

INVESTIGACION DE LA FAJA PETROLERA DEL ORINOCO
EN EL ESTADO GUARICO POR METODOS GEOFISICOS
NO CONVENCIONALES. FASE I*

Por Inírida Rodríguez Millán

Escuela de Geología y Minas
Universidad Central de Venezuela
Apartado 50926, Caracas 105

(Recibido en enero de 1978, en forma revisada en marzo de 1978)

R E S U M E N

La Faja Petrolífera del Orinoco, ubicada en el flanco sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, al norte del río Orinoco, ha sido y es objeto de numerosos estudios geológicos y geofísicos, tanto más en el momento actual por su importancia estratégica para el desarrollo petrolero futuro del país. De allí que se esté implementando, cada vez con mayor interés, la utilización de diversas técnicas modernas de prospección, tendientes al mejor conocimiento del subsuelo en esta área.

En tal sentido, los resultados de este trabajo constituyen un aporte preliminar para la etapa de exploración de la Faja Petrolífera del Orinoco en el Estado Guárico, mediante métodos geoelectrónicos de investigación geofísica.

Previo recopilación de la información gravimétrica, se elaboraron mapas de Anomalías de Bouguer y Residuales, para la densidad $P_B = 2.23 \text{ gr/cm}^3$ (Mapas Nos. 1 y 2), en base a los cuales, conjuntamente con los datos magnetométricos y eléctricos de perforaciones, se construyó un mapa de contornos estructurales del Tope del Basamento (Fig. N° 11). En lo concerniente a la información geoelectrónica, se seleccionaron 14 pozos para el análisis estadístico y cálculo de parámetros eléctricos distintivos y se consideró la posibilidad teórica de determinar interfases eléctricas entre medios de resistividad contrastantes, empleando diferentes dispositivos electródicos. Por último, se delimitaron geográficamente áreas factibles de ser prospectadas con métodos eléctricos, para la detección del basamento o la Unidad petrolífera "M", quedando sólo por comprobar experimentalmente estos resultados, para lo cual se recomienda la realización de una Fase II o continuación de este estudio.

A B S T R A C T

The Petroleum Belt of the Orinoco River is on the south side of the Cuenca Oriental of Venezuela, and to the north of the Orinoco River. It has been the subject of many geological and geophysical studies, especially now when its reserves are very important for the future development of the oil industry of the country. This is the reason for trying new techniques and methods in the study of the subsurface of this area.

This study presents preliminary results of the application of geoelectric methods in the Orinoco petroleum belt of the Guarico state. Also, gravity information was compiled and Bouguer and residual maps were prepared using density $P_B = 2.23 \text{ gr/cm}^3$ (Map N° 1 and 2). Magnetometric information and electric well logs were also used together with the gravity data to determine structural maps of the Basement Top (Fig. N° 11). Fourteen wells were selected and the geoelectric information of each was statistically analyzed.

Various electric parameters were calculated. The theoretical possibility of identifying electric interfaces by applying different electrode arrays was examined. Using this criterion, the region was subdivided into several areas according to the possibilities of detecting the basement of the petroliferous Unit "M".

The experimental results of this method have to be checked. In order to do this, it is recommended that the phase II of the Orinoco Petroleum Belt study be continued.

* Este trabajo es una versión reducida del estudio realizado por la autora en la Fase I del Proyecto de "Investigación de la Faja Petrolífera del Orinoco por métodos geofísicos no convencionales", por contrato suscrito entre Foninves y la UCV.

- _____, (1942). "Die mollusken der Springvale-Schichten (Obermiocän) von Trinidad (B.W.L.)", *Verhandl. Naturf. Ges. Basel*, Vol. 54, pp. 96-182, pls. 3-9, 2 text figs.
- TUOMEY, M. & HOLMES, F.S. (1857): "Pliocene fossils of S. Carolina: containing descriptions and figures of the Polypteria, Echinodermata and Mollusca", Charleston, S.C., Russell & Jones, 152 pp., 30 pls.
- VIGNALI, C., M. (1965): "Estudio geológico de las rocas sedimentarias de Araya, Estado Sucre", *GEOS* N° 13, pp. 23-36, 1 strat. col., 1 map.
- VINK, D.L.N. (19797): "The *Conus cedonulli* complex", *Zool. Meded., Rijksmus., Leiden*, Vol. 51, N° 5, pp. 79-93, pls. 1-4.
- VOKES, E.H. (1964): "The genus *Turbinella* (Mollusca: Gastropoda) in the New World", *Tulane Stud. Geol.*, Vol. 2, N° 2, pp. 39-68, 3 pls.
- _____, (1966). "The genus *Vasum* (Mollusca: Gastropoda) in the New World", *ibid.*, Vol. 5, N° 1, pp. 1-36, pls. 1-6, 2 text figs.
- _____, (1967). "Observations on *Murex messorius* and *Murex tryoni* with the description of two new species of *Murex*", *ibid.*, Vol. 5, N° 2, pp. 81-90, 4 pls.
- _____, (1970). "Cenozoic Muricidae of the western Atlantic region", Part V, *Pterynotus and Poirieria*", *ibid.*, Vol. 8, N° 1, pp. 1-50, 7 pls. 1 fig.
- VOKES, H.E. (1966): "A new species of the bivalve genus *Nucinella* from the Eocene of Louisiana", *ibid.* Vol. 5, N° 1, pp. 38-40, 1 text fig.
- WEISBORD, N.E. (1929): "Miocene Mollusca from northern Colombia", *Bull. Amer. Paleont.*, Vol. 14, N° 54, pp. 1-57, pls. 1-9.
- _____, (1957). "Notes on the geology of the Cabo Blanco area, Venezuela", *ibid.*, Vol. 38, N° 165, pp. 429-447, 1 map.
- _____, (1962). "Late Cenozoic gastropods from northern Venezuela", *ibid.*, Vol. 42, N° 193, pp. 1-672, pls. 1-48.
- _____, (1964). "Late Cenozoic pelecypods from northern Venezuela", *ibid.*, Vol. 45, N° 204, pp. 1-564, pls. 1-59.
- WHEELER, C.B. (1963): "Oligocene and Miocene stratigraphy of western and northeastern Falcón basin, Venezuela", *Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol.*, Vol. 47, N° 1, pp. 35-68, 19 figs.
- WOODRING, W.P. (1957-1973): "Geology and Paleontology of Canal Zone and adjoining parts of Panamá", *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper* 306-A/E, pp. 1-539, pls. 1-82.
- _____, (1966). "The Panamá land bridge as a sea barrier", *Amer. Phil. Soc.*, Vol. 110, N° 6, pp. 425-433, 3 figs.
- _____, (1974). "The Miocene Caribbean faunal province and its subprovinces", *Verhandl. Naturf. Ges. Basel*, Vol. 84, N° 1, pp. 209-213, 1 fig.
- WOODRING, W.P. & OLSON, A.A. (1957): "*Bathygalea*, a genus of moderate and deep-water and deep-water Miocene to Recent cassids", *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper* 314-B, pp. 21-26, pls. 7-10.
- WORK, R.C. (1969): "Systematics, Ecology and distribution of the mollusks of Los Roques, Venezuela", *Bull. Mar. Sci.*, Vol. 19, N° 3, pp. 614-711.

INTRODUCCION

A partir de la fecha en que se inició la exploración de la Faja Petrolífera del Orinoco, en principio denominada *Faja Bituminosa*, esta área de potencial interés para el futuro desarrollo de la industria petrolera venezolana, ha sido investigada mediante geología de superficie y subsuelo así como con diversos métodos de prospección geofísica. Ahora bien, día a día aumenta la necesidad de implementar la actividad exploratoria en el país, de allí que se ensaye con técnicas modernas de prospección o métodos no aplicados con anterioridad, lo cual exige como paso previo una reevaluación de la información ya existente.

En tal sentido, el objetivo primordial del presente estudio ha sido el efectuar una recopilación detallada de la información geofísica: gravimétrica, magnetométrica y geoelectrónica, existente en el Estado Guárico y región sur-occidental del Estado Anzoátegui, con la finalidad de integrar y reinterpretar los datos así obtenidos, para luego, en base a ello, analizar la posibilidad teórica de emplear técnicas de prospección geoelectrónica —no convencionales— en la exploración de la Faja Petrolífera del Orinoco.

AREA DE ESTUDIO

La Faja Petrolífera del Orinoco comprende la región geográfica ubicada en el extremo sur de la Cuenca Oriental

de Venezuela, al norte del río Orinoco, y se extiende en dirección oeste-este a través de la sección meridional de los Estados Guárico, Anzoátegui y Monagas, y del Territorio Federal Delta Amacuro (GALAVIS & VELARDE, 1972).

La zona específica estudiada en esta primera fase de la investigación, Estado Guárico y sur-occidente del Estado Anzoátegui, cubre un área de aproximadamente 75.450 Km² y está delimitada entre coordenadas de:

LATITUD: 07°30'00"N y 09°15'00"N

LONGITUD: 64°30'00"W y 68°00'00"W

CONSIDERACIONES A LA PROSPECCION GRAVIMETRICA Y MAGNETOMETRICA. RECOPIACION DE INFORMACION GRAVIMETRICA

Los primeros pasos en la explotación de la Faja Petrolífera del Orinoco fueron dados en la década de los años 20, fecha a partir de la cual ha sido investigada mediante geología de campo y del subsuelo, así como también con métodos gravimétricos, magnetométricos y sismográficos de prospección geofísica.

En este trabajo, a objeto de reinterpretar la información gravimétrica y magnetométrica existente en el Estado Guárico, con miras al desarrollo de nuevos planes de explotación, se procedió en primer lugar a realizar una búsqueda exhaustiva

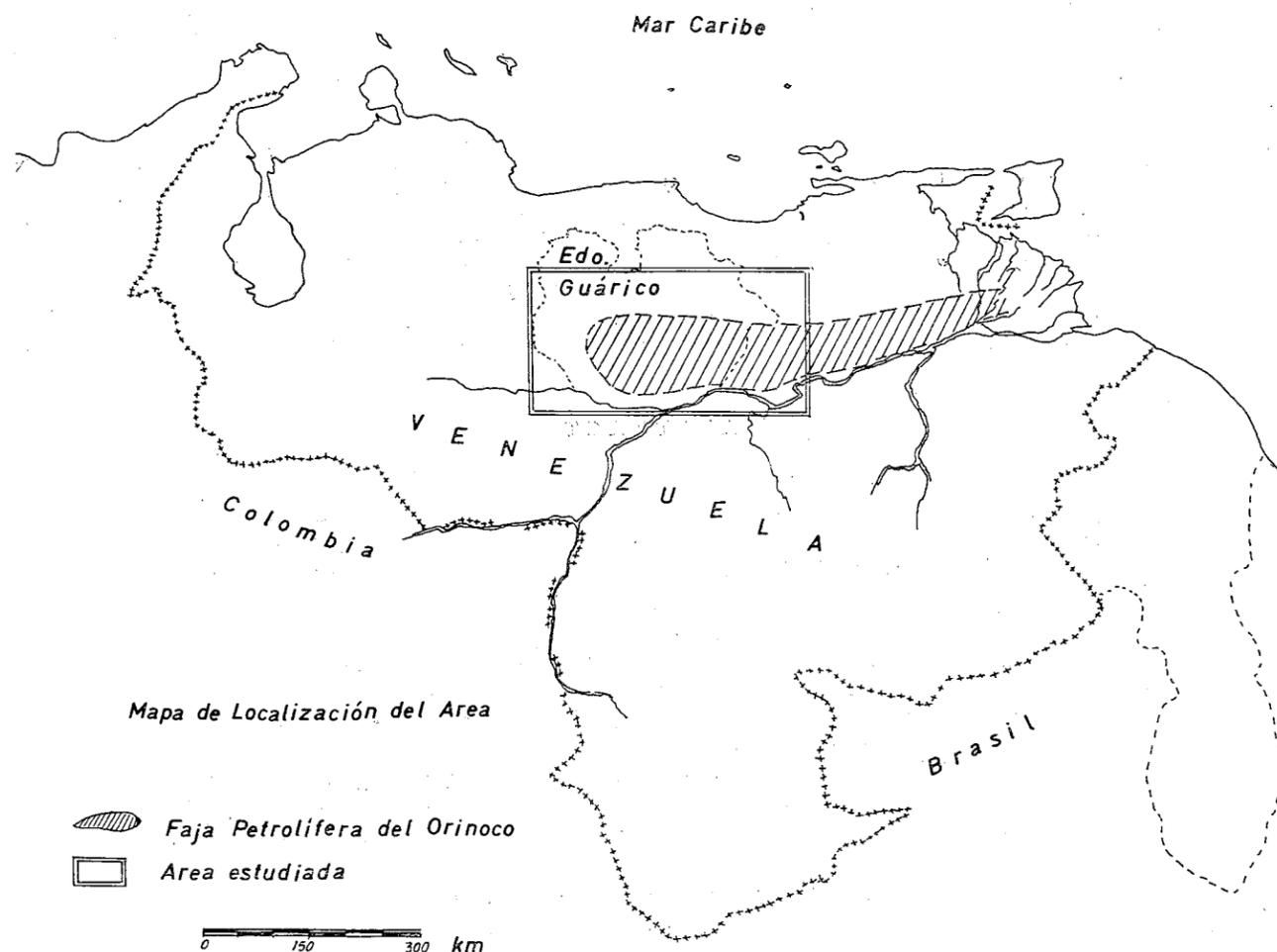


Fig. 1. Mapa de Localización del área

de los datos correspondientes a los diversos levantamientos geofísicos efectuados en el área. El punto de partida para el referido programa fue la Dirección de la Faja Petrolífera del Orinoco y la División de Exploración y Reserva del M.M. e H., actual Ministerio de Energía y Minas, y en segundo lugar las Compañías Operadoras de Petróleos de Venezuela.

INTEGRACION DE LA INFORMACION GRAVIMETRICA

La información disponible para la elaboración del Mapa de Anomalías de Bouguer del área de la Faja Petrolífera del Orinoco en el Estado Guárico, consistía por tanto en datos gravimétricos de:

- Cartografía Nacional —C.N.—
- Ministerio de Minas e Hidrocarburos —M.M. e H.— los cuales fueron reprocesados para calcular anomalías de Bouguer para la densidad $\rho_B = 2.23 \text{ gr/cm}^3$.
- Socony-Vacuum Oil Co. —S.V.O.Co.—

Ahora bien, considerando la diferencia relativa existente entre los valores de gravedad de Bouguer de S.V.O.Co. referidos a la Estación Base de Santa María de Ipire (GM N° 2) con Gravedad Observada igual a 966 unidades arbitrarias, y los valores del M.M. e H., se seleccionaron 140 estaciones de localización geográfica coincidente para ambos levantamientos. Para esos puntos se representó gráficamente la Anomalia de Bouguer de S.V.O.Co. vs. la del M.M. e H., ambas para

$$\rho_B = 2.23 \text{ gr/cm}^3$$

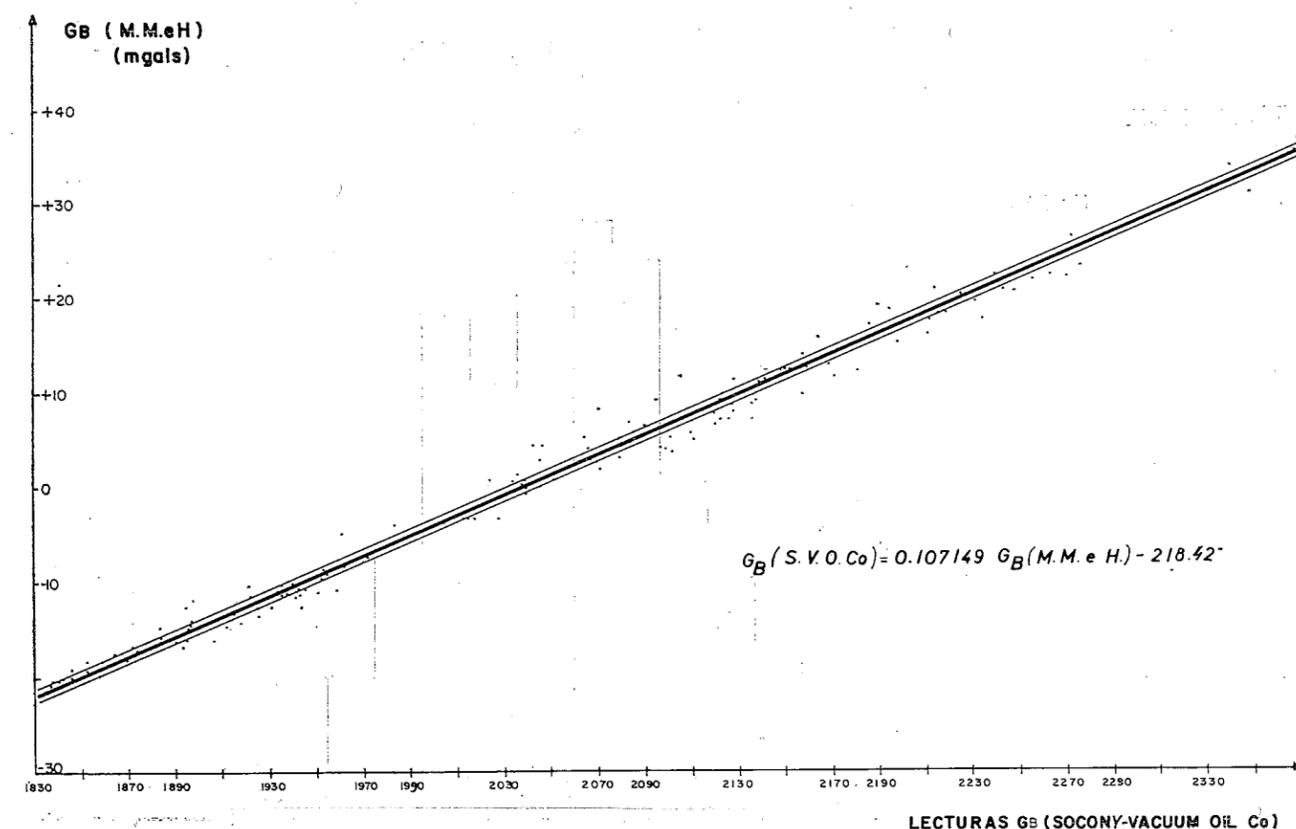


Fig. 2. Relación entre valores de Gravedad del M.M. e H. y la S.V.O.Co

La Fig. N° 2 muestra la curva de ajuste obtenida por mínimos cuadrados, con la cual puede hacerse el cambio de escala de Gravedad de Bouguer de S.V.O.Co. para su integración a la Red Gravimétrica Nacional, mediante la relación:

$$G_B (S.V.O.Co.) = 0.107149 G_B (M.M. e H.) - 218.42$$

Levantamiento gravimétrico U.C.V. (1977)

Una vez unificada la información antes mencionada, y vista la ausencia de valores de gravedad en el extremo sur-occidental del Estado Guárico, se estimó conveniente la ejecución de un levantamiento gravimétrico en esa región. La parte operativa de campo estuvo a cargo del Técnico Geólogo Arturo González, bajo la supervisión de quien suscribe y se empleó para ello un Gravímetro *La Coste & Romberg*, modelo G-452, adquirido por la Escuela de Geología y Minas U.C.V., a través de la donación de FONINVES.

Para este levantamiento se seleccionaron doce (12) estaciones bases, identificadas con las siglas *UCV—, cuyas características se especifican en la Tabla N° 1, y se tomaron estaciones intermedias, aproximadamente cada 3 Km en los siguientes trayectos:

San Fernando de Apure-Guayabal, Guayabal-Cazorla, Cazorla-Hato La Rubiera, Cazorla-Las Culebritas, Las Culebritas-Paso Real de Agua Verde, Herrera-Paso El Caballo, Paso El Caballo-Hato La Rubiera, Cazorla-Queseras Los Corocitos, Palenque-Fundo Los Aceites y Fundo Los Aceites-Los Garzones.

Estos datos fueron igualmente procesados mediante un programa de computación del sistema SPDGM (GRATEROL,

1974) obteniéndose Anomalías de Bouguer para $\rho_B=2.23$ gr/cm³.

TABLA N° 1
CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES BASES DEL
LEVANTAMIENTO GRAVIMETRICO UCV (1977)

Estación	Gravedad observada (mgal)	Elevación (m)	Localización
*UCV02	978138.37	46.05	Aerop. San Fdo. de Apure
*UCV01	978147.05	44.89	Guayabal
*UCV03	978146.96	44.17	Cazorla
*UCV04	978140.37	29.54	Las Culebritas
*UCV05	978147.07	36.51	Paso Real de Agua Verde
*UCV06	978136.08	52.91	Hato La Rubiera
*UCV07	978131.32	17.99	Macanilla
*UCV08	978164.29	44.25	Paso El Caballo
*UCV09	978160.25	52.00	Herrera
*UCV10	978168.19	110.60	Palenque
*UCV11	978162.47	114.05	Fundo Los Aceites
*UCV12	978159.95	102.56	Los Garzones

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS GRAVIMETRICOS

Elaboración del Mapa de Anomalías de Bouguer

Luego de procesados todos los datos correspondientes a los levantamientos gravimétricos realizados por: Cartografía Nacional, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Socony Vacuum Oil Co. —Móbil— y Universidad Central de Vene-

zuela, se elaboró un mapa de Anomalías de Bouguer, escogiéndose para ello la densidad $\rho_B=2.23$ gr/cm³, como densidad promedio, típica para una sección con muy marcadas diferencias sedimentarias, la cual refleja además un buen contraste con la densidad del basamento cristalino infrayacente. (Mapa N° 1).

Análisis de Distribución de Frecuencia de Gravedad de Bouguer y Análisis de Superficies de Tendencia para la obtención de Anomalías Residuales

En la Fig. N° 3 se presenta el histograma de frecuencia de Gravedad de Bouguer, para el cual se tomaron 930 muestras cuyos valores se han distribuido a intervalos de clase de 5 mgals entre un mínimo de -63 mgals y un máximo de +38 mgals, siendo el valor promedio igual a +4.02 mgals.

Este histograma evidencia una distribución normal de la variable en cuestión, hecho por el cual ha podido realizarse sin restricción estadística el Análisis de Superficies de Tendencias requerido para la obtención de las anomalías residuales.

Para la separación de anomalías regionales y residuales se empleó el programa de computación MAP (O'LEARY, LIPPERT & SPITZ, 1966) mediante el cual se calcularon superficies polinómicas desde 1° a 6° grado, para un conjunto de 930 estaciones gravimétricas irregularmente espaciadas.

La selección de la superficie de tendencia más representativa de la estructura profunda del subsuelo se hizo en base a la información geológica y al gráfico de "Coeficientes de Determinación vs. Grado de la Ecuación", Fig. N° 4, donde se advierte que a partir del nivel de tercer grado no existe mejoramiento significativo en el ajuste entre las superficies observadas y calculada.

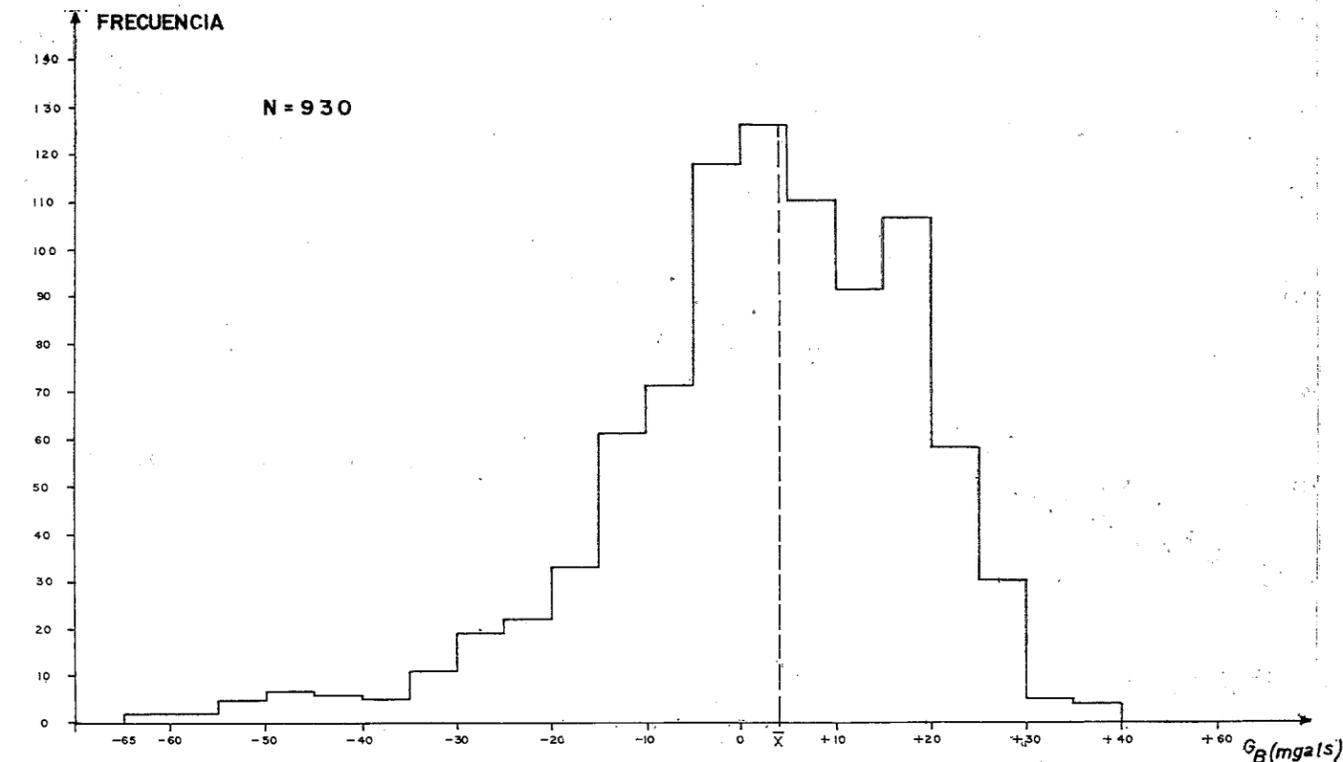


Fig. 3. Histograma de Frecuencia de Gravedad de Bouguer

La Fig. N° 5 muestra la tendencia regional de Anomalía de Bouguer, superficie de grado tres (3) a partir de la cual se elaboró el mapa de anomalías residuales y el Mapa N° 2 representa los contornos de Anomalías Residuales a intervalos de 1 mgal.

RECOPILACION DE INFORMACION MAGNETOMETRICA

Los estudios magnetométricos recopilados y evaluados en este trabajo consisten en:

- a) Mapas magnetométricos, a escala 1:50.000 de Socony-Vacuum oil Co.
- b) Mapas magnetométricos, a escala: 1:200.000, compilados por Mene Grande Oil Co.

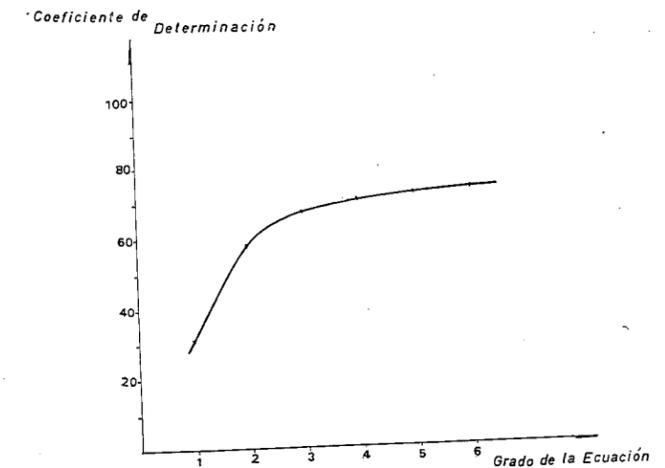


Fig. 4. Gráfico de Coeficiente de Determinación vs. Grado de la Ecuación

c) Mapas magnetométricos (regional y residual) e interpretación de profundidades al basamento, a escala 1:250.000, efectuados por Fotoave C. A. con apoyo técnico de Northway Survey Corporation Limited para el Ministerio de Minas e Hidrocarburos (actual Ministerio de Energía y Minas).

En este caso, tomando en consideración el solapamiento que existe entre las áreas ocupadas por los referidos estudios magnetométricos, así como la gran separación entre las estaciones de S.V.O. Co. (más o menos 20 km), se dio preferencia al levantamiento aeromagnético, mucho más reciente (1976), por lo cual se emplearon directamente sus resultados en la correlación con la información gravimétrica.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

MAPA DE ANOMALIA DE BOUGUER

La observación del Mapa de Anomalía de Bouguer (N° 1) permite distinguir una tendencia regional con orientación preferencial más o menos E-W también evidente en el Mapa de Tendencias (Fig. N° 5). Esto se debe, probablemente, a la influencia de la estructura del basamento infrayacente.

Alterando un tanto ese patrón regional, se distingue en el centro del área un máximo de +36.5 mgal cuyo eje se orienta a manera de arco cóncavo hacia el norte; el ramal este, con rumbo aproximadamente N30E, define el alto estructural de Altamira y a ambos lados del mismo, el pronunciado gradiente de gravedad refleja la presencia de fallas de gran extensión. El ramal oeste está limitado por fallas de rumbo NW, las cuales al parecer forman parte de un sistema de fallas transversales al primero.

Al norte y noroeste de Santa María de Ipire se observa un mínimo de -20.0 mgals con orientación paralela al arco antes mencionado. Entre estos dos ejes de máximos y mínimos gravimétricos se localiza la depresión de Manapire, al norte de la población de Espino.

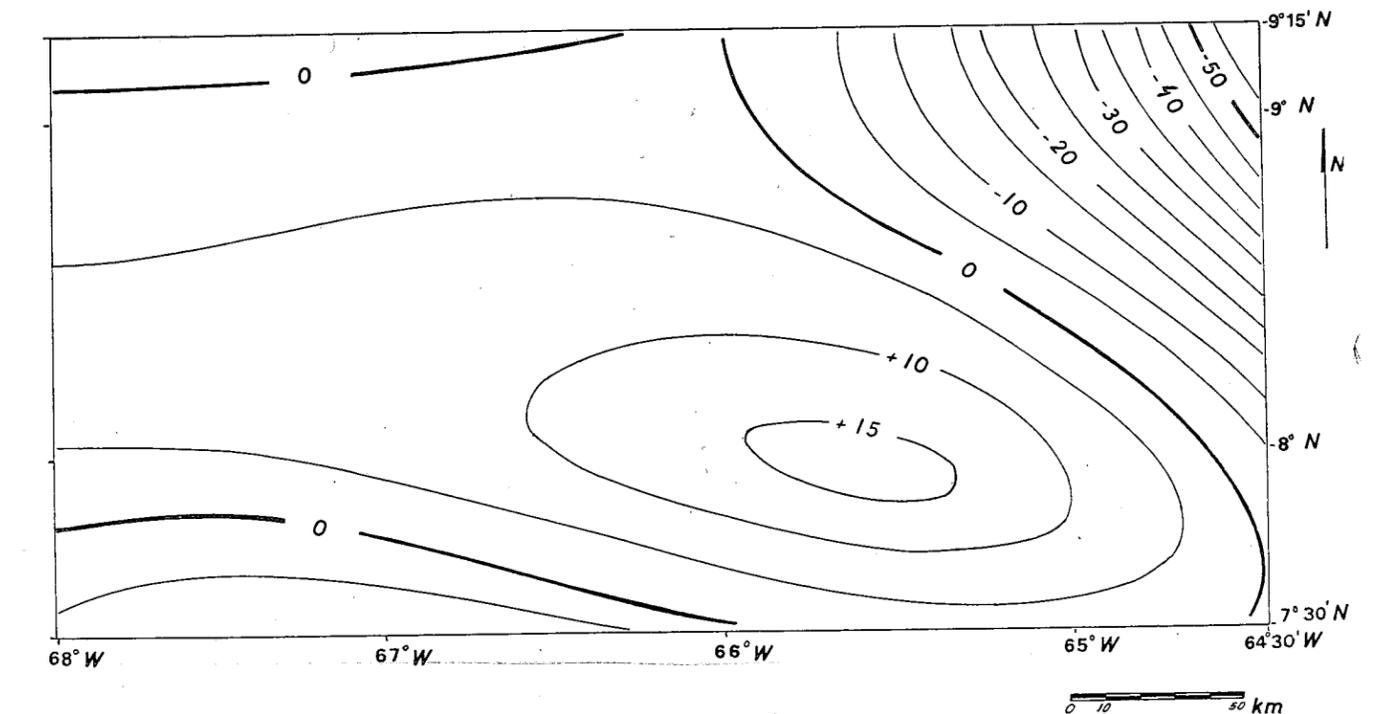


Fig. 5. Superficie de Tendencia de Anomalía Gravimétrica Regional - Unidades: mgals

Las mayores distorsiones en los contornos de anomalías de Bouguer se aprecian en la región limítrofe entre los Estados Guárico y Anzoátegui, área Suata-Carrizal, donde existe una gran complejidad estructural del subsuelo y donde además, la gravedad regional tiende a variar su orientación E-W haciéndose ligeramente NW. Asimismo, en el extremo oeste del área se observa una serie de máximos y mínimos todos con dirección de NE a E-W y bien enmarcados dentro del patrón de anomalía regional.

Al sur del Estado Guárico y alineados en dirección aproximadamente NE, se distinguen un máximo de + 37.0 mgals ubicado al norte de la localidad de Parmana y otro de + 20.0 mgals al norte de la población de Cabruta, los cuales parecen estar asociados a la presencia de rocas intrusivas o afloramientos del basamento. Finalmente en el sector surcentral se destaca una extensa anomalía gravimétrica que profundiza hacia el SW, alcanzando un mínimo de -9.2 mgals en la localidad de Macanillal.

MAPA DE ANOMALIAS RESIDUALES

Se advierte en primer lugar y como forma más notable del área un alto estructural a manera de arco cóncavo hacia el norte, ya reconocido en el mapa de Anomalías de Bouguer.

El máximo valor de gravedad residual, + 24.9 mgals, se localiza en un punto de latitud 8°22' y longitud 66°00' aproximadamente. El referido arco aparece limitado tanto al norte como al sur por fallas de buzamiento alto. Estas fallas dan forma a otras estructuras como es el caso de la depresión de Manapire, la cual está definida por un mínimo de -18.4 mgals, ubicado al norte de la población de Espino, y alcanza valores extremos poco más al norte en una anomalía elongada en dirección E-W con mínimo de -21.7 y -23.4 mgals al este y oeste respectivamente.

Al sur del mencionado alto estructural de Altamira y su extensión oeste, se destaca un mínimo de -17. mgals limitado al sur por una falla del sistema NE. Este mínimo representa un mayor espesor de sedimentos acuñado entre fallas y alcanza su mayor profundidad en el extremo SW.

Se distinguen a continuación una serie de anomalías gravimétricas positivas, alineadas en dirección NE, las cuales alcanzan valores máximos al norte de Cabruta (+ 13.8 mgals), al norte de Parmana (+ 20.4 mgals) y en el área de Suata (+ 4.5 y + 3.9 mgals).

Las dos primeras de estas anomalías fueron ya identificadas en el mapa de Anomalía de Bouguer, no así las del área Suata que fueron aisladas en este mapa residual y parecen estar asociadas a la presencia de intrusivos o representan afloramientos de la roca del basamento.

Al sureste del área, antes de dar paso a las anomalías positivas reflejo del basamento, se observa una banda de anomalías negativas con orientación NE cuyos extremos corresponden a un mínimo de -19.0 mgals al este y otro de -17.5 mgals ubicado al sur de la localidad de Caicara del Orinoco.

En el sector oriental de Guárico, y límites con el Estado Anzoátegui se distinguen: un mínimo de -6.4 mgals que marca la depresión de Iguanas, un mínimo de -7.0 mgals, elongado en dirección NE, al noreste del área y un área con contornos muy distorsionados y valores entre un cero y cuatro miligales, que representan un mínimo relativo y dan forma a la depresión de Carrizal.

Por último, en el área occidental de Guárico se destacan: una amplia anomalía negativa al sur de Calabozo con un

mínimo de -20.1 mgals, una anomalía positiva, extensión del arco de Altamira con un máximo de +17.8 mgals, un mínimo de -12.4 mgals al sur del arco de Altamira en su prolongación hacia el oeste y, más al sur, una anomalía máxima positiva de +3.8 mgal.

Esta serie de anomalías, máximos y mínimos, ponen de manifiesto nuevamente las irregularidades que caracterizan a la secuencia sedimentaria en el subsuelo del Estado Guárico así como del basamento infrayacente.

PERFILES DE ANOMALIAS RESIDUALES

Con el objeto de hacer estimaciones cuantitativas de la profundidad al basamento cristalino se realizaron seis (6) perfiles de anomalías residuales, los cuales fueron interpretados en base a modelos sencillos: esferas, cilindros, prismas, para los cuales se obtuvieron valores promedio de profundidad a la estructura infrayacente, asumiendo contrastes de densidad entre 0.47 y 0.51 gr/cm³. Se interpretaron además los perfiles con mayor gradiente de gravedad usando el modelo de la "losa fallada", mediante el cual se estimaron buzamientos en ángulo y dirección, así como profundidades al tope del labio levantado de las fallas.

Estos cálculos fueron controlados con datos precisos donde se les conocía. Como referencia se tomó la estructura definida por el alto de Altamira, en la cual se conoce la profundidad al basamento por datos de perforación; así pudo determinarse mejor el contraste de densidad a emplear.

CORRELACION DE LA INFORMACION GRAVIMETRICA, MAGNETOMETRICA Y GEOELECTRICA

Mapa de Profundidades Estimadas al Basamento

Como resultado de la evaluación e integración de la información geofísica existente en el área de la Faja Petrolífera del Orinoco en el Estado Guárico, se elaboró un mapa de contornos estructurales del Tope del Basamento, para el cual se consideró fundamentalmente lo siguiente:

- Estimaciones de profundidades promedio obtenidas en los perfiles de anomalías gravimétricas residuales.
- Superficie de tendencia de gravedad regional (Fig. N° 5).
- Información del levantamiento aeromagnético (Mapa de contornos estructurales al Tope del Basamento, M.M. e H., 1976), el cual cubre aproximadamente la mitad del área estudiada, con su límite oeste en la longitud 66°00'00".
- Mapa del Tope del Basamento, elaborado por J. Alfonso y modificado por O. Méndez, (Llanoven, 1974).
- Información geoelectrónica, consistente en registros de pozos y secciones del subsuelo.

En la Fig. N° 11 se presentan los contornos estructurales del Tope del Basamento, siendo el intervalo entre curvas igual a 200 metros.

En este mapa se destacan además como estructuras notables, un conjunto de fallas de orientación NE, entre las cuales se distinguen las de Altamira, Ipire y una más al sur junto a la cual se alinean una serie de cuerpos intrusivos. Hacia el oeste del área se han interpretado varias fallas con rumbo NW, posiblemente integrantes de un mismo sistema. Todas esas fallas controlan los altibajos en el basamento, a la vez que limitan y dan forma a estructuras tales como el alto de Altamira, o las depresiones del Manapire y Carrizal, siendo estas dos últimas las zonas donde existen los mayores es-

pesores sedimentarios suprayacentes al basamento cristalino, en la región de la Faja Petrolífera del Orinoco en el área de estudio.

CONSIDERACIONES A LA PROSPECCION GEOELECTRICA

Recopilación de Información Geoelectrónica

Tradicionalmente han sido los métodos gravimétricos, magnetométricos y con mayor efectividad los métodos sísmográficos, los empleados en la búsqueda del petróleo, de allí que la utilización de técnicas geoelectrónicas en la exploración petrolera sea un hecho relativamente nuevo. Ahora bien, tanto los métodos sísmográficos como los eléctricos tienen una ventaja sobre los gravimétricos y magnetométricos de prospección, y es la de poder controlar el campo que se está empleando, lo cual se traduce en la posibilidad de ajustar y cuadrar una serie de factores inherentes a cada uno de ellos, con la finalidad de alcanzar mayores profundidades en la investigación del subsuelo. Este es un elemento muy importante en la interpretación de los resultados, ya que no sólo son relevantes las características físicas sino también la profundidad de la estructura geológica a ser detectada.

Lo que se pretende, por tanto, al emplear métodos de prospección eléctrica con fines petrolíferos, es encontrar interfases u horizontes geoelectrónicos distintivos análogos a los horizontes sísmicos localizados en la exploración sísmográfica, para lo cual es necesario que exista un contraste apreciable de la propiedad física que se está midiendo, en este caso la resistividad o conductividad eléctrica. El petróleo en sí tiene muy alta resistividad y si se considera que en condiciones favorables exista el requerido contraste de resistividad con el medio circundante, quedaría sólo por resolver el problema de alcanzar la mayor penetración posible en profundidad con el objeto de poder detectar su presencia.

Finalmente, conviene recordar que el elemento de incertidumbre existente en la evaluación final de un estudio geofísico es un hecho no sólo reconocido sino admitido por geólogos y geofísicos que comparten la responsabilidad de

la interpretación (GISH, 1932), por lo cual, un análisis conjunto basado en toda la información disponible será siempre más acertado que el realizado a partir de un solo método.

En este trabajo se recopiló la información de pozos existente en el Estado Guárico y parte occidental de Anzoátegui, seleccionándose de allí catorce pozos, listados, en la Tabla N° 2, cuya localización se muestra en la Fig. N° 6.

TABLA N° 2

REFERENCIAS DE LOS POZOS UTILIZADOS EN EL ANALISIS ESTADISTICO Y CALCULO DE PARAMETROS GEOELECTRICOS

Pozo	Estado	Compañía	Año de perforación
Suata 1	Anzoátegui	Socony-Vacuum Oil Co.	1938
Machete 1	Guárico	Caracas Petroleum Co.	1939
Altamira 1	Guárico	Socony-Vacuum Oil Co.	1939
Iguana 1	Guárico	Socony-Vacuum Oil Co.	1939
Iguana 2	Guárico	Socony-Vacuum Oil Co.	1939
Gorrín 1	Guárico	Standard Oil Co. de Venezuela	1940
Tres Matas 1	Guárico	Socony-Vacuum Oil Co.	1940
Tres Matas 2	Guárico	Socony-Vacuum Oil Co.	1940
Pericocal 1	Guárico	Socony-Vacuum Oil Co.	1944
Manapire 2	Guárico	S.A. Petroera Las Mercedes	1944
Suata T-1	Anzoátegui	Texas Petroleum Co.	1973
Carrizal 2X	Anzoátegui	Móbil Oil Co.	1975
Santa Rita 1X	Guárico	S.A. Meneven	1976
San Diego 2X	Anzoátegui	C.V.P.	1976

Para el análisis estadístico y cálculo de los parámetros eléctricos promedio se emplearon los registros de resistividad "normal corto" compilados para los catorce pozos y digitalizados a intervalos de dos (2) pies de profundidad.

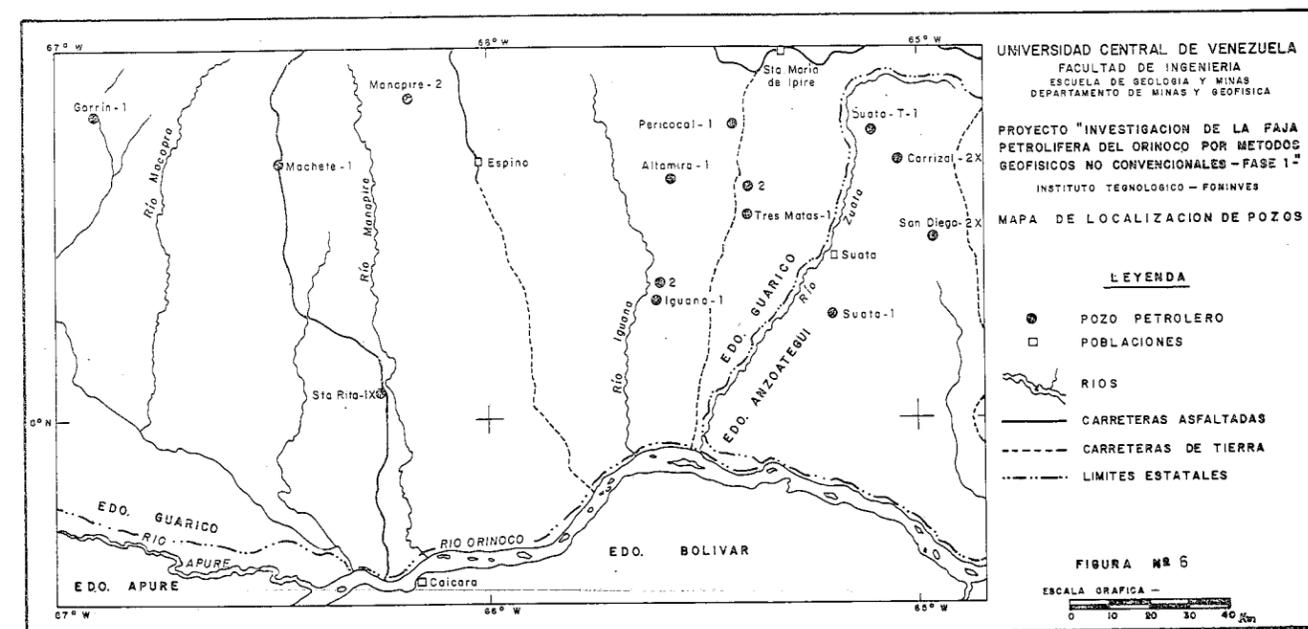


Fig. 6. Mapa de Localización de pozos

Seguidamente, en base al patrón general observado en la distribución de las resistividades: resistividades superficiales bajas, que se incrementan gradualmente alrededor de los 300-400 m de profundidad, seguida de resistividades medias que aumentan con la proximidad al basamento; se delimitaron tres unidades geoelectricas, cuyos límites no necesariamente coinciden con los de las formaciones geológicas, por cuanto son esencialmente reflejo de las características eléctricas de la columna sedimentaria.

En la Tabla N° 3 se indican las unidades geoelectricas identificadas con sus siglas correspondientes y su correlación con la información geológica. Al respecto, conviene aclarar que no existe información precisa de profundidad al basamento en todos los pozos, por lo cual la unidad inferior "I" no siempre está presente. En tales casos se ha extrapolado la sección geoelectrica asignando a la referida unidad los valores de resistividades transversales y longitudinales calculados para la sección tipo tomada del pozo, Carrizal 2X.

TABLA N° 3

UNIDADES GEOELECTRICAS

Unidad	Formación geológica	Litología generalizada
Superficial "S"	Oficina Superior Chaguaramas	Lutítica
Media "M"	M 1 Oficina Media	Arenisca-Lutita (Petrolífera)
	M 2 Oficina Inferior Temblador Superior	Muy arenosa Lutitas-Caliza (Petrolífera)
	M 3 Temblador Inferior	Areniscas-Arcilitas Limolitas (No Petrolífera)
Inferior "I"	I 1 Temblador Inferior Carrizal Superior	Lutítico-arenosa Arcilitas
	I 2 Carrizal Inferior	Areniscas-Lutitas

CALCULO DE LOS PARAMETROS GEOELECTRICOS

Curvas de Densidad de Probabilidades de Resistividades

El análisis de registros eléctricos de pozos ha sido de gran utilidad en la etapa previa a la exploración geoelectrica del subsuelo, por cuanto en base a ellos es posible estimar los parámetros que caracterizan una sección geoelectrica, esto es:

- Resistividad longitudinal promedio: ρ_L .
- Conductancia longitudinal total: S.
- Resistividad transversal promedio: ρ_{TR} .
- Resistencia transversal total: T.
- Coefficiente de Anisotropía: λ .

Así, una vez identificadas en cada uno de los registros de los pozos las tres unidades geoelectricas antes mencionadas y en algunos casos subunidades que representan fuertes variaciones de la distribución de resistividades dentro del promedio, se obtuvieron curvas de Densidad de Probabilidad de Resistividades, con intervalos de clase incrementados logarítmicamente (Fig. N° 7).

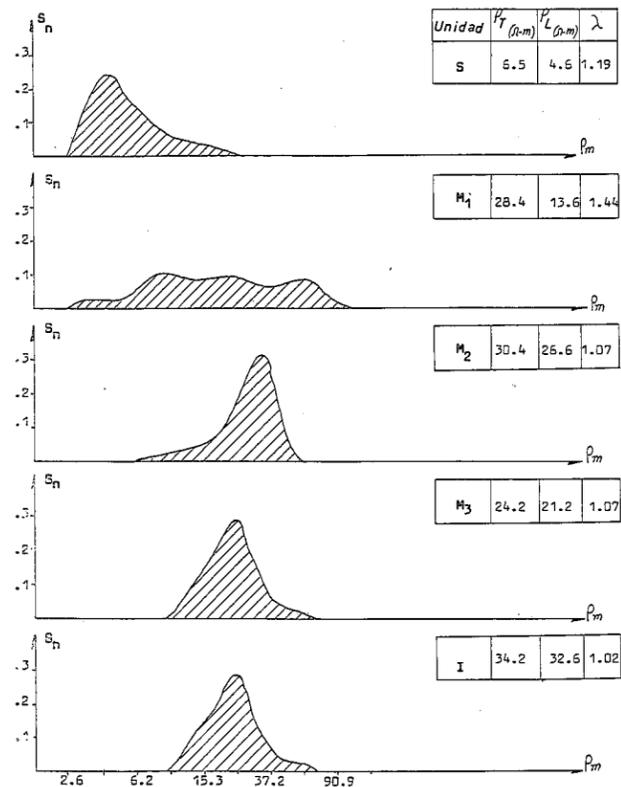


Fig. 7. Curvas de Densidad de Probabilidad de Resistividad para el Pozo Altamira 1

A partir de estas curvas, designadas como funciones $G(\log \rho)$ se evaluaron los parámetros eléctricos promedio para las diferentes unidades, mediante las expresiones:

$$\rho_{TR} = \int_0^{\infty} \rho G(\log \rho) d\rho$$

$$\sigma_L = \int_0^{\infty} \frac{G(\log \rho)}{\rho} d\rho$$

(KELLER, 1968)

Como modelo de la metodología seguida con todos los pozos, se presenta en la Tabla N° 4 la secuencia de valores calculados para obtener analíticamente las curvas de Densidad de Probabilidad de Resistividades (Modelo, Fig. N° 7) y los parámetros eléctricos promedio de la unidad S en el pozo Altamira 1 donde:

- ρ_m = valor de resistividad media incrementado logarítmicamente
- f_n = número de muestras por clase
- N = número total de muestras en la unidad geoelectrica
- F_n = fracción del número de muestras = $F_n/N \times 0.097$
- S_n = área bajo la curva normal estandarizada entre el intervalo considerado
- $S_n \times \rho_m$ = resistividad transversal promedio = ρ_{TR}
- S_n/ρ_m = conductancia longitudinal promedio = σ_L
- λ = coeficiente de anisotropía = $\sqrt{\rho_{TR}/\rho_L}$

TABLA N° 4
CALCULO PARA CURVAS DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE RESISTIVIDAD Y PARAMETROS ELECTRICOS PROMEDIO

POZO ALTAMIRA 1								
UNIDAD: S			INTERVALO: 131.1 — 328.9 m					
Límites de Clases (Ωm)	ρ_m	f_n	F_n	$\rho_L = 6.5 \Omega m$	$\rho_L = 4.6 \Omega m$	$\lambda = 1.19$		
				$\frac{F_n + F_{n+1}}{2}$	$\frac{F_n + F_{n+1}}{2T} = S_n$	$S_n \times \rho_m$	$\frac{S_n}{\rho_m}$	
1.8-2.3	2.0							
2.3-2.9	2.6							
2.9-3.6	3.2	25	0.624	1.235	0.124	0.397	0.0669	
3.6-4.5	4.0	74	1.847	2.158	0.216	0.864	0.0540	
4.5-5.6	5.0	100	2.496	2.171	0.217	1.085	0.0434	
5.6-6.9	6.2	74	1.847	1.597	0.160	0.960	0.0258	
6.9-8.7	7.8	54	1.348	1.073	0.107	0.835	0.0137	
8.7-10.9	9.8	32	0.799	0.661	0.066	0.647	0.0067	
10.9-13.7	12.2	21	0.524	0.436	0.044	0.537	0.0036	
13.7-17.1	15.3	14	0.349	0.336	0.034	0.520	0.0022	
17.1-21.3	19.1	13	0.324	0.237	0.024	0.458	0.0012	
21.3-26.6	23.8	6	0.150	0.075	0.007	0.167	0.0003	
26.6-33.3	29.8							
33.3-41.6	37.2							
41.6-51.1	46.6							
52.1-65.1	58.2							
65.1-81.3	72.8							
81.3-101.6	90.9							
101.6-126.9	113.7							
		N=413	T=9.979	0.999	6.470	0.2178		

El comportamiento de las propiedades eléctricas en las unidades geoelectricas seleccionadas, puede visualizarse mejor si se observan las curvas de Densidad de Probabilidad de Resistividades obtenidas para la serie de pozos considerados (Fig. N° 7).

Así, resulta evidente la naturaleza unimodal, a veces bimodal, en la distribución de resistividades de la Unidad Superficial e Inferior, no así la Intermedia, en particular la subunidad M1, donde se destaca notablemente el carácter multimodal de la distribución, reflejo de la presencia de variados tipos litológicos en la secuencia sedimentaria.

Por último, se indican en la Tabla N° 5 los valores de los parámetros geoelectricos calculados a partir de los registros de los pozos analizados, donde se especifican: profundidad estimada al basamento (Km), intervalo con registro y porcentaje de la sección sedimentaria registrada, así como resistividades transversales, longitudinales y coeficientes de anisotropía por unidad geoelectrica, valores de los mismos correspondientes al espesor sedimentario total y resistividades medias.

POSIBILIDAD DE DETECCION DE LA UNIDAD PETROLIFERA

Como puede apreciarse en la Tabla N° 5, los más altos valores de resistividades se concentran en la Unidad

Geoelectrica "M", presente en todos los pozos analizados; la cual corresponde a las formaciones petrolíferas reconocidas en el área (Tabla N° 3).

Este hecho, lógico y deseable a la vez, tiene grandes implicaciones si se considera la posibilidad de aplicar métodos de prospección eléctrica para la detección de la Unidad Petrolífera "M", específicamente sus miembros M1-M2, en esta región de la Faja Petrolífera del Orinoco.

Con ese fin se elaboraron mapas de coeficientes de anisotropía y espesor de la unidad "S" suprayacente a la unidad petrolífera (Figs. N° 8 y 9). Comparando esos mapas puede observarse que los valores más altos de coeficientes de anisotropías se presentan en los extremos NW (Pozo Gorrín 1) y SE (Pozos Suata 1, San Diego 2X), y alrededor de los pozos Tres Matas 1-2; a estas regiones deberán corresponder, como ocurre en la mayoría de los casos, los menores espesores sedimentarios; así, tal como se aprecia en la Fig. N° 9, las profundidades relativamente menores se localizan al NW y S-SE del área, coincidiendo con lo indicado para el mapa de Coeficientes de Anisotropía (Fig. N° 8).

Ahora bien, a este nivel conviene recalcar que el principio fundamental en el cual se basa la interpretación de los resultados eléctricos es muy simple... "la profundidad alcanzada en la investigación del subsuelo depende del espacia-

TABLA N° 5

PARAMETROS GEOELECTRICOS CALCULADOS A PARTIR DE LOS REGISTROS DE POZOS ANALIZADOS

Pozo	Profundidad al basamento (ms) *	Intervalo con registro (ms)	% de la Sección	Unidades Geoelectricas	Intervalo (ms)	$\rho_T (\Omega-m)$	$\rho_L (\Omega-m)$	λ	$\rho_L \text{ Total}^* (\Omega-m)$	$\lambda \text{ Total}^*$	$S^* (mbos)$	$\rho_T \text{ Total}^*$	$\rho_m \text{ Parcial} \sqrt{\rho_T \times \rho_L}$	$\rho \text{ Aparente} \lambda \times h$	$\rho_m \text{ Total} \sqrt{\rho_T \times \rho_L}$
Santa Rita	513	436.6	35	S	316.5	6.19	4.76	1.14	6.14	1.03	83.55	6.49	5.43	360.81	6.31
				M1	170.1	8.66	6.10	1.19					7.27	202.42	
				I	25.0*	17.2*	16.2*	1.03*					16.69	26.25	
San Diego 2X	2200	797.6	36	S	573.8	5.29	2.73	1.39	6.06	1.26	363.0	9.68	3.80	797.58	7.66
				M1	90.2	20.41	7.81	1.62					12.63	146.12	
				M2	118.3	9.99	9.09	1.05					9.53	124.22	
				I	1415.9*	17.2*	16.2*	1.03*					16.69	1472.54	
Machete 1	3100	917.1	30	S	557.3	7.90	5.20	1.23	16.24	1.15	190.9	21.32	6.41	685.48	18.61
				M1	226.8	19.28	11.24	1.31					14.72	297.11	
				M2	87.8	64.34	30.30	1.45					44.15	121.31	
				M3	68.3	25.79	20.41	1.12					22.94	76.5	
I	2157.3*	17.2*	16.2*	1.03*	16.69	2912.36									
Manapire 2	3650	1408.2	39	S	461.6	7.88	6.58	1.09	13.26	1.05	275.26	14.52	7.20	503.14	13.88
				M1	190.2	14.66	9.90	1.22					12.05	232.04	
				M2	108.5	19.06	14.29	1.15					16.50	124.78	
				M3	624.4	24.89	17.86	1.18					21.08	736.79	
I	2262.8*	17.2*	16.2*	1.03*	16.69	2330.68									
Suata T-1	3600	1426.8	40	S	590.9	3.22	2.70	1.09	7.64	1.15	471.2	10.07	2.95	644.08	8.77
				M1	74.4	5.04	4.57	1.05					4.8	78.12	
				M2	552.4	10.62	9.80	1.09					10.2	574.5	
				M3	168.9	10.68	9.71	1.05					10.18	177.35	
I	2211.0*	17.2*	16.2*	1.03*	16.69	2387.88									
Carrizal 2X	3700	2871.9	78	S	567.7	3.43	2.95	1.08	8.90	1.21	415.73	13.11	3.18	613.15	10.80
				M1	56.1	3.34	3.05	1.05					3.19	58.91	
				M2	417.1	9.54	8.33	1.07					8.91	446.3	
				M3	182.9	10.12	9.80	1.02					9.96	186.56	
I	2474.4*	17.2*	16.2*	1.03*	16.69	2548.63									
Suata-1	1300	500.6	39	S	278.7	7.9	4.0	1.40	11.77	1.13	110.4	15.09	5.62	390.18	13.33
				M1	156.1	50.1	9.0	2.36					21.23	368.4	
				I	865.2*	17.2*	16.2*	1.03*					16.69	891.16	
Tres Matas 2	2950	869.5	29	S	361.0	7.1	4.1	1.32	13.67	1.12	215.8	17.23	5.4	476.52	15.35
				M1	172.6	65.4	14.0	2.16					30.26	372.82	
				M2	257.9	24.9	23.1	1.04					23.98	268.22	
				M3	234.8	17.8	16.9	1.03					17.34	241.84	
I	1923.7*	17.2*	16.2*	1.03*	16.69	1981.41									
Iguana 1	2220	339.0	15	S	259.1	13.6	9.7	1.18	16.23	1.01	136.87	16.62	11.5	305.74	16.42
				M1	155.5	43.1	10.3	2.04					21.07	317.22	
				I	1805.4*	17.2*	16.2*	1.03*					16.69	1859.56	
Iguana 2	2220	338.4	15	S	274.4	13.8	10.0	1.17	16.54	1.03	134.22	17.59	11.75	321.05	17.06
				M1	126.2	58.9	19.2	1.75					33.63	220.85	
				I	1819.4*	17.2*	16.2*	1.03*					16.69	1873.98	
Pericocal-1	2450	1617.7	66	S	515.2	5.3	4.5	1.08	10.97	1.16	223.34	14.88	4.88	556.42	12.78
				M1	216.5	12.2	6.8	1.34					9.11	290.11	
				M2	237.8	29.0	23.8	1.10					26.27	261.58	
				M3	600.6	22.0	15.7	1.18					18.58	708.71	
I	879.9*	17.2*	16.2*	1.03*	16.69	906.3									
Tres Matas 1	2900	698.2	24	S	386.6	4.5	3.5	1.13	11.86	1.18	244.5	16.40	3.97	436.86	13.95
				M1	140.2	56.3	21.9	1.60					35.11	224.32	
				M2	116.5	24.0	21.6	1.05					22.77	122.33	
				M3	188.4	15.8	15.2	1.02					15.5	192.17	
I	2068.3*	17.2*	16.2*	1.03*	16.69	2130.35									
Altamira-1	1133	1002.4	88	S	382.9	6.5	4.6	1.19	12.47	1.25	104.0	17.15	5.47	455.65	13.67
				M1	168.9	28.4	13.6	1.44					19.65	243.22	
				M2	227.4	30.4	26.6	1.07					28.44	243.32	
				M3	335.4	24.2	21.2	1.07					22.65	358.88	
I	18.3*	17.2*	16.2*	1.03*	16.69	18.85									
Gorrín-1	3180	987.8	31	S	338.4	7.38	3.95	1.37	12.47	1.30	255.0	21.08	5.4	463.61	16.19
				M1	393.9	8.17	3.83	1.46					5.59	575.09	
				M2	131.1	23.59	6.29	1.94					12.18	254.33	
				M3	109.8	16.16	8.93	1.35					12.01	148.23	
I	2204.4*	17.2*	16.2*	1.03*	16.69	2292.58									

* Estimados.

miento entre los electrodos empleados en el dispositivo" (HEILAND, 1932), por ello, cualquier estimación hecha en este sentido dará la pauta para la demostración experimental de los resultados aquí expuestos.

En la Fig. N° 10 se presenta un mapa de Espesores Ficticios, posibles de ser detectados mediante Sondeos Eléctricos Verticales —Dispositivo Schlumberger— el cual resulta del producto de los mapas de Coeficientes de Anisotropía (Fig. N° 8) y Espesor de la Unidad "S" (Fig. N° 9):

$$\lambda_s \times h_s = \text{Espesor Ficticio Unidad "S"}$$

Se trazaron en él, curvas para valores característicos de separación de electrodos de corrientes, AB/2, para un arreglo Schlumberger. Esos valores fueron incrementados en dos saltos de AB/2 para garantizar una mayor probabilidad de determinación del tope de la unidad petrolífera "M".

Puede observarse en la Fig. N° 10 que las mayores separaciones electrónicas (1000-1250 m) se tienen en las cercanías de los pozos *Machete 1* al oeste y en el extremo E-NE, pozos *Suata T-1*, *Carrizal 2X* y *San Diego 2X*, disminuyendo hacia el sur donde es menos espesa la Unidad "S".

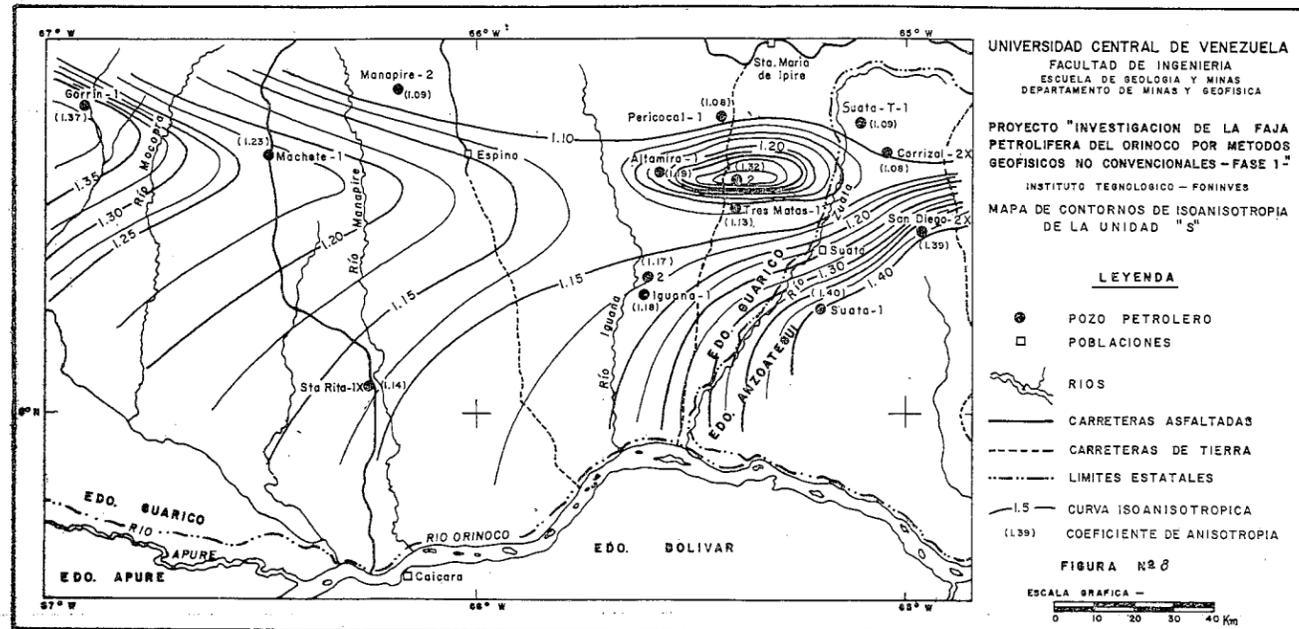


Fig. 8. Mapa de Contornos de Isoanisotropía de la Unidad "S"

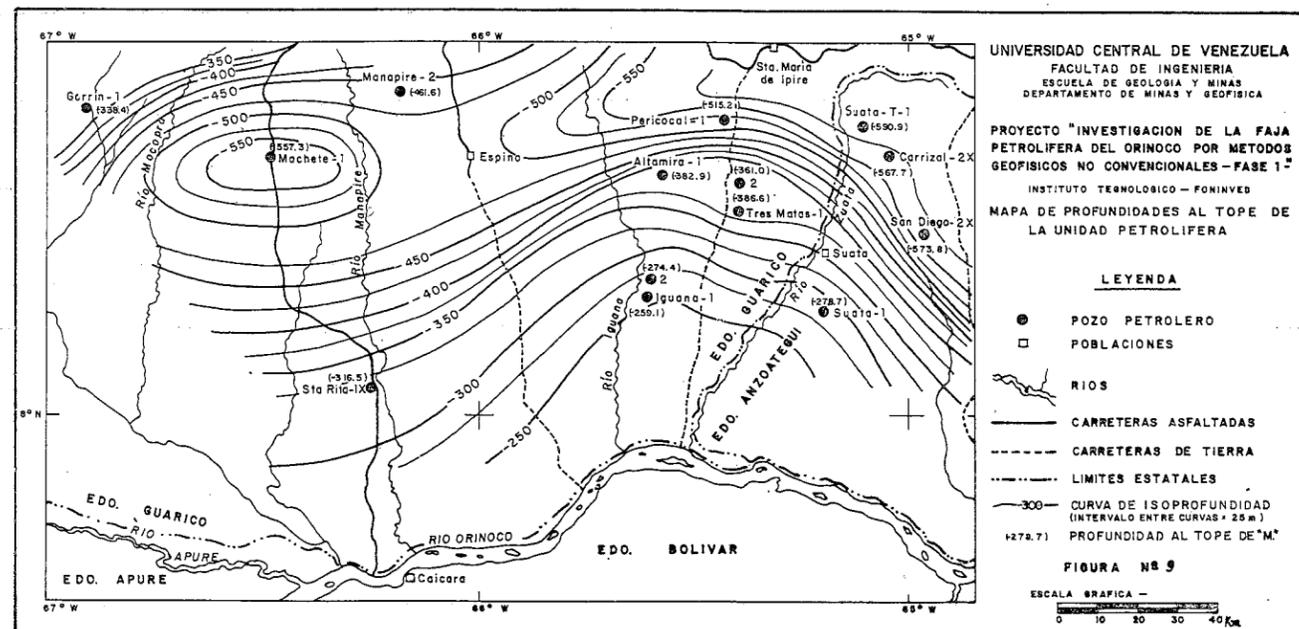


Fig. 9. Mapa de Profundidades al Tope de la Unidad Petrolífera

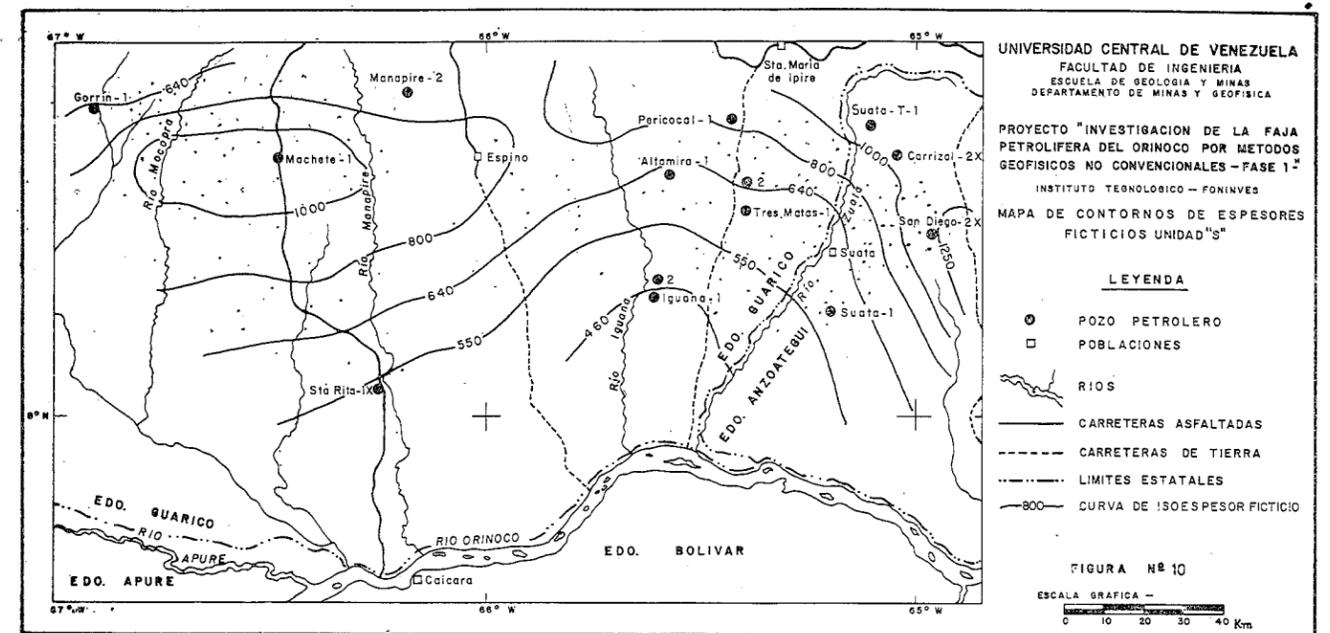


Fig. 10. Mapa de Contornos de Espesores Ficticios de la Unidad "S"

Possibilidad de detección del basamento

En el aparte anterior se analizó y demostró la posibilidad de detectar una unidad geoelectrica, de alta resistividad contrastante con el medio circundante, sin limitaciones aparentes en lo relativo a profundidad de penetración. Ahora bien, la finalidad de este estudio no es sólo esa, sino también considerar la factibilidad de determinar la estructura del basamento cristalino mucho más profundo. En tal sentido, la experiencia ha demostrado que no existe una regla fija para marcar una profundidad límite de penetración con prospección eléctrica, sino que en cada lugar varían las condiciones (PETERS & BARDEEN, 1932). Lo recomendable, por tanto, sería emplear diferentes dispositivos electródicos o combinaciones de ellos a fin de seleccionar el más adecuado para el objetivo que se persigue.

Con miras a la detección del Tope del Basamento se consideraron las propiedades geoelectricas de la secuencia sedimentaria total suprayacente al mismo. Así, en la Fig. N° 11 se muestra un mapa de profundidades estimadas al Tope del Basamento elaborado en base a los datos gravimétricos y magnetométricos recopilados y en las Figs. Nos. 12 y 13, mapas de Contornos de Resistividades Longitudinales Totales y Coeficientes de Anisotropía.

En general puede observarse que las isóneas correspondientes a los dos parámetros mencionados decrecen su valor tanto al norte como al sur, distinguiéndose los más altos coeficientes de anisotropías al NW (Pozo *Gorrín 1*) y en las inmediaciones a los pozos *Altamira 1* y *San Diego 2X*, al este; y los máximos valores de resistividades longitudinales alrededor de los pozos *Machete 1* e *Iguanas 1-2*.

A partir del Mapa de Profundidades estimadas al Tope del Basamento (Fig. N° 11) y del mapa de Resistividades Longitudinales (Fig. N° 12) se construyó un mapa de Conductancias Longitudinales "S (mhos)" donde:

$$S = H/\rho_{L\text{TOTAL}}$$

El objetivo primordial de un mapa de Conductancias Longitudinales, en este caso, es para delimitar geográficamente

áreas donde sea posible aplicar con efectividad métodos eléctricos empleando diferentes dispositivos electródicos, por cuanto el parámetro "S" es un índice de profundidad y por ende, será también un indicador para estimar las separaciones electrónicas a ser utilizadas en la prospección.

La relación entre conductancias longitudinales y profundidades resulta evidente si se comparan los mapas de las Figs. Nos. 14 y 11, donde las discrepancias existentes entre ambos son efecto de las variaciones en las resistividades longitudinales. En base a una estimación de resistividades aparentes, ρ_a , según la relación:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

donde

K = Constante geométrica para cada dispositivo electródico.

ΔV = Diferencia de potencial.

I = Intensidad de corriente eléctrica

y asumiendo una diferencia de potencial mínima apreciable $\Delta V = 10$ mV e intensidad de corriente máxima utilizable $I = 10.000$ mA, se calculó la constante "K" para una separación electrónica AB/2 máxima igual a 3 Km, en el dispositivo Schlumberger. Estos tres factores reproducen un valor de "resistividad aparente crítica" ρ_{ac} el cual, al ser representado gráficamente contra distancias interelectrónicas AB/2 (Fig. N° 15), define el punto correspondiente a la línea 45° cuya intersección con el eje de las abscisas establece el límite de conductancias detectable, con Sondeos Eléctricos Verticales —dispositivo Schlumberger—.

Ahora, tomando en cuenta los problemas operacionales que acompañan la ejecución de S.E.V. muy largos, se han hecho algunas consideraciones a la posible aplicación de Sondeos Dipolares —S.D.— con los objetivos previamente definidos. Este tipo de sondeos ha sido utilizado en la explo-

ración petrolera, tanto en la Unión Soviética, como en los Estados Unidos de América, con resultados favorables. En este estudio se han estimado valores de conductancias longitudinales "S" para combinaciones de arreglos electródicos "Schlumberger con dipolos axiales y ecuatoriales"; esto se hace con el fin de simplificar las operaciones de campo iniciando el trabajo con S.E.V. hasta aproximadamente 1 ó 2 Km de AB, y desplazando luego el dipolo de potencial MN para tener un arreglo dipolar axial o ecuatorial; aprovechando además la similitud que existe en la parte operativa e inter-

pretativa de ambos dispositivos. Así, las curvas de resistividad aparente de S.E.V. y S.D. serán equivalentes cuando se superponen en el eje de distancias los valores de AB/2 (separación entre electrodos de corriente) y R/2 (distancia perpendicular entre los puntos medios de los dipolos de corriente y potencial en S.D) y el parámetro de interés en este caso, la conductancia longitudinal, vendrá dado igualmente por la abscisa de la intersección de la asíntota 45° con el eje $\rho = 1$, salvo un factor constante que depende del tipo de dipolos usados.

Finalmente el gráfico de "Resistividades aparentes críticas v.s. Espaciamiento entre electrodos (AB/2 o R)" de la Fig. N° 15 muestra los límites de conductancia para cada disposición de electrodos. Estos valores de "S" han permitido delimitar áreas donde existe la posibilidad de aplicar prospección geoelectrica para la detección del basamento. Las Figs. Nos. 16-17 y 18, representan, las regiones donde podría prospectarse el subsuelo con miras a la determinación de la estructura del tope del basamento mediante S.E.V. (Schlumberger) y S.D (Ecuatoriales y Axiales) respectivamente.

SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Investigación gravimétrica y magnetométrica

1. En primer lugar y en cumplimiento de los objetivos prefijados en este programa de investigación, se efectuó una recopilación detallada de la información gravimétrica y magnetométrica existente en el área de la Faja Petrolífera del Orinoco en el Estado Guárico y parte occidental de Anzoátegui, la cual consiste fundamentalmente en:

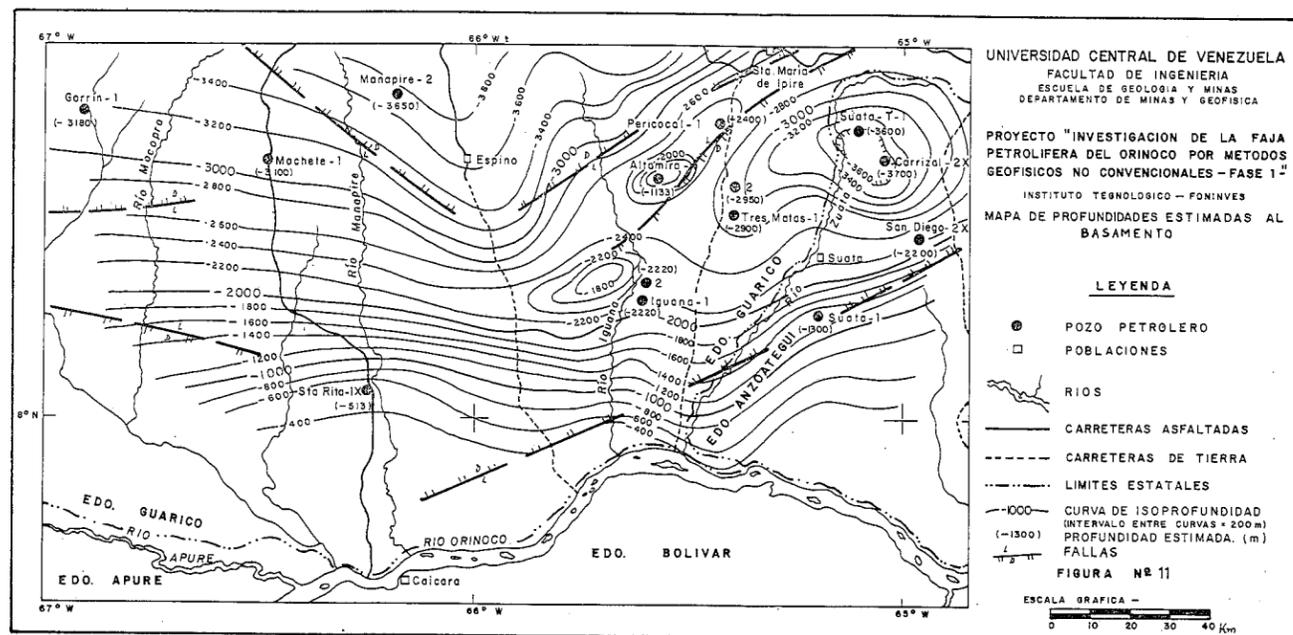


Fig. 11. Mapa de Profundidades estimadas al Tope del Basamento

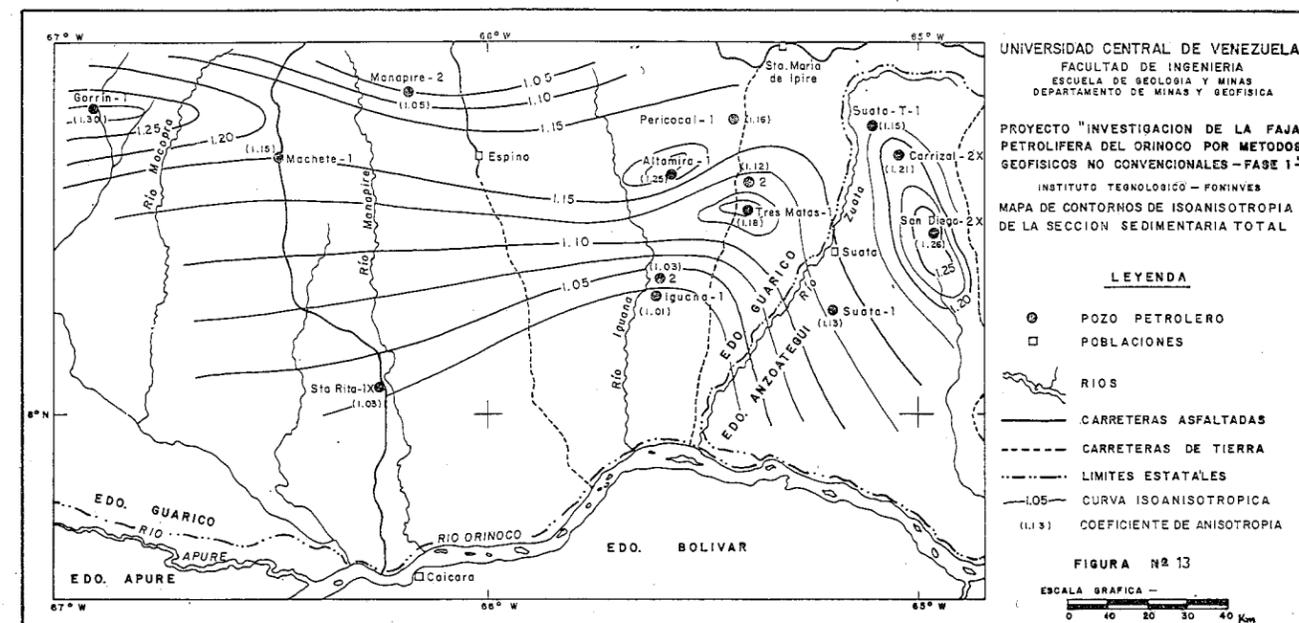


Fig. 13. Mapa de Contornos de Isoanisotropía de la Sección Sedimentaria Total

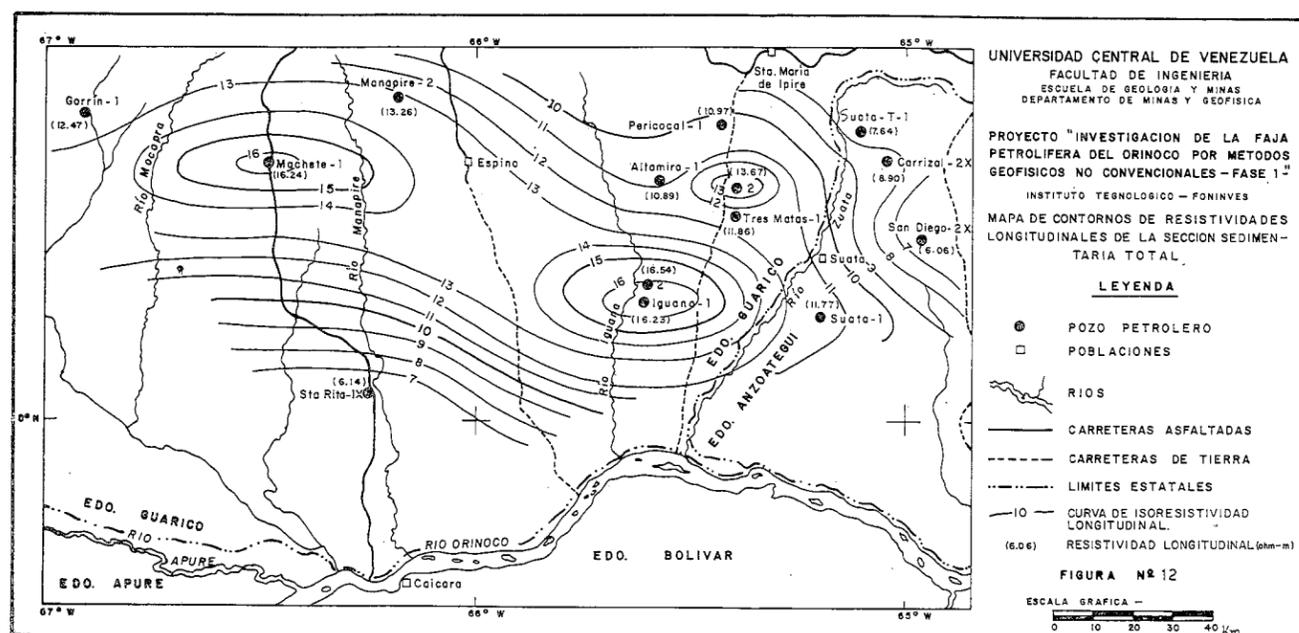


Fig. 12. Mapa de Resistividades Longitudinales de la Sección Sedimentaria Total

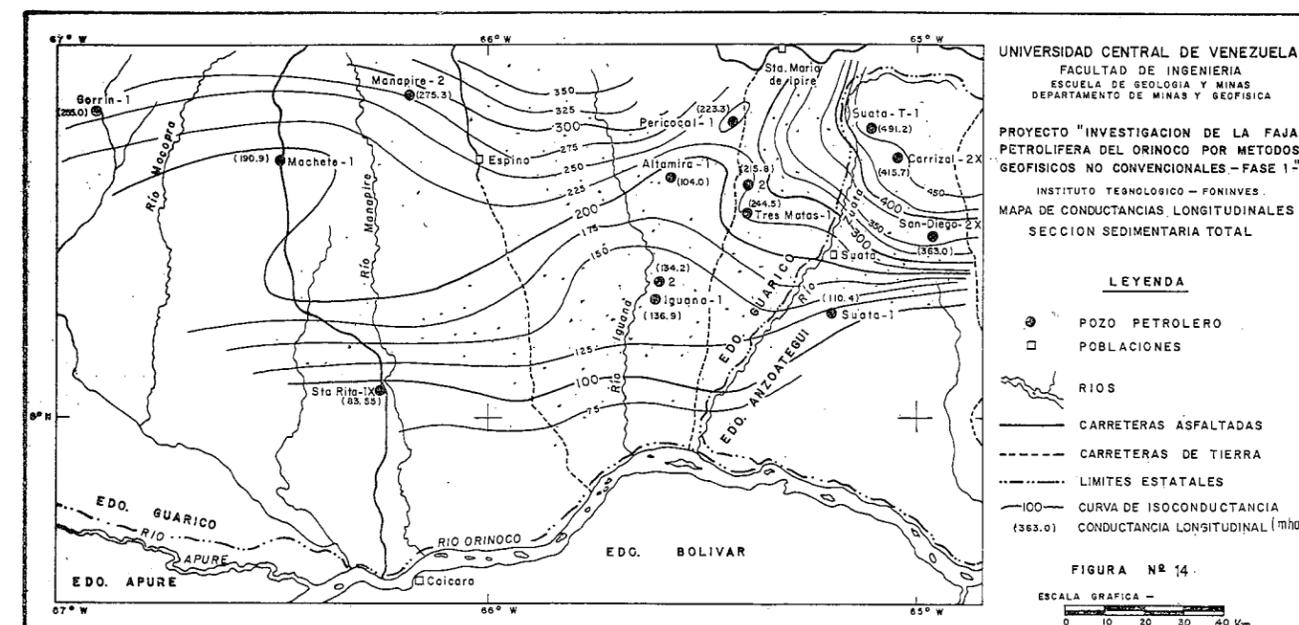


Fig. 14. Mapa de Conductancias Longitudinales de la Sección Sedimentaria Total

a. Mapas de Anomalías de Bouguer originales o compilaciones de diversas fuentes.

b. Mapas magnetométricos, originales o compilaciones y mapas de anomalías magnéticas regionales y residuales con datos del levantamiento aeromagnético (M. M. e H., 1976).

2. De la información gravimétrica sólo se obtuvieron datos originales del levantamiento realizado por Socony-Vacuum Oil Co. (1939), esto es: valores de gravedad de Bouguer, localización, cotas de las estaciones y correcciones aplicadas;

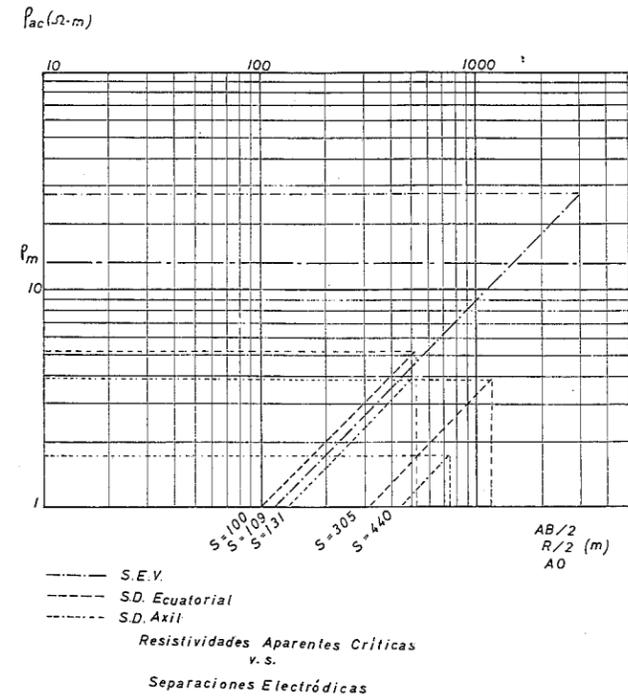


Fig. 15. Resistividades Aparentes Críticas vs. Separación Electrónica AB/2, R/2, AO

con lo cual se determinó la densidad empleada para la elaboración de las Cartas de Anomalía de Bouguer:

$$\rho_B = 2.23 \text{ gr/cm}^3.$$

Luego, el conjunto de estaciones gravimétricas del Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Cartografía Nacional y Socony-Vacuum Oil Co., pudo ser relacionado mediante el gráfico de la Fig. N° 2, quedando de esta manera integradas a la Red Gravimétrica Nacional las estaciones de S.V.O. Co.

3. Un valioso aporte para la gravimetría del Estado Guárico lo constituye el levantamiento gravimétrico realizado por la U.C.V. en esta fase de la investigación, el cual cubre la región suroccidental y una línea N-S en la parte centro-oeste del área de estudio.

Con los datos correspondientes a esta prospección, más los del M.M. e H. y C. N., reprocessados para la densidad $\rho_B = 2.23 \text{ gr/cm}^3$ y los de S. V. O. Co., se construyó el Mapa de Anomalía de Bouguer (Mapa N° 1).

4. Los datos fuente del Mapa de Anomalía de Bouguer se distribuyen normalmente como se aprecia en la Fig. N° 3. Esto permitió realizar la separación regional-residual mediante análisis de superficies de tendencia, seleccionándose en base a criterios estadísticos y geológicos la superficie polinómica de tercer grado como la más representativa de la estructura profunda del subsuelo, según la Fig. N° 4.

5. El mapa de Anomalías de Bouguer (Mapa N° 1) evidencia una tendencia más o menos E-W, la cual puede ser atribuida a los efectos del basamento. La anomalía más notable se localiza en el centro del área, distinguiéndose un alto estructural a manera de arco cóncavo hacia el norte, limitado por fallas normales con buzamientos altos y divergentes. Este máximo gravimétrico define en su ramal derecho el conocido alto de Altamira y poco más al noroeste la depresión de Manapire. Se destaca además el sector limítrofe entre los Estados Guárico y Anzoátegui, donde se manifiestan las mayores distorsiones en los contornos de isonómalas de Bouguer.

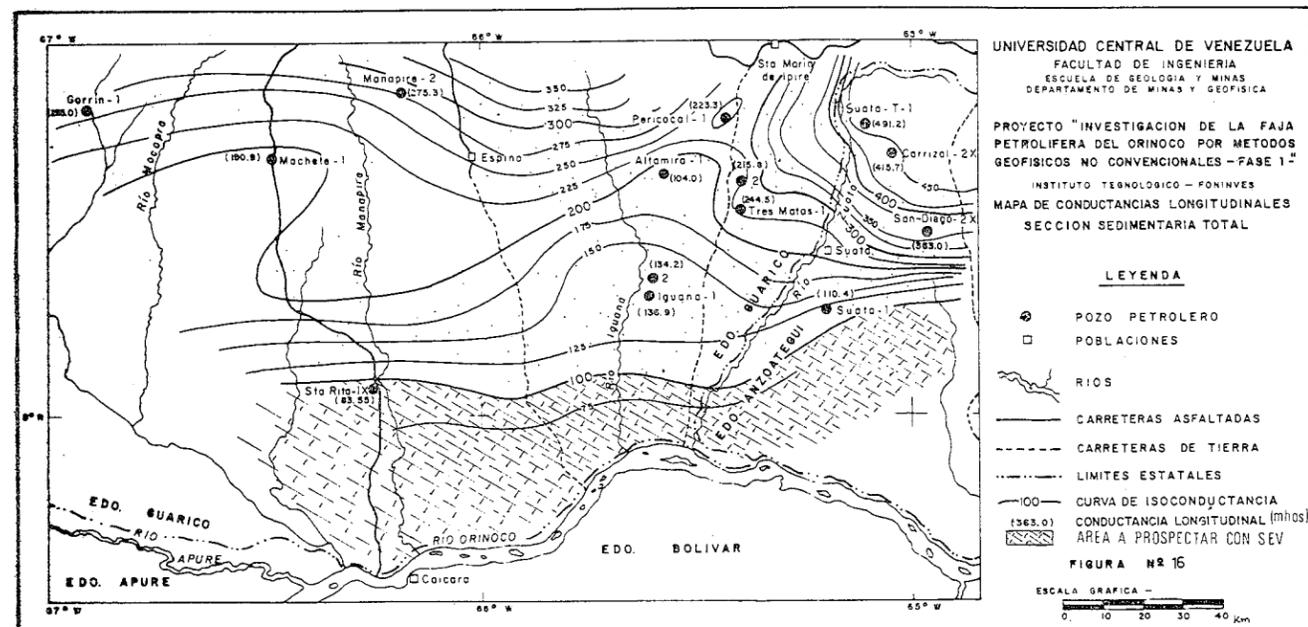


Fig. 16. Mapa de Conductancias Longitudinales: Areas factibles de prospectar con S.E.V.

6. A partir de la superficie de tendencia de 3er. grado (Fig. N° 5) se elaboró el Mapa de Anomalías Residuales (Mapa N° 2) en el cual se han definido con mayor precisión algunas anomalías ya evidentes en el Mapa de Anomalías de Bouguer o se han aislado otras cuya existencia se presumía. Como anomalía de mayor amplitud persiste el máximo gravimétrico que da forma al alto de Altamira, en su parte oriental. En la región norcentral se distingue la depresión de Manapire, limitada al sur por fallas de rumbo NW y NE y buzamiento norte. Estas fallas son representativas de los dos sistemas principales que controlan el cuadro estructural del subsuelo en el Estado Guárico.

Las mayores irregularidades en los contornos de anomalías residuales se observan en la región Suata-Carrizal, al este del área de estudio, siendo en la depresión de Carrizal donde al parecer se han encontrado los mayores espesores sedimentarios suprabasamento.

7. La interpretación cuantitativa de las anomalías residuales se efectuó utilizando modelos sencillos: esferas, cilindros, prismas y la losa fallada, y se estimaron profundidades al basamento asumiendo contrastes de densidad entre 0.47 y 0.51 gr/cm^3 ; resulta conveniente aclarar que estas estimaciones de profundidades al tope del basamento cristalino constituyen sólo aproximaciones, las cuales han sido controladas con información de pozos donde ésta existe.

8. La información magnetométrica empleada en la correlación de la serie de datos geofísicos integrados, se reduce al levantamiento aeromagnético contratado por el Ministerio de Minas e Hidrocarburos y efectuado en 1976, el cual cubre aproximadamente la mitad este del área de estudio.

9. Los resultados de la recopilación e integración de la información gravimétrica, magnetométrica y geoelectrica han permitido elaborar un mapa de contornos estructurales del Tope del Basamento (Fig. N° 11).

En este mapa se han identificado también estructuras tales como las fallas de Altamira e Ipire y las de la parte sureste de Guárico-Anzoátegui, todas con orientación NE,

además de una serie de fallas, de rumbo NW, localizadas en la parte occidental del Estado Guárico.

Las máximas profundidades al tope del basamento se sitúan en las depresiones de Manapire y Carrizal y en general hacia el N-NW del área, y las menores, desde el bien definido alto de Altamira decreciendo paulatinamente hacia el sur.

10. De sumo interés para ser detallado con prospección gravimétrica en una futura etapa de esta investigación, es el área ubicada al sur de la población de Santa Rita, donde se observa una anomalía negativa elongada en dirección NE, situada entre fallas de buzamientos convergentes. Igualmente sería recomendable realizar líneas de estaciones gravimétricas entre las localidades de: Los Garzones-Galápago-Macanillal, y La Rubiera-Macanillal-Cabruta, además de trayectos intermedios entre las vías norte-sur ya muestreadas en detalle, aprovechando caminos de verano que dan acceso a la gran cantidad de fundos allí establecidos.

Con este levantamiento gravimétrico detallado podría tenerse un mejor control de algunas anomalías no bien definidas hasta el presente, para finalmente calcular profundidades límites al tope del basamento empleando modelos con densidades variables en diferentes secciones del área.

Investigación geoelectrica

Las consideraciones hechas en este trabajo sobre la posibilidad de usar técnicas geoelectricas —no convencionales— en la exploración de la Faja Petrolífera del Orinoco, representan el aporte fundamental de este programa de investigación.

1. Una vez efectuada la recopilación de información geoelectrica del subsuelo, se seleccionaron 14 pozos (Tabla N° 2, Fig. N° 6), los cuales fueron analizados estadísticamente previa digitalización de sus registros eléctricos "normal corto". En cada pozo se identificaron tres Unidades Geoelectricas: Superior, Media e Inferior, las cuales definen el patrón general observado en la distribución de las resistividades:

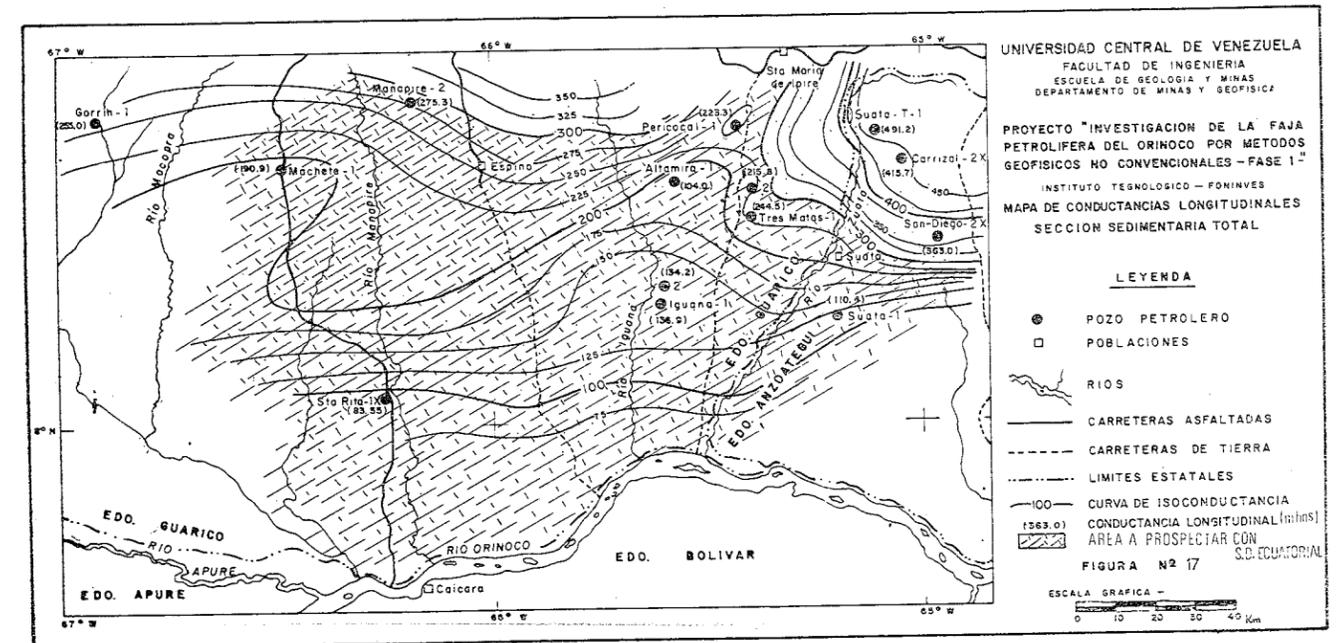


Fig. 17. Mapa de Conductancias Longitudinales: Areas factibles de prospectar con S.D. Ecuatoriales

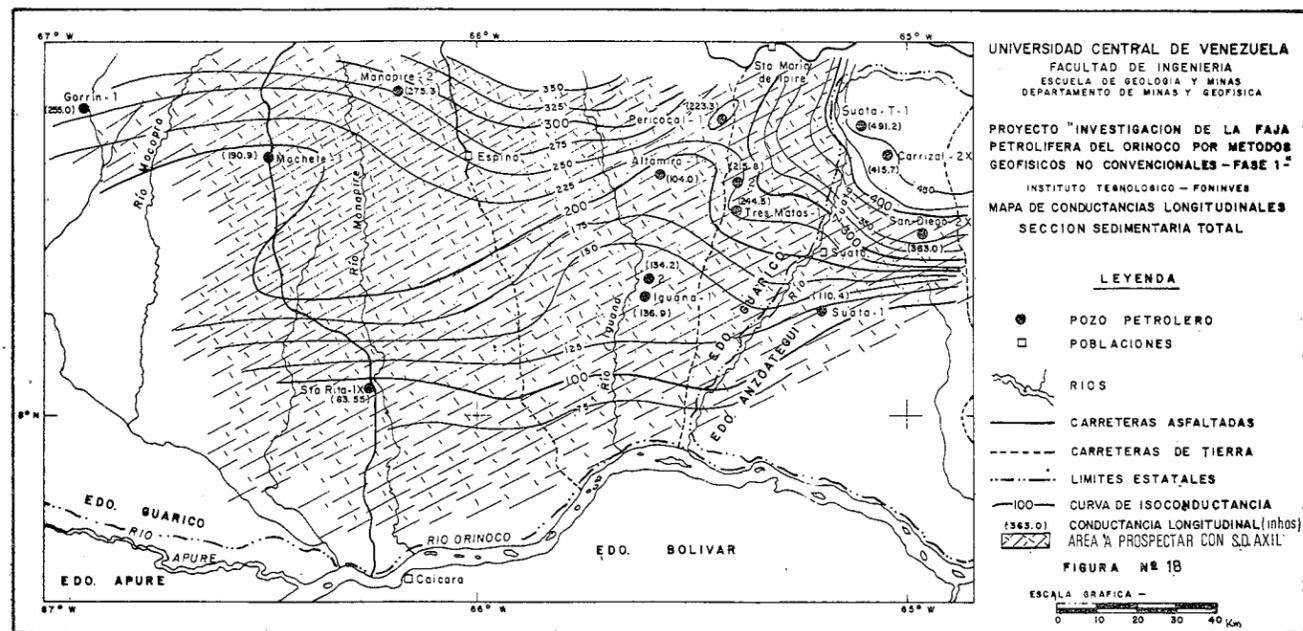


Fig. 18. Mapa de Conductancias Longitudinales: Areas factibles de prospeccion con S.D. Axiles

resistividades superficiales bajas, altas en la unidad media y decrecientes en la inferior, para incrementar de nuevo con la profundidad al basamento.

2. Los más altos valores de resistividades se localizan en la Unidad "M" específicamente en las subunidades M_1 y M_2 , correlacionables con las formaciones petrolíferas reconocidas en la secuencia sedimentaria del subsuelo en esta área (Tabla N° 3).

3. Las curvas de densidad de probabilidad de resistividades (Modelo, Fig. N° 17) se reflejan las características propias de la distribución de resistividades en cada unidad geoelectrica. Si se comparan las curvas obtenidas para cada unidad se puede establecer una correlación entre ellas; en particular es notorio el contraste que existe entre la unidad "M ($M_1 - M_2$)" y las superficial e intermedia, siendo la primera de carácter, claramente multimodal y las otras uni o bimodales. La naturaleza multimodal de la curva de densidad de probabilidad de resistividades de la unidad "M ($M_1 - M_2$)" señala la presencia de variados tipos litológicos y puede ser identificada a través de toda el área.

4. Las características resaltantes en la unidad "M" sugieren la posibilidad de detectarla mediante prospección geoelectrica, por cuanto existe un contraste apreciable de resistividades entre ésta y las otras unidades geoelectricas. El producto de los mapas de profundidad al tope de la Unidad Petrolífera "M" y coeficiente de anisotropía para la Unidad "S" suprayacente (Figs. N° 8 y 9), reproduce un mapa de espesores ficticios, cuyos contornos se expresan en valores de separación eléctrica $AB/2$ para el dispositivo Schlumberger (Fig. N° 10).

5. Aparentemente no existen limitaciones de operaciones para la detección de la unidad petrolífera "M", ya que los mayores espaciamentos interelectrónicos requeridos son del orden de 1.000 a 1.250 metros, lo cual es perfectamente factible de alcanzar. En el resto del área, la parte operativa de campo debería resultar mucho más fácil, pues teó-

ricamente se estima determinar el tope de "M" usando separaciones $AB/2$ de aproximadamente 460 m.

Se recomienda en este aspecto iniciar la prospección con Sondeos Eléctricos Verticales, preferentemente en la región más al sur del Guárico, y ampliar luego el área a explorar, desplazándose hacia la parte norte.

6. El contraste de resistividades existente entre la secuencia sedimentaria total y la roca infrayacente es un argumento a favor de la posibilidad de determinar la estructura del tope del basamento, mediante prospección eléctrica.

Según los mapas de Coeficientes de Anisotropía y Resistividades Longitudinales de la sección sedimentaria suprabasamento (Figs. N° 12 y 13), los contornos de mayor valor de estos parámetros se sitúan en la parte sur del Guárico y localmente en la región centro-oriental, donde existen los menores espesores sedimentarios, como puede verse en el mapa de profundidades estimadas al Tope del Basamento (Fig. N° 11).

Ahora bien la mejor orientación respecto a la factibilidad de poder detectar el basamento, la da el mapa de Conductancias Longitudinales (Fig. N° 14) ya que este parámetro es un índice de profundidad y por consiguiente lo será también para las separaciones interelectrónicas.

7. Consideradas las probables limitaciones, técnicas y operacionales inherentes a la realización de S.E.V. muy profundos, como requeriría la prospección geoelectrica para basamento, se han estimado límites de conductancia para dispositivos Schlumberger y combinaciones con arreglos dipolares ecuatoriales y axiales, asumiendo una diferencia de potencial máxima $\Delta V = 10$ mV e intensidad de corriente $I = 10.000$ mA.

Como consecuencia de esto, se tienen áreas limitadas por valores de conductancias máximas detectables con diferentes dispositivos (Figs. 16, 17 y 18).

8. Sería recomendable entonces, iniciar una etapa de verificación experimental de los resultados teóricos expuestos en esta primera fase de la investigación. En primer lugar deberán efectuarse S.E.V. con dos orientaciones perpendiculares entre sí, a manera de sondeos paramétricos, en los sitios donde se localizan los pozos analizados, comenzando en la región más al sur del Guárico donde el basamento es menos profundo, y preferentemente en las inmediaciones de la vía a Cabruta.

Hacia el sur se tiene un buen control en el Pozo *Sta. Rita 1X*, el cual fue perforado en fecha reciente, alcanzando el basamento aproximadamente en los 513 m de profundidad. En su defecto podrían usarse los pozos *Iguana 1 ó 2*.

En segundo lugar se debería probar con sondeos dipolares y axiales, combinados con S.E.V. Schlumberger, atendiendo las indicaciones de limitación geográfica señaladas por las conductancias longitudinales (Figs. 16, 17 y 18). Así, podría seleccionarse el arreglo eléctrico más resolutivo tanto para la detección de la Unidad Petrolífera "M" como para la del basamento. Con el mejor sistema operativo se realizarían líneas de sondeos, orientados en dirección N-S, en una franja paralela al río Orinoco.

La información lograda por este método, previo procesamiento con curvas teóricas en el campo y luego técnicas de computación, se representaría en secciones y mapas geoelectricos.

Agradecimientos

Quien suscribe, a título personal y a nombre del Departamento de Minas y Geofísica, Escuela de Geología y Minas, Universidad Central de Venezuela, desea expresar su más amplio agradecimiento al Fondo Nacional de Investigación en materia de Hidrocarburos —FONINVES— gracias al cual ha sido posible la realización de este trabajo, y en particular:

Al Instituto Tecnológico de la Facultad de Ingeniería, al personal docente del Dep. de Minas y Geofísica, UCV., a los profesores coinvestigadores, muy especialmente al Ing. Jesús Pereira V. por su gran ayuda en la consecución de la información, y al Ing. Eduardo García S., por su asesoramiento y valiosa orientación en la evaluación y procesamiento estadístico de los datos geoelectricos; al Ing. Víctor Graterol, asesor de la parte gravimétrica, y al Dr. Wolfgang Scherer por sus sugerencias y asesoría en el análisis estadístico en general.

A la Dirección de la Faja Petrolífera del Orinoco y la División de Exploración y Reserva del M. M. e H., actual Ministerio de Energías y Minas; a la C.V.P., a las Compañías Operadoras de petróleo en Venezuela: Llanoven S. A., S. A. Menevén, Deltavén y Maravén, por facilitar la información requerida en este estudio.

BIBLIOGRAFIA

ADLER, J. (1943) "Geophysical Exploration for Stratigraphic Oil Traps", *Geophysics*, 8(4):337.
 ALBARRACÍN, J. (1975) "Exploración Geofísica en la Faja Petrolífera del Orinoco", *Asoc. Ven. Geol. Min. y Pet.*, 18(4):269-296.
 AMELINCK, L., & HERRERO N., J. (1966) "Delimitación de la Faja Bituminosa del Orinoco por medio de perfiles gravimétri-

cos": *XVI Convención Anual ASOVAC*, (Informe), Universidad de Oriente.

BAIRD, D. (1962) "*An Introduction to Measurement Theory and Experiment Design*", Prentice-Hall Inc., New Jersey, : 198 p.
 BHATTACHARYA, P. & PATRA, H. (1968) "*Direct Current Geoelectric Sounding*", Elsevier Publishing Company, Amsterdam, : 135 p.
 COMISIÓN VENEZOLANA DE ESTRATIGRAFÍA Y TERMINOLOGÍA (1970) "Léxico Estratigráfico de Venezuela", *Bol. Geol., Dirección de Geología, M. M. e H.*, Pub. Esp. N° 4 : 756 p.
 DAVIS, J. (1973) "*Statistics and Data Analysis in Geology*", John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.
 DONNER, M. (1939) "Electrical resistivity surveys *Sta. María-La Fundación area*" (Report N° 4, *Socony Vacuum Oil Co : Mobil, Llanoven*).
 GALAVÍS, J. & VELARDE, H. (1972) "Estudio Geológico y de Evaluación preliminar de Reservas Potenciales de Petróleo pesado en la Faja Bituminosa del Orinoco-Cuenca Oriental de Venezuela", *Mem. IV Congreso Geológico Venezolano* : 2.527-2.537.
 GISH, O. (1932) "Used of Geoelectric Methods in Search for Oil" *Early Geophysical Paper, S.E.G.*, *Transaction of the Society of Petroleum Geophysicists*, 3:497-508.
 GRANT, F. & WESS, G. (1965) *Interpretation Theory in Applied Geophysics*, McGraw-Hill Books Co., New York; 572 p.
 GRATEROL, V. (1974) "*El sistema 'SPDGM', Procesamiento de Datos Gravimétricos y Magnéticos*", División de Investigación, Dirección de Geología, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Caracas.
 HAMMER S. (1974) "Approximation in Gravity Interpretation Calculations", *Geophysics*, 39-(2) : 205-222.
 HARBAUGH, J. DOVETON, J. & DAVIS, J. (1977) "*Probability Methods in Oil Exploration*", John Wiley & Sons Inc. : 269 p.
 HAYS, W. (1976) "*Interpretation of Gravity Data*", Open file Report 76-479, 276 p.
 HEILAND, C. (1932) "Advances in Technique and Application of Resistivity and Potential Drop-ratio Methods in oil prospecting", *Early Geophysical Paper, Transactions of the Society of Petroleum Geophysicists, S.E.G.* 3:420-496.
 KARCHER, J. & McDERMOTT, E. (1935) "Deep Electrical Prospecting" *Early Geophysical Paper, Transactions of the Society of Petroleum Geophysicists S.E.G.* 4 : 724-737.
 KELLER, G. & FRISCHKNECHT, F. (1966) "*Electrical Methods in Geophysical Prospecting*", Pergamon Press Inc., 1ra. Edic., : 519 p.
 KELLER, G. (1968) "*Electrical Prospecting for Oil*", *Quarterly of the Colorado School of Mines*, 63-(3) : 268 p.
 KISER, G. D. (1971) "Futuras Provincias Petrolíferas de Venezuela". *Mem. IV Congreso Geológico Venezolano* : 467-482.
 MENCHER, E., FICHTER, H., RENZ, H., WALLIS, W., PATTERSON, J. & ROBE, R. (1953) "Geology of Venezuela and its oil fields", *Bull. Amer. Association of Petrol. Geol.*, 37(4) : 690-777.
 MÉNDEZ, J. & DOMÍNGUEZ, J. (1975) "*La exploración para Hidrocarburos en Venezuela*", Shell de Venezuela ante las Primeras Jornadas Venezolanas de Geología, Minas y Petróleo, Maracaibo.

MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS, DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA, (1956) "Geología de las cuencas sedimentarias de Venezuela y sus campos petrolíferos", *Bol. Geol. Pub. Esp.* N° 2, 140 p.

NETTLETON, L. L. (1943) "Gravity Results, Eastern Venezuela" (*Report Mene Grande Oil Co. S. A. Meneven*), Caracas.

— (1954) "Regional, Residuals and Structures", *Geophysics*, 19(1) : 1-23.

— (1971) "Elementary Gravity and Magnetism for Geologists and Seismologists", S. E. G., Monograph N° 1, Tulsa, Oklahoma.

NORTHWAY SURVEY CORP. LTDA., FOTOAVE C. A. (Para MINISTERIO de MINAS e HIDROCARBUROS) (1976) "Área Caris Manapire, Faja Petrolífera del Orinoco, Airborne Magnetic Survey, Operational report and interpretation", Canadá.

O'LEARY, M. LIPPERT, R. & SPLITZ, O. (1966) "Fortran IV and MAP program for Computation and plotting of trend surface for degrees 1 through 6", *Computer Contributions* (Univ. of Kansas), N° 3.

ORELLANA, E. (1972) *Prospección Eléctrica en Corriente Continua*. Ed. Paraninfo, Madrid, 523 p.

PETERS, L. & BARDEEN, J. (1932) "Some aspects of electrical prospecting applied in locating oil structures", Early Geophysical Paper, *Transaction of the Society of Petroleum Geophysicists*, S.E.G. 2 : 145-164.

QUARFOTH, K. & CAUDRI, C. (1961) "Relationship of the Roblecito and La Pascua Formations of Eastern Venezuela to the Pauji and equivalents of the Barinas Basin", *Asoc. Ven. Geol. Min. y Pet.* 5 : 219.

RENZ, H. (1956) "Correlation of Geological Formations in the State of Guarico y their relations to the eastern Venezuelan basin", (*Informe Mene Grande Oil Co. S. A. Meneven*).

RODRÍGUEZ, I. & GRATEROL, V. (1975) "Investigación Gravimétrica en la Región Noroccidental de Venezuela", *Bol. Geol., Dirección de Geología, M. M. e H.*, 12(23) : 505-529.

RODRÍGUEZ, I. (1977) "Investigación de la Faja Petrolífera del Orinoco por métodos geofísico no convencionales, Fase I". *Escuela Geol., y Minas. Univ. Central de Venezuela, Informe Inédito*, 123 p.

ROGER, I. (1974) "Statistical Methods for the earth Scientist", Macmillan Press L.T.D., London.

SKEELS, D. (1947) "Ambiguity in gravity interpretation" *Geophysics*, 12(1) : 43-56.

STEPHENSON, M. (1968) "Informe sobre la Faja Bituminosa del Orinoco y la reanudación de las investigaciones de sus posibilidades económicas", I.V.I.C., Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Caracas.

WATSON, R. (1974) "Gravity interpretation for Geologist", *Third Annual Short Course in Applied Geophysics for Geologist*, U.S.A. : 63 p.

DEFINICION DE LAS LITOFACIES Y BREVE RESUMEN DEL ANALISIS COMPARATIVO DEL DEPOSITO SEGUN MODELOS DE SEDIMENTACION PROFUNDA, EN PARTE DE LA FORMACION GUARICO, ESTADOS MIRANDA Y ANZOATEGUI

Por Egleé J. Zapata Oviedo

Escuela de Geología y Minas
Universidad Central de Venezuela
Apartado 50926, Caracas 105

(Recibido en marzo de 1978, en forma revisada en abril de 1978)

RESUMEN

La investigación sedimentológica realizada en las rocas Eocenas del área de la laguna de Unare (Figs. 1 y 2) revela que ellas constituyen una secuencia tipo flysch depositada en una cuenca geosinclinal marina profunda, en la que han sido identificadas las partes media, media y exterior y externa de un depósito de cono submarino, a partir del modelo de sedimentación de WALKER & MUTTI (1973) y MUTTI, *et al.* (1975). También, en base a características de orden litológico textural, de granulometría, espesores de capa y estructuras internas, se definieron las litofacies A, B y C, expuestas en tres zonas dentro del área estudiada.

Los afloramientos del lugar consisten principalmente en alternancia de wacas y lutitas de la Formación Guárico, donde la mayoría de las wacas exhiben secuencias de turbiditas. La riqueza de estructuras sedimentarias y de rastros fósiles es una característica resaltante de estas rocas.

El conjunto de estructuras primarias de deslizamiento e intraplegamiento encontradas a través de toda la sección es un indicio de la inestabilidad de la cuenca.

Se cree que la sedimentación del Eoceno en la región pueda ser explicada por medio de corrientes de turbidez en ambiente marino profundo, y muy probablemente por la acción de corrientes marinas profundas.

ABSTRACT

The sedimentological investigation carried out the Eocene rocks of the Unare lagoon area reveals that they constitute a flysch type sequence deposited in a deep marine geosynclinal basin, in which the middle, intermediate and exterior, and exterior parts of a deposit of submarine cone have been identified, based on the model of sedimentation by WALKER & MUTTI (1973), and MUTTI, *et al.* (1975). Likewise, based on characteristics of lithologic textural order, granulometry, bed thicknesses and internal structures, the lithofacies A, B y C were defined, exposed in three zones within the area.

The outcrops consist mostly of an alternance of wackes and shales of the Guárico Formation, wherein most of the wackes, show turbiditic sequences. The abundance of sedimentary structures and ichnofossils is a remarkable characteristic of these rocks.

The complex of primary structures of slumping and sliding found through all the section is an indication of the unstability of the basin.

The Eocene sedimentation in this region is explained by turbiditic currents in a deep marine environment, and very probably by the action of deep marine currents.

Definición de las litofacies

En el área de estudio se han distinguido tres litofacies, las cuales han sido determinadas en base a proporción de areniscas y lutitas, variación de espesores de capa, variación en el tamaño de los granos y frecuencia de estructuras sedimentarias presentes.

La Fig. 3 ilustra la ubicación de las litofacies, determinadas en base al estudio sedimentológico detallado de las diferentes secciones. El cuadro A muestra el conjunto de datos que representa numéricamente la variación de espesores de capas y tamaño de los granos, así como la proporción de los materiales arenosos y lutáceos de cada sección, que permitirán definir las tres litofacies.