

CARACTERIZACION DEL BASAMENTO EN CUBA SOBRE LA BASE DE LA INTERPRETACION DE LOS DATOS GEOFISICOS.

G. Arriaza
Empresa Geofisica, CUPET
Cuba

INTRODUCCIÓN

En la década presente, en Cuba han sido realizados importantes trabajos de reinterpretación y generalización de la información geólogo-geofísica disponible, con vista a la valorización de los bloques de exploración. En este contexto, se inscribe el presente trabajo, el que tiene como finalidad, contribuir a alcanzar un conocimiento científicamente fundamentado de la geología de nuestro país, a fin de poder evaluar con más certeza sus recursos minerales y en especial los gasopetrolíferos del mismo.

El estudio del basamento en nuestro país, requiere de longitudes de hodógrafos de refracción de primeras entradas, mayores de 50 km, por lo que el consumo de explosivos utilizados como fuente de energía en tales condiciones es realmente grande e inclusive se requeriría trabajar con los materiales explosivos en aguas internacionales lo que entraña dificultades de diverso orden.

Las circunstancias anteriormente expuestas, unidas a otras adicionales, limitan considerablemente el empleo del Método de Refracción para los estudios de esta frontera geológica en nuestro país. El autor del presente trabajo se propuso en la medida de lo posible, superar estas dificultades en la aplicación del método, para lo cual llevó a cabo la identificación y el análisis de las **segundas entradas** de refracción en los sismogramas obtenidos en los perfiles de refracción regionales hechos en Cuba, (más de 3 000 km lineales), a fin de aumentar el grado de información de que se dispone sobre la frontera del basamento.

La obra de investigación que está expuesta en síntesis en el presente trabajo, se propuso alcanzar principalmente, los objetivos siguientes:

1. Establecer los criterios para identificar, correlacionar e interpretar las ondas sísmicas, que pueden ser referidas al basamento en Cuba.
2. Determinación de los parámetros sísmicos de esta frontera geológica con vistas a la elaboración de un nuevo Esquema Estructural del Basamento, escala 1:500 000 empleando para ello en forma combinada, esta base de datos sísmicos y la gravimetría disponible en nuestro territorio nacional.
3. Actualizar la referencia geológica de las fronteras sísmicas identificadas en los cortes en profundidad correspondientes a los perfiles regionales realizados en Cuba, a la luz de las últimas concepciones geológicas planteadas sobre la constitución de nuestro territorio.

Para la consecución de los objetivos principales referidos, fueron ejecutadas en síntesis las siguientes tareas:

- Identificación en los sismogramas de las primeras y segundas entradas de refracción provenientes de la superficie en cuestión, a partir de sus características cinemáticas y de frecuencia.
- Identificación de la frontera del basamento en los cortes sísmicos del MPCP existentes en nuestro país.
- Ampliación de la cantidad de puntos localizados en Cuba, en los que es conocido el parámetro "profundidad" de esta superficie, con vistas a catografiar el tope de la misma, sin realizar trabajos adicionales de refracción.
- Reinterpretación de todos los cortes obtenidos a lo largo de los perfiles regionales de refracción y los del MOCT, (Método de Onda de Cambio de los Terremotos) conocidos como perfiles "ZEMLIA" considerando las más modernas concepciones de la Tectónica de Placas.

CARACTERÍSTICAS SISMOGEOLOGICAS DE CUBA.

Las complejas características sismogeológicas de nuestro territorio, exigen el empleo de las más modernas tecnologías de adquisición, procesamiento e interpretación de los datos sísmicos a fin de poder extraer la mayor cantidad de información útil posible a partir de éstos.

Producto del orógeno tipo alpino que caracteriza a Cuba, y a los colosales movimientos horizontales que tuvieron lugar aquí, se manifiesta la presencia de rocas del margen continental cabalgadas por las correspondientes a la corteza oceánica y al arco insular.

Todos estos procesos de convergencia y divergencia y en algunos casos de rotación de las estructuras, ocasionaron la formación de fallas de distinta índole en Cuba; ello, por lo tanto, complica el cuadro ondulatorio, pues las fallas que son de forma subhorizontal en la profundidad y que se verticalizan hacia la superficie, dan lugar a la aparición de grandes ejes de difracción en los registros sísmicos y de ejes cofásicos discontinuos de los reflectores.

Por otra parte, la presencia de grandes buzamientos de las capas geológicas en la isla, complica aún más las condiciones sismogeológicas profundas de ésta.

Otro de los factores incidentes en el cuadro sismogeológico complejo de nuestro territorio, es el efecto de penetración de las ondas refractadas, que se manifiesta cuando existen refractores con geometría convexa. La parte norte de la isla se caracteriza por presentar este tipo de geometría en los horizontes sísmicos. Sin embargo, se observa buena informatividad sísmica en las cuencas orogénicas colapsadas donde se manifiestan horizontes sísmicos extensos y con buena expresión dinámica.

Atendiendo a la complejidad de las condiciones sismogeológicas anteriormente expuestas y de acuerdo a la experiencia nacional e internacional existente sobre estudios de la corteza, el autor se propuso resolver mediante el presente trabajo, las siguientes tareas científicas principales:

- Evaluar la presencia de los efectos de penetración de las ondas sísmicas en nuestro territorio y su influencia en los valores de las velocidades de frontera calculadas a partir de los hodógrafos de refracción
- Realizar un análisis a las velocidades de capas en nuestro país a fin de dar una referencia geológica fundamentada a las fronteras sísmicas.
- Establecer conclusiones acerca del tipo de corteza que caracteriza a nuestro territorio sobre la base de los datos reinterpretados con fines tanto científicos como prácticos.

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS GEOFÍSICOS PARA EL ESTUDIO DEL BASAMENTO.

Sobre la base de la interpretación de los hodógrafos de refracción realizada mediante los métodos de "To", "campo de tiempos" y análisis de los hodógrafos independientes, fue determinado que la profundidad de la frontera asociada al basamento en Cuba oscila entre 8,0-11,0 km.

Entre los estudios realizados para determinar su profundidad de yacencia, se exponen los análisis de las primeras entradas de refracción, los que proporcionaron un volumen total de 50 puntos físicos distribuidos en todo el territorio, en los que fue determinado el parámetro "profundidad" de esta superficie.

Se elaboraron a partir de las **segundas entradas** de refracción, cuatro cortes sísmicos en nuestro territorio con lo cual se obtuvo un volumen adicional de 86 puntos con este parámetro.

Con vistas a tratar de aumentar aún más la densidad de puntos (x, y) dispersos en toda Cuba con valores de "H" conocidos, a fin de aplicar las técnicas estadísticas de regresión para cartografiar la superficie del basamento, se analizó un volumen aproximado de 5 000 km de líneas sísmicas PCP. En los cortes de tiempo de este método fue identificada la "base acústica" la que fue correlacionada con la frontera del basamento, ya que en el nivel de 4,05,0 segundos del registro, se observan elementos reflectores correspondientes a profundidades similares a las que refiere el Método de Refracción sobre la superficie investigada.

Con vistas a tratar de verificar la naturaleza estrictamente refractada de las segundas entradas registradas, fue resuelta la tarea directa de la sísmica, calculándose los hodógrafos de refracción y reflexión tanto para ondas monotípicas como de cambio. Con este fin se partió de modelos "petroacústicos" que presentan la frontera del supuesto basamento yacente a profundidades del orden de 8,0-10,0 km. El resultado de este estudio permitió confirmar que las **segundas entradas** registradas correspondían efectivamente a ondas de refracción procedentes de tal frontera y no a otros fenómenos ondulatorios asociados a la existencia de alguna otra heterogeneidad diferente del subsuelo.

Finalmente, con vistas a cartografiar extensivamente esta superficie, fueron utilizados los datos gravimétricos “ΔG” y sísmicos “H” mediante técnicas estadísticas de regresión, ProñArriaza 1993. En este sentido, se realizaron las siguientes tareas:

- Se unificaron los mapas gravimétricos en reducción Bouguer del territorio cubano en una escala de 1: 500 000, incluyendo en los mismos, tanto las mediciones marinas aledañas a la isla como las mediciones realizadas en las zonas montañosas de Cuba.
- Se estudiaron las características del campo gravitatorio mediante el cálculo de su Función de Autocorrelación, de la Transformada de Fourier y del Espectro de Potencia por el Método de Máxima Entropía.
- Se transformó el campo para un radio de promediación $R= 15$ km y $R= 30$ km, ya que precisamente para este radio se obtuvo la curva gravimétrica que mejor correlación presentaba con los datos de profundidad arrojados por la sísmica.
- Se calculó el grado de correlación estadística existente entre los valores de la profundidad “H” y del campo gravitacional “ΔG” concluyéndose finalmente, una ecuación cuadrática, la que fue empleada para la confección del Mapa del Basamento. Esta ecuación fue: $H = 8,43 - 0,05 \Delta G + 0,0009 (\Delta G)^2$,

En este Mapa, figura 1, se ubicaron las dislocaciones principales que cortan al mismo, siguiendo los gradientes del campo gravitacional correlacionables a grandes distancias.

En resumen, se ubicaron fallas longitudinales a la isla que están asociadas principalmente a desplazamientos verticales de las rocas, así como fallas transversales a esta que reflejan desplazamientos horizontales de las mismas.

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE LOS RESULTADOS GEOFÍSICOS.

A) REINTERPRETACION DE LOS PERFILES REGIONALES DE REFRACCION MCORf.

La profundidad de yacencia de la superficie identificada como el basamento, se ubicó en cada corte regional de refracción, revisando cuidadosamente las referencias geológicas que deben ser asignadas a los horizontes refractores que aparecen en cada perfil. En la figura 2 aparece la ubicación de estos perfiles en todo nuestro territorio. También se relacionan en esta figura los perfiles MOCT (Método de Onda de Cambio de los Terremotos) y líneas PCP.

La reinterpretación se llevó a cabo realizando las consideraciones y estudios siguientes:

1. Rectificación del efecto de penetración de las ondas refractadas a lo largo de cada perfil.
2. Consideración de las velocidades de capa obtenidas en base de los resultados de los PSV realizados en los pozos profundos realizados en el territorio cubano.
3. Compatibilización de las columnas litológico-estratigráficas de los pozos profundos con los datos sísmicos.
- 4- Consideración de las concepciones modernas sobre la evolución geológica de Cuba en los perfiles reinterpretados.

1. Rectificación del efecto de penetración de las ondas refractadas a lo largo de cada perfil:

Al analizar los 18 perfiles regionales de refracción que abarcan un volumen de más de 1300 km lineales distribuidos en toda la isla de Cuba, se observaron velocidades altísimas en algunos de estos horizontes tales como 8,2 km/s y 7,4 km/s a profundidades de 2,03,0 km. Las velocidades de 8,2 km/s son características de la frontera geofísica Mohorovicic. Los pozos profundos perforados en Cuba, jamás atravesaron este horizonte sísmico, por lo que estimamos la existencia de un error en la determinación de las velocidades límites. Otra de las anomalías observadas fue la presencia de inversión de velocidades en algunos refractores lo que no puede ocurrir realmente durante el empleo del Método de Ondas Refractadas debido a los principios físicos de este método.

Estas irregularidades observadas en la distribución de las velocidades indicaban aparentemente que los efectos de penetración de las ondas refractadas estaban implícitos en los resultados de los trabajos de refracción en Cuba. Estos efectos son los que causan principalmente el aumento de los valores de las velocidades de frontera si los mismos no son corregidos, según reportan diversos investigadores. Los efectos de penetración se manifiestan cuando yacen en el subsuelo refractores con una geometría predominantemente convexa.

Al analizar los cortes sísmicos correspondientes a los perfiles regionales ubicados transversalmente a la isla, (sur-norte), el autor del presente trabajo notó que en su sector norte, todos los horizontes refractores tienen una geometría convexa y que era precisamente en ese sector donde los mismos presentaban valores anómalos de estas velocidades.

La corrección de estos, calculando inicialmente el error introducido en los valores de estas velocidades, fue realizada por primera vez en Cuba por Mishinov B. a lo largo perfil IIIA en 1974, aunque no fue aplicada. La diferencia entre estas velocidades, es decir, antes y después de efectuada esta corrección, fue como promedio del orden de 0,85 km/s. Este valor, fue el que el autor del presente trabajo utilizó precisamente para corregir las anomalías observadas en las velocidades de frontera correspondientes a los horizontes refractores cuya geometría y características son similares a los que se manifestaban a lo largo del perfil IIIA.

2. Consideración de las velocidades de capa obtenidas en base de los resultados de los PSV realizados en los pozos profundos perforados en el territorio cubano.

Después de rectificar los cortes sísmicos introduciendo las correcciones por los efectos de penetración, se trató de correlacionar los refractores a las rocas a las que ellos pudieran pertenecer. A partir de las velocidades del refractor se observó irregularidades en sus asociaciones geológicas. Con este fin y a modo de orientación, fueron analizados los PSV realizados en los pozos profundos de Cuba. En éstos, se nota una gran variación de las velocidades de capa en las distintas rocas, figura 3.

De acuerdo al resultado de estos análisis, pudimos concluir que la tarea de identificar petrográficamente estas fronteras sobre la base de los valores de las velocidades es sumamente difícil. A partir de la conclusión anterior se trató entonces de asociar, al menos, los distintos rangos de variación de las velocidades a las distintas Unidades TectonoEstratigráficas (UTE) existentes en nuestro territorio, teniendo en cuenta los modelos geológicos existentes.

3. Compatibilización de las columnas litológico-estratigráficas de los pozos profundos con los datos sísmicos.

La verificación de que los pozos profundos perforados en Cuba no habían cortado en ningún lugar la superficie del basamento, cuya yacencia había sido pronosticada a profundidades de 2,0-6,0 km en la década del 70, constituyó un elemento importante que indica que las ondas refractadas procedentes de la frontera fuerte, ubicada de 8,0-11,0 km podían estar asociadas a la superficie del basamento.

4. Consideración de las concepciones modernas sobre la evolución geológica de Cuba en los perfiles reinterpretados.

Cuba es un archipiélago que ocupa una posición geológica clave, pues se ubica entre cortezas de distintos orígenes. El gradual esclarecimiento de la geología cubana ayuda a comprender la relación que existe entre las cortezas continentales y oceánicas. En este sentido, varias investigaciones realizadas por especialistas tanto cubanos como extranjeros sobre el desarrollo evolutivo de la geología cubana, han sido llevadas a cabo durante los últimos años. Entre todas ellas decidimos prestar la mayor atención a las más modernas, a saber, efectuadas en la presente década, los que parten de las concepciones de la Tectónica Global.

Dos de estas fuentes principales, que enfocan la evolución geológica cubana desde distintos puntos de vista, son el reporte SPT-CUPET, "*The Geology and hydrocarbon potential of the Republic of Cuba*" 1993 y "*Cuban Ophiolites and Volcanic Arcs*" 1996. Ambos trabajos han sido elaborados por distintos colectivos de autores.

Según los autores del reporte SPT-CUPET, uno de los rasgos principales de la constitución geológica cubana es la presencia en nuestro territorio de diferentes unidades Tectono-Estratigráficas (UTE) que se encuentran distribuidas de norte a sur:

1. Rocas del Margen continental: UTE Cocos, Remedios, Camajuaní y Placetas.
2. Rocas de la Asociación ofiolítica y arco insular: Terreno Zaza.

Por su parte, los autores de la publicación "*Cuban Ophiolites and Volcanic Arcs*" sostienen el criterio de que en Cuba se manifiestan dos unidades principales:

- Cinturón plegado cubano: elementos geotectónicos continentales y oceánicos.
- Neoautóctono.

El modelo geológico más idóneo para aplicarlo a la reinterpretación geológica de los perfiles MCORf fue el de Wassal-Shaposnikova, figura 4. Las ideas sustentadas por H. Wassall en 1956 y C. Shaposnikova en 1974 coincidieron, pues ambos planteaban que todas las rocas volcánicas e intrusivas y las ofiolitas de Cuba estaban en posición alóctona y descansaban sobre la corteza continental de Bahamas. Como las segundas entradas de refracción registradas tanto al norte como al sur de Cuba provienen de una misma frontera, podríamos considerar entonces que la frontera geofísica "basamento", estudiada por ellas, correspondía precisamente al zócalo de Bahamas. Esto se avala también por las velocidades de frontera corregidas de este límite, las que corresponden con la capa granítica.

Luego de haber definido estas consideraciones acerca del modelo evolutivo geológico de Cuba, se consultaron otros modelos que fueron desarrollados tanto por especialistas del CEINPET como los de DIGICUPET, ambos pertenecientes a la compañía CUPET, las que se derivaron de los trabajos de nueva adquisición llevados a cabo en Cuba en la presente década.

Los 18 perfiles regionales reinterpretados tienen un volumen de aproximadamente 1375 km lineales y fueron los siguientes:

II (35,4 km); IIA (55,3 km); IIIA (73,7 km); IIIB (59,4 km); IV (111,2 km); VIA (88 km); VIB (66 km); VIC (55 km); VID (53 km); VIII (104 km); IXA (96 km); IXB-IXC (55 km); XI (137,7 km); XIA (97,5 km); XIB (110,5 km); XIII (66 km); 82 (63 km); 88 (46,2 km), figura 2.

Como resultado de estos análisis se puso de manifiesto que, las distintas secuencias presentan los valores de las velocidades de frontera que se exponen a continuación:

- Terreno Zaza: $V_f = 4,8-5,4-5,9-6,0-6,4-6,7-6,9$ km/s
- Arco Insular: $V_f = 3,1-3,5-3,7-4,0-4,3-5,2-5,5-6,4$ km/s. (En algunos perfiles)
- UTE Camajuaní-Placetas: $V_f = 4,7-5,4-6,2-6,9$ km/s.
- UTE S. Rosario: $V_f = 4,8-5,0-5,6$ km/s
- UTE S. Órganos y Esperanza: $V_f = 5,2-5,6$ km/s y $V_f = 5,4$ km/s,
- UTE Cocos: $V_f = 5,9-6,2-6,7$ km/s.
- Facies de Cuenca Somera: $V_f = 5,8-6,1-6,8-7,1$ km/s

Esta reinterpretación de los perfiles regionales para profundidades correspondientes a la parte "menos consolidada" del orógeno cubano, constituye uno de los resultados más importantes que se derivan del presente trabajo.

En la figura 5, a modo de ejemplo, se expone el corte sísmico correspondiente al perfil II (MCORf). Aquí la facies de cuenca profunda se encuentra cabalgada por las rocas del Terreno Zaza y ambas descansan sobre un basamento de tipo continental. La facies de cuenca somera se introdujo hipotéticamente en este corte atendiendo a los modelos geológicos consultados. Las secuencias terciarias, varían de espesor y descansan sobre ambos elementos geotectónicos (secuencias del Margen Continental y las rocas de la corteza oceánica, TZ). Es necesario explicar que la frontera sísmica asociada al basamento se obtuvo del Esquema Estructural del Basamento y la misma representa aquí un pronóstico de yacencia y no representa una frontera físicareal.

B) REINTERPRETACION DE LOS PERFILES SISMOLOGICOS DEL METODO DE ONDA DE CAMBIO DE LOS TERREMOTOS (MOCT)

La parte "más consolidada" del orógeno cubano fue estudiada a partir de estudios sismológicos realizados mediante el Método de Onda de Cambio de los Terremotos (MOCT).

En todo el territorio insular cubano, estas investigaciones se llevaron a cabo durante los años 1972 a 1974 a lo largo de 11 perfiles con un volumen total de 1857 km lineales. Estos son:

I (70 km); III (49 km); IV (108 km); V (133 km); VIA (92 km); VII (110 km); VIII (280 km); X (285 km); XI (430 km); XII (100 km); XIII (200 km), figura 2.

En la parte inferior de la figura 5 se muestra la reinterpretación del perfil IV (MOCT). Aquí se pueden observar las secuencias terciarias (ST) descansando sobre las rocas del Terreno Zaza al sur y sobre las secuencias del Margen Continental (SMC) al norte del perfil. A su vez éstas (SMC y TZ) yacen sobre el basamento (+) correspondiente a la capa granítica la que a su vez, esta última, descansa sobre la capa basáltica identificada con el símbolo (V). La superficie de Mohorovicic yace a profundidades de 3540 km.

En general, el resumen de los resultados obtenidos en nuestra reinterpretación fue el siguiente:

1. Se ha identificado la existencia de una capa "granítica" que generalmente yace a profundidades del orden de 7.0-12.5 km, en toda Cuba. Se reportan profundidades anómalas del orden de 15,0 km, para esta capa, en los perfiles "X", "V", "XI" y "VIII" y de 18,0 km en el centro del perfil "XIII" en la antigua provincia oriental.
2. La capa "basáltica" yace en nuestro territorio, como regla, a profundidades del orden de 13,0-26,0 km yaciendo anómalamente a profundidades de 29,0 km en los perfiles "IV", "XI", "VIII" y "XIII".
3. Generalmente la frontera de "Mohorovicic" oscila entre $H = 24,0-38,0$ km yaciendo a profundidades de 40,0 km en los perfiles "VIA" y "XIII" y anómalamente a $H = 42,5$ km en el perfil "X".

De acuerdo al trabajo desarrollado, consideramos que el modelo litosférico cubano está definido por una corteza de tipo continental fina (espesores de 30,0-42,5 km) teniendo como particularidad específica la presencia, en su constitución, de cuatro capas geológicas, de acuerdo a las reinterpretaciones de los perfiles MCORf y MOCT.

Atendiendo a múltiples fuentes modernas consultadas acerca de las características de la corteza terrestre en la región Caribe-Mejicana y a los propios resultados, opinamos que la corteza de Cuba presenta similitudes con la que tiene la costa Guerrero en Méjico por el hecho de estar constituida por cuatro capas geológicas y presentar una corteza fina continental de 45,0-50,0 km de espesor, (según Suárez G. 1992).

Por último, en el trabajo se expone que, de acuerdo a la experiencia internacional acumulada acerca de las relaciones existentes entre los diferentes tipos de corteza y las acumulaciones hidrocarburíferas, Kingston D. R. hipotéticamente clasificó en 1985 a las cuencas ubicadas sobre cortezas de tipos subcontinentales como de primer interés. De acuerdo con este criterio, atendiendo a los resultados obtenidos en el desarrollo del presente trabajo, el autor del mismo, considera que, efectivamente, existen perspectivas favorables para la prospección gasopetrolífera en el archipiélago cubano.

CONCLUSIONES

Se arribaron a las siguientes conclusiones principales:

1. La aplicación del Método de Correlación de las Ondas Refractadas en Cuba, en base de los hodógrafos de primeras y **segundas entradas**, permite cartografiar una frontera geofísica ubicada a profundidad del orden de 8,0-11,0 km la que ha sido identificada como el basamento en el desarrollo del presente trabajo.
2. La identificación de la onda refractada en el basamento y registrada en las **segundas entradas** de los sismogramas que fue realizada en el curso del presente trabajo, posibilita disminuir los gastos de explosivos y las afectaciones al medio ambiente que son acarreadas por las explosiones realizadas para su registro en primeras entradas, sin perder calidad en la correlación de la referida frontera.
3. Las características cinemáticas y de frecuencia principales que permiten identificar las ondas refractadas asociadas al basamento en Cuba, son las siguientes:

En primeras entradas:

- * $V^* = 7,1-8,3$ km/s Velocidad aparente (valores sin corregir)
- * $T = 0,080-0,095$ s..... Período de las oscilaciones
- * $F = 10,0-11,0-12,0$ Hz. Frecuencia de las oscilaciones
- * $Offset = 30,0-36,0-40,0-50,0-54,0$ km. Distancia de salida de las primeras entradas con respecto al punto de explosión.
- * Grado de Amortiguación:..... poco, suave
- * $Tr = 6,0-7,0$ s Tiempo de registro

En segundas entradas:

- * $V^* = 6,5-7,2-8,0-9,0-9,4$ km/s Velocidad aparente (Valores sin corregir)
- * $V_f = 6,9-7,0-7,5$ km/s Velocidad de frontera por cortes sísmicos (sin corregir)
- * $V_f = 5,9-6,0-6,5$ km/s..... Velocidad de frontera por cortes sísmicos (corregidos)

- * $V_f = 6,5-7,5$ km/s..... Veloc. frontera por hodógrafos independientes. (sin corregir)
 - * $V_f = 5,5-6,5$ km/s... Veloc. frontera por hodógrafos independientes (corregidos)
 - * $T = 0,09$ s..... Periodo de las oscilaciones
 - * $offset < 30$ km Distancia de salida de las segundas entradas con respecto al punto de explosión
 - * $F = 6,0-10,0-12,0-14,0$ Hz..... Frecuencia de las oscilaciones
 - * Grado de Amortiguación:..... Poco.
 - * $Tr < 6,0$ s..... Tiempo de registro
4. En regiones que presentan tectónica de tipo alpina como la que caracteriza a nuestro territorio, es necesario estimar y corregir la influencia del efecto de penetración de las ondas sísmicas en los hodógrafos de refracción a fin de evitar distorsiones en los valores de las velocidades de frontera que pueden acarrear interpretaciones geológicas erróneas de los datos sísmicos.
 5. El Método del Punto Común de Profundidad (MPCP) empleando el concepto de “base acústica” del registro, es útil como complemento del Método de Refracción en los estudios del basamento, ya que puede aportar datos similares sobre las profundidades de esta frontera.
 6. En los cortes de tiempo del MPCP en Cuba, el basamento se expresa principalmente asociado a un tiempo de registro de 4,0-5,0 s, teniendo una característica discontinua la correlación de los ejes cofásicos asociados al mismo.
 7. La utilización combinada de los datos sísmicos y gravimétricos mediante el empleo de técnicas estadísticas de regresión, permitió cartografiar la superficie del basamento así mismo como elaborar un nuevo Esquema Estructural del mismo en escala 1: 500 000
 8. En Cuba se manifiesta una variabilidad muy grande de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas longitudinales, lo mismo para rocas de una litología dada que para éstas dentro de intervalo de tiempos geológicos específicos, por cuya razón, en nuestras condiciones, la interpretación de los hodógrafos en los perfiles regionales, sólo permite establecer asociaciones entre los hodógrafos sísmicos de refracción y las Unidades TectonoEstratigráficas a que ellos están vinculados.
 9. La reinterpretación de los cortes de profundidad obtenidos a lo largo de los perfiles regionales de refracción, realizada en el curso del presente trabajo, ha aportado nuevos datos sobre las características sismogeológicas profundas de nuestro territorio insular.
 10. En nuestro territorio nacional se identifica principalmente un tipo de corteza “continental fina” cuyo máximo espesor es de 42,5 km. Generalmente la frontera de “Mohorovicic” oscila entre profundidades de $H = 24,0-38,0$ km yaciendo a profundidades de 40,0 km en los perfiles VI y VIII y anómalamente a profundidades de 42,5 km en el perfil X.
 11. Las capas “granítica” y “basáltica” de la corteza terrestre en Cuba, se encuentran bien definidas según las reinterpretaciones de los perfiles MOCT, descansando sobre la primera, las capas de la corteza sedimentaria, entre ellas las secuencias del Margen Continental, y las rocas correspondientes a corteza de tipo oceánica y al arco insular las que actualmente se encuentran tectónicamente elaboradas, pudiendo ser consideradas éstas últimas de conjunto como otra capa más; por lo tanto, el modelo litosférico cubano puede ser considerado como constituido anómalamente por cuatro capas geológicas.
 12. Los datos consultados acerca de los tipos de corteza presentes en la Región Caribe-Mejicana, hacen suponer que, existen similitudes entre la corteza cubana y la que presenta la costa de Guerrero, en Méjico.
 13. Los resultados obtenidos en el desarrollo del presente trabajo apoyan las tareas de la exploración petrolera en Cuba ya que:
 - Fue identificada la existencia en nuestro territorio de un tipo de corteza predominantemente continental, la que ha sido correlacionada positivamente en otras regiones del mundo con la presencia de cuencas sedimentarias gasopetrolíferas.
 - El nuevo Mapa Estructural del Basamento permite pronosticar la profundidad de esta superficie en nuestro territorio, lo que es de suma importancia para orientar adecuadamente la exploración petrolera.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados del trabajo se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Los estudios sobre la constitución geológica profunda de las regiones que presentan tectónica de tipo alpina, deben ser realizados empleando combinadamente los métodos geofísicos, a fin de disminuir el grado de ambigüedad en la interpretación de los datos de estos.
2. Emplear el Método Sísmico de Refracción en las condiciones anteriormente referidas, aprovechando tanto las primeras como las **segundas entradas** en los sismogramas para determinar las profundidades del basamento, disminuyendo así los gastos de material explosivo y los daños al medio ambiente sin afectar la calidad de la información obtenida sobre dicha frontera.
3. Corregir los hodógrafos de refracción por el efecto de penetración en aquellos territorios en que como en muchos sectores del nuestro, las fronteras sísmicas presentan una naturaleza curvilínea.

FIGURAS

1. Esquema estructural por la superficie de las rocas del basamento.
2. Esquema de ubicación de los perfiles sísmicos elaborados.
3. Velocidades de capa de los distintos tipos de calizas y areniscas en Cuba
4. Proceso de formación del substrato plegado de Cuba según Wassashaposnikova
5. Corte geólogo-geofísico del perfil de refracción II (MCORF) y sísmológico del perfil IV reinterpretados.

BIBLIOGRAFIA

- ANKUNDINOV S. BELOV R. ARRIAZA G. RAMIREZ R.** Informe sobre las investigaciones sísmicas de refracción en la Depresión Los Palacios. Archivo Empresa de Geofísica. 1976.
- ARRIAZA FERNÁNDEZ G.** Proyecto 416 sobre las investigaciones sísmicas de reconocimiento por el método de refracción en la Depresión Los Palacios. Archivo Empresa de Geofísica. 1975.
- MARTÍNEZ E. PROL J.** Interpretación geólogo-geofísica del bloque 17. Provincia Oriente. Archivo Empresa de Geofísica. 1995.
- PROL J.** Modelo de Corteza para las provincias orientales. Archivo Empresa de Geofísica. 1994.
- SORA A.** Informe de trabajo para la construcción de la Central ElectroNuclear Juraguá (CEN), según requerimientos y normativas de la Organización Internacional de Estaciones Atómicas (OIEA). Archivo Empresa de Geofísica. 1994.
- BUFFLER W. A. THOMAS W. A.** *Crustal structure of the southeastern margin of North America and the Gulf of Mexico. In speed, R. C. Phanerozoic evolution of North American continent-ocean transition. Boulder Colorado GSA. DNAG: Continent-Ocean Transect. Volume 1, pp 219-264.*
- CASE J. E. McDONALD W. D. FOX P. J.** *Decade North American Geology: DNAG. Caribbean crustal provinces, seismic and gravity evidence. Vol H. The Caribbean Region, p 15.* Archivo IGP 1990.
- DIETZ ROBERT S. HOLDEN JOHN C. SPROLL WALTER P.** *Geotectonic Evolution and subsidence of Bahama Platform. Geological society of America Bulletin V 81, pp 1915-1928. July 1970.*
- DOMÍNGUEZ R. ARRIAZA G. MARTÍNEZ M.** Informe parcial sobre resultados trabajos sísmicos regionales de refracción en la parte orientalde P. Del Río. Archivo Empresa de Geofísica. 1984
- GAMBURTSEV, G. A.** *Correlation Refraction shooting. Geophysics. Vol 11 (pp 59-65) 1946.*
- GURVICH I. I.** *Ceusmopazbegka. Moscú, Nedra, 1975.*
- HAUGE T. A. ALLMENDINGER R. W. CARUSO C. HAUSER E. C. KLEMPERER S. L. OPDYKE S. POTTER C. J. SANFORD W. BROWN L. KAUFMAN S. OLIVER J.** *Crustal Structure of Western Nevada from COCORP deep seismic reflection data. Geological Society of America Bulletin. V. 98, pp 320-329. 1987. Archivo IGP.*
- HOLCOMBE T. L. LADD J. L., WESTBROOK G. EDGAR T. N. BOWLAND CH. L.** *Decade North American Geology: DNAG. Caribbean marine Geology; Ridges and Basin of the plate interior. Vol. H, p 231. Archivo IGP 1990.*
- HUGHES, D.S., AND MAURETTE C.** *Variation of elastic wave velocities in granites with pressure and temperature Geophysics, Vol. XXI., pp 277-284 No. 2. April 1956.*
- ITURRALDE -VINENT M.** Nuevo modelo interpretativo de la evolución geológica de Cuba. ACC. 1979.
- Naturaleza Geológica de Cuba. Editorial Científica Técnica. 1984.*
- ROSENCRANTZ E. PARDO E.M. MILLAN TRUJILLO G. ANDO J. PERERA FALCON C. KOZAK M.** *"Cuban Ophiolites and Volcanic Arcs" Project 364: "Geological Correlation of Ophiolites and*

- Volcanic Arc Terranes in the Circum Caribbean Realm" Miami, USA 1996. Museo Nacional de Historia Natural, Habana, Cuba.*
- KINGSTON D. R., DISHROON C.P., WILLIAMS P.A.** *Esso Exploration Inc. Houston. "A hydrocarbon exploration crustal classification". Oil & Gas Journal, Mar 11, 1985, pp 146-154.*
- KOKOSHKO A. BANKOVSKAYA V. ARRIAZA G.** Sobre los trabajos sísmicos regionales por el método de refracción en los perfiles regionales VIA, VIB, VIC, VID en Cuenca Central. Archivo Empresa de Geofísica. 1975.
- LEWIS J. F. DRAPER G. WITH CONTRIBUTIONS BY BOUNLON C. BOWIN C. MATTSEN P. MAURASSE F. NAGLE F. AND PARDO G.** *Decade North American Geology: DNAG. Geology and tectonic evolution of the Northern Caribbean margin. Vol H, The Caribbean Region, p 77. Archivo IGP 1990.*
- MARTINEZ J. ARRIAZA G. MORALES I. PETRUS N.** Investigaciones sísmicas de refracción al norte de Holguín para la construcción de la Central Electronuclear CEN por los perfiles desde el 7580. Archivo Empresa de Geofísica. 1978.
- MILLÁN G.** El Complejo Cristalino Mesozoico de Isla de Pinos. Su metamorfismo. Serie Geológica 23. IGP. ACC. 1975
- MIRZOEV K. M. FIJIEVA L. M. KONOVALOV YU. SHATSYLOV V. Y. PEÑA A. G. DE LA ROSA R. TENREYRO R. MARTÍNEZ J.** Nuevos datos sobre la estructura profunda de Cuba oriental (perfiles complejos Pto. Padre, Bayamo, Guisa. Resúmenes del Primer Congreso Cuba de Geología. P 120. 1989.
- MISHINOV B. IVANOV A. BASENTSIAN SH.** Informe parcial sobre trabajos regionales de refracción en Cuba occidental, perfiles IIIA, IIIB, XIA, XIB, II y IIA. Archivo Empresa de Geofísica. 1974.
- PROL J. ARRIAZA G. OTERO R.** Nota informativa sobre la confección de los mapas en profundidad del basamento y espesor de la corteza terrestre en el territorio cubano. Archivo Empresa de Geofísica. 1993.
- SCHERBAKOVA. B. E. BOVENKO V. G. LUTSENKO T. N. MIROSHNISHENKO I.P.** Informe sobre los resultados de observaciones de los aparatos **ZEMLIA**, MOCT, en el territorio de Cuba Occidental. Archivo Empresa de Geofísica. 1972-74.
- BOVENKO V. G. MIROSHNISHENKO I. P. POZNIAKOVA G.V** Informe sobre los resultados de observaciones de los aparatos **ZEMLIA** en el territorio de Cuba Oriental. Archivo Empresa de Geofísica. 1974-75.
- SHATSYLOV V. KRIVTSOV KM. TAMIROV A.** Informe sobre los resultados de los trabajos de prospección sísmica por el método de refracción en la zona HabanaMatanzas. Archivo Empresa de Geofísica. 1969-71.
- SHEIN V. S. IVANOV S. S. KLESHEV K. A. MARRERO M. SOCORRO R. BANKOVSKY S. YU. Y OTROS.** Tectónica de Cuba y su plataforma insular en relación con la evaluación de las perspectivas de petróleo y gas. Informe no publicado. Archivo CEINPET Cuba. 1975.
- TENREYRO R. OTERO R. LÓPEZ J.G.** Contribución a la tectónica regional de Cuba. Aspectos relacionados con el potencial y la exploración de hidrocarburos. Informe parcial del proyecto principal 02-95. Archivo CEINPET. Ciudad de la Habana, 1996
- TERENCE EDGAR N. EWIN J. I. AND JOHN HENNION.** *Seismic refraction and reflection in Caribbean Sea. The American Association of petroleum Geologists. (AAPG). Bulletin, Volume 55/6. Jun 1971.*
- VARIOS.** Reporte SPT-CUPET *The Geology and hydrocarbon potential of the Republic of Cuba. Editora Simon Petroleum technology Limited/ CUPET 1993. Proprietary Report. Volumen 1 SPT. Fondo Geológico. 1993*

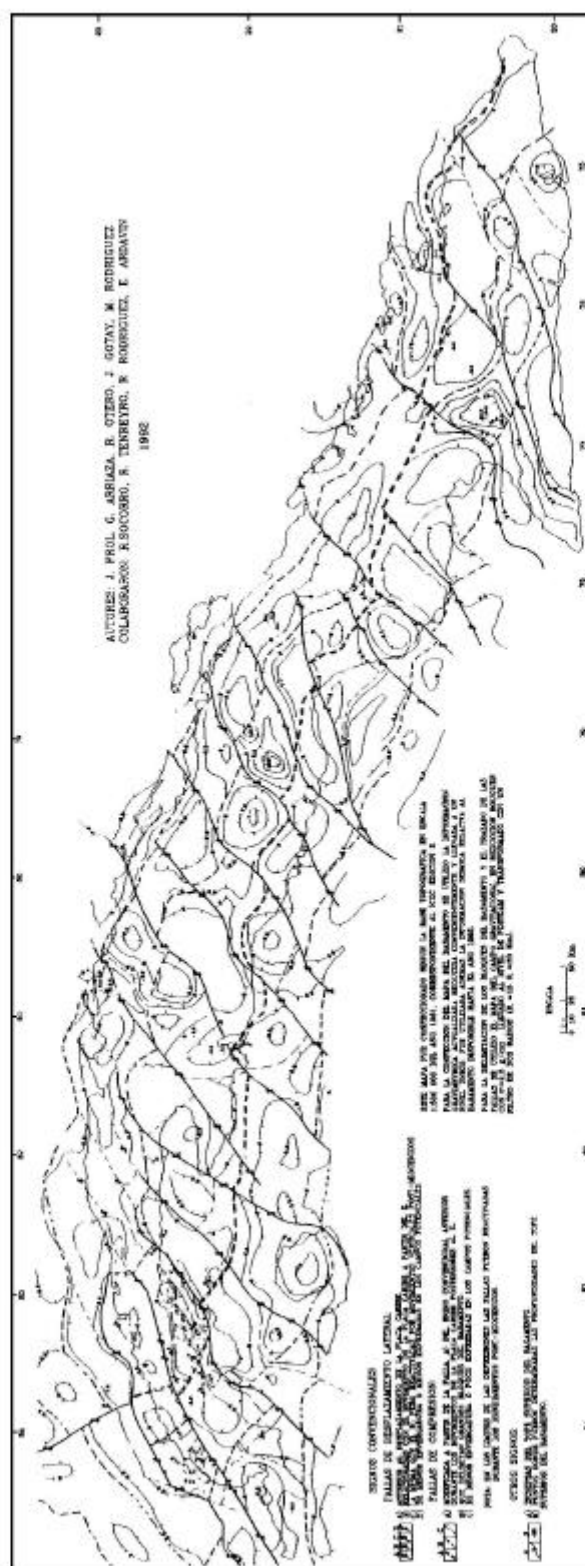
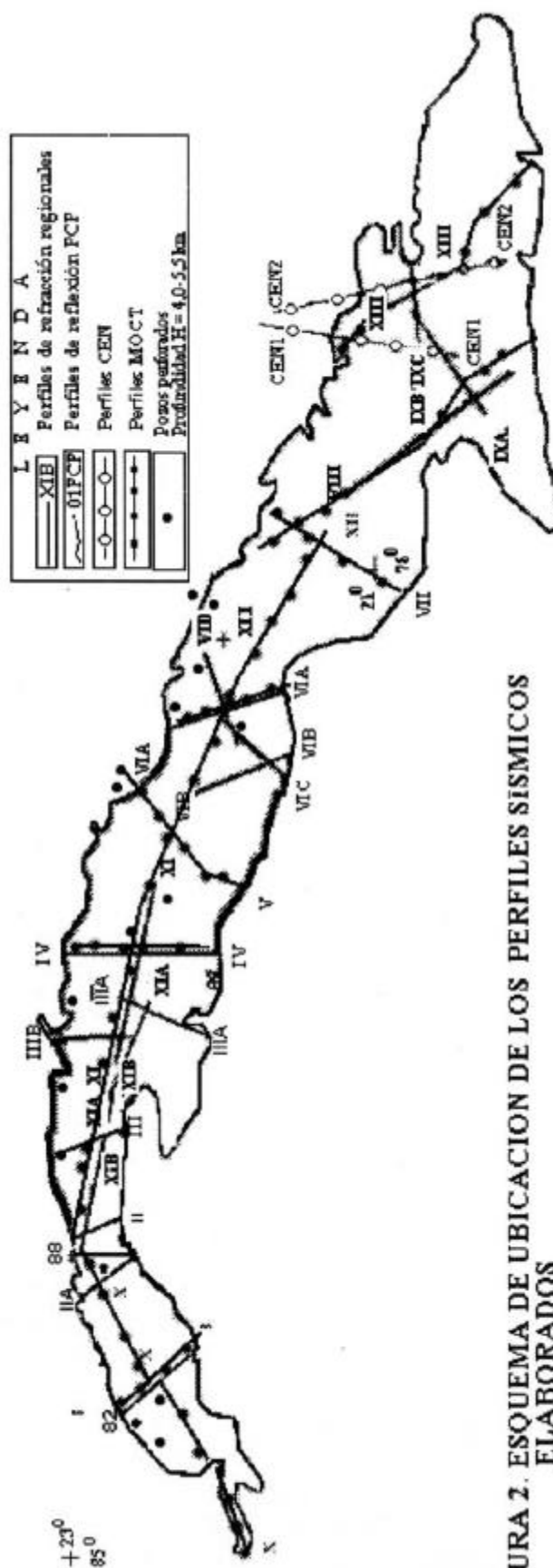


FIGURA 1. ESQUEMA ESTRUCTURAL POR LA SUPERFICIE DE LAS ROCAS DEL BASAMENTO



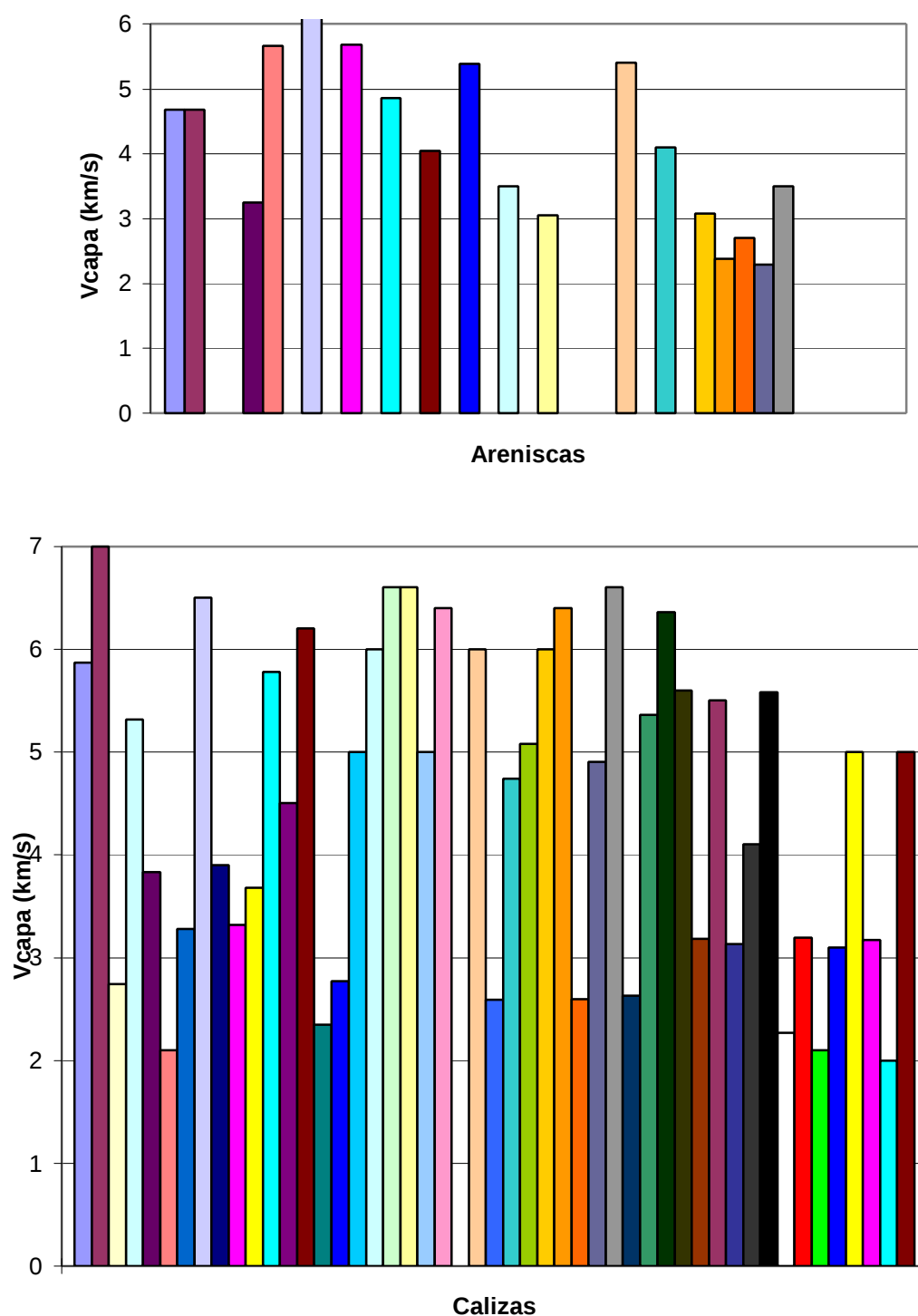
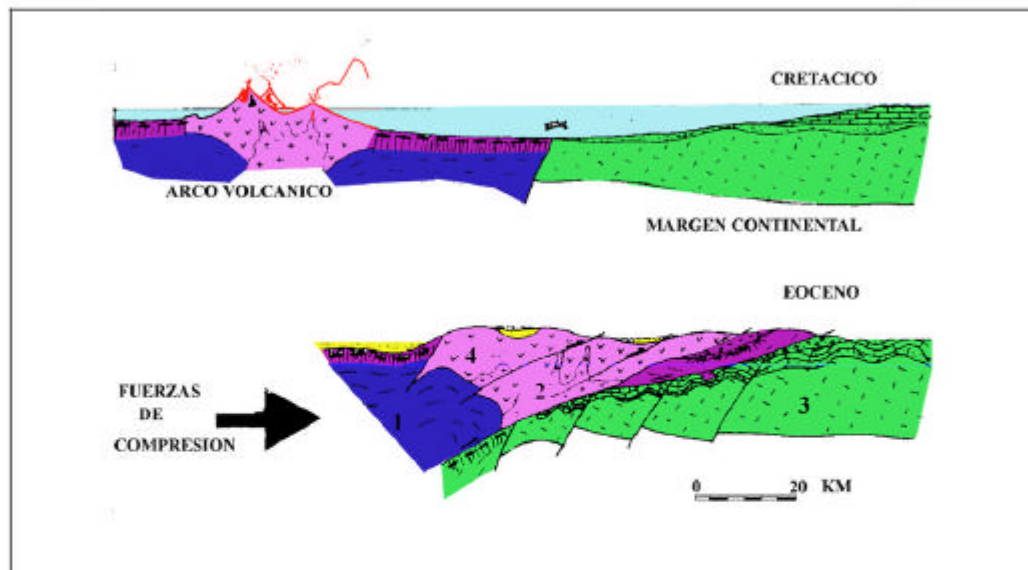


FIGURA 3. VELOCIDADES DE CAPA DE LOS DISTINTOS TIPOS DE ARENISCAS Y CALIZAS EN CUBA

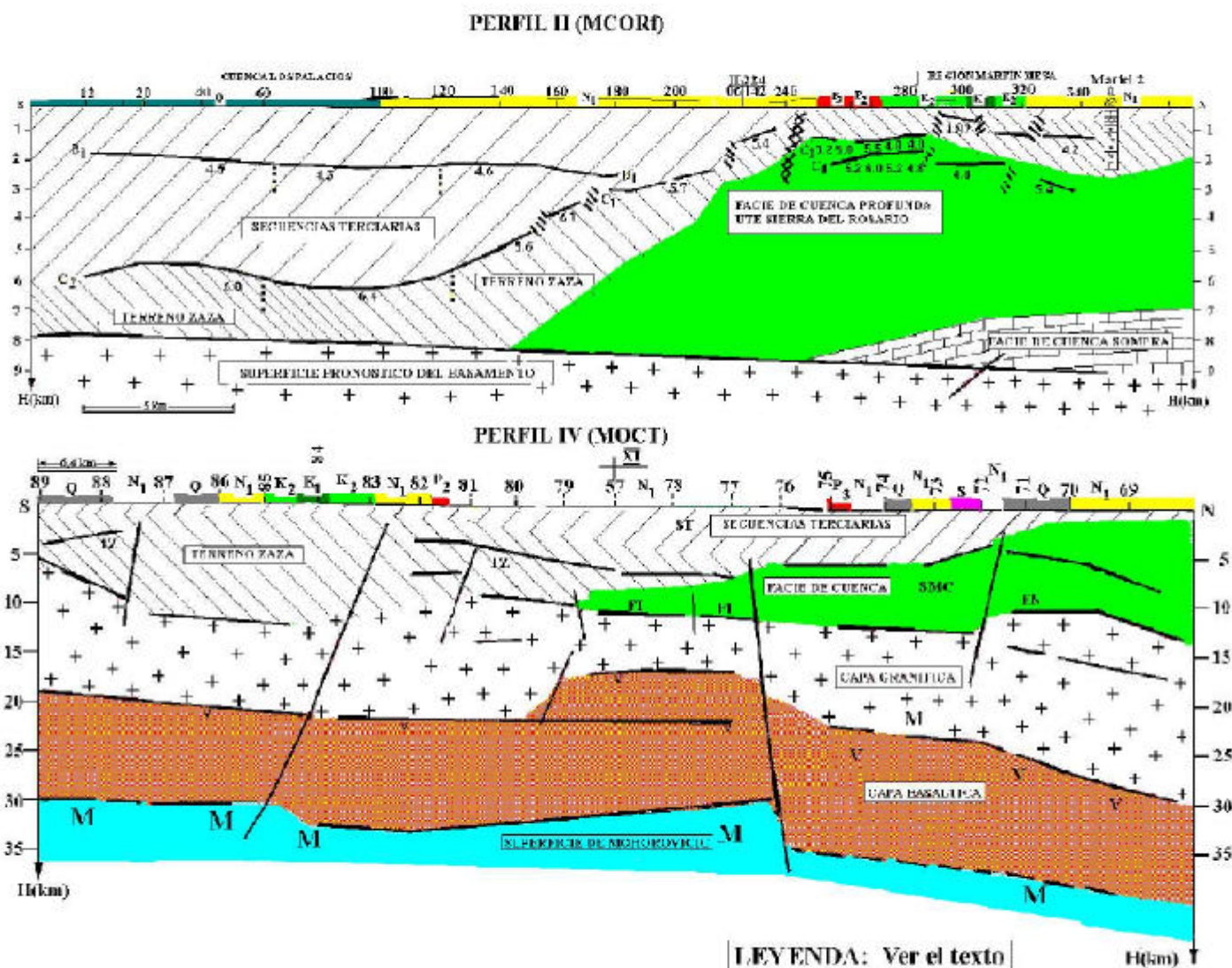


LEYENDA

1. MANTO SUPERIOR
2. CORTEZA OCEANICA
3. CORTEZA CONTINENTAL
4. ROCAS DEL ARCO VOLCANICO

Tomado de Iturralde-Vinent M., "Naturaleza Geológica de Cuba" 1984

FIGURA 4.- PROCESO DE FORMACIÓN DEL SUBSTRATO PLEGADO DE CUBA SEGUN WASSAL-SHAPOSNIKOVA



**FIGURA 5. CORTE GEOLOGO-GEOFISICO DEL PERFIL DE REFRACCION II (MCOR)
Y SISMOLOGICO DEL PERFIL IV (MOCT)**