

INVESTIGACION GEOFISICA EN LA MANCHA DE CIUDAD REAL

F. ROSALES, T. TORRES, J. MENDEZ, L. SAVIRON, R. ALBERDI, M. DEL CAMPO, A. SANCHEZ.
EMPRESA NACIONAL ADARO DE INVESTIGACIONES MINERAS, S.A.

En esta nota se describen los principales resultados obtenidos en unas campañas de investigación geofísica, realizadas en La Mancha (España Central) a fin de intentar localizar cuencas carboníferas ocultas.

Se emplearon dos métodos regionales (gravimétrico y eléctrico), lo que permitió obtener la estructura regional, el primero, y la batimetría y disposición local del zócalo el segundo, permitiendo la adecuada programación y control de las campañas de sondeos. La testificación de los pozos permitió obtener datos para una parametrización e interpretación más precisa de los S.E.V.

ABSTRACT

This paper deals with the main results obtained from two geophysical surveys performed at the "La Mancha Region" (Central Spain) whose main target was to localize hidden Carboniferous basin under the Mesozoic-Neogene covers.

Two regional methods were employed (gravimetric and electrical) which allowed to obtain the regional structure, the former, and batimetry and local old rocks position the second, driving to an adequate drilling campaigns schedule and control. Well logs gave data for parameter obtaining and more accurate V.E.S. interpretation.

RESUME

Dans ce travail se décrivent les principaux résultats obtenus dans des campagnes de recherche géophysique à la région de La Mancha (Espagne Centrale), pour déterminer la possible existence de bassins carbonifères sous les couvertures mésozoïques et tertiaires.

Basiquement on a employé deux méthodes géophysiques (Gravimétrie et Sondages Electriques). Le premier a permis la detection de la structure régionale et le deuxième l'obtention de nombreuses données sur la batimétrie du socle aussi bien que ses caractéristiques morphologiques en areas soumatres permettant aussi une plus exacte programmation des sondages. Tous les forages ont été reconnus par des sondes géophysiques, pour avoir une plus réelle interpretation des sondages électriques verticaux.

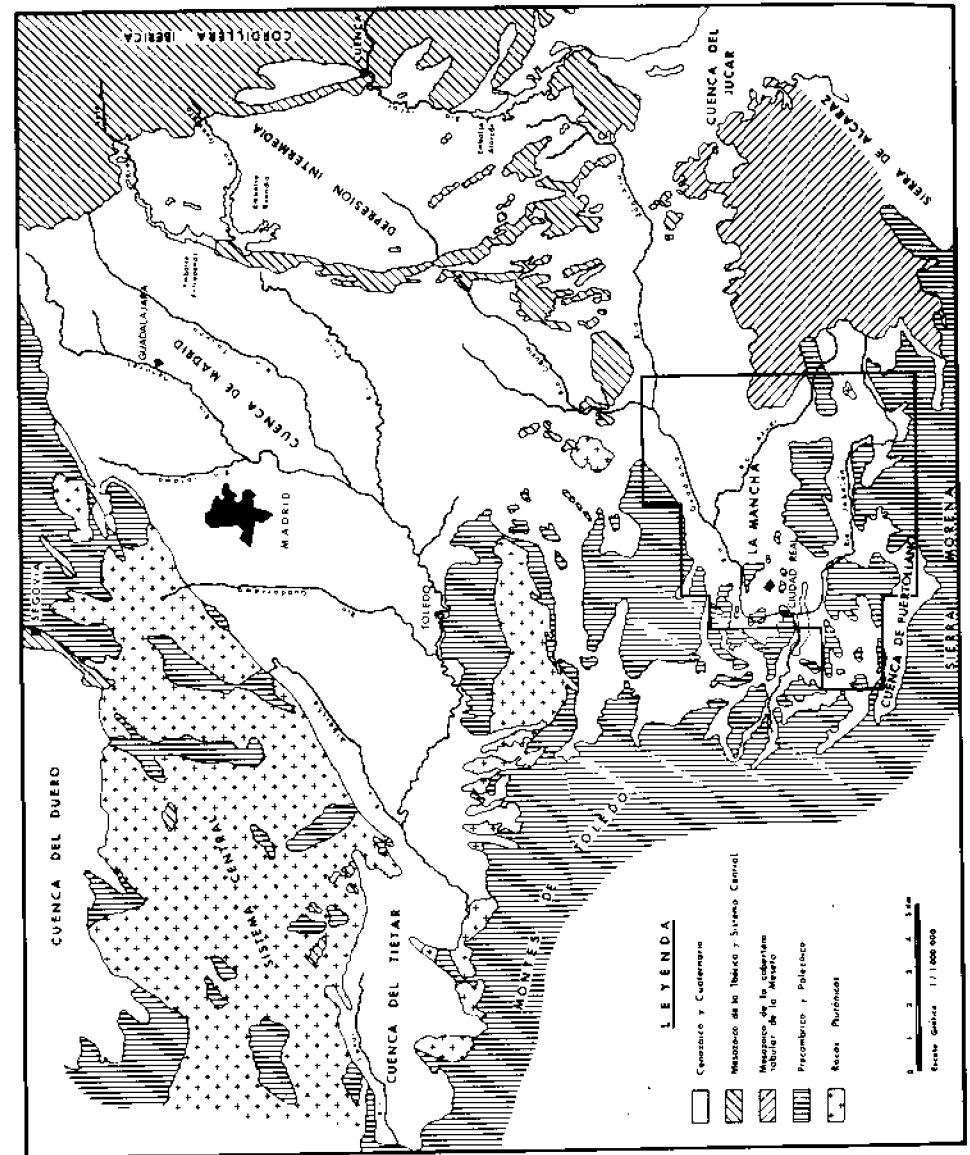


Fig. 1.- Situación general de la zona estudiada.

INTRODUCCION

En los años 1.985 y 1.986 ENADIMSA realizó, dentro del conjunto de actuaciones del programa SISTEMINER, una campaña de trabajos en la Reserva para carbón denominada "Campo de Calatrava", para la localización de una posible cuenca carbonífera oculta bajo la cobertera mesozoico-neógena de La Mancha, Fig. 1.

Se realizaron tres tipos bien diferenciados de actuaciones:

- Cartografía geológica de un área superior a 9.000 km² con especial énfasis en los materiales precarboníferos del borde.
- Reconocimiento geofísico del área: 4.380 estaciones de gravimetría, 1.055 Sondeos Eléctricos Verticales de AB = 2.000 m y 65 S.E.V. de AB = 10.000 m.
- Perforación de 41 sondeos mecánicos de reconocimiento (SMR): 8.700 m de sondeo y 7.300 m reconocidos con testificación geofísica.

En esta comunicación se prestará especial énfasis a los métodos geofísicos empleados, a su implantación y al análisis de los resultados obtenidos.

ANTECEDENTES

Los antecedentes inmediatos de investigación de cuencas carboníferas ocultas bajo la cobertera mesozoico-neógena de La Mancha, aparecen en ENADIMSA (1.966-1.979). Posteriormente ENADIMSA actuará como operadora de ENCASUR, S.A., cf. ENADIMSA (1.984-1.985).

En la zona objeto de estudio se han realizado algunos estudios geofísicos regionales, aunque sin comprobación mediante SMR, tales como los gravimétricos de BERGAMIN, et. al. (1.986), BERGAMIN (1.985) y los geoelectrónicos de C.G.S.-INTEC-SA (1.970).

Existe una amplia bibliografía general sobre la zona, y en especial sobre los materiales paleozoicos: ALVARADO y HERNANDEZ PACHECO (1.932), BALMASEDA et. al. (1.976), BOUYX (1.969-1.970), COMBA (1.982), CORTAZAR (1.980), JULIVERT et. al. (1.972), HERNANDEZ PACHECO (1.912), IGME (1.972, 1.986, a, b, c, d), LOTZE (1.940, 1.956), MACHENS (1.984), MARTIN ESCORZA (1.975, 1.976, 1.977, a, b), PRADO (1.985), REDLIN (1.955) y TAMAIN (1.972).

Se han tomado datos sobre los materiales triásicos de la zona de FERNANDEZ (1.975), GIL et. al. (1.985), ENADIMSA-JEN (1.977), ORTI (1.974) y TORRES y LEYVA (1.988).

Sobre la sedimentación neógena existe una bibliografía

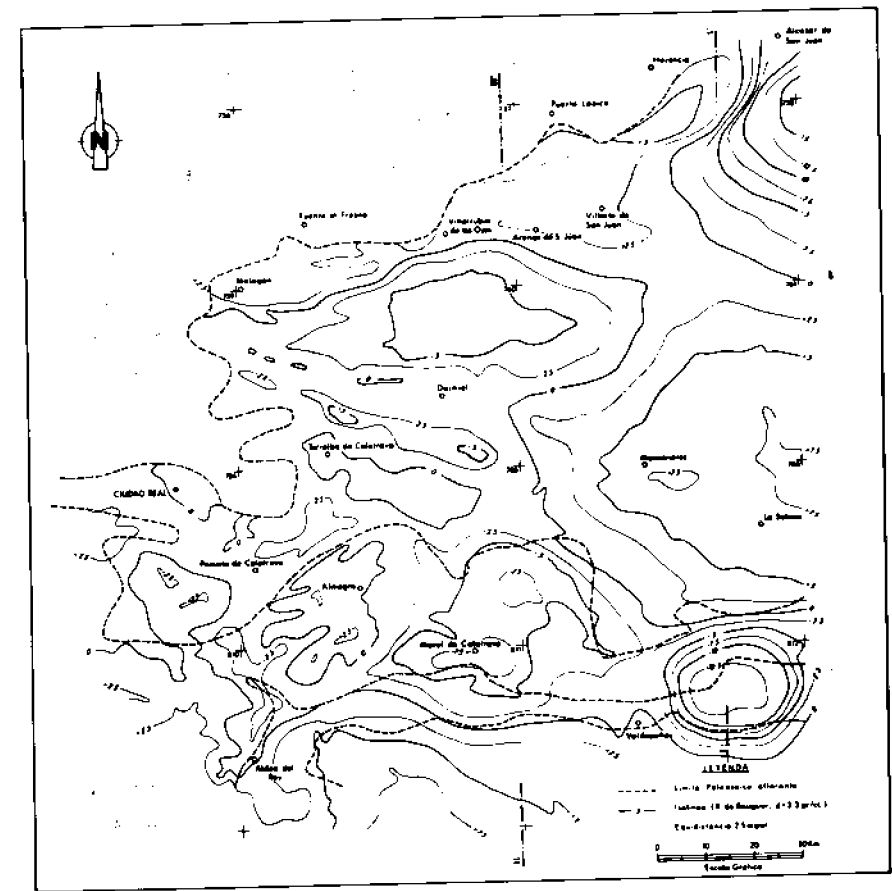


Fig. 2.- Gravimetría: mapa simplificado de Anomalia Residual de tercer grado.

reducida: ALBERDI *et. al.* (1.984), HOYOS *et. al.* (1.984), MOLINA (1.972, 1.974, 1.975), PEREZ GONZALEZ (1.981) y TORRES *et. al.* (1.986).

ESQUEMA GEOLOGICO

La zona objeto de estudio, constituye un área de escaso contraste morfológico, incisa por los cauces de alguno ríos, Guadiana como principal, y humedales asociados.

Está rodeada por fuertes relieves, que en su mayor parte están definidos por las barras cuarcíticas de la cuarcita armoricana. Los materiales del Ordovícico superior y del Silúrico, generalmente pizarrosos, están erosionados y/o recubiertos, pero se suelen interceptar por sondeos. Los materiales paleozoicos se estructuran según directrices hercínicas: pliegues con direcciones E-O (s.l.).

Los materiales triásicos fosilizan un paleorrelieve de escaso contraste morfológico (penillanura), habiéndose distinguido las tres facies características del Triás germánico. Los materiales en facies Bunter aparecen según tres unidades litoestratigráficas claramente definidas y su extensión hacia el O quedó definida por un accidente de zócalo claramente observable en geofísica, *cf.* TORRES y LEYVA *op. cit.*

Los materiales triásicos, con pequeña potencia observable, afloran en la mitad sur del límite occidental del área de la Reserva, donde también aparece un Lías inferior calcáreo no muy desarrollado.

Sobre la mayor parte del área, se extienden sedimentos neógenos, hasta 300 m de espesor, compuestos por una serie detrítica de la base, unas lutitas rojas intermedias y una unidad carbonatada superior (TORRES *et. al.* 1.987), a la que suprayacen depósitos locales de materiales del Plioceno superior-Pleistoceno.

Durante el Neógeno-Pleistoceno tuvo lugar el desarrollo del volcanismo del Campo de Calatrava (basaltos olivínicos), parte de cuyos edificios, coladas y depósitos hidromagmáticos subsisten.

GRAVIMETRIA

La gravimetría se enfocó con una metodología de carácter regional, sobre una malla de 1 x 1 km. Se realizaron 4.380 estaciones, además de una pequeña actuación piloto con carácter de investigación de detalle en el Sinclinal de Puertollano, en un intento de modelizar la respuesta gravimétrica de la cuenca carbonífera que se esperaba encontrar bajo la cobertera Mesozoico-Terciaria de La Mancha.

Se trabajó con un gravímetro Lacoste-Romberg y los apoyos topográficos se realizaron con un distanciómetro Wild.

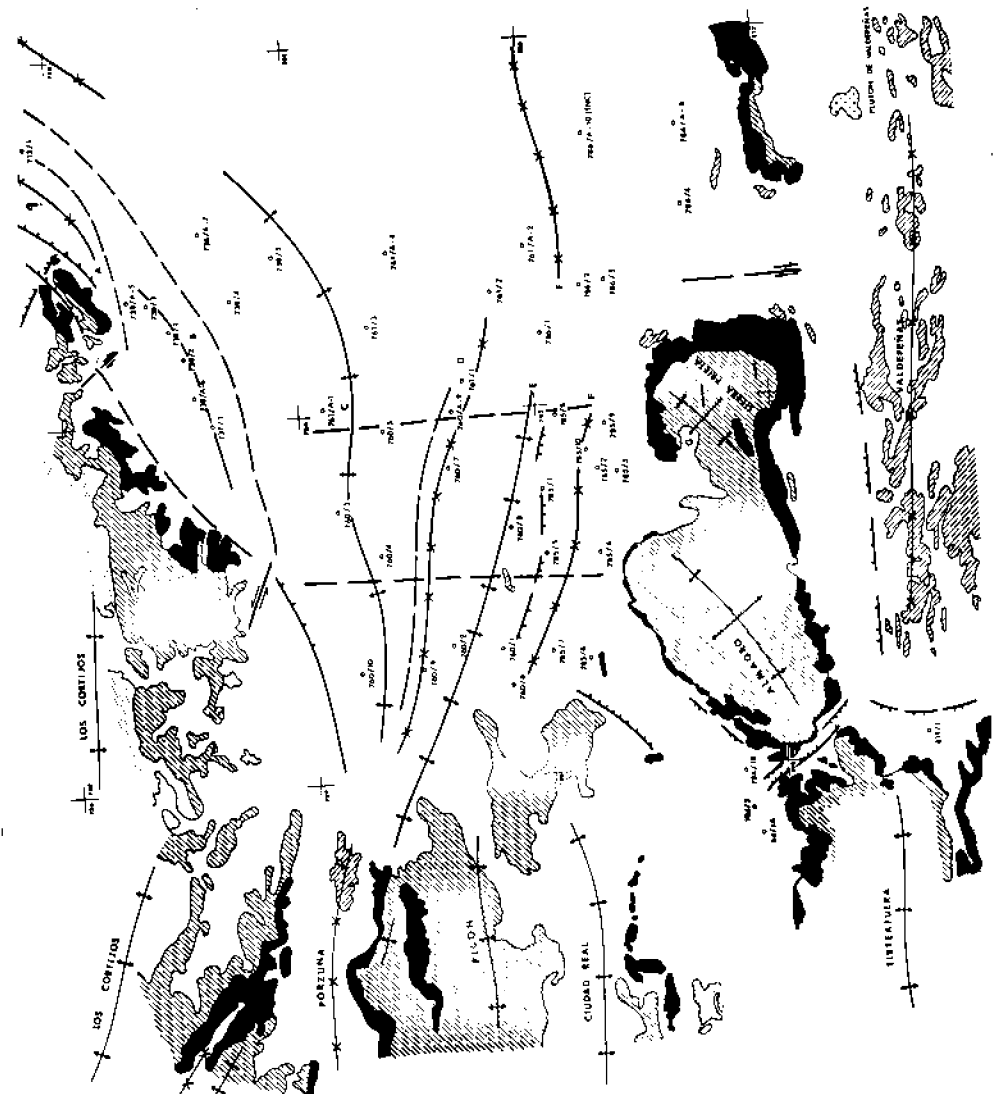


Fig. 3.- Interpretación estructural de la gravimetría.

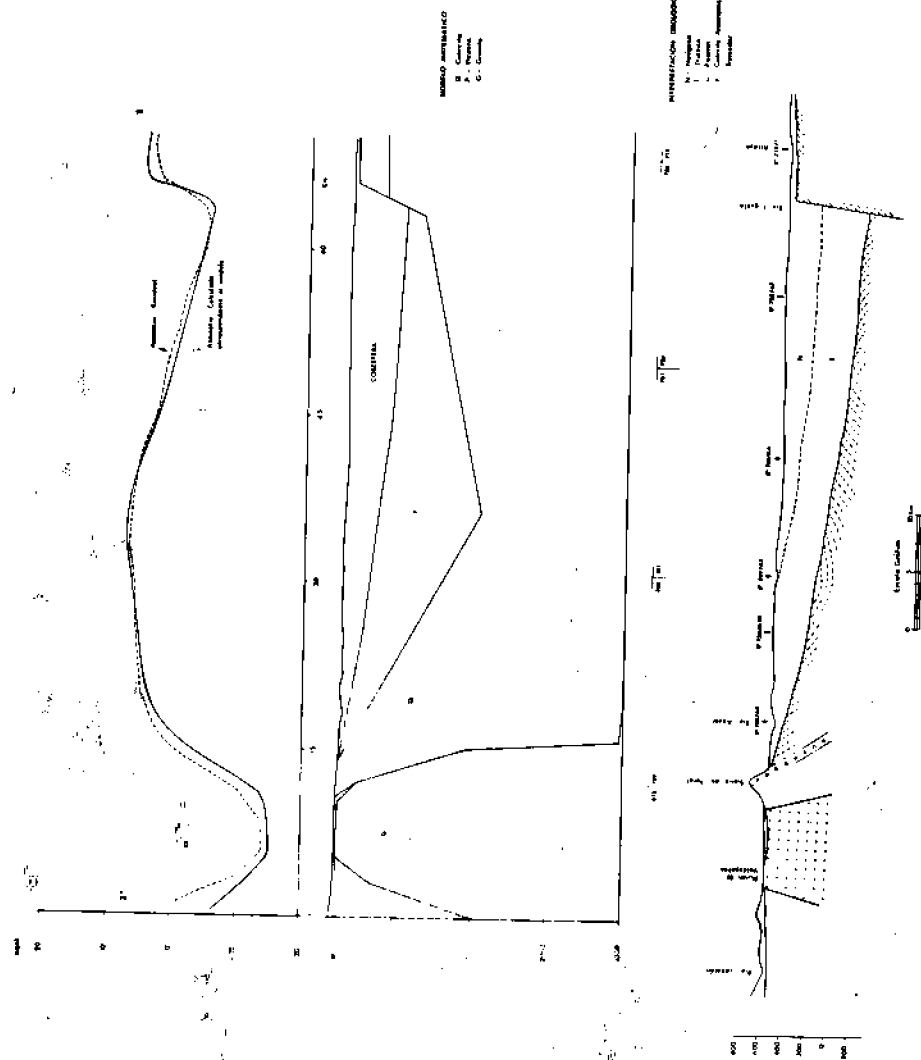


Fig. 4.- Corte estructural I-I' (real y modelo teórico) obtenido a partir de la gravimetría.

Los datos gravimétricos y topográficos fueron procesados en campo día a día (con un HP-9816), lo que permitió la obtención de un documento previo de gravimetría: Mapa de Anomalía de Bouguer, que fué muy útil ya que permitió la programación dinámica de la perforación.

Posteriormente todos los datos fueron reprocesados con un paquete de interpretación GMI-PCK de BRGM-TOTAL (actualmente en ENADIMSA) y se obtuvieron Mapas Regionales, Mapas Residuales, Mapas de Gradientes y Modelos teóricos.

En la Fig. 2 aparece el Mapa Residual de 3^{er} grado simplificado, en el que cabe destacar:

- Un mínimo muy marcado en Valdepeñas, debido a un cuerpo (batolito) granítico aflorante en parte.

- Mínimo de Moral de Calatrava, se interpreta como el efecto de una apófisis granítica recubierta por la potente serie de materiales ordovícicos de Sierra Gorda.

- Mínimo de Daimiel. Este fenómeno fué objeto de una interpretación cuidadosa y realmente complicada, ya que los datos de los SMR contradecían el desarrollo de éste mínimo, también marcado por los S.E.V., que situaban el substrato paleozoico a gran profundidad. Una reinterpretación cuidadosa, llevó a concluir que se trata de una cúpula formada por cuarcitas (anticlinal), fuertemente erosionada prior su hundimiento y fosilización por materiales terciarios (mesozoicos p.p.), y por lo tanto privada de sus componentes más densos (pizarras); las cuarcitas están muy fracturadas, lo que explicaría su baja resistividad.

- El mínimo de Alcázar de San Juan es la respuesta gravimétrica al gran espesor de materiales triásicos (Neógeno p.p.) que colmatan esta zona. El elevado gradiente de su borde norte, marca la posición de la falla (s) de Puerto Lápice.

- Entre Moral de Calatrava y Daimiel, aparece una sucesión de máximos y mínimos de forma muy enlongada, en dirección NO-SE, que reflejan la existencia de pliegues, posiblemente fallados en dirección, de direcciones hercínicas.

- En general, el Paleozoico aflorante queda reflejado por valores positivos en el Mapa Residual.

De la interpretación estructural de la gravimetría, Fig. 3, se deduce:

- Una serie de importantes fallas en relevo en el borde norte de la zona (A, B), que limitan la extensión hacia el muro de los materiales triásicos y que en superficie dan lugar al accidente estructural denominado "Falla de Puerto Lápice".

- Más hacia el sur aparece el Anticlinal de Daimiel que hasta la Sierra de Almagro, va siendo relevado por una serie

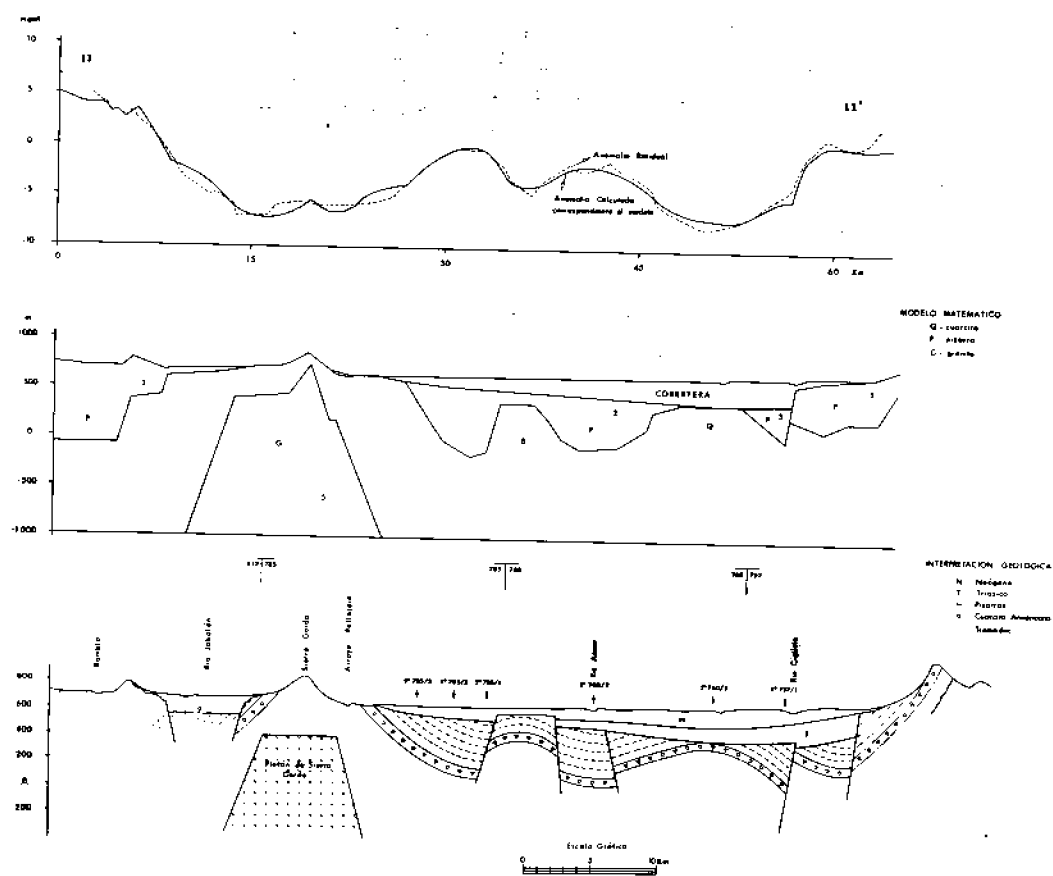


Fig. 5.- Corte estructural II-II' (real y modelo teórico) obtenido a partir de la gravimetría.

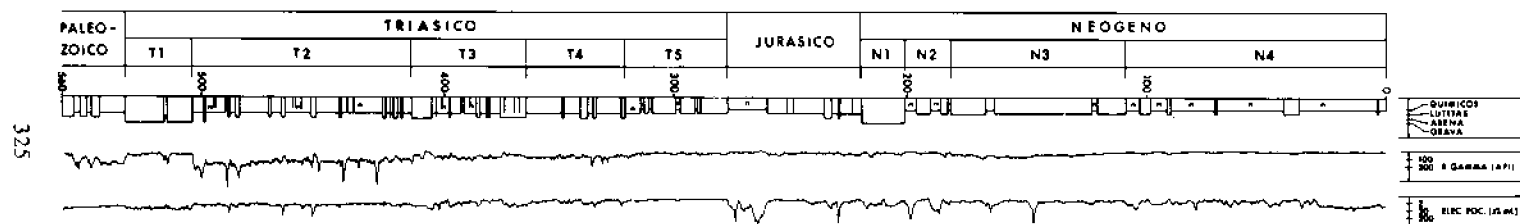


Fig. 6.- Logs litológicos y geofísicos del sondeo 738/5.

de sinclinales y anticlinales de ejes de dirección NO-SE. Estas estructuras aparecen excesivamente apretadas para el estilo estructural de la zona y para la importancia de la respuesta gravimétrica que producen de forma que se han interpretado como estructuras falladas en dirección. Una de estas fallas se observa en un afloramiento situado al oeste del sondeo 760/8.

- También aparecen dos alineaciones estructurales en dirección S-N. La más oriental coincide con el límite de expansión de los materiales triásicos en facies Buntsandestein.

En la Fig. 4 y en la Fig. 5, aparecen unos cortes estructurales. La interpretación geológica de la parte inferior está basada en los datos de superficie y SMR y en el ajuste a modelos teóricos de la Anomalia Residual hasta conseguir que las diferencias con la Anomalia calculada sean poco importantes.

ELECTRICA

Se trabajó con dos equipos de diseño ENADIMSA, uno de ellos convencional, para el registro de S.E.V. de AB = 2.000 m, otro "pesado", dotado de unidad registradora, para medir los S.E.V. de AB = 10.000 m.

Dado el carácter de investigación regional, se trabajó según una cuadrícula de 2 x 2 km, según perfiles N-S, sobre zonas recubiertas en las que pudiera quedar albergada una cuenca carbonífera. Cuando se consideró oportuno, se cerró la malla de trabajo hasta 1 x 1 km, y en las zonas de zócalo muy profundo, inaccesibles por lo tanto a los S.E.V. de AB = 2.000 m, se hicieron perfiles con S.E.V. de AB = 10.000 m.

Los datos de campo recibieron una interpretación cuantitativa "clásica", para ser posteriormente modelizados e interpretados automáticamente por ordenador (IBM PC-XT, HP 9845 y HP-9816). El "software" empleado permitió no sólo el ajuste de la curva a un número prefijado de capas y resistividades, sino que se intercalaron capas (resistividades) suprimidas, puestas de manifiesto al realizar el registro eléctrico del pozo (resistividad focalizada) con el equipo BPB de ENADIMSA, con lo que se pudieron parametrizar algunas formaciones. Un caso muy expresivo es el constituido por los logs geológico y geofísicos del sondeo 738/5 (Fig. 6). En él hay que destacar la perfecta definición del contacto discordante Paleozoico Triásico, de las gravas basales del Bunter y de las intercalaciones arenosas de sus tramos más altos. También se definen muy claramente las calizas del Lías así como los cuatro grandes tramos que se separan en el Neógeno.

La determinación de la batimetría del substrato tropezó con algunos problemas inciales debido a:

- Su carácter heteroeléctrico: p.e. pizarras silíceas muy resistivas, cuarcitas con abundantes fisuras rellenas de

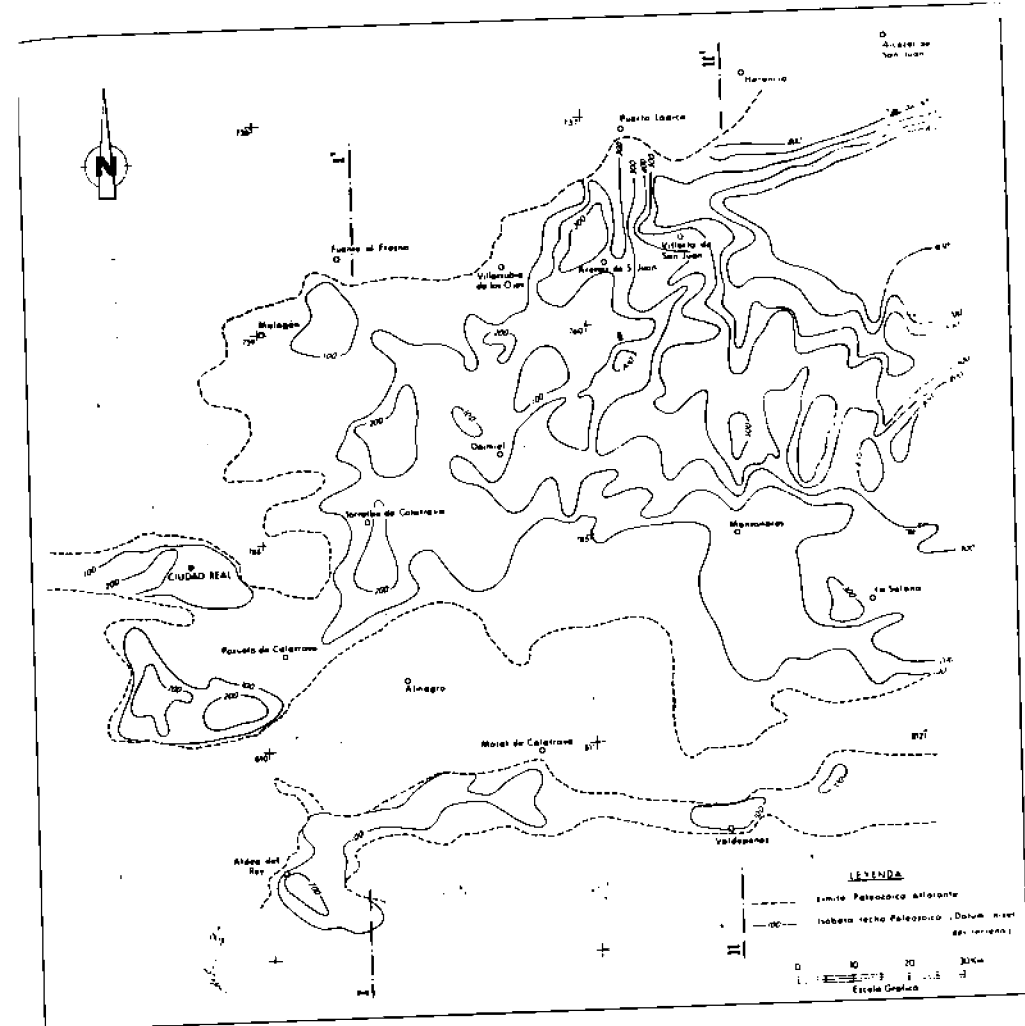
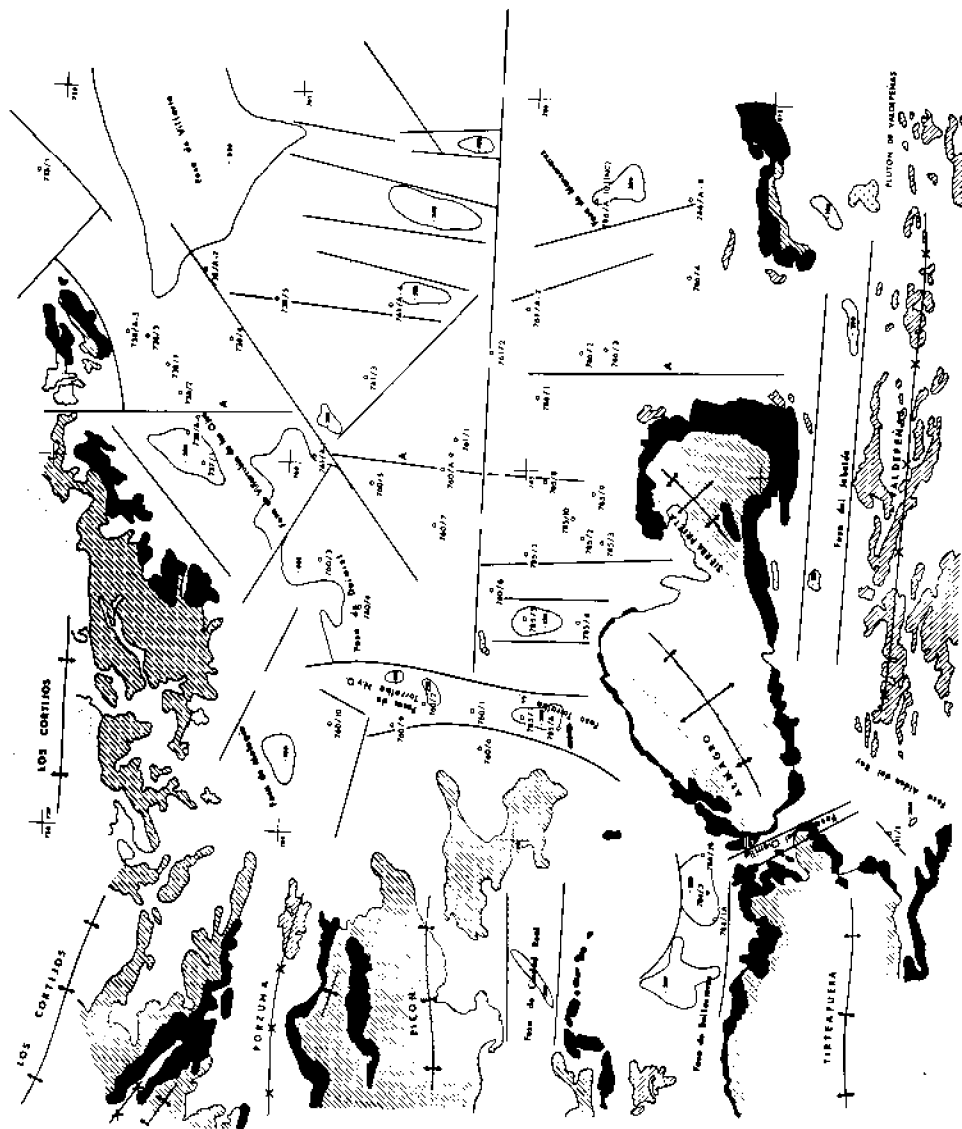


Fig. 7.- Mapa batimétrico del substrato paleozoico obtenido de la investigación geoelectrónica.



LEYENDA

+	Fuente (fontaine)
+	Unidad (unitary)
□	Cabecera
□	Litología (lithology)
□	Comarca (comarca)
□	Fracturas
□	Cobertura
□	Distancia
□	Relieve (relief)
□	Protección (protection)
□	Unidad (unitary)
□	Unidad (unitary)

Escala Gráfica: 0 100 200 300 400 500

Fig.8 Interpretación estructural de la Investigación geotectónica.

- Su carácter heterolítico: p.e. sucesión de pizarras (teóricamente más conductoras) y cuarcitas más resistentes.
- Su carácter isoeléctrico: p.e. en el tercio oriental de la Reserva, faltaba un contraste eléctrico marcado entre las pizarras paleozoicas y las lutitas y areniscas del Buntsandstein.

Una vez resueltas estas indeterminaciones, se obtuvo un documento base: cortes litoeléctricos seriados representados en bloque diagrama de los que se derivó el mapa batimétrico del zócalo paleozoico, Fig. 7, que permitió una programación ajustada de medios y tiempos de perforación. A partir de este mapa se realizó una interpretación estructural, Fig. 8, de la que se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Se detectó una falla de dirección N-S (marcada A en la figura), que limita la expansión hacia el oeste de los materiales en facies Buntsandstein del borde de la Meseta.

- Una serie de fosas (Ciudad Real, Ballesteros, Chorrillo, Torralba y Daimiel) que, aunque posiblemente tuvieron una historia hercínica previa, en su disposición actual, deben de estar relacionadas con procesos distensivos finialpinos; en ellas no existen depósitos triásicos cf. TORRES et. al. 1.987.

- Dos fosas profundas interconectadas en el ángulo NE de la Reserva: Villarta de San Juan y Villarrubia de los Ojos, controladas por la gran falla de Puerto Lápice, de origen tardihercínico, donde se acumularon grandes espesores de materiales triásicos, cf. TORRES y LEYVA(op.cit.).

- También aparece una gran zona central de poco contraste batimétrico.

- Dominan fracturas de dirección S-N (s.l).

En los dos cortes litoeléctricos de la Fig. 9, se visualizan algunos de estos fenómenos.

En el corte I-I' aparece una zona de poco contraste batimétrico hacia el N, mientras que cerca del sur está la Fosa de Torralba. En el corte II-II' aparece, al N, la falla de Puerto Lápice, que delimita el borde norte de la Fosa de Villarta, perdiéndose gradualmente en profundidad hacia el Sur.

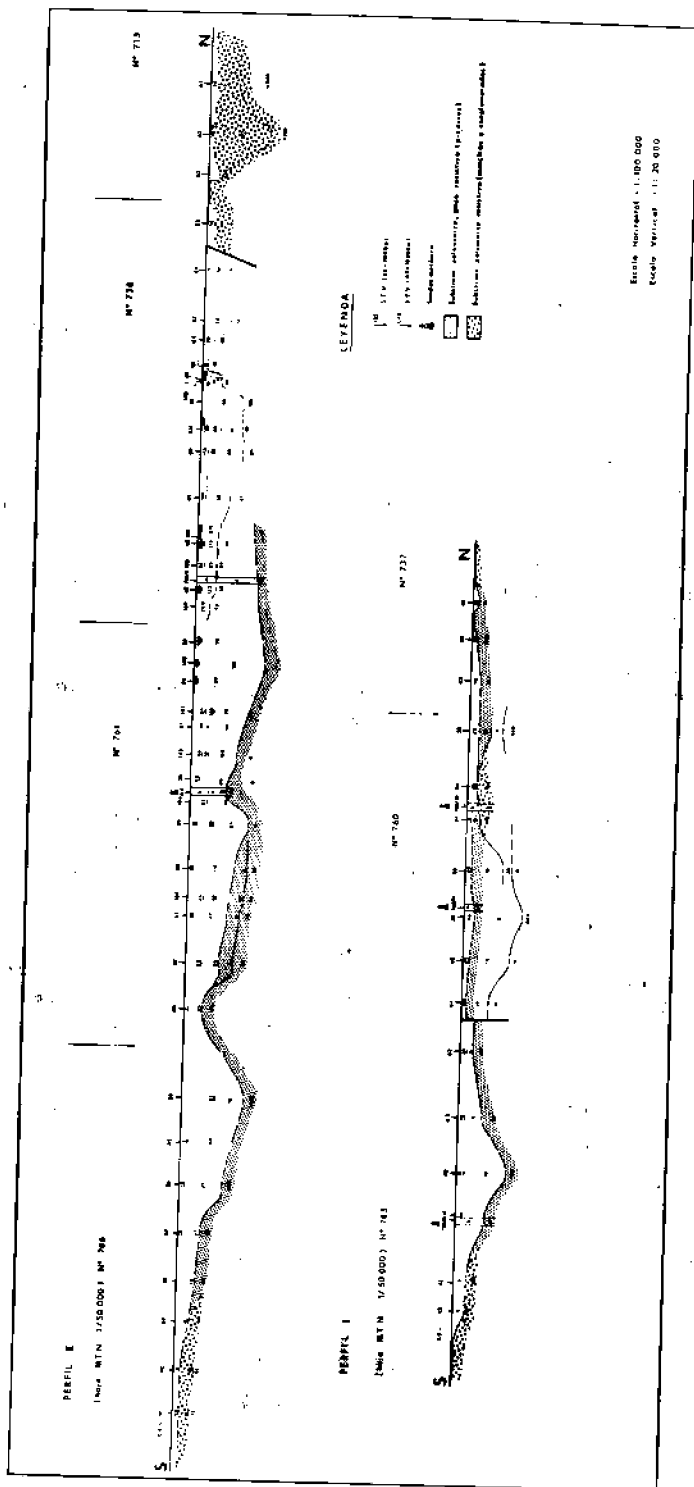


Fig. 2. Cortes geoelectricos

TESTIFICACION GEOFISICA

Se testificaron 5.600 m con el equipo BPB y 1.700 m con un equipo Mount Sopris, obteniéndose los siguientes parámetros geofísicos.

- Radiactividad natural de las rocas, que en formaciones sedimentarias detecta el contenido en arcilla.
- Densidad real de la formación, en g/cc.
- Porosidad a través de la sonda de Neutrones que mide el contenido en H de la formación.
- Resistividad real de la formación, expresadas en Ωm , obtenida con la Sonda Eléctrica Focalizada.
- Resistividades aparentes, expresada en Ωm , obtenida con la Sonda Eléctrica N16".

El objetivo principal de la testificación era el correlacionar los horizontes geoelectricos medidos en los sondeos mecánicos, con los cortes de los S.E.V. en sus proximidades, a fin de extrapolar resultados a otros S.E.V. alejados.

Por otra parte, los otros parámetros geofísicos obtenidos de la testificación permitieron un buen reconocimiento litológico de las formaciones atravesadas.

CONCLUSIONES

- Se ha demostrado que el empleo simultáneo de dos técnicas geofísicas "baratas" con carácter regional, es un instrumento flexible y útil, que permite la resolución de buena parte de los problemas geológicos planteados, siempre y cuando se disponga del adecuado conocimiento geológico del área.
- La gravimetría ha puesto de manifiesto el estilo estructural de los materiales Paleozoicos recubiertos por la cobertura reciente de La Mancha, lo que ha permitido determinar unidades morfoestructurales, relativamente similares al sinclinal de Puertollano, que han sido exploradas por medio de SMR sin resultados positivos.
- La investigación eléctrica puso de manifiesto la existencia de fosas, indetectables por gravimetría por sus dimensiones reducidas, que también fueron investigadas infructuosamente con SMR. En ocasiones este sistema coadyudó a la resolución de indeterminaciones geológicas (anticlinal de Daimiel). Finalmente, fué de gran utilidad para la programación y seguimiento de las campañas de SMR.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERDI, M.T. et. al. (en prensa). Paleontología y Bioestratigrafía de los yacimientos villafranquienses de las Higuieruelas y de Valverde de Calatrava, Ciudad Real). Actas 1ª Reunión Regional de Castilla La Mancha.
- ALVARADO, A. y HERNANDEZ PACHECO, F. (1.932). Hoja geológica 759 (Piedrabuena) IGME.
- ANCOCHEA, E. (1.983). Evolución temporal del volcanismo reciente de España central. Tesis Doctoral Universidad Complutense de Madrid.
- BALMASEDA et. al. (1.976). Hoja Geológica 761 (Llanos del C.). IGME.
- BERGAMIN, F.J. et. al. (1.985). Detección mediante gravimetría de cuerpos graníticos ocultos en la Región del Campo de Calatrava (Ciudad Real). Bol. Geol. Min. XCVI: 653-658
- BERGAMIN, F.J. (1.985). Interpretación geotectónica del área del Campo de Calatrava (Ciudad Real) basada en determinaciones gravimétricas. Tesis Doctoral Universidad Complutense de Madrid.
- BANADONNA et. al. (1.984). Estudio del vulcanismo de las Higuieruelas. Acta 1ª Reunión Regional de Castilla La Mancha (en prensa).
- BOUYX, E. (1.969). Les formations anteordoviciennes de la province de Ciudad Real (Espagne meridional). Thes Univ. Paris.
- BOUYX, E. (1.970). Les formations anteordoviciennes de la province de Ciudad Real (Espagne meridional). Mem. IGME 1.973).
- C.G.S.-INTECSA (1.970). Estudio preliminar de las reservas hidrogeológicas totales de la zona de La Mancha. S.G.O.P.- (Inédito)
- COMBA, J.A. (1.982). (Coordinador). Libro jubilar J.M. Ríos. Geología de España T.I. IGME.
- CORTAZAR, D. (1.980). Reseña física y geológica de la provincia de Ciudad Real. Com. Mapa Geol. España, VII:289-323.
- ENADIMSA (1.966). Estudio geológico de las zonas reservadas para la investigación de posible Carbonífero existente bajo los terrenos triásicos y terciarios de La Mancha. (Inédito).
- ENADIMSA-IGME (1.979). Estudio de las posibilidades de hullas y antracitas en La Mancha. (Inédito).
- ENADIMSA-ENCASUR, S.A. (1.984) Estudio del P.E. Jabalón. (Inédito)
- ENADIMSA-ENCASUR, S.A. (1.985). Estudio de los P.E. Puerto Ládice y Manzanares. (Inédito).
- FERNANDEZ, J. (1.975). La sedimentación triásica en el borde sur-este de la Meseta. Tesis Doctoral Univ. Granada.
- GIL et. al. (1.985). Evolución de facies en en Trías de la zona prebética y borde de la Meseta. Resúmenes II Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Pérmico y Triásico de España. Seu d'Urgell.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1.912). La Llanura Manchega y sus mamíferos fósiles. Com. Inv. Pal. Prehist. 28:1-43.
- HOYOS, M. et. al. (1.984). (En prensa). Características geológicas del yacimiento de Las Higuieruelas (Ciudad Real). 1ª Reunión Regional de Castilla La Mancha.
- IGME (1.972). Hoja 200.000 nº 61 Ciudad Real.
- IGME (1.986). (En prensa). Hoja MAGNA nº 784 (Ciudad Real).
- IGME (1.986). (En prensa). Hoja MAGNA nº 785 (Almagro).
- IGME (1.986). (En prensa). Hoja MAGNA nº 786 (Manzanares).
- IGME (1.986). (En prensa). Hoja MAGNA nº 761 (Daimiel).
- ENADIMSA-JEN (1.977). Estudio geológico de las zonas de Linares, Vilches y Beas de Segura.
- JULIVERT, M. et. al. (1.972). Morfotectónica de la Península Ibérica y Baleares. IGME.
- LOTZE, F. (1.940-1.979). El Cámbrico en España. Mem. IGME. 76:1-245.
- LOTZE, F. (1.956). Uber Sardische Bewngangen in Spanien und ihre Bezeichnung zur assgutischen Faltung. Geotect. Symps. zu Eheren von Stille: 128-139
- MACHENS, E. (1.984). Estratigraphie un Tectonic der Südöstlichen Iberischen Meseta in Bereich des oberen Guadiana. Und. Wiss. Mat. Naturwiss. Fak. Univ. Münster.
- MARTIN ESCORZA, C. (1.971). Estratigrafía del Paleozoico en Mora de Toledo (Toledo) Bol. R. Soc. Hist. Nat. 69:261-265.
- MARTIN ESCORZA, C. (1.976). "Las Capas de Transición": Cámbrico inferior y otras preordovícicas (Cámbrico superior) en los Montes de Toledo surorientales: sus implicaciones geotectónicas. Est. Geol. 32:591-613.
- MARTIN ESCORZA, C. (1.977b). Evolución dinámica del basamento durante el Cámbrico en los Montes de Toledo surorientales.