



## ESTUDIO DE LA CORTEZA PROFUNDA EN LA ZEE DE CUBA EN EL GOLFO DE MEJICO A PARTIR DE LOS TRABAJOS DE SÍSMICA DE REFLEXION PROFUNDA

**Gerardo Arriaza Fdz<sup>(1)</sup>, José L. Pro<sup>(1)</sup>, René. Domínguez<sup>(1)</sup>.**

**Empresa de Geofísica, Calle 19 No. 910 Esq. 8, Plaza de la Revolución, Ciudad  
de la Habana, Cuba. C. Eléct. engsofia@netcupet.cu**

### RESUMEN

En la Zona Económica Exclusiva de Cuba (ZEE), se llevaron a cabo investigaciones sísmicas de reflexión profunda en el año 2000.

Se interpretaron 71 perfiles para un volumen total de 7380 Km.

Se confeccionaron los mapas de espesores de las rocas ígneas ácidas y básicas y desde el nivel medio del mar los Mapas estructurales siguientes: Basamento, Capa basáltica, y Superficie de Mohorovichich.

Por la observación del comportamiento de las isophisas, se dice que el perfil transversal 130, divide esta región en el sector oriental con el campo de las isohipsas más tranquilo y el occidental con el comportamiento más irregular de las mismas debido al gran basculamiento de estas superficies aquí.

Se detectaron 11 altos estructurales del basamento cercanos a bajos estructurales que sirven de especial atención a las perspectivas gasopetrolíferas.

En el sector oriental los espesores son: Granito 2-6 Km y los basaltos 1-3 Km. En el sector occidental los espesores son: Granito 3-5 Km y los basaltos 4-15 Km. Las profundidades son:

- Capa granítica: 12-17 Km, sector oriental y 4-13 Km en el occidental.
- Capa basáltica: 14-20 Km, sector oriental y 13-18 Km en el occidental.
- La superficie de Mohorovichich: Yace de 26-33 Km en el sector oriental mientras que en el occidental descansa de 21-27 Km.

Se concluye que, de acuerdo a los espesores de las rocas ígneas ácidas y básicas y teniendo en cuenta el estudio de las profundidades de estos elementos estructurales de la corteza profunda, se corrobora, la existencia de una corteza de tipo transicional fina en el sector occidental y una de tipo transicional gruesa en el sector oriental.

### ABSTRACT

In the Economic Exclusive Zone of Cuba (EEZ), seismic deep investigations was carried out in 2000. 7380 km were interpreted in the EEZ (71 seismic lines).

The following depth Maps were made from the sea level:

- Igneous metamorphic complex Map
- Igneous basic rocks Map
- Mohorovichich surface Map

Here we also made the igneous-acid-rocks isopach Map and the igneous-basic-rocks isopach Map.

According to the behavior of the depth Map we can say that there are two sectors in this big region: eastern and western sector divided by seismic line 130 that is located near the Mulata bay. The great variation of the basement surface In the western sector is due to the Knolls and Campeche escarpment that are presents here.

Eleven basement structural highs on the regional scale that is in close proximity to a basement structural low that offer special attractions for the oil/gas perspective, were detected.

According to the isopach maps we conclude that there is a much greater development of the igneous basic rocks in the western sector while there is a litter greater development of the igneous acid rocks in the eastern sector.

In the eastern sector, the thickness of the granite and basalt beds are 2-6 Km and 1-6 Km. In the western sector the thickness of the granite and basalt beds are 3-5 Km and 4-15 Km.



The granitic bed lies at a depth of 12-17 Km in the eastern sector and at a depth of 4-13 Km on the western sector. Toward Cuban territory it sinks in both sectors.

The basaltic bed lies at a depth of 14-20 Km in the eastern sector and at a depth of 13-18 Km in the western sector.

The Mohorovichich surface lies at a depth of 26-33 Km in the eastern sector and at a depth of 21-27 Km in the western sector.

In agreement with all this results we can conclude that there is a fine transitional crust in the western sector and a thick transitional crust in the eastern sector.

## INTRODUCCION

La realización de las líneas sísmicas de reflexión profunda, fig.1, en el territorio de la ZEE, indudablemente proporcionó obtener la imagen estructural de toda la corteza consolidada, o sea la información de la segunda y la tercera capa de la corteza terrestre (rocas cristalinas). Se observaron reflexiones profundas cuyo análisis nos permitió hacer el estudio litosférico hasta la superficie de Mohorovichich en la ZEE de Cuba en el Golfo de Méjico.

Los estudios llevados a cabo en territorio cubano, costadentro, (Método de Onda de Cambio de los Terremotos), sobre la corteza, (Sherbakova et. al.) y su reinterpretación, (Arriaza G.), nos proporcionó la posibilidad de asociar geológicamente estas reflexiones profundas registradas en la ZEE.

Las reflexiones correspondientes a la parte consolidada de la corteza tienen diferentes expresiones dinámicas según su ubicación geológica. Generalmente se observó buena expresión dinámica de las mismas en la zona de las cuencas.

## I.- MAPA ESTRUCTURAL DEL BASAMENTO. ANÁLISIS DE LAS VELOCIDADES

Las velocidades empleadas para el cálculo de la profundidad del basamento o segunda capa de la corteza consolidada, fue la velocidad de intervalo ( $V_{int}$ ), utilizada durante el procesamiento la cual lleva implícito la Ecuación de Dix. Se confeccionó a partir de estos datos un mapa de  $V_{int}$  del basamento fig.2 ; su comportamiento fue el siguiente:

- Existe una gran variación de las mismas desde  $2,16-7,01 \text{ Km s}^{-1}$
- Los valores mayores de  $5,0 \text{ Km s}^{-1}$  se encuentra en la parte oriental y suroccidental de la ZEE, en las cuencas, al oeste del escarpe de Campeche y en la cuenca de Sygsbee.
- Los valores menores de  $4,5 \text{ Km s}^{-1}$  se registran en el sector noroccidental y en algunas partes del sector extremo suroccidental.

Es conocido que la frontera conocida como basamento, que define el espesor de los sedimentos, se obtiene a partir de los estudios de la sísmica de refracción.

La gran limitante para su estudio en este territorio fue no contar con este tipo de perfiles; su identificación se llevó a cabo a partir del análisis del evento tectónico que tuvo lugar aquí como lo fue la apertura del fondo marino en el Triásico-Jurásico Inferior.

Acorde con esto, se observó en las líneas sísmicas un reflector fuertemente dislocado, a tiempos de registro, por lo general, de  $5,0-7,5 \text{ s}$ , y menos en los lugares altos del basamento, fig.3.



En el proceso de identificación de este horizonte, también sirvió el análisis del sistema deposicional del basamento. En la fig.4 se muestra un tren de reflexiones **coloreados en lila** ubicado encima de la reflexión del basamento, el que pudiera constituir sedimentos terrígenos; por encima de éstos se encuentran la facies correspondiente quizá a sedimentos evaporíticos (**color azul**) cuyo tope correspondería con el tope del Syn-rift. La imagen deposicional del basamento y la del horizonte fuertemente dislocado constituyen los dos elementos de identificación del basamento en estos trabajos de sismica de reflexión profunda.

Se consideró también la curva residual gravimétrica para lograr un estudio más completo de este horizonte. El mapa en profundidad del basamento confeccionado a partir del nivel medio del mar, fig.5 nos brindó una interesante información. El perfil 130 ubicado frente a la Bahía La Mulata, divide a este gran territorio, desde el punto de vista del basamento, en dos zonas: oriental y occidental. En el sector oriental se observa un comportamiento más tranquilo del campo de las isohipsas mientras que en el occidental es más irregular debido al gran basculamiento del basamento, donde la profundidad por debajo del fondo marino oscila entre 300 m en el Knoll de Catoche, 12,0 Km en la zona de Sygsbee y hundiéndose hacia el Cinturón Plegado Cubano. En este sector se destacan los Paleohighs correspondientes a los Knolls de Catoche, Pinar del Río y Jordan.

Generalmente, se destaca que en la zona oriental, el espesor de los sedimentos es mucho mayor que en el sector occidental, alcanzando valores de 8-15 Km por debajo del fondo marino.

Los trabajos de Corine Prieto y J. C. Pratsch en el norte del Golfo de Méjico, aportan datos de interés acerca del estudio del Mapa Estructural del Basamento. Aquí existen un gran número de yacimientos gasopetrolíferos correlacionados al tope de la estructura regional del basamento. En esta región se encuentran reservas probadas, ubicadas en los flancos, altos y bajos estructurales del basamento. O sea que la utilización de la estructura regional del basamento constituye una herramienta fundamental en la evaluación gasopetrolífera en el Golfo de Méjico. Estos autores también plantean que es necesario observar estos elementos en el mapa estructural del basamento. Un alto estructural cercano a bajos estructurales pueden devenir en sitios atractivos para la acumulación y migración del petróleo. Un alto estructural ubicado entre dos bajos estructurales ofrecen especial atención para la migración en ambos lados. Los bajos estructurales podrían ser los depocentros generacionales.

En nuestro caso, se observan en el Mapa estructural del Basamento fig.5, las siguientes zonas de interés:

- I. Dentro del Escarpe de Campeche se observan 5 altos estructurales cercanos a bajos estructurales: 1, 2, 3, 4 y 5
- II. Los altos 6, 8, y 9 se ubican en los Knolls de Catoche, P. del Río y Jordan correspondientemente
- III. Los altos 7, 10 y 11 se ubican dentro de la cuenca regional.

Los altos 9, 10 y 11 son los únicos que presentan sinclinales a ambos lados, significando por supuesto la posible migración en ambos sentidos por lo que éstos constituyen las anomalías más interesantes del Mapa Estructural del Basamento.



## II.- ESQUEMA DE ISOHIPSAS DEL TOPE DE LAS ROCAS IGNEAS BASICAS. ANÁLISIS DE LAS VELOCIDADES.

La tercera capa de la corteza terrestre o capa basáltica, tiene aún naturaleza confusa; su composición petrográfica es según Jain V. E. desconocida. Sus propiedades físicas se establecieron por la velocidad de la propagación de las ondas sísmicas, que es de  $6,5-7,0 \text{ km s}^{-1}$ , aunque su denominación basáltica proviene del hecho de que su composición es más cercana a la basáltica.

En este territorio se registró en las zonas de las cuencas, por debajo de la reflexión asociada al basamento, una reflexión con fuerte expresión dinámica, fig 3. Su tiempo de registro fue de  $8,0-8,5 \text{ km s}^{-1}$  en su parte más profunda.

Según las investigaciones MOCT realizadas en Cuba costadentro, se pudo obtener corte con fronteras hasta los 30 y más kilómetros de profundidad. En base a estos resultados se asociaron las reflexiones profundas registradas en la ZEE.

El esquema de isohipsas de la capa basáltica, fig 6, se realizó de manera similar a la del basamento.

De acuerdo a este mapa se constata que las profundidades por debajo del nivel medio del mar son las siguientes:

- En el sector occidental: en el Escarpe de Campeche las profundidades son de 9-16 Km; en los Knolls de Catoche, Pinar del Río y Jordan ésta yace a profundidades de 6 Km, 8 Km y 11-16 Km correspondientemente; en la zona de Sygsbee se encuentra de 15-18 Km y en las zonas de las cuencas y plataforma está de 11-18 Km.
- En el sector oriental ésta tiene una yacencia más profunda que en el sector occidental y va desde 14-20 Km
- En dirección al territorio cubano ésta tentativamente parece que se hunde yaciendo de 12-19 Km en el sector occidental y de 18-20 en el oriental

Se calculó la diferencia entre las informaciones de la profundidad de los mapas en profundidad del basamento y el de la capa basáltica la cual nos proporcionó conocer los espesores de las rocas ígneas ácidas. fig 7.

La potencia de la segunda capa en la zona de la cuenca es de 3-6 Km en el sector oriental y en la occidental es más variable con valores de 2-4 Km; en el Escarpe de Campeche tiene valores de 2-6 Km; en los Knolls de Catoche, P. del Río y Jordan tiene 2 Km, 2-3 Km y 2-5 Km respectivamente. De aquí se deriva que hay un ligero y más estable espesor de las rocas ígneas ácidas en la zona oriental de la ZEE.

## III.- ESQUEMA DE ISOHIPSAS DE LA SUPERFICIE DE MOHOROVICHICH. ESPESOR DE LAS ROCAS IGNEAS BASICAS.

La más reciente división reológica agrupa la corteza y el manto dentro de la litosfera. La corteza descansa sobre la discontinuidad de Mohorovicic y se compone de la parte superior sedimentaria (primera capa geológica) y la inferior consolidada la cual corresponde a las rocas ígneas ácidas y básicas, (segunda y tercera capas).



El límite fundamental de la litosfera es la superficie de Mohorovicic sobre la cual yace toda la corteza. Los tipos de corteza difieren por su composición y principalmente por sus espesores.

El límite corteza inferior-manto, fue determinado por Mohorovichich en 1910 al notar un aumento de las velocidades de las ondas "P" desde 6,5-7,0 Km s<sup>-1</sup> hasta 8,0 Km s<sup>-1</sup>. En 1967 Steinhart definió este límite como la profundidad en la cual Vp aumenta desde 7,6-8,6 Km s<sup>-1</sup> (ECORS-PYRINESS). Para la determinación de la profundidad del Moho se usó una velocidad constante de 8,0 Km s<sup>-1</sup>

Para el análisis de los tipos de corteza y su caracterización se confeccionaron los mapas siguientes:

- Esquema estructural del complejo ígneo-metamórfico de la ZEE de Cuba, desde el nivel medio del mar, fig 5
- Esquema de isohipsas de las rocas ígneas básicas, desde el nivel medio del mar, fig 6.
- Mapa de los espesores de las rocas ígneas ácidas, fig 7
- Esquema de isohipsas por el tope de la superficie de Mohorovichich, desde el nivel medio de mar, fig 8.
- Mapa de espesores de las rocas ígneas básicas.

A tiempos de 8,5-10,0 s, se registró un tren de reflexiones con una expresión dinámica regular. La misma se asoció al tope de la superficie de Mohorovichich por el cálculo estimado de su profundidad y por los trabajos realizados en territorio cubano costadentro.

La superficie de Mohorovichich se correlacionó atendiendo a la base acústica de los registros sísmicos, lo que conlleva imprecisiones en el cálculo de su profundidad.

De acuerdo con el mapa en profundidad de la superficie de Mohorovicic, (por debajo del nivel medio del mar), fig 8, la misma alcanza profundidades de 26-33 Km en el sector oriental, y en la oriental de 21-27 Km. Es de destacar que en dirección al Cinturón Plegado Cubano su hundimiento es notorio hasta profundidades de 33-37 Km.

y tiende a ascender hacia la región noroccidental.

La diferencia de los mapas en profundidad de la capa basáltica y los de la superficie de Mohorovichich nos dio como resultado el conocimiento de los espesores de las rocas ígneas básicas.

Estos espesores son en el sector occidental de 2-12 Km, y en la oriental 1-6 Km. Los análisis de los espesores de las capas granítica y basáltica, demostraron que hay más desarrollo de las rocas ígneas básicas en el sector occidental mientras que hay un ligero mayor desarrollo de las ígneas ácidas en el sector oriental.

De acuerdo a los resultados de los análisis de las profundidades del basamento y Mohorovichich y de los espesores de las rocas ígneas ácidas y básicas se confirma la presencia de una corteza de tipo transicional gruesa en el sector oriental y fina en el occidental.

## CONCLUSIONES

1. La capa granítica, que define el espesor de los sedimentos, yace a profundidades de 300 m aproximadamente en el Knoll de Catoche, bajo el fondo marino, 12,0 Km hacia la zona de Sygsbee y a mayores profundidades en dirección al Cinturón Plegado Cubano. En el sector oriental de la ZEE yace de 8-15,0 Km.



2. La capa basáltica yace por debajo del fondo marino a profundidades de 8-19 Km.
3. La superficie de Mohorovichich yace por debajo del nivel medio del mar a profundidades de 20-33 Km
4. Los espesores de las rocas ígneas ácidas son de 3-6 Km en el sector oriental y 2-4 Km en el sector occidental. Existe por lo tanto un ligero mayor desarrollo de estas rocas en el sector oriental
5. Los espesores de las rocas ígneas básicas son de 1-6 Km en el sector oriental y 2-12 Km en el sector occidental. Existe por lo tanto un mayor desarrollo de estas rocas en el sector occidental.
6. De acuerdo al análisis de las profundidades de las capas granítica, basáltica y a la superficie de Mohorovichich y también al análisis de los espesores de las rocas ácidas y básicas, se confirma la existencia de un tipo de corteza transicional fina en el sector occidental y grueso en el oriental.

### LISTA DE FIGURAS

1. MAPA DE UBICACIÓN DE LAS LINEAS SISMICAS
2. MAPA DE VELOCIDAD DE INTERVALO DEL BASAMENTO.
3. LINEA SÍSMICA 111 CON LAS CORRELACIONES DE LA REFLEXION ASOCIADA AL BASAMENTO Y A LA CAPA BASALTICA
4. LINEA SÍSMICA 106 MOSTRANDO EL SISTEMA DEPOSICIONAL DEL BASAMENTO
5. MAPA ESTRUCTURAL POR EL TOPE DEL COMPLEJO ÍGNEO METAMORFICO
6. ESQUEMA DE ISOHIPSAS POR EL TOPE DE LAS ROCAS IGNEAS BASICAS.
7. MAPA DE ESPESORES DE LAS ROCAS IGNEAS ACIDAS
8. ESQUEMA DE ISOHIPSAS POR EL TOPE DE LA SUPERFICIE DE MOHOROVICHICH

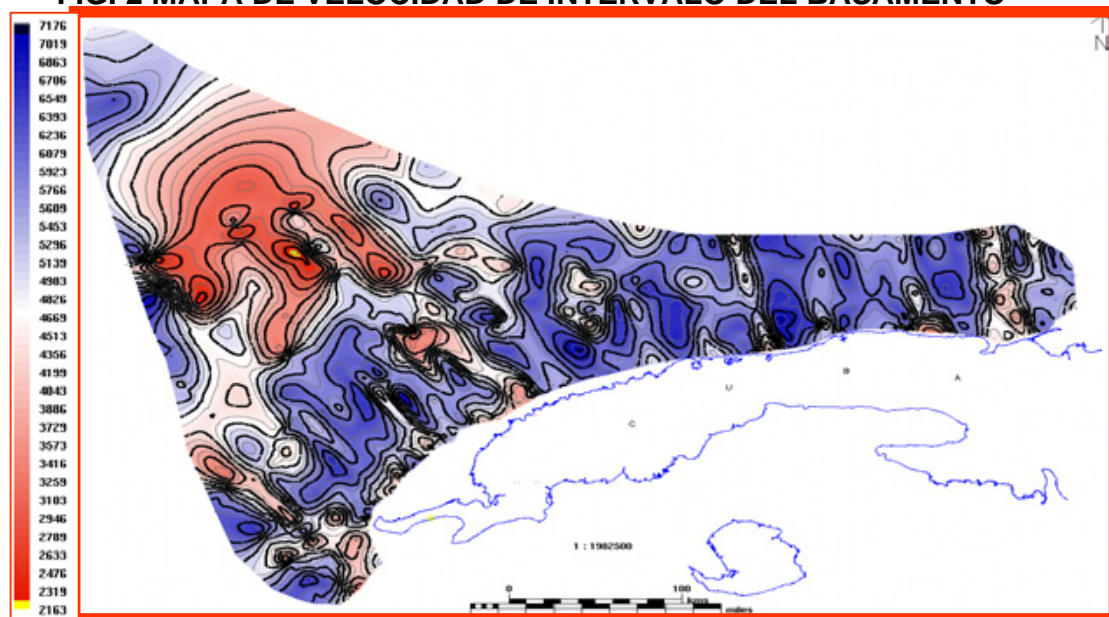
### BIBLIOGRAFÍA

1. **ARRIAZA FERNÁNDEZ G.** 1998 Nuevos enfoques en la interpretación y procesamiento de las ondas refractadas para el estudio del basamento en Cuba. Tesis Doctoral. ISPJAE
2. **ECORS-PYRINESS TEAM.** 1992. Memorias Proyecto Hispano Francés. Interpretación de los perfiles 85PYR01 y 86PIR en términos de facies sísmicas. Pp 51-61.
3. **JAIN V. E.,** 1984. Geotectónica General, parte I. Editorial MIR. Moscú.
4. **MOHOROVICHICH A.** 1910 << Das Beben vom 8.X. 1909, Jahrbach des Meteorologiaschen Observatoriums in Zagreb (Agram) für das Jahr 1909>>. Jahrgang, 9, Teil 4, abschnitt 1, pp. 3-63
5. **PRIETO C., PRATSCH J.C.** Gulf of México study links deep basement structures to oil fields. Offshores June 2000. pp 116-117 y 148
6. **SCHERBAKOVA. B, BOVENKO V. G LUTSENKO T.N, MIRONISHENKO I.P.** 1972-1974 Informe sobre los resultados de las observaciones de los aparatos Zemlia, MOCT, en el territorio de Cuba Occidental. Archivo Empresa Geofísica.
7. **STEINHART J. S** 1967. <<Mohorovichich discontinuity>> In: Runcorn, K. ED. International dictionary of geophysics, Vol 2. Oxford, England. Pergamon Press pp 991-994

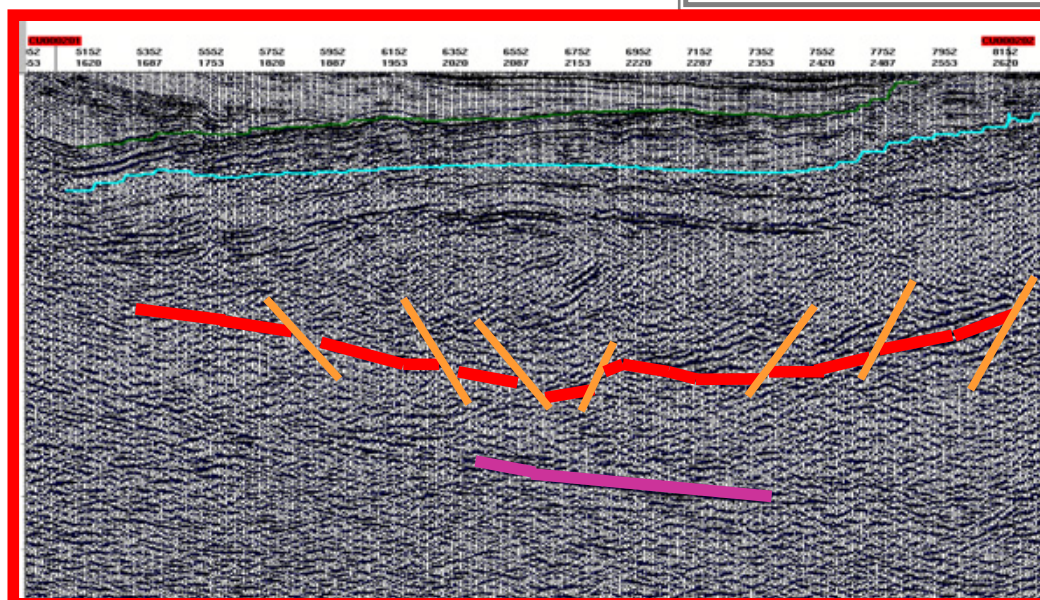




**FIG. 2 MAPA DE VELOCIDAD DE INTERVALO DEL BASAMENTO**



**FIG. 1 MAPA DE UBICACIÓN DE LAS LINEAS SISMICAS**



**FIG.3 LINEA SÍSMICA CON LAS CORRELACIONES DE LAS REFLEXIONES ASOCIADA AL BASAMENTO Y A LA CAPA BASÁLTICA**



FIG. 4.- LINEA 106 CON SISTEMA DEPOSICIONAL DEL BASAMENTO

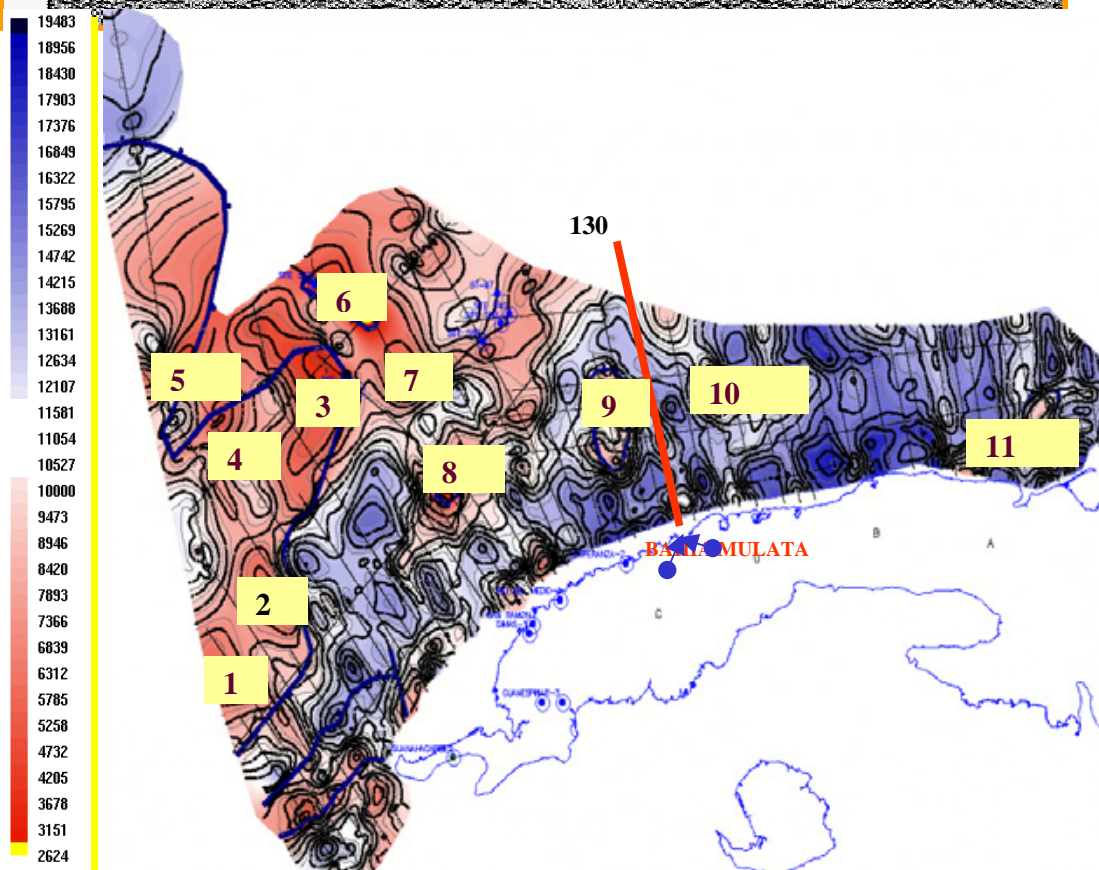
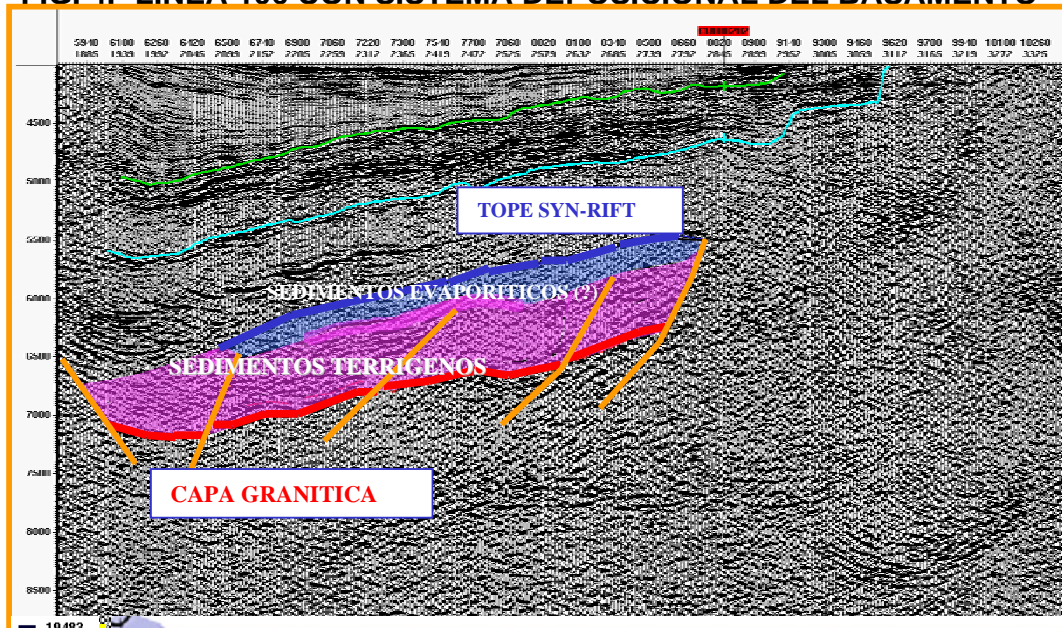
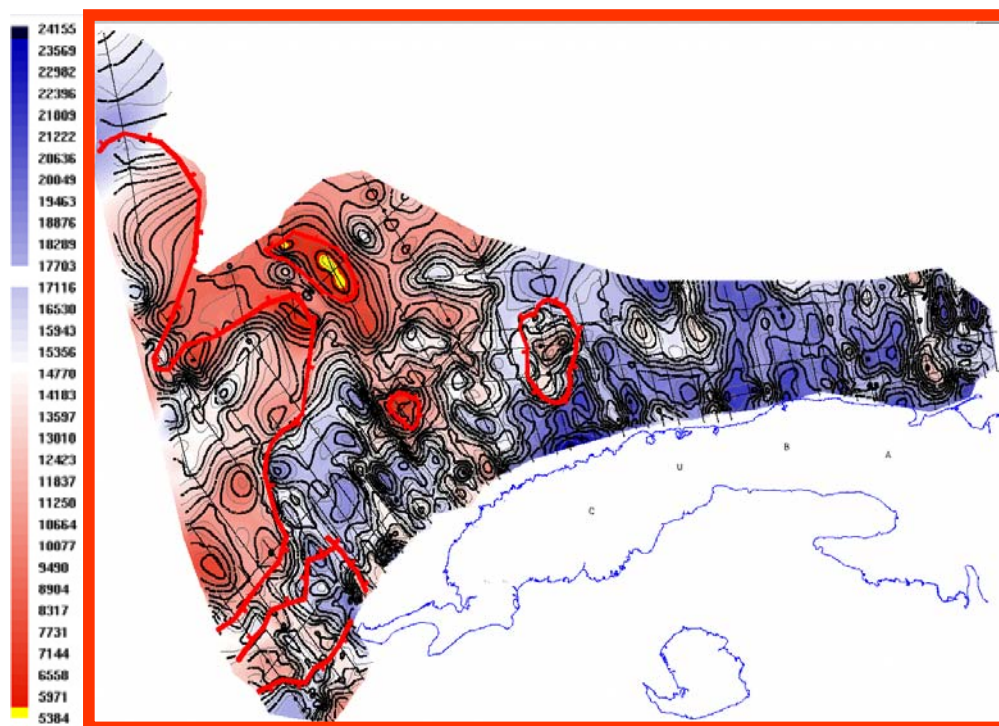


FIG. 5.-MAPA ESTRUCTURAL POR EL TOPE DEL COMPLEJO ÍGNEO-METAMORFICO

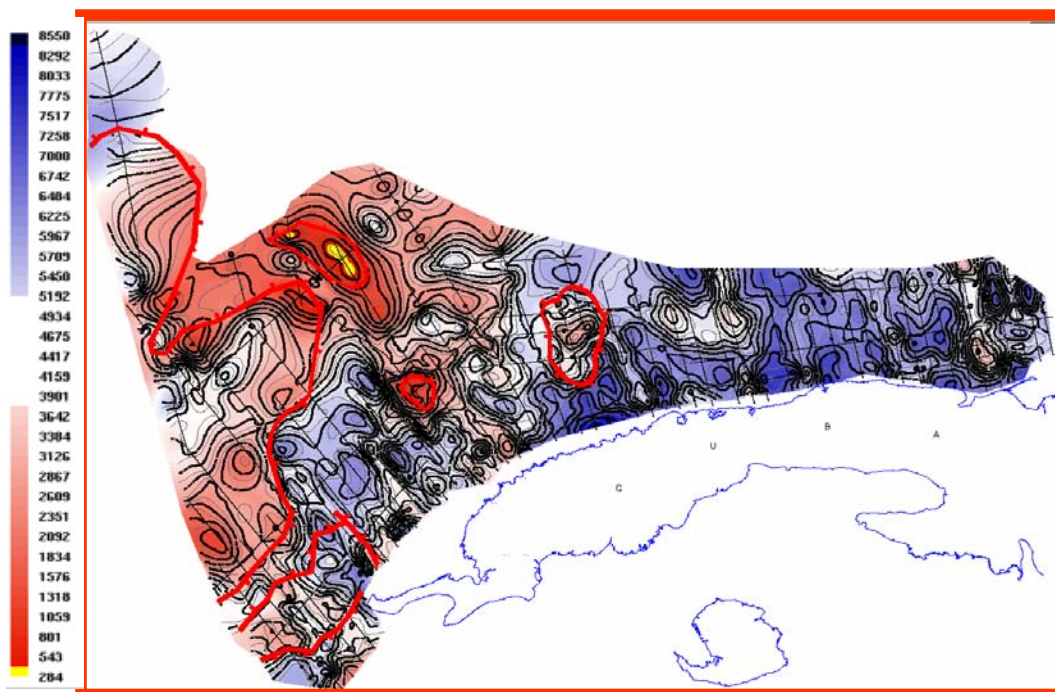




**FIG.6.- ESQUEMA DE ISOHIPSAS POR EL TOPE DE LAS ROCAS IGNEAS BASICAS**



**FIG. 7.- MAPA DE ESPESORES DE LAS ROCAS IGNEAS-ACIDAS**





**FIG. 8.- ESQUEMA DE ISOHIPSAS POR EL TOPE DE LA SUPERFICIE DE MOHOROVICHICH**

