

Clavero

INSTITUTO GEOGRAFICO Y CATASTRAL

EL TERREMOTO DE GERGAL DE 1 DE JULIO DE 1950

POR

JOSE RODRIGUEZ-NAVARRO DE FUENTES

INGENIERO GEÓGRAFO,
JEFE DE LA SECCIÓN DE GEODESIA Y GEOFÍSICA

Y

JUAN M.^a BONELLI Y RUBIO

INGENIERO GEÓGRAFO,
JEFE DEL SERVICIO DE SISMOLOGÍA



MADRID

TALLERES DEL INSTITUTO GEÓGRAFICO Y CATASTRAL

—
1951

EL TERREMOTO DE GERGAL

INSTITUTO GEOGRAFICO Y CATASTRAL

EL TERREMOTO DE GERGAL

DE 1 DE JULIO DE 1950

P O R

JOSE RODRIGUEZ-NAVARRO DE FUENTES

INGENIERO GEÓGRAFO,
JEFE DE LA SECCIÓN DE GEODESIA Y GEOFÍSICA

Y

JUAN M.^a BONELLI Y RUBIO

INGENIERO GEÓGRAFO,
JEFE DEL SERVICIO DE SISMOLOGÍA



MADRID

TALLERES DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO Y CATASTRAL

—
1951

El día 1.º de julio de 1950, a las 12^h 19^m y 43^s 5 TMG (hora en el foco), se sintió una sacudida sísmica en Almería, que alcanzó el grado III de la escala Wood-Neumann y que fué registrada claramente por los sismógrafos del Observatorio Geofísico de aquella población y también por los de Cartuja (Granada), Málaga, Alicante y Toledo.

Las primeras informaciones macrosísmicas y los registros obtenidos acusaban una intensidad importante, comparada con la de otros terremotos de aquella región. Se había sentido en Sorbas, Purchena, Canjáyar, Gérgal y en todos los pueblos de sus partidos judiciales, así como en los pertenecientes al de Almería, que abarcan la zona montañosa ocupada por las sierras Nevada, Baza, Alhamilla y Gádor.

Entendiendo que todo lo que se refiera al estudio de terremotos ibéricos es primordial para el conocimiento de nuestra Geografía Sísmica, hemos hecho este pequeño trabajo referente al fenómeno mencionado.

INFORMACIÓN MACROSÍSMICA

Se ha hecho una detallada información de los efectos sensibles de este terremoto, utilizando el teléfono en los primeros momentos y después las comunicaciones postales que se han extendido a casi toda la provincia de Almería y a parte de la provincia de Granada. Posteriormente, una inspección ocular de la región pleitosista ha permitido concretar las referencias obtenidas, aunque siempre con el inconveniente de que, por tratarse de un país montañoso y débilmente poblado, las isosistas obtenidas presentan partes muy dudosas.

Los datos que se refieren a la región epicentral son los siguientes (véase lámina 1):

Gérgal.—Este pueblo (figs. 1, 2 y 3) se halla situado a media ladera en las estribaciones más meridionales de la Sierra de Filabres, sobre potentes formaciones de pizarras micáceas en la orilla derecha de la rambla de su nombre y en el sitio en que ésta, después de cortar en una profunda hoz las laderas formadas por el Cerro de la Molina, al W. y la Loma de las Tablas, al E., llega a la llanura constituida por aluviones del mismo estrato cristalino y arcillas ferruginosas que constituye la vega de Gérgal y que se prolonga al W. por el Campillo que, contorneando por el S. la misma Sierra de los Filabres, llega hasta cerca de Nacimiento.

Los efectos percibidos en Gérgal pueden concretarse diciendo que fué sentido con terror por todos sus habitantes, dentro y fuera de edificios e incluso por animales que pastaban en el campo.

En el castillo que corona un cerro al NE. del pueblo (figs. 2, 3 y 4), se vió salir una polvareda por una de las ventanas debido, sin duda, al hundimiento de alguno de los ruinosos muros interiores. Oscilaron las lámparas; se cayeron cuadros y objetos pequeños de vasares y aparadores, especialmente en sentido N.-S. y S.-N.; desprendimiento

de tierra y yesones de los techos y traqueteo de puertas y ventanas. Un almendro situado en la rambla, el NE. del pueblo, quedó cortado por la superficie de injerto, que siempre es un punto débil del árbol (figura 5). Se produjeron pequeñas grietas en un edificio de mediana construcción y que separaron de los muros un tabique dirigido de E. a W., pero a pesar de haber muchos edificios de mala construcción y muchas ruinas de construcciones antiguas, como las hay en todos los pueblos que fueron mineros y ya hace tiempo dejaron de serlo, no hubo destrucciones en ellos ni se notaron nuevas grietas.

Por último, es muy digno de notar que aumentaron muy sensiblemente sus caudales, y a raíz del terremoto dieron aguas turbias, tres fuentes, las de la Canaleja y las Viñas, muy próximas entre sí y en las afueras del pueblo por su parte S., y la del Cortijo de Miura, situada al W. de ellas, algo al S. del cruce de la carretera de Gérgal a la Venta del Almirez con la Rambla del Carril, fuente ésta última que duplicó su caudal.

Se sintieron ruidos durante el temblor y la mayor parte de las referencias es que fueron como explosiones o como muro que se derrumba.

Las Aneas y El Almendral.—En estas aldeas, situadas a tres y cuatro kilómetros, respectivamente, al N. de Gérgal, en la ladera W. de la rambla del mismo nombre, y próximas a ensanchamientos del valle que forman sus vegas (figs. 6, 7 y 8), se sintió el terremoto en forma análoga a la del pueblo, con ruido durante el temblor como de cañonazos que parecían provenir del S., pequeñas grietas en tabiques y caída de objetos. Tanto en El Almendral como en Gérgal hablan de dos sacudidas seguidas, siendo más intensa la segunda.

En cambio, en *Aulago*, otra aldea situada nueve kilómetros al NW. de Gérgal, en la profunda grieta que hace en la ladera S. de la sierra de los Filabres, la rambla que toma nombre de la misma aldea, sólo se percibe una sacudida, el ruido es sólo como de truenos próximos o trenes sobre puentes y no hay noticia de grietas producidas por el terremoto, aunque las construcciones de piedra y barro son tan malas como en Las Aneas y El Almendral.

En los *cortijos de Malaños y Ortegas*, unos dos kilómetros al SE. de Aulago, también se notó espuma en las aguas de la fuente a raíz del terremoto, aunque no hubo aumento de caudal.

En la *estación de Gérgal*, sobre la línea de Baeza-Almería, situada en terrenos aluviales de poco espesor sobre el estrato cristalino en la



Fig. 1.—Gérgal al pie de Sierra de los Filabres.



Fig. 2.—Gérgal desde el W.; al fondo Loma de las Tablas.



Fig. 3.—Gérgal, desde el SW.



Fig. 4.—Castillo de Gérgal, desde el NE.



Fig. 5.—Arbol de la Rambla de Gérgal, al NE. del pueblo.



Fig. 6.—El Almendral; al fondo Sierra de los Filabres.



Fig. 7.—Rambla de Gérgal al N. de El Almendral.



Fig. 8.—Las Anéas, desde el N.



Fig. 9.—Estación de Gérgal, desde el NE.

prolongación hacia el S. del Campillo (fig. 9), también el terremoto causó espanto en todas las personas, dentro y fuera de edificios. El ruido pareció como de muro que se derrumba, truenos intensos o explosión, y hubo entre los ferroviarios quien creyó que era una locomotora que se había caído del puente giratorio. Hubo grietas en la cantina y en dos casas y también aquí se notó más intensidad al final que al principio del movimiento. También cayeron pequeños objetos.

En *Alcubillas Altas*, aldea situada dos kilómetros al S. de la estación, en donde termina la llanura y empieza ya a accidentarse el terreno con toda la dureza del estrato cristalino (fig. 10), y que está dividida en dos barrios por la Rambla de las Alcubillas, se sintió, también con terror, por todos los habitantes, incluso en el campo, con ruido como de carros cargados sobre empedrado o cañonazos, se cayeron objetos de los aparadores y cuadros de las paredes, e incluso giró una máquina de coser y se produjeron varias grietas en muros y paredes de casas de mala construcción. El movimiento venía del E.

En *Alcubillas Bajas*, otra aldea situada a un kilómetro al SE. de la anterior, y en la orilla W. de la misma Rambla de las Alcubillas (figura 11), se sintió en forma análoga a la de la anterior, pero la mayor parte de las casas, casi todas de mala construcción, quedaron dañadas por grietas en el encuentro de los muros, pudiéndose comprobar que los orientados en sentido N.-S. habían trepidado en sentido perpendicular, es decir, que el movimiento provenía del E.

Aparte de las aldeas citadas y de Gérgal y su estación, se hizo inspección en cortijos y ventas de todo el terreno comprendido entre ellas, pero hubo el gran inconveniente de lo muy despoblada que está la región limitada por Gérgal, su estación, las Alcubillas y la Rambla de Gérgal y que no pudo, por tanto, tenerse referencias de grietas o desprendimientos de tierras o piedras, si es que los hubo.

Estudiando los datos macrosísmicos obtenidos, se deduce que la isosista de grado superior, que es la VI, comprende El Almendral, Gérgal, la estación del ferrocarril y las Alcubillas Altas y Bajas, pero, dentro de ella, los puntos en que con más intensidad se sintió el terremoto son Gérgal y Las Alcubillas Bajas. En esta última aldea es donde más grietas se producen, pudiendo decirse que casi todas las casas quedan dañadas, pero, como hemos dicho, la situación de estas grietas indica que esta aldea no está en el epicentro, sino al W. del mismo. En Gérgal, en cambio, aunque hay un derrumbamiento en el interior del

castillo y un árbol queda cortado por la superficie de injerto, la cual demuestra que sólo en una pequeña zona de la corteza estaba sujeto, hay muy pocas grietas, incluso en casas derruidas y de malísima construcción, pero hay el hecho interesante de la variación de caudal de las fuentes, aunque se debe anotar que estas fuentes no son termales, lo que indica que sus aguas son superficiales y proceden, sin duda, de filtraciones de las minas de hierro antiguas que existen al N. del pueblo, en las dos laderas de la Rambla de Gérgal, y que están actualmente anegadas. La conmoción, ayudada por la presión de las aguas, pudo romper en una pequeña parte el dique que cierra estas aguas y causó el aumento de caudal en las fuentes.

Como conclusión, y dentro de la incertidumbre que lo poco poblado de esta zona nos proporciona, podemos afirmar que el epicentro debe hallarse aproximadamente en la recta que une Gérgal con Las Alcubillas Bajas, y que la fractura tectónica que lo produjo sigue probablemente esta dirección y después, más al N., la de la Rambla de Gérgal.

Como detalle de interés puede decirse que desde el kilómetro 213,300 del ferrocarril de Baeza a Almería se tomaron las dos figuras 12 y 13, la primera hacia el NE. y en ella puede verse que las capas de micacitas con intrusiones de cuarzo que forman la trinchera del ferrocarril, están sumamente plegadas y rotas por una falla casi vertical. La segunda, hacia el SW., representa un meandro del Barranco de las Alcubillas y, según los prácticos del país, en el sitio marcado por las flechas se produjeron derrumbamientos como consecuencia de otro terremoto ocurrido en fecha que no pueden precisar. Estos puntos están próximos a la alineación en la que hemos supuesto que debe estar la fisura tectónica productora del terreno y acusan una falla, pues desde la flecha de la izquierda hacia el N., el terreno es de pizarras micáceas muy grises y compactas, y desde esas flechas a la parte izquierda del dibujo, cambia el buzamiento de los estratos, y las pizarras silíceas se incluyen en terrenos rojizos de arcillas ferruginosas.

La información postal y telefónica y la inspección sobre el terreno, hecha desde Almería hasta Canjáyar y Sorbas, permitió el trazado de las restantes isosistas, siempre con la salvedad, ya repetida, que lo despoblado de la región, sobre todo en las sierras Nevada, de los Filabres, Gádor y Alhamilla, dan gran incertidumbre en el trazado de dichas líneas.



Fig. 10. — Alcubillas Altas, desde el N.



Fig. 11. — Alcubillas Bajas, desde el E.

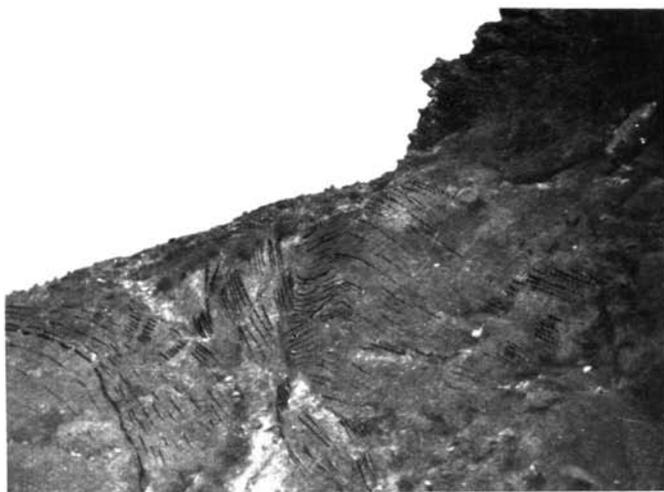


Fig. 12.—Kilómetro 213,300 del ferrocarril de Baeza-Almería; trincher a al NE.



Fig. 13.—Rambla de las Alcubillas, desde el kilómetro 213,300 del ferrocarril de Baeza-Almería.

ESTUDIO GEOMORFOLOGICO Y GEOLOGICO DE LA REGION

Vamos a dar una ligera ojeada sobre el terreno por el que se han extendido los efectos sensibles del terremoto (véase lámina 2).

Los elementos más esenciales están constituídos por la Mole Bética, formada por los grandes macizos del estrato cristalino que son Sierra Nevada, que se dirige de W. a E., limitada en su parte occidental por la falla tectónica Granada-Motril, y por el E., por la de Guadix-Almería que la separa de la Sierra de los Filabres, que también se dirige hacia el E., hasta llegar a la falla del Almanzora, prolongándose también como estrato cristalino por las sierras de Almagro y Almagrera.

De la Sierra de los Filabres, en su parte occidental, se deriva hacia el NW. la Sierra de Baza, también de estrato cristalino, recubierta en su extremo de una gran mancha de triásico que llega hasta las Hoyas tectónicas de Guadix y Baza, la primera, recubierta por mioceno, y sobre él, diluvial y aluvial, excepto una mancha de mioceno que se apoya en el triásico, antes aludido, y la segunda, cubierta de un gran manto de mioceno.

Próximamente paralelos a los macizos de Sierra Nevada y de los Filabres existe otra gran alineación de estrato cristalino que de E. a W. está constituida por las sierras de Cabrera y Alhamilla, terminando esta última en el valle del río Andarax y prolongándose por las sierras de Gádor, La Contraviesa y Lújar, en las que el triásico recubre elevaciones del estrato cristalino que aún emergen formando isleos alargados en sentido de E. a W. en Albondón, Lobras, Lijar y en la misma Sierra de Gádor.

Estos terrenos azoicos, junto con los macizos galaicos, fueron los territorios que antes emergieron de los mares en la Península Ibérica y están rebordeados desigualmente por el triás que en Sierra Nevada forma una estrecha faja al N. y una más amplia al S., que en su mitad oriental termina en los aluviales y diluviales que forman el valle del río Andarax, y en su mitad occidental tienen aún mayor extensión, uniéndose por las Alpujarras con los terrenos triásicos que, como hemos dicho, constituyen las sierras de Lújar y Contraviesa.

El N. de Sierra Nevada, desde Aldeire a Abla y el SW. de la de Baza, no tienen reborde triásico, sino que son recubiertos directamente por el diluvial de los Llanos del Marquesado y de la Hoya de Guadix, y tampoco hay trias en el NE. de la Sierra de Baza, pero sí hay grandes manchas irregulares al NE. y SE. de la de Filabres, que desaparecen en el S., dando lugar a la línea de contacto directo del estrato cristalino con el mioceno.

En las sierras de Alhamilla y Cabrera está casi totalmente rebordado el estrato cristalino por el triásico y, en contacto con éste, una capa relativamente ancha de eoceno por el SW., W. y N., que termina en el mioceno, por el que discurre hacia el E. el río de las Aguas y hacia el W. la Rambla de Tabernas, tributaria del río Andarax.

La gran mancha de mioceno que aparece al S. de las sierras de Alhamilla y Cabrera llegaría hasta el mar si no se lo impidieran, en parte, las afloraciones de rocas hipogénicas modernas que constituyen la Sierra de Gata, la Serrata de Níjar y las manchas de Carboneras, Sierra Cabrera, Vera y Sierra Almagrera. No todas estas rocas hipogénicas son iguales, y así en la Sierra de Gata y Serrata de Níjar predominan las traquitas, andesitas y dacitas; en Carboneras, las andesitas; en Sierra Cabrera, las dioritas, basaltos y pórfidos traquíticos; en Vera, basaltos y pórfidos, y en Almagrera, pórfidos y traquitas descompuestos. También hay afloramientos de rocas hipogénicas modernas y aun antiguas en la parte Norte y centro de la Sierra de los Filabres.

Sólo nos falta decir, para terminar este golpe de vista sobre el conjunto, que la falla Guadix-Almería tiene su punto más alto hacia La Calahorra, y desde él, hacia el NW., discurre la Rambla de Guadix que desemboca en el río Fardes, tributario del Guadalquivir, y hacia el SE. el río Nacimiento que atraviesa, primero, terrenos diluviales, después, el estrato cristalino, y luego, el mioceno y aluviones, y se une al río Andarax que riega el valle diluvial entre Sierra Nevada y Sierra de Gádor y, después de recoger la Rambla de Tabernas, desemboca en el Mediterráneo, al E. de Almería.

Completaremos este ligero bosquejo citando las manchas aluviales que recubren las estribaciones meridionales de la Sierra de los Filabres y los Llanos de Tabernas y las que forman el valle del río Andarax, cortando el mioceno de los expresados Llanos de Tabernas que se prolonga por el W. hasta cerca de Canjáyar y Rágol.

Para darnos cuenta de la estratigrafía y tectónica de la región repro-

ducimos los cortes dibujados por Mallada «Explicación del Mapa Geológico de España», tomo I, página 478 (1), y por Sierra «Hierros de Almería y Granada», tomo II, página 66 (2).

En el primero (fig. 14), se representa un corte a través de Sierra Nevada por el Puerto de la Ragua, La Alpujarra y La Contraviesa, y puede verse el abombamiento clásico de Sierra Nevada en sus pizarras micáceas, micacitas, cloritosas y anfibólicas, sobre el que descansa por el N. el triás y, sobre él, mioceno y diluvial. Por el S. se ve el efecto de tenaza que la Mole Bética ha hecho ante los empujes provenientes del Macizo del Atlas, que ha dado lugar a grandes plegamientos en las masas triásicas que forman La Alpujarra y La Contraviesa.

En el segundo corte (fig. 15), a través de Sierra de Baza, falla de Guadix-Almería y estribaciones orientales de Sierra Nevada, o sea, próximamente de Caniles hacia Abrucena, se ve que la estratificación fundamental de Sierra de Baza es concordante con la septentrional de Sierra Nevada, como si aquélla hubiera sido continuación de ésta, pero la falla mencionada ha roto la continuidad, tal vez haciendo levantar el borde W. de la de Baza, al mismo tiempo que se producía el hundimiento de la falla.

Los otros dos cortes (figs. 16 y 17) cruzan la Sierra de los Filabres, el primero desde Serón a Gérgal y Santa Fe de Mondújar, y el segundo, desde Olula del Río a Tabernas y Sierra Alhamilla. Ambos muestran que la Sierra de los Filabres constituye, por el plegamiento de los estratos cristalinos, un gran anticlinal denudado cuyo eje, que va de W. a E., está muy al S. de las actuales cumbres de la Sierra, y que el gran empuje que en dirección S.-N. la plegó, en el período pérmico de la era primaria y como consecuencia de los movimientos posthercinianos, dió nacimiento a los anticlinales de sierras de Filabres y Alhamilla y a los sinclinales del Almanzora y Tabernas.

Análogamente ocurrió más al W., produciéndose los anticlinales de Sierra Nevada al N. y sierras de Gádor, Contraviesa y Lújar al S., y los sinclinales de Las Hoyas de Granada y Guadix y el de Las Alpujarras.

Hay que hacer constar que en estos plegamientos, además de las presiones principales, hubieron otras secundarias e importantes también y en todos sentidos, que dieron lugar a una serie de fracturas, cambios de buzamiento, retorcimiento de los estratos y verdaderas fallas que se muestran, incluso en la superficie del terreno, con muchas intrusiones de capas de cuarcita entre las pizarras y filadíos micáceos.

Los movimientos a que nos estamos refiriendo rompieron la continuidad que seguramente existía entre las mesetas Ibérica y Norteafricana y las separaron definitivamente, abriendo la comunicación entre el Atlántico y el Mediterráneo por el Canal Bético del Norte, que formó la falla del Guadalquivir.

Limitándonos exclusivamente a la zona que nos afecta y dejando, por tanto, la formación de las cordilleras penibéticas y la discusión de si son o no prolongación, por el arco de Gibraltar, de las cordilleras rifeñas (3) y (4); diremos únicamente que la gran transgresión triásica cubrió por el mar la mayor parte de los plegamientos anteriores, excepto las cumbres de las sierras Nevada, Filabres, Baza, Almagrera, Cabrera y Alhamilla, que luego emergieron los macizos triásicos que fueron sometidos a una intensa denudación, y que las repetidas transgresiones e invasiones y los esfuerzos ocurridos en la era secundaria produjeron intensas modificaciones en esos estratos triásicos que los hace aparecer sumamente plegados, fallados y atormentados, principalmente al N. de la Sierra de los Filabres, en La Alpujarra y en las sierras que la limitan por el S.

Al final del eoceno, ya en la edad terciaria, vienen los grandes movimientos orogénicos que dan lugar a los Pirineos y que influyen en los terrenos no consolidados de nuestra Península, y que son todavía más intensos durante el período mioceno, en el que tiene lugar el gran movimiento alpino, en el que ocurren los grandes cambios de fisonomía para nuestra superficie actual y en el que esfuerzos, invasiones y regresiones dan lugar al cierre definitivo del Canal Bético del Norte, a la apertura y cierre del Canal Rifeño y, por fin, al hundimiento de la bóveda elíptica desde Alborán a Gibraltar, según Cubillo, y a la apertura del actual estrecho.

Resumiendo, diremos: Que tanto las formaciones azoicas como las triásicas, están en nuestra zona sumamente perturbadas; que el eoceno que aflora al W. y N. de Sierra Alhamilla tiene fuerte buzamiento hacia el NW., como puede verse en las figuras 18 y 19, y que el mioceno, aunque no llegan sus estratos a ser horizontales, es más regular que el eoceno y también tiene un buzamiento hacia el NW. y hacia la falla Quadix-Almería.

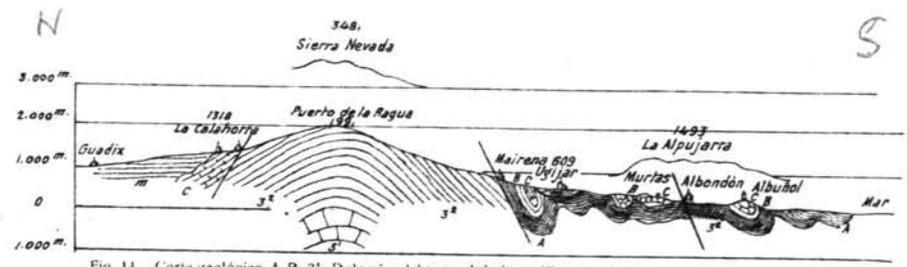


Fig. 14.—Corte geológico A-B. 3^a, Dolomías del tramo inferior.—Pizarras cristalíferas.—A, Pizarras cambrianas del tramo de Motril.—B, Pizarras y calizas cambrianas del tramo de Albuñol.—C, Calizas triásicas del tramo de Gador. m, Terciario.

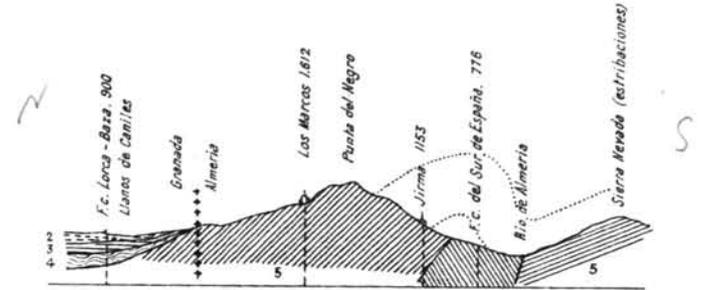


Fig. 15.—Corte geológico C-D.—2, Plioceno.—3, Mioceno.—4, Trias.—5, Estrato cristalino.

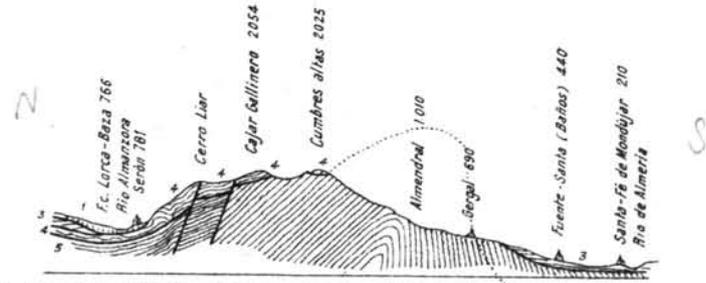


Fig. 16.—Corte geológico E-F.—1, Aluvial.—3, Mioceno.—4, Trias.—5, Estrato-cristalino.

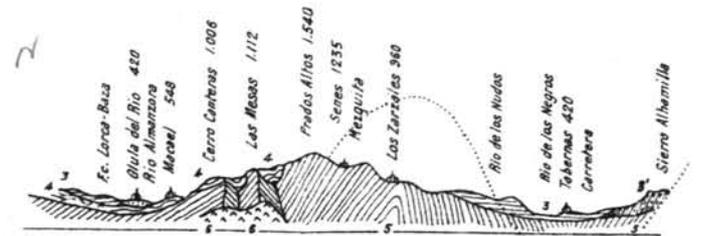


Fig. 17.—Corte geológico G-H. 1, Aluvial.—3, Mioceno.—4, Eoceno.—Trias.—5, Estrato cristalino.—6, Hipogénicas.

4. Trias



Fig. 18.—Rambla de Tabernas. Eoceno al NW. de Sierra Alhamilla.
1, Eoceno. 2, Mioceno.



Fig. 19.—Rambla de Tabernas Eoceno al N. de Sierra Alhamilla.

ZONA PLEITOSISTA

Las estribaciones meridionales de la Sierra de los Filabres, sumamente montañosas, están cortadas en la zona que nos interesa en sentido N.-S., por profundas barranqueras que forman la Rambla de Aula-go, afluente del río Nacimiento; los barrancos del Palomo y Sacarás, que se unen a la Rambla del Barranquillo para formar la de las Alcubillas; las ramblas del Carril y de Molina que, juntas, desembocan en la Rambla de Gérgal, la más importante de ellas, y que es tributaria del río Andarax, y, por último, la Rambla de Lanújar, que desemboca en la de Tabernas.

Todas estas estribaciones de terrenos azoicos terminan bruscamente en una llanura algo extensa para la topografía de la zona, que está constituida por aluviones de rocas del estrato cristalino con arcillas ferruginosas, que se extiende desde la Rambla de Gérgal a la de Aula-go, muy estrecha al principio y ensanchándose después hasta cerca del pueblo de Nacimiento, y en forma de cuña, hasta las Alcubillas Altas (figs. 1, 9, 20 y 21). Al SE. de esta llanura, llamada Campillo de Gérgal, por donde se extienden las vegas del pueblo hasta donde alcanzan las aguas de riego, vuelve a accidentarse el terreno en una serie de lomas redondeadas como corresponde a la antigüedad de sus terrenos azoicos, que llega hasta las ramblas de Gérgal y las Alcubillas, que se unen en el cortijo de Gebera, en donde próximamente está la línea de contacto entre el estrato cristalino y los terrenos miocenos que pronto se mezclan con diluviales.

En la figura 21 se pueden ver las estribaciones de la Sierra de los Filabres al N. del Campillo y sus estratos, constituidos por micacitas y pizarras micáceas, coronadas en algunos sitios por pizarras silíceas, tienen fuerte buzamiento hacia el S., puesto que están en la rama descendente del anticlinal denudado que forma la sierra.

En las figuras 20, 22, 23, 24, 25 y 26 pueden verse, tomadas en la 22 desde el N. y en las demás desde el W., las lomas situadas al SE. del Campillo, y en ellas se aprecia que el buzamiento sigue siendo, en general, fuerte hacia el S., si bien la estratificación, como ya digimos al principio, dista mucho de ser regular, sino que, por el contra-

rio, tiene amplias dislocaciones, discordancias, plegamientos y aun fallas, como se observa en alguna de las mencionadas figuras.

Los aluviones del Campillo de Gérgal impiden ver si esta llanura es debida a una falla en dirección E.-W., que separa la sierra del bloque que emerge al S. del Campillo, pero lo probable es lo contrario, o sea, que este bloque, como indica la figura 16, sea continuación de la sierra, y que sólo haya sido cortado por la denudación, quizá porque la Rambla de Gérgal, después de las estribaciones en que hoy está el pueblo, se dirigiera de un modo brusco hacia el W. para desembocar directamente en el río Nacimiento, hasta que aquella rambla fué capturada por el barranco que hoy es su prolongación, dejando el antiguo cauce en seco, cauce que se rellenó por los derrubios de la sierra para constituir el repetido Campillo.

Fijémonos ahora en la Rambla de Gérgal (figs. 6, 7, 8 y 27) que es un profundo surco que corta bruscamente la ladera de los Filabres con algunos ensanchamientos debidos a la erosión, como puede verse en dichas figuras. Sus laderas, en general, son de pizarras grises, muy micáceas y untuosas, que en varios sitios se ennegrecen y descomponen y en otros se convierten en pizarras silíceas de bastante espesor. En la figura 7 y en el corte de la 28 que corresponden ambas a la rambla, aguas arriba del Almendral, puede verse que este valle es un anticlinal producido por presiones en sentido E.-W., perpendiculares al esfuerzo principal.

En la figura 29, que es un corte de la misma rambla a su cruce con el ferrocarril de Baeza a Almería, vemos que en el fondo de la rambla las pizarras micáceas de la ladera N. coinciden con las de la S., es decir, que sólo hay erosión; pero a partir de una cierta altura, cambia el buzamiento de los estratos de la ladera N., que ahora se dirigen hacia el N., y se ve su continuación en la ladera S., denunciando claramente el anticlinal. Puede ser aceptable la idea de que la bóveda del anticlinal, al N. de Gérgal, se hundiera o se erosionara antes que la situada aguas abajo del pueblo y, por lo tanto, el río que discurría por la primera se vería obligado a girar bruscamente hacia el W. en dirección al Campillo, como antes hemos supuesto, hasta que el hundimiento o denudación de la bóveda del S. de Gérgal diera a las aguas el cauce más cómodo que actualmente tienen, produciéndose con ello el relleno de aluviones del Campillo.

El corte de la figura 30, tomado también de la obra de Sierra,

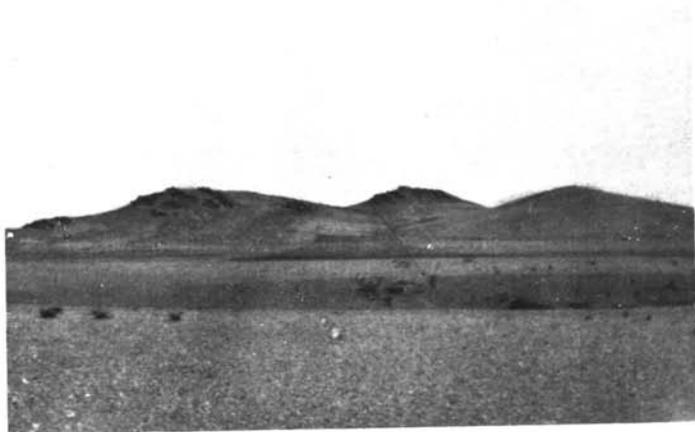


Fig. 20.—Lomas al SE. del Campillo de Gérgal, desde la estación del ferrocarril.



Fig. 21.—Estribaciones meridionales de la Sierra de los Filabres que terminan en el Campillo de Gérgal.



Fig. 22.—Lomas al SE. del Campillo de Gérgal, desde el N. (cortijo del Titón).



Fig. 23.—Lomas al E. de Alcubillas Altas.

«Hierros de Almería y Granada» (tomo II, página 68), y que está en dirección E.-W., cortando la zona pleitosista, nos hace ver que, además de la falla del río Nacimiento o de Guadix-Almería, existe una segunda falla más al E. de la Rambla de las Alcubillas, cuya situación se aproxima a la que dedujimos para el epicentro y que creemos es la causante del terremoto que estudiamos.

¿Corresponde esta segunda falla a una línea tectónica que cortando a las dos principales de Guadix-Almería y del Almanzora, una el epicentro estudiado con el que dicen se sintió en la Rambla de las Alcubillas, atravesando la Sierra de los Filabres, con otros epicentros situados en la Sierra de Lúcar, como el reconocido por Rey Pastor el 5 de marzo de 1932 (5)? No nos atrevemos a asegurarlo, pues faltan datos para ello, y no los deseamos por el peligro que pueden ocasionar los terremotos, si bien el actual ha sido tan amable, que a cambio de muchos sustos y unas cuantas grietas, ha aumentado el caudal de las fuentes, que es el mayor beneficio que puede hacerse en esta seca región.

Como resumen, podemos decir que la situación del epicentro que dedujimos como consecuencia de la información macrosísmica, parece que debe coincidir bastante bien con la realidad, y estimamos que el error debe ser, a lo más, de un kilómetro, lo que no encontramos exagerado, dado que, por lo poco poblada que está esa zona, no hemos podido obtener dato alguno de los efectos en el mismo lugar del epicentro, cuya situación más probable nos atrevemos a fijar en la línea que une Alcubillas Bajas con el pueblo de Gérgal y en su intersección con el arroyo del Marqués, que discurre entre el Cerro Veleta, al E., y las lomas representadas en las figuras 20, 22 y 23 al W., ya que dicho arroyo puede ser el asomo en la superficie de la falla representada en la figura 30, y que es la que suponemos causante del terremoto.

CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DEL EPICENTRO Y HORA EN EL FOCO

Tenemos ya una determinación del posible epicentro, deducida de la información macrosísmica y consecuente trazado de isosistas y del reconocimiento del terreno, que nos permiten situar aquél a 1,5 kilómetros al NE. de Alcubillas Bajas y tres kilómetros al SW. de Gérgal. punto cuyas coordenadas son:

$$\begin{aligned}\varphi &= 37^{\circ} 05',8 \text{ N.} \\ \lambda &= 2^{\circ} 33',8 \text{ W. Gr.}\end{aligned}$$

Vamos ahora a hacer nuevas determinaciones por procedimientos en los que utilizaremos los datos que nos proporcionan los registros obtenidos en los Observatorios.

Hemos calculado las coordenadas del foco sísmico siguiendo el método de Inglada Ors (6), partiendo de las horas de principio de los sismogramas, que corresponden a la llegada de la onda *Pg*. Los datos iniciales son:

Almería.....	<i>iPg</i> =	12 ^h 19 ^m 14 ^s ,0	t_1
Cartuja.....	<i>iPg</i> =	12 20 00,0	$t_2 - t_1 = 11^s,0$
Málaga.....	<i>iPg</i> =	12 20 14,0	$t_3 - t_1 = 25,0$
Alicante.....	<i>Pg</i> =	12 20 25,0	$t_4 - t_1 = 36,0.$

Como origen aproximado, elegimos sobre el mapa de escala 1 : 400.000 el punto de coordenadas Lambert $x_0 = 700$; $y_0 = 280$ con el que resultaron las siguientes coordenadas referidas al origen para los Observatorios Sismológicos:

Almería.....	$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = + 7 \\ y_1 = - 30 \end{array} \right.$		Cartuja.....	$\left\{ \begin{array}{l} x_2 = - 94 \\ y_2 = + 8 \end{array} \right.$
Málaga.....	$\left\{ \begin{array}{l} x_3 = - 165 \\ y_3 = - 43 \end{array} \right.$		Alicante.....	$\left\{ \begin{array}{l} x_4 = + 180 \\ y_4 = + 142 \end{array} \right.$

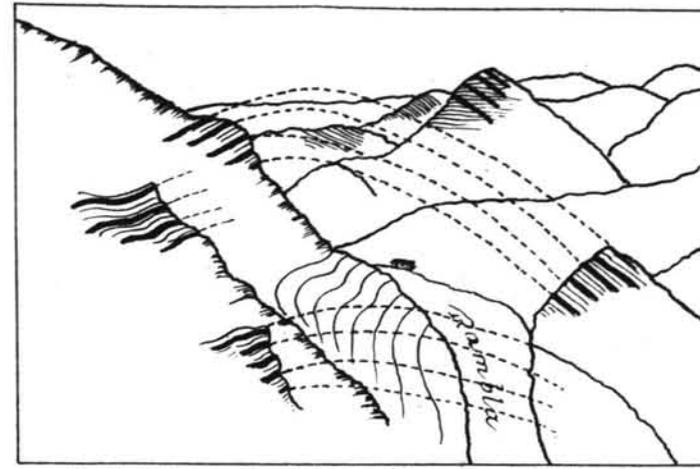


Fig. 28.—Corte y perspectiva de la Rambla de Gérgal, aguas arriba de El Almendral.

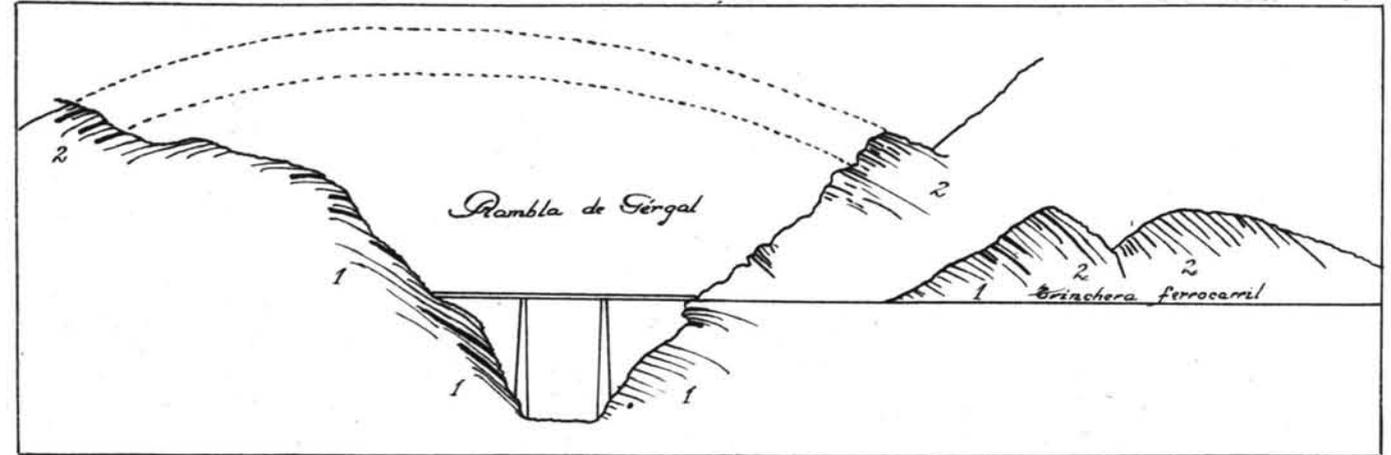


Fig. 29.—Corte de la Rambla de Gérgal a su cruce con el ferrocarril de Baeza a Almería.

1, Pizarras micáceas grises.—2, Pizarras silíceas.

Determinación gráfica del epicentro
del Arroyo de Gérgal (Almería)
1º Julio 1950

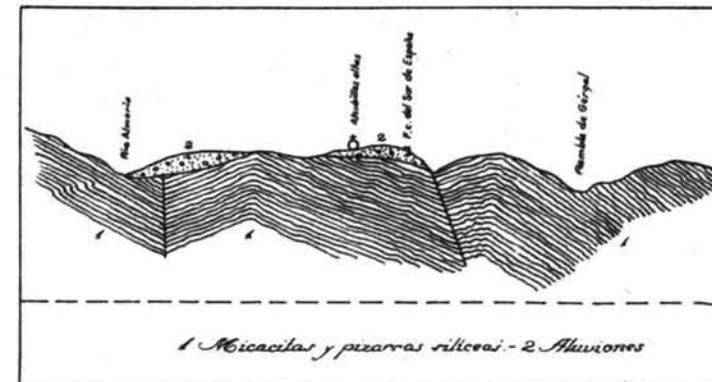


Fig. 30.—Corte geológico f-f.

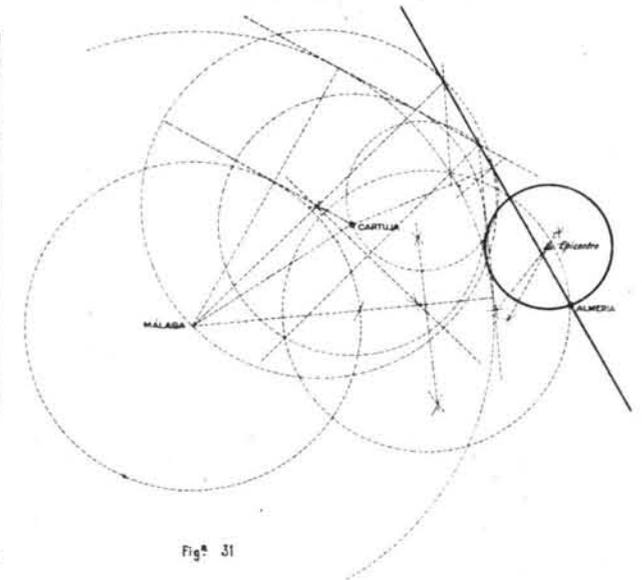


Fig. 31



Fig. 24.— Terrenos al SE. de Alcubillas Altas.



Fig. 25.— Terrenos al E. de Alcubillas Bajas.



Fig. 26.—Terrenos al E. del apeadero de Las Manchas.



Fig. 27.—Carretera desde El Almendralejo a Gérgal, al W. de la Rambla.

Las ecuaciones son:

$$(x_1 - x_2) x_0 + (y_1 - y_2) y_0 + v^2 (t_2 - t_1) t_0 = \frac{x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 + v^2 (t_2 - t_1)^2}{2}$$

.....

$$(x_1 - x_4) x_0 + (y_1 - y_4) y_0 + v^2 (t_4 - t_1) t_0 = \frac{x_1^2 - x_4^2 + y_1^2 - y_4^2 + v^2 (t_4 - t_1)^2}{2}$$

que, sustituyendo valores, se convierten en

$$\begin{aligned} 101 x_0 - 38 y_0 + 351 t_0 &= -2044 \\ 172 x_0 + 13 y_0 + 798 t_0 &= -4086 \\ 173 x_0 - 172 y_0 + 1149 t_0 &= -5122. \end{aligned}$$

Resueltas estas ecuaciones, se obtuvieron los siguientes valores:

$$x_0 = -3,5; \quad y_0 = +3,6; \quad t_0 = -5^s,5,$$

que dan, para el foco, ya en coordenadas geográficas

$$\varphi = 37^\circ 07' \text{ N.}; \quad \lambda = 2^\circ 33',5 \text{ W. Gr.}$$

y para la hora en el hipocentro,

$$H_0 = 12^h 19^m 43^s,5.$$

Procedimiento gráfico.—Obtenido el anterior resultado, ensayamos el procedimiento gráfico para determinación del epicentro expuesto por el notable sismólogo italiano P. Caloi (7), basado en la Geometría de contactos y que, en esencia, se reduce a trazar una circunferencia tangente a otras dos y que pase por un punto. Este punto es uno de los Observatorios, el más próximo al epicentro (en nuestro caso, Almería), y las dos circunferencias son las trazadas con centro en los Observatorios de Cartuja y Málaga, con radios iguales a la diferencia de tiempo entre las horas de Pg entre Cartuja y Almería, y Málaga y Almería, respectivamente, multiplicada por V_{Pg} , cuyo valor se ha tomado igual a 5,65 kilómetros sec^{-1} .

Este procedimiento puede también emplearse utilizando los datos de cuatro Observatorios, pero hemos preferido utilizar sólo tres, en atención a la distancia a que se encuentra Alicante, al borde de los 200 kilómetros, que podría acarrear errores importantes.

La figura 31 aclara suficientemente el procedimiento, que dió como resultado las siguientes coordenadas geográficas para el epicentro:

$$\varphi = 37^{\circ} 06' \text{ N.}; \quad \lambda = 2^{\circ} 33',0 \text{ W.}$$

Así se obtienen los siguientes distintos valores para la situación del epicentro según el procedimiento seguido:

Epicentro calculado analíticamente.....	{ $\varphi = 37^{\circ} 07',0 \text{ N.}$ $\lambda = 2^{\circ} 33',5 \text{ W. Gr.}$
Epicentro determinado gráficamente....	{ $\varphi = 37^{\circ} 06',0 \text{ N.}$ $\lambda = 2^{\circ} 33',0 \text{ W. Gr.}$
Epicentro de información macrosísmica.	{ $\varphi = 37^{\circ} 05',8 \text{ N.}$ $\lambda = 2^{\circ} 33',8 \text{ W. Gr.}$

cuya concordancia no puede ser más satisfactoria, lo que dice mucho en favor de la precisión con que se lleva la hora en nuestros diferentes Observatorios, pues como nos hemos basado en las horas de principio de los sismogramas, el error que hubiéramos podido cometer sólo a imprecisión en la hora podía ser debido, toda vez que los ímpetus iniciales de la *Pg* son suficientemente definidos para poder leerlos dentro del segundo. Mayor aproximación no ha sido posible obtener—nos referimos a la hora en décimas de segundo—por la escasa velocidad de registro, entre 10 y 15 milímetros por segundo, con que trabajan los sismógrafos cuyas gráficas se han utilizado.

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD HIPOCENTRAL

Método Kövesligethy.—Sobre la base de las isosistas trazadas, hemos aplicado el procedimiento Kövesligethy, con las fórmulas abreviadas debidas a nuestro malogrado maestro, el eminente sismólogo Inglada Ors (8). Los radios medios de las diferentes isosistas son:

$$\begin{aligned} \rho_{II} &= 37,47 \text{ kilómetros.} \\ \rho_{III} &= 28,29 \quad \triangleright \\ \rho_{IV} &= 20,88 \quad \triangleright \\ \rho_V &= 13,05 \quad \triangleright \\ \rho_{VI} &= 4,03 \quad \triangleright \end{aligned}$$

Para iniciar los tanteos aplicamos, en primer lugar, las fórmulas aproximadas abreviadas que dan dos valores límites, uno superior y otro inferior, y un valor no lejano al verdadero. Como es bien sabido, estas fórmulas son:

$$h > 0,52 \rho; \quad h < 0,72 \rho'; \quad y \quad h = 2/3 \sqrt{\rho'^2 - (1,8 \rho)^2}$$

en las que ρ y ρ' son los radios medios de la isosista de grado máximo y la inmediata inferior. Sustituídos sus valores, resulta:

$$h > 2,1 \text{ Kms.}; \quad h < 9,4; \quad y \quad h \simeq 7,2.$$

Iniciamos, en su vista, el procedimiento, ensayando los valores de h iguales a 5, 7 y 9 kilómetros en el sistema de fórmulas

$$\beta = \alpha \log e \quad y \quad \beta = \frac{0,6 - (\log r' - \log r)}{r' - r} \quad \text{en donde} \begin{cases} r = \sqrt{h^2 + \rho^2} \\ r' = \sqrt{h^2 + \rho'^2} \end{cases}$$

y las combinaciones de isosistas: IV-VI; III-V y II-IV. Los valores de r

para los tres valores de h son los que se reseñan en el siguiente cuadro:

$h = 5$	$h = 7$	$h = 9$
$r_{II} = 37,80$	$r_{II} = 38,11$	$r_{II} = 38,53$
$r_{III} = 28,71$	$r_{III} = 28,78$	$r_{III} = 29,67$
$r_{IV} = 21,47$	$r_{IV} = 22,02$	$r_{IV} = 22,74$
$r_V = 13,97$	$r_V = 14,81$	$r_V = 15,85$
$r_{VI} = 6,42$	$r_{VI} = 8,07$	$r_{VI} = 98,6$

que conducen a los valores de

$h = 5$

$$\begin{array}{lll}
 \beta_1 = 0,00503 & \beta_1 - \beta_0 = 0,01036 & (\beta_1 - \beta_0)^2 = 0,0001073296 \\
 \beta_2 = 0,01943 & \beta_2 - \beta_0 = 0,00404 & (\beta_2 - \beta_0)^2 = 0,0000163216 \\
 \beta_3 = 0,02170 & \beta_3 - \beta_0 = 0,00631 & (\beta_3 - \beta_0)^2 = 0,0000398161 \\
 \Sigma \beta = 0,04616 & \Sigma (\beta - \beta_0) = 0,02071 & [\Delta \Delta]_5 = 0,0001634673 \\
 \beta_0 = 0,01539 & &
 \end{array}$$

$h = 7$

$$\begin{array}{lll}
 \beta_1 = 0,01176 & \beta_1 - \beta_0 = 0,00470 & (\beta_1 - \beta_0)^2 = 0,0000220900 \\
 \beta_2 = 0,01515 & \beta_2 - \beta_0 = 0,00132 & (\beta_2 - \beta_0)^2 = 0,0000017424 \\
 \beta_3 = 0,02248 & \beta_3 - \beta_0 = 0,00602 & (\beta_3 - \beta_0)^2 = 0,0000362404 \\
 \Sigma \beta = 0,04933 & \Sigma (\beta - \beta_0) = 0,01204 & [\Delta \Delta]_7 = 0,0000600728 \\
 \beta_0 = 0,01646 & &
 \end{array}$$

$h = 9$

$$\begin{array}{lll}
 \beta_1 = 0,01841 & \beta_1 - \beta_0 = 0,00346 & (\beta_1 - \beta_0)^2 = 0,0000120062 \\
 \beta_2 = 0,02371 & \beta_2 - \beta_0 = 0,00184 & (\beta_2 - \beta_0)^2 = 0,0000033893 \\
 \beta_3 = 0,02350 & \beta_3 - \beta_0 = 0,00163 & (\beta_3 - \beta_0)^2 = 0,0000026341 \\
 \Sigma \beta = 0,06562 & \Sigma (\beta - \beta_0) = 0,00693 & [\Delta \Delta]_9 = 0,0000180296 \\
 \beta_0 = 0,02187 & &
 \end{array}$$

cuyo resultado nos lleva a

$$[\Delta \Delta]_5 > [\Delta \Delta]_7 > [\Delta \Delta]_9 .$$

La magnitud de los valores obtenidos para $[\Delta \Delta]$ y su sentido decre-

ciente, nos condujo a ensayar los valores de h igual a 9,5; 10 y 10,5 kilómetros, que nos dieron como valores para

$h = 9,5$

$\beta_1 = 0,02005$	$\beta_1 - \beta_0 = 0,00268$	$(\beta_1 - \beta_0)^2 = 0,0000071824$
$\beta_2 = 0,02437$	$\beta_2 - \beta_0 = 0,00164$	$(\beta_2 - \beta_0)^2 = 0,0000026896$
$\beta_3 = 0,02377$	$\beta_3 - \beta_0 = 0,00104$	$(\beta_3 - \beta_0)^2 = 0,0000010716$
$\Sigma \beta = 0,06819$	$\Sigma (\beta - \beta_0) = 0,00536$	$[\Delta \Delta]_{9,5} = 0,0000109536$
$\beta_0 = 0,02273$		

$h = 10$

$\beta_1 = 0,02167$	$\beta_1 - \beta_0 = 0,00191$	$(\beta_1 - \beta_0)^2 = 0,0000036481$
$\beta_2 = 0,02501$	$\beta_2 - \beta_0 = 0,00143$	$(\beta_2 - \beta_0)^2 = 0,0000020449$
$\beta_3 = 0,02405$	$\beta_3 - \beta_0 = 0,00047$	$(\beta_3 - \beta_0)^2 = 0,0000002209$
$\Sigma \beta = 0,07073$	$\Sigma (\beta - \beta_0) = 0,00381$	$[\Delta \Delta]_{10} = 0,0000059139$
$\beta_0 = 0,02358$		

$h = 10,5$

$\beta_1 = 0,02331$	$\beta_1 - \beta_0 = 0,00115$	$(\beta_1 - \beta_0)^2 = 0,0000013225$
$\beta_2 = 0,02570$	$\beta_2 - \beta_0 = 0,00120$	$(\beta_2 - \beta_0)^2 = 0,00000153.6$
$\beta_3 = 0,02436$	$\beta_3 - \beta_0 = 0,00014$	$(\beta_3 - \beta_0)^2 = 0,0000000100$
$\Sigma \beta = 0,07337$	$\Sigma (\beta - \beta_0) = 0,00249$	$[\Delta \Delta]_{10,5} = 0,0000028701$
$\beta_0 = 0,02446$		

y de donde se deduce que

$$[\Delta \Delta]_{9,5} > [\Delta \Delta]_{10} > [\Delta \Delta]_{10,5}$$

lo que representa una contradicción con la fórmula empírica abreviada de Inglada Ors, por cuanto el límite máximo obtenido anteriormente para la profundidad hipocentral era de 9,4 kilómetros y, sin embargo, los valores obtenidos para $[\Delta \Delta]$ en escala decreciente, son como sigue:

$$\begin{aligned} [\Delta \Delta]_5 &= 16,33 \times 10^{-5} \\ [\Delta \Delta]_7 &= 6,01 \times \text{ »} \\ [\Delta \Delta]_9 &= 1,80 \times \text{ »} \\ [\Delta \Delta]_{9,5} &= 1,10 \times \text{ »} \\ [\Delta \Delta]_{10} &= 0,59 \times \text{ »} \\ [\Delta \Delta]_{10,5} &= 0,29 \times \text{ »} \end{aligned}$$

lo que indica que el valor más aproximado de la profundidad hipocentral es, cuando menos, no inferior a 10,5 kilómetros. Para cerciorarnos, ensayamos entonces los valores de h iguales a 11 y 11,5 kilómetros, con el siguiente resultado:

$h = 11$

$\beta_1 = 0,02487$	$\beta_1 - \beta_0 = 0,00044$	$(\beta_1 - \beta_0)^2 = 0,0000001936$
$\beta_2 = 0,02639$	$\beta_2 - \beta_0 = 0,00108$	$(\beta_2 - \beta_0)^2 = 0,0000011664$
$\beta_3 = 0,02468$	$\beta_3 - \beta_0 = 0,00067$	$(\beta_3 - \beta_0)^2 = 0,0000003969$
$\Sigma \beta = 0,07594$	$\Sigma (\beta - \beta_0) = 0,00219$	$[\Delta \Delta]_{11} = 0,0000017560$
$\beta_0 = 0,02531$		

$h = 11,5$

$\beta_1 = 0,02644$	$\beta_1 - \beta_0 = 0,00026$	$(\beta_1 - \beta_0)^2 = 0,0000000676$
$\beta_2 = 0,02709$	$\beta_2 - \beta_0 = 0,00091$	$(\beta_2 - \beta_0)^2 = 0,0000008281$
$\beta_3 = 0,02500$	$\beta_3 - \beta_0 = 0,00118$	$(\beta_3 - \beta_0)^2 = 0,0000013924$
$\Sigma \beta = 0,07853$	$\Sigma (\beta - \beta_0) = 0,00235$	$[\Delta \Delta]_{11,5} = 0,0000022881$
$\beta_0 = 0,02618$		

con lo que se comprueba que la serie de valores de $[\Delta \Delta]$ para las diferentes profundidades ensayadas queda así:

$$\begin{aligned}
 [\Delta \Delta]_5 &= 16,33 \times 10^{-5} \\
 [\Delta \Delta]_7 &= 6,01 \times \text{»} \\
 [\Delta \Delta]_9 &= 1,80 \times \text{»} \\
 [\Delta \Delta]_{9,5} &= 1,10 \times \text{»} \\
 [\Delta \Delta]_{10} &= 0,59 \times \text{»} \\
 [\Delta \Delta]_{10,5} &= 0,29 \times \text{»} \\
 [\Delta \Delta]_{11} &= 0,18 \times \text{»} \\
 [\Delta \Delta]_{11,5} &= 0,23 \times \text{»}
 \end{aligned}$$

que corrobora que el valor más aproximado de la profundidad hipocentral es superior a 9,4 kilómetros, y puede darse como

$$h = 11,1 \text{ kilómetros}$$

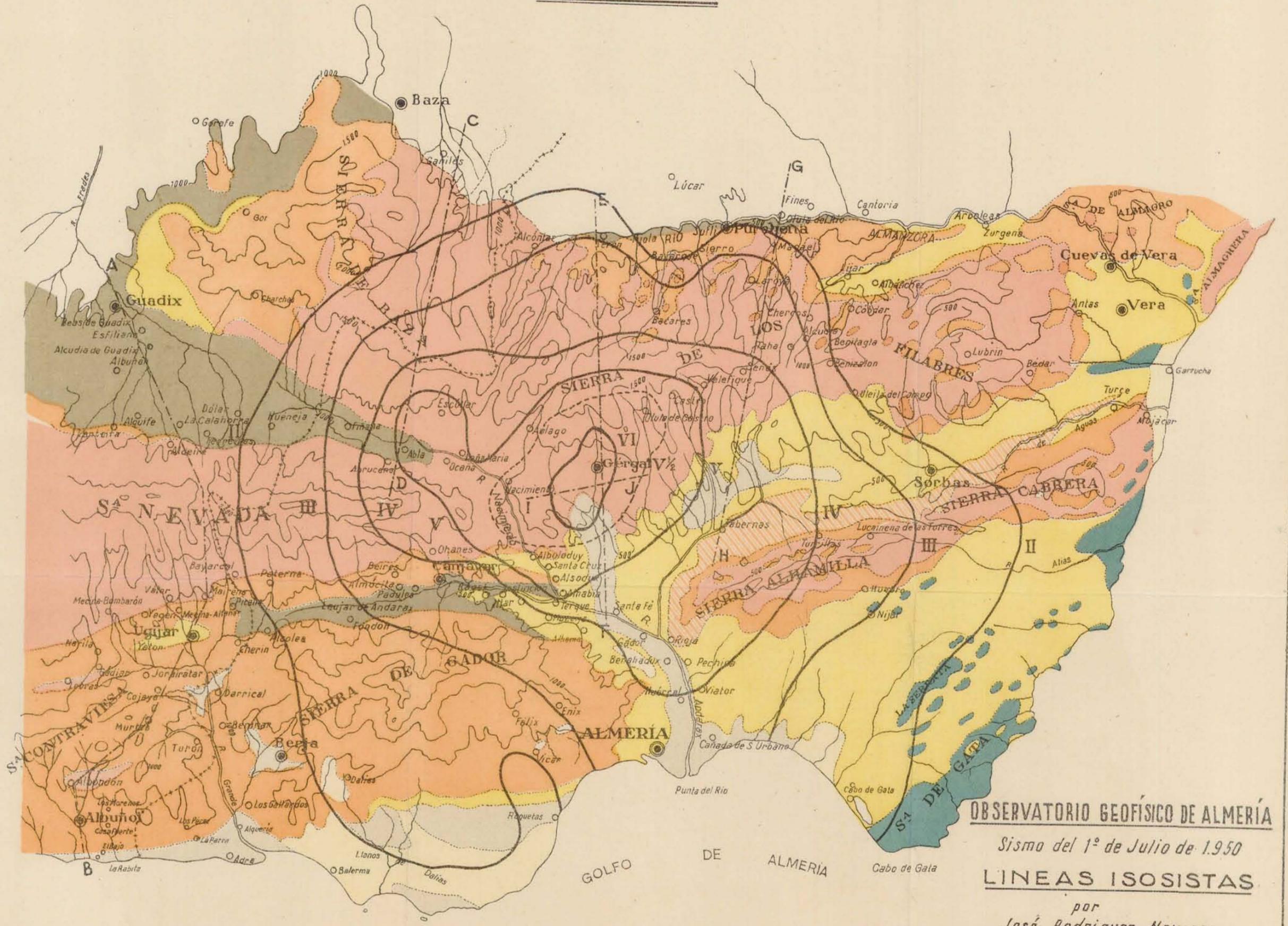
para

$$\beta = 0,0254$$

y, por tanto,

$$\alpha \text{ (coeficiente de absorción sísmica)} = \beta / \log e = 0,05109.$$

LÁMINA 2ª



OBSERVATORIO GEOFÍSICO DE ALMERÍA
Sismo del 1º de Julio de 1950
LÍNEAS ISOSÍSTAS
por
José Rodríguez Navarro

Observación.—Como hemos dicho y hemos visto más arriba, existe una contradicción entre el límite máximo de la profundidad hipocentral dado por la fórmula abreviada de Inglada y el resultado obtenido mediante la aplicación completa del método, por cuanto aquélla señala un valor máximo de 9,4 kilómetros y éste nos lleva a un resultado que alcanza la cifra de 11,1 kilómetros.

La explicación posible de esta anomalía se encuentra, a nuestro juicio, en un defecto de la información macrosísmica, nacido de una cierta tendencia a *no exagerar* los datos, sino más bien a disminuir involuntaria, pero realmente, los efectos observados, sobre todo en los lugares en que el sismo ha sido sentido con mayor intensidad, lo que da como resultado que los radios medios de las dos isosistas de grado máximo sean erróneos por defecto, y como sobre ellos se basan las fórmulas abreviadas de Inglada, los valores que se obtienen son igualmente erróneos por defecto. Obsérvese que con que la isosista de grado V tuviese un radio medio de cuatro kilómetros por encima del que resulta del mapa sobre el que se ha efectuado este trabajo—cifra bien posible y nada exagerada—la contradicción señalada habría desaparecido por completo.

Si nos fijamos en dicha isosista de grado V, vemos que tiene un entrante fuerte hacia el pueblo de Doña María de Ocaña que, aunque es la traducción de la información de la estación del ferrocarril y sus alrededores, no tiene una clara justificación ni geológica ni geográfica y, por tanto, si el citado entrante desapareciera, habríamos conseguido resultados en el cálculo que se aproximarían más a lo que creemos debe suceder.

Pero admitido, como hipótesis, este ligero error de información macrosísmica, resulta que al aplicar el método completo no hay garantía de llegar a la solución más aproximada del valor de la profundidad hipocentral, pues como dice muy acertadamente Inglada García-Serrano en su interesante trabajo «Métodos macrosísmicos de determinación de la profundidad focal» (9), al restar las ecuaciones de dos en dos se obtiene un sistema con soluciones diferentes de las del primitivo. Esta consideración irrefutable, unida a la contradicción señalada anteriormente, nos ha movido a desconfiar de la precisión del valor obtenido para la profundidad focal y tratar de comprobarlo, o rectificarlo, ensayando el método que Inglada García-Serrano expone en su citado trabajo.

Método de Inglada García-Serrano.—Este método, que es una nueva modificación del de Kövesligethy, rehuye las causas de error citadas anteriormente, nacidas de una falta de rigorismo matemático. Hacemos gracia al lector de su exposición completa, que puede encontrar en el trabajo reseñado más arriba del autor del método, y sólo diremos que parte de una expresión que enlaza el grado de intensidad sísmica G y la aceleración máxima del suelo. Esta expresión es

$$G = 3 \log \gamma + c,$$

que comprende, de modo general, las aceptadas por Cancani (10) y Gutenberg y Richter (11) que son, respectivamente:

$$G = 3 \log \frac{4}{3} \gamma$$

y

$$G = 3 \log \gamma + \frac{3}{2}.$$

De esta expresión, y de la ley que supone la proporcionalidad entre las aceleraciones máximas producidas por el sismo y su decrecimiento con la distancia por efecto de la absorción, que viene dada por

$$\gamma = \frac{C}{r e^{\alpha r}}$$

se deduce inmediatamente

$$G = -3 \log r - (3 \alpha \log e) \cdot r + 3 \log C + c,$$

y haciendo

$$x = 3 \alpha \log e; \quad y = 3 \log C + c$$

la ecuación se convierte en

$$G = -3 \log r - r x + y,$$

que enlaza con las tres incógnitas esenciales: el coeficiente de absorción α ; el parámetro C y la constante c , y el valor de la profundidad focal h , que se encuentra implícitamente en r . Bastarían pues, con tres isosistas,

pero como ni los radios medios de éstas serán exactos, ni lo son las hipótesis en que se fundamenta el método, es conveniente formar un sistema de mayor número de ecuaciones que de incógnitas y resolverlas por mínimos cuadrados. No obstante, como la complejidad a que se llega es grande, el autor propone y desarrolla un procedimiento de tanteos sucesivos asignando diferentes valores a h , e introduciendo estos valores en las ecuaciones que resultan de aplicar la condición de mínimo a la expresión que da la suma de los cuadrados de los errores.

Las fórmulas finales obtenidas por el autor para su método, y que nosotros vamos a aplicar, son:

$$\left. \begin{aligned} my - (\Sigma r) x &= \Sigma (G + 3 \log r) \\ - (\Sigma r) y + (\Sigma r^2) x &= - \Sigma r (G + 3 \log r) \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{\psi' h}{h} = \Sigma \frac{1}{r^2} (G - y + x r + 3 \log r) (1,3 + x r) = 0.$$

$$(G - y + x r + 3 \log r)$$

Utilizaremos las cinco isosistas trazadas, y comenzaremos ensayando el valor de h igual a 10 kilómetros, para el cual resultan los números que figuran en el siguiente cuadro, partiendo de los radios medios de las distintas isosistas dados al emplear el método de Inglada Ors.

r^2	r	$3 \log r + G$	$r (3 \log r + G)$	rx
116,23	10,78	9,09786	98,07493	0,91026
270,30	16,44	8,64770	142,16819	1,38819
536,08	23,15	8,09365	187,36800	1,95479
899,27	29,99	7,43394	222,94386	2,53236
1.503,88	38,78	6,76583	262,37389	3,27458
3.325,76	119,14	40,03898	912,93337	

y las ecuaciones, una vez sustituidos valores, resultan

$$\begin{aligned} 5y - 119,14x &= 40,03898 \\ - 119,14y + 3.325,76x &= - 912,93337, \end{aligned}$$

que resueltas, dan

$$x = 0,08444; \quad y = 10,01,$$

de donde los valores de los términos $(G - y + rx + 3 \log r)$ resultan

$$- 0,0018; \quad + 0,0259; \quad + 0,0384; \quad - 0,0437, \quad y \quad + 0,0304,$$

cuya suma es claramente positiva; lo que nos indica que el valor de h ensayado es excesivo y que h es menor de 10 kilómetros.

Conservando ahora los mismos valores encontrados, $x = 0,08444$; $y = 10,01$, ensayamos el valor $h = 9,5$ kilómetros, que da el siguiente nuevo cuadro:

r^2	r	$3 \log r + G$	$r(3 \log r + G)$	rx
106,48	10,32	9,04104	93,30353	0,87142
260,55	16,14	8,62370	139,18652	1,36286
526,33	22,94	8,08177	185,39570	1,93705
889,52	29,82	7,42353	221,36966	2,51800
1.494,13	38,65	6,76145	261,33004	3,26361
3.277,01	117,87	39,93149	900,93149	

y los nuevos factores $(G - y + rx + 3 \log r)$ son:

$$- 0,09754, \quad - 0,02344 \quad + 0,00882 \quad - 0,06847, \quad y \quad + 0,01506.$$

Como la suma resulta ya negativa, hay que hallar nuevos valores para x e y . Para ello plantearemos las nuevas ecuaciones obtenidas del cuadro anterior:

$$\begin{aligned} 5y - 117,87x &= 39,93149 \\ - 117,87y + 3.277,01x &= - 900,58555, \end{aligned}$$

cuya solución es

$$x = 0,08179; \quad y = 9,9144,$$

que hacen que los nuevos productos xr sean:

xr
0,84407
1,32009
1,87626
2,43898
3,16118

con lo que el valor de la tercera ecuación $\frac{1}{2} \frac{\varphi'_h}{h}$ da:

$$\begin{aligned}
 & - \frac{0,02929}{106,48} 2,14407 + \frac{0,02935}{234,30} 2,62009 + \frac{0,04359}{526,33} 3,17626 - \\
 & - \frac{0,05193}{889,52} 3,73898 + \frac{0,00819}{1494,13} 4,46118 = - \mathbf{0,00019249}
 \end{aligned}$$

y como para $h = 10$, $\frac{1}{2} \frac{\varphi'_h}{h}$ da:

$$\begin{aligned}
 & - \frac{0,00180}{116,23} 2,21063 + \frac{0,0259}{270,30} 2,68819 + \frac{0,0384}{536,08} 3,25479 - \\
 & - \frac{0,0437}{899,27} 3,83236 + \frac{0,0304}{1503,88} 4,57458 = + \mathbf{0,00036271}
 \end{aligned}$$

supuesta lineal la función entre estos valores, resulta para el valor más aproximado de la profundidad hipocentral

$$\mathbf{h = 9,7 \text{ kilómetros,}}$$

que si bien no resulta tan elevado como el obtenido anteriormente, sí es superior al límite máximo fijado por la fórmula abreviada, lo que viene a confirmar, a nuestro juicio, la hipótesis establecida más arriba de un ligero error por defecto en la información macrosísmica que ha servido de base para el trazado de las isosistas, al mismo tiempo que comprueba el efecto de la introducción de ese error en el método empleado en primer lugar para el cálculo de la profundidad focal.

Por último, y con el exclusivo objeto de ir adquiriendo experiencia acerca del valor práctico que puede tener el empleo en los sismos ibéricos de la fórmula empírica de Gutenberg y Richter (11),

$$\frac{R}{h} = \sqrt{10^{\frac{I_0}{3} - \frac{1}{2}} - 1}$$

la hemos aplicado al sismo que venimos estudiando con el resultado que a continuación se expresa:

que restadas dos a dos para eliminar t_e , nos darán, en general,

$$v^2 (t_m^2 - t_n^2) = \Delta_m^2 - \Delta_n^2,$$

de donde

$$v = \sqrt{\frac{\Delta_m^2 - \Delta_n^2}{t_m^2 - t_n^2}}.$$

En nuestro caso, y a partir de las distancias el epicentro de los Observatorios de Almería, Cartuja y Málaga, que son 31, 94 y 173 kilómetros, respectivamente, y de las horas de llegada de la Pg dadas al principio de este trabajo, hemos obtenido

$$\mathbf{V_{Pg} = 5,68 \pm 0,02 \text{ Km sec}^{-1}.$$

CÁLCULO DE LA MAGNITUD Y ENERGÍA LIBERADA EN EL SISMO

Como complemento del presente estudio hemos calculado la magnitud del sismo, definida por Richter y ampliada posteriormente por este mismo y Gutenberg, así como la energía liberada; todo ello con el fin de adquirir un concepto apropiado de la importancia de la sacudida sísmica estudiada.

Utilizamos las fórmulas dadas por los notables sismólogos citados en su publicación «Earthquake, Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration», que son como sigue:

$$M = 2,2 + 3,6 \log \frac{R}{h}$$

y

$$\log E = 11,1 + 6,4 \log R - 3,2 \log h,$$

en las que M , es la Magnitud; E , la Energía; R , el radio de perceptibi-

lidad, y h la profundidad hipocentral. Aplicado al sismo de Gérgal, y con los datos de R y h ya determinados anteriormente, se obtiene:

$$M = 2,2 + 3,6 (\log 51,8 - \log 10) = 5 \frac{3}{4}$$

y

$$\log E = 11,1 + 6,4 \log 51,8 - \log 10 = 7,4 \cdot 10^{18};$$

valores muy concordantes y que nos dan idea de la modestia de este sismo, como suele ser normal, afortunadamente, en los sismos ibéricos.

Es de lamentar que la pequeña velocidad de registro de los sismógrafos, cuyas gráficas hemos tenido a nuestra disposición, no nos hayan permitido leer con seguridad las horas de la Pb , Pn , etc., que nos hubieran dado la posibilidad de determinar los espesores de las capas superiores de la corteza, datos de sumo interés para el mejor conocimiento de nuestro subsuelo y complemento imprescindible, y hoy poco conocido, de nuestra Geografía Sísmica.

CONCLUSIÓN

Damos por terminado este pequeño trabajo, en el que hemos pretendido contribuir al estudio de nuestra Geografía Sísmica y sacar del terremoto estudiado las posibles conclusiones técnicas y, como ya dijimos anteriormente, podemos darnos por satisfechos de las coincidencia de los tres epicentros deducidos, que habla muy bien de la manera que trabajan nuestros Observatorios.

De los valores hallados podríamos llegar al promedio que no creemos muy distante del valor más probable y que está dado por:

$$\varphi = 37^{\circ} 06'3 \text{ N.}$$

$$\lambda = 2^{\circ} 33'4 \text{ W. Gr.}$$

Madrid, marzo 1951.

BIBLIOGRAFIA

- (1) L. MALLADA.—*Explicación del Mapa Geológico de España*. «Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España».
- (2) R. GUARDIOLA y A. DE SIERRA.—*Hierros de Almería y Granada*. «Memorias del Instituto Geológico y Minero de España. Criaderos de hierro de España», tomo V.
- (3) J. CUBILLO.—*Carta nacional de declinaciones magnéticas. Hoja especial del territorio peninsular*. «Publicaciones del Instituto Geográfico y Catastral».
- (4) J. CUBILLO.—*Carta nacional de declinaciones magnéticas. Hoja especial del estrecho de Gibraltar*. «Publicaciones del Instituto Geográfico y Catastral».
- (5) A. REY PASTOR.—*El sismo de la sierra de Lúcar (Granada-Almería)*. «Revista Ibérica», año 1932.
- (6) V. INGLADA ORS.—*Cálculo de las coordenadas del foco sísmico y del instante inicial de la sacudida por medio de las horas de principio de los sismogramas registrados en varias estaciones próximas*. «Revista de la Academia de Ciencias», tomo XXII, págs. 523-92.
- (7) P. CAIOLI.—*Nouvi metodi per la determinazione delle coordinate epicentrali e della profondità ipocentrale di un terremoto ad origine vicina*. «Publicazione Instituto Geofisico», núm. 18. 1939.
- (8) V. INGLADA ORS.—*Nuevas fórmulas para abreviar el cálculo de la profundidad aproximada del foco sísmico por el método de Kövesligethy*. «Publicaciones del Instituto Geográfico y Estadístico».
- (9) V. INGLADA GARCÍA-SERRANO.—*Métodos macrosísmicos de determinación de la profundidad focal*. «Revista de Geofísica», vol. IX, núm. 34.
- (10) R. V. KÖVESLIGETHY.—*Seismischer starkegrad und intensität der beben*. «Gerland Beitrage zur Geophysik», XIII. 1907.
- (11) GUTENBERG and C. F. RICHTER.—*Earthquake, Magnitud, Intensity, Energy and Acceleration*. «Bulletin Seismologie Society of America», vol. XXXII, núm. 3. 1942.