicación de las edificaciones y su influencia en la variación de los parámetros sísmicos.

Tipología constructiva existente y su estado técnico.

El factor humano.

Las experiencias obtenidas del estudio de los daños en las edificaciones ocasionados por sismos recientes, han demostrado que éstos se han incrementado por las siguientes razones: a) la acción sísmica ha sido mayor que la tenida en cuenta al diseñar las edificaciones, b) mala calidad de los materiales utilizados en las construcciones, c) existieron amplificaciones de la intensidad sísmica debido a las condiciones ingeniero - geológicas y al efecto de resonancia, d) las sacudidas sísmicas inducen otros tipos de peligros como deslizamientos, licuefacción, incendios, etc.

Vulnerabilidad sísmica de las instalaciones económico-sociales

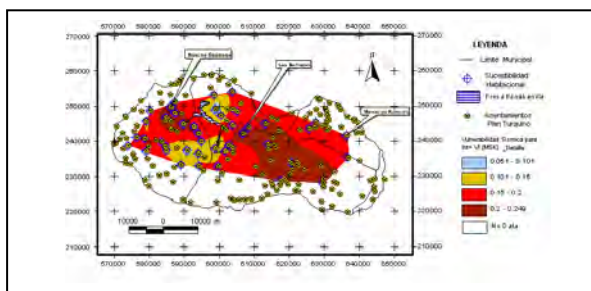
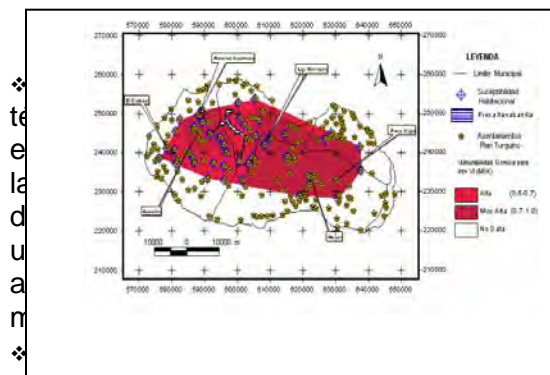


Fig. 17. Mapa de vulnerabilidad sísmica para un sismo de intensidad máxima I=VI (escala MSK)

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas en las montañas de Guamuhaya, debido a que se tienen caracterizados cada caserío por una tipología predominante, se aplicó la variante metodológica desarrollada por Fundora et al. (2001) a las viviendas de las que se tenía información en los territorios de los cinco municipios que caen en el macizo.

La información necesaria y los aspectos fundamentales de la metodología utilizada en éste trabajo son:



estado
valuar
vos de
sica, y
el dato
y se
que la
sas.
cada

Casero, utilizándose para ello el mapa de Peligros Sísmico obtenido en la etapa anterior.

❖ Fig. 19. Mapa de vulnerabilidad sísmica para un sismo de intensidad máxima I=VIII (escala MSK).

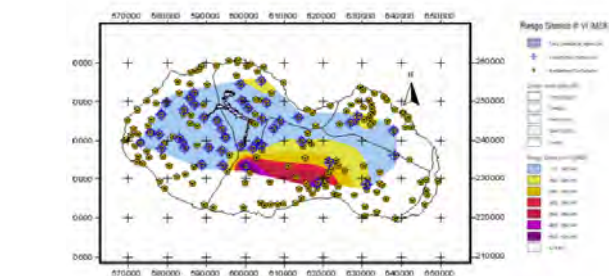
Estos datos se tomaron del MDE a escala 1:50 000, Datos Sismológicos de Archivo del CENAI.

Se debe aclarar que la evaluación se refiere solamente a la vulnerabilidad física de las edificaciones destinadas a viviendas.

El cálculo de la vulnerabilidad por la ocurrencia de un evento sísmico se estimó a partir de la fracción de la vivienda que se afecta ante la ocurrencia de un sismo con intensidad de VI, VII y VIII grados MSK.

Aplicando la metodología descrita anteriormente se obtuvieron los mapas de vulnerabilidad de las viviendas según la tipología constructiva de la escala MSK-78 ante diferentes grados de intensidad sísmica: VI, VII y VIII grados, los que se representan en las Figs. 17, 18 y 19, respectivamente.

Se debe señalar que el macizo de Guamuhaya es heterogéneo en cuanto a la densidad de edificaciones, y como las que más abundan son zonas rurales, prevalecen construcciones de tipología A aisladas y pueden existir construcciones de tipo B y C no destinadas a viviendas (edificaciones de carácter económico-sociales, escuelas etc.). Esto dificulta la aplicación de las metodologías convencionales de la evaluación de la ser aplicadas en zonas densamente urbanizadas y bajo esta óptica, se deben analizar los resultados



mapa de riesgo obtenido se expresa en las vul Fig. 20. Mapa de riesgo sísmico (Costo x Vulnerabilidad) para un sismo de intensidad máxima I=VI (escala MSK).

SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, Memorias en CD-Rom, La Habana, 2-23 de Marzo de 2007

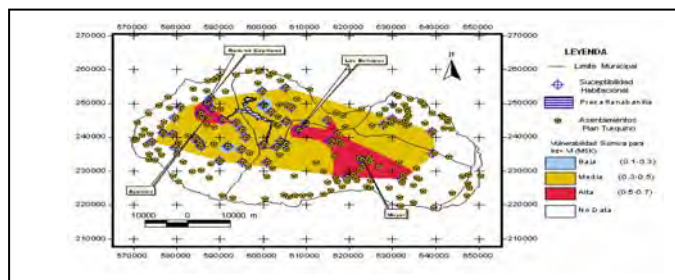


Fig. 18. Mapa de vulnerabilidad sísmica para un sismo de intensidad máxima I=VII (escala MSK). Nótese en la leyenda que los valores de la vulnerabilidad son mayores que los declarados en la Fig. 17.

o en el territorio, Ms=6,5, I=VIII; con epicentro en la conveniente analizar el caso del mismo, debido a la

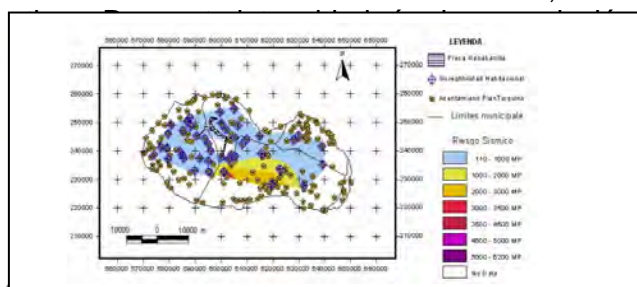


Fig. 21. Mapa de riesgo sísmico (Costo x Vulnerabilidad) para un sismo de intensidad máxima I=VII (escala MSK).

mapa
03 de
tos se
SK, el
o y la
cia de
van a
14

resultar muy bajos, no obstante se trata solo de un cálculo matemático, el sentido práctico de las pérdidas esperadas se puede observar mejor cuando se multiplican los mapas de vulnerabilidad por los costos, según cada zona delimitada por las isosistas de distintas intensidades (Cuevas et al., 2005a). Así se muestran como ejemplos esos mapas, en las figs. 20 y 21.

En el mapa de la fig. 22, que corresponde al producto de la vulnerabilidad para el sismo de Intensidad Máxima VIII escala MSK, se aprecia que las zonas de mayor riesgo sísmico se localizan en el lomerío de Trinidad, con pérdidas potenciales entre 2000 y 6000 MP para 50 años de vida útil de las edificaciones en riesgo. En este mismo mapa se ve que en una franja central del municipio Trinidad, que se extiende de Este a Oeste se localiza una zona de riesgo medio con pérdidas potenciales entre 1000 y 3000 MP mientras que en el centro del municipio Fomento las pérdidas potenciales están en el orden de los 1000 MP. En el resto del territorio de los municipios se pronostican pérdidas entre 100 y 1000 MP, exceptuando las zonas periféricas donde no se contó con información de las características de los bienes expuestos.

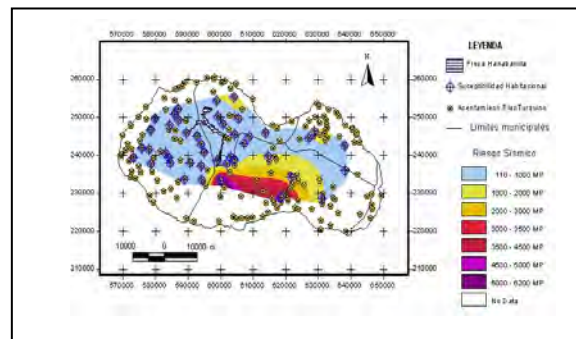


Fig. 22. Mapa de riesgo sísmico (Costo x Vulnerabilidad) para un sismo de intensidad máxima I=VII (escala MSK).

CONCLUSIONES

- ❖ **La mayor vulnerabilidad del macizo es a las intensas lluvias y las inundaciones** que generan; las primeras, afectan prácticamente a toda la región, siendo los municipios mas afectados, Cumanayagua, Manicaragua y Trinidad, afectando a la población y las instalaciones, debido a interrupciones laborales y daños a los medio construidos, comunicaciones, con interrupciones de servicios básicos para la población. Las segundas afectan fundamentalmente a los municipios de Trinidad (11 caseríos) y Cumanayagua (15 caseríos) y en menor grado a Manicaragua (9), pueden llegar a provocar daños estructurales a las viviendas e instalaciones o agravando sus patologías constructivas, pero al igual que las intensas lluvias, sus principales efectos tienen un carácter funcional, interrumpiendo la actividad laboral y servicios primarios a la población como producción y distribución de alimentación, viales, servicios sanitarios, agua, combustible, etc. , por períodos mas o menos prolongados. **El riesgo es del orden de los cientos de miles de pesos, pudiendo alcanzar pérdidas estimadas por encima del millón de pesos.**
- ❖ **El segundo lugar en vulnerabilidad lo ocupan las afectaciones por la ocurrencia de terremotos de intensidad VII y VIII,** que afectarían fuertemente a prácticamente las viviendas de 28 poblados y sus pobladores. Las pérdidas estimadas pueden ser del orden de las primeras unidades de millones de pesos, sólo que al evaluar los Riesgos, puesto que la probabilidad anual de ocurrencia de estos es muy baja, las



pérdidas estimadas resultarían poco significativas. Las zonas de mayor riesgo sísmico se localizan en las montañas de Trinidad, con pérdidas potenciales entre 2000 y 6000 MP para 50 años de vida útil de las edificaciones en riesgo. En la franja central del municipio Trinidad, que se extiende de Este a Oeste, se localiza una zona de riesgo medio con pérdidas potenciales entre 1000 y 3000 MP mientras que en el centro del municipio Fomento las pérdidas potenciales están en el orden de los 1000 MP. En el resto del territorio de los municipio se pronostican pérdidas entre 100 y 1000 MP, exceptuando las zonas periféricas donde no se contó con información de las características de los bienes expuestos.

- ❖ En tercer lugar están los Deslizamientos pudiendo afectarse unos 34 caseríos además de las vías de comunicaciones que les comunican, lo que es lógico dada la constitución geológica, las pendientes del macizo y la alta frecuencia e intensidad de las lluvias intensas en esta región del país. Las pérdidas estimadas como Riesgos pueden alcanzar las primeras unidades de millones de pesos. Los asentamientos más vulnerables son: en el municipio **Trinidad: Topes de Collantes y a los caseríos de Ayuales, El Nicho, El Mamey y Ballesteros**; en **Cumanayagua: Cimarrones, Vegueta, Cuevitas, Charco Azul Arriba y Cuatro Vientos, y Manicaragua Tres Palmas Guanayara**.

BIBLIOGRAFIA

- Cuevas, J. L., L. A. Díaz, I. I. Pedroso, S. E. Pacheco, I. González, B. Polo, M. Guerra, Y. González, E. Jaimez y J. F. Alcaide (2002): "Mapas Temáticos para la Estimación de la Vulnerabilidad, Peligros y Riesgos Geólogo-Geofísicos en el Macizo Montañoso de Guamuhaya" [inédito]. Inf. Result., Archivo Dpto. Geof. Reg. y Riesgos, Inst. Geof. y Astron., La Habana, 41 pp + 17 anex. gráf.
- Cuevas, J. L. (2005): "PELIGBAS: Sistema de Base de Datos y Atlas de los peligros, vulnerabilidad y riesgos geológicos y tecnológicos inducidos, como una herramienta para la gestión y su manejo, en las montañas de Guamuhaya" [inédito]. Proy., Archivo Inst. Geof. y Astron., La Habana, 36 pp.
- Cuevas, J. L., B. Polo, M. Fundora, I. I. Pedroso, L. A. Díaz, J. F. Alcaide, E. Jaimez, Y. González, M. Guerra, B. E. González, J. García, G. Saura, R. Osés, L. D. Pérez y W. Hernández (2004). "Zonación de los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados en los Macizos Montañosos de Guamuhaya y Guaniguanico, Cuba" [inédito]. Inf. Final Proy., Archivo Inst. Geof. y Astron., La Habana, 157 pp.
- Cuevas, J. L., B. Polo, I. I. Pedroso, M. J. Fundora, L. A. Díaz, J. F. Alcaide, E. Jaimez, M. Guerra, Y. González, S. E. Pacheco, B. E. González, J. A. García, L. D. Pérez, G. Saura, R. Osés y W. Hernández (2005a): Estimación y Zonación de Escenarios de Peligros y la Vulnerabilidad por procesos gravitacionales e hidrometeorológicos extremos, en el Macizo Montañoso de Guamuhaya, Cuba: Una Metodología de Estimación para Zonas Montañosas. Memorias GEOCIENCIAS 2005 (I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra – I Simposio de Sismicidad y Riesgos Geológicos), La Habana, 5-8 Abril, ISBN 959-7117-03-7, GEO2-31 24 pp.
- Cuevas, J. L., B. Polo, M. J. Fundora, I. I. Pedroso, L. A. Díaz, Y. González, M. Guerra, J. F. Alcaide y E. Jaimez (2005b): SIG Riesgos Guamuhaya v 1.0: Sistema de Información Geográfica de peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos inducidos en el macizo Montañoso de Guamuhaya. [inédito]. Manual de Usuario, Inst. Geof. y Astron., La Habana, 16 pp.
- Fundora, M. J., L. Díaz, I. I. Pedroso, T. Torres, M. Guerra, M. Campos, E. Jaimez, B. E. González, J. García (2000): "Elaboración y Validación de una metodología para la estimación de Peligros, Vulnerabilidad Riesgos Geológicos, Hidrológicos y Tecnológicos conexos. Validación en el municipio San José de las Lajas" [inédito]. Inf. Cient.-Téc. Final Proy., Archivo Inst. Geof. y Astron., La Habana, 165 pp.
- Fundora, M., I. I. Pedroso, Y. González, M. Guerra, S. E. Pacheco, E. Jaimez, I. González, B. González, J. García, C. Sacasas, C. Llanes, L. Hernández, E. Suárez, L. D. Pérez y F. Francis (2003). "Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos, Geofísico-meteorológicos y tecnológicos conexos del municipio capitalino Playa" [inédito]. Inf. Result. Final, Archivo Inst. Geof. y Astron., La Habana, Cuba.
- Hirschberg, J.C., P. Gordon y W. J. Petak (1978): "Natural hazards: socio-economic Impact assessment model", NSF/PRA-7509998/5, J. W. Woiggins and Co., Redondo Beach, California, USA.
- INV - Instituto Nacional de la Vivienda (1997): "Programa para el desarrollo Tecnológico de la Vivienda en el Período 1997-2000", Centro Técnico de la Vivienda y el Urbanismo, La Habana, Cuba.



- Oliva, R. y otros (1982): "Vulnerabilidad sísmica de la Ciudad de Santiago de Cuba", Inf. Final. Proy., Archivo CENAI, Santiago de Cuba, Cuba, 115 pp.
- Ordaz, M. (1996): Algunos conceptos del análisis de riesgos. Prevención No. 14, CENAPRED.
- PNUD (1991): "Programa de entrenamiento para el Manejo de Desastres".
- Polo, B. y J. L. Cuevas (2005): Peligbas: Sistema de Base de Datos de Peligros, Vulnerabilidad a Riesgos Geológicos y Tecnológicos inducidos. Herramienta para la gestión y el manejo de los peligros geológicos en el macizo montañoso de Guamuha. Memorias GEOCIENCIAS 2005 (I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra – I Simposio de Sismicidad y Riesgos Geológicos), La Habana, 5-8 Abril, ISBN 959-7117-03-7, GEO2-16 10 pp.
- Rivero, F. y otros (2000): "Confección del SIG para el Sistema Montañoso Guamuha" [inédito]. Inf. Final Proy., Archivo GEOCUBA - Programa Nacional Desarrollo sostenible de la Montaña, La Habana, Cuba.

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTOS A ESCALA 1:250 000 EN LAS VÍAS DE INTERÉS NACIONAL DE LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO

José A. García Gutiérrez⁽¹⁾ y Alexis Ordaz Hernández⁽²⁾

(1) *Unidad de Investigaciones para la Construcción de Pinar del Río, Emp. Nac. de Investigaciones Aplicadas.*
E-mail: eniap@vega.inf.cu

(2) *Departamento de Geología, Facultad. de Geología y Mecánica, Universidad "Hnos. Saíz" de Pinar del Río.*
E-mail: alexisordaz@geo.upr.edu.cu

RESUMEN

La vialidad total de la provincia tiene una extensión territorial de 6290,1 km, de los cuales 1103,6 km son vías de interés nacional. Entre los peligros que afectan a la red vial provincial, especialmente en la zona montañosa, se ha reportado el corrimiento de masas de suelo de los taludes sobre el pavimento, así como desprendimientos bajo la carpeta asfáltica, provocando notables deterioros en la vía.

Con el fin de caracterizar mejor este fenómeno y sus posibilidades de ocurrencia en el futuro, se ha elaborado un mapa de susceptibilidad a los deslizamientos a escala 1:250 000 para toda la provincia. El procedimiento empleado para la obtención de dicho mapa incluyó la consideración de cinco variables: pendiente, litología, precipitación, vegetación e hidrología, mediante la aplicación de un SIG.

La superposición del mapa obtenido con la red de vías nacionales permitió cartografiar los tramos con diferente grado de susceptibilidad a la ocurrencia de este fenómeno, lo que facilita estimar el peligro potencial durante la explotación de los viales actuales y aplicar las medidas correctivas pertinentes. El mapa puede ser también utilizado durante la proyección de nuevos viales.

ABSTRACT

The total highway of the province has a territorial extension of 6290,1 km, of which 1103,6 km are roads of national interest. The landslide of masses of soil of the banks has been reported on the pavement, as well as detachments under the asphaltic layer, causing remarkable deteriorations in the road. They are among the hazards that affects provincial highway, especially in the mountainous area.

With the purpose of characterizing better this phenomenon and their occurrence possibilities in the future, a map of susceptibility has been elaborated to a scale of 1:250 000 for the whole region. The procedure used for obtaining this map includes the consideration of five variables: slope, lithology, precipitation, vegetation and hydrology, with application of a GIS.

The overlapping of the map obtained with the net of national roads allowed cartography the sectors with different grade of susceptibility to the occurrence of this phenomenon, what facilitates to estimate the potential hazards during the exploitation of the current highways and to apply the correct pertinent measures. The map can also be used during the projection of new highways.

INTRODUCCIÓN

A partir del triunfo de la Revolución en 1959, las vías de comunicación alcanzaron un amplio desarrollo en toda la provincia, contando en la actualidad con una amplia red de carreteras pavimentadas que garantizan la comunicación interna del territorio y su enlace con la capital del país.

Todos los objetivos económicos, productivos y sociales, así como todo el sistema de asentamientos, están vinculados a través de la red vial, ya sea asfaltada, o por caminos y terraplenes.

La vialidad total de la provincia tiene una extensión total de 6 290,1 km, de los cuales 1 103,6 km son vías socioeconómicas de interés nacional. Su distribución en el territorio de la provincia se muestra en la figura 1.

A lo largo de la provincia se distinguen cuatro ejes viales fundamentales que enlazan la provincia de oeste a este, que son:

- Carretera Central Pinar del Río-La Fe (Panamericana)
- Circuito Norte
- Vial Central de Montaña
- Autopista Nacional

A su vez, existen cinco ejes transversales, que son los que establecen las relaciones norte-sur:

- Carretera San Cristóbal-Bahía Honda
- Herradura-Entronque de Herradura-La Palma
- P. del Río-La Coloma. P. del Río-Guane (L. Lazo) (hasta Cabeza) Cabeza-Minas-Santa Lucía
- Isabel Rubio-Guane-Mantua-Arroyos de Mantua
- Candelaria-Soroa-San Diego de Núñez-Circuito Norte

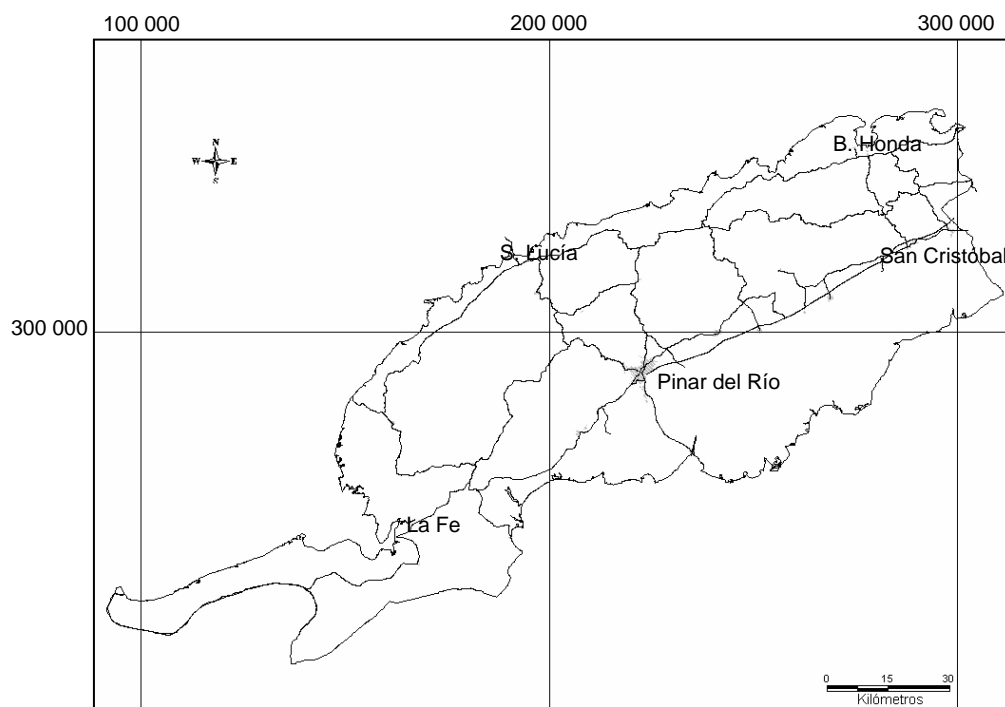


Fig. 1: Vías de interés nacional en la provincia de Pinar del Río.

Entre los peligros que afectan a la red vial provincial, especialmente en la zona montañosa, se ha reportado el corrimiento de masas de suelo de los taludes sobre el pavimento, así como desprendimientos bajo la carpeta asfáltica, provocando notables deterioros en la vía. El factor disparador, en la mayoría de los casos, ha sido la ocurrencia de intensas lluvias.

Con el fin de caracterizar mejor este fenómeno y sus posibilidades de ocurrencia en el futuro, se ha elaborado un mapa de susceptibilidad a los deslizamientos a escala 1:250 000 para toda la provincia. Entre los antecedentes más conocidos sobre esta temática en la provincia se incluyen los trabajos de Hernández González (1995) y Febles Elejalde (2005).

El primero está basado en una adaptación del método de Mora y Varhson a las condiciones locales, mientras que el segundo es una aplicación SIG con el empleo de las siguientes variables temáticas: pendiente, composición de los suelos y/o rocas, efecto antrópico (densidad de población y de carreteras y caminos) y régimen de precipitaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento seguido para la obtención de este mapa está basado en la metodología empleada en Dotor Ruiz (2004) e incluye la consideración de cinco variables para la evaluación de la susceptibilidad: pendiente, litología, precipitación, vegetación e hidrología. Se definieron tres categorías de susceptibilidad a los deslizamientos para cada una de estas cinco variables cartográficas: alta, media y baja, empleándose en la automatización y gestión de la base cartográfica una plataforma SIG (MapInfo 6.5).

1. Pendiente

Atendiendo a los objetivos de este trabajo, se seleccionaron los siguientes rangos para el mapa de pendientes, los que corresponden a un determinado grado de sensibilidad al deslizamiento:

- Alta: mayor que 8 grados
- Media: entre 4 y 8 grados
- Baja: menor que 4 grados

2. Litología

Se agruparon las formaciones geológicas en tres grupos que responden a las tres categorías de inestabilidad propuestas, basados en sus características litológicas y la ocurrencia registrada de deslizamientos en las mismas:

- Alta: Formaciones Arroyo Cangre, Artemisa, Capdevila, Guane, Guevara, Polier, Paso Real, Manacas, San Cayetano, San Juan, Santa Teresa, gabros, serpentinitas y depósitos marinos, aluviales, deluviales, proluviales y palustres
- Media: Formaciones Cojímar, Buenavista, Ancón, Encrucijada, Esperanza, Güines, Loma Candela, Lucas, Jagua, Cacarájicara, Quiñones, Sierra Azul, Vía Blanca y Gr. Víbora.
- Baja: Formaciones Pons, Orozco, Guajaibón, Guasasa, Jaimanita, Universidad, Vedado y cuerpos de granodioritas, dioritas, gabros y gabroides

3. Precipitación

El mapa de distribución de las lluvias indica la cantidad de precipitaciones en el área de estudio, factor que influye considerablemente en la estabilidad de los taludes, ya que después de épocas de intensas lluvias, la infiltración de agua en el terreno puede ocasionar un incremento de las fuerzas que tienden al deslizamiento. Se tomaron los siguientes rangos:

- Alta: mayor que 1500 mm
- Media: 1400 - 1500 mm
- Baja: menor que 1400 mm

4. Vegetación

Se valora teniendo en cuenta la presencia o ausencia de vegetación y el tipo de vegetación. La presencia de vegetación disminuye la probabilidad de deslizamiento, mientras que la pérdida de cobertura vegetal la aumenta.

- Alta: cultivos varios y escasa vegetación
- Media: huertos, frutales y cítricos
- Baja: maleza compacta y bosques de todo tipo

5. Hidrología

La proximidad a una red hidrológica implica un aumento de la posibilidad de deslizamiento. Esto se debe a que la presencia de agua en el terreno reduce la resistencia al corte de los materiales. La hidrología puede ser representada cartográficamente mediante un mapa de disección horizontal, siendo considerada como la densidad de drenaje por kilómetro cuadrado.

- Alta: 1 a 2 km/km²
- Media: 0,3 a 1 km/km²
- Baja: 0 a 0,3 km/km²

Los valores de ponderación utilizados para cada variable y sensibilidad a los deslizamientos fueron los siguientes:

Sensibilidad	Variables				
	Pendiente	Geología	Lluvia	Vegetación	Hidrología
Alta	50	30	10	5	5
Media	30	18	6	3	3
Baja	10	8	3	2	2

Finalmente, para medir la susceptibilidad a los deslizamientos a partir de la suma de todos los valores asignados, se definieron tres rangos de susceptibilidad:

- Alta: 80 a 100
- Media: 61 a 80
- Baja a nula: 25 a 60

RESULTADOS

Una vez obtenidos los cinco mapas temáticos (pendientes, geológico, lluvias, vegetación e hidrología) para los tres rangos de susceptibilidad definidos; se procedió a su superposición obteniéndose el mapa de susceptibilidad a los deslizamientos (Fig. 2).

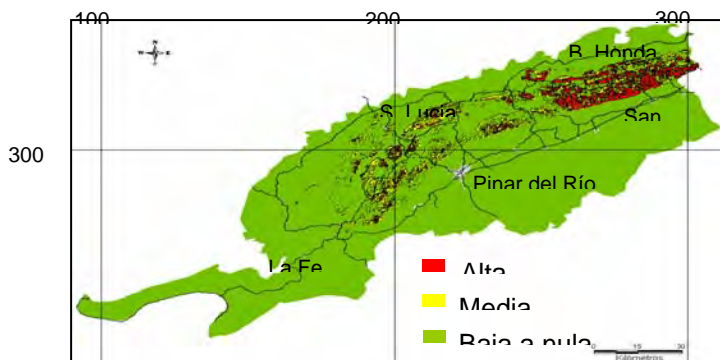


Fig. 2: Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos en

La superposición del mapa obtenido con la red de vías nacionales permitió cartografiar los tramos con diferente grado de susceptibilidad a la ocurrencia de este fenómeno (tabla I), lo que permite estimar el peligro potencial durante la explotación de los viales actuales y aplicar las medidas correctivas pertinentes. El mapa puede ser también utilizado durante la proyección de nuevos viales.

Tabla I: Susceptibilidad a los deslizamientos en vías de interés nacional.

Nombre de la vía	Longitud, km	Kilómetros con diferente grado de susceptibilidad a los deslizamientos		
		Alta	Media	Baja a nula
Autopista Nacional	85,8	0,0	0,0	85,8
Intercambios Autopista Nacional	14,0	0,0	0,0	14,0
Carretera Central	86,3	0,0	0,0	86,3
Vial Central de Montaña	87,2	10,9	27,9	48,4
Circuito Norte	195,4	0,0	2,3	193,1
Candelaria-Soroa-S. Diego de Núñez-C. Norte	32,3	4,3	6,6	21,4
San Cristóbal-Bahía Honda	30,1	2,5	8,6	19,0
Acceso al central "30 de noviembre"	3,3	0,0	0,0	3,3
Acceso al central "Harlem"	2,7	0,0	0,0	2,7
Herradura-Entronque Herradura-La Palma	38,9	0,0	1,4	37,5
Carretera Central-Los Palacios	5,5	0,0	0,0	5,5
Autopista Nacional-San Diego de los Baños	13,7	0,0	0,0	13,7
Desvío Autopista Nacional-Carretera Central	8,6	0,0	0,0	8,6
Ovas-Entr. Ovas-Entr. carr. P. del Río a Viñales	12,9	0,0	0,0	12,9
Pinar del Río-La Fe (carretera Panamericana)	86,3	0,0	0,0	86,3
Pinar del Río-Viñales-Circuito Norte	35,0	0,3	2,2	32,5
Pinar del Río-La Coloma	24,8	0,0	0,0	24,8
Acceso al Centro de Carga	4,1	0,0	0,0	4,1
Pinar del Río-Guane (carretera Luis Lazo)	72,5	0,5	6,3	65,7
Carretera Panamericana-San Luis	8,0	0,0	0,0	8,0
Viñales-Pons	22,8	0,0	2,8	20,0
Cabeza-Minas de Matahambre-Santa Lucía	30,1	0,0	1,4	28,7
Pedraplén a Cayo Jutías	8,5	0,0	0,0	8,5
Isabel Rubio-Guane-Mantua-A. de Mantua	55,5	0,0	0,0	55,5
Carretera Panamericana-Las Catalinas-Cortés	18,7	0,0	0,0	18,7
La Fe-Manuel Lazo-La Bajada	42,9	0,0	0,0	42,9
La Bajada-María La Gorda	14,0	0,0	0,0	14,0
La Bajada-Faro Roncali-Las Tumbas	59,5	0,0	0,0	59,5

Acceso C. Las Terrazas (Autopista-Vial Ctral.)	4,2	0,0	0,0	4,2
Total	1103,6	18,5	59,5	1025,6

Según se aprecia en la tabla I, las carreteras de mayor susceptibilidad a este fenómeno son el Vial Central de Montaña (en particular los tramos Cinco Pesos-Sitio Burén y Cinco Pesos-Los Tumbos), seguido de los viales Candelaria-Soroa-San Diego de Núñez-Circuito Norte y San Cristóbal-Bahía Honda.

A modo de validación se tomaron los deslizamientos reportados en los viales que atraviesan la Sierra del Rosario, la cual constituye la región más susceptible a este tipo de fenómenos en el territorio (Fig. 2). De un total de once deslizamientos estudiados (Tabla II), ocho coincidieron espacialmente con la categoría de media a alta, mientras que tres a la zona de baja susceptibilidad a los deslizamientos. El resultado obtenido se evalúa de satisfactorio, teniendo en cuenta que en algunos casos inciden factores constructivos.

Tabla II: Registro de deslizamientos en vías de interés nacional de la provincia, Sierra del Rosario.

Vía	Situación	X	Y	Susceptibilidad
San Cristóbal-Bahía Honda	km 8.5 (Ojo de Agua)	283320	283320	Alta
Vial Central de Montaña	km 25.5 (Cansa Vaca)	262800	262800	Media
Vial Central de Montaña	km 17 (Tres Pies)	268800	268800	Media
Vial Central de Montaña	km 34 (La Daguilla)	277700	277700	Baja
Vial Central de Montaña	km 12 (Los Chivos)	279500	279500	Alta
Vial Central de Montaña	km 30 (Campamento La Perdiz)	279600	279600	Alta
Vial Central de Montaña	km 12 (Los Tumbos)	284000	284000	Media
Vial Central de Montaña	km 19.5 (Sabanilla)	267700	267700	Baja
Vial Central de Montaña	1 km antes de Las Terrazas	301950	301950	Alta
Candelaria-Circuito Norte	km 7-8	294000	293800	Baja
Candelaria-Circuito Norte	km 12	291500	291500	Alta

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del estudio son las siguientes:

1. Según el mapa elaborado, las carreteras de mayor susceptibilidad a este fenómeno en la provincia son: el Vial Central de Montaña (en particular los tramos Cinco Pesos-Sitio Burén y Cinco Pesos-Los Tumbos), seguido de los viales Candelaria-Soroa-San Diego de Núñez-Circuito Norte y San Cristóbal-Bahía Honda.



2. El mapa puede ser utilizado para estimar el peligro potencial durante la explotación de los viales actuales y aplicar las medidas correctivas pertinentes; así como en los trabajos de proyección de nuevos viales.

REFERENCIAS

- Dotor Ruiz, E. (2004): Análisis de susceptibilidad y peligrosidad de deslizamientos de laderas. Tesis de Maestría. Univ. de Girona, España.
- Febles Elejaldes, D. (2005): Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos de la República de Cuba a escala 1:250 000. I Convención de Ciencias de la Tierra, La Habana.
- Hernández González, I. (1995): Cálculo de la peligrosidad de deslizamiento para la provincia de Pinar del Río a escala 1:250 000. Tesis de grado. Univ. de Pinar del Río.

ALGUNAS PARTICULARIDADES DE LOS PROCESOS DE GENERACIÓN DE TERREMOTOS EN LA REGION SURORIENTAL DE CUBA: LA SECUENCIA SÍSMICA DEL TERREMOTO DEL 25 DE MAYO DE 1992

Bertha E. González Raynal⁽¹⁾, Julio A. García Peláez⁽¹⁾ and Luis D. Pérez Lara⁽¹⁾

(1) National Centre for Seismological Research. Havana Department. Calle 212 No 2906 e/29 y 31, Rpto. La Coronela, Lisa, La Habana e-mail bertha@chenais.cu

RESUMEN

El 25 de Mayo de 1992 ocurrió un terremoto significativo, de $M_s=7,0$, en la región de Cabo Cruz al Sureste de Cuba. Este terremoto se caracterizó por una secuencia sísmica de tipo "terremoto principal", con un elevado número de réplicas y sin premonitores en sentido estricto. Con el objetivo de caracterizar, desde el punto de vista estadístico, la secuencia sísmica del terremoto de Cabo Cruz se seleccionó una muestra representativa de la población de eventos de magnitudes ($M \geq 2,5$). Se construyeron histogramas del número de eventos sísmicos para diferentes intervalos de tiempo. Además, fue examinada la distribución de las réplicas por profundidades y clases energéticas.

Para analizar la tendencia de la actividad de las réplicas, fueron construidos diferentes gráficos de repetibilidad. La linealidad de los mismos así como las variaciones temporales de la pendiente, constituyen valiosos indicadores para la predicción de las réplicas más fuertes de la secuencia.

Adicionalmente, se estudiaron las peculiaridades de la distribución espacial de las réplicas para diferentes intervalos energéticos. Del análisis realizado, se pudo constatar que las réplicas de mayor energía ocupan un área pequeña, concentrándose alrededor del epicentro del choque principal, mientras que las réplicas de más baja energía se distribuyen, de forma caótica, ocupando un área de dimensiones mayores. La posición del epicentro del terremoto principal con respecto a la secuencia de réplicas, en uno de los extremos del área alargada de las réplicas, muestra el modo de la ruptura con propagación unilateral.

PALABRAS CLAVES: Terremoto de Cabo Cruz, análisis estadístico, secuencia de réplicas

ABSTRACT

In May 1992, a significant ($M_s=7,0$) earthquake was generated in the Cabo Cruz region, Southeastern Cuba. This earthquake was characterized by a seismic sequence of main shock type, with a large number of aftershocks, and without foreshocks in a narrow sense. With the objective of characterizing, from a statistical point of view, the seismic sequence of the Cabo Cruz earthquake, a sample was selected from the population of events with energetic class $K \geq 8$, 5 ($M=2,5$). Histograms showing the distribution of seismic events for different time intervals were constructed. In addition, the depth distribution of the aftershocks, as well as their frequency distribution depending on their energetic class K was examined. To analyze the trend of the aftershock activity, different magnitude-frequency graphs were constructed. The linearity of these graphs as well as the slope changes, afford valuable indications for the prediction of the strongest aftershocks of the sequence. The particular feature of the spatial distribution of aftershocks for different energetic class intervals was also studied. It was pointed out that the main aftershocks occupy a small area, being mostly concentrated close to the epicentre of the main shock; whereas the small aftershocks were distributed in a chaotic form, occupying a larger area. The position of the main shock, related to the aftershock sequence (at one of the extremes of the elongated aftershock area), shows the mode of the earthquake rupture (unilateral propagating rupture).

KEY WORDS: Cabo Cruz earthquake, statistical analysis, aftershock sequence

INTRODUCTION

A seismic sequence is defined as a set of events that occur during several days or even years within the volume of a seismic source. The spatial and temporal distribution of the earthquake that makes up a sequence is considered as the manifestation of the evolution of the process in the mentioned source. Due to this, its study permits a better understanding of the seismogenic process and also provides valuable information for the prediction of strong earthquake occurrences.

Seismic sequences can be broadly classified into three types: main shock with foreshocks and aftershocks and only with aftershocks, swarms and isolated types (Y.T. Chen and others, 1971).

The classification mentioned above is based on the identification of some statistical characteristics such as changes of the earthquake frequency, energy released and temporal variations of the **b** value of the magnitude-frequency graphs.

In the seismic sequence of **main shock type** the energy released by the largest event represents more than 90% of the total energy released by the whole sequence, and the difference between the magnitudes of the main shock and the largest aftershocks ΔM usually ranges from 0, 6 to 2, 4.

The precursor activity (foreshocks in narrow sense), could play an important role in the prediction of the main seismic event immediately before its occurrence. Because of this, such kind of foreshocks constitutes a very short term (imminent) precursor.

Nevertheless, not all strong earthquakes are preceded by this type of activity, which is characteristic, particularly, of geological media composed by rocks of low and mid hardness. On the contrary, in the geologic media with high values of the quality factor **Q**, the sequences of main shock-aftershock types are more frequently.

Notwithstanding, for all seismic events of great energy, the foreshock activity in a broad sense is common (Evison, 1977). This activity manifests within the limits of a larger region and during a longer time interval (years or decades) and consists in four stages. The first stage is characterized by a normal seismic activity; the second by the presence of precursory swarm sequences, where the difference between the magnitudes of the strongest events ΔM , not exceed the value 0, 6. In the third stage, a sensible decrease of seismic activity occur prior to the main event (seismic gap); whilst the fourth, is the one that corresponds to the main shock activity, during which, the foreshocks in a narrow sense, the main shock and the aftershocks take place.

The authors attempt to characterize, from the statistical point of view, the seismic sequence of the May 25 1992 Cabo Cruz earthquake. The greatest interest was focused on the fourth and last stages of the foreshock activity in a broad sense.

Nevertheless, some particular aspects that are present in others stages are also discussed for a better understanding of the feature of the seismic process as a whole.

General features of the Cabo Cruz earthquake and its aftershocks.

The territory of Cuba exhibits two kinds of seismicity: interplate and intraplate. The first one is concentrated in the plate boundary zone between the Caribbean and North American plates

(southeastern Cuba region) and the second, is associated mainly with active regional tectonic faults that affect the rest of the territory of the country.

The May 25 Cabo Cruz earthquake ($M=7,0$) occurred in the above mentioned plate boundary zone at 16 hours, 35 minutes and 0, 54 seconds at its epicentre (19, 82 N and 77, 80 W), at the intersection between the Oriente (Bartlett) and Guanacayabo-Nipe) fault systems. The earthquake produced intensities, in the mezo-seismal region, of VII degrees MSK scale (Guasch and others, 1992).

Some important features of the Cabo Cruz earthquake were the absence of precursory activity (in the narrow sense), the abundance of aftershocks, the long duration of the aftershocks sequence and the big difference between the magnitude of the main shock and the largest aftershock ($\Delta M=2,6$).

In order to characterize the sequence of the aftershocks a sample was selected from the population of events with energetic classes $k \geq 8,5$ (representative energetic level for the researched region), where $k = \log E$ (Rautian, 1960).

Histograms showing the distribution of seismic events that took place in the first 24 hours and during the first month after the main shock were obtained. It was pointed out, from the analysis of these graphs, that for the whole sample of aftershocks with $k \geq 8,5$ ($N=229$) corresponding to the first month, 124 events (54%) occurred in the first hour. Within the following months (up to December 1992), the number of aftershocks decreased, in particular those with the higher energetic classes.

On the other hand, if we analyse the depth distribution of the aftershocks (Fig. 1) it can be seen that 45% of them have focal depths less or equal to 10 km, 32,3% exhibit focal depths ranging from 11 to 20 km and only 22,7% have depths larger than 20 km. This result is considered to be in agreement with Lu and others (1985) that have shown that the modal depth values for the aftershock sequence ranges from 10 to 20 km, less than the depth values of the main shock and the foreshocks. With respect to the frequency distribution of aftershocks depending on the energetic class (k) it was pointed out that 93,9% have $k < 10$.

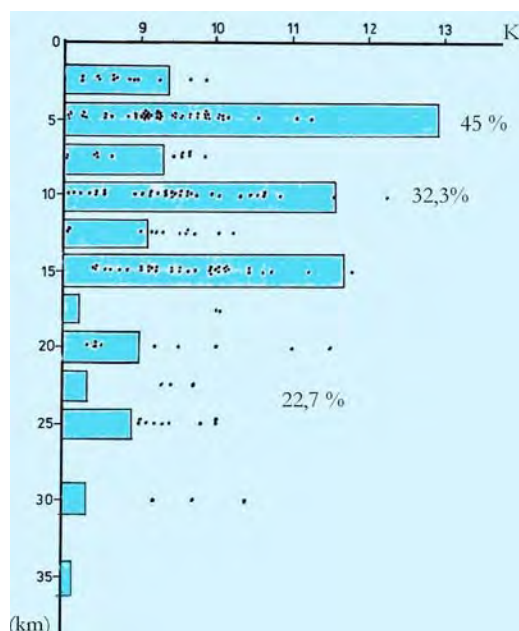


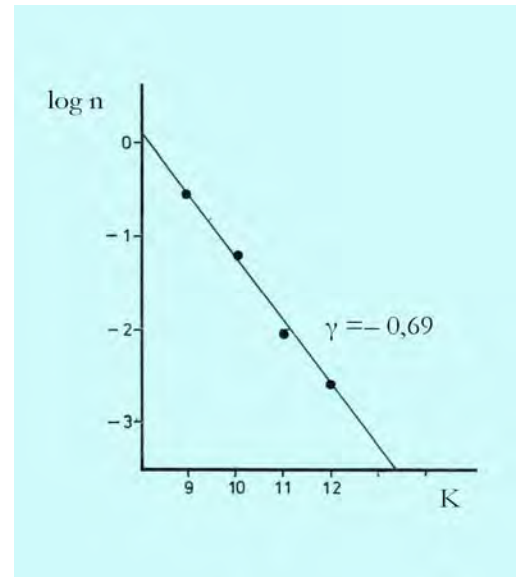
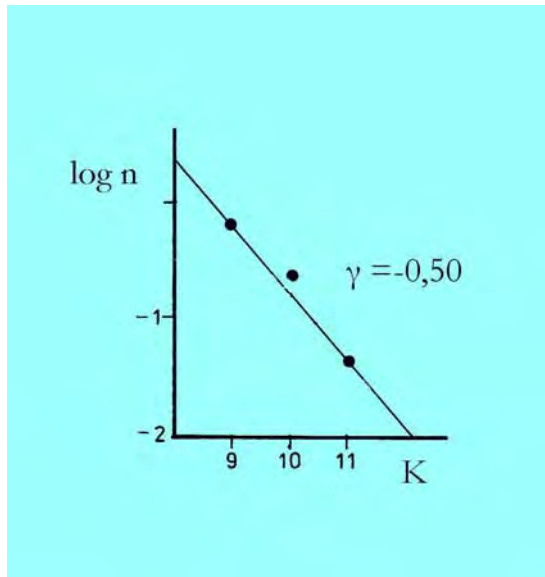
Fig. 1 Depth distribution of aftershocks

Energetic class-frequency relationships $N(k)$ of the aftershocks.

It was mentioned above that the aftershock activity reflects the evolution of the physical process in the focal regions and provides valuable information of the properties of the geological medium. The analysis of the trends of the aftershock activity has great importance for the prediction of the strongest aftershock that occurs generally, in the first few hours or days after the main shock. With this aim, important information is provided by the magnitude-frequency (or energetic class-frequency) graphs of the aftershocks.

For the focal region of the Cabo Cruz earthquake, energetic class-frequency graphs ($\log N=f(k)$), normalized for time intervals of one hour were constructed using different samples selected from the population of aftershocks with $k \geq 8,5$.

The graph shown in Fig. 2, with the aftershock data corresponding to the first 24 hours after the main shock, has a slope ($\gamma = -0,50$) for the first three stages of the foreshock activity in a broad sense. The slope of the graph constructed with the aftershock data, corresponding to the first month after the occurrence of the main shock is still larger ($\gamma = -0,69$), proving in this period, a sensible increase in the number of low energy aftershocks (Fig. 3).



Figures 2 and 3 Energetic class- frequency graphs for two periods of evolution of the earthquake process

The above described graphs are linear, with a low dispersion of its experimental points and correlation coefficients that exhibit values higher than 0, 90. According to the opinion of some authors, for instance Poliakov, T. P., 1987, this peculiarity denotes homogeneity and good quality of the geological materials that take part in the constitution of the preparedness and focal zones of the main seismic events. In the particular case of the Cabo Cruz earthquake, the volume of the seismic source was confined to high hardness basaltic rocks that are the main components of the oceanic crust.

Some authors (Norouzian, N., 1992) have proved, on the grounds of the statistical analysis of the aftershocks sequence that the coefficient **b** of the magnitude-frequency graphs (or the coefficient γ of

the energetic class-frequency relationship) decays after the main shock up to the occurrence of the strongest aftershock. This assumption was confirmed in the particular case of the Cabo Cruz earthquake sequence, where the value γ decreases till the occurrence of the strongest aftershock to -0,58 (Fig. 4) and then start, to increase up to -0,70.

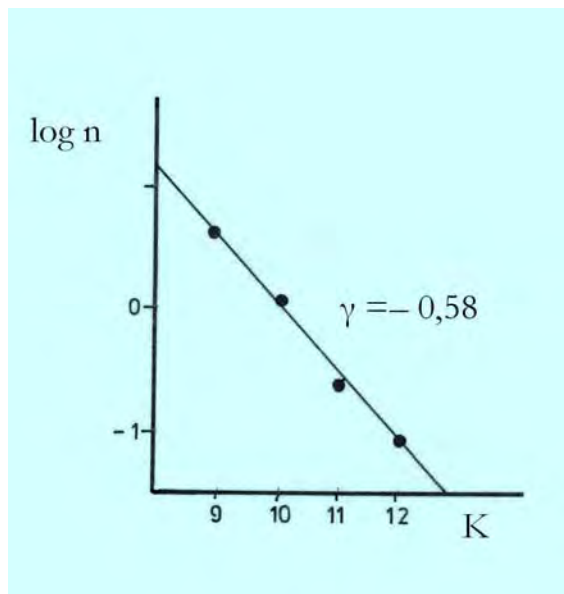


Fig. 4 Energetic class-frequency graph after the main shock

Particular Features of the Spatial Distribution of the Aftershocks

The spatial distribution of the aftershocks of major earthquakes provides valuable evidence of the physical processes and dimensions of the earthquake sources.

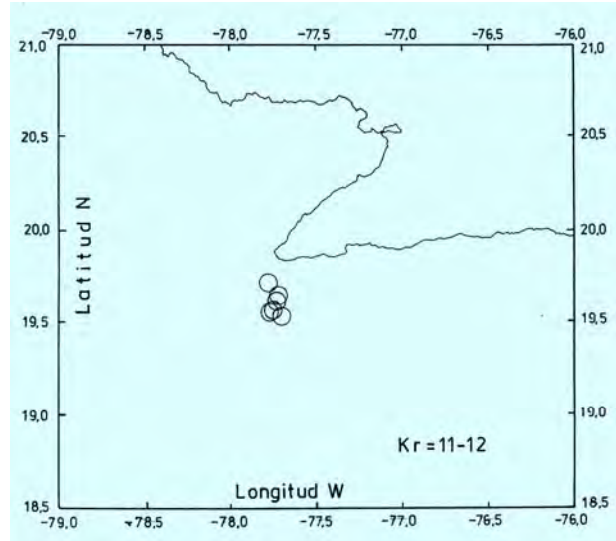
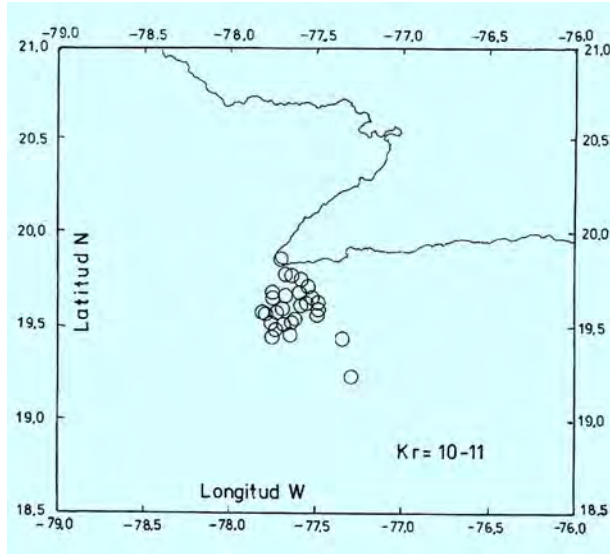
The aftershocks are chiefly distributed along elongated areas, whose axes coincide with the direction of the displacements of the seismogenic fault. Moreover, different correlations have been obtained between the location of the main shock with respect to the aftershock sequence and the mode of earthquake rupture. For instance, in the case of unilateral propagating ruptures, the epicentre of the main shock is located at one of the extremes of the elongated aftershock area. In the case of bilateral propagating ruptures, the epicentre is placed mainly at the centre of the elongated aftershock area.

The spatial distribution of the aftershock indicates unilateral 55 km long rupture to the southwest away for epicentre of the main shock. The focal mechanism of the main shock shows strike slip with a normal component.

The distribution of the earthquake sequence constitutes an elongated area of about 1 000 km with elliptic shape, main shock placed at the one of the extremes of the aftershock area.

Frequently, the aftershocks of a sequence are studied independently of their energy. Nevertheless, the process of aftershock generation may be quite different depending of the value of this parameter. Due to this, the peculiarities of the spatial distribution of the aftershocks of the Cabo Cruz earthquake were examined for different energetic class intervals.

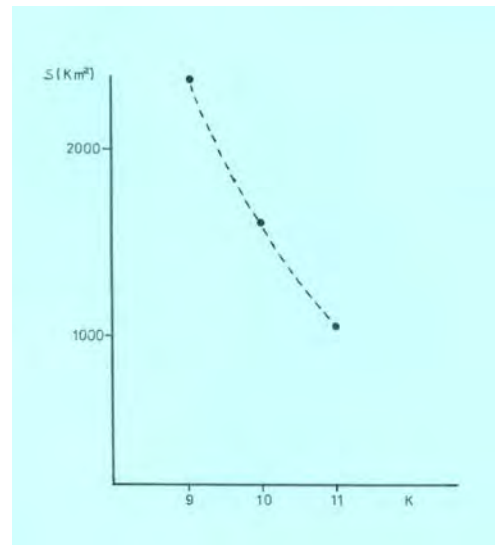
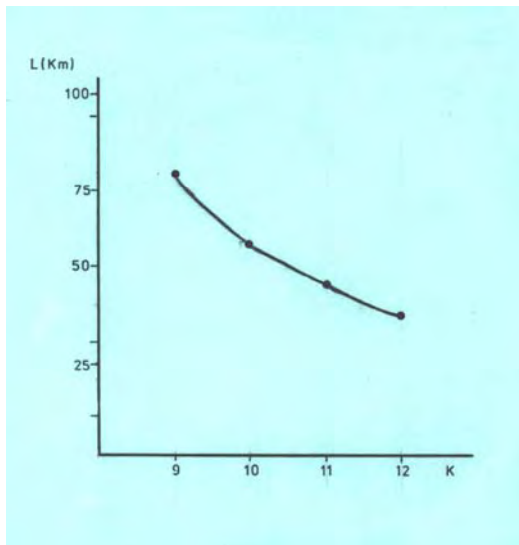
As a common feature, the aftershock area posses elliptic configuration, the difference between these ellipses, is based on their dimensions, the big aftershocks occupy a small area, being mostly concentrated close to the epicentre of the main shock whereas the small aftershocks are distributed in a chaotic form, occupying a larger area (Figs. 5 and 6).



Figures 5 and 6 Spatial distribution of aftershocks for two energetic class intervals

In Figs.7 and 8, the variation of the length and the surface of the Cabo Cruz aftershock area, depending on the energetic class k are represented.

Also, it is interesting to point out that the rupture length for an earthquake with $M=7,0$ ($k=15,9$) calculated with the aid of the empirical expressions obtained by Riznichenko (1982), Rubio (1985) and Lu et al (1985) for different earthquake prone areas, ranges between 50-60 close to the length of the ellipse corresponding to $k=10$.



Figures 7 and 8 Length and surface variations of the aftershock area, depending on the energetic class k

CONCLUDING REMARKS

- 1- The seismic sequence of the May 25 1992 Cabo Cruz earthquake, according to its characteristics, may be classified as a main shock type sequence without foreshocks in a narrow sense, associated with the intersection of the Oriente and Cauto-Nipe fault systems.
- 2- The modal depth values for the aftershock sequence of the Cabo Cruz earthquake ranges from 10 to 20 km, similar to that obtained for the most aftershock sequences worldwide.
- 3- The energetic class-frequency graphs for different aftershocks samples show a good linearity and slope values ranging from 0, 58 to 0, 69. These values are bigger than the ones obtained for the normal period activity ($\gamma=0, 44$) and the first three stages of the foreshock activity in a broad sense ($\gamma=0, 50$).
- 4- The aftershock areas for different energetic class intervals have elliptic configuration. The size of the ellipses vary depending on the energetic level of the aftershocks $L_k=9=74$ km; $L_k=10=56$ km; $L_k=11=48$ km; $L_k=12=38$ km.
- 5- The epicentre of the Cabo Cruz earthquake is placed close to one of the extremes of the aftershock area, so, we are dealing with a unilateral propagating rupture.
- 6- The rupture length of the Cabo Cruz earthquake, on the basis of the spatial distribution of aftershocks was considered to be about 55 km.

BIBLIOGRAPHY

- CHEN, Y. T.; Z. L. CHEN, and B. Q., WANG, 1991. Seismological studies of earthquake prediction in China: a review. Publication No 9140001. Institute of Geophysics SSB.
- EVISON, F. F. 1997. Earthquake Precursory seismic sequences in New Zealand.
- EVISON, F. F., 1987. Earthquake Generation and Prediction. Earthquake Prediction and Mitigation of Earthquake Losses. Proceedings the UNDRO/URSS/UNESCO/UNPD. Training Seminar. Dushambe, Tadjikistan.
- GUASCH, F.; E., ARANGO; B., AVICH et al, 1992. El terremoto del 25 de Mayo de 1992, Cabo Cruz, Cuba. Informe Científico-Técnico. Archivo CENAI.
- LU, Y. Z.; Z. L., CHEN; B. Q., WANG; P. X. LIU; W. R., LIU and L. W., DAI, 1986. Seismological Methods in Earthquake Prediction. Seismological Press. Beijing. China. 268 pp.
- MIJAILOVA, R. S., 1982. Sobre la Preparación y Realización del Terremoto de Alai el 1 de Noviembre de 1978. Revista Pronostico de Terremotos No 311-330. Dushambe-Donish (in Russian).
- POLIAKOVA, T. P., 1987. Análisis de los Gráficos de Repetibilidad de la Parte Central del Mar Mediterráneo. Revista Resultados de las Investigaciones de los Proyectos Geofísicos Internacionales Investigaciones Sismológicas.
- RAUTIAN, T. G., 1960. Energía de los Terremotos. Trabajos del Instituto de Física de la Tierra No 9 (176). Vol. 4 (en ruso).
- RUBIO, M., 1985. The assessment of seismic hazard for the Republic of Cuba. Phd. Thesis. Institute of Geophysics and Astronomy. Academy of Sciences of Cuba.

EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DE LA CIUDAD DE GIBARA, PROVINCIA HOLGUÍN, CUBA

Tomás J. Chuy Rodríguez⁽¹⁾, Jorge L. Noas Hernández⁽²⁾ y Ricardo G. Álvarez Díaz⁽²⁾

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Calle 17 # 61 entre 4 y 6, Reparto Vista Alegre. Santiago de Cuba. Cuba. E-mail: chuy@cenaais.cu

(2) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Calle 18 s/n e/ 1ra y Maceo. Reparto El Llano. Holguín. Cuba. ZIP 80 100.

RESUMEN

Los desastres naturales representan un gran reto para la sociedad moderna y se perfilan, por su impacto negativo, como un obstáculo cada vez mayor para el logro de los objetivos de desarrollo del milenio planteados por la ONU. Históricamente en la región de Gibara se han reportado epicentros de sismos perceptibles y fuertes, el más importante de los cuales ocurrió en 1914. Este terremoto, con una magnitud de 6.2 Richter, produjo en la ciudad de Gibara afectaciones de 7.0 grados en la escala MSK de intensidades, siendo reportada su perceptibilidad hasta localidades de la provincia de Villa Clara. Sobre la base de la actividad sísmica instrumental e histórica y tomando en cuenta la potencialidad y características del régimen sísmico de las zonas sismogénicas que tienen mayor incidencia sobre el área de interés, se obtuvo para un tiempo de vida útil de 50 años y una probabilidad del 15 % de que ocurra el efecto esperado de peligro, una aceleración horizontal efectiva de 73.7 cm/seg^2 para perfiles de suelos tipo S2, correspondiendo a 6.0 grados de intensidad en la escala MSK. En consecuencia, estos valores deben tomarse en cuenta en los proyectos constructivos de nuevas inversiones y en los trabajos de rehabilitación del patrimonio construido para contribuir al desarrollo sostenible de esta ciudad.

ABSTRACT

Natural disasters represent a great challenge for modern society and they are profiled, for their negative impact, as a growing obstacle for the achievement of the objectives of development of the millennium outlined by the UN. Historically in the Gibara region have been reported epicenters of perceptible and strong earthquakes, the most important of which happened in 1914. This earthquake, with a magnitude 6.2 Richter, generated affectations of 7.0 degrees in the scale MSK of intensities in the Gibara city, being reported its perceptibility in towns of the Villa Clara Province. On the base of instrumental and historic seismic activity and taken into account the potentiality and characteristics of the seismic regime of seismogenic zones that have bigger incidence over the area of interest, it was obtained for a 50 years period with a 15% probability of exceedance, an effective horizontal acceleration of 73.7 cm/seg^2 for soil profiles type S2, corresponding to 6.0 degrees of intensity in the MSK scale. In consequence, these values should be taken into account in constructive projects of new investments and in works of rehabilitation of the built patrimony to contribute to the sustainable development of this city.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de las últimas décadas, la frecuencia y el impacto de los desastres “naturales” se ha incrementado (figura 1), siendo los países más pobres de América Central, el Caribe y América del Sur los más afectados. Teniendo en cuenta los efectos desproporcionados que estas catástrofes generan en los países en vías de desarrollo, en los que los costos económicos y humanos son hasta seis veces mayores que en las naciones ricas, esta tendencia implica una gran amenaza para el desarrollo sustentable y en particular para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de la ONU, por lo que urge la toma de medidas, sobre todo si se tiene en cuenta que la vulnerabilidad se globaliza en los países del tercer mundo.

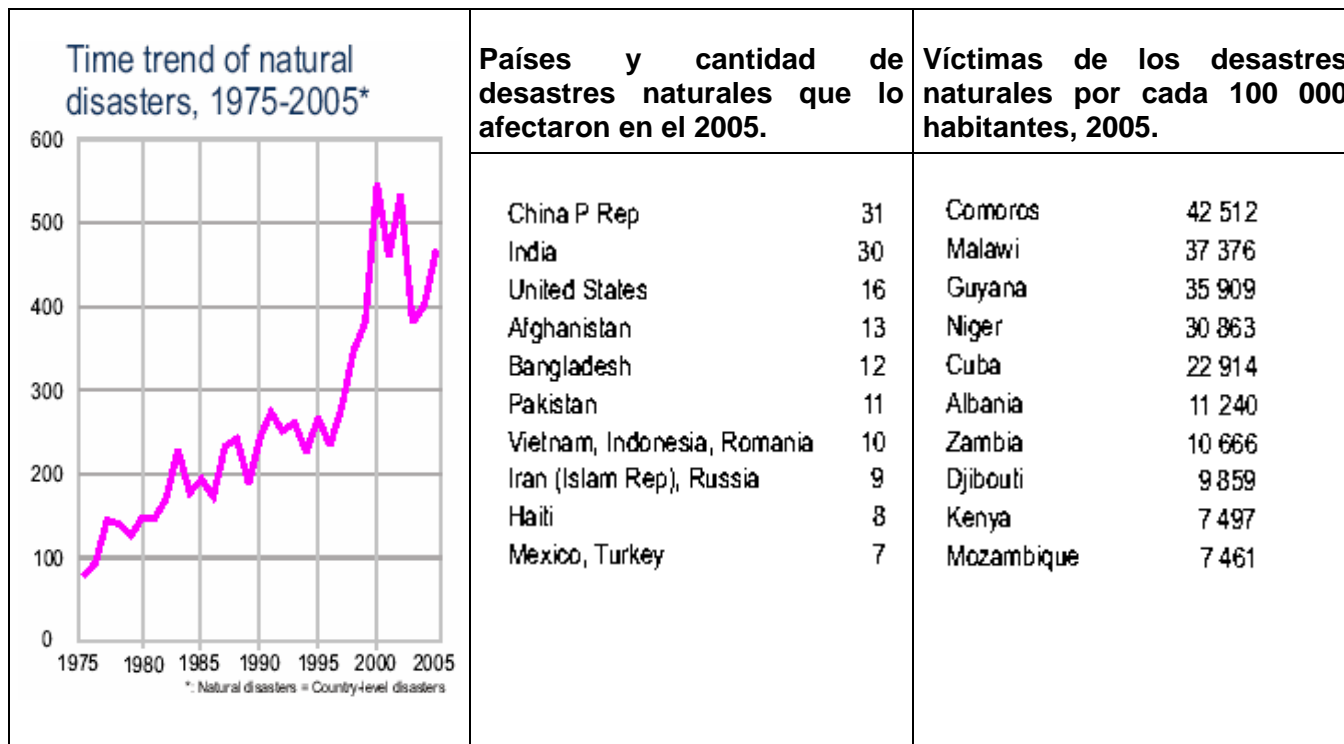


Figura 1. Tendencia del comportamiento de la cantidad de desastres en el mundo (izquierda), afectación por países en el 2005 (centro) y países con mayor cantidad de víctimas en el mismo año (derecha). Modificado de UNISDR, 2006.

Cuba, por su ubicación geográfica, está expuesta a la influencia de fenómenos naturales como huracanes y sismos, que han dejado una bien marcada, aunque no siempre recordada, huella.

La ciudad de Gibara se encuentra enclavada en la parte noroccidental de la provincia Holguín, en el extremo occidental de la bahía del mismo nombre. La fundación de Gibara ocurrió el 16 de enero de 1817, vinculada a la importancia de su bahía, que era utilizada como puente natural y vía económica del territorio holguinero. Tiene una extensión territorial aproximada de 1.9 km² y su población es de alrededor de 17 000 habitantes.

Dado su riqueza patrimonial, existe una estrategia para la conservación del centro histórico que requiere un programa integral de recuperación, enmarcado en los planes económico-sociales de la ciudad. Este programa debe integrar y propiciar la solución de los problemas que afectan a la comunidad que la habita; conjuntamente con la revitalización cultural, social y turística, convirtiéndola en un poderoso foco de interés dentro de las proyecciones nacionales e internacionales del país.

En 1914 este territorio fue afectado por un terremoto de magnitud 6.2 que alarmó a la población y afectó muchas de las edificaciones actuales. Si sumamos a este antecedente sísmico el hecho de que la ciudad se encuentra enclavada en una zona cársica (calizas generalmente cavernosas) y al estado constructivo de las edificaciones presentes, se puede apreciar que existen varios factores que aumentan la vulnerabilidad y el riesgo sísmico al que está sometida la comunidad.

Por cuanto se trata de una ciudad que fue erigida sin tomar en cuenta el peligro potencial que presuponen los terremotos, sus habitantes, instalaciones y medio ambiente son vulnerables ante la

ocurrencia de este tipo de fenómenos que pueden convertirse en un desastre al ser catalizados por inadecuadas políticas de desarrollo así como la no aplicación de normas y materiales de construcción adecuados. El primer paso en la mitigación de desastres es el manejo de los riesgos, para lo cual es necesario, en primera instancia, la evaluación de la amenaza o peligro.

En el presente trabajo realizamos una caracterización de la amenaza sísmica de la ciudad de Gibara en términos de aceleración e intensidad de acuerdo a los requerimientos planteados en el código de construcción NC 53-114:99 (MICONS, 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se utilizó la información más actualizada sobre la sismicidad y condiciones sismotectónicas de la región de estudio con que cuenta el CENAI, así como se analizó toda la base de datos del catalogo de sismos desde el Siglo XVI hasta la fecha de realización del trabajo, lo cual permitió obtener los valores específicos del peligro sísmico para el área de estudio.

Para la valoración de los estimados de Peligrosidad Sísmica se tomaron en cuenta la definición de los parámetros de las Zonas Sismogénicas (ZS) de mayor influencia sobre la zona, las características del régimen sísmico de los eventos generados en estas y sus efectos en el área de estudio, las leyes de atenuación del parámetro que se utilice para medir el efecto, así como el propio método de cálculo del peligro. En concordancia con las exigencias de la Norma Sísmica Cubana vigente (MICONS, 1999) se obtienen los valores de aceleración horizontal efectiva y de la intensidad sísmica correspondiente, para una probabilidad de ocurrencia de la amenaza del 15 % y tiempos de vida útil de 50 años, considerando perfiles de suelos de cimentación de tipo S2.

RESULTADOS

Evaluación de la potencialidad sismogénica de las principales estructuras tectónicas regionales

En Cuba no existe el mismo nivel de potencialidad sísmica en todas sus partes, lo cual se debe a la presencia de dos tipos de actividad: de entreplacas y de intraplacas. La Sismicidad de entreplacas es propia de la región Suroriental, que se destaca por la frecuencia con que ocurren en ella terremotos, que históricamente han alcanzado altos valores de magnitud e intensidad, generados en la Zona Sismogénica Bartlett-Caimán (Oriente), que constituye el límite entre las placas del Caribe y Norteamérica.

La Sismicidad de intraplacas es característica del resto del territorio y está asociada a estructuras de menor potencial sísmico. Los eventos sísmicos en estas zonas se generan con menos frecuencia y tienen menor energía en comparación con los de entreplacas.

Por la ubicación que presenta el área de estudio y los valores de magnitudes máximas a esperar de las zonas sismogénicas por sus condiciones sismotectónicas (Chuy et al, 1991), ésta puede ser afectada por terremotos que tengan su epicentro en las de Sabana, Cauto-Norte, Cauto-Nipe, Baconao y Cubitas fundamentalmente, que son las más cercanas (figura 2). No obstante, debemos señalar que las ZS Española Norte y especialmente Oriente, aunque más alejadas, también han tenido y tienen alta influencia sobre el área (Chuy et al, 1992).

La ZS Sabana constituye un sistema de fallas submarinas escalonadas cortadas por fallas transversales de menor orden. En el sector denominado Sabana 2, el más cercano a la zona de Gibara, tuvo lugar el terremoto más fuerte (Magnitud 6.2 Richter) de la provincia holguinera, que produjo una intensidad de 7.0 grados MSK en esta localidad. Los terremotos generados por este sector pueden alcanzar una magnitud máxima de 6.5 Richter.

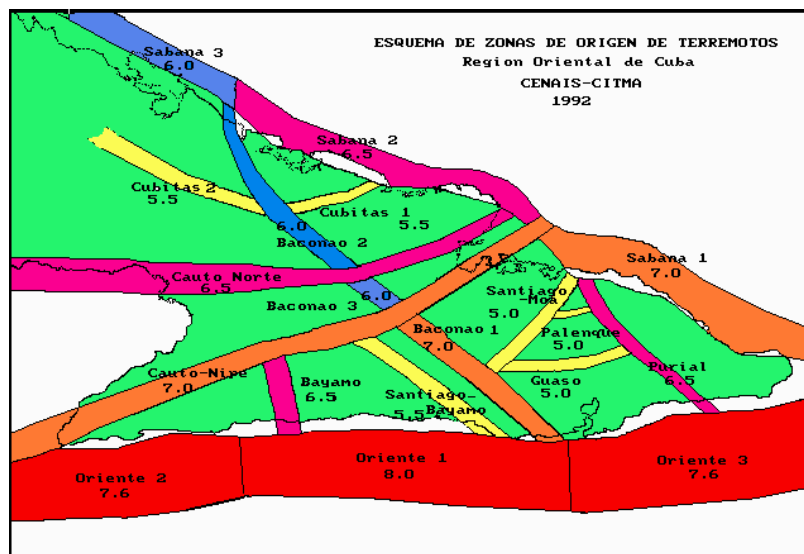


Figura 2. Zonas Sismogénicas de la región Oriental de Cuba. Tomado de Chuy et al, 1991.

La ZS Cauto - Norte está asociada a una estructura flexodisyuntiva que separa la Depresión Nipe y el Grupo Maniabón. Su potencialidad está dada por sus características sismotectónicas, por la que los sismos en ella pueden alcanzar hasta 6.5 grados de magnitud Richter.

La ZS Cauto-Nipe tiene una alta actividad sísmica reflejada en la ocurrencia de sismos fuertes, destacándose los que afectaron seriamente a la ciudad de Bayamo, el mayor de los cuales tuvo $I = 8.0$ MSK. En esta zona pueden ocurrir terremotos de hasta 7.0 grados de magnitud Richter.

La ZS Baconao bordea el flanco Norte de la Gran Piedra y continúa cerca de Contramaestre hasta Manatí. La mayor actividad sísmica la presenta en su intersección con la zona Oriente, siendo ésta más bien débil hacia su sector Occidental. Este último sector, que es el más cercano, puede generar sismos de magnitud 6.0 Richter.

La ZS Cubitas representa el límite entre las zonas del tipo miogeosinclinal y eugeosinclinal. Su mayor actividad se manifiesta en la intersección con otras fallas. El último sismo significativo ocurrió en ella en 1953 y produjo intensidades de 5.5 MSK en Velasco. Su potencialidad indica que en ella pueden tener lugar eventos de magnitud 5.5 Richter.

La ZS Oriente o Bartlett - Caimán es un límite de placas, por lo que representa el mayor peligro para la región oriental de Cuba, incluyendo el área de estudio. En ella se señalan 22 reportes de terremotos fuertes (Intensidad ≥ 7.0 MSK) de un total de 28 que se han producido en toda la historia sísmica de nuestro país. Dos de estos eventos alcanzaron intensidad 9.0 MSK en la ciudad de Santiago de Cuba. Los estudios indican que en ella pueden generarse, incluso, sismos de magnitud 8.0 Richter.

La ZS Española Norte constituye la prolongación hacia el Este del límite entre las placas del Caribe y de Norteamérica. La componente principal del movimiento es de desplazamiento lateral siniestro, aunque posee una componente de subducción. Esta zona posee una alta sismicidad, alcanzando algunos terremotos magnitudes superiores a 8.0 Richter, aunque su potencialidad alcanza hasta 8.3 Richter.

La influencia de Zonas Sismogénicas regionales como las señaladas anteriormente es de obligatoria observación, porque en muchas ocasiones el mayor peligro sísmico a que una zona está sometida no proviene sólo de las zonas activas más cercanas a ella, sino además de zonas vecinas en las que sus condiciones sismotectónicas le imponen una marcada peligrosidad.

Caracterización de la sismicidad

La zona de Gibara, en correspondencia con los datos de terremotos registrados instrumentalmente, manifiesta un nivel bajo de actividad sísmica. Las profundidades de los eventos no superan en general los 30 Km. y no existe una concentración de los mismos en un sitio determinado. La magnitud de los terremotos que se registran con posterioridad a 1998 en el área no sobrepasan los 3.4 Richter (figura 3).

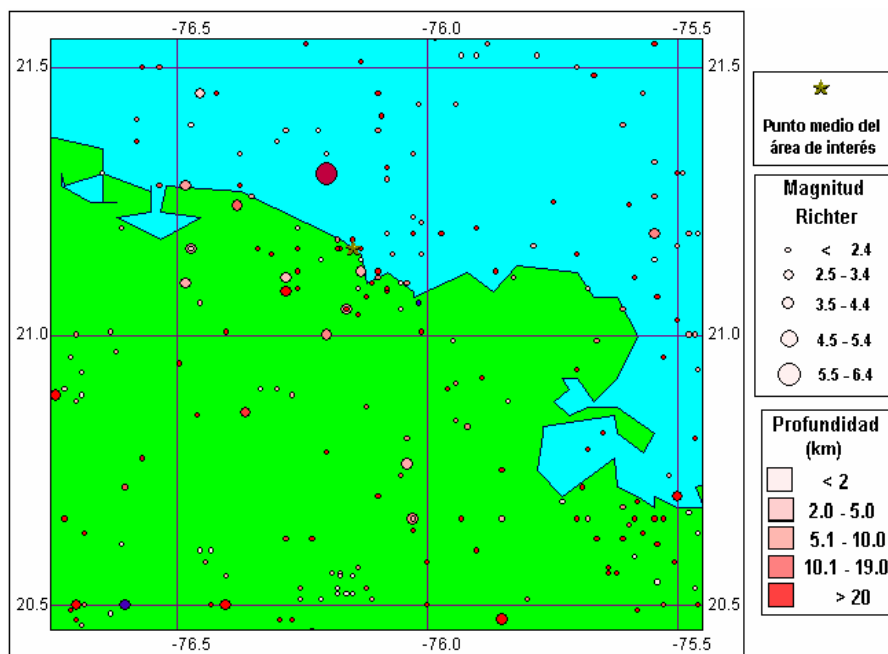


Figura 3. Mapa de epicentros reportados en el período 1502 – 2005.

Sin embargo, es de significar la ocurrencia en 1914 de un sismo de Magnitud Richter 6.2, que hizo sentir sus efectos hasta la provincia de Villa Clara. En prácticamente toda la región Oriental produjo considerable alarma y en particular, en la ciudad de Gibara las intensidades alcanzaron 7.0 grados por la escala MSK (figura 4). En la figura 5 se presenta el mapa de isosistas de este terremoto. Nótese los diferentes grados de intensidad que se reportan en la zona Oriental y la extensión del área de 7.0 grados con centro en la ciudad de Gibara. Este sismo tuvo además varias réplicas perceptibles que se cartografiaban en la figura 6.



Figura 4. Edificaciones afectadas por el sismo de 1914 en la ciudad de Gibara. Izquierda: Antiguo Ayuntamiento que sufrió afectaciones en paredes y caída del cielo raso del portal. Derecha: Antigua Aduana (actual Museo) cuyo segundo piso descendió varios cm y sufrió daños en las columnas y vigas como la del segundo piso que se conserva hasta la actualidad.

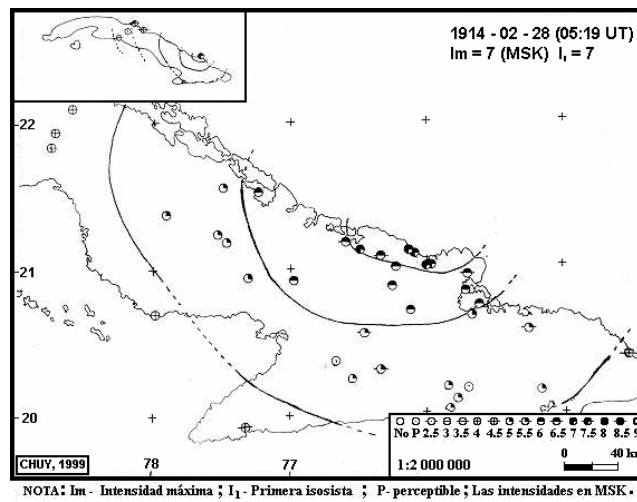
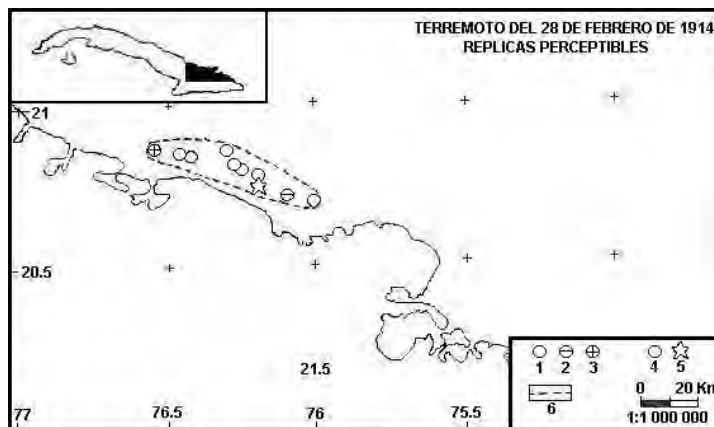


Figura 5. Mapa de isosistas del terremoto de Gibara de 1914. Tomado de Chuy, 1999.



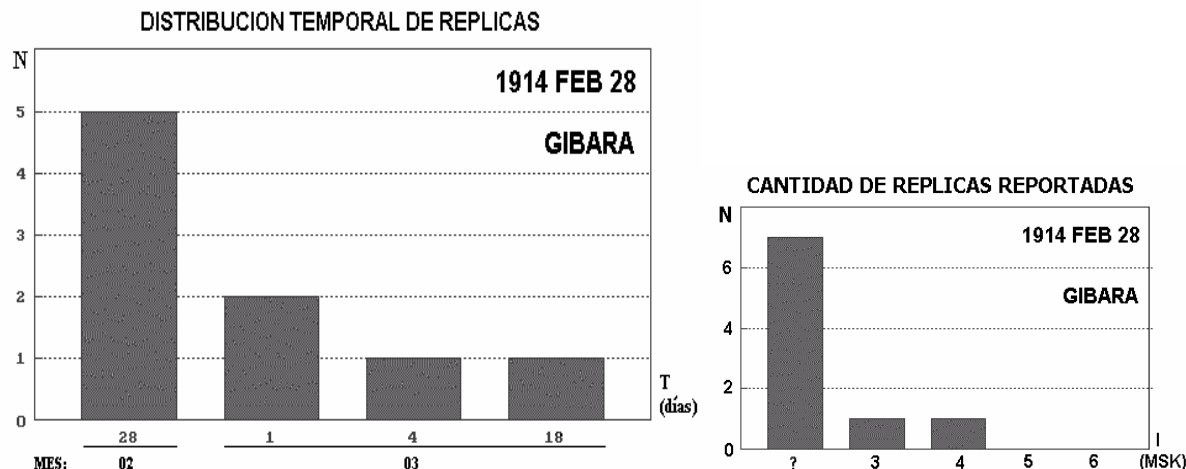


Figura 6. Réplicas perceptibles del sismo de Gibara de 1914.

Es también importante destacar la ocurrencia de terremotos en otras zonas, que han alcanzado o pudieron alcanzar diferentes grados de perceptibilidad en el área. Los sismos de Intensidad 9.0 MSK que se señalan en la ZS Oriente, afectaron seriamente áreas de la provincia de Santiago de Cuba en 1766 (Magnitud Richter $M_s = 7.6$) y 1852 ($M_s = 7.3$), reportándose de ambos considerables daños en toda la región oriental, en particular en el territorio de la provincia Holguín se señalan afectaciones de hasta 7.0 grados MSK y pudieron ser de no menos de 6.0 MSK en Gibara. Otros terremotos que más recientemente han afectado, pero con menor fuerza, al área de estudio desde la región Suroriental se señalan en 1932 y 1947, los cuales debieron producir intensidades sísmicas de 6.0 y 5.0 grados MSK, respectivamente en la ciudad de Gibara y sus alrededores.

Debemos señalar que con epicentro en la Zona Sismogénica Cauto–Nipe, aunque en la provincia Granma, se reportan sismos en 1551 ($M_s = 5.8$) y 1624 ($M_s = 5.2$), que produjeron 8.0 y 7.0 grados MSK en la ciudad de Bayamo. Estos terremotos debieron producir intensidades de alrededor de 6.0 MSK en la zona de Gibara.

Aunque de menor envergadura, en 1912 en la ciudad de Holguín se reporta un sismo perceptible con intensidad 4.0 MSK, que debió sentirse también en Gibara, mientras que en la zona de Velasco se han producido varios terremotos, de los cuales el más importante tuvo lugar en 1953 con intensidad 5.5 MSK.

Desde el punto de vista del potencial riesgo a que esta localidad está sometida, son de considerar otros sismos fuertes generados en zonas activas al Norte y Sur de la vecina isla de La Española. En esa región se reportan históricamente varios terremotos de consideración, incluyendo uno de magnitud $M = 8.2$ Richter en 1842, cuya área de perceptibilidad cubrió toda nuestra región oriental, señalándose incluso que en esta ciudad pudo producir hasta 6.0 grados MSK.

Como un complemento al análisis del comportamiento espacial de la sismicidad, se consideraron en algunos de estos sectores valoraciones del proceso de liberación de las deformaciones (LD) en las Zonas Fuente. Este parámetro, de forma simplificada, se puede caracterizar a través de los gráficos de liberación de energía (E), confeccionados mediante la sumatoria de las raíces cuadradas del valor alcanzado:

$$LD = \sum(E)^{1/2}$$

E en ergios

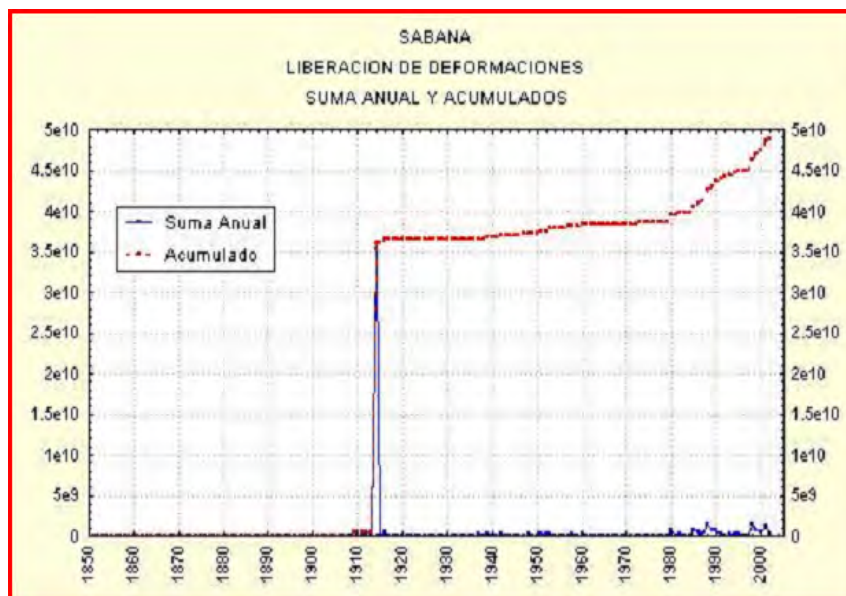


Figura 7. Esquema de Liberación de las Deformaciones (LD) de la ZS Sabana. Tomado de Chuy, 2003.

Convirtiendo los valores de magnitud de los terremotos seleccionados de los diferentes catálogos considerados (Álvarez et al, 1999; Chuy, 1999, 2000; SSN, 2005) a energía liberada en cada caso fue posible caracterizar el comportamiento temporal de liberación de energía en la zona sismogénica Sabana (figura 7).

Se evidencia en esta figura que la actividad empieza a notarse después del sismo de Gibara de 1909 de $M = 3.6$ y que se hace notable con el terremoto de 1914 ($M = 6.2$) con epicentro en esa propia zona, en la que produjo intensidades de 7.0 MSK en esta comunidad. Sólo después de 1980 con el incremento del número de estaciones que monitorean el sector, se ha mantenido un valor estable de la pendiente del gráfico de liberación de deformaciones por terremotos de baja energía, marcado ese propio año por el sismo de Puerto Padre de intensidad 4.5 MSK ($M = 3.9$). El primer reporte de actividad se remonta a 1852, pero a estos sismos no fue posible evaluarles su valor de intensidad y magnitud.

Caracterización de la influencia de zonas sismogénicas a través de la estimación del efecto sísmico

Como no se dispone de registros acelerográficos de terremotos fuertes con incidencia en esta ciudad, se simularon los movimientos del terreno generados por un terremoto de forma empírica, para obtener las curvas de atenuación para la delimitación de la amplitud máxima y el espectro de amplitud de las ondas sísmicas. En este caso se presenta la modelación para el Terremoto de Proyecto en la zona sismogénica de mayor potencialidad sísmica, Oriente 1 y en la más cercana, que es Sabana 2. En esta última se reporta el epicentro del terremoto del 28 de febrero de 1914. Los valores de aceleración horizontal máxima (A_{hmax}) para los acelerogramas sintéticos de los Terremotos de Proyecto utilizados (Figura 8), considerando suelos medios en la ciudad de Gibara, se presentan en la tabla I. Los espectros de Fourier y de Respuesta derivados de estos registros se presentan en la figura 9 para la Zona Oriente 1 y en la figura 10 para la Zona Sabana 2.

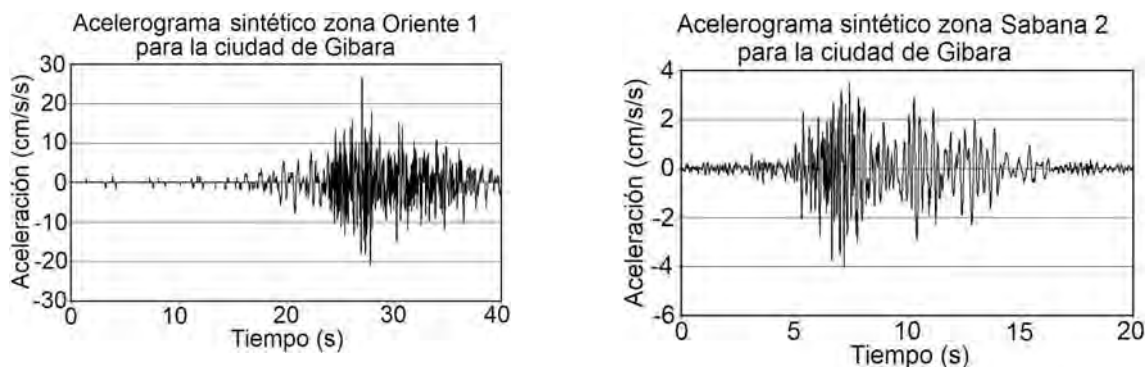


Figura 8. Registros de acelerogramas sintéticos modelados para la componente horizontal. Izquierda: Zona Oriente 1. Derecha: Zona Sabana 2.

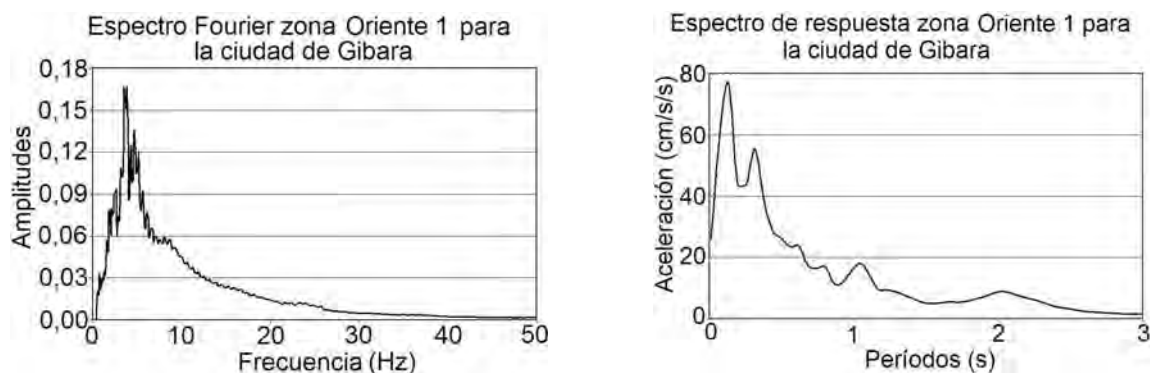


Figura 9. Espectros de Fourier y de Respuesta para la Zona Oriente 1.

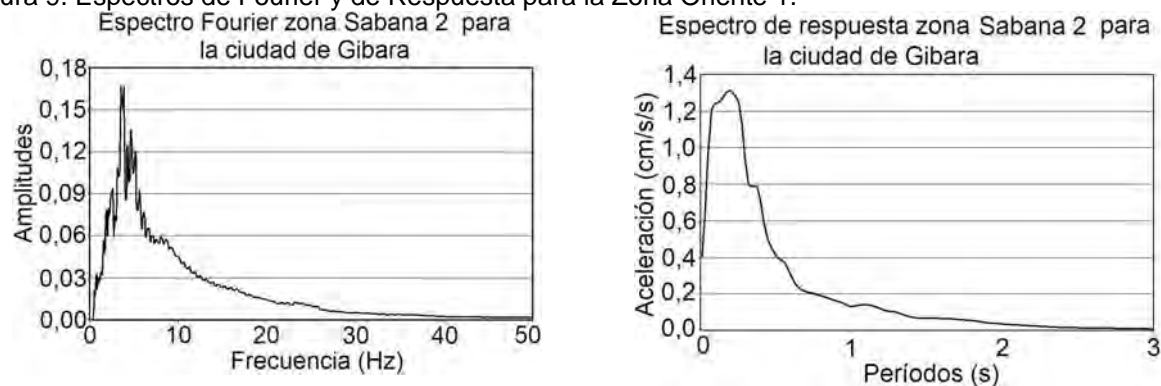


Figura 10. Espectros de Fourier y de Respuesta para la Zona Sabana 2.

Tabla I. Valores de aceleración horizontal máxima para las Zonas Sismogénicas consideradas.

Zona Sismogénica	Magnitud del Terremoto de Proyecto	Ahmax (cm/s ²)	Tiempo del máximo (seg)
Oriente 1	6.9	26.3	27.08
Sabana 2	3.4	4.01	7.21

Determinación de los parámetros de peligrosidad sísmica para diferentes niveles de amenaza

El estimado del peligro sísmico se basa en el conocimiento de dónde y con qué magnitud y frecuencia ocurren los eventos sísmicos en una región o área determinada, y también cómo se atenúan los efectos de los terremotos desde el foco o hipocentro hasta el sitio en cuestión. Para realizar estos estimados se debe tener en cuenta el modelo matemático de ocurrencia de los terremotos, los parámetros de las Zonas Sismogénicas (ZS), el régimen sísmico y la ley de atenuación de la variable que se utilice.

En nuestra región se utilizan los modelos poissoniano y del terremoto característico, debido a que los valores determinados en ellos se ajustan a la historia sísmica conocida. El modelo analizado por Chuy (1999), se caracteriza por un campo macrosísmico en forma de isosistas elípticas (Álvarez y Chuy, 1985), con el cual se pudo caracterizar una buena parte de las zonas sismogénicas del país.

Para la atenuación se ha tenido que recurrir a la transformación a partir de la intensidad sísmica, aplicando relaciones logarítmicas y lineales de uso internacional (Trifunac y Brady, 1975), por carecer de datos reales de aceleración u otros parámetros dinámicos del movimiento del terreno.

El último elemento a tener en cuenta es el del algoritmo de cálculo. Nuestra institución utiliza el conocido por SACUDIDA (Álvarez, 1995), que nos da la posibilidad de aplicar diferentes algoritmos de cálculo, a la vez que permite usar diversos modelos de atenuación y de frecuencia de ocurrencia de terremotos dentro de una zona sismogénica.

A partir de los valores de los períodos de recurrencia (figura 11) se confeccionaron, utilizando un modelo poissoniano de ocurrencia de sacudidas, los gráficos de probabilidad en los que no son igualados o excedidos para el caso de suelos medios, valores dados de aceleración máxima horizontal para tiempos de vida útil de 10, 20, 50, 70, 100 y 200 años, los cuales se muestran en la figura 12.

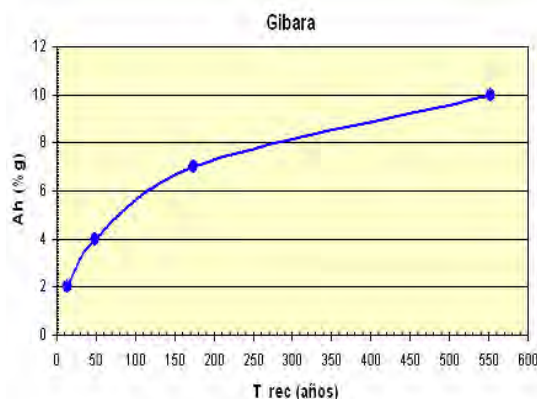


Figura 11. Tiempos de recurrencia en años para la aceleración horizontal máxima.

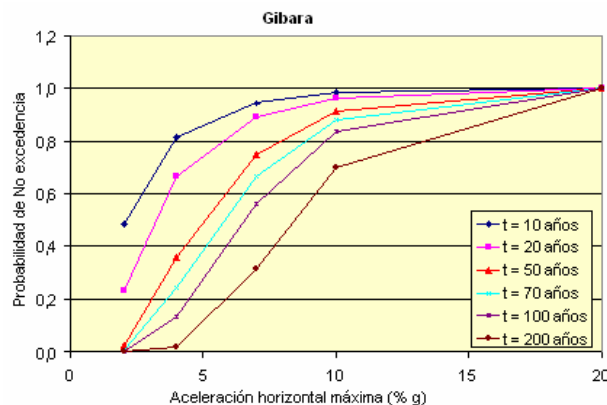


Figura 12. Curvas probabilísticas de aceleración horizontal máxima para la ciudad de Gibara considerando diferentes tiempos de vida útil.

Se calculó el peligro utilizando las curvas probabilísticas, considerando perfiles de suelos medios S2, que se corresponden en general con esta comunidad, para un tiempo de vida útil de 50 años y una probabilidad del 15 % de que ocurra el efecto esperado de Peligro efectivos, parámetros impuestos por la Norma Cubana (MICONS, 1999). En consecuencia, se obtiene que la aceleración horizontal efectiva a considerar sería de 73.7 cm/seg^2 para perfiles de suelos tipo S2, correspondiendo a 6.0 grados de intensidad en la escala MSK (equivalente a la EMS). Por supuesto, en dependencia de las

condiciones ingeniero – geológicas puntuales del sitio de alguna obra o instalación particular, estos valores pueden sufrir modificaciones.

CONCLUSIONES

Los desastres naturales pueden convertirse en un impedimento para el desarrollo sostenible de cualquier país. Históricamente en la región de Gibara se han reportado epicentros de sismos perceptibles y fuertes, el más importante de los cuales ocurrió en 1914 y causó daños a varias instalaciones; algunas de ellas aún muestran los efectos.

Sobre la base de la actividad sísmica instrumental e histórica y tomando en cuenta la potencialidad y características del régimen sísmico de las zonas sismogénicas que tienen mayor incidencia sobre el área de interés, se calculó el peligro sísmico. Para un tiempo de vida útil de 50 años y una probabilidad del 15 % de que ocurra el efecto esperado de peligro, se obtuvo una aceleración horizontal efectiva de 73.7 cm/seg^2 para perfiles de suelos tipo S2, correspondiendo a 6.0 grados de intensidad en la escala MSK.

Tomar en consideración estos valores contribuye a trazar una estrategia comunitaria sostenible para la conservación y revitalización de las instalaciones y sitios con valor histórico – arquitectónico, así como para el planeamiento de nuevas obras en la ciudad.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez J.L., 1995. Sacudida. Versión 2.0. Un Programa para la estimación de la Peligrosidad Sísmica. La Habana: Editorial Academia, 59 p.
- Álvarez J.L. y T.J. Chuy, 1985. Isoleismal Model for Greater Antilles. Proceedings of the 3rd International Symposium on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk, Liblice Castle, Czechoslovakia, pp. 134 - 141.
- Álvarez J.L., T.J. Chuy, J. García, B. Moreno, et al., 1999. An Earthquake Catalogue of Cuba and Neighboring Areas. IC / IR / 99 / 1, Internal Report, UNESCO – IAEA – ICTP, Miramare, Trieste.
- Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, 2005. Carpeta de programas para estimados de Sismicidad y Peligrosidad Sísmica. Fondos del CENAIIS.
- Chuy T.J., 1999. Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del CENAIIS y del MES. 487 pp.
- Chuy T.J., 2000. Estimados de peligrosidad y microzonación sísmica de Cuba utilizando terremotos perceptibles. Sismos perceptibles, Peligro y Vulnerabilidad Sísmica en Cuba. La Habana: Editorial Academia.
- Chuy T.J., 2001. Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad sísmica. *Revista Geología y Minería*, (Moa), (No. 4).
- Chuy T.J., 2003. Caracterización del proceso de liberación de las deformaciones en las principales zonas sismogénicas de Cuba. Memorias del V Congreso de Minería y Geología, Ciudad de la Habana.
- Chuy T.J. y J.L. Álvarez, 1995. Mapa de Peligrosidad Sísmica de Cuba con fines de la Norma Sismorresistente Cubana. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS y del X Forum Nacional de Ciencia y Técnica.
- Chuy T.J., J.L. Álvarez, J.A. Zapata, B.E. González, et al., 1992. Investigaciones Sismológicas Complejas para el Complejo Hidroenergético Toa-Duaba. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS y ENERGOPROYECTO.
- Chuy T.J., J.A. Zapata, 2005. Consideraciones sobre el comportamiento reciente de la sismicidad de Cuba. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS.
- Chuy, T.J. et al., 1991. Dictamen Conclusivo. Comisión Ad-hoc para la determinación de las zonas sismogeneradoras de la región oriental de Cuba y zonas aledañas. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS y ENERGOPROYECTO.
- MICONS, 1999. Norma Sísmica Cubana NC 53-114:99. Fondos del MICONS y del CENAIIS. Cuba. 103 pp.

- Schenkova V. y V. Karnik, 1974. Comparison of methods of determining the largest possible earthquakes. Scientific Report, *Isz. Earth Physics*, inglés, (No. 11).
- Servicio Sismológico Nacional de Cuba SSN, 2005. Base de Datos de Terremotos registrados en Cuba. Fondos del CÉNAIS.
- Trifunac, M.D. y Brady, A.G. (1975): On the correlation of Seismic Intensity scales with the peaks of ground motion records. *Bull. Seism. Soc.Am.*, Vol. 65 (No. 1), pp. 139 - 162.
- UNISDR, 2005. Disasters in numbers [en línea]. <http://www.unisdr.org/>, (Consultado, febrero de 2006).

ESCORRENTÍA FLUVIAL EN MONTAÑAS Y VALLES COLINDANTES: METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS DE PELIGROS POR INUNDACIONES EN GUAMUHAYA, CUBA

Bárbara Polo González⁽¹⁾, José L. Cuevas Ojeda⁽¹⁾ y Mario Guerra Oliva⁽¹⁾

(1) Dpto. Geología Ambiental, Geofísica y Riesgos, Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela, La Lisa, La Habana, CUBA. Email: bpolo@iga.cu

RESUMEN

La identificación de los escenarios de peligros es una de las primeras tareas a acometer en los estudios de riesgos. Por ello, el objetivo del presente trabajo es el establecimiento de una metodología semi-automatizada de identificación de los escenarios de peligros por inundaciones debido lluvias intensas que ocurren en una zona montañosa, y que afectan a los pisos altitudinales más bajos, debido a la escorrentía de la red fluvial, utilizando las facilidades que brindan los SIG. Por ello, el factor de las lluvias **LI** es afectado de una manera positiva, lo que implica que habría un incremento del factor de humedad **F_w**, lo que ocurre en la práctica cuando llueve en la montaña y en el llano se acumulan las aguas en los valles de inundaciones.

Para las montañas de Guamuhaya y sus valles colindantes, se hizo un estudio geomorfológico donde se determinaron los valles de inundaciones potenciales, se calculó mediante el modelo digital de elevaciones y un procedimiento adecuado las direcciones del escurrimiento fluvial y el valor de la convergencia o divergencia de las ondulaciones del terreno, referido a un plano horizontal, que conjuntamente con la introducción de un factor catalizador de escorrentía (**F_{ce}**), que afecta a los factores **F_w** y factor hídrico **F_{hi}**, facilita clasificar por categorías de intensidad, las zonas de los valles de inundaciones estimados según la geomorfología. Posteriormente este factor **F_{ce}** se le introdujo utilizando el álgebra de mapas en un SIG.

Como novedad principal se presenta una metodología para la estimación de los escenarios de peligros por inundaciones que incluyó un factor catalizador por las escorrentías fluvial.

ABSTRACT

The risks scenarios identification is one from the first tasks to attack in the studies of risks. For it, the objective of the present work is the establishment of a semi-automated methodology of identification of the risks scenarios for floods intense rains that happen in a mountainous area, and that they affect to the lowest altitudes, due to the flow of additional water in the fluvial net, using the facilities that have the GIS. For it, the factor of the rains **LI** is affected in a positive way, what implies that there would be an increment of the factor of humidity **F_w**, what happens in the practice when it rains in the mountain and in the plain they accumulate the waters in the valleys of floods.

For the mountains of Guamuhaya and their adjacent valleys, it was carried out a geomorphologic study where the valleys of potential floods were determined, it was calculated by means of the digital pattern of elevations and an appropriate procedure the addresses of the fluvial glide and the value of the convergence or divergence of the land waves, referred to a horizontal plane that jointly with the introduction of a catalytic factor of fluvial glide (**F_{ce}**) that affects to the factors **F_w** and the accumulation of the waters factor **F_{hi}**, it facilitates to classify for categories of intensity, the areas of the estimated floods valleys according to the geomorphology. Later on this factor **F_{ce}** was introduced using the algebra of maps in a GIS.

As main novelty a methodology is presented for the estimate of the risks scenarios by floods that it included a catalytic factor for the fluvial glide.

INTRODUCCION

Para abordar la investigación de los posibles peligros que pueden afectar una la región es importante la zonación de los espacios del territorio donde están creadas las condiciones naturales o inducidas por la susceptibilidad a ocurrencia de un fenómeno peligroso, independientemente de su probabilidad e intensidad.

Para que existan inundaciones en determinadas zonas es necesario que primero esté el factor externo que constituyen las lluvias, en segundo término que el modelo digital de elevaciones exprese la morfología adecuada para que la acumulación de grandes volúmenes de agua sea factible y en tercer lugar que las rocas y el suelo tengan la capacidad suficiente para retener el volumen hídrico.

Es por ello que el objetivo del presente trabajo es presentar una metodología semiautomatizada para la identificación de los escenarios de peligros por inundaciones debido a lluvias intensas que ocurren en una zona montañosa y que afectan a los pisos altitudinales más bajos, debido a la escorrentía de la red fluvial, introduciendo un factor catalizador por las escorrentías de los ríos, las que son considerables en las zonas montañosas, este factor debe de ser capaz de describir y clasificar según categorías la escorrentía fluvial, para ser introducido al factor de susceptibilidad a la humedad de los suelos y al factor disparador por lluvias. Utilizando el desarrollo actual de la cartografía digital y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) hacen que el uso de estas herramientas sea ineludible si se quiere desarrollar una investigación en la rama de las ciencias de la Tierra, con rigor científico y actualidad.

Para la investigación se utilizaron algunos de los mapas temáticos generados en el proyecto Zonación de los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados, al Macizo Montañoso de Guamuhaya, perteneciente al Programa Nacional Desarrollo Sostenible de la Montaña, por lo que se contó con la información de los mapas topográficos, de red fluvial, de pendientes, hipsométrico, lluvias en 24 horas para un periodo de recurrencia de 5-100 años, de evaporación mensual y anual, así como el mapa hídrico de la zona de estudio.

Como novedad se presenta una metodología para la estimación de los escenarios de peligros por inundaciones teniendo en cuenta el factor catalizador por las escorrentías fluvial las que son considerables en las zonas montañosas teniendo en cuenta en el factor disparador por lluvias y factor de susceptibilidad a la humedad de los suelos y el relieve.

El trabajo contribuye a incrementar el conocimiento científico aplicado a la interrelación del sistema naturaleza-sociedad y al desarrollo sostenible de esta importante área montañosa de nuestro país. Ya que con la aplicación de esta metodología se obtiene la estimación de los escenarios de peligros para lluvias e inundaciones siendo esta información una valiosa herramienta para la Defensa Civil, el Órgano de la Montaña y otros organismos relacionados con el desarrollo sostenible, ya que puede ser utilizada para la gestión y el manejo de los peligros de las zonas montañosas.

MATERIALES Y METODOS

Materiales

Para la investigación se utilizaron los mapas temáticos generados en el proyecto Zonación de los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados, al Macizo Montañoso de Guamuhaya (Cuevas et al., 2004) perteneciente al Programa Nacional Desarrollo Sostenible de la Montaña y soportados todos de manera digital sobre la plataforma del SIG implementado (Cuevas et al., 2005b). Entre esos mapas que se utilizaron en esta etapa se encuentran:

- Modelo Digital de Elevaciones (1:50 000)
- Mapa de la red fluvial (1:50 000)
- Mapa de pendientes (1:50 000)
- Mapa Hipsométrico (1:50 000)
- Mapas de evaporación mensual y anual (1:50 000)
- Mapas de Precipitaciones Máximas en 24 horas para períodos de Recurrencia 5, 10, 15, 20, 50 y 100 años (1:50 000)

Métodos

En las zona montañosas cuando ocurren las lluvias en las partes más altas, existe un fenómeno de escorrentía a través de la red fluvial hacia los lugares más bajos, si en estos lugares son posibles inundaciones, entonces el factor de las lluvias (LI) se vería afectado de una manera positiva, lo que implica que habría un incremento de este parámetro, esto es lo que ocurre en la práctica cuando llueve en la montaña y en el llano se acumulan las aguas en los valles de inundaciones.

Para que existan inundaciones en determinadas zonas es necesario que:

- ☐ Exista el factor externo que constituyen las lluvias (Fil, LI).
- ☐ El modelo digital de elevaciones exprese la morfología adecuada para que la acumulación de grandes volúmenes de agua sea factible (Fhi).
- ☐ Las rocas y el suelo tengan la capacidad suficiente para retener el volumen hídrico (Fw)

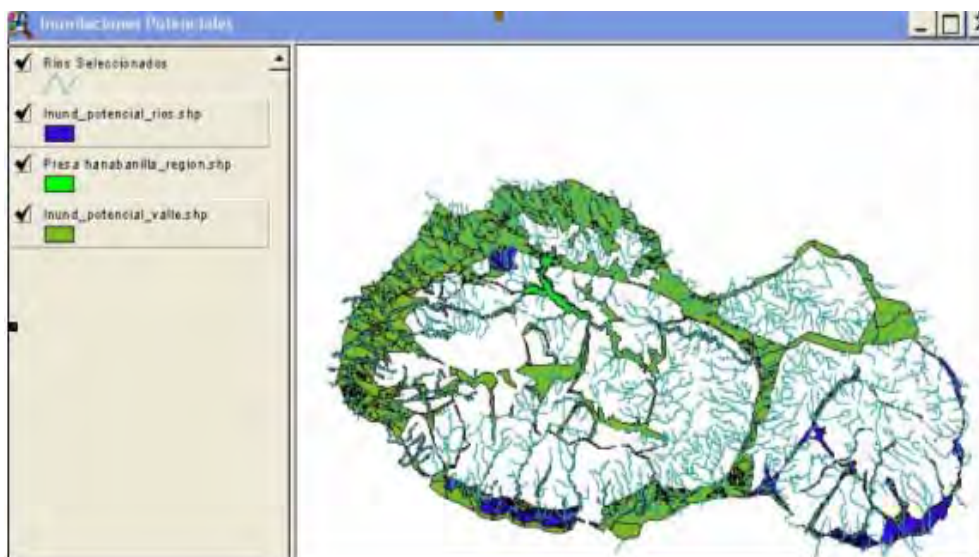


Fig.1 Mapa de inundaciones potenciales, según análisis geomorfológico. Vista desde el Sistema de Información Geográfica (SIG).

Para el caso del área de estudio se hizo un estudio geomorfológico (Fig. 1) donde se determinaron estos planos y se tuvo en cuenta además la intensidad de la lluvia (LI). Posteriormente este factor catalizador de escorrentía (Fce) se le adicionó utilizando el álgebra de mapas en el SIG. Con estas condiciones se puede formular que una valoración del potencial de peligro por inundaciones P_i puede ser expresado como:

$$P_i = F_{hi} * F_w * F_{II}$$

Donde:

F_{hi} .- factor de susceptibilidad hídrico, que depende de la curvatura tangencial del MDE y de la pendiente del mismo

F_w .- factor de susceptibilidad de humedad dado por el nivel de retención de las aguas en el suelo y estimado según el grupo genético de suelo (ver Tabla IV.8)

F_{II} .- Factor de disparo, dado por el nivel de las precipitaciones máximas en 24 horas

Como se ha expresado anteriormente en zonas montañosas cuando ocurren las lluvias en las partes más altas, existe un fenómeno de escorrentía a través de la red fluvial hacia los pisos altitudinales más bajos, ocurriendo inundaciones, cuando las condiciones de susceptibilidad hídrica y humedad son favorables.

RESULTADOS Y DISCUSION

Metodología para la identificación de escenarios de peligros por inundaciones.

Primeramente para la realización de esta metodología se debe de realizar una clasificación según las categorías de la escorrentía fluvial (factor catalizador de escorrentía), teniendo en cuenta el mapa de lluvias mensuales (Fig.2).

El siguiente paso a realizar será obtener una categorización de los ríos realizando un análisis del mapa anteriormente clasificado con el mapa de la red fluvial de la zona (Fig.3)

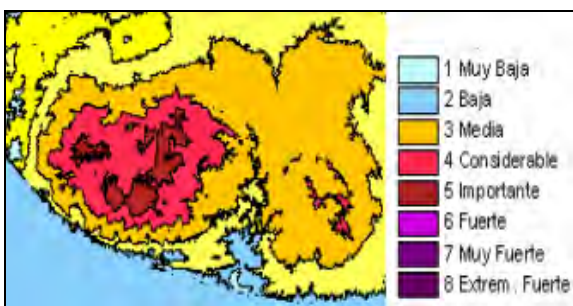


Fig.2 Mapa de clasificación lluvia media

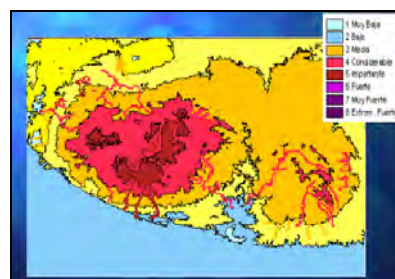


Fig. 3. Factor catalizador de escorrentía

Como se ha mencionado se realizó un análisis geomorfológico determinándose la distribución de las zona de los valles de inundaciones. En la Fig. 4, se puede apreciar los planos de inundaciones de valles (verde) y de ríos (azul).

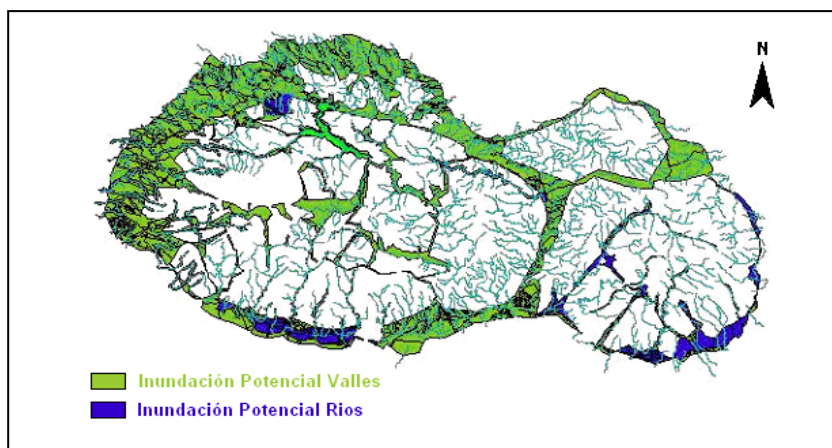


Fig. 4 Mapa de inundaciones potenciales, según análisis geomorfológico

Como paso a seguir en la realización de esta metodología se procede a la clasificación de las zonas de los valles de inundación, con los valores del factor de escorrentía (Fce). Como se dijo anteriormente para que exista un potencial hídrico, primero deben de ocurrir acumulaciones de agua y segundo que su escurrimiento sea lento. Estas condiciones se pueden analizar a través del modelo digital de elevaciones (MDE) al que se le calculan las pendientes y la curvatura tangencial (CT), como es sabido las pendientes bajas condicionan un escurrimiento lento del drenaje superficial, mientras que los valores más positivos de la C.T. significa que existe convergencia en la dirección de acumulación de las aguas de superficiales.

Siendo el factor hídrico directamente proporcional a la cantidad de agua acumulada e inversamente proporcional a la pendiente del terreno (Fig. 5).

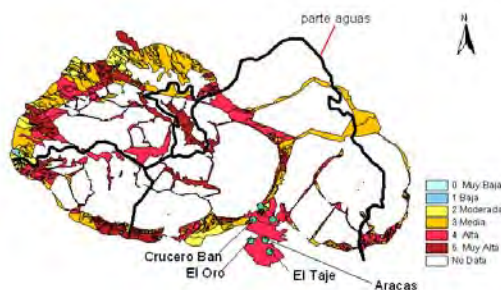


Fig. 5 Introducción factor de escorrentía para categorizar los valles de inundación potencial

Como resultante de las clasificaciones por categoría de las escorrentías fluviales (factor catalizador de escorrentía) y la clasificación de las zonas de los valles de inundación, con los valores del Fce, se obtiene el factor de humedad con factor catalizador de escorrentía, como se muestra en la Fig. 6.

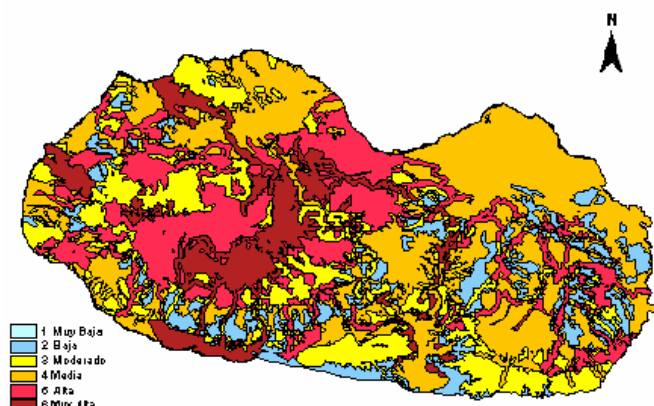


Fig. 6 Factor de humedad con factor catalizador de escorrentía

El siguiente paso a seguir es la obtención del factor disparador de lluvias modificado con factor catalizador de escorrentía el cual obtenemos partiendo del mapa de clasificación lluvia media mensual, aplicando el factor de escorrentía, como podemos observar en la Fig. 7

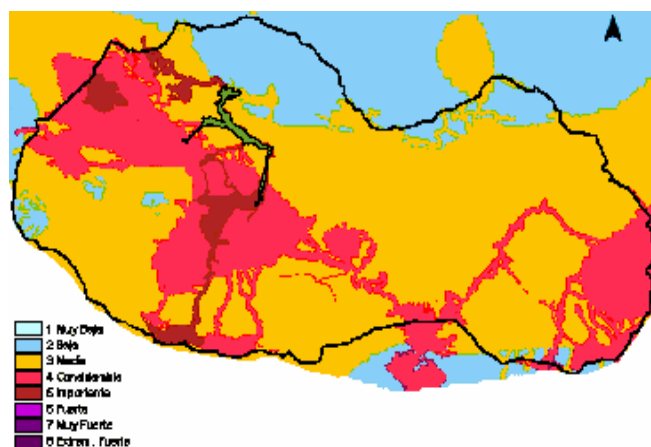


Fig. 7. Factor disparador de lluvias en 24 horas, teniendo en cuenta (Fce)

Fig. 7. Factor de humedad con factor catalizador de escorrentía

Otro factor a tener en cuenta para el desarrollo de esta metodología es el Factor hídrico, que como se puede observar en la Fig.8, nos muestra las características del relieve de la zona que son favorables a la ocurrencia de acumulación de agua.

Utilizando las bondades que nos brindan en la actualidad los sistemas de información geográfica y a través del álgebra de mapas se obtiene la identificación del escenario de peligro por inundaciones Fig. 9.

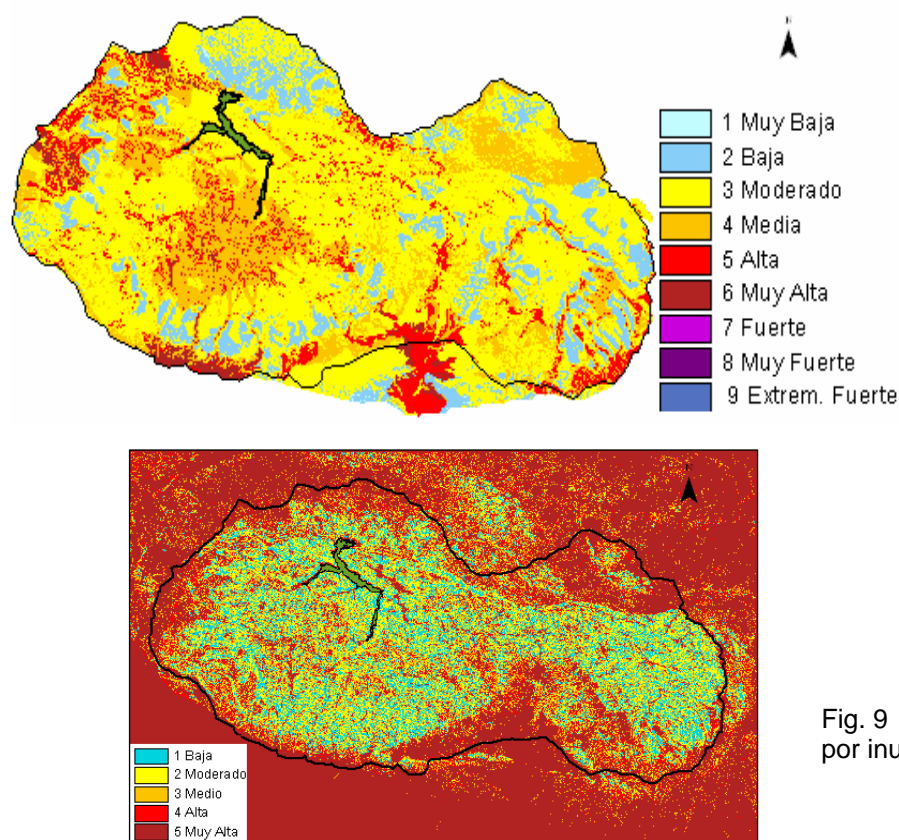


Fig. 9 Mapa de escenario de Peligros por inundación

Posteriormente y teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia en que este fenómeno puede ocurrir se logra obtener los mapas de peligros para diferentes periodos de recurrencia. Un ejemplo de esto se muestra en la Fig.10.

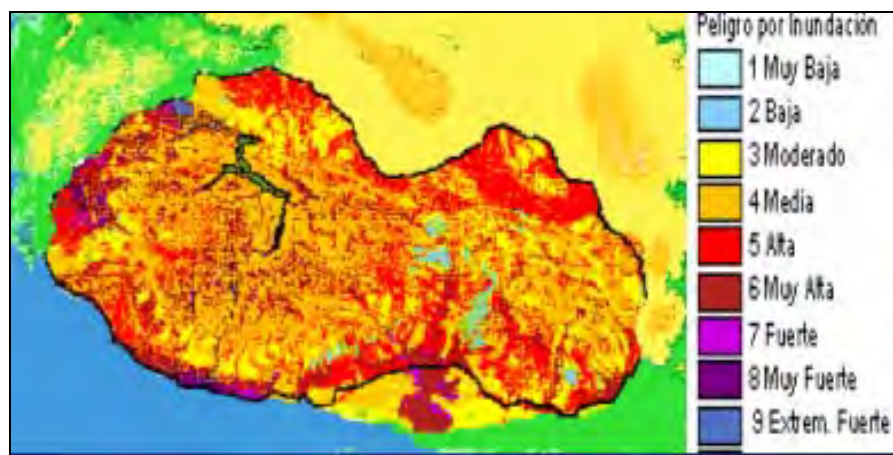


Fig. 10 Mapa de Peligro de inundación para un período de recurrencia de $t = 50$ años

Como dato interesante, está el Valle de Agabama, en el Municipio de Trinidad donde según los datos de la Defensa Civil Municipal, ha habido fuertes inundaciones, pues bien según cálculos para este fenómeno utilizando la metodología que se propone, se determinó que en esta zona hay 10 asentamientos que pueden estar afectados por este fenómeno entre los que se encuentran: La Paloma, El Taje, Aracas, Fidel Claro, La Escofina, Bijalbo, Caimito, Río de Ay y Caracusey. Como se observa en la Fig. 11 estos asentamientos se encuentran en zonas en que el peligro por inundación va desde considerable hasta fuerte.

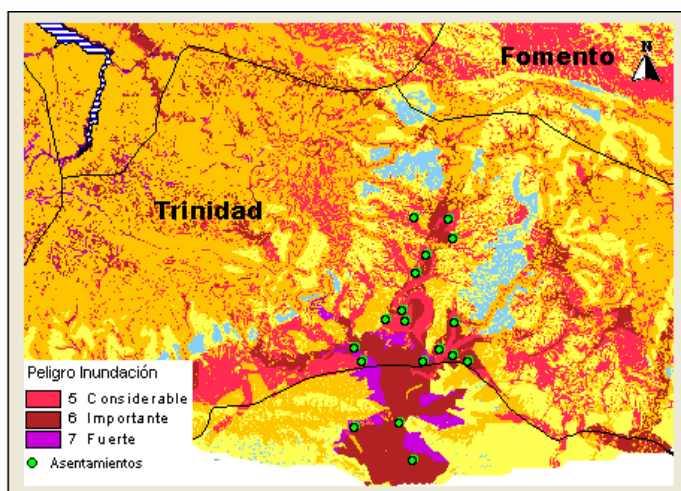


Fig. 11 Caso de Estudio del Valle de Agabama: zonas de peligros de inundaciones,

Otro ejemplo de interés se observa en la zona de peligro IMPORTANTE, aguas debajo de la Presa Hanabanilla, donde están afectados los asentamientos de Boquerones, Veguitas y Rincón del Naranjo. Esta zona ha sido reportada por la Defensa Civil y está en los antecedentes a la ocurrencia de este fenómeno, en el mapa de peligro se puede apreciar que esta zona está conectada desde el punto de vista de los lugares proclives a tener interconexión desde la presa, aspecto este que hay que tener en cuenta para la posible ocurrencia de este fenómeno (Fig.12). Todos estos mapas pueden ser consultados en el Sistemas de Base de Datos y Atlas PELIGBAS V2.0. (Polo et al., 2005)

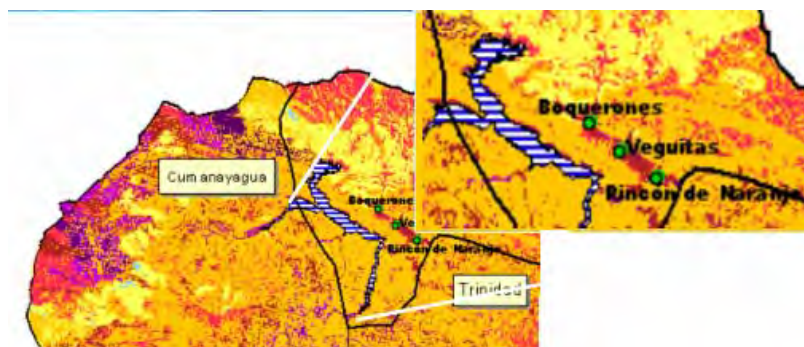


Fig 12 . Caso de estudio Presa Hanabanilla. Asentamientos afectados por peligro de inundaciones

CONCLUSIONES

- ✓ Se elaboró un procedimiento capaz de describir y determinar las zonas de influencia de la escorrentía fluvial (Fce), introduciendo este factor catalizador a los factores de susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones, lo que permitió mejorar la determinación de las zonas de peligros, validándose con datos de eventos históricos en las condiciones de zonas montañosas de Cuba.
- ✓ Se desarrollo una metodología efectiva de estimación de los escenarios de peligros para lluvias e inundaciones, utilizando de manera conveniente el procesamiento con el álgebra de mapas sobre plataforma SIG.
- ✓ Permite determinar las zonas donde existen mayor incidencia con peligros de inundaciones fluviales y terrestres

BIBLIOGRAFÍA

- Cuevas, J. L., L. A. Díaz, I. I. Pedroso, S. E. Pacheco, I. González, B. Polo, M. Guerra, Y. González, E. Jaimez y J. F. Alcaide (2002): "Mapas Temáticos para la Estimación de la Vulnerabilidad, Peligros y Riesgos Geólogo-Geofísicos en el Macizo Montañoso de Guamuhaya" [inédito]. Inf. Result., Archivo Dpto. Geof. Reg. y Riesgos, Inst. Geof. y Astron., La Habana, 41 pp + 17 anex. gráf.
- Cuevas, J. L., B. Polo, M. Fundora, I. I. Pedroso, L. A. Díaz, J. F. Alcaide, E. Jaimez, Y. González, M. Guerra, B. E. González, J. García, G. Saura, R. Osés, L. D. Pérez y W. Hernández (2004). "Zonación de los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados en los Macizos Montañosos de Guamuhaya y Guaniguanico, Cuba" [inédito]. Inf. Final Proy., Archivo Inst. Geof. y Astron., La Habana, 157 pp.
- Cuevas, J. L., B. Polo, I. I. Pedroso, M. J. Fundora, L. A. Díaz, J. F. Alcaide, E. Jaimez, M. Guerra, Y. González, S. E. Pacheco, B. E. González, J. A. García, L. D. Pérez, G. Saura, R. Osés y W. Hernández (2005a): Estimación y Zonación de Escenarios de Peligros y la Vulnerabilidad por procesos gravitacionales e hidrometeorológicos extremos, en el Macizo Montañoso de Guamuhaya, Cuba: Una Metodología de Estimación para Zonas Montañosas. Memorias GEOCIENCIAS 2005 (I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra – I Simposio de Sismicidad y Riesgos Geológicos), La Habana, 5-8 Abril, ISBN 959-7117-03-7, GEO2-31 24 pp.
- Cuevas, J. L., B. Polo, M. J. Fundora, I. I. Pedroso, L. A. Díaz, Y. González, M. Guerra, J. F. Alcaide y E. Jaimez (2005b): SIG Riesgos Guamuhaya v 1.0: Sistema de Información Geográfica de peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos inducidos en el macizo Montañoso de Guamuhaya. Manual de Usuario, Inst. Geof. y Astron., La Habana, 16 pp.
- Polo, B. y J. L. Cuevas (2005): Peligbas: Sistema de Base de Datos de Peligros, Vulnerabilidad a Riesgos Geológicos y Tecnológicos inducidos. Herramienta para la gestión y el manejo de los peligros geológicos en el macizo montañoso de Guamuhaya. Memorias GEOCIENCIAS 2005 (I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra – I Simposio de Sismicidad y Riesgos Geológicos), La Habana, 5-8 Abril, ISBN 959-7117-03-7, GEO2-16 10 pp.

POTENCIALIDAD SISMICA DE LA ZONA DE GIBARA. UNA CONSIDERACION IMPRESCINDIBLE PARA LA CONSERVACION Y DESARROLLO URBANO

Tomás J. Chuy Rodríguez, Ricardo Alvarez Díaz y Jorge L. Noas Hernández

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Calle 17 No. 61 e/ 4 y 6, Vista Alegre, Santiago de Cuba, CP 90 400, Cuba. C-Elect: chuy@cenais.cu

RESUMEN

Históricamente en la región de Gibara, al Norte de la provincia de Holguín, se han reportado epicentros de sismos perceptibles y fuertes, el más importante de los cuales ocurrió en 1914. Este terremoto con una magnitud estimada de 6.2 Richter produjo afectaciones de 7.0 grados en la escala MSK de intensidades en la ciudad de Gibara fundamentalmente, siendo reportada su perceptibilidad hasta localidades de la provincia de Villa Clara, en la región central. En este trabajo se presenta el comportamiento espacio – temporal de la actividad sísmica vinculada a este sismo, así como el mapa de distribución de las intensidades.

En consecuencia, el nivel de peligro sísmico a que está sometido el patrimonio edificado de la ciudad de Gibara, se manifiesta en el nivel de conocimiento alcanzado sobre este territorio y cuyos detalles, junto a la sismicidad actual de la región y el comportamiento de la liberación de la energía en su principal zona sismogénica, se presenta en este trabajo. De esta forma se sientan las bases para trazar una estrategia local que permita la conservación y revitalización de centros y sitios de valor histórico – arquitectónico, así como para la proyección de nuevas obras en el territorio.

ABSTRACT

Historically in the region of Gibara, to the North of the Holguin province, epicentres of perceptible and strong earthquakes has been reported, the most important of these occurred in 1914. This quake with an estimated magnitude of 6.2 Richter caused damages of 7.0 grades in the MSK scale of intensities fundamentally in the city of Gibara, being reported even in locations of the Villa Clara province, in the central region. In this work the time – spaces behaviour of the seismic activity related with this quake is presented, as well as the map of distribution of the intensities.

In consequence, the level of seismic hazard that are subjected the patrimonial constructed structures of the city of Gibara, is showed in the level of knowledge reached on this territory and whose details, together with the recent seismicity of the region and the energy release behaviour in their principal seismogenic zone, are presented in this work. In this way they feel the bases in order to trace a strategy site that permits the conservation and reconstructing of centres and sites of historical – architectural value, as well as for the projection of new structures in the territory.

EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD SISMOGENICA DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS TECTÓNICAS REGIONALES

En Cuba no existe el mismo nivel de potencialidad sísmica en todas sus partes, lo cual se debe a la presencia de dos tipos de actividad: de entreplacas y de intraplacas. La Sismicidad de entreplacas es propia de la región Suroriental, que se destaca por la frecuencia con que ocurren en ella terremotos, que históricamente han alcanzado altos valores de magnitud e intensidad, generados en la Zona Sismogénica Bartlett-Caimán (Oriente), que constituye el límite entre las placas del Caribe y Norteamérica.

La Sismicidad de intraplacas es característica del resto del territorio y está asociada a estructuras de menor potencial sísmico. Los eventos sísmicos en estas zonas se generan con menos frecuencia y tienen menor energía en comparación con los de entreplacas.

Por la ubicación que presenta el área de estudio y los valores de magnitudes máximas a esperar de las zonas sismogénicas por sus condiciones sismotectónicas (Chuy et al, 1991), ésta puede ser afectada por terremotos que tengan su epicentro en las de Sabana, Cauto-Norte, Cauto-Nipe, Baconao y Cubitas fundamentalmente, que son las más cercanas (**Figura 1**). No obstante, debemos señalar que las ZS Española Norte y especialmente Oriente, aunque más alejadas, también han tenido y tienen alta influencia sobre el área (Chuy et al, 1992).

La ZS Sabana constituye un sistema de fallas submarinas escalonadas cortadas por fallas transversales de menor orden. En el sector denominado Sabana 2, el más cercano a la zona de Gibara, tuvo lugar el terremoto más fuerte (Magnitud 6.2 Richter) de la provincia holguinera, que produjo una intensidad de 7.0 grados MSK en esta localidad. Los terremotos generados por este sector pueden alcanzar una magnitud máxima de 6.5 Richter.

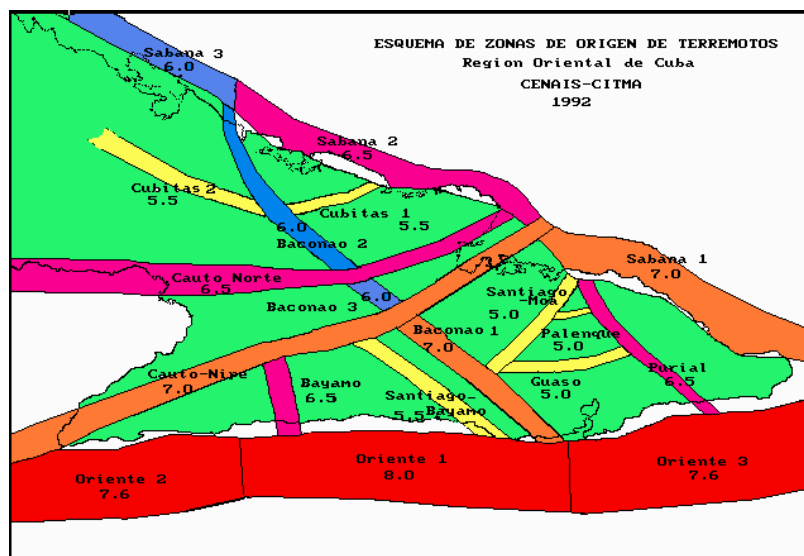


Figura 1. Zonas Sismogénicas de la región Oriental de Cuba. Tomado de Chuy et al, 1991.

La ZS Cauto - Norte está asociada a una estructura flexodisyuntiva que separa la Depresión Nipe y el Grupo Maniabón. Su potencialidad está dada por sus características sismotectónicas, por la que los sismos en ella pueden alcanzar hasta 6.5 grados de magnitud Richter.

La ZS Cauto-Nipe tiene una alta actividad sísmica reflejada en la ocurrencia de sismos fuertes, destacándose los que afectaron seriamente a la ciudad de Bayamo, el mayor de los cuales tuvo $I = 8.0$ MSK. En esta zona pueden ocurrir terremotos de hasta 7.0 grados de magnitud Richter.

La ZS Baconao bordea el flanco Norte de la Gran Piedra y continúa cerca de Contramaestre hasta Manatí. La mayor actividad sísmica la presenta en su intersección con la zona Oriente, siendo ésta más bien débil hacia su sector Occidental. Este último sector, que es el más cercano, puede generar sismos de magnitud 6.0 Richter.

La ZS Cubitas representa el límite entre las zonas del tipo miogeosinclinal y eugeosinclinal. Su mayor actividad se manifiesta en la intersección con otras fallas. El último sismo significativo ocurrió en ella

en 1953 y produjo intensidades de 5.5 MSK en Velasco. Su potencialidad indica que en ella pueden tener lugar eventos de magnitud 5.5 Richter.

La ZS Oriente o Bartlett - Caimán es un límite de placas, por lo que representa el mayor peligro para la región oriental de Cuba, incluyendo el área de estudio. En ella se señalan 22 reportes de terremotos fuertes (Intensidad ≥ 7.0 MSK) de un total de 28 que se han producido en toda la historia sísmica de nuestro país. Dos de estos eventos alcanzaron intensidad 9.0 MSK en la ciudad de Santiago de Cuba. Los estudios indican que en ella pueden generarse, incluso, sismos de magnitud 8.0 Richter.

La ZS Española Norte constituye la prolongación hacia el Este del límite entre las placas del Caribe y de Norteamérica. La componente principal del movimiento es de desplazamiento lateral siniestro, aunque posee una componente de subducción. Esta zona posee una alta sismicidad, alcanzando algunos terremotos magnitudes superiores a 8.0 Richter, aunque su potencialidad alcanza hasta 8.3 Richter.

La influencia de Zonas Sismogénicas regionales como las señaladas anteriormente es de obligatoria observación, porque en muchas ocasiones el mayor peligro sísmico a que una zona está sometida no proviene sólo de las zonas activas más cercanas a ella, sino además de zonas vecinas en las que sus condiciones sismotectónicas le imponen una marcada peligrosidad.

CARACTERIZACION DE LA SISMICIDAD

La zona de Gibara, en correspondencia con los datos de terremotos registrados instrumentalmente, manifiesta un nivel bajo de actividad sísmica. Las profundidades de los eventos no superan en general los 30 Km. y no existe una concentración de los mismos en un sitio determinado. La magnitud de los terremotos que se registran con posterioridad a 1998 en el área no sobrepasan los 3.4 Richter (Figura 2).

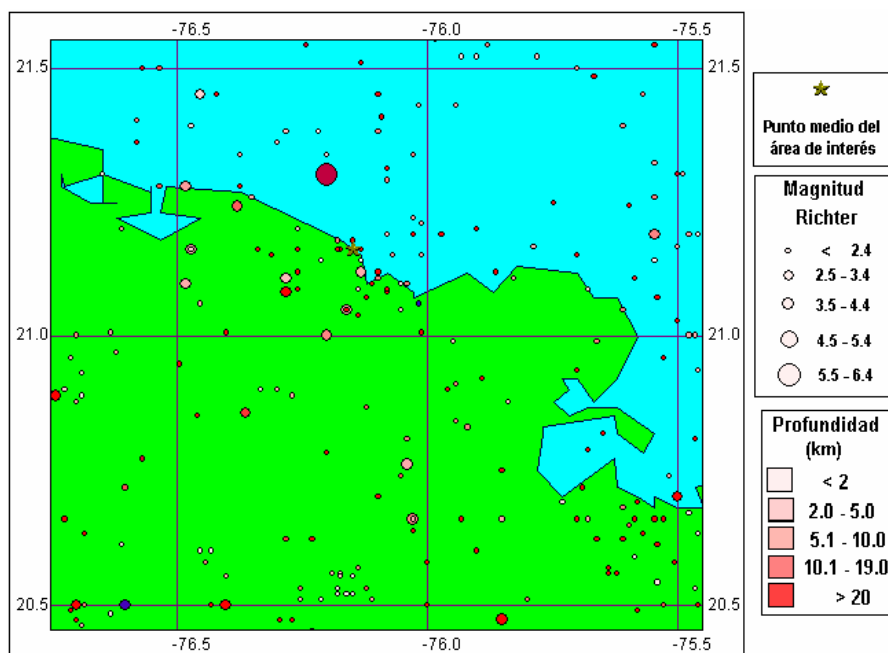


Figura 2. Mapa de epicentros reportados en el período 1502 – 2005.

Sin embargo, es de significar la ocurrencia en 1914 de un sismo de Magnitud Richter 6.2, que hizo sentir sus efectos hasta la provincia de Villa Clara. En prácticamente toda la región Oriental produjo considerable alarma y en particular, en la ciudad de Gibara las intensidades alcanzaron 7.0 grados por la escala MSK (**Figura 3**). En la **Figura 4** se presenta el mapa de isosistas de este terremoto. Nótese los diferentes grados de intensidad que se reportan en la zona Oriental y la extensión del área de 7.0 grados con centro en la ciudad de Gibara. Este sismo tuvo además varias réplicas perceptibles que se cartografiaban en la **Figura 5**.



Figura 3. Edificaciones afectadas por el sismo de 1914 en la ciudad de Gibara. Izquierda: Antiguo Ayuntamiento que sufrió afectaciones en paredes y caída del cielo raso del portal. Derecha: Antigua Aduana (actual Museo) cuyo segundo piso descendió varios cm y sufrió daños en las columnas y vigas como la del segundo piso que se conserva hasta la actualidad.

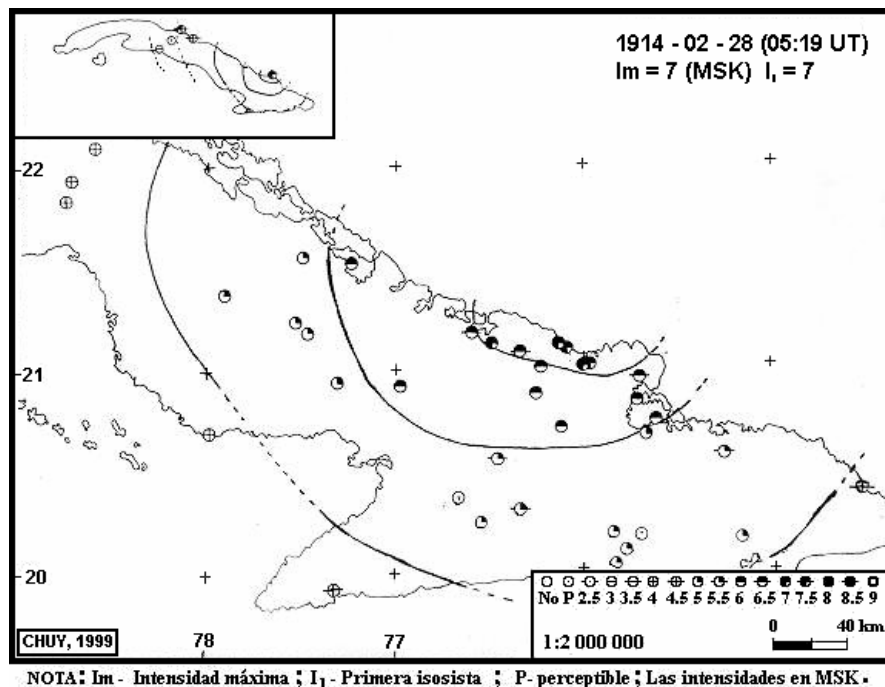


Figura 4. Mapa de isosistas del terremoto de Gibara de 1914. Tomado de Chuy, 1999.

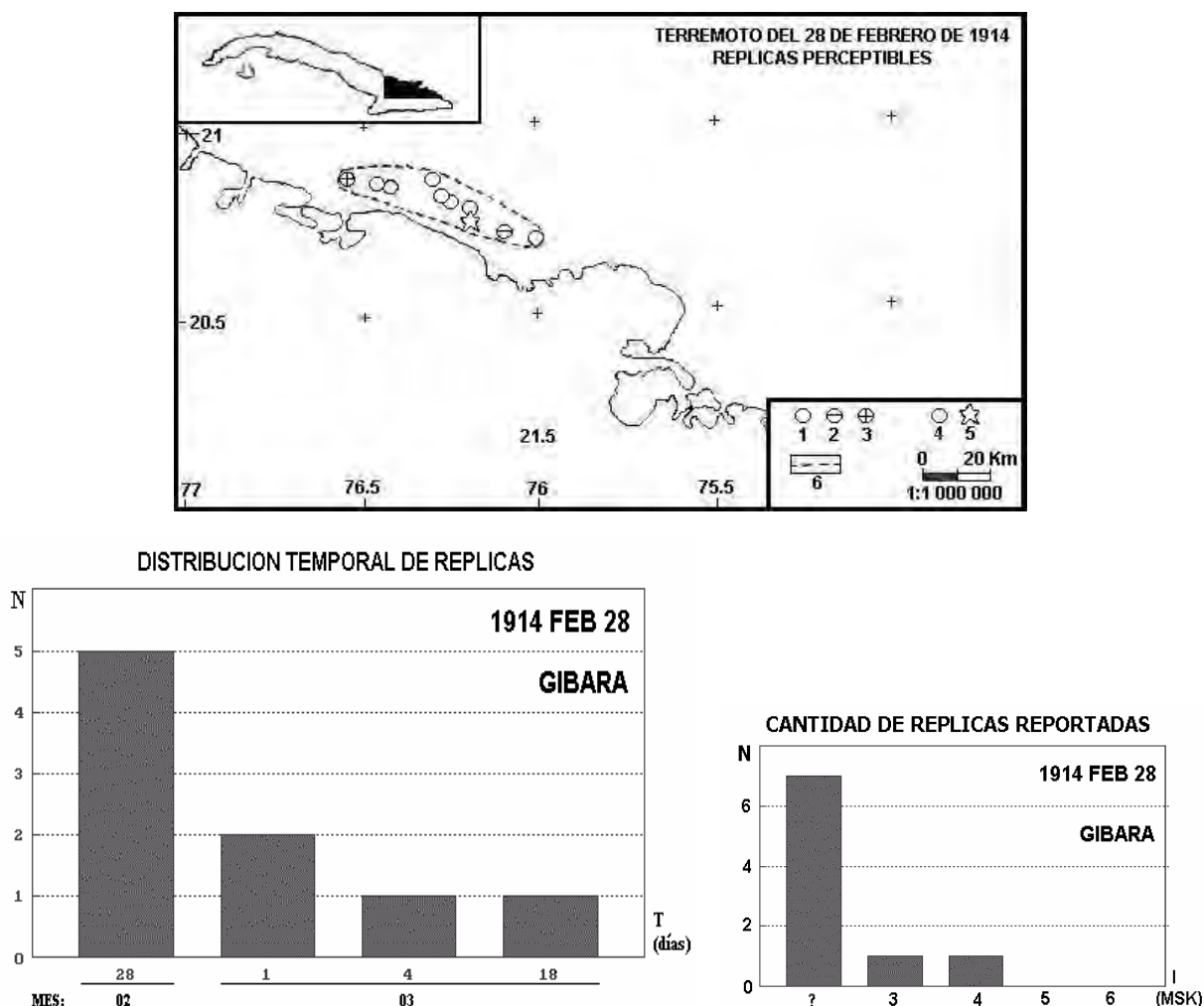


Figura 5. Réplicas perceptibles del sismo de Gibara de 1914.

Es también importante destacar la ocurrencia de terremotos en otras zonas, que han alcanzado o pudieron alcanzar diferentes grados de perceptibilidad en el área. Los sismos de Intensidad 9.0 MSK que se señalan en la ZS Oriente, afectaron seriamente áreas de la provincia de Santiago de Cuba en 1766 (Magnitud Richter $M_s = 7.6$) y 1852 ($M_s = 7.3$), reportándose de ambos considerables daños en toda la región oriental, en particular en el territorio de la provincia Holguín se señalan afectaciones de hasta 7.0 grados MSK y pudieron ser de no menos de 6.0 MSK en Gibara. Otros terremotos que más recientemente han afectado, pero con menor fuerza, al área de estudio desde la región Suroriental se señalan en 1932 y 1947, los cuales debieron producir intensidades sísmicas de 6.0 y 5.0 grados MSK, respectivamente en la ciudad de Gibara y sus alrededores.

Debemos señalar que con epicentro en la Zona Sismogénica Cauto-Nipe, aunque en la provincia Granma, se reportan sismos en 1551 ($M_s = 5.8$) y 1624 ($M_s = 5.2$), que produjeron 8.0 y 7.0 grados

MSK en la ciudad de Bayamo. Estos terremotos debieron producir intensidades de alrededor de 6.0 MSK en la zona de Gibara.

Aunque de menor envergadura, en 1912 en la ciudad de Holguín se reporta un sismo perceptible con intensidad 4.0 MSK, que debió sentirse también en Gibara, mientras que en la zona de Velasco se han producido varios terremotos, de los cuales el más importante tuvo lugar en 1953 con intensidad 5.5 MSK.

Desde el punto de vista del potencial riesgo a que esta localidad está sometida, son de considerar otros sismos fuertes generados en zonas activas al Norte y Sur de la vecina isla de La Española. En esa región se reportan históricamente varios terremotos de consideración, incluyendo uno de magnitud $M = 8.2$ Richter en 1842, cuya área de perceptibilidad cubrió toda nuestra región oriental, señalándose incluso que en esta ciudad pudo producir hasta 6.0 grados MSK.

Como un complemento al análisis del comportamiento espacial de la sismicidad, se consideraron en algunos de estos sectores valoraciones del proceso de liberación de las deformaciones (LD) en las Zonas Fuente. Este parámetro, de forma simplificada, se puede caracterizar a través de los gráficos de liberación de energía (E), confeccionados mediante la sumatoria de las raíces cuadradas del valor alcanzado, esto es,

$$LD = \sum(E)^{1/2} \quad E \text{ en ergios}$$

convirtiendo los valores de magnitud de los terremotos seleccionados de los diferentes catálogos considerados (Alvarez et al, 1999; Chuy, 1999, 2000; SSN, 2005) a energía liberada en cada caso. De esta forma fue posible caracterizar el comportamiento temporal de liberación de energía en la zona sismogénica Sabana (**Figura 6**).

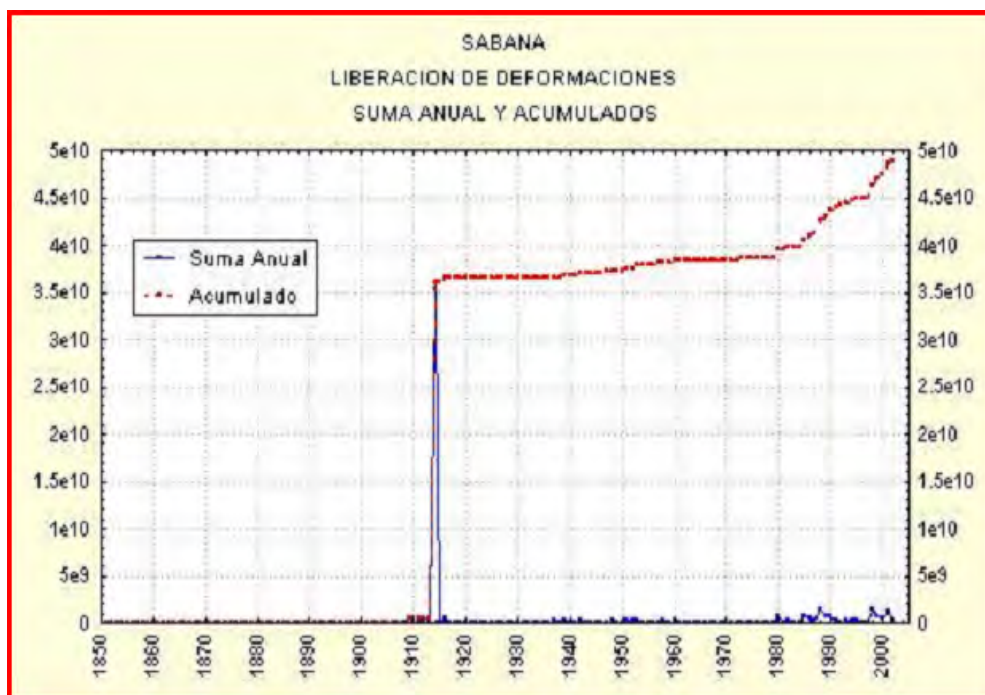


Figura 6. Esquema de Liberación de las Deformaciones (LD) de la ZS Sabana. Tomado

de Chuy, 2003.

Se evidencia en esta figura que la actividad empieza a notarse después del sismo de Gibara de 1909 de $M = 3.6$ y que se hace notable con el terremoto de 1914 ($M = 6.2$) con epicentro en esa propia zona, en la que produjo intensidades de 7.0 MSK en esta comunidad. Sólo después de 1980 con el incremento del número de estaciones que monitorean el sector, se ha mantenido un valor estable de la pendiente del gráfico de liberación de deformaciones por terremotos de baja energía, marcado ese propio año por el sismo de Puerto Padre de intensidad 4.5 MSK ($M = 3.9$). El primer reporte de actividad se remonta a 1852, pero a estos sismos no fue posible evaluarles su valor de intensidad y magnitud.

CARACTERIZACION DE LA INFLUENCIA DE ZONAS SISMOGENICAS A TRAVÉS DE LA ESTIMACIÓN DEL EFECTO SÍSMICO

Como no se dispone de registros acelerográficos de terremotos fuertes con incidencia en esta ciudad, se simularon los movimientos del terreno generados por un terremoto de forma empírica, para obtener las curvas de atenuación para la delimitación de la amplitud máxima y el espectro de amplitud de las ondas sísmicas. En este caso se presenta la modelación para el Terremoto de Proyecto en la zona sismogénica de mayor potencialidad sísmica, Oriente 1 y en la más cercana, que es Sabana 2. En esta última se reporta el epicentro del terremoto del 28 de febrero de 1914. Los valores de aceleración horizontal máxima (A_{hmax}) para los acelerogramas sintéticos de los Terremotos de Proyecto utilizados (**Figura 7**), considerando suelos medios en la ciudad de Gibara, se presentan en la **Tabla 1**. Los espectros de Fourier y de Respuesta derivados de estos registros se presentan en la **Figura 8** para la Zona Oriente 1 y en la **Figura 9** para la Zona Sabana 2.

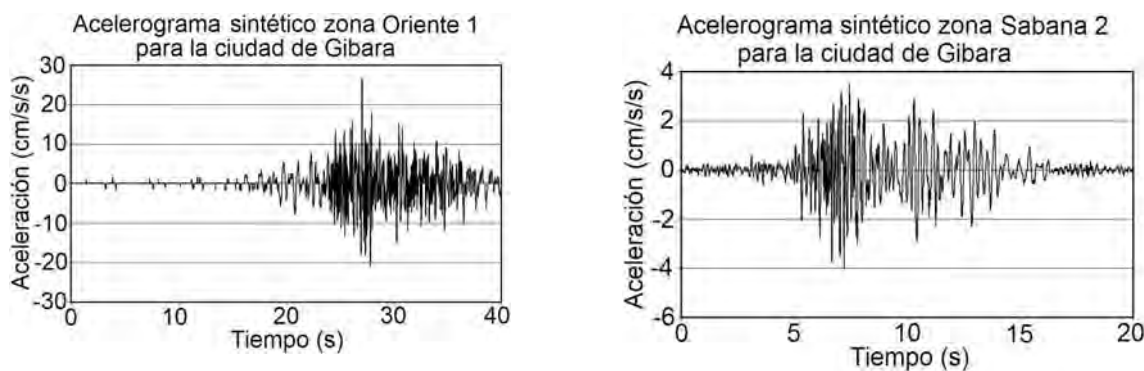


Figura 7. Registros de acelerogramas sintéticos modelados para la componente horizontal. Izquierda: Zona Oriente 1. Derecha: Zona Sabana 2.

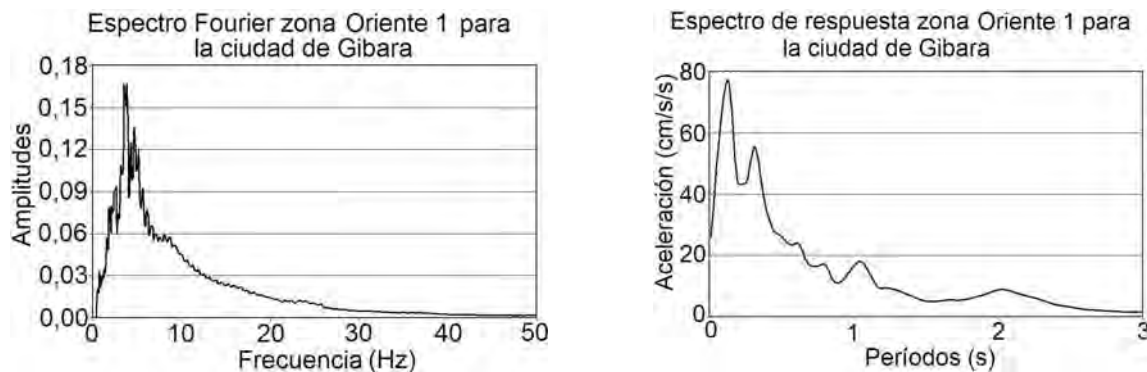


Figura 8. Espectros de Fourier y de Respuesta para la Zona Oriente 1.

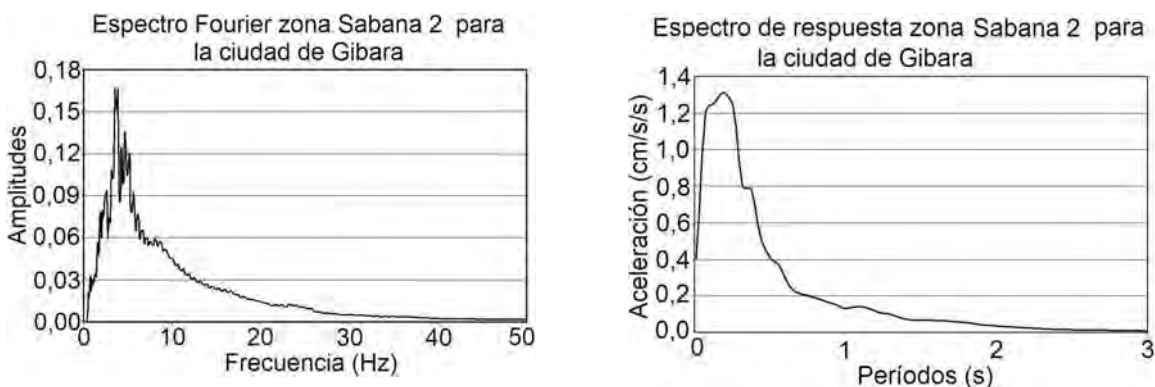


Figura 9. Espectros de Fourier y de Respuesta para la Zona Sabana 2.

Tabla 1. Valores de aceleración horizontal máxima para las Zonas Sismogénicas consideradas.

Zona Sismogénica	Magnitud del Terremoto de Proyecto	Ahmax (cm/s ²)	Tiempo del máximo (seg)
Oriente 1	6.9	26.3	27.08
Sabana 2	3.4	4.01	7.21

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PELIGROSIDAD SÍSMICA PARA DIFERENTES NIVELES DE AMENAZA

El estimado del peligro sísmico se basa en el conocimiento de dónde y con qué magnitud y frecuencia ocurren los eventos sísmicos en una región o área determinada, y también cómo se atenúan los efectos de los terremotos desde el foco o hipocentro hasta el sitio en cuestión. Para realizar estos estimados se debe tener en cuenta el modelo matemático de ocurrencia de los terremotos, los parámetros de las Zonas Sismogénicas (ZS), el régimen sísmico y la ley de atenuación de la variable que se utilice.

En nuestra región se utilizan los modelos poissoniano y del terremoto característico, debido a que los valores determinados en ellos se ajustan a la historia sísmica conocida. El modelo analizado por Chuy (1999), se caracteriza por un campo macrosísmico en forma de isosistas elípticas (Alvarez y Chuy, 1985), con el cual se pudo caracterizar una buena parte de las zonas sismogénicas del país.

Para la atenuación se ha tenido que recurrir a la transformación a partir de la intensidad sísmica, aplicando relaciones logarítmicas y lineales de uso internacional (Trifunac y Brady, 1975), por carecer de datos reales de aceleración u otros parámetros dinámicos del movimiento del terreno.

El último elemento a tener en cuenta es el del algoritmo de cálculo. Nuestra institución utiliza el conocido por SACUDIDA (Alvarez, 1995), que nos da la posibilidad de aplicar diferentes algoritmos de cálculo, a la vez que permite usar diversos modelos de atenuación y de frecuencia de ocurrencia de terremotos dentro de una zona sismogénica.

Confección de las curvas probabilísticas de aceleración horizontal y sus valores de intensidad equivalente

A partir de los valores de los períodos de recurrencia (**Figura 10**) se confeccionaron, utilizando un modelo poissoniano de ocurrencia de sacudidas, los gráficos de probabilidad en los que no son igualados o excedidos para el caso de suelos medios, valores dados de aceleración máxima horizontal para tiempos de vida útil de 10, 20, 50, 70, 100 y 200 años, los cuales se muestran en la **Figura 11**.

CONCLUSIONES

Partiendo de las curvas probabilísticas y fijando el valor del tiempo de espera, que habitualmente es el tiempo de vida útil de las edificaciones, se determina qué nivel de seguridad se desea emplear (valor de probabilidad) y se busca en el eje X el valor de aceleración máxima. Los valores requeridos según la NC 46:99 "Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción", considerando perfiles de suelos medios S2, que se corresponden en general con esta comunidad, para un tiempo de vida útil de 50 años y una probabilidad del 15 % de que ocurra el efecto esperado de Peligro en valores efectivos. En consecuencia, se obtiene que la aceleración horizontal efectiva a considerar sería de 73.7 cm/seg² para perfiles de suelos tipo S2, correspondiendo a 6.0 grados de intensidad equivalente en la escala MSK. Por supuesto, en dependencia de las condiciones ingeniero – geológicas puntuales del sitio de alguna obra o instalación particular, estos valores pueden sufrir modificaciones.

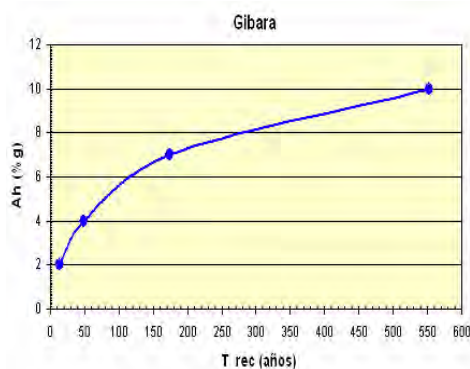


Figura 10. Tiempos de recurrencia en años para la aceleración horizontal máxima.

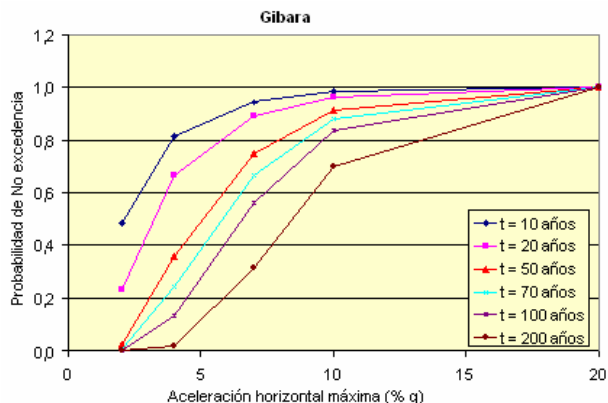


Figura 11. Curvas probabilísticas de aceleración horizontal máxima para la ciudad de Gibara considerando diferentes tiempos de vida útil.

Estas consideraciones acerca de estos valores nos permiten trazar una estrategia comunitaria sostenible para la conservación y revitalización de sus instalaciones y sitios con valor histórico – arquitectónico, así como para el planeamiento de nuevas obras.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, J.L. (1995): Sacudida. Versión 2.0. Un Programa para la estimación de la Peligrosidad Sísmica. Editorial Academia, La Habana, 59 pp.
- Alvarez, J.L. y Chuy, T.J. (1985): Isoleismal Model for Greater Antilles. Proceedings of the 3rd International Symposium on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk, Liblice Castle, Czechoslovakia, pp. 134 - 141.
- Alvarez, J.L., Chuy, T. J., García, J., Moreno, B. et al (1999): An Earthquake Catalogue of Cuba and Neighboring Areas. IC / IR / 99 / 1, Internal Report, UNESCO – IAEA – ICTP, Miramare, Trieste.
- Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (2005): Carpeta de programas para estimados de Sismicidad y Peligrosidad Sísmica.
- Chuy, T. J. (1999): Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas y del MES. 487 pp.
- Chuy, T. J. (2000): Estimados de peligrosidad y microzonación sísmica de Cuba utilizando terremotos perceptibles. En: Sismos perceptibles, Peligro y Vulnerabilidad Sísmica en Cuba. Editorial Academia. ISBN 959-02-0243-8.
- Chuy, T. J. (2001): Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad sísmica. En: Revista Geología y Minería. No. 4.
- Chuy, T. J. (2003): Caracterización del proceso de liberación de las deformaciones en las principales zonas sismogénicas de Cuba. Memorias del V Congreso de Minería y Geología GEOMIN 2003, Ciudad de la Habana.
- Chuy, T. J. y Alvarez, J. L. (1995): Mapa de Peligrosidad Sísmica de Cuba con fines de la Norma Sismorresistente Cubana. Reporte de Investigación. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas y del X Forum Nacional de Ciencia y Técnica.
- Chuy, T.J., Alvarez, J.L., Zapata, J.A., González, B.E. et al (1992): Investigaciones Sismológicas Complejas para el Complejo Hidroenergético Toa-Duaba. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS y ENERGOPROYECTO.
- Chuy, T. J. y Zapata, J. A. (2005): Consideraciones sobre el comportamiento reciente de la sismicidad de Cuba. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS.
- Chuy, T. J. et al (1991): Dictamen Conclusivo. Comisión Ad-hoc para la determinación de las zonas sismogeneradoras de la region oriental de Cuba y zonas aledañas. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS y ENERGOPROYECTO.
- Schenkova, V. y V. Karnik (1974): Comparison of methods of determining the largest possible earthquakes. Scientific Report, Isz. Earth Physics, No. 11.
- Servicio Sismológico Nacional de Cuba SSN (2005): Base de Datos de Terremotos registrados en Cuba. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.
- Trifunac, M.D. y Brady, A.G. (1975): On the correlation of Seismic Intensity scales with the peaks of ground motion records. En Bull. Seism. Soc.Am., Vol. 65, No. 1, pp. 139 - 162.