

INSTITUTO GEOGRÁFICO Y CATASTRAL

NUEVO MÉTODO GRÁFICO
para la determinación del hipocentro y su aplicación al sismo de foco profundo de 29 de marzo de 1954, y otros

POR

D. JUAN MARTÍN ROMERO

Ingeniero Geógrafo.



MADRID

Talleres del Instituto Geográfico y Catastral

1955

NUEVO MÉTODO GRÁFICO

para la determinación del hipocentro y su aplicación
al sismo de foco profundo de 29 de marzo de 1954,
y otros.

INSTITUTO GEOGRÁFICO Y CATASTRAL

NUEVO MÉTODO GRÁFICO
para la determinación del hipocentro y su aplicación al sismo de foco profundo de 29 de marzo de 1954, y otros

POR

D. JUAN MARTÍN ROMERO

Ingeniero Geógrafo.



MADRID

Talleres del Instituto Geográfico y Catastral

1955

ÍNDICE

	<u>Páginas.</u>
PREÁMBULO	7
Localización del foco en sismos próximos	11
Ensayo crítico sobre el balisismo de 29 de marzo de 1954 en el mar de Alborán	19
Sismo del 29 de marzo de 1954	23
Sismo del 1 de julio de 1954	31
Cálculo de determinantes	32
Sismo del 13 de agosto de 1954	37
Cálculo de determinantes	38
Sismo del 21 de agosto de 1954	43
Cálculo de determinantes	44
Localización del foco en el sismo de 9 de septiembre de 1954 en la región de Orleansville	49
Sismo del 9 de septiembre de 1954	53
Cálculo de determinantes	53
Onda de marea producida por el sismo de 9 de septiembre de 1954 en la región de Orleansville	57
Sismo de 10 de septiembre de 1954 en la región de Orleansville . . .	63
Trazado de determinantes	64
Sismo del 14 de septiembre de 1954	69

PREAMBULO

En los siguientes trabajos de investigación se ha tratado de desarrollar un método gráfico para obtener la situación del hipocentro y epicentro en sismos próximos, que precisamente por ser los que pueden afectar al área nacional, nos ofrecen siempre un destacado y particular interés: el del conocimiento del subsuelo propio.

Deducido el método que a continuación se expone, hemos hecho aplicación del mismo a una serie de sismos que tuvieron lugar en el año 1954—fecha de la deducción del método—y cuyas características, por curiosa coincidencia, son tan variadas que nos presentan un verdadero mosaico de casos donde se podía ensayar el procedimiento en las más dispares circunstancias.

Ello favorece, sin duda alguna, para formar mejor criterio acerca de las posibilidades del método y del partido que se le puede exigir.

El lector encontrará, pues, en cada uno de los sismos analizados—con bastante amplitud en cuanto a sus características particulares—los resultados obtenidos y su comparación en algunos con los deducidos en otros centros extranjeros.

Para facilitar la búsqueda de los distintos terremotos que han sido objeto de este análisis, se acompaña un breve índice que, sobre todo para las láminas (cuyo plegado no las deja ser fácilmente visibles), ha de ayudar al lector.

LOCALIZACIÓN DEL FOCO
EN SISMOS PRÓXIMOS

LOCALIZACIÓN DEL FOCO EN SISMOS PRÓXIMOS

Un foco de conmovión sísmica puede considerarse como vértice de una pirámide invertida, irregular, cuya base está determinada sobre la superficie terrestre por el emplazamiento de los observatorios que hayan registrado la llegada de las ondas. Si el área de esta base no es exageradamente grande, de modo que sin error sensible pueda admitirse que se confunda con la zona esférica donde los observatorios están emplazados, las distancias entre cada dos de ellos serán los lados de la base poligonal de la pirámide supuesta.

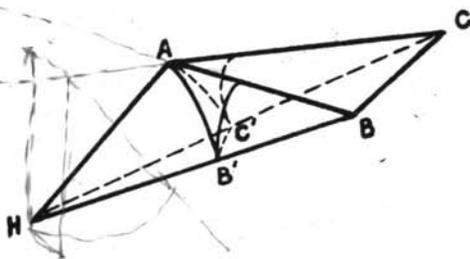


Fig. 1.

Imaginemos, para concretar, tres estaciones A , B y C (fig. 1) y H el hipocentro, a partir del cual se propagan las ondas sísmicas. En el supuesto de que la estación A sea la más próxima al foco, y que el rayo sísmico correspondiente a un cierto impulso—el Pg, por ejem-

plo—haya tenido origen en H en el instante H_0 , y que se registre en A a la hora H_A , es evidente que la distancia D estará dada por

$$D = (H_A - H_0) 5,6$$

expresando el intervalo $H_A - H_0$ en segundos y siendo 5,6 kilómetros la velocidad de propagación de las ondas Pg, si se admite para simplificar, que el fenómeno se realiza en un medio isótropo.

En estas condiciones, es evidente que el lugar geométrico del espacio donde las ondas Pg llegan a la misma hora H_A , será una esfera a la que pertenece el triángulo esférico $AB'C'$.

Sean H_B y H_C las horas de llegada del mismo impulso Pg a los observatorios B y C , respectivamente. Los intervalos $B'B$ y $C'C$ estarán dados por

$$B'B = (H_B - H_A) 5,6$$

y

$$C'C = (H_C - H_A) 5,6.$$

Estos valores son otros tantos datos del problema cuya resolución nos proponemos, y para lo cual consideramos abierta ahora la pirámide $HABC$ por su arista HA y desarrollada sobre el plano de la base ABC (figura 2).

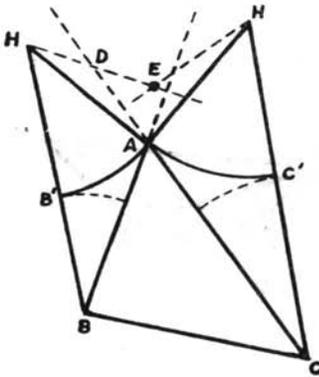
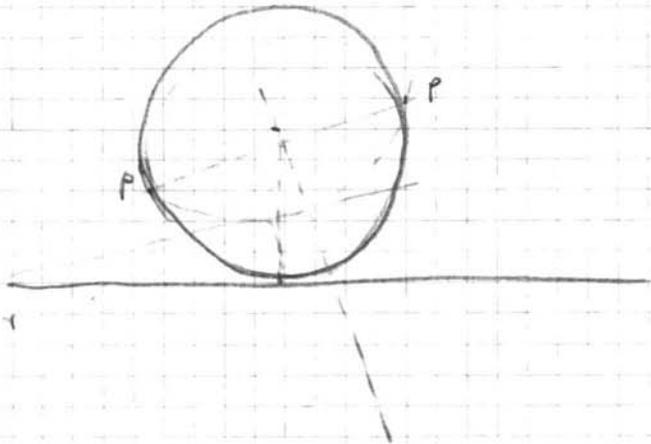
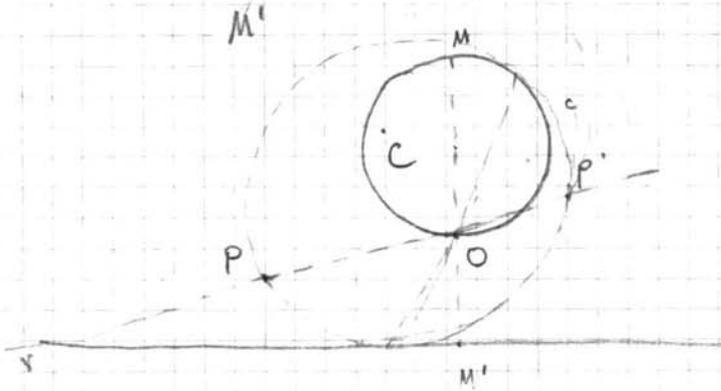
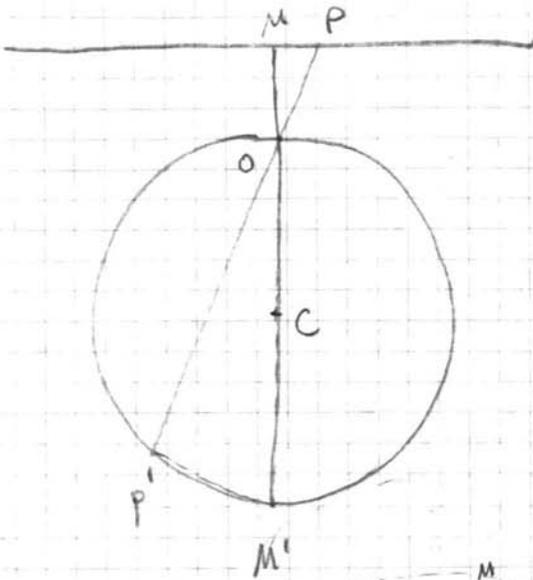


Fig. 2.

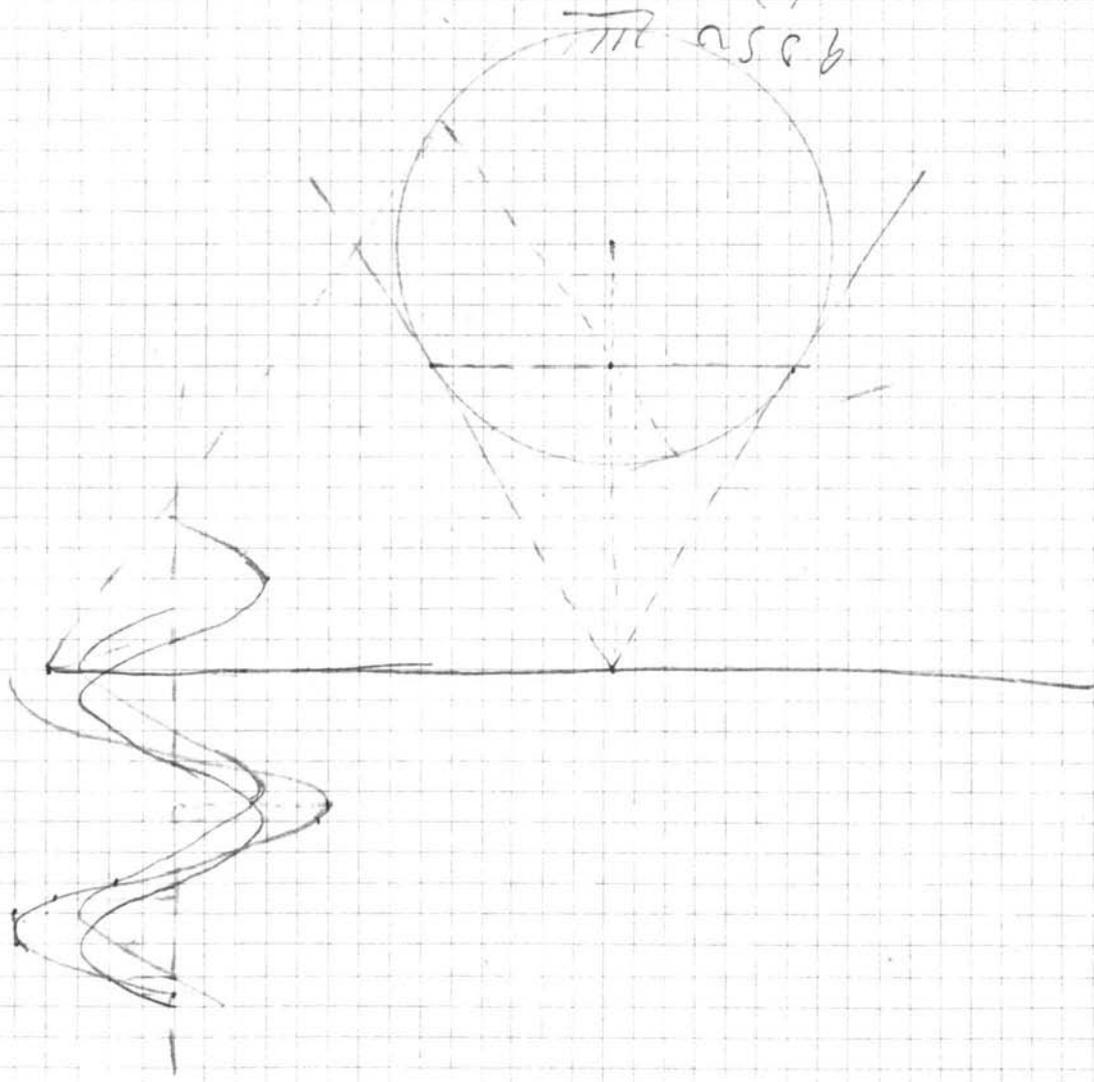
Por un momento vamos a conceder que conocemos las distancias de H a los tres vértices de la base. En estas condiciones, el epicentro, que es la proyección de H sobre el plano horizontal de la base, lo obtendríamos trazando desde H las perpendiculares a los lados AB y AC , cuyas perpendiculares nos suministrarían por su intersección el punto E .

Basta pensar, en efecto, que para reconstruir la pirámide habríamos de hacer girar la cara HAB alrededor del lado AB , y la HAC alrededor del lado AC , y que en estos giros, hasta llegar a unirse los dos vértices H , se irían proyectando en cada instante de su giro sobre las rectas HE , normales a los lados AB y AC , y que el punto E de corte correspondería a la proyección sobre el plano ABC

$$\frac{OP}{OM} = \frac{OM'}{OP'} \quad OP \times OP' = OM \times OM'$$



8 4 8
0 9 2
0 2 4
2 5 6



del punto del espacio en que se confundieran los dos vértices H en uno solo.

La altura de la pirámide, que en este caso correspondería a la profundidad hipocentral, se deduciría fácilmente uniendo A con E , levantando después por E una perpendicular al segmento AE y trazando desde A un arco con radio igual a AH (distancia hipocentral (1) desde A) hasta cortar a la perpendicular EH en un cierto punto; $h = EH$ nos daría así el valor de la profundidad focal (fig. 3). Mas como el caso real es que desconocemos las distancias hipocentrales HA , HB y HC , volvamos de nuevo al punto de partida de nuestra figura 2.

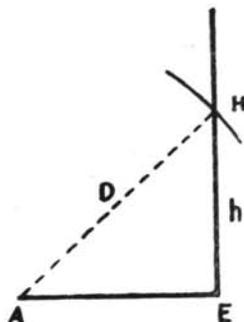


Fig. 3.

Podemos asignar a HA un valor arbitrario y deducir para él los correspondientes a HB y HC , construyendo otra pirámide, distinta de la verdadera, pero que satisfaga las condiciones

impuestas por los datos que poseemos; esto es, encontrar dos puntos, H_1 y H'_1 (fig. 4) equidistantes de A y desde los cuales, los arcos trazados con radio $H_1A = H'_1A$ sean tangentes a los arcos $B'B''$ y $C'C''$ cuyos radios tienen por valores, respectivamente,

$$BB' = (H_B - H_A) 5,6$$

$$CC' = (H_C - H_A) 5,6$$

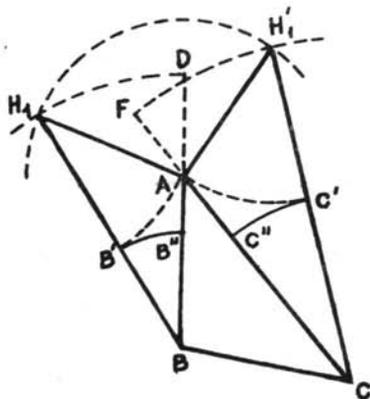


Fig. 4.

que son los datos invariables del problema.

Con el valor arbitrario asignado, $H_1A = H'_1A$ como radio, trazamos una circunferencia con centro en A . Después, sumando el valor H_1A a BB'' , y con radio igual a esta suma, trazamos el arco DH_1 hasta cortar a la circunferencia, lo

(1) Designamos aquí por *distancia hipocentral* a la distancia entre el hipocentro y un observatorio; distinguiéndola así de la *profundidad hipocentral* o distancia entre epicentro e hipocentro.

que nos suministrará así el punto H_1 ; repitiendo análoga operación a partir de C ($CF = CC'' + AH'_1$) obtendríamos el otro punto H'_1 . La pirámide desarrollada $H_1H'_1ABC$ no es la verdadera que buscamos, puesto que la distancia hipocentral H_1A ha sido caprichosamente asignada por nosotros, pero *responde también a las condiciones del problema*, ya que una onda sísmica que partiendo de H_1 llegase a A a la hora H_A alcanzaría al punto B en el instante H_B y a C en la hora H_C .

Se ve, pues, que el problema con sólo tres observatorios es indeterminado y que habrá un número infinito de pirámides que satisfarán a los datos señalados, reducidos en nuestro supuesto, a las horas iniciales de llegada de una fase conocida a los observatorios considerados.

Demos, sin embargo, un paso más. Determinemos el falso epicentro suministrado por esa pirámide hipotética, en la forma que hemos visto anteriormente, y sea E_1 el punto epicéntrico así obtenido.

Podemos dar algunos incrementos a la distancia H_1A , y obtener por el mismo procedimiento expuesto una serie de vértices $H_2H'_2$, $H_3H'_3$ $H_nH'_n$, que corresponderán a otras tantas pirámides, a otros tantos supuestos focos hipocéntricos, desde los cuales los rayos sísmicos que lleguen a A en el momento H_A alcanzarían B y C justamente a las horas de registro H_B y H_C .

Si para cada uno de esos vértices determinamos el correspondiente epicentro, *comprobaremos que los puntos $E_1E_2E_3$ E_n de este modo obtenidos determinan todos ellos una única recta, lugar geométrico de los epicentros que responden a las condiciones impuestas, y en el cual, por consiguiente, debe encontrarse el epicentro buscado.*

La razón es clara: los vértices sucesivos de las pirámides obtenidas por los incrementos dados a las distancias hipocentrales están situados, en el espacio, según una curva $HH'H''H'''$ (fig. 5) debida a la intersección de dos superficies de revolución; una de ellas, obtenida por el giro alrededor del lado AC del triángulo, de la curva resultante de las distancias hipocentrales a partir del vértice C ; la otra, por el giro alrededor del lado AB , de otra rama de curva análoga correspondiente a las distancias hipocentrales a partir del vértice B . Ambas superficies de revolución son las $HFGJH''$ y $HKLMH'''$ de la figura 5, cuyos ejes de rotación son OAB para la primera, y $O'AC$ para la segunda, contenidos ambos en el plano diametral $OO'A$.

Ahora bien: es posible demostrar que la sección de corte de

ambas figuras es normal al plano diametral $OO'A$ y la traza de estos dos planos, la línea recta $EE'E''$ contenida en ellos y proyección ortogonal de la curva $HH'H''$ de los hipocentros sobre el $OO'A$, que es el plano correspondiente a los tres observatorios.

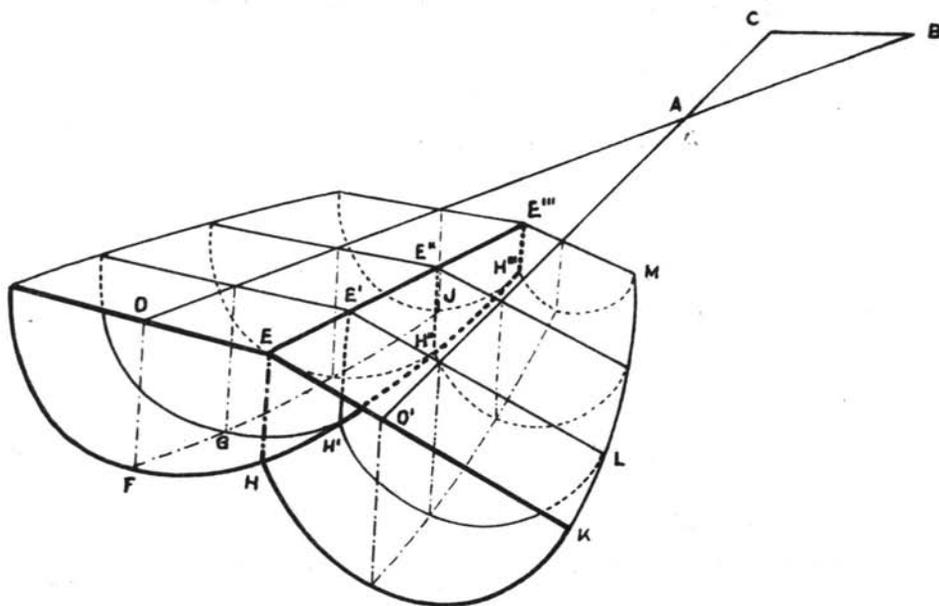


Fig 5.

Pero nos limitaremos, más brevemente, a demostrar que el lugar geométrico de los puntos tales como E , es una línea recta.

Refiriéndonos a la figura 2, vamos a hallar la ecuación de la recta HE considerando A como origen de coordenadas (cartesianas rectangulares) y como eje X la recta AB .

Para una circunferencia cualquiera de centro A (fig. 4) y radio $AH_1 = r$, su ecuación

$$x^2 + y^2 = r^2.$$

La recta HE de la fig. 2 es el eje radical de esta circunferencia con la de centro B y radio $AH_1 + BB'' = r + k$, que tiene por ecuación

$$(x - b)^2 + y^2 = (r + k)^2,$$

siendo (b, O) las coordenadas del punto B .

El eje radical será:

$$x = \frac{b^2 - k^2}{2b} - \frac{k}{b} r. \quad [1]$$

Análogamente, si las coordenadas del punto C son (c, d) , las dos circunferencias

$$x^2 + y^2 = r^2, \quad (x - c)^2 + (y - d)^2 = (r + k')^2$$

de centros A y C , nos suministran un eje radical:

$$2cx + 2dy = c^2 + d^2 - k'^2 - 2k'r. \quad [2]$$

Para hallar el lugar geométrico del punto E de intersección de estas rectas, basta eliminar r entre [1] y [2], resultando

$$\frac{b^2 - k^2 - 2bx}{2k} = \frac{c^2 + d^2 - k'^2 - 2cx - 2dy}{2k'}$$

la ecuación de una recta.

Claro está que, si por un medio cualquiera, pudiéramos determinar cuál es el verdadero epicentro correspondiente al caso que se nos ofrezca, bastará levantar a partir de él las perpendiculares a los lados AC y AB , hasta que encuentren a las ramas de curvas $H_C H' C H'_C \dots$ y $H_B H' B H'_B \dots$ (fig. 6) determinadas por los distintos incrementos hipocéntricos que nos hayan servido para trazar la recta EE'' , y tendríamos el problema completamente resuelto. Ya hemos visto que, con sólo tres observatorios, queda indeterminado; pero si disponemos de los datos de un cuarto observatorio, es sencillo entonces formar con él y dos de los primeros otra pirámide que nos suministraría una nueva recta epicéntrica cuyo corte con la primera nos determinará el verdadero epicentro buscado, y con él, procediendo como hemos dicho, el foco y la profundidad del mismo.

A estas rectas epicéntricas les llamaremos en lo sucesivo rectas determinantes, líneas determinantes o, simplemente, *determinantes*.

De las distancias al foco y al epicentro se deducirá la hora en el origen, que ha de satisfacer al sistema

En general, como siempre o casi siempre se tiene una idea del orden de distancia hipocéntrica con que nos enfrentamos, los incrementos pueden darse positiva y negativamente alrededor de aquel valor aproximado, aun cuando no es en absoluto necesario proceder de este modo.

Si se opera arbitrariamente, puede suceder, en determinadas ocasiones, que algún valor atribuido a la distancia sea tal que las proyectantes de H no se corten para dar el punto epicéntrico correspondiente. Ello significaría, como es lógico, que hemos intentado a ciegas una pirámide imposible de realizar por haber supuesto una distancia hipocentral en exceso *corta*, debiendo, por tanto, aumentarla prudencialmente.

Se observará, en efecto, que en la proximidad inmediata de A , esto es, para círculos de muy pequeño radio, no llega a producirse el corte con él de los otros arcos trazados desde B y C con radios

$$5,6(H_B - H_A) + D$$

$$5,6(H_C - H_A) + D.$$

ENSAYO CRÍTICO SOBRE EL BATISISMO DE 29 DE MARZO DE 1954 EN EL MAR DE ALBORÁN

Las excepcionales características del sismo de foco profundo registrado el 29 de marzo de 1954 a las 0^h 18^m 28^s (Observatorio de Alicante) hacen de este terremoto uno de los menos adecuados para la aplicación del método de las determinantes, que ha sido expuesto precedentemente.

Sin embargo—y quizás por ello mismo—nos ha atraído el deseo de comprobar la aplicación del método en las condiciones más desfavorables, obteniendo algunos resultados que acaso ofrezcan cierto interés.

Si, como tanteo preliminar y para situarnos en un plano totalmente desprovisto de ideas preconcebidas, se inicia la construcción gráfica considerando el fenómeno dentro de los límites corrientes (profundidad no superior a los 60 kilómetros), veremos pronto que, tanto por la dispersión de las rectas determinantes del epicentro, como —sobre todo—por el lento avance de los epicentros resultantes ante los incrementos sucesivos atribuidos a la distancia hipocéntrica, se acusa desde el primer momento la característica de un foco muy profundo en el sismo que nos ocupa.

Entre otras ventajas del procedimiento que estamos aplicando, es de notar la sencillez con que, desde el comienzo de la construcción, el método preconizado denuncia el carácter superficial o profundo del foco. En estos últimos, en efecto, es fácil ver que la reducida diferencia de horas de registro entre los observatorios, generará una curva de desplazamiento hipotético del hipocentro fuertemente inclinada respecto del plano horizontal de proyección, y, en consecuencia, aun a grandes incrementos de R , sólo corresponderán débiles desplazamientos de la recta proyectante $HE, H'E' \dots$; etc. (fig. 7), y

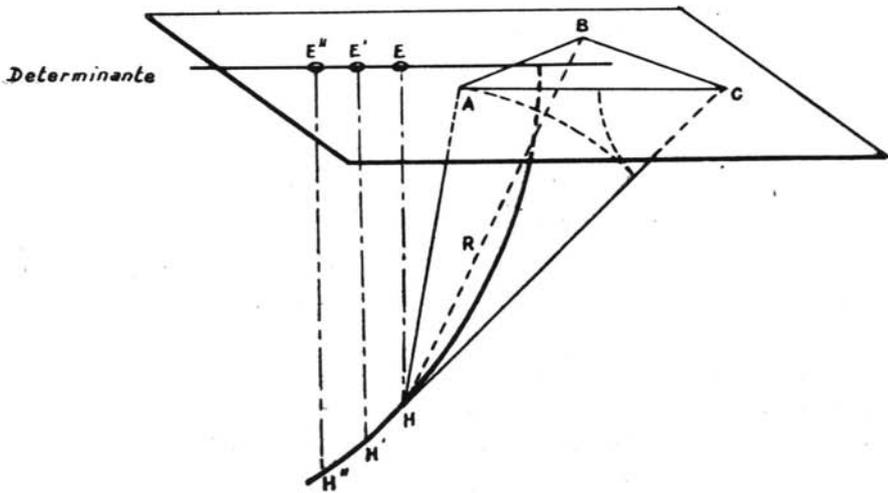


Fig. 7.

los epicentros consiguientes $EE'E'' \dots$ avanzarán con marcada lentitud sobre el plano, viéndonos obligados a forzar los incrementos del radio para obtener distintos puntos convenientemente alejados entre sí para que definan con precisión la recta determinante.

Por el contrario, en focos casi superficiales, la curva generadora de hipocentros, al ofrecerse mucho más *tendida* en el sentido horizontal, dará lugar para los mismos incrementos de R , a una mayor separación entre las proyectantes con el consiguiente rápido progreso de puntos epicéntricos.

Comprobado por nuestros primeros tanteos que nos hallamos en presencia de un batisismo, y considerando no ser ya aplicable el coefi-

ciente 5,6 (velocidad de las ondas Pg que veníamos ensayando), hemos hecho aplicación de las fórmulas (1)

$$h < 1000 \text{ kms.} \quad v = 21,09096 - 0^6,33294 \cdot r^2$$

para estimar la velocidad de las ondas P.

Si se considera que trabajamos con diferencias de tiempos ($H_B - H_A$, $H_C - H_A$, etc.), las velocidades de propagación que nos interesan se refieren, en cada caso, a partir de un cierto nivel AB (figura 8) en el que esté contenido el punto de tangencia de los arcos

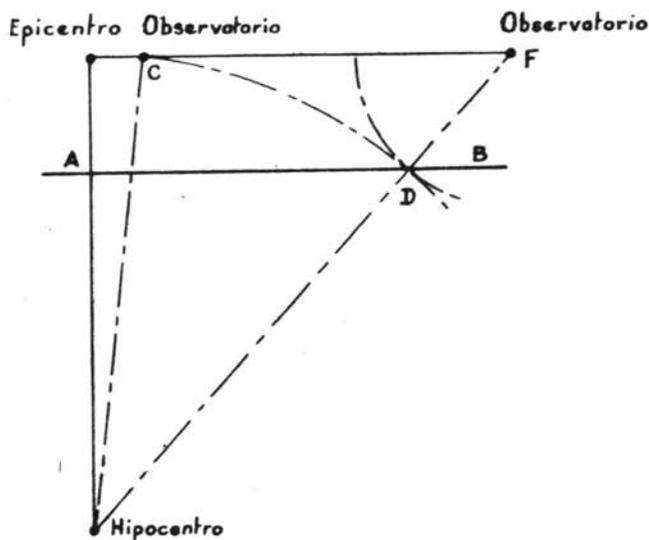


Fig. 8.

tales como CD y FD . La profundidad de este nivel AB será función del intervalo de tiempo entre las dos estaciones consideradas y de la inclinación que respecto a la base tenga la cara de la pirámide determinada por ambos observatorios y el hipocentro. Para situarnos en las condiciones más desfavorables tomaremos el caso de Almería-Argel ($H - A = 25^s,6$) y consideraremos el valor límite que podría alcanzar como máximo, y que corresponderá a la verticalidad

(1) Véase «Estudio sobre la propagación de las ondas sísmicas», por V. Inglada, publicado por el Instituto Geográfico y Catastral, de España.

del plano *C-F*-Hipocentro. Cualquier otra posición dará un nivel de *AB*, superior a éste.

Aun desconociendo la ubicación del epicentro, se tiene, no obstante, la idea de que corresponde a una amplia región al S. S. E. de la península, cuyo orden de distancia a Argel oscila alrededor de los 500 a 600 kilómetros. Por otra parte, como quiera que con el coeficiente 5,6 del primer tanteo habíamos obtenido una profundidad de 1.200 kilómetros, desestimada por errónea, nos situamos en la hipótesis de $h = 650$, con cuyo valor medio y los datos anteriores se puede trazar a escala el esquema de la figura 8, deduciendo del mismo la situación límite del nivel *AB*.

Observaremos que las trayectorias desde el hipocentro a las dos estaciones son sensiblemente rectas, dado que los radios de curvatura de los rayos sísmicos correspondientes se evalúan en 3.500 kilómetros, y los segmentos de curva a considerar no son de excesiva longitud.

Pues bien: aun dentro de estas condiciones más desfavorables, el nivel medio de la capa *AB* correspondería a unos 150 kilómetros, magnitud no considerable, que viene a simplificar el problema, pues permite adoptar una velocidad media de propagación de $7,79 \text{ kms}^{-1}$ deducida de las tablas XXIII de la citada obra de Inglada.

Los Observatorios elegidos han sido: Toledo, Alicante, Argel (Universidad), Málaga, Granada y Almería, como más inmediatos al epicentro. La elección de la fase —P— no dejaba lugar a otras consideraciones, ya que la violencia del sismo hizo saltar las plumas del mayor número de ellos y, por otra parte, esta fase inicial era más fácil de precisar que cualquier otra.

Para el trazado de las determinantes se han agrupado las estaciones, combinándolas de tres en tres, según pone de manifiesto el estado adjunto, y procurando en cada caso que el triángulo base elegido no tuviese ángulos exageradamente agudos.

SISMO DEL 29 DE MARZO DE 1954

TRAZADO DE DETERMINANTES

	h	m	s			
Determinante P ₁	A = iP = 6 18 28			} A - Gr = 8	}	8 × 7,79 = 62,32 kms.
	Gr = iP = 6 18 20					
	Toledo.....	T = iP = 6 18 32				
Determinante P ₂	Ar = P = 6 18 43,6			} Ar - Gr = 23,6	}	23,6 × 7,79 = 183,84
	Toledo.....	T = iP = 6 18 32				
	Granada.....	Gr = iP = 6 18 20				
Determinante P ₃	Almería.....	Am = iP = 6 18 18		} A - Am = 10	}	10 × 7,79 = 77,9
	Toledo.....	T = iP = 6 18 32				
	Alicante.....	A = iP = 6 18 28				
Determinante P ₄	Granada.....	Gr = iP = 6 18 20		} M - Am = 1	}	1 × 7,79 = 7,79
	Málaga.....	M = iP = 6 18 19				
	Almería.....	Am = iP = 6 18 18				
Determinante P ₅	Toledo.....	T = iP = 6 18 12		} T - M = 13	}	13 × 7,79 = 101,2
	Málaga.....	M = iP = 6 18 19				
	Alicante.....	A = iP = 6 18 28				
Determinante P ₆	Argel.....	Ar = P = 6 18 43,6		} A - Gr = 8	}	8 × 7,79 = 63,32
	Alicante.....	A = iP = 6 18 28				
	Granada.....	Gr = iP = 6 18 20				
Determinante P ₇	Argel.....	Ar = P = 6 18 43,6		} A - Am = 10	}	10 × 7,79 = 77,9
	Alicante.....	A = iP = 6 18 28				
	Almería.....	Am = iP = 6 18 18				

METODO OPERATIVO

Con estos valores se ha levantado el gráfico que figura al final del presente trabajo, y cuyo detalle exponemos a continuación.

Refiriéndonos a la determinante P_1 (Toledo-Granada-Alicante), el trazado es el siguiente (véase lámina página 29):

1.º Haciendo centro en la estación cuya hora de registro es la menor (Granada en este caso), se traza una circunferencia de radio arbitrario: Granada-C.

2.º Con los valores, en kilómetros, obtenidos por las diferencias de horas, señalamos los puntos que distan 62,32 kilómetros a partir de Alicante en la línea Alicante-Granada; y 93,6 kilómetros a partir de Toledo en la de Toledo-Granada. Puntos a y b .

3.º A partir de dichos puntos, y siguiendo en cada caso la línea Alicante-Granada o Toledo-Granada, se lleva una magnitud igual al radio de la circunferencia trazada en primer término, obteniendo de este modo los puntos A y B .

4.º Con los radios Toledo A y Alicante B , y a partir de dichos observatorios, se trazan arcos que determinan los puntos C y D , respectivamente, que serán los primeros de las líneas de distancias hipocentrales para Granada y Toledo y para Granada y Alicante.

5.º Desde C y D se trazan normales a las rectas Toledo-Granada y Alicante-Granada. Su intersección en F nos suministra el primer punto de la determinante.

La misma operación repetida dando sucesivos incrementos al radio a partir de Granada, permite obtener los demás puntos de la determinante—representados por pequeños circulitos—así como las subsiguientes intersecciones con cada una de las circunferencias C , G , J , K , que señalarán diversos puntos de las generatrices hipocéntricas. La elección de otros tres observatorios y el trazado en cada caso de nuevas circunferencias con centro en Málaga y en Almería—siempre la de hora menor de las tres— nos suministran las demás rectas determinantes, cuyo detalle vemos en el cuadro siguiente.

Determinante $P_1 \dots$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Toledo.....} \\ \text{Granada.....} \\ \text{Alicante.....} \end{array} \right\}$	Centro de circunferencias: Granada.
Determinante $P_2 \dots$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Argel.....} \\ \text{Toledo.....} \\ \text{Granada.....} \end{array} \right\}$	Centro de circunferencias: Granada.
Determinante $P_3 \dots$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Almería.....} \\ \text{Toledo.....} \\ \text{Alicante.....} \end{array} \right\}$	Centro de circunferencias: Almería.
Determinante $P_4 \dots$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Granada.....} \\ \text{Málaga.....} \\ \text{Almería.....} \end{array} \right\}$	Centro de circunferencias: Almería.
Determinante $P_5 \dots$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Toledo.....} \\ \text{Málaga.....} \\ \text{Alicante.....} \end{array} \right\}$	Centro de circunferencias: Málaga.
Determinante $P_6 \dots$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Argel.....} \\ \text{Alicante.....} \\ \text{Granada.....} \end{array} \right\}$	Centro de circunferencias: Granada.
Determinante $P_7 \dots$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Argel.....} \\ \text{Alicante.....} \\ \text{Almería.....} \end{array} \right\}$	Centro de circunferencias: Almería.

Epicentro.

El punto de concurrencia de las determinantes da el epicentro, situado en este caso en

$$\varphi = 36^\circ - 26' \text{ N. } \text{ y } L = 3^\circ - 10',8 \text{ W. (Gr).}$$

Hemos desechado las determinantes P_3 , P_4 y P_7 de mayor dispersión, cuyo peso en la determinación del epicentro introduce una causa de error, sistemática, que después analizaremos con detalle al justificar nuestra elección.

Distancias hipocentrales.

Desde el epicentro así determinado trazamos una normal a la recta Toledo-Granada hasta su encuentro con la curva $CGJK$, que llamaremos *genetratriz hipocéntrica* de (P_1) , lo que nos determina el punto H_G . Este punto representa, por tanto, el vértice de la pirámide después de rebatido sobre el plano del dibujo. Su distancia a

Granada y a Toledo nos da el valor de las distancias hipocentrales de aquellos observatorios al foco, distancias que hemos registrado en el cuadro de resultados de la página 28.

Del mismo modo, la normal desde el epicentro a la recta Granada-Alicante hasta su encuentro con la generatriz hipocéntrica (P_5) nos da el punto H_A , representación del vértice de la pirámide al rebatir la cara H -Granada-Alicante sobre el plano del papel. La magnitud H_A -Alicante es el valor de la distancia hipocentral para este último observatorio, y lógicamente H_A -Granada debe ser igual—y efectivamente, así resulta—a H_G -Granada, lo que permite comprobar la exactitud del método.

En suma, las normales sucesivas trazadas desde el epicentro a las diversas líneas de unión entre cada dos observatorios y su corte con la generatriz hipocéntrica correspondiente, nos pone en posesión de los valores de distancias de cada estación al foco.

Profundidad del foco.

Obtenido el valor de la distancia hipocentral a cualquiera de los observatorios considerados, la profundidad del foco se deduce inmediatamente levantando desde el epicentro una perpendicular a la línea que lo une con la estación elegida y trazando desde ésta un arco con radio igual a su distancia hipocentral hasta cortar a dicha normal.

Tomando, por ejemplo, el Observatorio de Granada, se une Granada-epicentro y levantamos la normal a esa recta, que es epicentro- M . Luego, con radio Granada- H_G se describe el arco H_GN , cuyo punto N de corte nos suministra el segmento N -epicentro = profundidad, que a la escala empleada da por valor

$$h = 765 \text{ kilómetros.}$$

Pero claro está que, siendo la profundidad una magnitud independiente de la situación relativa de los observatorios, y fija para cada sismo, el valor que se obtenga para ella debe ser el mismo, cualesquiera sean los elementos—estación y distancia hipocentral—que se utilicen para calcularla.

Es, pues, un excelente medio de comprobación y garantía que el

método nos ofrece, ya que todos los valores de h así determinados deben encontrarse sobre una misma circunferencia de radio igual a uno cualquiera de ellos y centro en el epicentro.

Así, procediendo de igual modo con Toledo, se traza la recta epicentro-P, normal a la línea epicentro-Toledo, y luego al arco $H_T P$.

En el dibujo se han representado con trazo algo más grueso y en negro, estos valores de h obtenidos, con independencia, para cada observatorio. Como se ve, y dentro de los errores instrumentales admisibles, están sensiblemente sobre una misma circunferencia, con centro en E .

Comprobación por las distancias hipocentrales.

Cuando se tienen dos o más ramas de curvas generatrices hipocéntricas que correspondan a un mismo observatorio (caso de las curvas P_1 , P_2 y P_5 respecto a Granada), es evidente que deben también coincidir los valores de las distancias Granada — H_G , Granada — H_A y Granada — H_{AR} , que a su vez han de concordar con la situación del hipocentro rebatido para las otras estaciones. Como puede verse, en nuestro caso se verifica también sensiblemente (dentro de los pequeños errores inherentes al procedimiento gráfico) que

$$\text{Granada} - H_G = \text{Granada} - H_{AR} = \text{Granada} - H_A = \text{Granada} - H_T = \text{Granada} - H_M$$

esto es, a los puntos de rebatimiento de H hallados —con independencia unos de otros—, para Granada, Argel, Alicante, Toledo y Málaga.

Tal continua cadena de comprobaciones se garantiza y liga aún con los valores de h para Argel (arco $H_{AR} - R$) y para Alicante (arcos $S - R - H_A$ y $H_G - H_A$). (Los guiones no representan aquí ningún signo matemático).

Resultados.

Hemos tabulado los diversos valores obtenidos en el cuadro de la página 28.

En ella se han calculado los tiempos de propagación para P por la fórmula de Beno Gutenberg, ya conocida

$$t = a + 0,124 \cdot D,$$

donde a es un parámetro cuyo valor es 6^s cuando la región focal corresponde a zonas costeras, y D , la distancia hipocentral calculada, en nuestro caso, por medio del diagrama, si bien teniendo en cuenta las ligeras correcciones por la curvatura de la Tierra para distancias epicentrales superiores a los 800 kilómetros.

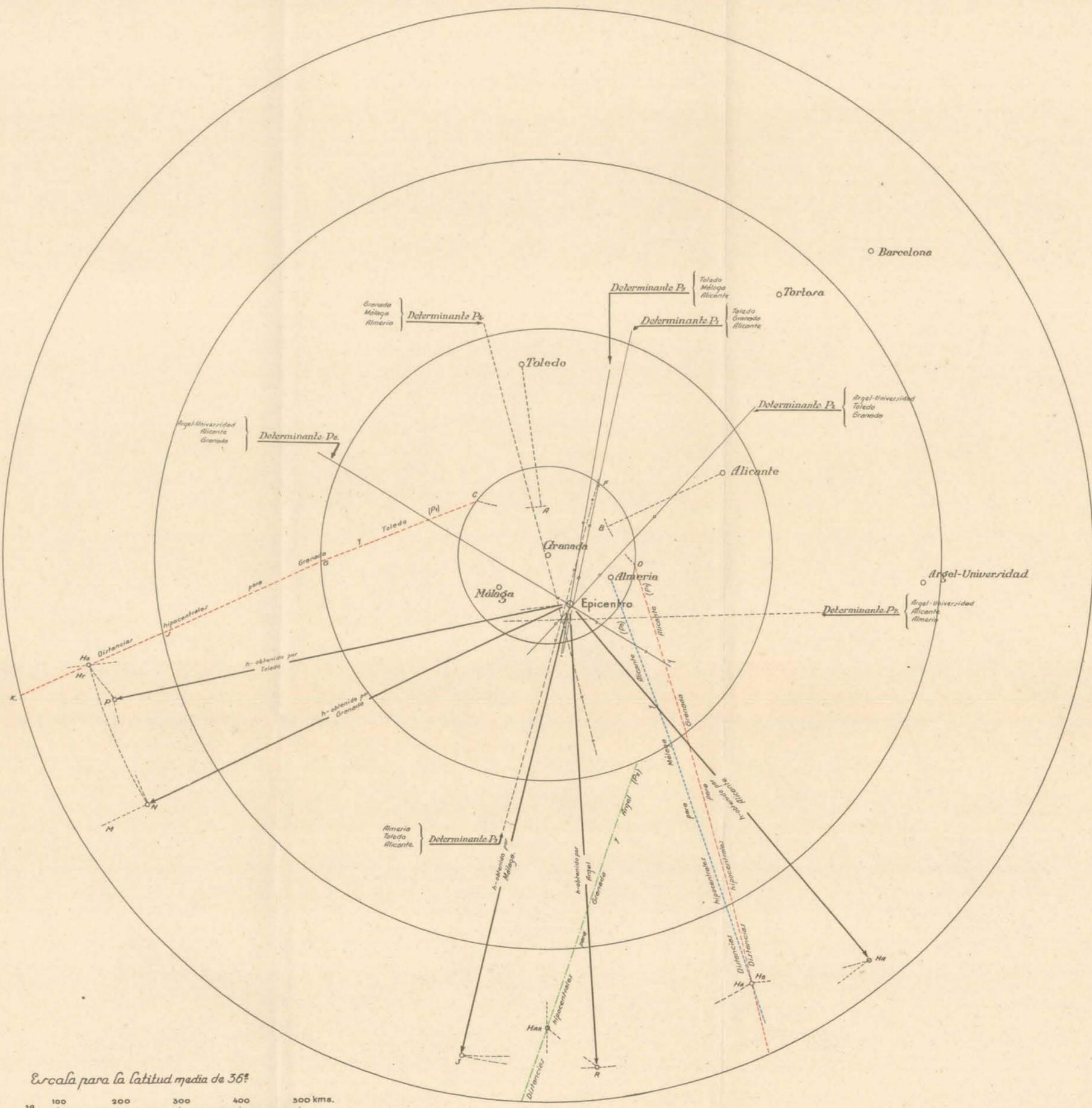
Es de notar la concordancia, bastante aceptable, de la hora en el origen, si se tiene en cuenta la relativa aproximación de todo método gráfico y la disparidad de tablas y fórmulas utilizadas para los pequeños cálculos auxiliares.

La hora H_e en el epicentro se ha deducido empleando como hora de origen el promedio de las obtenidas:

$$H_0 = 6^h 16^m 37^s,8 \quad \text{y} \quad H_e = 6^h 18^m 18^s,6.$$

RESULTADOS

OBSERVATORIOS	Distancia hipocentral.	Tiempo de propagación	Fase y hora de registro.	Hora en el origen H_0	H o r a en el epicentro H_e	Profundidad h
		m s				
Almería.....	769	1 41,35	6 18 18	6 16 36,5	6 18 18,6	765 kms.
Granada.....	770	1 41,48	6 18 20	6 16 38,5		
Málaga.....	775	1 42,10	6 18 19	6 16 36,9		
Alicante.....	833	1 49,29	6 18 28	6 16 38,7		
Toledo.....	854	1 53,13	6 18 32	6 16 38,8		
Argel.....	964	2 05,53	6 18 43,6	6 16 38,07		
Ebro.....	937,5	2 02,25	6 18 40	6 16 37,75		
Fabra.....	1 030	2 13,72	6 18 51	6 16 37,28		



*Estudio
del batizismo del 29 Marzo 1954*

— Observatorio de Alicante —

$$\Delta \left\{ \begin{array}{l} \varphi = 36^{\circ} - 26' N \\ L = 3^{\circ} - 10' 0'' W (Gr.) \end{array} \right\} \begin{array}{l} H_0 = 6^{\circ} - 16'' - 37^{\circ} 8 \\ H_e = 6^{\circ} - 18'' - 18^{\circ} 6 \end{array} h = 755 \text{ kms.}$$

Alicante, Octubre de 1954
El Ingeniero Jefe,

Juan Martínez

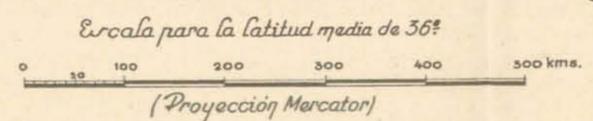


Fig 9

SISMO DEL 1 DE JULIO DE 1954

Epicentro.

La aplicación del método propuesto al sismo indicado, del que disponemos de datos correspondientes a cuatro observatorios (Málaga, Toledo, Alicante y Granada) puede hacerse por el corte de dos determinantes, combinadas así: Málaga - Toledo - Granada y Málaga - Toledo - Alicante; ambas con centro en Málaga.

El trazado de dichas rectas dedúcese de los siguientes valores puestos de manifiesto en el cuadro de la página 32.

SISMO DEL 1 DE JULIO DE 1954

CÁLCULO DE DETERMINANTES

Determinante P_1	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Málaga} \dots\dots\dots \\ \text{Granada} \dots\dots\dots \\ \text{Toledo} \dots\dots\dots \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} \text{Pg} = 14 \text{ 08 } 19 \\ \text{Pg} = 14 \text{ 08 } 29 \\ \text{Pg} = 14 \text{ 09 } 07 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} \text{Gr} - M = 10 \\ \text{T} - M = 48 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 10 \times 5,6 = 56 \text{ kms.} \\ 48 \times 5,6 = 268,8 \end{array} \right\}$		
					$\begin{matrix} h & m & s \\ \hline & & \end{matrix}$	*
Determinante P_2	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Málaga} \dots\dots\dots \\ \text{Toledo} \dots\dots\dots \\ \text{Alicante} \dots\dots\dots \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} \text{Pg} = 14 \text{ 08 } 19 \\ \text{Pg} = 14 \text{ 09 } 07 \\ \text{Pg} = 14 \text{ 08 } 19 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} \text{A} - M = 67 \\ \text{T} - M = 48 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 67 \times 5,6 = 375,2 \\ 48 \times 5,6 = 268,8 \end{array} \right\}$		

Procediendo en la forma expresada al exponer el método se determina el epicentro por el punto de corte de las dos rectas, como puede verse en el mapa adjunto (fig. 10, pág. 35) obteniendo así para coordenadas el epicentro

$$\begin{aligned}\varphi &= 37^{\circ} 10' \text{ N} \\ \lambda &= 4^{\circ} 38' \text{ W (Gr.)}\end{aligned}$$

Hora de origen y profundidad focal.

Las mismas consideraciones anteriores, dan para valor de H_0

$$H_0 = 14^{\text{h}} 08^{\text{m}} 01^{\text{s}}$$

con una profundidad

$$h \approx 20 \text{ kms.}$$

Con mayor detalle puede verse la obtención de estos elementos en los sismos que siguen.

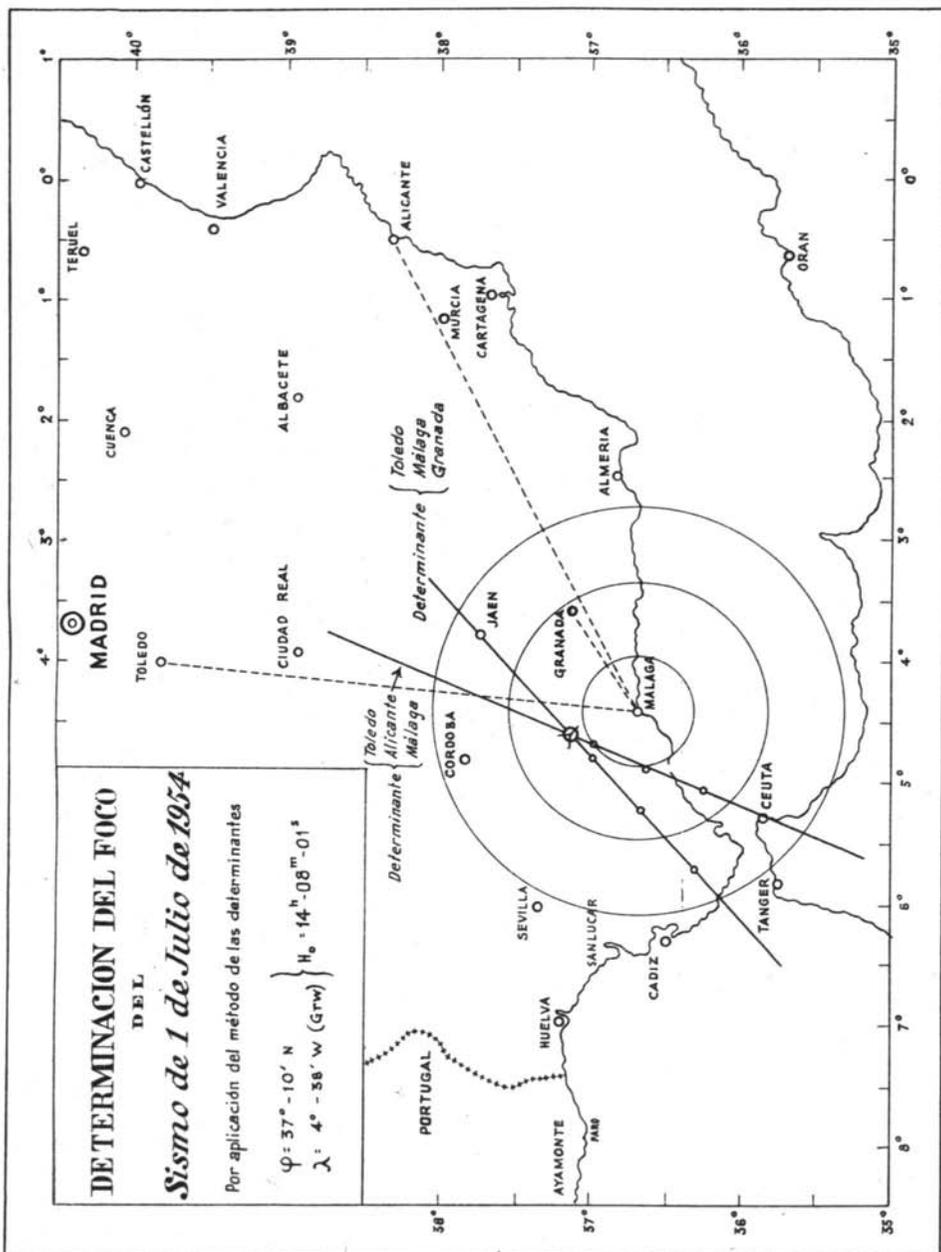


Fig 10

SISMO DEL 13 DE AGOSTO DE 1954

Epicentro.

Hemos aplicado en este sismo el método precedente con tres determinantes: (P_1) Toledo - Granada - Málaga; (P_2) con Granada - Toledo - Almería, y la tercera —que se deduce de las dos primeras— (P_3) con Granada - Málaga - Almería.

Para el trazado de dichas rectas tenemos, pues, el siguiente cuadro:

SISMO DEL 13 DE AGOSTO DE 1954

CÁLCULO DE DETERMINANTES

Determinante P_1	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Toledo} \dots\dots\dots \\ \text{Cartuja} \dots\dots\dots \\ \text{Málaga} \dots\dots\dots \end{array} \right\}$	$iPg = 11 \ 13 \ 41$	\cdot	$T - C = 54$	\triangleright	$54 \times 5,6 = 302,4$	kms.
		$iPg = 11 \ 12 \ 47$		$M - C = 12$	\triangleright	$12 \times 5,6 = 67,2$	\triangleright
		$iPg = 11 \ 12 \ 59$					
Determinante P_2	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cartuja} \dots\dots\dots \\ \text{Almería} \dots\dots\dots \\ \text{Toledo} \dots\dots\dots \end{array} \right\}$	$iPg = 11 \ 12 \ 47$		$Am - C = 16$	\triangleright	$16 \times 5,6 = 89,6$	\triangleright
		$Pg = 11 \ 13 \ 03$		$T - C = 54$	\triangleright	$54 \times 5,6 = 302,4$	\triangleright
		$iPg = 11 \ 13 \ 41$					
Determinante P_3	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cartuja} \dots\dots\dots \\ \text{Málaga} \dots\dots\dots \\ \text{Almería} \dots\dots\dots \end{array} \right\}$	$iPg = 11 \ 12 \ 47$		$M - C = 12$	\triangleright	$12 \times 5,6 = 67,2$	\triangleright
		$iPg = 11 \ 12 \ 59$		$Am - C = 16$	\triangleright	$16 \times 5,6 = 89,6$	\triangleright
		$Pg = 11 \ 13 \ 03$					

Con estos datos se obtiene el punto de corte de las tres determinantes que puede verse en el mapa de la figura 11, página 41.

$$\varphi = 37^{\circ} 02' \text{ N}$$

$$\lambda = 3^{\circ} 33',7 \text{ W.}$$

Hora en el origen.

Trazadas las curvas de distancias hipocentrales para cada par de estaciones, se proyecta el epicentro normalmente a la línea de unión Málaga - Granada, Toledo - Granada o Almería - Granada en cada caso, hasta encontrar la curva de distancias hipocentrales correspondiente. El punto así obtenido nos determina la respectiva distancia del hipocentro a Málaga, Toledo y Almería, así como la de Granada. Valores todos ellos que figuran en la segunda columna del cuadro de resultados, página 40.

Divididos estos valores por 5,6 (velocidad de las ondas Pg) obtenemos los tiempos de propagación de la tercera columna. Su diferencia con la hora de registro nos suministra el valor de la hora de origen, que, lógicamente, debe ser la misma para todos. Así obtenemos con notable concordancia

$$H_0 = 11^{\text{h}} 12^{\text{m}} 45^{\text{s}}.$$

Profundidad del foco.

Bien gráficamente o por un sencillo cálculo, se determina el valor del cateto vertical en el triángulo observatorio - epicentro - foco. Hemos obtenido

$$h \text{ por Almería; } h = \sqrt{28,5^2 - 28^2} = \sqrt{68,25} \approx 8,5,$$

$$h \text{ por Granada; } h = \sqrt{14,8^2 - 11,1^2} = \sqrt{95} \approx 9.$$

Adoptamos, en números redondos

$$h = 10 \text{ kms.}$$

RESULTADOS

OBSERVATORIOS	Distancia hipocentral.	Tiempo de propagación.	Fase y hora de registro.	Hora de origen.
Granada.....	14,8	2 ^s	iPg 11 12 47	11 ^h 12 ^m 45 ^s
Málaga.....	85	14	iPg 11 12 59	11 12 45
Almería.....	105,5	18	Pg 11 13 03	11 12 45
Toledo.....	314,8	56	iPg 11 13 41	11 12 45

El registro de Alicante no ha podido utilizarse por haber perdido la fase Pg debido a un levantamiento incidental de la plumilla.

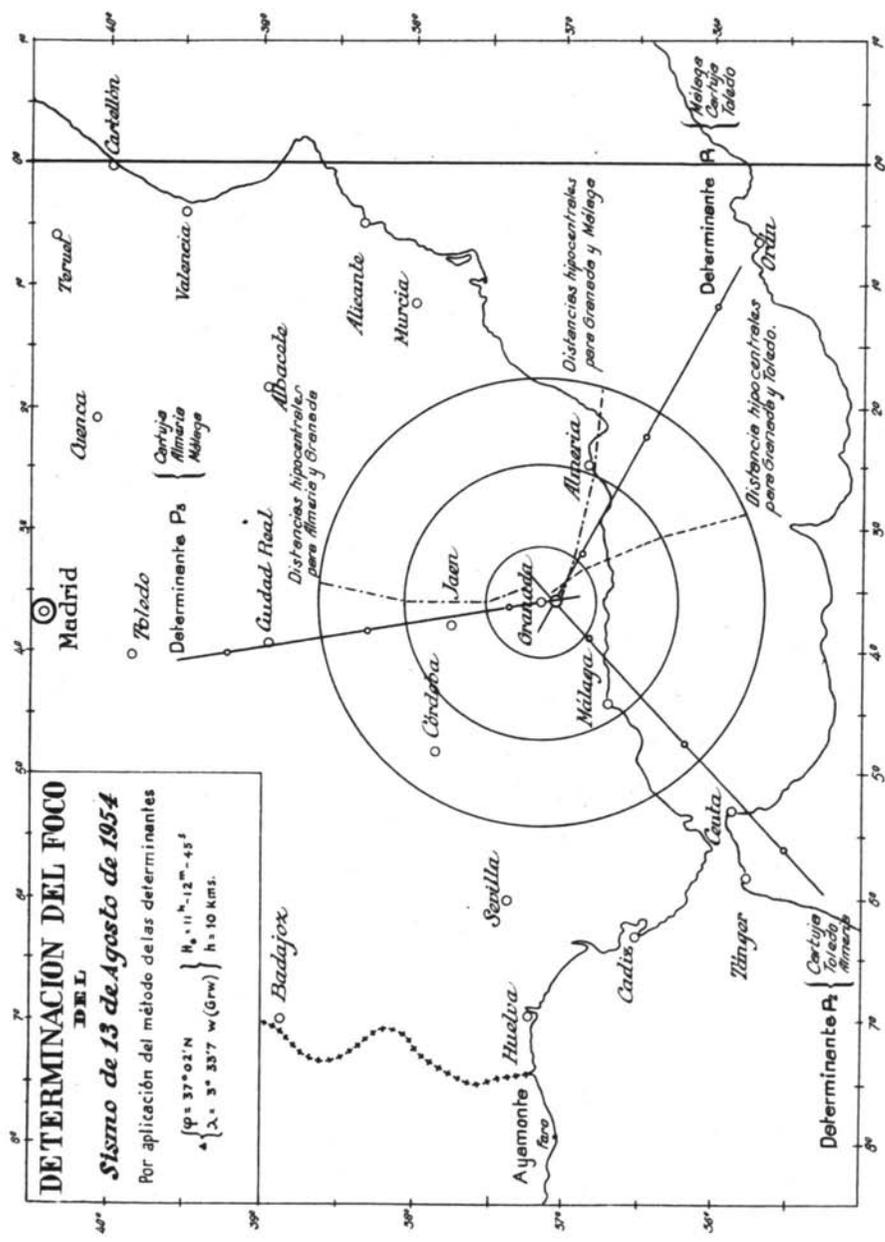


Fig. H

SISMO DEL 21 DE AGOSTO DE 1954

Epicentro.

Los observatorios que han registrado este sismo son: Granada, Málaga, Almería, Alicante y Toledo.

Para el trazado de las determinantes los agruparemos según el cuadro siguiente (pág. 44).

Se hace preciso desechar la determinante P_3 debido al registro de Almería, para la cual, la diferencia

$$A_m - C = 29^s$$

da una distancia de $29 \times 5,6 = 162,4$ kilómetros, superior a la que

SISMO DEL 21 DE AGOSTO DE 1954

CÁLCULO DE DETERMINANTES

Determinante P_1	Málaga	$iPg = 11 \ 53 \ 22$	} $M - C = 12$ »	} $12 \times 5,6 = 67,2$ kms.
	Cartuja	$iPg = 11 \ 53 \ 10$		
	Toledo.....	$iPg = 11 \ 54 \ 00$		
Determinante P_2	Toledo	$iPg = 11 \ 54 \ 00$	} $T - C = 50$ »	} $50 \times 5,6 = 280,0$ »
	Cartuja.....	$iPg = 11 \ 53 \ 10$		
	Alicante.....	$Pg = 11 \ 53 \ 59$		
Determinante P_3	Almería.....	$Pg = 11 \ 53 \ 39$	} $Am - C = 29$ »	} $29 \times 5,6 = 162,4$ »
	Cartuja.....	$iPg = 11 \ 53 \ 10$		
	Málaga	$iPg = 11 \ 53 \ 22$		

separa ambos observatorios. La imposibilidad de esa diferencia se vela por la siguiente consideración (fig. 12).

Cuando la onda Pg generada en el foco, llegue al Observatorio de Cartuja, se encontrará, también simultáneamente, en un cierto punto P de la línea que une el hipocentro con Almería. El segmento P-Almería, representa, pues, la diferencia de horas de registro (Almería - Granada) multiplicado por la velocidad 5,6 de la onda Pg. Ahora bien, esta distancia no puede en ningún caso exceder del valor de la distancia Almería-Granada.

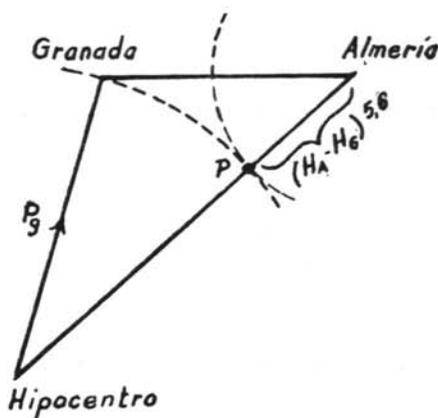


Fig. 12.

Con las dos determinantes que quedan, P_1 y P_2 , procedemos, pues, a localizar el epicentro que, según la construcción gráfica del mapa adjunto, se encuentra en

$$\varphi = 37^{\circ} 05' \text{ N.}$$

$$\lambda = 3^{\circ} 30' \text{ W. (Gr.)}$$

Hora en el origen.

Procediendo como de costumbre, esto es, proyectando el epicentro según la normal a cada dos estaciones hasta su corte con la curva de distancias hipocentrales respectiva, podemos levantar el cuadro siguiente:

OBSERVATORIOS	Distancia hipocentral.	Tiempo de propagación.	Fase y hora de registro.	Hora en el origen.
Granada	24 kms.	4,2	11 ^h 53 ^m 10 ^s	11 ^h 53 ^m 5 ^s ,8
Málaga.....	92,6	16,5	11 53 22	11 53 5,5
Alicante.....	303	54	11 53 59	11 53 5
Toledo.....	310	55	11 54 00	11 53 5

Procede adoptarse el promedio

$$H_0 = 11^h 53^m 05^s,3.$$

Profundidad.

Si se elige Málaga, para la cual $\Delta = 90,7$ y $D = 92,6$, tendremos:

$$h = \sqrt{92,6^2 - 90,7^2} = \sqrt{338} \approx 18 \text{ km.}$$

Si se comprueba ahora con Toledo, para el que $\Delta = 309,4$ y $D = 310$, se tiene

$$h = \sqrt{310^2 - 309,4^2} = \sqrt{372} \approx 19 \text{ km.}$$

Haciendo el cálculo por Granada, obtenemos

$$h = 2 \cdot \sqrt{55} \approx 15 \text{ km.}$$

El orden de profundidad es, pues, de unos 18 kilómetros.

Hora en el epicentro.

A la velocidad de 5^s,6 kilómetros por segundo, los 18 kilómetros de profundidad han sido recorridos en un tiempo

$$t = \frac{18 \text{ km.}}{5,6 \text{ kms.}^{-1}} = 3^s,2.$$

Y, por tanto,

$$H_e = H_0 + 3^s,2 = 11^h 53^m 08^s,5.$$

COMENTARIO

Comparando este sismo con el de 13 de agosto de 1954 en la misma región, se observa un desplazamiento del epicentro en dirección NW.-SE., con un ligero aumento de la profundidad. Concuerta con la serie de epicentros obtenida en otras ocasiones y que jalonan una línea de dirección NW.-SE., que va de Pinos-Puente, por Santa Fe, Gabia la Grande, Otura, Padul a Durcal y Orjiva.

Sería interesante comprobar esta migración epicéntrica por medio de las isosistas de ambos terremotos, de cuyo trazado carecemos.

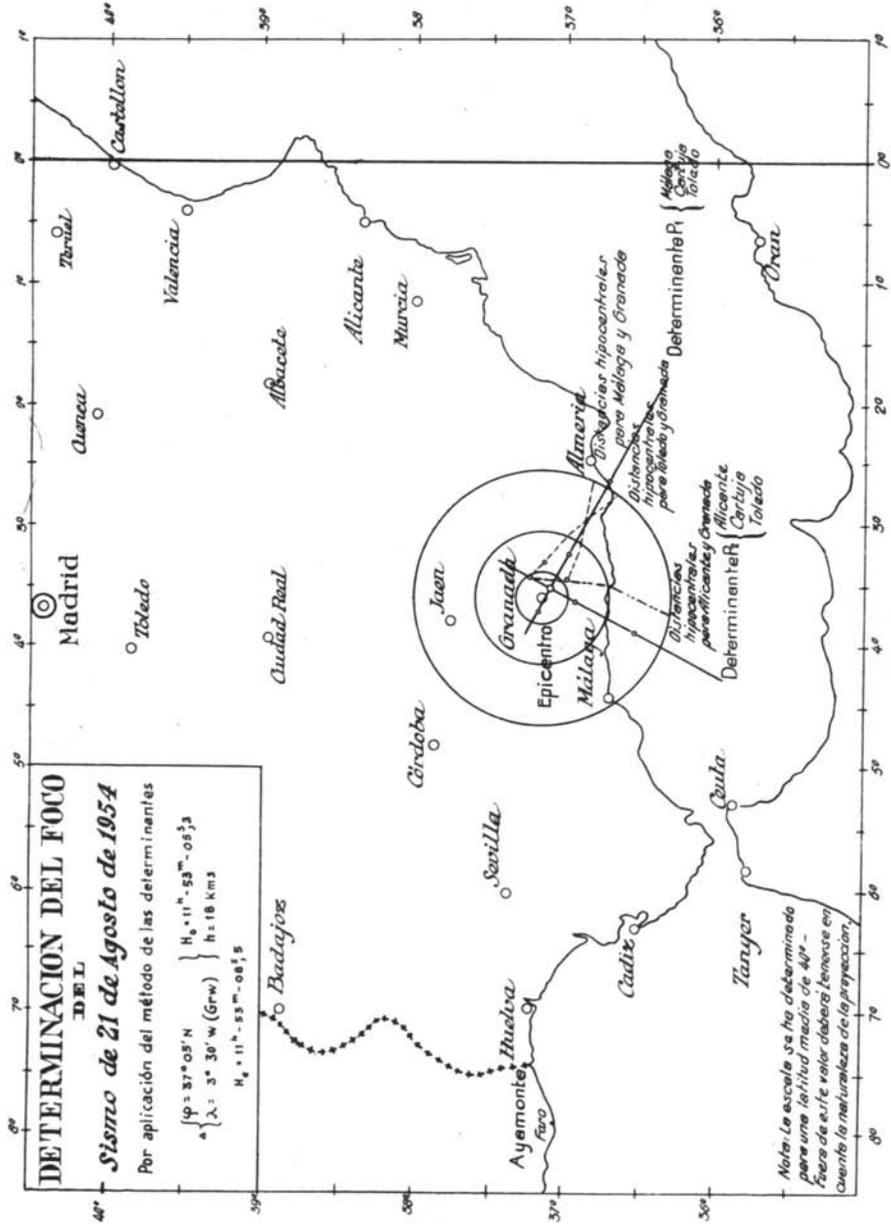


Fig. 13

LOCALIZACION DEL FOCO EN EL SISMO
DE 9 DE SEPTIEMBRE DE 1954 EN LA REGIÓN
DE ORLEANSVILLE

He aquí otro sismo de caracteres no muy frecuentes dada la gran extensión de la zona epicéntrica conmovida, y evaluada—según la información macrosísmica obtenida por el B. C. I. S.—en unos 500 kilómetros cuadrados para la isosista de grado X, lo que supone un diámetro del orden de 25 kilómetros en el área del círculo equivalente afectada por la intensidad máxima.

Epicentro.

En principio, ello supone ya una mayor dispersión en la concurrencia de las determinantes que, como es lógico, bordean o cruzan tan dilatado círculo, dando lugar a un triángulo relativamente amplio, pero cuyo centro de gravedad nos suministra el epicentro teórico con notable aproximación—como puede verse por el gráfico que se acompaña—. Particularidad curiosa a observar, es que los lados del triángulo de indeterminación tangentean la circunferencia de diámetro 25 kilómetros y centro en el epicentro.

Los observatorios cuyos datos han servido de base a nuestro tra-

zados han sido—como en el sismo de 29 de marzo—Toledo, Tortosa, Barcelona, Málaga, Granada, Almería, Alicante y Argel.

La sacudida estudiada—ya que en la misma fecha hubo numerosas réplicas—fué la primera registrada, correspondiente a la hora 1^h 05^m 20^s (Alicante) y la fase elegida la P de los primeros impulsos.

Como valor de la velocidad de propagación hemos adoptado el valor medio de $7,58 \text{ km.s}^{-1}$ (1).

Se han elegido seis determinantes, de las cuales las cuatro primeras con centro en Alicante y las dos últimas con centro en Argel (Universidad).

Los elementos de dichas rectas pueden verse ordenados en el cuadro de la página 53.

Se destaca desde el primer momento el carácter casi superficial del foco de conmoción, por los considerables desplazamientos de los sucesivos puntos epicentrales para los distintos incrementos de la distancia.

Las rectas obtenidas limitan el triángulo de incertidumbre *ABC* del gráfico, cruzado en su medianía por la determinante P_6 (Barcelona-Almería-Argel) (fig. 14, pág. 55).

El círculo inscrito en el triángulo y rayado en rojo, corresponde a la zona macrosísmica de diámetro 25 kilómetros, en cuya superficie se ha registrado prácticamente por igual el mismo valor de intensidad máxima. Las coordenadas del epicentro son:

$$\varphi = 36^\circ 27' \text{ N.}$$

$$\lambda = 1^\circ 27' \text{ E (Gr)}$$

Determinación de la profundidad.

No es indiferente en este caso la estación escogida para la obtención de *h*. Y la razón de ello consiste en la sensible separación del centro de gravedad del triángulo (donde se sitúa el epicentro) con

(1) Téngase en cuenta que las distancias de la mayoría de los observatorios al foco excluyen el registro inicial de la Pg. Procedería, una vez determinado el epicentro en estas condiciones, hacer una nueva corrección con las fases que realmente han debido registrarse en la sacudida inicial.

los lados del mismo. Bastará observar, en efecto, que si el epicentro no está situado sobre una cierta recta determinante, no deben legítimamente tomarse las líneas generatrices de distancias hipocéntricas, productoras de aquella recta, ya que el error que cometamos será tanto mayor cuanto mayor sea la separación del epicentro respecto de ella. Conviene, pues, seleccionar la recta o rectas que pasen por el epicentro, para poder utilizar sin error la curva de distancias correspondientes.

Por este motivo seleccionamos la determinante P_6 que pasa por el epicentro. Una de las generatrices hipocéntricas que a ella pertenecen es la trazada en rojo en el diagrama y que nos suministra la distancia hipocentral para Almería. Trazando la recta Almería-Argel y una normal a ésta desde el epicentro, veremos que la encuentra en el punto D , lugar donde iría a parar el vértice de la pirámide si se rebatiese sobre el plano de la base la cara formada por dicho vértice con los observatorios de Almería y Argel.

La distancia así medida, da como valor de h

$$h \approx 15 \text{ kms.}$$

Determinación de las distancias hipocentrales.

Los valores de Δ para cada observatorio y el conocimiento de la profundidad h nos suministran en cada caso el valor de las distancias hipocentrales, que no difieren sensiblemente, dada la escasa profundidad focal, de los correspondientes a Δ .

En el cuadro de la página 54 se exponen estas magnitudes.

Hora en el origen.

Hemos hecho empleo de las fórmulas

$$t = 0,1763 \cdot D \quad (\text{Pg})$$

$$t = 1,2 + 0,1654 \cdot D \quad (\text{P})$$

$$t = 6 + 0,124 \cdot D \quad (\text{Pn})$$

para el cálculo de los tiempos de propagación, aplicándolas en cada caso, según la distancia respectiva, con resultados que figuran en el cuadro de la página 54.

Como puede comprobarse, hay una concordancia muy aceptable en las horas de origen obtenidas, siendo las más separadas las debidas a Argel y Almería con $01^h 04^m 36^s,89$ y $01^h 04^m 36^s,61$, respectivamente. El promedio resultante da

$$H_0 = 01^h 04^m 39^s,86.$$

COMENTARIO

Consideramos oportuno insinuar que la extensión considerable de la zona epicéntrica de grado X , no resulta ya despreciable para distancias muy cortas, y que, en consecuencia, las ondas emanadas de la periferia epicentral más próxima a aquellos observatorios, influyen notablemente reduciendo la distancia y, por consiguiente, los tiempos de propagación.

Es evidente que el valor *relativo* de estas diferencias se acentúa tanto más cuanto menor sea la distancia.

Si se introduce una pequeña corrección, considerando, para simplificar, que el área de máxima intensidad macrosísmica sea circular, las distancias a Argel, Alicante y Almería se reducen de 147 kilómetros a 132 para el primero; de 272 a 260, para el segundo, y de 358 a 343, para el último. Los tiempos de propagación entonces dan como H_0 de tales estaciones,

Argel.....	01 ^h 04 ^m 38 ^s ,5
Alicante	01 04 41,7
Almería.....	01 04 38,47

que se aproximan mucho más al valor obtenido. Estos valores se han indicado entre paréntesis en el cuadro de resultados.

Justificaríase aún más esta observación si se tiene en cuenta la situación geográfica relativa al epicentro, ya que Almería y Argel vienen a estar casi en oposición respecto a él (en dirección aproximada E.-W.) y Alicante al NW. de aquel punto.

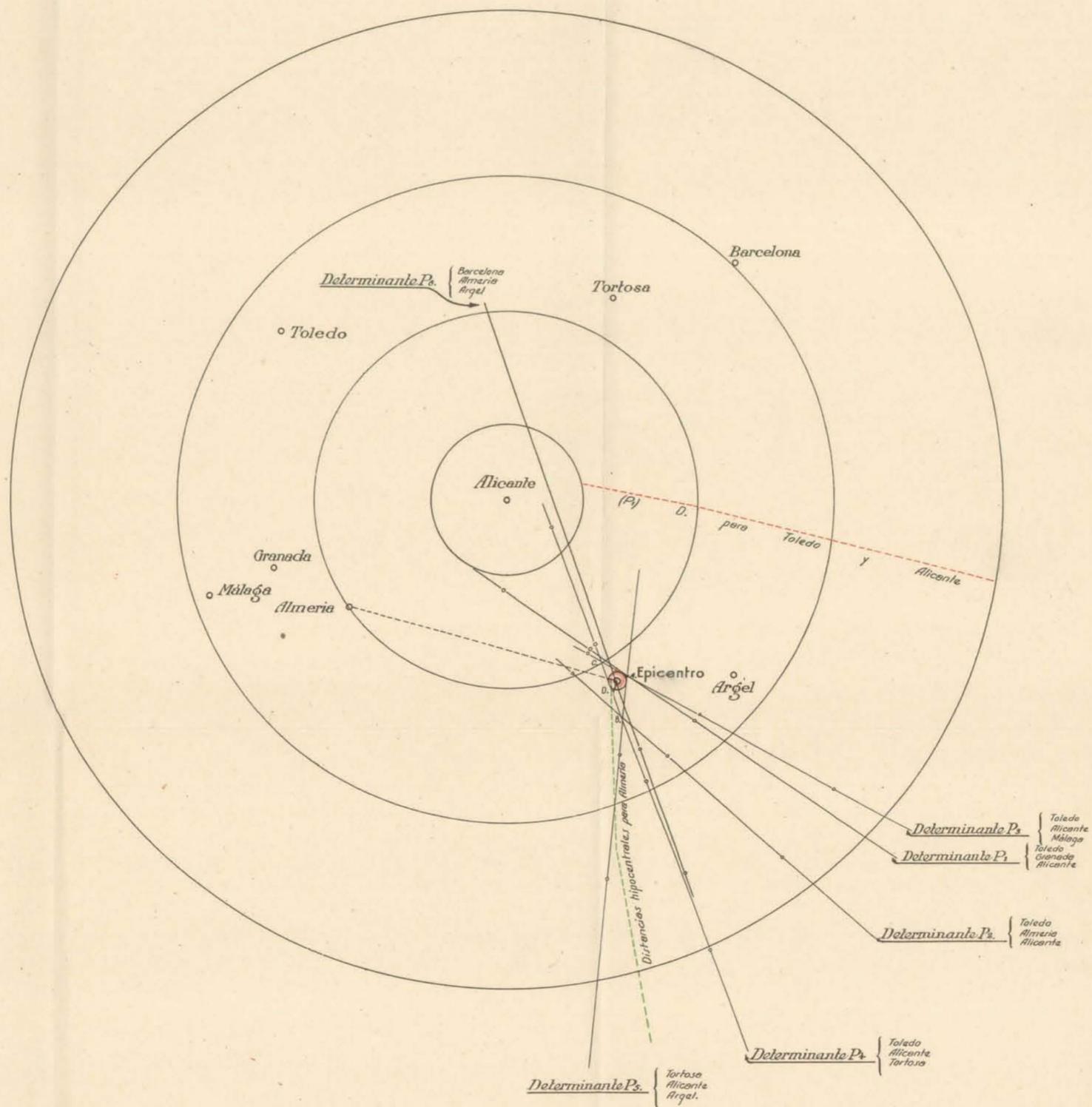
SISMO DEL 9 DE SEPTIEMBRE DE 1954

CÁLCULO DE LAS DETERMINANTES

Determinante P_1	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Toledo} \dots\dots\dots \\ \text{Granada} \dots\dots\dots \\ \text{Alicante} \dots\dots\dots \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} iP = 1 \ 05 \ 04 \\ Pg = 1 \ 05 \ 44 \\ Pn = 1 \ 05 \ 20 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} T - A = 44 \\ G - A = 24 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 44 \\ 24 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} \times 7,58 = 333,52 \text{ kms.} \\ \times 7,58 = 181,92 \text{ } \end{array} \right\}$
Determinante P_2	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Alicante} \dots\dots\dots \\ \text{Almería} \dots\dots\dots \\ \text{Toledo} \dots\dots\dots \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} Pn = 1 \ 05 \ 20 \\ iP = 1 \ 05 \ 27 \\ iP = 1 \ 06 \ 04 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} Am - A = 7 \\ T - A = 44 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 7 \\ 44 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} \times 7,58 = 52,06 \text{ } \\ \times 7,58 = 333,52 \text{ } \end{array} \right\}$
Determinante P_3	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Alicante} \dots\dots\dots \\ \text{Málaga} \dots\dots\dots \\ \text{Toledo} \dots\dots\dots \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} Pn = 1 \ 05 \ 20 \\ iP = 1 \ 05 \ 53 \\ iP = 1 \ 06 \ 04 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} M - A = 33 \\ T - A = 44 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 33 \\ 44 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} \times 7,58 = 250,14 \text{ } \\ \times 7,58 = 333,52 \text{ } \end{array} \right\}$
Determinante P_4	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Toledo} \dots\dots\dots \\ \text{Alicante} \dots\dots\dots \\ \text{Ebro} \dots\dots\dots \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} iP = 1 \ 06 \ 04 \\ Pn = 1 \ 05 \ 20 \\ P = 1 \ 05 \ 48 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} T - A = 44 \\ E - A = 28 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 44 \\ 28 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} \times 7,58 = 333,52 \text{ } \\ \times 7,58 = 212,24 \text{ } \end{array} \right\}$
Determinante P_5	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ebro} \dots\dots\dots \\ \text{Alicante} \dots\dots\dots \\ \text{Argel} \dots\dots\dots \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} P = 1 \ 05 \ 48 \\ Pn = 1 \ 05 \ 20 \\ iP = 1 \ 05 \ 01,4 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} E - Ar = 46,6 \\ A - Ar = 18,6 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 46,6 \\ 18,6 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} \times 7,58 = 353,28 \text{ } \\ \times 7,58 = 140,98 \text{ } \end{array} \right\}$
Determinante P_6	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Barcelona} \dots\dots\dots \\ \text{Almería} \dots\dots\dots \\ \text{Argel} \dots\dots\dots \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} iP = 1 \ 05 \ 55 \\ iP = 1 \ 05 \ 27 \\ iP = 1 \ 05 \ 01,4 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} B - Ar = 53,6 \\ Am - Ar = 25,6 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 53,6 \\ 25,6 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} \times 7,58 = 404,28 \text{ } \\ \times 7,58 = 194,04 \text{ } \end{array} \right\}$

R E S U L T A D O S

OBSERVATORIOS	Distancia hipocentral.	Tiempo de propagación.	Fase y hora de registro.	Hora de origen.	O - C
Argel.....	147 (132)	24 ^s ,51	iP = 01 ^h 05 ^m 01 ^s ,4	H ₀ = 01 ^h 04 ^m 36 ^s ,89 (38 ^s ,5)	- 3
Alicante.....	272 (260)	39,7	iP = 01 05 20	H ₀ = 01 04 40,2 (41,7)	+ 0,3
Almería.....	358 (343)	50,39	iP = 01 05 27	H ₀ = 01 04 36,61 (38,47)	- 3
Granada.....	463	1 03,02	iP = 01 05 44	H ₀ = 01 04 40,8	+ 0,9
Málaga.....	541	1 13,08	iP = 01 05 53	H ₀ = 01 04 39,92	+ 0,06
Tortosa.....	487	1 06,3	iP = 01 05 48	H ₀ = 01 04 41,7	+ 2,8
Toledo.....	617	1 22,5	iP = 01 06 04	H ₀ = 01 04 41,5	+ 1,9
Barcelona.....	546	1 13,7	iP = 01 05 55	H ₀ = 01 04 41,3	+ 1,4
				H ₀ = 01 04 39,86	



*Estudio
del sismo de
9 de Septiembre de 1954*
Observatorio de Alicante

$$\Delta \left\{ \begin{array}{l} \varphi = 36^{\circ} - 27' N \\ L = 1^{\circ} - 27' E (Gr) \end{array} \right\} \begin{array}{l} H_0 = 1^m - 04^m - 41^s \cdot 2 \\ h = 15 \text{ Kms.} \end{array}$$

Alicante y Octubre de 1954
El Ingeniero Jefe,
Chas. ...



Fig 14

ONDA DE MAREA PRODUCIDA POR EL SISMO DE 9 DE SEPTIEMBRE EN LA REGIÓN DE ORLEANSVILLE

Mención aparte merece, en nuestros comentarios sobre este importante sismo, el registro obtenido por nuestros mareógrafos como consecuencia de una onda de maremoto ocasionada por las sacudidas de la zona argelina.

Dada la inmediata proximidad a la costa, la enorme energía debida a la intensidad del choque producido, ha sido, en parte, transmitida a un considerable volumen líquido, generando una serie de ondas concéntricas a partir del punto conmovido en el litoral que, transmitidas sucesivamente, han alcanzado las costas de nuestra península y han sido registradas por los aparatos Thompson de nuestras dos instalaciones mareográficas.

La identificación de esta onda como proveniente del foco de referencia que conmovió la zona de Orleansville, es fácilmente deducible por la consideración de las velocidades de propagación teórica y observada en este caso, de una onda líquida que hubiere de transmitirse desde aquel punto hasta Alicante.

En efecto, la onda observada, según los registros del mareógrafo, ha llegado a este puerto a las 1^h 55^m del día 9, y como la H_0 de la

primera sacudida fué a las $1^h 04^m 41^s$, la diferencia entre ambas es de $50^m,3$, que, a la distancia de 280 kilómetros, supone una velocidad de propagación del orden de 336 kilómetros por hora.

Por aplicación de la fórmula de Lagrange se obtiene una velocidad horaria de propagación del orden de 337 kilómetros por hora, muy acorde con la observada, si se tiene en cuenta, además, que para mayor simplificación, no se han introducido en el cálculo las resistencias debidas al rozamiento de la masa líquida en las inmediaciones e interior del puerto.

Se observa, desde luego, la mayor oscilación en el aparato número 3 respecto al 1, como consecuencia de la mayor altura que la onda experimenta en obras estrechas, estuarios, canales, etc., y, por consiguiente, al transmitirse en el interior de los malecones y dársenas del puerto.

En el aparato del antiguo mareógrafo, situado como se sabe en la escollera exterior del contramuelle, la oscilación máxima registrada tiene un valor de unos 34 centímetros; la del aparato número 3 del nuevo mareógrafo, de unos 80 centímetros (págs. 59 y 61).

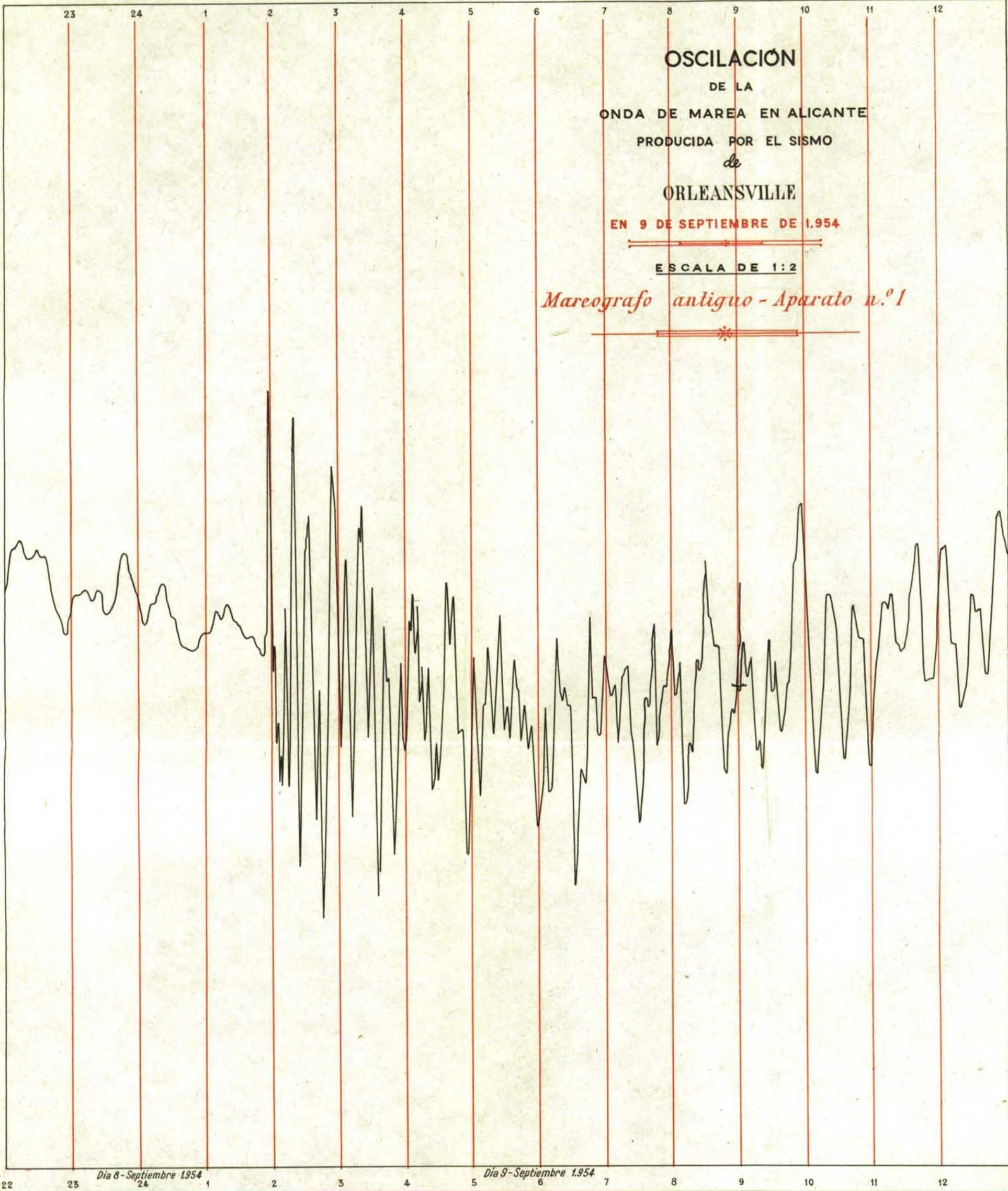
El lento amortiguamiento de una onda líquida, unido al retardo con relación a la velocidad propagatoria del rayo sísmico, y a las sucesivas sacudidas experimentadas en la zona conmovida por las diversas réplicas, dan un conjunto ya muy difícil de precisar después del primer impulso registrado.

Hemos incluido copias de estos registros en el presente trabajo por considerarlas de interés, ya que no es frecuente el registro simultáneo en nuestro suelo de ambos impulsos sísmicos.

OSCILACIÓN
DE LA
ONDA DE MAREA EN ALICANTE
PRODUCIDA POR EL SISMO
de
ORLEANSVILLE
EN 9 DE SEPTIEMBRE DE 1.954

ESCALA DE 1:2

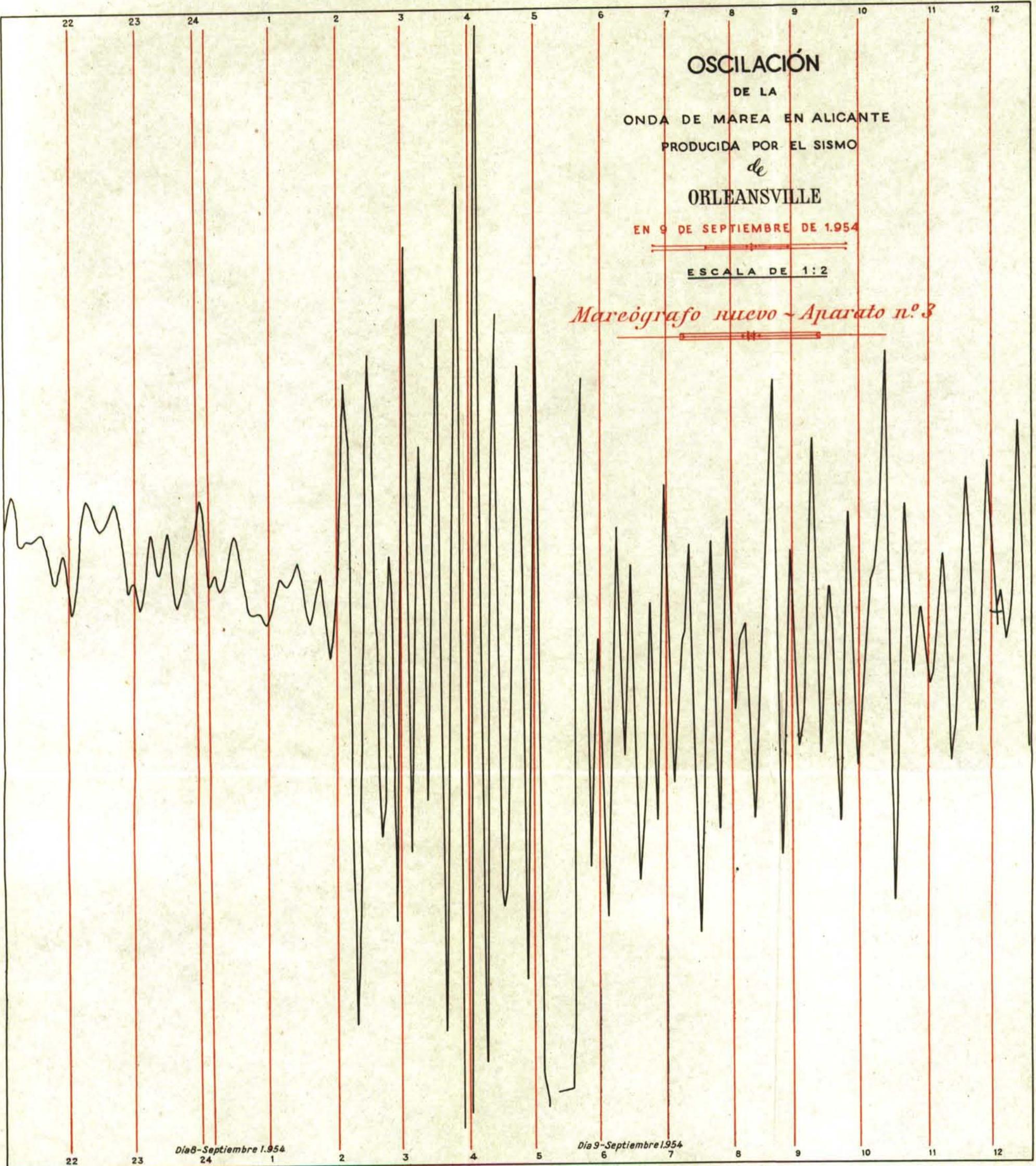
Mareografo antiguo - Aparato n.º 1



OSCILACIÓN
DE LA
ONDA DE MAREA EN ALICANTE
PRODUCIDA POR EL SISMO
de
ORLEANSVILLE
EN 9 DE SEPTIEMBRE DE 1.954

ESCALA DE 1:2

Mareógrafo nuevo - Aparato n.º 3



SISMO DEL 10 DE SEPTIEMBRE DE 1954 EN LA REGIÓN DE ORLEANSVILLE

Epicentro.

Repitiendo los cálculos para la sacudida del 10 de septiembre a las 5^h 44^m 42^s (registro Alicante) con las estaciones cuyos datos poseemos—Argel, Alicante, Almería, Granada, Málaga, Tortosa y Toledo—hemos obtenido, por diferentes combinaciones, siete rectas determinantes, cuyo detalle muestra el cuadro de la página 64.

En realidad, nuestro estudio se ha hecho con nueve determinantes, formadas por las siete precedentes, más otras dos, que han sido desechadas porque su corte se aleja notablemente del punto de concurrencia común de las siete primeras, lo que introduciría una causa sistemática de error en los resultados.

SISMO DEL 10 DE SEPTIEMBRE DE 1954

TRAZADO DE DETERMINANTES

	^h	^m	^s							
Determinante P ₁	Toledo	iP	=	05 45 28	} T - A = 46	}	}	}	} 46	
	Granada	P	=	05 45 04						} G - A = 22
	Alicante	Ph	=	05 44 42						
									} 7,58 = 166,76	
Determinante P ₂	Ebro	iP	=	05 45 13	} E - A = 31	}	}	}	} 31	
	Alicante	Ph	=	05 44 42						} G - A = 22
	Granada	P	=	05 45 04						
									} 7,58 = 166,76	
Determinante P ₃	Ebro	iP	=	05 45 13	} E - Ar = 41,3	}	}	}	} 41,3	
	Granada	P	=	05 45 04						} G - Ar = 32,3
	Argel	eP	=	05 44 31,7						
									} 7,58 = 244,88	
Determinante P ₄	Toledo	iP	=	05 45 28	} T - A = 46	}	}	}	} 46	
	Ebro	iP	=	05 45 13						} E - A = 31
	Alicante	Ph	=	05 44 42						
									} 7,58 = 234,98	
Determinante P ₅	Ebro	iP	=	05 45 13	} E - Ar = 41,3	}	}	}	} 41,3	
	Almería	P	=	05 44 45						} Am - Ar = 13,3
	Argel	eP	=	05 44 31,7						
									} 7,58 = 100,81	
Determinante P ₆	Alicante	Ph	=	05 44 42	} A - Ar = 10,3	}	}	}	} 10,3	
	Argel	eP	=	05 44 31,7						} G - Ar = 32,3
	Granada	P	=	05 45 04						
									} 7,58 = 244,8	
Determinante P ₇	Ebro	iP	=	05 45 13	} A - Ar = 10,3	}	}	}	} 10,3	
	Alicante	Ph	=	05 44 42						} E - Ar = 41,3
	Argel	eP	=	05 44 31,7						
									} 7,58 = 315,05	

Con las siete determinantes reseñadas tenemos un triángulo, cuyo centro de gravedad se sitúa en

$$\varphi = 36^{\circ} 23',0 \text{ N.}$$

$$\lambda = 01^{\circ} 07',5 \text{ E. (Gr).}$$

que aceptaremos como coordenadas del epicentro.

Comparado este punto con el obtenido en la sacudida del día 9 a las 01^h 05^m 20^s (Alicante), de coordenadas

$$\varphi = 36^{\circ} 27',0 \text{ N.}$$

$$\lambda = 01^{\circ} 27',0 \text{ E. (Gr).}$$

se comprueba un marcado desplazamiento hacia el W, de unos 30 kilómetros.

Es de notar que el «Boletín del B. C. I. S.», ya citado, acusa igualmente un movimiento migratorio del epicentro entre el 9 y el 10 de septiembre de unos 40 kilómetros en dirección N.-NW.

Distancias hipocentrales.

Trazadas las líneas generatrices de distancias hipocéntricas, y procediendo en la forma ya expuesta en anteriores sismos, puede levantarse el cuadro de resultados que acompaña este trabajo y al que remitimos al lector. En él, como de costumbre, se han determinado los tiempos de propagación, y deducido para cada observatorio la

Hora en el origen.

Eliminadas las dos determinantes desechadas, se tiene un promedio de

$$H_0 = 5^{\text{h}} 44^{\text{m}} 6,7.$$

RESULTADOS

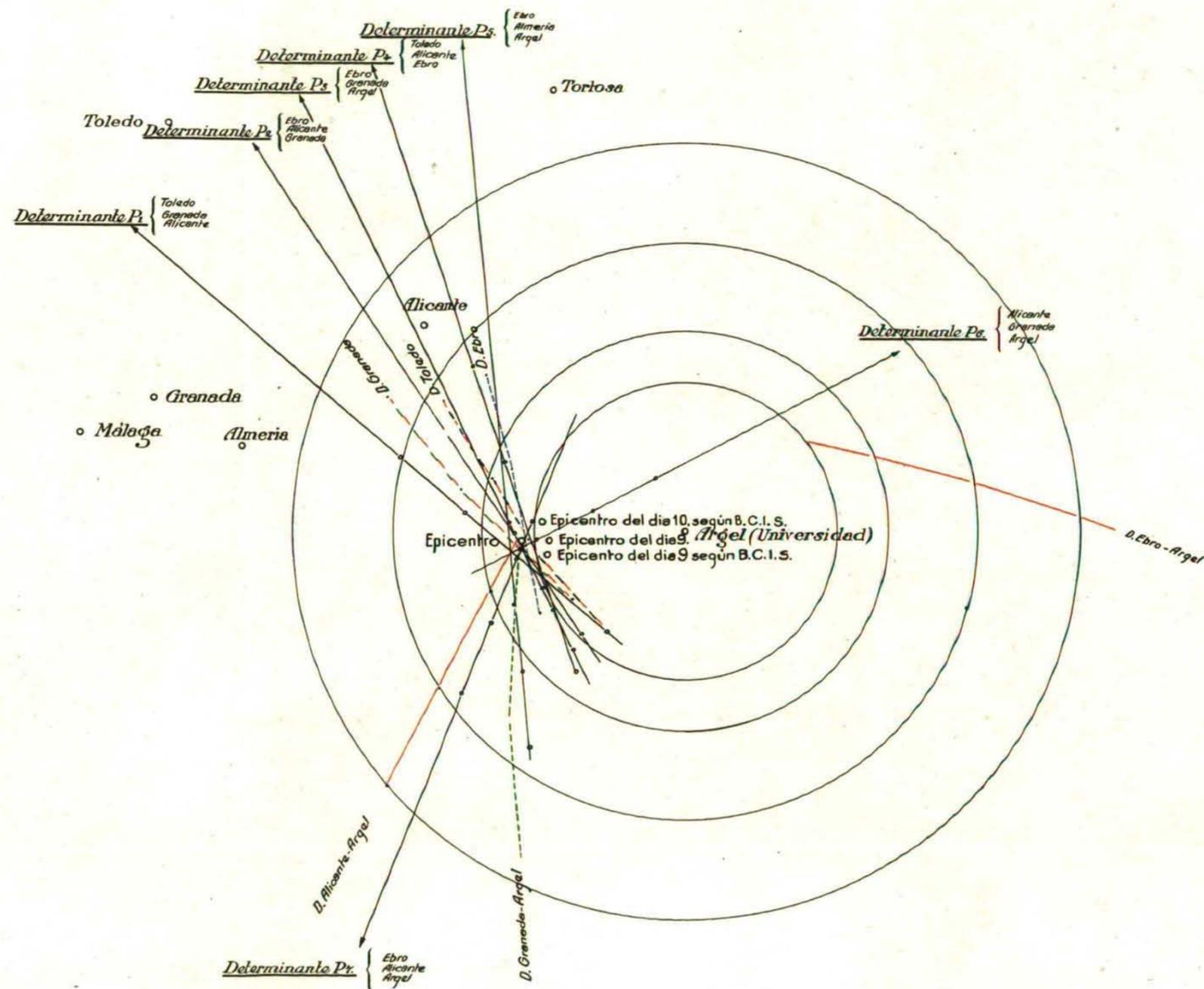
OBSERVATORIOS	Distancia hipocentral.	Tiempo de propagación.	Fase y hora de registro.	Hora de origen.	O - C
Argel	190	25 ^s	5 44 31,7	5 44 06,7	0
Alicante.....	269	35,5	5 44 42,0	5 44 06,5	- 0,2
Almería.....	332	43,7	5 44 45	5 44 01,3	(- 5,4)
Granada.....	438	57,7	5 45 04	5 44 06,3	- 0,4
Málaga.....	500	1 06,0	5 45 07	5 44 01,0	(- 5,7)
Ebro.....	502	1 06,2	5 45 13	5 44 06,8	+ 0,1
Toledo.....	610	1 20,47	5 45 28	5 44 07,53	+ 0,8

Profundidad.

De las distancias hipocentrales obtenidas y los valores de Δ en cada caso, parece deducirse que el valor de la profundidad ha experimentado un cierto aumento; que teniendo en cuenta trabajamos con determinantes—que no pasan exactamente por el epicentro—, ha de venir afectado de cierto error. Podríamos, no obstante, estimarla en unos

$$h = 50 \text{ kms.}$$

término medio. Variación de h que no es de extrañar, ya que la considerable sacudida de la víspera ha podido afectar a otras áreas tectónicas cuyas tensiones, vecinas al límite de elasticidad, lo hayan rebasado como consecuencia del primer choque.



*Estudio
del sismo de
10 de Septiembre de 1954*
Observatorio de Alicante

Método Martín Romero
(Proyección Mercator)

$\varphi = 36^{\circ} - 23' N.$
 $\lambda = 1^{\circ} - 07' S.E. (6r)$ } $H_0 = 5^h - 44^m - 6^s,7$

Alicante y Noviembre 1954
El Ingeniero Jefe,

Juan Martín

Escala para la latitud media de 37°



Fig. 17

SISMO DEL 14 DE SEPTIEMBRE DE 1954

Este sismo, cuya sacudida inicial fué registrada por nuestros sísmógrafos a las 9^h 25^m 28^s (T. C. G.) de la fecha indicada, y estimada su magnitud de grado IV (W. Neuman) fué sentido en algunos pueblos de la comarca sísmica del Bajo Segura y localizado en primera aproximación, en las inmediaciones de Redován.

Practicada seguidamente la oportuna información macrosísmica nos ha permitido trazar las isosistas del sismo que pueden verse en el mapa de la figura 18, página 73.

Epicentro.

Las coordenadas geográficas del epicentro son:

$$\varphi = 38^{\circ} 06',2 \text{ N.}$$

$$\lambda = 0^{\circ} 54',2 \text{ W. (Gr).}$$

y una distancia epicentral de 45 kilómetros.

Profundidad del foco.

Aplicando la fórmula de Inglada

$$h = \frac{2}{3} \sqrt{\rho'^2 - (1,8)^2 \rho^2}$$

y resultando los radios ρ y ρ' de los círculos equivalentes a las áreas isosistas de grados III y IV, respectivamente, $\rho'^2 = 65$ y $\rho^2 = 6,8$, se tiene

$$h = \frac{2}{3} \sqrt{65 - (1,8)^2 \times 6,8} = 4,5 \text{ km.}$$

lo que nos da una distancia hipocéntrica de 45,2 kilómetros.

Horas en el origen y en el epicentro.

Con los valores para D , h y Δ , si se acepta el valor de 5,6 kilómetros como velocidad de las ondas Pg, obtenemos un tiempo de propagación desde el foco al observatorio de

$$t_1 = 8^s,$$

y al epicentro de

$$t_2 = 0^s,8,$$

lo que nos da para valor de las horas

$$H_0 = 9^h 25^m 20^s$$

$$H_e = 9^h 25^m 20^s,8.$$

COMENTARIO

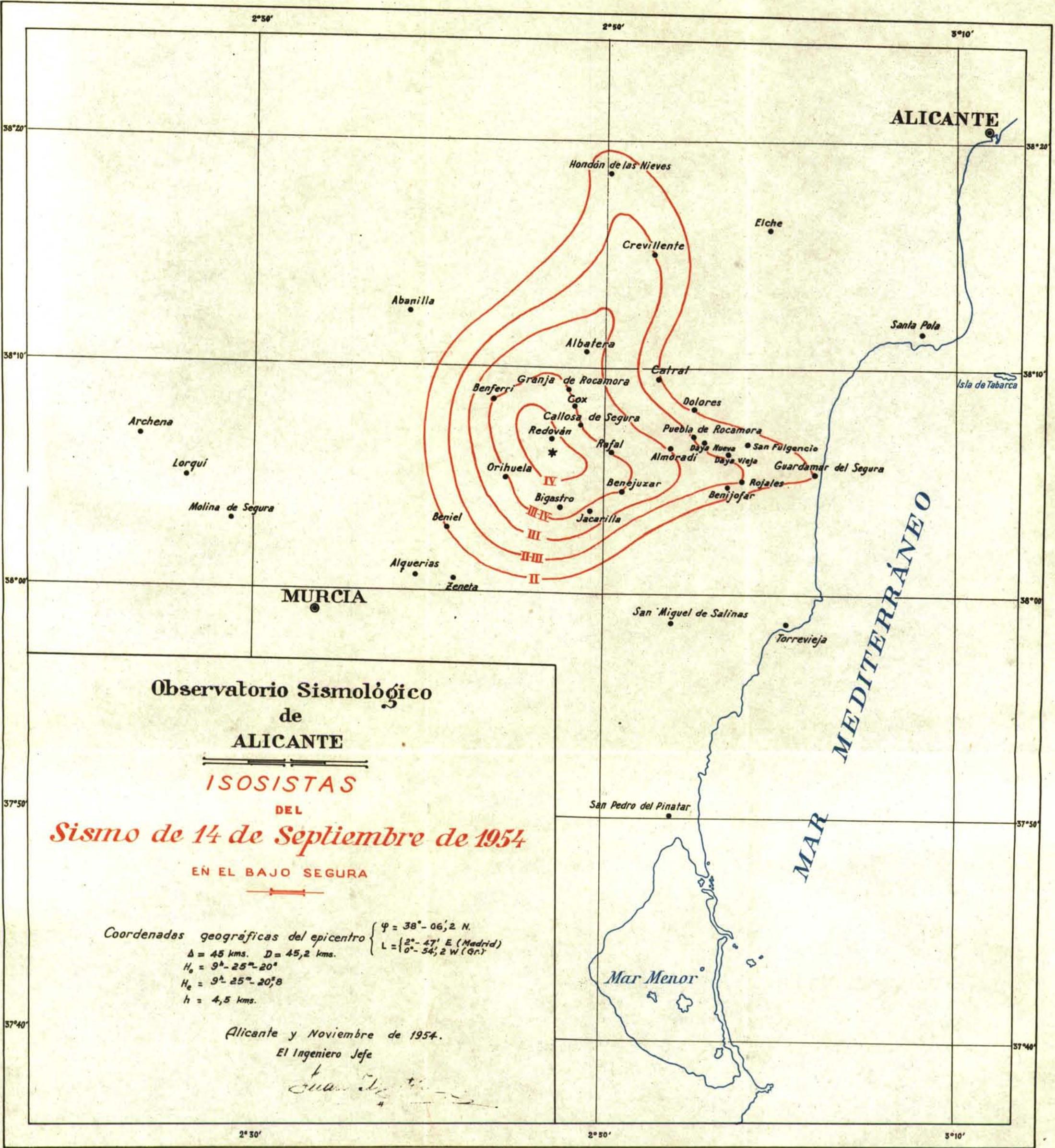
La modesta magnitud del sismo no ofrecería mayor materia para otras observaciones acerca de él; en cambio, su localización en las inmediaciones de la conjunción de tres ejes tectónicos tan característicos como los de Orihuela-Guardamar, Orihuela-Torrevieja y el

borde SW. del bloque costero alicantino nos obligan a prestarle alguna mayor atención.

Se destaca, en primer término, el trazado general de las isosistas con dos ejes de distorsión: uno orientado en sentido E.-W., siguiendo la falla del Bajo Segura—distorsión ya experimentada con otros sismos de esta zona, entre ellos el del 6 de mayo de 1953—; el segundo eje, orientado en sentido NE.-SW. y propagándose hacia la región de Crevillente, entre cuya villa y la de Elche existe un núcleo epicéntrico ya señalado por Rey Pastor y cuya propagación es muy posible se haya visto favorecida por la presencia del eje tectónico occidental del bloque costero alicantino cuyo límite bordea la isosista de grado II.

En cuanto al valor de la profundidad coincide con la del sismo citado (6 de mayo de 1953), que fué de 4,1 kilómetros y con el de 10 de septiembre de 1919, también en la zona del Bajo Segura, y cuya profundidad, calculada por el método de Kövesligethy, se estimó en 4,75.

Registramos estos valores que vienen a engrosar los datos de observación sobre esta interesante zona sísmica, y que, acaso un día, nos permitan acumular material suficiente para posibles investigaciones.



Observatorio Sismológico
de
ALICANTE

ISOSISTAS
DEL
Sismo de 14 de Septiembre de 1954
EN EL BAJO SEGURA

Coordenadas geográficas del epicentro $\left\{ \begin{array}{l} \varphi = 38^{\circ} - 06', 2 \text{ N.} \\ L = \begin{cases} 2^{\circ} - 47' \text{ E (Madrid)} \\ 0^{\circ} - 54', 2 \text{ W (Gr.)} \end{cases} \end{array} \right.$
 $\Delta = 45 \text{ kms. } D = 45,2 \text{ kms.}$
 $H_0 = 9^{\circ} - 25' - 20''$
 $H_e = 9^{\circ} - 25' - 20'', 8$
 $h = 4,5 \text{ kms.}$

Alicante y Noviembre de 1954.
 El Ingeniero Jefe
Juan...

Fig. 18