RB_0194

C - 18

VICENTE INGLADA ORS

ESTUDIO DE SISMOS ESPAÑOLES. EL TERREMOTO DEL BAJO SEGURA DE 10 DE SEPTIEMBRE DE 1919. CÁLCULO DE SU PROFUNDIDAD HIPOCENTRAL Y DE LA HORA INICIAL DE SUS SACUDIDAS EN EL FOCO Y EN EL EPICENTRO

MADRID
IMPRENTA CLÁSICA ESPAÑOLA
Glorieta de la Iglesia.—Tel. 30501
1927

Estudio de sismos españoles. El terremoto del bajo Segura de 10 de septiembre de 1919. Cálculo de su profundidad hipocentral y de la hora inicial de sus sacudidas en el foco y en el epicentro

por

Vicente Inglada Ors

Teniente Coronel de Estado Mayor e Ingeniero Geógrafo,
Profesor de la Escuela Superior de Guerra.

INTRODUCCION

En un trabajo publicado recientemente por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales con el título *Cálculo de las coordenadas del foco sísmico y del instante inicial de las sacudidas por medio de las horas del principio de los sismogramas registrados en varias estaciones próximas* (1), hemos dado un procedimiento original del cálculo de tan importantes elementos sísmicos, basado en la hipótesis del rayo sísmico rectilíneo y de la propagación del movimiento con una velocidad constante de unos 5,7 km. / seg., hipótesis que, dentro del grado de aproximación de un segundo con que se suelen apreciar las fases del sismograma, es válida hasta la distancia epicentral de unos 850 kilómetros.

Aplicado el procedimiento a los sismos de la Europa central de 16 de noviembre de 1911 y de 20 de julio de 1913, ha dado un valor de la profundidad hipocentral, que coincide sensiblemente con el obtenido por Gutenberg (2) a expensas de cálculos más complicados y laboriosos.

El objeto principal que nos guió al idear dicho procedimiento de cálculo de las coordenadas del foco sísmico y del instante inicial de la sacudida, era el de aplicarlo al sin número de sacudidas que registran nuestras Estaciones sismológicas, ya que en los boletines mensuales se publican las

horas del principio de los sismogramas, único dato que requiere nuestro procedimiento. De este modo, fijando la posición del foco de los sismos ibéricos y la hora a que en éste y en el epicentro se producen, cabría ir haciendo el estudio de la sísmica ibérica, delimitar nuestras zonas sísmicas, fijar sus caracteres, localizar los accidentes sismogénicos, etc.

Para iniciar esta aplicación del procedimiento a los sismos recientes españoles, nos pareció lo más indicado elegir aquellos terremotos que, por su intensidad y numerosas réplicas, se consideran cómo los más importantes de los registrados por nuestras Estaciones sismológicas en estos últimos veinte años, pues el estudio de esos terremotos había de ofrecer ocasión de comprobar las ventajas del nuevo procedimiento de cálculo.

Entre los terremotos españoles, ninguno se prestaba a este estudio en las condiciones del que, a partir del 10 de septiembre de 1919, agitó durante tres meses el suelo de una zona perteneciente a las provincias de Alicante y Murcia, y que ha hecho el objeto de algunos trabajos de los sismólogos españoles. Las ventajas de este terremoto pueden resumirse del siguiente modo: un reconocimiento de la zona macrosísmica y la recepción de numerosos boletines de información, facilitados por los pueblos de las citadas provincias, ha permitido el trazado preciso de las isosistas y la localización del epicentro, con error tan sólo de tres a cuatro kilómetros; la pequeña extensión de la isosista máxima permite suponer, sin gran error, que se trata de un foco punctiforme, condición esencial de nuestro procedimiento de cálculo; el sismo produjo numerosas sacudidas, de las cuales las Estaciones sismológicas han facilitado los datos de cinco bien caracterizadas, y, por último, se dispone de datos horarios de 19 Observatorios sismológicos, de los cuales los de Alicante y Almería están muy próximos al foco (distancias epicentrales: 45 y 196 kilómetros, respectivamente).

La circunstancia de haber formado parte de la Comisión que nombró el Instituto Geográfico para estudiar este sismo, de conocer el material de información macrosísmica y haber publicado dos trabajos (3,4) a él relativos, influyó también en que nos decidiéramos a empezar por él la aplicación de nuestro procedimiento a los sismos españoles.

Para facilitar la exposición denominaremos sismo del bajo Segura, en este trabajo, al conjunto de los fenómenos sísmicos, que a partir del 10 de septiembre de 1919 se produjeron en la vega del Segura; en el estudio que vamos a hacer, sólo consideraremos las cinco sacudidas (cuatro en dicho día y una en la madrugada del siguiente) que registraron los Observatorios, y cuyas horas de $\bar{P}$ son las únicas que se han de utilizar como elemento de cálculo.

Como estas horas ofrecen poca precisión (su error medio es de 5,64

segundos), y, en cambio, la localización del epicentro, por los reconocimientos efectuados sobre el terreno y los boletines de información es muy exacta, hemos creído preferible admitir por coordenadas epicentrales

Latitud: $\varphi = 38^\circ - 4' - 30''$ N Longitud: $\lambda = 51^\circ - 46'$ W Gr.

las cuales resultan del estudio macrosísmico, y aplicar el cálculo solamente a la determinación de la profundidad hipocentral y a la hora inicial de las sacudidas.

No obstante la sencillez de este cálculo, en el citado sismo se presentaba una complicación debida a la poca aproximación de los datos horarios; el cálculo de la profundidad hipocentral, en función de la diferencia de las horas del principio del sismograma registradas en dos Estaciones, da un error de 4 a 5 kilómetros, por término medio, para uno de una décima de segundo en dichas horas. Si las facilitadas por las seis Estaciones españolas más próximas al epicentro dan en el sismo del bajo Segura un error medio, como veremos, de 5^s, 64, ¿cómo podría esperarse llegar a obtener con datos de tan poca precisión el valor de la profundidad hipocentral con error pequeñísimo, tan sólo, de un par de kilómetros? Esta es una cuestión que envuelve cierta dificultad y que nos ha obligado a hacer numerosos cálculos y tanteos. En un principio, consideramos imposible poder llegar a un cálculo preciso de la profundidad hipocentral y desistimos dos veces de emprender el estudio de este sismo, a causa de la poca precisión de los datos horarios, que presentan en ciertos casos errores de 17,5 segundos (Málaga en la primera sacudida); pero un estudio detenido del material de observación nos permitió seleccionarlo y combinarlo de tal modo, que la precisión del resultado es como si los datos hubiesen sido exactos hasta la décima de segundo.

Creemos que la marcha seguida para llegar a resultados de gran precisión, con datos horarios que ofrecen tan poca, podrá ser útil a los que se dediquen al cálculo de los elementos fundamentales del movimiento sísmico.

Hechas estas aclaraciones, pasemos a dar idea del plan seguido en el presente trabajo.

Expuestos en un capítulo preliminar los antecedentes del sismo que va a estudiarse, y elegidas las coordenadas del epicentro mediante la labor de información macrosísmica, se presenta el material de observación correspondiente a las cinco sacudidas, y se pasa inmediatamente al cálculo de las distancias epicentrales en todas las Estaciones sismológicas que han registrado este importante temblor de tierra.

Hecho esto, se procede al cálculo de la profundidad hipocentral. Pri-

mero se utiliza el trazado de la curva dromocrónica, que resulta de los datos de observàción y la cual permite hallar dos valores coincidentes de dicha profundidad hipocentral.

Después se pasa a la determinación de ésta, utilizando las diferencias de horas del principio del sismograma, facilitadas por cada pareja de Estaciones; dada la imprecisión de los datos horarios, los valores que se obtienen son en extremo discrepantes, lo que obliga a un examen detenido de las horas registradas para formar los promedios más plausibles, que sirven para hallar un valor de la profundidad hipocentral que difiere muy poco de los que ha facilitado el trazado de la curva dromocrónica.

En el capítulo siguiente se pasa a la determinación de la hora inicial del sismo en el epicentro, y hallada ésta, se procede, tomándola por base, a un nuevo cálculo de la profundidad hipocentral, que da dos valores de ésta, que coinciden con los obtenidos precedentemente. El promedio de todos, que es de 55 kilómetros, se adopta como valor definitivo de tan importante coordenada focal.

En el capítulo siguiente se pasa al cálculo sencillísimo de las horas iniciales de las cinco sacudidas en el foco y epicentro, y otro capítulo está consagrado a la evaluación del grado de precisión de los datos horarios y de los resultados de los cálculos precedentes.

Dada la sencillez extrema de éstos, en todos los capítulos se han presentado solamente los resultados que dan las distintas fórmulas con el objeto de no alargar innecesariamente este trabajo y de que el lector pueda seguir con más facilidad la marcha de la investigación, sin distraer su atención en detalles superfluos de la aplicación de las fórmulas.

Por último, hemos creído de gran utilidad exponer los fundamentos de la investigación siguiendo el mismo camino que nos ha llevado a los diversos resultados y sin suponer conocidos los de los capítulos siguientes. Este orden natural ofrece una gran espontaneidad y va descubriendo poco a poco las dificultades que el cálculo presenta, por la imprecisión de los datos horarios, y los nuevos procedimientos que se van ideando para vencerlas y llegar a la solución precisa de la cuestión principal, que es la determinación de la profundidad del foco.

Confiamos en que, dado el patriótico objeto que nos guía al presentar este trabajo, que es contribuir a la investigación sísmica española, la indulgencia del público no nos faltará al juzgar esta modesta Memoria y disculpará los errores cometidos, en gracia a la buena intención que la inspira.

I

Antecedentes

El 10 de septiembre de 1919, a las $11^h\ 41^m$ de la hora legal entonces en España, o a las $10^h\ 41^m$ de la civil (tiempo medio de Greenwich), sentíase en la vega del Segura una muy fuerte sacudida sísmica, percibida en gran número de pueblos de las provincias de Alicante y Murcia, especialmente en los de la región aluvial próxima a la desembocadura de dicho río, dondo alcanzó el grado VIII de la escala sísmica de Sieberg en Jacarilla, Benejuzar, Almoradí y Algorfa, y en Torremendo se manifestó el fenómeno con su intensidad máxima, a juzgar por los efectos que produjo en sus casas, todas agrietadas y algunas destruidas total o parcialmente.

Un cuarto de hora después seguía otra sacudida, también muy fuerte, y si ambas fueron registradas por los sismógrafos en su verdadera intensidad, por carecer éstos de sistema nervioso, que, a causa del peligro, tendiera a una excesiva impresionabilidad, los habitantes de dichas provincias percibieron más intensa esta segunda sacudida, prevenidos los menos y alarmados los más por la primera, especialmente en los pueblos referidos, pues en la capital alicantina la primera sacudida sólo fué algo fuerte, hasta el punto de que las personas que en aquel momento atravesaban el paseo de los Mártires apenas se dieron cuenta de ella, y atribuyeron a desgracia o accidente del trabajo el hecho de ver correr a unos albañiles de la casa en construcción inmediata al Hotel Simón, cuando lo que ocurría en realidad era que éstos, por su posición en el andamio, sintieron más intensamente la primera sacudida, y por instinto de conservación abandonaron con rapidez la obra para escapar al peligro que les amenazaba.

A estas dos sacudidas siguieron otras en el mismo día 10 — la Estación sismológica de Alicante registró siete bien caracterizadas—, en la madrugada del 11 dos más, y así continuaron las réplicas durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, con fuerza bastante para tener en constante alarma al vecindario de pueblos como Torremendo, Benejúzar, Jacarilla, etc., y más tarde fueron disminuyendo paulatinamente en intensidad y duración hasta el 9 de noviembre, en que la Estación sismo-

lógica de Alicante, la más próxima al epicentro, registró la última sacudida.

Los fenómenos que vamos a estudiar, basándonos exclusivamente en los datos del registro instrumental, constituyen, pues, como es corriente en aquella importante región murciano-alicantina, un período de actividad sísmica de gran interés científico, pues se dispone para su estudio de los sismogramas registrados en varias Estaciones, todas las de la red española y algunas extranjeras, y por la violencia de las sacudidas es uno de los sismos españoles más importantes, ocurridos en estos últimos treinta años.

Otros dos períodos de actividad sísmica en la región del bajo Segura, también con la feliz circunstancia de no haber causado ninguna víctima, son los correspondientes a los años de 1911 y 1917.

El primero, según los datos del Instituto Geológico de España (5), consistió en 95 sacudidas, percibidas desde el 21 de marzo al 20 de junio de 1911, de las cuales tres, por lo menos, deben clasificarse como ruinosas o del grado VIII, y fueron sentidas en un radio de 25 kilómetros alrededor del epicentro, que era una zona de reducida extensión, en el bajo Segura, a la inmediación de los pueblos de Ceuti y Lorqui, y en la intersección de dos grandes líneas de fractura, que están en relación con las rocas eruptivas y los manantiales termales de la comarca.

En el estudio que vamos a hacer de los terremotos ocurridos en el bajo Segura a partir del 10 de septiembre de 1919, supondremos que el foco es el mismo en las diferentes sacudidas, y punctiforme, como requiere la teoría de la propagación de las ondas sísmicas, lo que en el caso actual puede admitirse sin grande error, pues las dimensiones del accidente sismogénico son muy reducidas, a juzgar por la pequeña área de las curvas isosistas (3, 4), y especialmente la de grado máximo (VIII en el presente caso).

Para el estudio del terremoto del bajo Segura de 10 de septiembre de 1919, se nombraron dos Comisiones: una del Instituto Geológico de España, y otra del Instituto Geográfico. La primera, formada por los Ingenieros de Minas D. Vicente Kindelán y D. José de Gorostizaga, se dedicó al estudio del fenómeno, desde el punto de vista tectónico, y el resultado de sus investigaciones se consigna en el informe publicado por el primero de los Institutos mencionados (6). En lo que atañe a la causa y origen del sismo, el parecer de la Comisión del Instituto Geológico, se resume en el siguiente párrafo del informe, que transcribimos literalmente (página 30):

«En resumen, la explicación más sencilla a nuestro juicio, del origen de los terremotos en las provincias de Levante, por lo menos en los últimos

años, debe buscarse en la expansión accidental de los gases, principalmente hidrocarburos, contenidos y formados en las margas salíferas del Keuper, unidos al vapor de agua producido por la elevación de la temperatura en profundidad, y estos gases circulan a grandes presiones por la red de grietas subterráneas, ocasionando en su recorrido sacudidas que se acusan en la superficie de la tierra por movimientos del suelo, de intensidad y efectos variables, según las circunstancias locales».

A juicio de la Comisión del Instituto Geológico, se trataría en el presente caso de un fenómeno de carácter local y de foco situado a muy poca profundidad.

Conviene, sin embargo, precisar estas circunstancias, ateniéndose a las condiciones reales del fenómeno, que se deducen de los datos del registro instrumental, de que no disponía dicha Comisión al razonar su informe y al llegar a la conclusión que se resume en el párrafo que acaba de transcribirse.

En Suiza, por ejemplo, ocurren sacudidas debilísimas de carácter local, hasta el punto de que se registran en las Estaciones Sismológicas de dicha nación, y no llegan, sin embargo, a impresionar las bandas de los sismógrafos de Strassburgo, observatorio que dista solamente unos 200 kilómetros. Este es el caso del sismo en el lago de Wallen de 7 de noviembre de 1924, que, a juicio del distinguido Prof. A. de Quervain (7), es el que en estos últimos cuarenta años de observaciones se puede calificar de haber producido efectos de mayor alcance, hasta el punto de que, en opinión de tan ilustre sismólogo, hay una grandísima probabilidad de que dicho sismo provocara el desprendimiento de rocas, que durante un mes interrumpió en el lago de Wallen la línea férrea internacional que lo bordea por el Sur.

A pesar de la importancia de dicho sismo, sólo fué registrado en las Estaciones Suizas de Zürich y de Chur, que distan, respectivamente, 55 y 40 kilómetros del epicentro. Este carácter local, en grado sumo, que distingue a gran número de sacudidas alpinas, ha obligado a los sismólogos suizos a instalar aparatos de extraordinaria sensibilidad, que registran las fases hasta la décima de segundo, precisión de todo punto indispensable cuando hay que hacer el estudio de temblores de tierra, que se registran a pequeñísima distancia epicentral, tan sólo por dos o tres Estaciones sismológicas. A pesar de ese carácter local, tan caracterizado en el sismo del lago de Wallen, el cálculo nos ha dado (1) para su profundidad hipocentral el valor de 40 kilómetros, cifra que localiza el foco en las capas superiores de la corteza terrestre, pero no en las más superficiales, como pudiera haber hecho creer la reducidísima extensión del área macrosísmica.

De intento hemos citado este ejemplo para compararlo con el sismo del 10 de septiembre de 1919, a que se refiere el presente trabajo. Este terremoto fué registrado, no sólo por todas las Estaciones de la península ibérica, sino por algunas extranjeras, que son: Argel, Marsella, Moncalieri, Besançon, Parc Saint-Maur, Zürich, Strassburgo, Uccle, de Bilt, Hamburgo y Helwan (Egipto).

Hemos de advertir, en honor a la verdad, que en el boletín sísmico de la Estación de Uccle, correspondiente al año de 1919 (8), se indica como dudosa la hora del principio de este sismo, registrada en el observatorio de Helwan, que dista del epicentro nada menos que 3089 kilómetros; mas prescindiendo de este registro, el cual corresponde a la hora del sismo, queda el hecho indudable de que el terremoto del bajo Segura fué registrado por lo menos hasta la distancia epicentral de Hamburgo, que es de 1911 kilómetros.

Como se ve, las circunstancias son aquí muy distintas a las del sismo del lago de Wallen, que ya no fué registrado en Strassburgo a distancia menor de 200 kilómetros.

Claro está que ambos sismos, el del lago de Wallen y el del bajo Segura, son de carácter marcadamente local; pues en este último el área en que el fenómeno fué sensible es de reducida extensión, unos 5000 kilómetros cuadrados (4), en tanto que en el sismo de Charleston de 31 de agosto de 1886, fué de 796000 (4), y en el de Assam, de 12 de junio de 1897, nada menos que de 3970000 (4). La diferencia entre las manifestaciones exteriores de ambos sismos puede explicarse, a más del distinto grado de intensidad, por la profundidad hipocentral, naturaleza del fenómeno, etc.

Por lo que atañe a esta última, en el trabajo (3) que publicamos en 1921, en el tomo extraordinario dedicado al 50° aniversario de la fundación de la Real Sociedad Española de Historia Natural, nos inclinamos a creer que el terremoto del bajo Segura era de carácter netamente tectónico, a juzgar por el hecho de haberse observado durante dos o tres meses numerosísimas réplicas en los pueblos del área pleistosista, y haberse transmitido el fenómeno a gran distancia, como lo acusa el haber sido registrado en la Estación de Hamburgo, situada, como hemos dicho, a 1911 kilómetros del epicentro, si no aceptamos el caso, muy probable, de corresponder a este sismo la gráfica registrada a la misma hora en el Observatorio de Helwan, que dista más de 3000 kilómetros.

El trazado de las curvas isosistas, que se inserta también en dicho trabajo, aboga en favor de la naturaleza tectónica del sismo, pues la dirección de sus ejes mayores es aproximadamente paralela a la línea de fractura supuesta para la explicación de los terremotos de 1911 (5), en

esta región del bajo Segura, a la que forma éste, que prolongada por el Sangonera viene a enlazarse con la línea sismotectónica de primer orden Lorca-Guadix-Granada, a la dirección de las cordilleras principales, a la de los asomos ofíticos más importantes de la provincia de Alicante, que hacen suponer al Sr. Novo (9) la existencia de una arista de hundimiento, etc.

La isosista máxima—de grado VIII, escala Sieberg—ocupa una extensión de 130,88 km², lo que da una distancia media a su punto central de 6,45 kilómetros. Esta circunstancia es favorabilísima para el estudio del sismo, basado en los datos del registro instrumental, pues por una parte permite localizar el epicentro con gran precisión (con error de dos o tres kilómetros por término medio), y por otra permite suponer sin error sensible que el foco es punctiforme, base de toda la teoría de la propagación de las ondas sísmicas.

La delimitación del accidente sismogénico—ya sea el que sugiere la isosista de grado máximo u otro más amplio, si los mayores efectos destructores del sismo se explican por circunstancias perturbadoras de carácter local—, suscita un interesante problema, que no se puede hoy por hoy abordar, por no conocerse aún la tectónica detallada de tan importante región sísmica.

Esta duda no puede ejercer influencia alguna en el estudio que vamos a hacer del terremoto del bajo Segura, pues nos hemos de limitar al cálculo de su profundidad hipocentral y de su hora inicial en el foco y epicentro. Las coordenadas de éste se conocen con gran precisión por los informes macrosísmicos, los cuales autorizan a suponer con bastante aproximación que el foco es punctiforme, que es la condición esencial de dicho cálculo.

La Comisión nombrada en 25 de septiembre de 1919 por el Instituto Geográfico para el estudio del terremoto del bajo Segura, estaba constituída por los Ingenieros Geógrafos D. Manuel de Barandica, Jefe del Negociado de Astronomía y Geofísica, D. Vicente Inglada, Director de la Estación Central Sismológica de Toledo, y D. Juan García de Lomas, Director de la de Alicante. Reunida en esta última capital la Comisión el 26 de septiembre, se trasladó al día siguiente a Torrevieja y Guardamar para recoger sobre el terreno los datos relativos a las sacudidas sísmicas que se habían percibido y seguían aún sintiéndose. Al siguiente día continuó el reconocimiento por el pueblo de Rojales y fué a pernoctar a Elche, donde le sorprendió la tormenta ocurrida en la madrugada del 29 de septiembre, que inundó la vega del Segura, cortó en varios puntos la línea férrea de Alicante a Murcia y la de Alicante a Madrid, interrumpió las comunicaciones telegráficas y telefónicas y produjo numerosas víctimas e importantes destrozos en campos y poblados.

Ante la imposibilidad de recorrer en varios días la zona del bajo Segura, por haberse convertido en inmenso lozadal y estar intransitables los caminos, con la amenaza de continuar así durante algún tiempo, pues las lluvias no cesaban en aquellos días, los señores Barandica e Inglada se trasladaron a Madrid para dar cuenta a la Dirección General de esta interrupción de los trabajos, y allí se les encargó de un servicio urgente, que les impidió regresar a la provincia de Alicante. El Sr. García de Lomas fué comisionado para continuar los reconocimientos en el área epicentral y recoger los datos que en boletines de información remitían los pueblos de las provincias de Alicante y Murcia.

Tomando por base estos datos y los reconocimientos practicados por el Sr. García de Lomas, pudimos trazar el mapa de las isosistas, que se publicó en un trabajo del Instituto Geográfico (4), en el cual se presenta una simplificación del método Kövesligthety para el cálculo de la profundidad hipocentral, que se aplica a algunos sismos ibéricos, entre los cuales se halla el del bajo Segura de que estamos tratando. También se insertó dicho mapa, con la representación además de las formaciones geológicas, en otra Memoria que se publicó en el tomo ya citado (3), dedicado a conmemorar el 50° aniversario de la fundación de la Real Sociedad Española de Historia Natural.

El Revdo. P. Manuel M.ª Sánchez Navarro Neumann, S. J., Director de la Estación sismológica de Cartuja (Granada), dedicó dos artículos al terremoto del bajo Segura, uno publicado en la revista *Ibérica* (10), donde trata principalmente de los datos macrosísmicos y de la historia sísmica de la región, y otro que vió la luz en la *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América* (11), donde se estudia el temblor por los datos del registro instrumental de las estaciones españolas. Desgraciadamente este trabajo se basa en el supuesto de estar el epicentro en Dolores (provincia de Alicante), y las distancias epicentrales difieren de las que hemos de utilizar en la presente investigación.

Por último, el Profesor de la Universidad de Barcelona, D. Eduardo Fonseré, Director de la Sección Sísmica del Observatorio de Fabra, presentó a la Real Academia de Ciencias y Artes de dicha ciudad una nota del sismo del bajo Segura, en que se inserta el mapa de las isosistas, trazadas según los datos recibidos directamente por él. Este mapa isosístico difiere bastante del nuestro; pero como este último se basa en una información mucho más amplia y en los reconocimientos sobre el terreno hechos por el Sr. García de Lomas, lo hemos preferido en la localización del epicentro, único dato que nos proporciona en el presente estudio.

Expuestos estos antecedentes acerca de la labor principal que los sis-

mólogos españoles han dedicado al terremoto del bajo Segura, pasemos al cálculo de su profundidad hipocentral y de la hora inicial de las sacudidas en el foco y en el epicentro.

* * *

Como en el terremoto del bajo Segura se trata de un foco terrestre, cuyas isosistas de mayor intensidad han sido delimitadas con gran precisión mediante el abundante material de información que se ha recogido y los reconocimientos de la zona epicentral efectuados por el Sr. García de Lomas, tomaremos como punto epicentral para el cálculo el que viene a ser el centro aproximado de la curva de grado VIII (que es la de máxima intensidad), y cuyas coordenadas geográficas son (3, 4):

Latitud: $\varphi = 38^\circ - 4' - 30''$ N Longitud: $\lambda = 51^\circ - 46'$ W Gr.

Este procedimiento, según hemos demostrado en otro trabajo (1), tiene la ventaja de simplificar el cálculo y dar, con la mayor precisión posible, la profundidad hipocentral, que vamos a determinar.

Conocidas las coordenadas del epicentro y las de las Estaciones que han registrado al sismo, se procede al cálculo de sus distancias epicentrales, mediante la conocida fórmula de Trigonometría esférica:

$$\cos \Delta = \operatorname{sen} \varphi_0 \operatorname{sen} \varphi + \cos \varphi_0 \cos \varphi \cos (\lambda - \lambda_0) \qquad (1)$$

en que φ_0 y φ, y λ_0 y λ, son, respectivamente, las latitudes y longitudes geográficas del epicentro y del Observatorio considerado.

Las coordenadas de las Estaciones sismológicas se han tomado de los boletines mensuales publicados por ellas, y el cálculo de las distancias epicentrales se ha llevado a cabo con el grado de aproximación que permitan aquéllas y las coordenadas del punto tomado como epicentro. Se hubieran podido hallar directamente, utilizando un buen mapa, con rapidez extraordinaria; pero hemos preferido efectuar los cálculos, mucho más laboriosos, para obtener con la mayor precisión estas distancias epicentrales, que han de servir de base a todos los cálculos ulteriores.

En el cuadro núm. I, que sigue a continuación, y por orden creciente de distancia al foco, damos las coordenadas de los diversos Observatorios, su distancia epicentral y las horas del principio de la primera sacudida, correspondiente a las $10^h\ 41^m$ del 10 de septiembre. En el cuadro II, las horas correspondientes a las sacudidas siguientes, en las Estaciones Sismológicas que las registraron.

CUADRO I

DATOS RELATIVOS A LA PRIMERA SACUDIDA (10 DE SEPTIEMBRE A LAS $10^h\ 41^m$)

ESTACIONES SISMOLOGICAS	Latitud φ	Longitud λ Greenwich	Distancia epicentral Δ *Km.*	Hora del principio del sismograma P
Alicante.....	38° — 20′ — 44″	0° — 28′ — 59″ W	45	$10^h\ 40^m\ 46^s$
Almería..	36° — 51′ — 9″,07	2° — 27′ — 35″,18 W	196	$41^m\ 02^s$
Cartuja.....	37° — 10′ — 43″	3° — 47′ — 54″ E	261	20^s
Ebro (Tortosa)..	40° — 49′ — 14″	0° — 29′ — 38″ E	327	22^s
Toledo.....	39° — 51′ — 38″,5	4° — 1′ — 4″,01 W	337	28^s
Málaga.....	36° — 43′ — 39″	4° — 24′ — 40″ W	347	15^s
Argel.....	36° — 48′ — 4″	3° — 2′ E	372	56^s
Barcelona.....	41° — 25′ — 18″	2° — 7′ E	451	35^s
San Fernando...	36° — 27′ — 42″	6° — 12′ — 20″,1 W	505	$42^m\ 25^s$
Coimbra.....	40° — 12′ — 25″	8° — 25′ — 30″ W	695	$43^m\ 18^s$
Marsella.....	43° — 38′ — 19″	5° — 23′ — 38″ W	785	$43^m\ 25^s$
Moncalieri	44° — 59′ — 52″	7° — 41′ — 43″ E	1047	$42^m\ 40^s$
Besançon... ..	47° — 14′ — 59″	5° — 59′ — 15″ E	1162	$46^m\ 3^s$
Parc St Maur...	48° — 48′ — 34″	2° — 29′ — 37″ E	1223	$45^m\ 10^s$
Zürich.....	47° — 22′ — 7″	8° — 34′ — 50″ E	1287	e? $43^m\ 23^s$
Strassburg.....	48° — 35′ — 5″	7° — 45′ — 57″ E	1359	$46^m\ 30^s$
Uccle.....	50° — 47′ — 56″	4° — 21′ — 31″ E	1473	$46^m\ 4^s$
De Bilt.....	52° — 6′	5° 11′ E	1628	$48^m\ 19^s$
Hamburgo.....	55° — 33′ — 34″	9° — 58′ — 52″ E	1911	$50^m\ 45^s$
Helwan.....	29° — 51′ — 34″	31° — 20′ — 30″ E	3089	e $11^h\ 2^m$

CUADRO II

DATOS RELATIVOS A LAS SACUDIDAS 2.ª, 3.ª, 4.ª Y 5.ª ($10^h\ 56^m$, $11^h\ 59^m$ Y $14^h\ 22^m$ DEL 10 DE SEPTIEMBRE Y $0^h\ 38^m$ DEL DÍA 11).

ESTACIONES SISMOLOGICAS	Sacudida II Hora de P	Sacudida III Hora de P	Sacudida IV Hora de P	Sacudida V Hora de P
Alicante.....	$10^h\ 56^m\ 57^s$	$11^h\ 59^m\ 15^s$	$14^h\ 22^m\ 42^s$	$0^h\ 38^m\ 34^s$
Almería.....	$57^m\ 15^s$	$59^m\ 34^s$	$23^m\ 2^s$	$39^m\ 3^s$
Cartuja.....	$57^m\ 41^s$	$59^m\ 57^s$	$23^m\ 22^s$	$39^m\ 12^s$
Ebro (Tortosa)...	$57^m\ 33^s$	$59^m\ 49^s$	$23^m\ 22^s$	$39^m\ 24^s$
Toledo.....	$57^m\ 41^s$	$59^m\ 57^s$	$23^m\ 30^s$	$39^m\ 25^s$
Málaga.....	$57^m\ 37^s$	$59^m\ 59^s$	$23^m\ 30^s$	$39^m\ 25^s$
Barcelona.....	$57^m\ 50^s$	$12^h\ 1^m\ 24^s$	$24^m\ 22^s$	»
Argel.....	P $58^m\ 8^s$	»	»	»
Coimbra	eP $59^m\ 24^s$	eP $12^h\ 2^m\ 16^s$	$25^m\ 40^s$	»
Marsella	P $59^m\ 58^s$	»	»	»
Besançon.....	e? $11^h\ 1^m\ 58^s$	»	»	»
Parc St-Maur....	eP $11^h\ 1^m\ 26^s$	»	$28^m\ 42^s$	»
Strassburg	ev $11^h\ 0^m$ (40)	»	»	»
Uccle.....	eP $11^h\ 2^m,6$	»	e $14^h\ 29^m,9$	»
Helwan.....	»	e $12^h\ 10^m$	e $14^h\ 53^m$	»

II

Determinación de la profundidad hipocentral por el trazado de la curva dromocrónica

Para trazar la curva dromocrónica correspondiente a la primera sacudida marcaremos los puntos que tienen por abscisa la distancia epicentral, y por ordenada la hora de P registrada. La figura 1.ª presenta la posición de los puntos que se obtienen al utilizar los datos del cuadro I.

Observando la figura se advierte inmediatamente la gran imprecisión

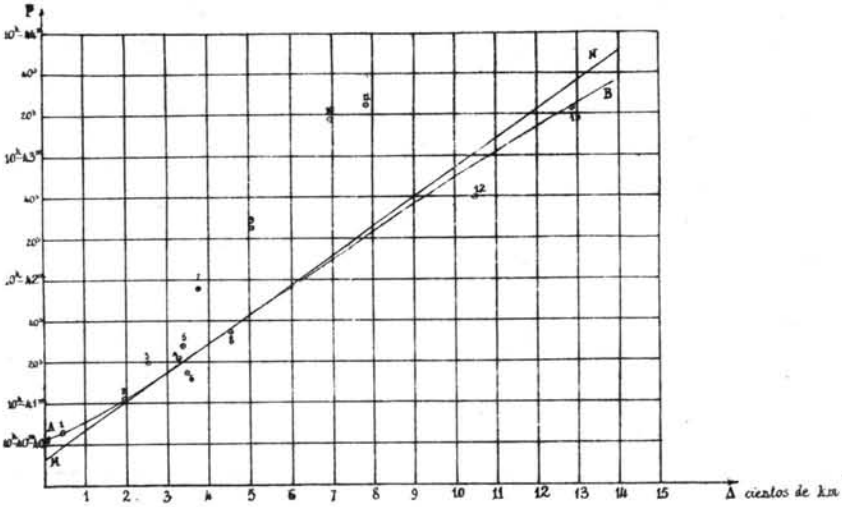

Fig. 1.—Curva dromocrónica correspondiente a las horas de P registradas en la 1.ª sacudida.

AB = Curva dromocrónica, MN = Recta dromocrónica.

Estaciones sismológicas: 1. Alicante, 2. Almería, 3. Cartuja, 4. Ebro, 5. Toledo, 6. Málaga, 7. Argel, 8. Barcelona, 9. San Fernando, 10. Coimbra, 11. Marsella, 12. Moncalieri, y 13. Zürich.

de los datos horarios y la dificultad del trazado de la curva dromocrónica, si ha de ajustarse a pasar muy próxima a todos los puntos. La curva que se ha representado pasa por los puntos correspondientes a las Estaciones de Alicante y Almería, las cuales son de extraordinaria importancia, por ser las más próximas al epicentro, y se adapta bastante bien a la posición de los Observatorios del Ebro (4), Barcelona (8) y Zürich (13).

La situación de las restantes Estaciones españolas muestra adelantos o retrasos de seis a diez segundos con relación a la curva dromocrónica. El Observatorio de San Fernando acusa un retraso de minuto y medio respecto a las horas registradas por las Estaciones españolas. Este extraordinario retraso de la hora de P llamó la atención del Rvdo. P. Sánchez Navarro Neumann, S. J., que en el trabajo ya citado (11), lo interpreta diciendo: «San Fernando parece haber comenzado su registro por las ondas lentas, por el gran retraso que muestra con relación a las demás Estaciones.»

En realidad, las consideraciones que estamos haciendo, basadas en el trazado de la curva dromocrónica, respecto a las horas del principio de las Estaciones españolas, se fundan en la condición de hacer pasar la curva por los puntos que corresponden a las dos más próximas al epicentro, que son Alicante (45 kilómetros) y Almería (196). En el caso de que las horas registradas por ambas Estaciones tuvieran algún error de importancia, la curva podría variar algo de situación y aproximarse más a las Estaciones de Cartuja (3) y Toledo (5). Más adelante emplearemos un procedimiento que permitirá juzgar del grado de precisión de los datos del registro instrumental y conocer el verdadero trazado de la curva dromocrónica, por lo cual no entraremos en detalles acerca de los adelantos o retrasos de las horas de P, que parecen deducirse del examen de la figura 1.ª

La posición de lós puntos correspondientes a las Estaciones sismológicas extranjeras acusa aún discrepancias más considerables. El retraso de la hora de P es en Coimbra de dos minutos; en Marsella, de tres y medio, y tan grande en los demás Observatorios, que la posición de éstos se sale de los límites del dibujo, aunque éste llega a las $10^h\ 45^m$, que, según la curva dromocrónica teórica, corresponde a la distancia epicentral de 2000 kilómetros, que es superior a la de todas las Estaciones aquí consideradas, a excepción, claro está, de la de Helwan (Egipto).

Para juzgar del grado de precisión de las horas de P que figuran en el cuadro I, observaremos que la Estación de Argel, más próxima al epicentro que Barcelona, registra, sin embargo, veintiún segundos después que esta última el principio del sismograma. Moncalieri lo registra treinta y ocho y cuarenta y cinco segundos, respectivamente, antes que Coimbra y Marsella, y su distancia epicentral de 1047 kilómetros excede en 352 y 262 a las de dichos Observatorios. Otro caso análogo ofrecen Besançon y Parc-St-Maur, que estando más próximos al epicentro que Zürich, registran el principio mucho después. El retraso es tan considerable que para Besançon vale dos minutos cuarenta segundos.

Otro medio de comprobar la extraordinaria discrepancia de las horas

de P que figuran en el cuadro I, es comparar la diferencia de éstas en dos Estaciones con la distancia que las separa. Por ejemplo, la distancia entre Strassburg y Zürich es de 170 kilómetros, y la diferencia entre las horas de P que registran sería máxima en el caso de que el movimiento sísmico se propagara en la dirección de la recta que une ambas Estaciones y con la velocidad de 5,5 kilómetros segundo, evidentemente inferior a la que tienen las ondas sísmicas en las capas superficiales de la corteza. Si se hace el cálculo, resultan 31 segundos, mientras que en el cuadro I Strassburg registra el principio 195 segundos después que Zürich. Como se ve, estos datos son contradictorios, y prueban que las dos horas registradas no corresponden a la misma fase.

La distancia entre Marsella y Besançon es de 427 kilómetros, cuyo recorrido requiere un intervalo menor que setenta y ocho segundos, en tanto que las horas registradas por ambas Estaciones difieren en más del doble, o sea en ciento cincuenta y ocho. Podríamos citar más ejemplos de discrepancias considerables de las horas de las Estaciones; mas basta lo expuesto para que se comprenda la falta de precisión de los datos horarios del sismo del bajo Segura.

Hemos de confesar que la mayor parte de los Observatorios extranjeros consideran muy incierto el principio del sismograma. Moncalieri, Coimbra, Marsella, Parc-St-Maur y Uccle, califican la fase de eP (emersión de la primera onda), las demás Estaciones, excepto Argel, lo indican como emersión, sin precisar que se trate de la fase inicial, y Zürich, aun dentro de esa imprecisión, lo califica de muy dudoso, pues pone: e?

Las horas del principio de las cuatro sacudidas siguientes, que registran algunos de los Observatorios extranjeros (véase el cuadro II), acusan aún discrepancias mayores que las de la primera, por lo cual hemos renunciado a trazar la curva dromocrónica.

En virtud de lo expuesto, las horas que parece han de dar mejor resultado en el cálculo de la profundidad hipocentral son las registradas por las Estaciones de Alicante, Almería, Ebro y Barcelona, pues la de Zürich no puede utilizarse por hallarse este Observatorio a la distancia epicentral de 1285 kilómetros, que excede del límite a que puede aplicarse nuestro procedimiento. La de Barcelona ejerce muy poca influencia, por ser su distancia epicentral mayor que 350 kilómetros, y las de Alicante y Almería desempeñan papel decisivo por estar muy próximas al foco.

Si en la figura 1.ª situamos la recta dromocrónica, de modo que quede tangente a la curva en su punto de inflexión, tendremos dos medios de hallar la profundidad hipocentral, según se ha explicado en el trabajo (1) que hemos citado tantas veces.

El primero se basa en el conocimiento de la hora inicial del sismo en el epicentro e hipocentro, que dan precisamente las intersecciones de la curva y recta dromocrónicas con el eje de los tiempos. Estas horas son en la figura 1.ª, respectivamente, $10^h\ 40^m\ 33^s$, y $10^h\ 40^m\ 43^s$. La diferencia de diez segundos que existe entre ambas es el tiempo que ha tardado el movimiento sísmico en recorrer la profundidad hipocentral; a la velocidad de 5,7 kilómetros segundo resulta una profundidad de 57 kilómetros, y a la de 5,58 kilómetros segundo, que es el valor medio de todos los que toma la velocidad en la capa exterior de la corteza terrestre, una de 56 kilómetros, que apenas difiere de la anterior.

El segundo medio se funda en la determinación de la distancia epicentral del punto de inflexión de la curva dromocrónica. En la figura 1.ª el trazado de esta curva resulta bastante incierto por la falta de datos precisos de observación. El punto de inflexión se halla en un segmento de la curva que se extiende desde los 300 a los 550 kilómetros de distancia epicentral. Si para el punto de inflexión tomamos 425 kilómetros que corresponde aproximadamente al punto medio de dicho segmento, resulta para profundidad hipocentral la de 57 kilómetros, según la tabla IV de nuestro trabajo (1), y esta cifra concuerda perfectamente con la obtenida por el primer procedimiento.

III

Determinación de la profundidad hipocentral por medio de las diferencias de horas de $\overline{P}$ registradas en cada dos estaciones sismológicas

Pasemos ahora al cálculo de la profundidad hipocentral basado en las horas del principio del sismograma. Utilizaremos primero los datos de las cuatro estaciones ya citadas: Alicante, Almería, Ebro y Barcelona.

Si, para empezar los tanteos, asignamos a la profundidad hipocentral el valor $h = 40$ km., hallamos para los tiempos de recorrido correspondientes a dichas cuatro Estaciones:

$$T_1 = 10^s,6 \qquad T_2 = 35^s,1 \qquad T_3 = 57^s,8 \qquad y \qquad T_4 = 79^s,4$$

Comparando las diferencias entre estas horas de recorrido

$$T_2 - T_1 = 24^s,5 \qquad T_3 - T_2 = 22^s,7 \qquad y \qquad T_4 - T_3 = 21^s,6$$

con las respectivas, entre las horas registradas, que son:

$$t_2 - t_1 = 16^s \qquad t_3 - t_2 = 20^s \qquad y \qquad t_4 - t_3 = 13^s$$

se halla para la suma de los cuadrados de las diferencias entre las de ambas series

$$[\Delta\Delta] = [(T_2 - T_1) - (t_2 - t_1)]^2 + [(T_3 - T_2) - (t_3 - t_2)]^2 + \\ + [(T_4 - T_3) - (t_4 - t_3]^2$$

el valor $[\Delta\Delta] = 153^s\ 50$, muy grande para que el de $h = 40$ pueda considerarse como bastante aproximado a la realidad.

Si damos ahora valores mayores a h, se obtienen los siguientes resultados:

Para $h = 60$ km., $[\Delta\Delta] = 125^s\ 49$, y para $h = 80$ km., $[\Delta\Delta] = 99^s\ 17$, que indican conviene seguir los tanteos con valores crecientes de h.

Dando a h los valores 140 y 155 km., se halla:

Para h = 140, $[\Delta\Delta] = 0^s 26$, y para h = 155, $[\Delta\Delta] = 0^s 34$, que indican una gran aproximación al valor más probable de h. Finalmente, dos tanteos entre estos dos últimos valores dan como resultado:

Para h = 145 km., $[\Delta\Delta] = 0^s 04$, y para h = 150, $[\Delta\Delta] = 0^s 08$, que muestran que el valor más plausible es el de 145 kilómetros.

Dos circunstancias saltan a la vista al examinar los resultados del cálculo precedente y son: 1.° la gran diferencia entre el valor obtenido por este procedimiento (h = 145 km.), y el de h = 57 km., que nos han dado los dos que se basaban en el trazado de la curva dromocrónica, y 2.°: el hecho de que a esta profundidad considerable, de más de 100 kilómetros, se rebasa el límite de 57 km., a que está la superficie de discontinuidad de la corteza terrestre, cuestión fundamental en el procedimiento que estamos empleando.

A nuestro juicio, la razón de estas discrepancias extremadas está en que los datos de las horas registradas, que hemos empleado, no tienen la precisión del segundo, que pudiera creerse, ya que se expresan en segundos en los boletines de las respectivas Estaciones sismológicas, y estas inexactitudes impiden que el cálculo de resultados tan concordantes como los obtenidos al aplicar el mismo procedimiento a los sismos de la Europa Central de 16 de noviembre de 1911 y de 20 de julio de 1913 (1).

En virtud de lo expuesto, y a causa de la inexactitud de las horas del principio del sismograma de las Estaciones de Alicante, Almería, Ebro y Barcelona, que por considerarlas en la gráfica las más aproximadas a la realidad, han servido de base al trazado de la curva dromocrónica, la forma de ésta no es la que corresponde a la profundidad hipocentral de unos 57 kilómetros, que hemos hallado precedentemente.

Sin perjuicio de estudiar más adelante lo que resulte de comparar la curva dromocrónica teórica, que corresponde a dicha profundidad, con la posición de los puntos que da la gráfica para cada una de las Estaciones sismológicas, veamos la influencia que pueden ejercer en el cálculo los errores de las horas registradas, y para ello empleemos otro procedimiento de determinación de la profundidad hipocentral.

Desde luego prescindiremos de las horas de P facilitadas por la Estación de Barcelona y otras más alejadas; pues encontrándose a distancia epicentral mayor que 450 kilómetros, no influyen de modo sensible en el cálculo de la profundidad hipocentral, según hemos demostrado en la Memoria tantas veces citada (1).

Nos limitaremos, pues, a considerar las horas de $\overline{P}$ registradas por los Observatorios de Alicante, Almería, Cartuja, Toledo, Ebro y Málaga, y, por de pronto, a utilizar solamente las de Alicante, Almería y Ebro, que

son las que en la gráfica han servido principalmente para el trazado de la curva dromocrónica (fig. 1).

Como en el sismo que estamos estudiando se conoce la posición del epicentro con bastante precisión, por el reconocimiento efectuado sobre el terreno, y se han calculado ya las distancias epicentrales de las distintas Estaciones, podemos aplicar el procedimiento de cálculo de la profundidad hipocentral, que hemos explicado en la citada Memoria (1), y que se basa en el conocimiento de las horas de dos Estaciones. La fórmula que da la profundidad hipocentral es la que tiene allí el núm. (61)

$$h = \sqrt{\left(\frac{\Delta_2^2 - \Delta_1^2 - v^2\tau^2}{2v\tau}\right)^2 - \Delta_1^2} \qquad (3)$$

en que Δ_1 y Δ_2 son las distancias epicentrales de las dos Estaciones consideradas, τ la diferencia de las horas de $\overline{P}$ por ellas registradas, y v la velocidad de las ondas sísmicas longitudinales, que supondremos igual a 5,7 km. seg., por las razones expuestas al explicar este procedimiento (1).

Si, como hemos dicho, empezamos por utilizar solamente las horas de las Estaciones de Alicante, Almería y Ebro, acoplando éstas de dos en dos, podremos hallar tres valores de la profundidad hipocentral.

Aplicando la fórmula (3) se encuentra el siguiente resultado:

1.°	Acoplando	Alicante y Almería....	h = 147,3 kilómetros.
2.°	—	Almería y Ebro.....	h = 143,6 —
3.°	—	Alicante y Ebro.....	h = 146,2 —

El promedio de estos tres valores, que es 145,7 km., coincide muy bien con el hallado precedentemente.

Para poder juzgar de los resultados que se obtendrían aplicando la fórmula (3) a las demás Estaciones, en un principio excluídas, de Cartuja, Toledo y Málaga, efectuemos los cálculos que resultan de acoplarlas de dos en dos, y se hallarán los siguientes valores:

1.°	Acoplando	Alicante y Cartuja...	h = 58,75 kilómetros.
2.°	—	Alicante y Toledo....	h = 103,7 —
3.°	—	Alicante y Málaga...	h = 271,3 —
4.°	—	Almería y Cartuja....	h = valor imaginario.
5.°	—	Almería y Toledo....	h = — —
6.°	—	Almería y Málaga....	h = 477,3 kilómetros.

7.°	Acoplando	Cartuja y Ebro....	h = 1676 kilómetros.
8.°	—	Cartuja y Toledo....	h = 397,5 —
9.°	—	Cartuja y Málaga...	No se puede calcular por ser mayor la hora de la Estación más próxima al epicentro.
10.°	—	Ebro y Toledo.....	Valor imaginario.
11.°	—	Ebro y Málaga.....	No se puede calcular por ser mayor la hora de la Estación más próxima.
12.°	—	Toledo y Málaga.....	

El examen de las cifras precedentes pone de manifiesto el grado de inexactitud de las horas comunicadas por algunos observatorios, que dan valores inadmisibles, como el de 1676 km., que resulta de acoplar los datos del Ebro y Cartuja, imaginarios en otros casos, como en las parejas de Estaciones: Almería-Cartuja, Almería-Toledo y Ebro-Toledo, y, por último, hacen imposible todo cálculo por haber registrado antes el principio del sismograma la estación más lejana de las dos consideradas, como ocurre en las combinaciones Cartuja-Málaga, Ebro-Málaga y Toledo-Málaga.

Además, las cifras más pequeñas del cuadro precedente, que pudieran admitirse para la profundidad hipocentral, no concuerdan entre sí, ni con las obtenidas anteriormente al considerar tan sólo los datos horarios de las Estaciones de Alicante, Almería y Ebro.

Es digno de notarse que el valor de 58,75 kilómetros, que coincide sensiblemente con el que da el trazado de la curva dromocrónica, resulta de acoplar las Estaciones de Alicante y Cartuja.

Los datos de Málaga acusan resultados muy desfavorables, pues en las combinaciones con Alicante y Almería se hallan los valores respectivos de 271,3 y 477,3 kilómetros, cifras demasiado elevadas, y en las demás parejas no se puede efectuar el cálculo por haber registrado Málaga el principio del sismograma antes que Cartuja, Ebro y Toledo, las cuales están más próximas al epicentro.

Hasta ahora, para calcular la profundidad hipocentral del sismo del bajo Segura, hemos utilizado los datos del registro instrumental de la primera sacudida, que se inició a las $10^h\ 40^m$. También pueden emplearse los datos horarios que inserta el cuadro II, correspondientes a las cuatro sacudidas siguientes, que ocurrieron respectivamente a las $10^h\ 56^m$, $11^h\ 59^m$ y $14^h\ 22^m$ del 10 de septiembre, y a las $0^h\ 38^m$ del día 11.

En la figura 2.ª se marca la posición de las Estaciones que resulta de tomar por abscisa la distancia epicentral y por ordenada la hora del principio de la sacudida. Se han utilizado únicamente los datos de las Esta-

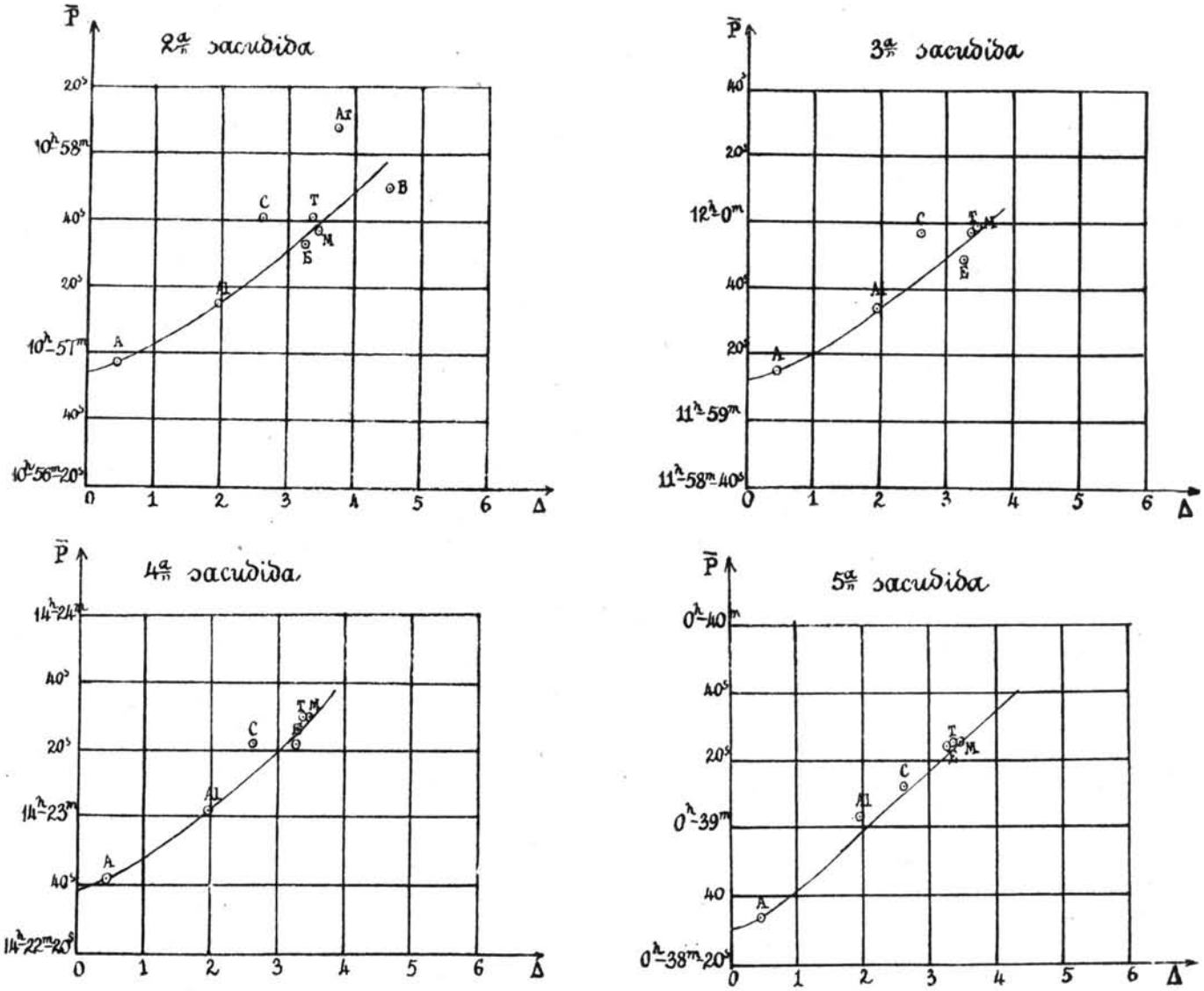

Fig. 2.—Curvas dromocrónicas correspondientes a las horas de $\overline{P}$ registradas en las sacudidas 2.ª, 3.ª, 4.ª y 5.ª

Estaciones sismológicas: A = Alicante, Al. = Almería, C = Cartuja, E = Ebro, T = Toledo, M = Málaga, Ar. = Argel, B = Barcelona.

ciones españolas, pues generalmente faltan los de las Estaciones extranjeras, y las que han registrado alguna sacudida dan puntos fuera de los límites del dibujo, a excepción de Argel y Coimbra, cuya posición se ha representado.

La simple inspección de la figura muestra la imposibilidad de un trazado seguro de la curva dromocrónica hasta su punto de inflexión, y la de situar la recta dromocrónica de modo que le sea tangente en dicho punto, como es necesario para la determinación de la profundidad hipocentral por el procedimiento que hemos aplicado a la primera sacudida.

En atención a esas dificultades, en la figura 2.ª se ha representado solamente la parte inicial de la curva dromocrónica hasta la distancia epicentral de unos 400 kilómetros. La forma general de esa parte de curva en la última sacudida difiere algo de las demás.

Examinando las curvas que representa la figura 2.ª, se advierte que la posición de las distintas Estaciones ofrece discrepancias del mismo orden que las observadas en la primera sacudida. La posición de los puntos correspondientes a las dos Estaciones más próximas al epicentro (Alicante y Almería), es de importancia decisiva en el trazado de la curva dromocrónica.

Una circunstancia muy digna de atención es que, a pesar de la incertidumbre en el trazado de dicha curva, el punto en que ésta corta al eje de los tiempos, o sea la hora del sismo en el epicentro, está determinada con gran precisión en todas las gráficas, y es igual a la hora registrada por Alicante, disminuida en tres segundos. Ya veremos más adelante el gran partido que se puede sacar de esta observación en el cálculo de la profundidad hipocentral.

Para juzgar ahora del grado relativo de precisión de las diversas sacudidas, advertiremos que si las suponemos que parten del mismo foco, lo que es racional, pues se han producido en un intervalo menor de veinticuatro horas, las diferencias de las horas de $\overline{P}$ registradas en dos Estaciones ha de ser la misma en todas las sacudidas.

Si combinamos, pues, de dos en dos las Estaciones sismológicas, y restamos las horas de $\overline{P}$ que registran para cada sacudida, podremos formar el cuadro siguiente:

CUADRO III

DIFERENCIAS, EN DOS ESTACIONES, DE LAS HORAS DE $\overline{P}$ CORRESPONDIENTES A LAS CINCO SACUDIDAS DEL SISMO DEL BAJO SEGURA

PAREJAS DE ESTACIONES	Sacudida I	Sacudida II	Sacudida III	Sacudida IV	Sacudida V
	Segundos				
Alicante-Almería	16	18	19	20	29
Alicante-Cartuja.....	34	44	42	40	38
Alicante-Ebro	36	38	34	40	50
Alicante-Toledo	42	44	42	48	51
Alicante-Málaga..... ..	29	40	44	48	29
Alicante-Barcelona.....	50	53	129	100	»
Almería-Cartuja.....	18	26	23	20	9
Almería-Ebro	20	18	15	20	21
Almería-Toledo.....	26	26	23	28	22
Almería-Málaga	13	22	25	28	22
Almería-Barcelona	33	35	50	80	»
Cartuja-Ebro.....	2	— 8	— 8	0	12
Cartuja-Toledo.....	8	0	0	8	13
Cartuja-Málaga.....	— 5	— 4	2	8	13
Cartuja-Barcelona	15	9	87	60	»
Ebro-Toledo	6	8	8	8	1
Ebro-Málaga.....	— 7	4	10	8	1
Ebro-Barcelona.....	13	17	95	60	»
Toledo-Málaga	—13	— 4	2	0	0
Toledo-Barcelona.....	7	9	87	52	»
Málaga-Barcelona.....	20	13	85	52	»

El examen detenido del cuadro precedente permite juzgar del grado de aproximación de las horas de $\overline{P}$, facilitadas por las distintas Estaciones. Los valores precedidos del signo —, en número de siete, corresponden a las parejas de Observatorios en que se da el caso inadmisible de que el más alejado del epicentro registre antes el principio de la sacudida. Como es natural, los datos de esas parejas de Estaciones no pueden servir para el cálculo de la profundidad hipocentral.

Las combinaciones a base de Barcelona dan diferencias muy discre-

pantes, especialmente en las sacudidas tercera y cuarta. De la quinta, dicho Observatorio no facilitó la hora del principio, sin duda por no aparecer en la gráfica claramente perceptible. Las discrepancias son tan considerables, que, para no citar más que un ejemplo, en la combinación Ebro-Barcelona las diferencias para las dos primeras sacudidas valen, respectivamente, trece y diez y siete segundos, y para la tercera y cuarta se elevan nada menos que a noventa y cinco y sesenta. Los errores son mayores que un minuto y deben atribuirse a los datos horarios de la Estación de Barcelona; pues las demás, al combinarse con otras, no ofrecen divergencias tan considerables. En virtud de lo expuesto, todas las parejas en que entre Barcelona habrán de excluirse, lo que afortunadamente no trae perjuicio, pues, según hemos dicho, por ser la distancia epicentral de Barcelona mayor que 350 kilómetros, sus datos no pueden ejercer influencia sensible en el cálculo de la profundidad hipocentral.

Las combinaciones en que entra Málaga son también muy deficientes; pues a más de ofrecer valores negativos, que son inadmisibles, presentan discrepancias tan extraordinarias en las cinco sacudidas, que no pueden servir de base para un cálculo preciso de la profundidad hipocentral. Las combinaciones más aceptables son las de Alicante-Málaga y Almería-Málaga, y, sin embargo, presentan discrepancias de quince segundos entre el menor y mayor valor de las diferencias de horas que corresponden a las cinco sacudidas.

Las de la última discrepan muchísimo de las de las otras cuatro sacudidas, a excepción de las primeras parejas de estaciones. Esto parece indicar que los datos de la última sacudida son inferiores en precisión a las de las otras cuatro, y, sin embargo, ya veremos que hay motivos fundados para creer lo contrario. En la combinación Ebro-Toledo, por ejemplo, las diferencias de $\overline{P}$ correspondientes a las cuatro primeras sacudidas son respectivamente: seis, ocho, ocho y ocho segundos, en tanto que la de la última es sólo de un segundo. No obstante esta discrepancia de valores y haberse obtenido tres veces la cifra ocho segundos, parécenos mejor la diferencia de un segundo que corresponde a la quinta sacudida, pues tratándose de dos Estaciones, cuyas distancias epicentrales son 327 y 337 kilómetros, la diferencia de 10 que hay entre ambas distancias no puede dar un intervalo mayor de dos segundos, ya que la velocidad de las ondas sísmicas longitudinales es de 5,7 km. seg. en las capas superficiales de la corteza terrestre.

En realidad, de atenernos a los valores que se insertan en el cuadro precedente, las combinaciones de Estaciones desde la de Almería-Barcelona hasta el final, debieran excluirse en el cálculo de la profundidad hi-

pocentral, por ofrecer discrepancias considerables en los valores de las diferencias de $\overline{P}$ que corresponden a las cinco sacudidas registradas.

No se crea, sin embargo, que las parejas de Estaciones que ofrecen pequeñas discrepancias sean siempre de mayor precisión. La aparente coincidencia puede ser debida a que los errores de $\overline{P}$ sean del mismo signo y casi iguales, y desaparezcan en gran parte al restar las dos horas registradas.

Como justificación de esto, vamos a estudiar las dos parejas de Estaciones Almería-Ebro y Almería-Toledo, en que la discrepancia entre el menor y mayor valor que da el cuadro para las cinco sacudidas, es la menor posible, y sólo vale seis segundos.

Si empezamos por la pareja Almería-Ebro, el cálculo por la fórmula (3) nos da los siguientes valores de la profundidad hipocentral:

1.ª sacudida Km.	2.ª sacudida Km.	3.ª sacudida Km.	4.ª sacudida Km.	5.ª sacudida Km.
h = 143,6	h = 201,1	h = 299,6	h = 143,6	h = 112,5

Como se ve, las cifras obtenidas discrepan bantante entre si, a excepción de las correspondientes a las sacudidas primera y cuarta, que son iguales, pues para ambas el valor de la diferencia de las horas de $\overline{P}$ es de veinte segundos. La menor profundidad hipocentral h = 112,5 kilómetros corresponde a los datos horarios de la última sacudida.

Calculando por la fórmula (3) el valor de la profundidad hipocentral tomando por diferencia de las horas de $\overline{P}$ el promedio de 18,8 segundos de los valores de las cinco sacudidas, se halla h = 179,8 kilómetros.

Vemos, pues, que una variación de seis segundos en el valor de la diferencia de las horas de $\overline{P}$ produce nada menos que una de 187 kilómetros en la profundidad hipocentral. Al pasar esa diferencia de veinte a veintiún segundos (o sea un aumento de un solo segundo), la profundidad hipocentral salta de 112,5 a 143,6; es decir, que varía en 31 kilómetros en números redondos. En el caso que estamos considerando precisa conocer la hora de $\overline{P}$ hasta la décima de segundo, si se quiere hallar la profundidad hipocentral con aproximación de unos 3 kilómetros.

La pareja de Estaciones Almería-Toledo, que ofrece la misma discrepancia que la anterior en la diferencia de las horas de $\overline{P}$, permite llegar a conclusiones más terminantes. La fórmula (3) da en las sacudidas primera, segunda y cuarta, un valor imaginario de h. En cambio, la segunda y quinta, cuyas diferencias de $\overline{P}$ son respectivamente veintitrés y veintidós

segundos, dan para h los valores de 147,5 y 102,1 kilómetros; es decir, que un aumento de dicha diferencia de un solo segundo produce en h una disminución de 45 kilómetros.

El conocimiento en esta pareja de Estaciones de las horas de $\overline{P}$ hasta la décima de segundo, sólo permite una aproximación de la profundidad hipocentral de 4 kilómetros y medio. Por último, el promedio de las horas de $\overline{P}$ en la pareja Almería-Toledo, da para h un valor imaginario.

De este estudio, así como del examen de la fórmula (3), se deduce que la profundidad hipocentral aumenta a medida que disminuye la diferencia de las horas de $\overline{P}$. En la pareja de Estaciones que estamos considerando, la profundidad nula corresponde a un valor de τ igual a 24,737 segundos. Todo el que le excede, por ejemplo, el del promedio $\tau = 25$, o los de las sacudidas primera, segunda y cuarta, que son, respectivamente, 26,26 y 28 segundos, no permiten calcular la profundidad hipocentral, pues ésta aparece bajo la forma de la raíz cuadrada de una cantidad negativa.

Estas consideraciones prueban la imposibilidad de obtener valores concordantes de la profundidad hipocentral por medio de la fórmula (3), y tomando los valores de τ que inserta el cuadro precedente. Dicha fórmula muestra una gran sensibilidad y requiere el conocimiento en décimas de segundo de la hora del principio del sismograma. Los datos horarios de que disponemos en el sismo del bajo Segura distan mucho de ofrecer tal exactitud, pues aunque los boletines de las Estaciones los expresen en segundos, acabamos de ver que presentan discrepancias de tres a cuatro segundos, muy frecuentemente, y en algunos casos de seis a diez. La eficacia del procedimiento desaparece a causa de la poca precisión de los datos horarios facilitados por las Estaciones sismológicas.

A continuación damos los resultados del cálculo de la profundidad hipocentral por la fórmula (3), utilizando los datos horarios de las cinco sacudidas en las parejas de Estaciones que ofrecen valores de τ más concordantes. Por las razones ya expuestas se han excluído las parejas a base de Barcelona y algunas otras en que los datos de observación ofrecen discrepancias extraordinarias, como puede apreciarse en el cuadro precedente.

CUADRO IV

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD HIPOCENTRAL APLICANDO LA FÓRMULA (3) A LOS DATOS HORARIOS DE LAS CINCO SACUDIDAS

PAREJAS DE ESTACIONES	1.ª sacudida	2.ª sacudida	3.ª sacudida	4.ª sacudida	5.ª sacudida
Alicante-Almería.....	147,3	117,7	104,7	92,6	imag.°
Alicante-Cartuja.....	58,75	imag.°	imag.°	imag.°	imag.°
Alicante-Ebro.....	146,2	126,2	168 1	106,9	imag.°
Alicante-Toledo.....	103,7	85,9	103,7	49,6	12,1
Alicante-Málaga.....	271,3	138,9	101,5	66,1	271,3
Almería-Cartuja.....	imag.°	imag.°	imag.°	imag.°	176,9
Almería-Ebro.....	143,6	204,1	299,6	143,6	112,5
Almería-Toledo.....	imag.°	imag.°	102,1	imag.°	147,5
Almería-Málaga.....	477,3	176,9	90,8	imag.°	176,9
Cartuja-Ebro.....	1676	imps.	impos.	infinito	imag.°
Cartuja-Toledo.....	397,5	infinito	infinito	397,5	67,5
Cartuja-Málaga.....	impos.	impos.	2273	485,3	178,1
Ebro-Toledo.....	imag.°	imag.°	imag.°	imag.°	479,0

El examen del cuadro IV muestra la extrema divergencia de los valores obtenidos para la profundidad hipocentral. Estos son imaginarios en gran número de casos, por ser mayor la diferencia τ de las horas registradas que el tiempo que se invertiría en recorrer la diferencia de distancias epicentrales de las Estaciones consideradas a la velocidad de 5,7 kilómetros segundo.

En otros casos, el cálculo no puede efectuarse, por ser τ negativa, y haber, por tanto, registrado antes el principio del sismo la Estación más alejada del epicentro.

En el cuadro IV se presenta también el caso de haber registrado dos Estaciones la misma hora para el principio del sismograma; la fórmula da entonces un valor infinito de h.

Si se consideran dos estaciones cualesquiera, y, por lo tanto, invariables sus distancias epicentrales, es fácil ver que la fórmula (3) da una profundidad tanto mayor cuanto menor es la diferencia τ de las horas de $\overline{P}$ registradas. Las cifras elevadas que inserta el cuadro IV, por ejemplo, en las parejas de Estaciones: Almería-Málaga, 477,3 km. (1.ª sacudida),

Cartuja-Ebro, 1676 km. (1.ª sac.), y Cartuja-Málaga, 2273 km. (3.ª sac.), son debidas a un adelanto relativo de las horas de $\overline{P}$ registradas.

En cambio, un retraso de ésta se traduce en el cálculo por una profundidad hipocentral demasiado pequeña, o imaginaria, en el caso de que ese retraso relativo dé para τ un valor mayor que el tiempo necesario para recorrer la diferencia de las distancias epicentrales a la velocidad de 5,7 kilómetros segundo.

Para sacar de los datos del cuadro III (pág. 24), los promedios de las diferencias τ de las parejas de Estaciones que permitan llevar a valores concordantes de la profundidad hipocentral, atenderemos, por una parte, al acuerdo mayor o menor que presenten esas diferencias τ tal como salen de los datos de observación, y, por otra, a los resultados del cuadro IV, que permiten juzgar qué valores de τ son por defecto, y cuales por exceso.

Si partimos del hecho de que las modernas investigaciones geofísicas tienden a probar que el espesor de la corteza terrestre es de unos 120 kilómetros, y que en su parte exterior, la zona de fractura, de unos 60 kilómetros de espesor, es donde tienen asiento las acciones que producen los fenómenos sísmicos, toda profundidad hipocentral que exceda de 100 kilómetros será improbable, y tanto menos aceptable cuanto mayor sea su valor, y, por el contrario, las que sean menores que 100 kilómetros, y especialmente, por debajo de 60, acusarán valores más probables de τ y preferibles a los que dan para h cifras muy elevadas.

En la pareja de Estaciones Alicante-Almería, los valores de τ de las dos primeras sacudidas (véase cuadro III), son las más deficientes, pues llevan a los valores de h: 147,3 y 117,7 kilómetros. Los datos correspondientes a las tres últimas sacudidas dan profundidades hipocentrales más pequeñas; los de la tercera y cuarta, 104,7 y 92,6 kilómetros, superiores a 60, no son probables y acusan valores de τ más pequeños que el verdadero, mientras que el resultado imaginario que da la última sacudida prueba que su valor de τ es por exceso. Si tomamos, pues, el promedio de valores de τ de las tres últimas sacudidas, los errores de observación, que son de signo contrario, se contrarrestarán mutuamente, y la cifra así obtenida $\tau = 22^s,7$, será mejor que el promedio de los valores de τ correspondientes a todas las sacudidas, ya que el de las dos primeras, al tomarse en cuenta, perjudicaría al promedio, pues se sabe que difiere mucho del valor verdadero.

En la pareja de Estaciones Alicante-Cartuja, el valor de h = 58,75 kilómetros que da la primera sacudida, es muy aceptable. En cambio, los valores de τ correspondientes a las sacudidas restantes (cuadro III) dis-

crepan mucho del de la primera, y todos son excesivos, pues llevan a resultados imaginarios en el cálculo de h. En virtud de esta consideración, lo más prudente será elegir para τ el valor de treinta y cuatro segundos observado en la primera sacudida y prescindir de los correspondientes a las demás. Como la primera sacudida del sismo del bajo Segura es una de las más caracterizadas, tenemos otra razón en favor de la elección que acabamos de aconsejar.

En la pareja de Estaciones Alicante-Ebro, se advierte que la cuarta sacudida da el valor más pequeño de la profundidad hipocentral, 106,9 kilómetros, que es aún excesivo, lo que indica que el valor de τ es menor que el verdadero. En cambio, el de la última sacudida es por exceso, pues lleva a uno imaginario de h. Debiendo, pues, estar el valor de τ comprendido entre cuarenta y cincuenta segundos, que son los que dan la cuarta y quinta sacudida, y siendo los de las tres primeras de 36,38 y 34 segundos, mucho menores que el verdadero, ya que éste excede de cuarenta segundos, parece lo más lógico tomar para valor de τ el promedio cuarenta y cinco segundos, de los dos registrados en la cuarta y quinta sacudidas, y prescindir de los datos de las tres primeras, que por ser muy pequeños no harían más que perjudicar seguramente el valor de dicho promedio.

En la pareja Alicante-Toledo el cuadro IV muestra que los mejores valores de la profundidad hipocentral corresponden a las sacudidas segunda, cuarta y quinta, en tanto que los datos horarios de las dos restantes son iguales a 42 segundos, discrepan bastante de los demás y dan valores de la profundidad hipocentral mayores que 100 kilómetros En vista de lo expuesto tomaremos como valor de τ el de 47,7 segundos, promedio de los tres: 44^s, 48^s y 51^s, que corresponden a dichas sacudidas segunda, cuarta y quinta.

En la pareja Alicante-Málaga los datos de observación discrepan mucho de una a otra sacudida: hay dos iguales a veintinueve segundos, que son los de la primera y última. A excepción del valor de τ de la cuarta sacudida, que da 66,1 kilómetros para la profundidad hipocentral, todos los demás son seguramente demasiado pequeños, pues dan resultados superiores a 100 y hasta 200 kilómetros. Si tomáramos promedios de los valores de τ, perjudicaríamos el de la cuarta sacudida, que es el más aproximado a la realidad, por lo cual tomaremos éste, como el mejor que puede elegirse en esta pareja de Estaciones.

Como en las combinaciones en que entra Barcelona se encuentran discrepancias de τ de más de un minuto, que indican errores considerables, prescindiremos de la pareja Alicante-Barcelona, tanto más cuanto que los datos horarios de Barcelona, por su gran distancia epicentral, no pueden

ejercer influencia sensible en el cálculo de la profundidad hipocentral.

En la pareja de Estaciones Almería-Cartuja, los valores de τ que inserta el cuadro III son tan discrepantes, y los resultados del cálculo de la profundidad hipocental (cuatro imaginarios y uno de 176,9 kilómetros) tan poco seguros, que lo más prudente es no considerar esta pareja, pues su intervención no haría más que reducir la precisión que se puede obtener combinando los datos de las demás.

En la pareja que sigue, Almeria-Ebro, todos los valores de la profundidad hipocentral (cuadro IV), son superiores a 100 kilómetros, y el más pequeño es el de la última sacudida, que da 112,5 kilómetros. Puede, pues, asegurarse que el mejor valor de τ es el de veintiún segundos, de la última sacudida; pero como los de la primera y cuarta son iguales a veinte segundos, y sólo difieren en uno del de la quinta, tomaremos el promedio $20^s,3$ de esos tres valores, ya que son concordantes, y en nuestro deseo de respetar lo más posible los datos registrados.

En la pareja Almería-Toledo los valores de la profundidad hipocentral son: tres imaginarios (sacudidas primera, segunda y cuarta), que corresponden a una diferencia τ mayor que la verdadera, y dos mayores que 100 kilómetros, que muestran una diferencia τ menor que la real. Para que se contrarresten los errores de observación, formaremos el promedio de dos valores de cada clase. y para ello no tendremos más que desechar de las tres diferencias τ, que dan valores imaginarios, la de la cuarta sacudida, que por ser la mayor de todas es la más inexacta: esa cifra de veintiocho segundos es, por otra parte, la que más discrepa del conjunto de valores de τ. De este modo resultará el valor $\tau = 24,25$ segundos, promedio de los cuatro citados (sacudidas primera, segunda, tercera y quinta).

En la pareja Almería-Málaga el valor de $\tau = 13$ segundos de la primera sacudida discrepa considerablemente de todas las demás, que son: 22^s, 25^s, 28^s y 22^s, y se muestran más concordantes. Como, por otra parte, dicho primer valor $\tau = 13$ segundos da la profundidad hipocentral $h = 477,3$ kilómetros, lo que prueba que aquélla es inaceptable y errónea por exceso, tomaremos el promedio de los valores correspondientes a las cuatro sacudidas restantes, como el más apropiado en este caso.

Las parejas que siguen en el cuadro III presentan discrepancias tan considerables en el valor de τ, que nos ha parecido lo más prudente prescindir de todas ellas, seguros de que, al tomarlas en cuenta, se resintiría la precisión del resultado del cálculo. Como cada pareja de Estaciones da un valor de la profundidad hipocentral, hallaremos ocho de h, que son suficientes para deducir uno bastante aproximado, por lo cual no resulta nin-

gún inconveniente en excluir esas parejas de Estaciones, cuyos datos de observación son menos precisos, y, en algunas sacudidas, inaceptables de todo punto.

Acaso parezca algo extraño el procedimiento que hemos seguido para elegir en cada pareja de Estaciones el valor de τ que ha de substituirse en la fórmula (3) para hallar la profundidad hipocentral; pero, si bien se mira, se reconocerá que ninguno otro había a nuestra disposición, ya que el combinar por igual todos los datos de observación llevaba a resultados tan discrepantes como los que se consignan en el cuadro IV.

En lugar de esto nos hemos basado en las conclusiones de la moderna geofísica, que atribuye a los sismos una profundidad focal inferior a 100 kilómetros, para tener un criterio que nos sirviera de guía al juzgar los datos horarios de observación, por los resultados que daban en el cálculo de la profundidad hipocentral. El empleo de la fórmula (3) nos ha mostrado qué valores de τ debían considerarse por exceso y cuáles por defecto, lo que ha permitido tomar promedios en que los errores de signo contrario tendían a destruirse mutuamente, con evidente beneficio de la precisión del valor de τ que se elegía como definitivo en cada pareja de Estaciones.

Siempre que los datos horarios de las sacudidas eran bastante concordantes nos hemos apresurado a formar su promedio y a tomarlo como valor definitivo. Cuando las observaciones presentaban discrepancias considerables, hemos examinado qué valores eran los más defectuosos para excluirlos del conjunto y tomar el promedio de los restantes, procurando que entre éstos los hubiera de signo contrario, a ser posible en número igual, para que se destruyeran en gran parte al combinar las observaciones para hallar dicho promedio.

No disponiendo de las gráficas originales para poder atribuir distinta precisión a las horas registradas y evaluar el peso que corresponde a cada una, el procedimiento más racional era atenernos, como lo hemos hecho, a los resultados de la fórmula (3), para juzgar en qué sentido eran erróneos los datos horarios y cómo podían combinarse los de cada sacudida para formar el promedio que había de llevarnos al valor más aceptable.

Si, además, se tiene en cuenta que hemos respetado los datos de observación, tomando los de las sacudidas que ofrecían mejores garantías de precisión, o los promedios de aquellos valores que en el conjunto aparecían más concordantes entre sí, se reconocerá que hemos huído de toda arbitrariedad al elegir los valores definitivos de τ en cada pareja de Estaciones.

Como resumen de lo expuesto se inserta a continuación el cuadro de

valores de τ, que resulta de formar en cada pareja de Estaciones el promedio correspondiente a las sacudidas que ofrecen mejores condiciones, como se ha justificado en las páginas que preceden.

CUADRO V

DIFERENCIAS ENTRE LAS HORAS DE $\overline{P}$ QUE CORRESPONDEN A LAS PAREJAS DE ESTACIONES ELEGIDAS PARA EL CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD HIPOCENTRAL

Alicante-Almería	22,7	segundos.
Alicante-Cartuja	34	—
Alicante-Ebro	45	—
Alicante-Toledo	47,7	—
Alicante-Málaga	48	—
Almería-Ebro	20,3	—
Almería-Toledo	24,25	—
Almería-Málaga	24,3	—

La diferencia de horas de $\overline{P}$ entre Ebro y Almería, que según nos muestra el cuadro precedente es de 20,3 segundos, puede obtenerse también restando las diferencias de las parejas Alicante-Ebro y Alicante-Almería, lo que nos da el valor 22,3 que difiere en dos segundos del anterior. De igual modo, la diferencia de horas de $\overline{P}$ correspondiente a Almería-Toledo, que es en el cuadro V de 24,25 segundos, puede obtenerse restando las de Alicante-Toledo y Alicante-Almería, que según los datos del mismo cuadro da veinticinco segundos, que difiere en 0,75 de la anterior. Por último, la diferencia de horas de $\overline{P}$ entre Almería y Málaga, que es en el cuadro V de 24,3 segundos, puede hallarse restando las de Alicante-Málaga y Alicante-Almería, lo que nos da 25,3, que difiere en un segundo de la primera. Estos valores concordantes, obtenidos para dichas diferencias, prueban que los datos del cuadro V son aceptables y pueden utilizarse en el cálculo de la profundidad hipocentral por medio de la fórmula (3). Efectuando el cálculo se obtienen los resultados que se consignan en el siguiente

CUADRO VI

VALORES DE LA PROFUNDIDAD HIPOCENTRAL QUE SE OBTIENEN AL APLICAR LA FÓRMULA (3) A LAS DIFERENCIAS DE LAS HORAS DE $\overline{P}$ QUE SE CONSIGNAN EN EL CUADRO V

Alicante-Almería..... ...	h = 61,1	kilómetros.
Alicante-Cartuja..... .	h = 58,75	—
Alicante-Ebro.....	h = 61,5	—
Alicante-Toledo.....	h = 52,6	—
Alicante-Málaga.....	h = 66,1	—
Almería-Ebro.....	h = 135,0	—
Almería-Toledo.....	h = 52,1	—
Almeria-Málaga.....	h = 113,9	—

Examinando los valores del cuadro precedente se advierte que están en muy buen acuerdo, a excepción de dos mayores que 100 kilómetros, que corresponden a las parejas de Estaciones Almería-Ebro y Almería-Málaga. Los seis valores restantes varían entre 52 y 66 kilómetros, resultados muy concordantes si se tiene en cuenta que la fórmula (3) es muy sensible a un pequeño error en las diferencias de horas de $\overline{P}$, y que sólo conociendo estas diferencias hasta la décima de segundo, se puede llegar a una precisión de 4 a 5 kilómetros en el valor de la profundidad hipocentral. Como desgraciadamente los datos horarios de que disponemos en el terremoto del bajo Segura no dan ni la exactitud de un par de segundos, pues como hemos visto hay valores que discrepan de una a otra sacudida en diez y hasta en veinte segundos, el resultado que se acaba de obtener (seis valores de la profundidad hipocentral, cuya discrepancia máxima es de 14 kilómetros) es sorprendente por su precisión y confirma la validez del criterio que hemos seguido al elegir la diferencia definitiva de horas de $\overline{P}$ correspondiente a cada pareja de estaciones.

Si se forma el promedio de los ocho valores del cuadro VI se obtiene para la profundidad hipocentral el de 75,1 kilómetros, y si se prescinde de los dos valores correspondientes a las parejas de Estaciones Almería-Ebro y Almería Málaga, que por ser superiores a 100 kilómetros no son probables, se obtiene como promedio h = 58,7 kilómetros, que casi coincide con el que da el trazado de la curva dromocrónica, ya que una diferencia de un par de kilómetros es inevitable, cuando no se dispone de datos horarios exactos a la décima de segundo.

Este valor de la profundidad hipocentral de unos 57 a 58 kilómetros,

que se ha hallado por tercera vez en el presente trabajo, es el más aproximado que puede obtenerse, dada la imprecisión de los datos horarios de que disponemos en este caso, y, para juzgar del grado de aproximación que pueda tener, vamos a seguir un nuevo procedimiento de cálculo de la profundidad hipocentral, que se basa en el conocimiento de la hora del sismo en el epicentro.

IV

Determinación de la profundidad hipocentral por medio de las horas de las sacudidas en el epicentro

Si se conoce la hora epicentral del sismo, podremos hacer aplicación de la fórmula (3), suponiendo que la primera Estación esté situada en el mismo epicentro, y, por tanto, que su distancia epicentral sea nula. Haciendo, pues, en (3) $\Delta_1 = 0$ se convierte en

$$h = \frac{\Delta^2 - v^2\tau^2}{2v\tau} \tag{4}$$

donde Δ representa la distancia epicentral de la única Estación que ahora se considera, τ la diferencia entre la hora de $\overline{P}$ registrada en esa Estación y la epicentral, y v la velocidad de las ondas sísmicas longitudinales, que, como siempre, suponemos igual a 5,7 km. seg.

Determinada ya la fórmula (4) que sirve en este caso, cada Estación en que se haya registrado la hora de $\overline{P}$ nos dará un valor de la profundidad hipocentral, y para aplicar el procedimiento no habrá más que hallar la hora inicial del sismo en el epicentro.

En el caso que estamos estudiando carecemos de observación directa, que nos dé la hora del sismo en el epicentro; las horas que han facilitado los boletines de información de los diversos pueblos no ofrecen precisión alguna, pues los principios de las sacudidas se dan con errores de algunos minutos, y a veces llegan y aun exceden de un cuarto de hora. De aquí resulta que, para determinar la hora epicentral del sismo, hay que recurrir a los datos registrados en las Estaciones sismológicas.

Si se examinan las curvas dromocrónicas de las cinco sacudidas del sismo del bajo Segura (figs. 1 y 2), se advierte que la hora del sismo en el epicentro, dada por la intersección de dicha curva con el eje de los tiempos, se determina en todas las figuras con gran exactitud, y es igual a la hora registrada en Alicante (la Estación más próxima al epicentro) disminuída en tres segundos. El error que puede resultar en esta evaluación no excede de medio segundo. En atención a tan sorprendente coincidencia,

podemos considerar como hora epicentral la que resulta de restarle a la de $\overline{P}$ en Alicante tres segundos.

Para hallar otro valor de la hora epicentral podemos valernos de los datos consignados en el cuadro V. Sabemos que las diferencias de horas de $\overline{P}$ que en él se insertan han resultado de formar los promedios correspondientes a las cinco sacudidas, y teniendo en cuenta los valores más plausibles. El número de parejas de Estaciones que figura en el cuadro V excede al que es puramente necesario para determinar una sola vez las diferencias de hora de $\overline{P}$ entre dos cualesquiera de las Estaciones que se acoplan por parejas. Esta superabundancia de datos horarios nos ha servido para hallar dos valores de las diferencias de $\overline{P}$ correspondientes a las parejas de Estaciones: Almería-Ebro, Almería-Toledo y Almería-Málaga, y comprobar la pequeña discrepancia resultante, que, en el caso más desfavorable, sólo llega a dos segundos.

Como en el cálculo que vamos a hacer las dos Estaciones más importantes son las más próximas al epicentro, Alicante y Almería, aprovecharemos la superabundancia de datos que nos ofrece el cuadro V para obtener, a más del valor que en él figura, otros tres de las diferencias de horas de $\overline{P}$ en las Estaciones de Almería y Alicante. Para ello no habrá más que restar los valores que da el cuadro: 1.° para las parejas de Estaciones Alicante-Ebro y Almería-Ebro, 2.° Alicante-Toledo y Almería-Toledo, y 3.° Alicante-Málaga y Almería-Málaga. Se obtienen de este modo para la diferencia de horas de $\overline{P}$ en Almería y Alicante los tres valores: 24,7 segundos, 23,45 y 23,7 respectivamente, que, como se ve, discrepan muy poco del de 22,7 que da el cuadro V, ya que la diferencia máxima es sólo de dos segundos. Si formamos el promedio de estos cuatro valores se halla el de 23,6 segundos, que consideraremos como valor definitivo de la diferencia de horas de $\overline{P}$ en Almería y Alicante. Completando esta diferencia con las que da el cuadro V para todas las parejas de Estaciones en que entra Alicante, se obtiene el siguiente:

CUADRO VII

DIFERENCIAS ENTRE LAS HORAS DE $\overline{P}$ QUE CORRESPONDEN A LAS PAREJAS DE ESTACIONES EN QUE ENTRA LA DE ALICANTE

Alicante-Almería	23,6	segundos.
Alicante-Cartuja	34	—
Alicante-Ebro	45	—
Alicante-Toledo	47,7	—
Alicante-Málaga	48	—

Conocidas las diferencias de horas de $\bar{P}$, para hallar ahora el valor de $\bar{P}$ en cada Estación, bastaría partir del que tiene en una cualquiera de ellas y combinarlo con dichas diferencias. En realidad, no hay motivo alguno para que podamos considerar la hora de $\bar{P}$ de una cierta Estación como más fidedigna o segura que la de las demás, pues desconocemos la precisión relativa de los datos horarios; mas precisamente por no haber indicio alguno que autorice a elegir una de las Estaciones, como de más garantía que las restantes, tomaremos la hora de P registrada en Alicante como base de nuestra investigación, pues estando dicha Estación a la distancia epicentral de 45 kilómetros, es natural suponer que la gráfica en ella registrada sea la que se preste a más segura interpretación del principio $\bar{P}$ del sismograma, único dato que hemos de utilizar en el presente trabajo.

Si nos referimos, por ejemplo, a la primera sacudida, ya que los valores del cuadro VII han tomado por base los promedios de $\bar{P}$ correspondientes a las cinco sacudidas que ofrecían más garantías de exactitud, podremos formar el siguiente cuadro de valores de $\bar{P}$ de las diversas Estaciones sismológicas:

CUADRO VIII

HORAS DE $\bar{P}$ CORRESPONDIENTES AL PRIMER SISMOGRAMA

Alicante	$10^h\ 40^m\ 46^s$
Almería	$41^m\ 9^s,6$
Cartuja	$41^m\ 20^s$
Ebro	$41^m\ 31^s$
Toledo	$41^m\ 33^s,7$
Málaga	$41^m\ 34^s$

Si con sujeción a estos datos se construye la curva dromocrónica correspondiente a esa sacudida primera, se obtiene la fig. 3.ª, y el punto donde la curva corta al eje de los tiempos nos da para hora de $\bar{P}$ en el epicentro $10^h\ 40^m\ 42^s$, que difiere de la de Alicante en cuatro segundos. Hemos visto que, partiendo del trazado de las curvas dromocrónicas (figuras 1 y 2), que corresponden a las horas de $\bar{P}$ registradas por las diversas Estaciones en las cinco sacudidas, se obtenía la hora de $\bar{P}$ en el epicentro restando de la de Alicante tres segundos, y como por la curva de la figura 3.ª resulta la hora de dicha Estación disminuída en cuatro segundos, podemos deducir que ambos valores sólo discrepan en un segundo y son

muy aceptables, dada la poca precisión de los datos horarios en este sismo.

Claro está que, si para hallar la hora epicentral de $\overline{P}$ restamos de la

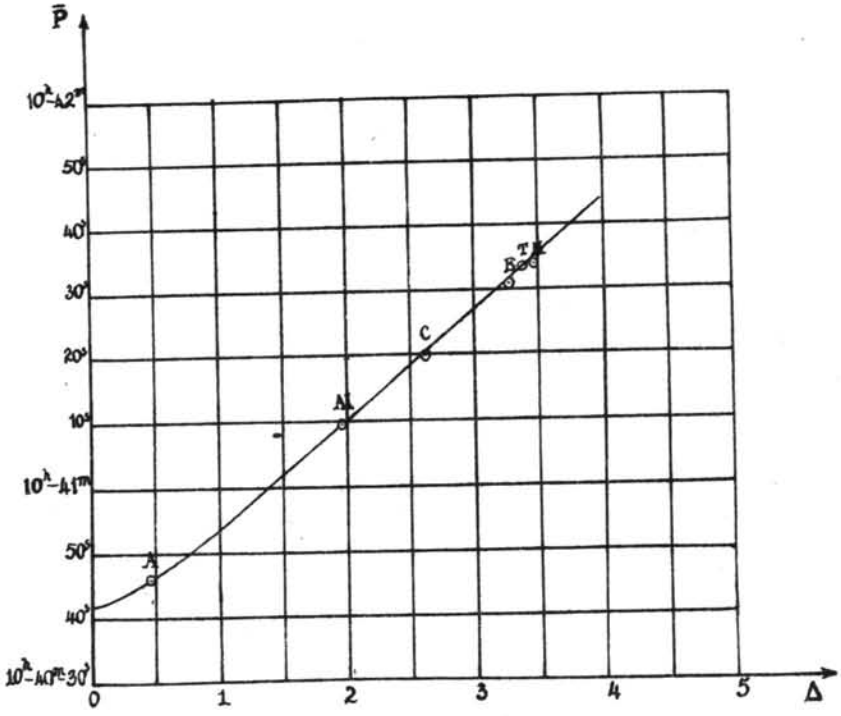

Fig. 3.—Curva dromocrónica correspondiente a las horas de $\overline{P}$ que se insertan en el cuadro VIII.

Estaciones sismológicas: A = Alicante, Al. = Almería, C = Cartuja, E = Ebro, T = Toledo, y M = Málaga.

hora registrada por Alicante en cada sacudida los tres o cuatro segundos dichos, el resultado obtenido vendrá afectado del error que tenga la hora dada por dicha Estación. En realidad, no podremos asegurar que la hora epicentral así obtenida sea la verdadera; pero, aun siendo errónea, podremos hallar la profundidad hipocentral por medio de la fórmula (4), pues ese error no tendrá influencia alguna, ya que en la (4) no entra la hora epicentral de $\overline{P}$, sino su diferencia con la registrada en las demás Estaciones. En virtud de lo dicho, para proceder al cálculo de la profundidad hipocentral por la fórmula (4) nos referiremos a la primera sacudida, y tomaremos como hora epicentral la de $10^h\ 40^m\ 43^s$, ó la de $10^h\ 40^m\ 42^s$, según restemos de la registrada en Alicante, que es $10^h\ 40^m\ 46^s$, los tres

o cuatro segundos que hemos obtenido precedentemente, valiéndonos de las curvas dromocrónicas que resultan de las horas registradas por las diversas Estaciones y que se consignan en los cuadros I y II, o bien las que da el VIII, que se ha formado al tomar valores medios.

Antes de empezar el cálculo de la profundidad hipocentral por la fórmula (4), tratemos de hallar otro valor de la hora epicentral. Para ello utilizaremos la fórmula siguiente:

$$O = P - 0{,}13\,\Delta \text{ segundos.} \qquad (5)$$

en la que O expresa la hora epicentral del sismo, P la registrada en una cierta Estación, y Δ la distancia de ésta al epicentro, expresada en kilómetros. Esta fórmula ha sido obtenida por el Revdo. P. Sánchez-Navarro Neumann, S. J., en un trabajo presentado en la sesión de 9 de mayo de 1917 al Congreso celebrado en Sevilla por la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias y titulado *Contribución al estudio de las ondas sísmicas*. Para deducir dicha fórmula (5) se han utilizado los datos horarios del terrible terremoto de Avezzano (Italia), del 13 de enero de 1915, registrados por las Estaciones sismológicas de Barcelona, Cartuja, Ebro, Toledo, San Fernando, Shide (Isla de Wight) y Eskdalemuir (Langholm), situadas a distancia epicentral menor de 2000 kilómetros y otras más distantes, que son las de Zi-ka-wei (Chang-hai), Manila, La Paz y Riverview (Sydney).

Si aplicamos la fórmula (5) a las horas de $\overline{P}$ del cuadro VIII y tomamos las distancias epicentrales que se consignan en el I, se halla el siguiente resultado:

CUADRO IX

HORA EPICENTRAL QUE SE OBTIENE AL APLICAR LA FÓRMULA (5) A LAS DISTINTAS ESTACIONES

Alicante	$10^h\ 40^m\ 40^s{,}2$
Almería	$44^s{,}1$
Cartuja	$46^s{,}1$
Ebro	$48^s{,}5$
Toledo	$50^s{,}1$
Málaga	$48^s{,}9$

Observando los valores del cuadro precedente, se advierte que presentan discrepancias considerables, que llegan casi a diez segundos. Las cuatro últimas horas son mayores que la hora del principio del sismogra-

ma registrada en la Estación de Alicante, lo que es absurdo, pues distando dicha Estación 45 kilómetros del epicentro, la hora en ella de $\bar{P}$ debe ser posterior al principio del sismo en dicho punto.

Si se halla el promedio de esos seis valores se obtiene para hora epicentral $10^h\ 40^m\ 46^s,3$, la cual excede también a la registrada en Alicante, por lo cual no podemos emplearla en el cálculo, que vamos a efectuar, de la profundidad hipocentral.

En el artículo publicado por el P. Sánchez-Navarro Neumann, S. J., con el título *Los terremotos sentidos en las provincias de Alicante y Murcia en septiembre de 1919,* en la revista de la Sociedad Astronómica de España y América (núm. 69, noviembre y diciembre de 1919), aplica su fórmula (5) a la determinación de la hora epicentral, basándose en la registrada por la Estación de Cartuja para la primera sacudida, que es la misma que se inserta en el cuadro VIII, y halla para hora epicentral $10^h\ 40^m\ 42^s$, la cual coincide con una de las que hemos obtenido, basándonos en el trazado de la curva dromocrónica (fig. 3); pero esta aparente coincidencia es debida a que en el artículo mencionado se supone el epicentro del sismo en Dolores (Alicante), lo que da para Cartuja la distancia epicentral de 294 kilómetros, en lugar de los 261 de que nos valemos en el presente trabajo.

Los resultados poco satisfactorios de la fórmula (5) se manifiestan en dicho artículo, pues se acusan discrepancias en uno u otro sentido, que llegan a ser de 6 segundos para la Estación de Almería, que es una de las más próximas al epicentro.

En nuestro concepto, para distancias epicentrales pequeñas, como las que se presentan en el sismo del bajo Segura (la de Alicante es sólo de 45 kilómetros), no se puede despreciar la profundidad hipocentral, y, por lo tanto, resulta imposible hallar una fórmula que dé bastante aproximación en función sólo de la distancia epicentral.

La relación que liga la hora epicentral O con la P de una estación situada a la distancia epicentral Δ es

$$O = P - \frac{\sqrt{\Delta^2 + h^2} - h}{v} \qquad (6)$$

que sale inmediatamente del triángulo rectángulo cuyos vértices son el foco, el epicentro y la estación considerada, en el supuesto de una propagación rectilínea a la velocidad v.

Si despreciamos la profundidad hipocentral, por ser muy pequeña con relación a la distancia epicentral, y hacemos $v = 5{,}7$ km. seg., la fórmu-

la (6) se convierte en

$$O = P - 0{,}175\,\Delta \qquad (7)$$

que da un valor siempre mayor que el que corresponde a la verdadera diferencia de horas de P en el epicentro y en la Estación considerada, ya que O — P en (7) es el tiempo que el movimiento sísmico tarda en recorrer la distancia epicentral, y ésta es siempre mayor que la diferencia de las dos distancias del foco al epicentro y a la Estación.

Realmente, para estudios como el del sismo del bajo Segura, no se puede despreciar la profundidad hipocentral, pues si admitimos para ésta el valor en números redondos de 60 kilómetros, resulta mayor que la distancia epicentral de Alicante, que es de 45, y una tercera parte de la de Almería (196).

Si suponemos que la profundidad hipocentral es menor que la distancia epicentral de las estaciones consideradas, la fórmula (6) desarrollando en serie

$$\sqrt{\Delta^2 + h^2}$$

se transforma en la siguiente:

$$O = P - \frac{(\Delta - h)}{v} - \frac{1}{2v}\frac{h^2}{\Delta} + \frac{1}{8v}\frac{h^4}{\Delta^3} - \frac{1}{16v}\frac{h^6}{\Delta^5} + \frac{5}{108v}\frac{h^8}{\Delta^7} - \cdots \qquad (8)$$

y despreciando por su pequeñez los términos en $\frac{h^4}{\Delta^3}, \frac{h^6}{\Delta^5}, \ldots$

$$O = P - 0{,}175\,(\Delta - h) - 0{,}087\,\frac{h^2}{\Delta} \qquad (9)$$

desarrollo en que se acusa la influencia de h.

Si, por el contrario, la distancia epicentral fuera menor que h, como ocurre en el caso del sismo del bajo Segura para la Estación de Alicante, transformaríamos la fórmula (7) desarrollando en serie

$$\sqrt{h^2 + \Delta^2}$$

y se hallaría la expresión

$$O = P - \frac{1}{2v}\frac{\Delta^2}{h} + \frac{1}{8v}\frac{\Delta^4}{h^3} - \frac{1}{16v}\frac{\Delta^6}{h^5} + \frac{5}{108v}\frac{\Delta^8}{h^7} - \ldots \qquad (10)$$

y despreciando los términos en $\frac{\Delta^4}{h^3}, \frac{\Delta^6}{h^5}, \ldots$

$$O = P - 087\,\frac{\Delta^2}{h} \qquad (11)$$

Si tomamos h = 57 kilómetros y aplicamos la fórmula (11) a la Estación de Alicante, cuya distancia epicentral es $\Delta = 45$ kilómetros, y $P = 10^h\ 40^m\ 46^s$, se halla para la hora en el epicentro $O = 10^h\ 40^m\ 42^s,9$.

Si se aplica la fórmula (9) a las demás estaciones, en el mismo supuesto de h = 57, se hallan para la hora en el epicentro los siguientes valores:

Almería	$10^h\ 40^m\ 43^s,7$
Cartuja	$43^s,1$
Ebro	$42^s,7$
Toledo	$43^s,8$
Málaga	$42^s,3$

Los valores que acaban de obtenerse no pueden ser más concordantes: la discrepancia máxima no es más que de segundo y medio. Si se halla el promedio de los seis valores que acaban de calcularse, resulta para la hora epicentral: $10^h\ 40^m\ 43^s,1$, que apenas difiere de las dos que hemos hallado valiéndonos del trazado de las curvas dromocrónicas. Claro está que este ultimo valor de la hora epicentral: $10^h\ 40^m\ 43^s,1$, ha resultado de suponer h = 57 kilómetros, y como nuestro objeto es hallar precisamente la profundidad hipocentral, basándonos en la hora epicentral, no podemos utilizar dicho valor, que resulta de aplicar las fórmulas (9) y (11).

De todo lo expuesto precedentemente resulta que los dos valores de la hora epicentral de la primera sacudida de que podemos disponer son:

$$10^h\ 40^m\ 43^s \qquad \text{y} \qquad 10^h\ 40^m\ 42^s$$

Si por medio de estos valores de la hora epicentral, hallamos las diferencias de las horas de $\overline{P}$ en el epicentro y en la Estación considerada, utilizando los datos del cuadro VIII, la fórmula (4) nos da entonces los siguientes valores de la profundidad hipocentral.

CUADRO X

VALORES DE LA PROFUNDIDAD HIPOCENTRAL QUE RESULTAN DE TOMAR COMO HORA EN EL EPICENTRO $10^h\ 40^m\ 43^s$

Alicante	h = 50,7	kilómetros.
Almeria	h = 50,.	—
Cartuja	h = 56,1	—
Ebro	h = 58,6	—
Toledo	h = 52,0	—
Málaga	h = 61,8	—
Promedio	h = 55,0	—

CUADRO XI

VALORES DE LA PROFUNDIDAD HIPOCENTRAL QUE RESULTAN DE TOMAR COMO HORA EN EL EPICENTRO $10^h\ 40^m\ 42^s$

Alicante	h = 33,0	kilómetros.
Almería	h = 43,4	—
Cartuja	h = 49,0	—
Ebro	h = 52,0	—
Toledo	h = 45,3	—
Málaga	h = 54,9	—
Promedio	h = 46,3	—

Examinando los valores de los dos cuadros precedentes, se advierte que los del primero son mayores que los del segundo; pues, al ser mayor la hora epicentral, las diferencias que intervienen en la fórmula (4) son más pequeñas, lo que aumenta, según sabemos, la profundidad hipocentral. Dentro de cada cuadro los valores de la profundidad hipocentral van aumentando con la distancia al epicentro de la estación considerada.

Los valores que resultan de tomar el promedio en cada serie son 55,0 y 46,3 kilómetros, que no discrepan mucho entre sí, pues ya hemos visto en el párrafo III, pág. 26 y 27, que un error de una décima de segundo en las diferencias de $\overline{P}$ registradas en dos estaciones, podía producir uno de 4 a 5 kilómetros en la determinación de la profundidad hipocentral, y en el sismo que estamos estudiando los datos horarios no ofrecen ni aun la apreciación del segundo.

Combinando estos dos valores h = 55 km. y h = 46,3, con los dos de 57 km. obtenidos por medio del trazado de la curva dromocrónica, y el de 58,7 que ha dado la fórmula (3) (pág. 34), se obtiene como promedio h = 54,8 km., para la profundidad hipocentral del sismo del bajo Segura. Como quiera que la precisión de los datos horarios de que disponemos no permite ni aun responder de la exactitud al kilómetro, tomaremos en números redondos h = 55 km. como valor más plausible de la profundidad hipocentral, y lo utilizaremos como resultado definivo en la parte que sigue de nuestro trabajo.

V

Cálculo de la hora inicial, de las cinco sacudidas, en el foco y en el epicentro

Conocida ya la profundidad hipocentral h = 55 kilómetros, se puede determinar la distancia del foco a cada una de las estaciones sismológicas, que no es otra cosa que la hipotenusa de un triángulo rectángulo cuyos catetos son h = 55 km., y la distancia epicentral respectiva. Los tiempos de recorrido se obtendrán dividiendo la distancia focal por v = 5,7 kilómetros, o bien utilizando la tabla II de nuestra Memoria (1) tantas veces citadas.

Efectuados los cálculos se obtiene el siguiente

CUADRO XII

DISTANCIAS FOCALES Y TIEMPOS DE RECORRIDOS EN EL SUPUESTO DE H = 55 KM.

ESTACIÓN SISMOLÓGICA	Distancia focal — *Kilómetros*	Tiempo de recorrido — *Segundos*
Alicante	71,06	12,5
Almería	201,1	35,3
Cartuja	264,85	46,5
Ebro	330,1	57,9
Toledo	340	59,6
Málaga	349,9	61,4
Argel	374,7	65,7
Barcelona	453,2	79,7
San Fernando	507	88,9
Coimbra	696,5	122,2
Marsella	786,3	137,9

NOTA. Sólo se han considerado las Estaciones sismológicas de dis-

tancia epicentral inferior a 850 kilómetros, que es el límite a que se puede aplicar el procedimiento que se basa en la hipótesis del rayo sísmico rectilíneo.

Si se construye ahora la curva dromocrónica que corresponde a la profundidad hipocentral h = 55 km., y corriéndola paralelamente a sí misma de modo que su punto inicial recorra el eje de los tiempos, se la sitúa hasta adaptarse lo mejor posible a la posición de las Estaciones sismológicas (es decir, a que pase lo más cerca posible de los puntos cuya abscisa es la distancia epicentral del Observatorio, y cuya ordenada es su tiempo de recorrido (dado en el cuadro XIII)), se obtienen las figuras 4,

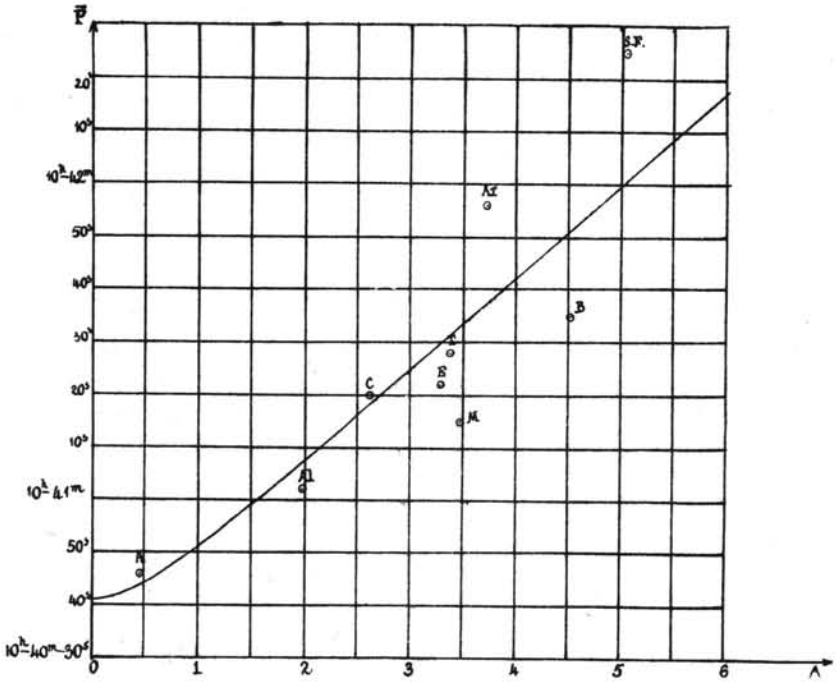

Fig. 4.—Posición de la curva dromocrónica (h = 55 km.) para las horas de $\overline{P}$ de la 1.ª sacudida.

A = Alicante, Al. = Almería, C = Cartuja, E = Ebro, T = Toledo, M = Málaga, Ar. = Argel, B = Barcelona, S. F. = San Fernando.

5, 6, 7 y 8, que corresponden respectivamente a cada una de las cinco sacudidas del sismo que estamos estudiando.

Claro está que este procedimiento de situar la curva dromocrónica ofrece alguna incertidumbre, ya que la posición de los puntos correspon-

dientes a las Estaciones sismológicas dista bastante de agruparse, en algunas sacudidas, según una línea ideal que pudiera pasar por todos ellos, lo que permite correr algo en la dirección del eje de los tiempos la curva dromocrónica, que se acercará más a algunas Estaciones, y en cambio se alejará de otras. Examinando con atención las figuras 4 a 8, se advierte fácilmente que el error de situación de la curva dromocrónica alcanza su mayor valor en las dos primeras sacudidas, y, sin embargo, la incertidumbre no excede de un segundo. En las tres últimas sacudidas el error de situación no excede de medio segundo, especialmente en la quinta (figura 8), en que, a excepción de Alicante y Almería, la curva pasa muy cerca

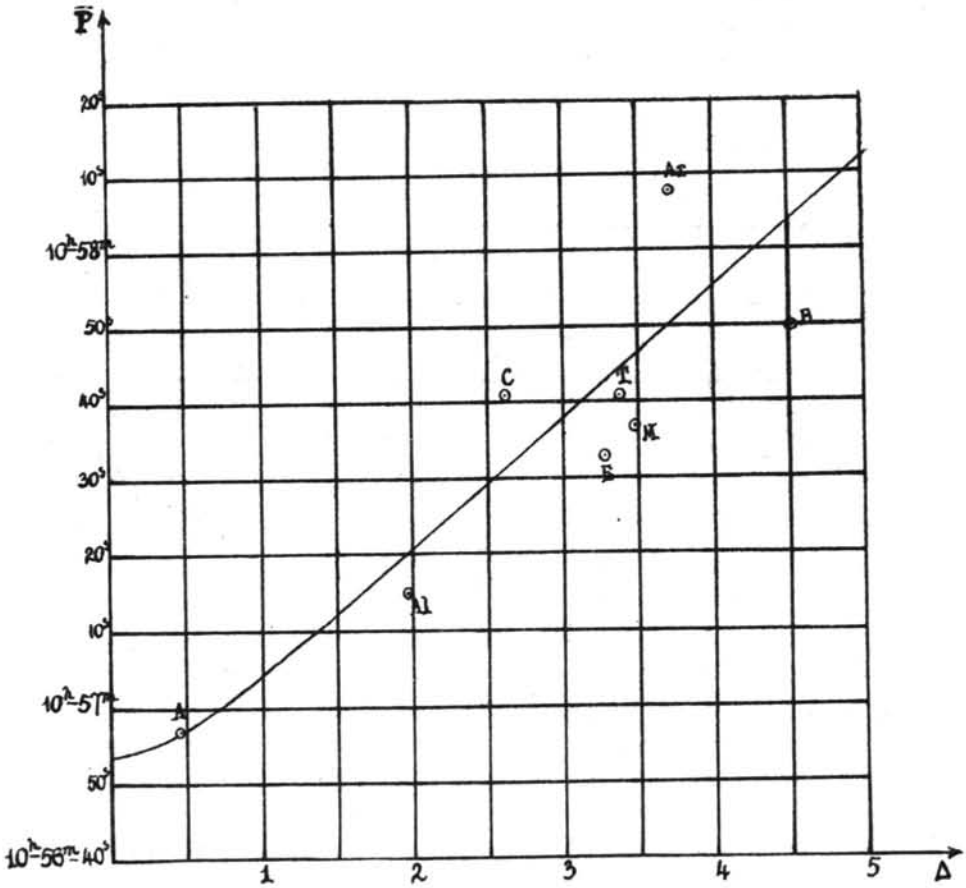

Fig. 5. — Posición de la curva dromocrónica (h = 55 km.) para las horas de $\overline{P}$ de la 2.ª sacudida.

Estaciones sismológicas: A = Alicante, Al. = Almería, C = Cartuja, E = Ebro, T = Toledo, M = Málaga, Ar. = Argel, B = Barcelona.

de todos los puntos, pues casi contiene los que representan a las Estaciones de Cartuja y Toledo, y no se separa más de un segundo de los restantes.

Este procedimiento gráfico de situar la curva dromocrónica y deducir de ella la hora inicial del sismo en el epicentro, nos parece el más venta-

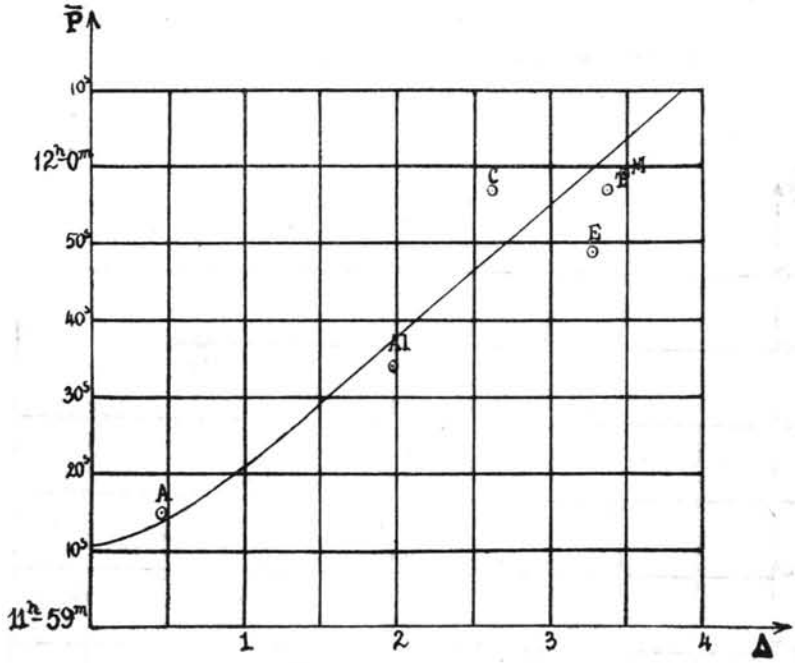

Fig. 6.—Posición de la curva dromocrónica (h = 55 km.) para las horas de $\bar{P}$ de la 3.ª sacudida.

Estaciones sismológicas: A = Alicante, Al. = Almería, C = Cartuja, E = Ebro, M = Málaga, T = Toledo.

joso y rápido; pues aunque conozcamos por los tiempos de recorrido que inserta el cuadro XII las diferencias entre la hora epicentral y la de cada Estación, no podemos valernos de ellas y tomar por base la hora registrada en una cierta Estación, ya que desconocemos el grado de precisión de los datos horarios, que varía de una sacudida a otra y de una a otra Estación.

Si nos atenemos a la posición de la curva dromocrónica que para las diversas sacudidas representan las figuras 4 a 8, no habrá más que leer en la gráfica la hora del punto en que dicha curva corta al eje de los tiempos para tener la hora epicentral de cada sacudida. Se hallan por lectura directa las siguientes horas epicentrales.

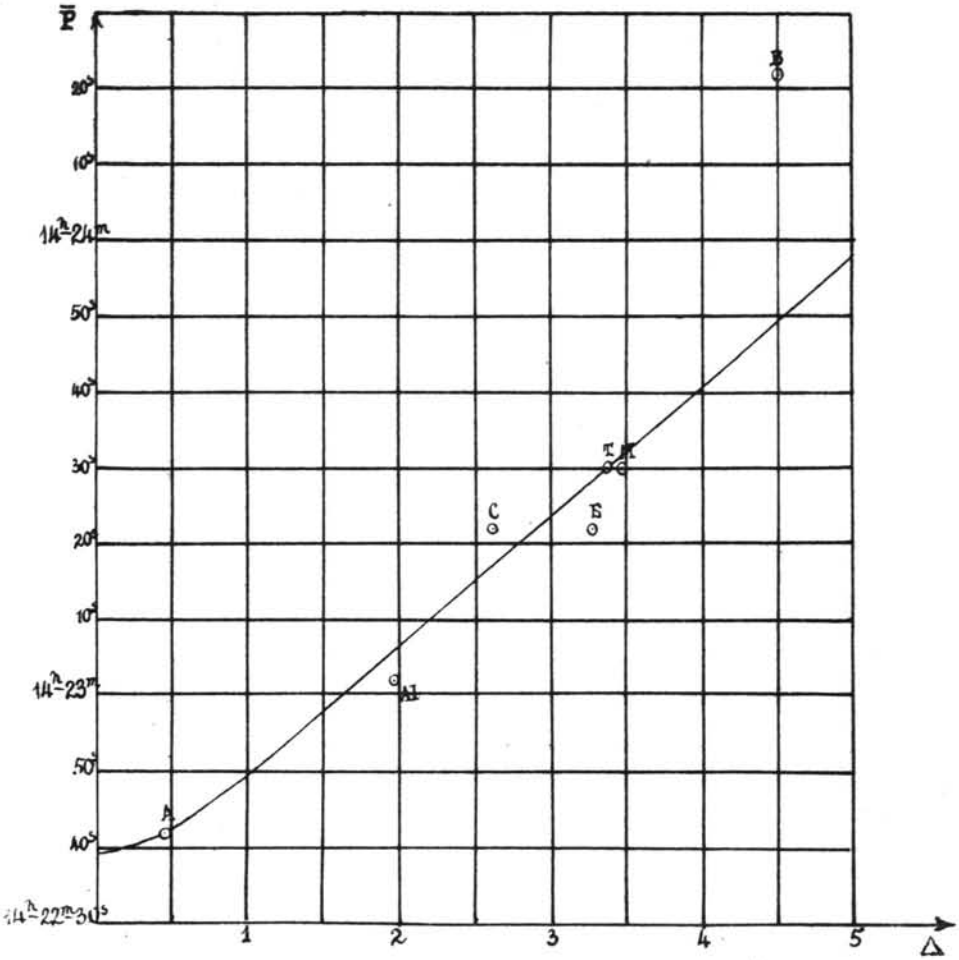

Fig. 7. — Posición de la curva dromocrónica (h = 55 km.) para las horas de $\overline{P}$ de la 4.ª sacudida.

Estaciones sismológicas: A = Alicante, Al. = Almería, C = Cartuja, E = Ebro, T = Toledo, M = Málaga, B = Barcelona.

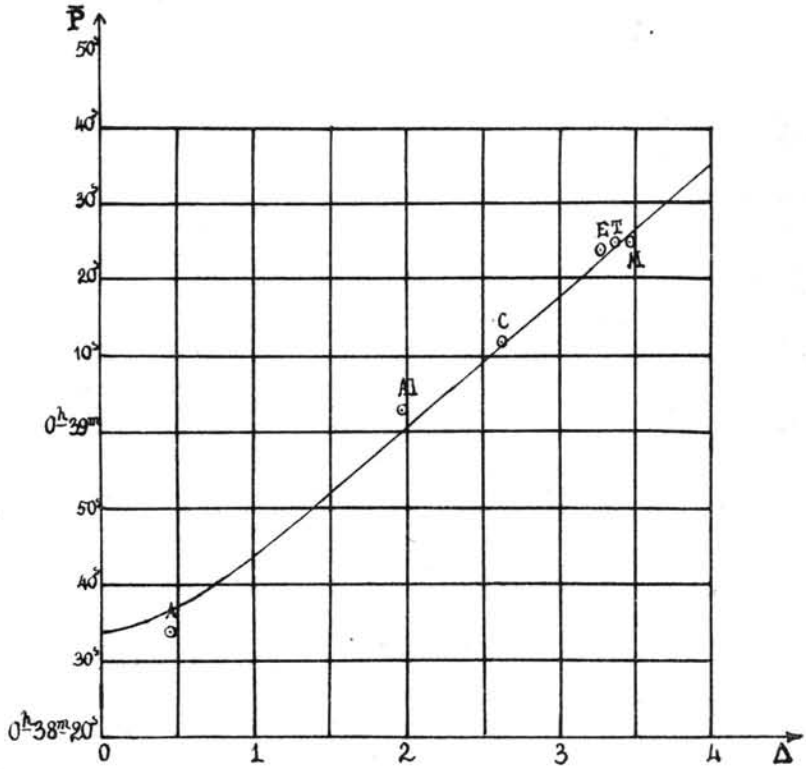

Fig. 8.—Posición de la curva dromocrónica (h = 55 km.) para las horas de $\bar{P}$ de la 5.ª sacudida.

Estaciones sismológicas: A = Alicante, Al. = Almería, C = Cartuja, E = Ebro, T = Toledo, M = Málaga.

CUADRO XIII

HORA EPICENTRAL DE LAS CINCO SACUDIDAS SACADA DE LA CURVA DROMOCRÓNICA

1.ª sacudida	.....	$10^h\ 40^m\ 41^s$	del 10 de septiembre	
2.ª —	.....	$10^h\ 56^m\ 53^s,8$	—	—
3.ª —	.....	$11^h\ 59^m\ 10^s,7$	—	—
4.ª —	.....	$14^h\ 22^m\ 39^s,3$	—	—
5.ª —	.....	$0^h\ 38^m\ 34^s,8$	del 11 de septiembre	

Para hallar ahora la hora de las sacudidas en el foco no habrá más que restar de la epicentral $9^s,7$, que es el tiempo que tarda el movimiento

sísmico en recorrer la distancia h = 55 kilómetros a la velocidad de 5,7 por segundo. Hecha tan sencilla operación se obtienen las horas focales siguientes:

CUADRO XIV

HORA INICIAL DE LAS SACUDIDAS EN EL FOCO SÍSMICO

1.ª sacudida	.....	$10^h\ 40^m\ 31^s,3$	del 10 de	septiembre
2.ª —	.....	$10^h\ 56^m\ 44^s,1$	—	—
3.ª —	.....	$11^h\ 59^m\ 1^s$	—	—
4.ª —	.....	$14^h\ 22^m\ 29^s,6$	—	—
5.ª —	.....	$0^h\ 38^m\ 25^s,1$	del 11 de	septiembre

Si en lugar del procedimiento gráfico de situación de la curva dromocrónica se prefieren utilizar las horas del registro instrumental para determinar la hora inicial de las sacudidas en el epicentro, bastará hallar entonces la diferencia entre el tiempo de recorrido de cada Estación (que inserta el cuadro XII), y el del epicentro, que es 9,7 segundos, y restar esa diferencia de la hora de $\overline{P}$ en cada Estación. Hechos tan sencillos cálculos se obtienen los siguientes resultados:

CUADRO XV

HORA INICIAL DE LAS SACUDIDAS EN EL EPICENTRO DEDUCIDAS DE LAS HORAS DE $\overline{P}$ REGISTRADAS EN CADA ESTACIÓN

ESTACIÓN CUYA HORA DE $\overline{P}$ SE UTILIZA	HORA EPICENTRAL DE LA				
	1.ª sacudida	2.ª sacudida	3.ª sacudida	4.ª sacudida	5.ª sacudida
Alicante	$10^h\ 40^m\ 43^s,2$	$10^h\ 56^m\ 54^s,2$	$11^h\ 59^m\ 12^s,2$	$14^h\ 22^m\ 39^s,2$	$0^h\ 38^m\ 31^s,2$
Almería	$36^s,4$	$49^s,4$	$8^s,4$	$36^s,4$	$37^s,4$
Cartuja	$43^s,2$	$57^m\ 4^s,2$	$20^s,2$	$45^s,2$	$35^s,2$
Ebro	$33^s,8$	$56^m\ 46^s,8$	$0^s,8$	$33^s,8$	$35^s,8$
Toledo	$38^s,1$	$51^s,1$	$7^s,1$	$40^s,1$	$35^s,1$
Málaga	$23^s,3$	$45^s,3$	$7^s,3$	$38^s,3$	$33^s,3$
Argel	$41^m\ 00^s$	$57^m\ 12^s,0$	»	»	»
Barcelona	$40^m\ 25^s$	$56^m\ 40^s,0$	$12^h\ 00^m\ 14^s$	$23^m\ 12^s$	»

Si con sujeción al plan que hasta ahora hemos seguido, nos limitamos considerar las Estaciones más próximas al epicentro (Alicante, Almería, Cartuja, Ebro, Toledo y Málaga), y formamos el promedio de las horas que para cada sacudida da el cuadro XV, se obtiene el siguiente:

CUADRO XVI

HORA INICIAL DE LAS SACUDIDAS EN EL EPICENTRO, QUE RESULTA DE TOMAR EL PROMEDIO DE LOS VALORES DEL CUADRO XV CORRESPONDIENTES A LAS SEIS PRIMERAS ESTACIONES

	Hora epicentral
1.ª sacudida.....	$10^h\ 40^m\ 36^s,3$
2.ª —	$10^h\ 56^m\ 51^s,8$
3.ª —	$11^h\ 59^m\ 9^s,3$
4.ª —	$14^h\ 22^m\ 38^s,8$
5.º —	$0^h\ 38^m\ 34^s,7$

Comparados estos resultados con los del cuadro XIII, basados en la curva dromocrónica, resultan las siguientes diferencias entre las dos horas epicentrales halladas para cada sacudida:

	Diferencia
1.ª sacudida.....	+ 4,7 seg.
2.ª —	+ 2,0 —
3.ª —	+ 1,4 —
4.ª —	+ 0,5 —
5.ª —	+ 0,1 —

Como se ve, las horas obtenidas por el primer procedimiento (curva dromocrónica) son siempre mayores que las del segundo. Prescindiendo de las que corresponden a la primera sacudida, las de las demás dan en los dos métodos discrepancias que no exceden de dos segundos, y en las tres últimas sacudidas no llegan a segundo y medio.

Las horas epicentrales de la primera sacudida difieren en 4,7 segundos; esta gran discrepancia es debida principalmente a la hora registrada por Málaga (véase cuadro XV), que difiere mucho de las demás. Si formamos el promedio de las horas epicentrales de la primera sacudida prescindiendo de la de Málaga, se halla $10^h\ 40^m\ 38^s,9$, que discrepa de la del cuadro XIII, $10^h\ 40^m\ 41^s$, en 2,1 segundos, es decir, menos de la mitad de la anterior.

Si tomamos, pues, las horas epicentrales del cuadro XIII, que resultan de la situación de la curva dromocrónica, procedimiento más seguro que el otro, podremos afirmar que dichas horas diferirán poco más de un segundo de las verdaderas, ya que discrepancias de dos segundos sólo ocurren en los casos más desfavorables y son debidas a influencias predominantes de los errores de algunas Estaciones, que registran el principio del sismograma con adelanto o retraso extraordinario.

VI

Grado de precisión de los datos horarios del registro instrumental

Para formar juicio aproximado del grado de precisión de los datos horarios del sismo del bajo Segura, compararemos las horas del principio $\overline{P}$ de las cinco sacudidas, registradas por las Estaciones sismológicas (*), con las que da la curva dromocrónica que representan para h = 55 kilómetros las figuras 4 a 8. De este modo se obtienen las diferencias que inserta el siguiente cuadro entre la hora registrada y la que facilita la curva dromocrónica:

CUADRO XVII

DIFERENCIAS ENTRE LAS HORAS DE $\overline{P}$ REGISTRADAS POR LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS Y LAS QUE SE SACAN DE LA CURVA DROMOCRÓNICA PARA H = 55 KILÓMETROS

ESTACIONES	VALORES DE LA DIFERENCIA					PROMEDIOS
	1.ª sacudida	2.ª sacudida	3.ª sacudida	4.ª sacudida	5.ª sacudida	
	Segundos	*Segundos*	*Segundos*	*Segundos*	*Segundos*	*Segundos*
Alicante	+ 2,4	+ 0,7	+ 1,7	+ 0,1	— 2,8	+ 0,42
Almería	— 4,7	— 4,3	— 2,0	— 2,8	+ 2,9	— 2,18
Cartuja	+ 2,0	+ 10,8	+ 9,5	+ 5,7	+ 0,7	+ 5,74
Ebro	— 7,0	— 6,4	— 10,0	— 5,8	+ 1,4	— 5,56
Toledo	— 2,8	— 2,0	— 3,5	+ 0,5	+ 0,7	— 1,42
Málaga	— 17,5	— 8,0	— 3,3	— 1,2	— 1,0	— 6,20

Como se ve en el cuadro precedente, el promedio de la diferencia alcanza su menor valor en la Estación Sismológica de Alicante, resultado que podía esperarse, pues tratándose de un Observatorio que sólo dista

(*) Por las razones expuestas precedentemente, sólo se consideran las seis Estaciones más próximas al epicentro (Alicante, Almería, Cartuja, Ebro, Toledo y Málaga).

45 kilómetros del epicentro, el sismograma ha de presentar la fas inicial muy claramente perceptible.

Siguen a la Estación de Alicante las de Toledo y Almería, cuyos promedios son, respectivamente: — 1,42 y — 2,18 segundos; los demás observatorios presentan diferencias bastante elevadas (— 5^s,56, + 5^s,74 y — 6^s,20) que exceden del doble de las tres precedentes. La Estación de Málaga ofrece el promedio mayor (— 6^s,20), que debe atribuirse principalmente al error considerable, según el cuadro XVII, de la hora de la primera sacudida, que es — 17^s,5. Prescindiendo de ésta, el promedio de las cuatro restantes resulta igual a — 3^s,38.

Una observación que salta a la vista, al examinar dicho cuadro, es que las diferencias en cada Estación tienden a ser del mismo signo en todas las sacudidas. En la Estación de Málaga, las horas de $\overline{P}$ sonsiempre adelantadas con relación a las que resultan de la curva dromocrónica, y en la de Cartuja, por el contrario, las horas son siempre retrasadas en todas las sacudidas. En las demás Estaciones (Alicante, Almería, Ebro y Toledo), de las cinco diferencias que presenta el cuadro XVII una sola (en Toledo, dos), es de signo contrario a las cuatro restantes, y, además, presenta valor muy pequeño.

Resulta, pues, un adelanto bien marcado, con relación a la curva dromocrónica, de las horas de $\overline{P}$ en las Estaciones de Alicante y Cartuja, y un retraso en todas las demás. Los errores con que las Estaciones sismológicas dan el principio de las sacudidas, de atenernos a las cifras del cuadro XVII, en lugar de ser accidentales y ofrecer indistintamente uno u otro signo, tienden, por el contrario, a ser siempre del mismo signo y se presentan con carácter sistemático. ¿A qué causa puede atribuirse el adelanto que muestra el cuadro XVII en las horas de $\overline{P}$ para las Estaciones de Alicante y Cartuja, y el retraso que se observa en las demás?

La primera explicación que se ofrece naturalmente, es la de suponer que, al buscar en la gráfica el principio del sismograma, se ha elegido un punto que no corresponde efectivamente al inicio del movimiento sísmico. En este sentido conviene estudiar primero si alguno de los errores que muestra el cuadro XVII pueden atribuirse a una equivocación en la interpretación de las fases del sismograma.

Las recientes investigaciones sismométricas, especialmente las llevadas a cabo por A. Mohorovičić y B. Gutenberg, han probado que en la fase inicial de los sismogramas que corresponden a los temblores próximos, se pueden distinguir dos clases de ondas longitudinales, que se designan por P y $\overline{P}$. Las particularidades que muestran en la grática dependen de la profundidad hipocentral.

La figura 9.ª presenta la curva dromocrónica de ambas clases de ondas P y $\overline{P}$, como ha sido obtenida por B. Gutenberg, y que tomamos del capítulo 34 (pág. 336) del tratado de A. Sieberg *Geologische, physikalische und angewandte Erdbebekunde* (librería G. Fischer, Jena, 1923) (*). Dichas curvas dromocrónicas corresponden a la profundidad hipocentral de 55 kilómetros, que es precisamente la que hemos hallado para el sismo

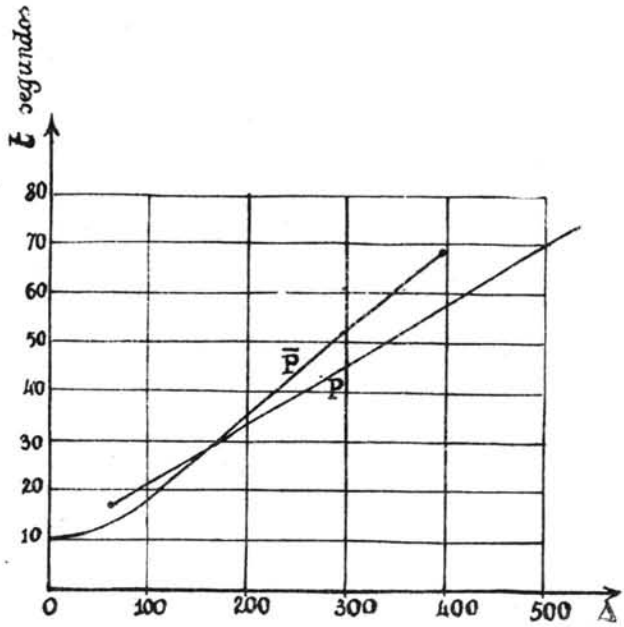

Fig. 9.—Curvas dromocrónicas de P y $\overline{P}$ para h = 55 kilómetros según B. Gutenberg.

del bajo Segura que estamos estudiando. Hemos presentado sólo la parte de curva correspondiente a distancias epicentrales menores que 500 kilómetros, que es la única que puede ofrecer interés en este trabajo.

En las inmediaciones del epicentro, el sismo empieza con la onda $\overline{P}$, y a partir de una cierta distancia, P aparece inmediatamente después que $\overline{P}$ y escapa a la observación. A una distancia epicentral de 150 a 200 kilómetros (esto depende de la profundidad hipocentral), ambas ondas P y $\overline{P}$ empiezan simultáneamente. Desde dicha distancia, P aparece antes que $\overline{P}$,

(*) Debemos consignar, que al escribir el presente trabajo no se habían publicado aún las tablas de A. Mohorovicić, que dan los tiempos de recorrido de las ondas P y $\overline{P}$.

y esta última, que en un principio se manifiesta con mayor intensidad que P, va poco a poco debilitándose y acaba por resultar imperceptible de los 325 a los 600 kilómetros. También se advierte que al crecer la distancia epicentral el intervalo que separa las dos ondas va aumentando.

Expuestos estos antecedentes, cabe preguntar si las diferencias entre las horas de $\overline{P}$ comunicadas por las Estaciones sismológicas y las que resultan de la curva dromocrónica, podrán atribuirse a que algunas Estaciones hayan confundido estas dos ondas longitudinales P y $\overline{P}$, y hayan dado la hora que corresponde a una de ella en vez de la otra. Claro está que si unas Estaciones han observado una de dichas ondas y las demás han registrado la otra, se explica perfectamente que las diferencias de horas acusen discrepancias como las que muestra el cuadro XVII. Lo único que falta determinar es si los retrasos o adelantos de horas que marca éste son efectivamente los que corresponden al intervalo que debe existir entre P y $\overline{P}$ a la distancia epicentral a que esté la Estación considerada.

Si nos valemos de las curvas dromocrónicas de P y $\overline{P}$, que da la figura 9 para la profundidad hipocentral de 55 kilómetros, o utilizamos la tabla que ha calculado Gutenberg y se inserta en la pág. 337 del tratado de Sieberg antes citado, hallaremos los siguientes valores para la diferencia entre las horas de P y $\overline{P}$ que corresponden a las distancias epicentrales a que están las Estaciones sismológicas que consideramos en el presente trabajo:

	Diferencias de horas de P y $\overline{P}$	
Alicante	4	segundos.
Almería	2,7	—
Cartuja	6,5	—
Ebro	10,1	—
Toledo	10,6	—
Málaga	11,1	—

Comparados estos intervalos con las diferencias respectivas del cuadro XVII, se advierte que sólo los de Almería y Cartuja se aproximan a ser casi iguales, pues las de las demás Estaciones discrepan mucho. De aquí resulta que el error que en el cuadro XVII figura para la hora de Cartuja no puede atribuirse a que dicha Estación haya dado como principio del sismograma la hora de P en vez de la de $\overline{P}$, pues la primera aparece adelantada 6,5 segundos, mientras que el promedio de las horas de Cartuja acusa un retraso de 5,74. En la Estación de Almería cabe tal interpretación, pues su hora aparece adelantada y a su distancia epicentral la onda P se registra antes que la $\overline{P}$

Como los valores de las demás estaciones no concuerdan con los que corresponden a la diferencia de horas entre P y $\bar{P}$, debemos concluir que los errores en las horas de $\bar{P}$ que han dado las Estaciones sismológicas no pueden explicarse por una equivocación de fase, y ya que su carácter sietemático parece fuera de duda, la existencia de dichos errores puede justificarse por un estado erróneo del cronómetro, una determinación equivocada de la paralaje de la pluma, o ambas causas a la vez, pues de admitir esa explicación todos los principios de las sacudidas sufrirían un adelanto o retraso aproximadamente del mismo valor. Claro está que hay otra causa que puede explicar perfectamente el error de los principios del sismograma, y es que, no acusándose en éste impulsos muy caracterizados, cabe tomar como $\bar{P}$ un punto de la gráfica en que el movimiento sísmico no se haya iniciado todavía o que es posterior al principio, lo cual no tiene nada de particular, ya que las gráficas del sismo del bajo Segura, según hemos expuesto en el párrafo 1, no eran fáciles de interpretar, y sólo la Estación de Alicante por su proximidad al epicentro ha podido percibir perfectamente en la gráfica el principio del sismograma, y el pequeño error que en ella se advierte, de poco más de un segundo por término medio, se explica sin dificultad, pues en la banda del sismógrafo Vicentini (en que se registró el sismo), el intervalo de un segundo se traduce en un cuarto de milímetro, por lo cual el error de lectura y alguno, pequeñísimo, del estado del cronómetro o de paralaje, podrían dar cuenta de dicha discrepancia.

Justificada la causa de los errores de $\bar{P}$, vamos ahora a deducir el grado de precisión de las observaciones y el influjo que ejerce en el cálculo de la profundidad hipocentral.

Para ello, a falta de mejor fundamento, tomaremos como base de nuestro estudio las diferencias que se consignan en el cuadro XVII, que consideraremos como errores del principio de cada sacudida, a los que aplicaremos los principios de la teoría de errores.

Si calculamos el error medio de la hora en cada Estación del principio de las sacudidas, como si cada hora de $\bar{P}$ hubiese sido la observación de un mismo fenómeno que se ha repetido cinco veces, uno por sacudida, formaremos el siguiente

CUADRO XVIII

ERRORES MEDIOS DE $\overline{P}$ CORRESPONDIENTES A LAS DIVERSAS ESTACIONES

Alicante	1,84	segundos.
Almería	3,49	—
Cartuja	6,98	—
Ebro	6,72	—
Toledo	2,23	—
Málaga	8,76	—

En realidad, no se trata aquí de la observación repetida del mismo fenómeno, pues las cinco sacudidas son hechos distintos que no corresponden al mismo instante; mas el procedimiento de registro, de determinación del punto que se considera como $\overline{P}$ en la curva, y de lectura de la hora correspondiente, no varían de una sacudida a otra; y como el error es siempre la diferencia entre la hora leída y la verdadera, podemos aplicar el concepto de error medio, en cada Estación, a los que resultan para las cinco sacudidas registradas.

De igual modo, si queremos formar idea del grado de precisión que tienen las horas registradas en las diversas estaciones para cada una de las sacudidas, podremos agrupar todas las observaciones que se refieren a una misma sacudida. El fenómeno es ahora el mismo para todas las Estaciones; sin embargo, las horas del principio son distintas, ya que las distancias epicentrales son diferentes. En realidad, las horas de $\overline{P}$ no corresponden a un mismo instante físico; pero como sólo nos ocupamos de los errores, que son las diferencias entre la verdadera hora de $\overline{P}$ y la leída en la gráfica de las seis estaciones, y como al pasar de una sacudida a otra las Estaciones son las mismas, como idénticos son los procedimientos de registro, de determinación de la fase y de lectura de la hora, podremos considerar los errores medios que, según el registro de las seis estaciones, corresponden a una misma sacudida, y que, efectuado el cálculo, se insertan en el siguiente

CUADRO XIX

ERRORES MEDIOS DE $\overline{P}$ QUE CORRESPONDEN A LAS DIVERSAS SACUDIDAS

Sacudida I	8,11	segundos.
Sacudida II	6,38	—
Sacudida III	6,06	—
Sacudida IV	3,55	—
Sacudida V	1,83	—

El examen del cuadro XVIII nos muestra, como ya sabíamos, que el grado de precisión de las observaciones va disminuyendo en el siguiente orden de las Estaciones: Alicante, Toledo, Almería, Ebro, Cartuja y Málaga.

El error medio correspondiente a las tres primeras no llega a la mitad del de las tres últimas.

En cuanto al cuadro XIX, se observa el hecho curioso de que el grado de precisión de las sacudidas aumenta con su número de orden, y el error medio de la primera $8^s,11$ es mucho mayor que el de las cuatro restantes. Esto es debido al error considerable con que la Estación de Málaga ha dado la hora de $\overline{P}$ en la primera sacudida (— 17,5 segundos); si prescindimos de esta Estación, el error medio de P disminuye considerablemente, pues se reduce a $3^s,84$, que es menor que el de las sacudidas segunda y tercera. La mayor precisión corresponde a la última sacudida, cuyo error medio es sólo de $1^s,83$.

Si calculamos el error medio teniendo en cuenta los errores de todas las Estaciones y sacudidas, se halla el valor de 5,64 segundos, que muestra la gran imprecisión de los datos horarios en este sismo y la dificultad insuperable que ofrece el cálculo de la profundidad hipocentral, si se toman las horas de $\overline{P}$, que facilita el registro instrumental y se las acopla de dos en dos para aplicarles la fórmula (3). De este modo se confirma lo que ya nos había mostrado el cuadro de la pág. 28, en que se insertan los resultados del cálculo de la profundidad hipocentral por medio de la fórmula (3), aplicada a las parejas de Estaciones más próximas al epicentro y utilizando las horas de $\overline{P}$ de todas las sacudidas registradas. De los 65 valores que ofrece dicho cuadro sólo tres son inferiores a 60 kilómetros, cinco están comprendidos entre 60 y 100, y los demás son superiores a dicho límite o son imaginarios, infinitos o imposibles. Resulta, pues, que de los 65 valores que debiera ofrecer el cálculo, sólo pueden utilizarse tres, y este fracaso del procedimiento, al considerar todas las horas de $\overline{P}$ como de igual precisión y combinarlas indistintamente, sólo puede imputarse a los grandes errores de las horas de $\overline{P}$, cuyo valor medio hemos visto excede de cinco segundos. Tratándose de una fórmula como la (3), en que un error de un segundo en la diferencia de horas de $\overline{P}$ puede producir uno de h hasta de 40 o más kilómetros, se comprende perfectamente que el procedimiento resulte ilusorio al disponer de datos cuyo error es por término medio superior a cinco segundos.

Para estudiar más de cerca esta cuestión, vamos a calcular la influencia que en el valor de h, dado por la fórmula (3), ejerce un error en la diferencia τ de las horas de $\overline{P}$, registradas por las dos Estaciones que se

consideren. El estudio de esta cuestión será la base para formar juicio de la precisión que puede esperarse en investigaciones como la presente, ya que el cálculo de la profundidad hipocentral por la fórmula (4), en función de la hora del sismo en el epicentro, no es más que un caso particular del que vamos a estudiar, en que se sustituye una de las Estaciones por el epicentro.

Para hallar la influencia que un pequeño error $d\tau$ en la diferencia de horas de $\overline{P}$, registradas por dos Estaciones situadas a las distancias epicentrales Δ_1 y Δ_2 ejerce en el valor de h, dado por la fórmula (3), diferenciaremos ésta puesta bajo la forma equivalente

$$h^2 = \left(\frac{\Delta_2^2 - \Delta_1^2 - v^2 \tau^2}{2v\tau} \right) - \Delta_1^2 \qquad (12)$$

y en que consideramos como constantes Δ_1, Δ_2 y v.

Hechos los cálculos, se obtiene la siguiente expresión:

$$dh = \frac{v^4 \tau^4 - (\Delta_2^2 - \Delta_1^2)^2}{4hv^2 \tau^3} d\tau \qquad (13)$$

Si calculamos el valor del coeficiente de $d\tau$ en las ocho parejas de estaciones que figuran en el cuadro V (pág. 33), utilizando los valores de τ que en él se insertan y los de h correspondientes y que contiene el cuadro VI (pág. 370), se obtiene el siguiente resultado:

	Coeficiente de $d\tau$
Alicante - Almería.....	11,50
Alicante - Cartuja.....	9,86
Alicante - Ebro.....	9,17
Alicante - Toledo.....	9,40
Alicante - Málaga.....	8,85
Almería - Ebro.....	30,76
Almería - Toledo.....	54,72
Almería - Málaga.....	29,80

Del examen del cuadro precedente resulta que un error de un segundo en la diferencia de horas registradas produce en h uno que oscila entre 8,85 y 11,5 km., si se trata de una pareja de estaciones en que entre la de Alicante; pero en las tres últimas parejas que resultan de acoplar Almería con Ebro, Toledo y Málaga, el error que resulta para h varía de 30 a 50 kilómetros en números redondos.

Ahora se explica por qué las parejas de Estaciones Almería-Ebro y Almería-Málaga, han dado los valores de 135,0 y 113,9 kilómetros respectivamente, que discrepan tanto del promedio de 55 km., pues dado el gran valor que en ellas tiene el coeficiente de $d\tau$, basta un error de 2,6 o de dos segundos, respectivamente, para dar cuenta de la discrepancia que muestra el cálculo. En la pareja Almería-Toledo el valor del coeficiente de $d\tau$ es aún mayor (54,72), el valor obtenido de $h = 52,1$ kilómetros es bastante aceptable, y ello es debido a una compensación de los errores de $\bar{P}$ en ambas estaciones, que hace que la diferencia de horas de $\bar{P}$ sea muy aproximada a la verdadera.

En virtud de los resultados del cuadro precedente dedúcese que para calcular el valor de la profundidad hipocentral h por la fórmula (3), de modo que no difiera de la verdadera en cantidad superior a unos 4 ó 5 kilómetros, es necesario tener las horas exactas al medio segundo, si se trata de parejas de Estaciones cuyas distancias epicentrales difieran considerablemente, y una de ellas esté muy próxima al epicentro (este es el caso de las parejas a base de Alicante, que dista sólo 45 kilómetros). El error de medio segundo en τ se traduce en uno de 4 a 5 kilómetros en h. Si en la pareja de estaciones que se va a combinar la más próxima dista ya unos 200 kilómetros del epicentro (en nuestro caso las combinaciones con la Estación de Almería, cuya distancia epicentral es de 196 kilómetros), entonces es de todo punto indispensable conocer τ a la décima de segundo, pues en la combinación Almería-Toledo un error de τ de una décima de segundo se traduce en otro de 5 kilómetros y medio en la profundidad hipocentral.

Si se comparan los valores del coeficiente de $d\tau$ en las parejas Almería-Ebro (30,76), Almería-Málaga (29,80) y Almería-Toledo (54,72), se advierte que el de esta última es casi doble que el de las otras dos. Como las distancias epicentrales de Ebro (327 km.), Toledo (337) y Málaga (347) sólo difieren de una Estación a otra en 10 kilómetros, no se comprende cómo el coeficiente de $d\tau$ en Almería-Toledo pueda ser casi el doble que el de las otras dos parejas. La razón de esta aparente anomalía estriba en que a igualdad de valores de las distancias epicentrales y de la diferencia τ de las horasde $\bar{P}$, la fórmula (13) muestra que el coeficiente de $d\tau$ es inversamente proporcional al valor de h, y como el de la pareja de Estaciones Alicante-Toledo $h = 52,1$ es menor que la mitad de los de Almería-Ebro (135,0) y Almería-Málaga (113,9) que hemos empleado en la fórmula (13), resulta que el coeficiente de $d\tau$ para la primera pareja es mucho mayor que el de las otras dos.

Si al hacer aplicación de la fórmula (13) para calcular los coeficientes

de $d\tau$ hubiéramos empleado el valor $h = 55$ kilómetros, en lugar de los que ha dado el cuadro VI (pág. 34) para cada pareja de Estaciones, se hubieran obtenido los valores siguientes:

	Coeficiente de $d\tau$
Alicante - Almería	12,78
Alicante - Cartuja	10,53
Alicante - Ebro	10,25
Alicante - Toledo	8,99
Alicante - Málaga	10,64
Almería - Ebro	75,50
Almería - Toledo	51,83
Almería - Málaga	61,96

El examen de este cuadro permite deducir las mismas conclusiones anteriores, o sea que un error de un segundo en la diferencia τ, se traduce en uno de unos 10 kilómetros en la profundidad hipocentral, si se trata de alguna de las parejas de Estaciones hechas a base de Alicante, y de 50 a 70, si se trata del segundo grupo a base de Almería.

En el sismo que estamos estudiando, la profundidad hipocentral es bastante considerable, pues casi llega al espesor de 60 kilómetros que hoy se asigna a la zona de fractura de la corteza en que tienen asiento los fenómenos que producen los temblores de tierra. Si se tratara de un sismo de profundidad focal de unos 25 kilómetros, la influencia en h de un error de τ alcanzaría valor doble del que acabamos de calcular, y si el temblor fuera de carácter superficial y su foco estuviera a profundidad de unos 10 kilómetros, los errores en τ ejercerían un influjo cinco veces mayor que el que acabamos de estudiar. De estas consideraciones resulta, que si se quiere hallar la profundidad hipocentral con aproximación de unos 5 kilómetros, forzosamente hay que contar con datos horarios aproximados a la décima de segundo, como los facilitan las Estaciones sismológicas suizas de Zürich y Chur, o con un gran número de observaciones, cuya acertada combinación permita elevar considerablemente el grado de precisión de los resultados del cálculo.

Para hallar ahora el error que pueda tener el valor de la profundidad hipocentral del sismo del bajo Segura, que hemos tomado en promedio igual a 55 kilómetros, observaremos que, de ser ésta la profundidad real, los tiempos de recorrido del rayo sísmico serían los que se consignan en el cuadro XII (pág. 381), y restando de dos en dos los que corresponden a las seis primeras Estaciones, hallaríamos las diferencias τ que han servido

de base al cálculo de la profundidad hipocentral por medio de la fórmula (3). Comparando estos valores de τ con los que se insertan en el cuadro V (pág. 33), que como se recordará resultan de tomar promedios de los datos más concordantes registrados por las Estaciones sismológicas en las cinco sacudidas, las diferencias entre ambos valores de τ se podrán considerar como los errores de que están afectados los τ que corresponden a cada pareja de Estaciones. Multiplicando estos errores por el valor respectivo del coeficiente diferencial de $d\tau$, que inserta el cuadro de la página 397, tendremos los errores de cada uno de los valores de h que inserta el cuadro VI (pág. 34). Hecho el cálculo indicado, se obtiene el siguiente resultado:

PAREJAS DE ESTACIONES	Error de τ	Error de h
Alicante - Almería.....	+ 0,1 seg.	— 1,20 km.
Alicante - Cartuja.....	0,0 —	0,0 —
Alicante - Ebro.....	+ 0,4 —	— 3,7 —
Alicante - Toledo.....	— 0,6 —	+ 5,6 —
Alicante - Málaga.....	+ 0,9 —	— 8,0 —
Almería - Toledo.....	+ 0,05 —	— 2,7 —

Hemos excluído las dos parejas Almería-Ebro y Almería-Málaga, pues así lo hicimos también en el cuadro VI (pág. 34), para obtener el promedio de los valores de h que daban las parejas restantes y que era h = 58,7. Conocidos los errores de los seis valores de h, que se expresan en el cuadro precedente, ninguna dificultad hay en hallar el de su promedio, y aplicando la conocida fórmula de la teoría de errores, se halla el valor 1,8 kilómetros, los cual nos dice, que el grado de aproximación de dicho valor de h es de unos 2 kilómetros.

Para hallar ahora el grado de precisión con que se obtiene la hora del principio del sismo en el foco, observaremos que si consideramos una estación sismológica A, situada a la distancia epicentral $EA = \Delta$ y H es el hipocentro, situado a la profundidad $HE = h$, en el triángulo rectángulo EHA se tiene

$$HA = \sqrt{\Delta^2 + h^2},$$

que nos da el valor de la distancia focal HA. Para recorrerla, el rayo sísmico tardará un tiempo

$$t = \frac{\sqrt{\Delta^2 + h^2}}{v},$$

en que $v = 5{,}7$ km. seg. Si de la hora registrada t_1 en la Estación para el principio de la sacudida se resta el tiempo t, tendremos la hora t_0 del principio en el foco, que vendrá expresada por la relación

$$t_0 = t_1 - \frac{\sqrt{\Delta^2 + h^2}}{v}. \tag{14}$$

Si suponemos que ε_1 y ε_2 son los errores que corresponden a cada uno de los términos de la diferencia del segundo miembro, el de la hora en el foco ε será

$$\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \tag{15}$$

El problema queda, pues, reducido a determinar los dos errores ε_1 y ε_2. El primero es el de la hora registrada en la Estación sismológica, que depende del grado de precisión que tenga el registro instrumental. El segundo error ε_2 depende del cometido en el cálculo de la profundidad hipocentral, y para hallar la relación que existe entre ambos no hay más que diferenciar la expresión

$$t = \frac{\sqrt{\Delta^2 + h^2}}{v},$$

en que Δ se considera constante. Efectuada tan sencilla operación se obtiene la fórmula

$$\varepsilon_2 = dt = \frac{h}{v\sqrt{\Delta^2 + h^2}}\, dh = \frac{\cos \alpha}{v}\, dh \tag{16}$$

en que α es el ángulo que forma la vertical sísmica HE con la distancia focal HA. En el cuadro XII (pág. 45), se insertan las distancias focales que corresponden a las distintas Estaciones sismológicas, calculadas en el supuesto de $h = 55$ kilómetros. Sustituyendo estos valores en la fórmula (16) y admitiendo que $h = 55$ kilómetros, se obtienen los siguientes valores para los coeficientes de dh:

ESTACIÓN	Coeficiente de dh
Alicante	0,136
Almería	0,048
Cartuja	0,036
Ebro	0,029
Toledo	0,028
Málaga	0,028

Si, como hemos hallado precedentemente, admitimos que el error co-

metido en el cálculo de la profundidad hipocentral sea de unos 2 kilómetros, los que resultarán para t serán dobles de los que expresa el cuadro precedente, y exceptuando la Estación de Alicante en que dicho error sería de $0^s,27$, en las demás no llegaría a una décima de segundo. La pequeña cuantía de este error apenas influirá en el total que da la fórmula (15), de lo que se deduce que el error del cálculo de la hora en el foco vendrá a ser sensiblemente el que corresponda a la hora del principio de la sacudida registrada en cada Estación.

Las mismas consideraciones pueden aplicarse a la hora del sismo en el epicentro, que difiere de la que acabamos de estudiar en el tiempo $\frac{h}{v}$, que el movimiento tarda en recorrer la vertical sísmica. El error con que se obtenga resultará del cometido en el cálculo de la hora en el foco y el que dé $\frac{h}{v}$, que en el supuesto de $h = 55$ km., y de que su error sea de 2 kilómetros, será de un tercio de segundo.

Los errores, pues, con que se obtienen en el sismo que estamos estudiando las horas en el foco y en el epicentro, son del mismo orden que los del $\bar{P}$ que da la hora instrumental, y en virtud de los valores medios de las horas registradas, que hemos escogido para el cálculo de la profundidad hipocentral, y de las consideraciones expuestas en las páginas 58 y 59, basadas en el trazado de las curvas dromocrónicas, los errores de las horas de las sacudidas en el foco y en el epicentro son del orden de un segundo o segundo y medio, pues sólo en los casos más desfavorables, al combinar alguna hora de $\bar{P}$ que tiene un extraordinario retraso o adelanto (por ejemplo, la de Málaga, en la primera sacudida), se encontraban errores del orden de dos segundos.

VII

Conclusión

En la presente investigación nos hemos propuesto determinar la profundidad hipocentral y la hora inicial en el foco y en el epicentro de las cinco sacudidas que se registraron por los Observatorios españoles, del terremoto del bajo Segura de 10 de septiembre de 1919. Para el cálculo de estos elementos no se han utilizado más que los datos del principio de los sismogramas facilitados por las Estaciones de Alicante, Almería, Cartuja, Ebro, Toledo y Málaga, pues los de las demás, a causa de su imprecisión o de la gran distancia epicentral, no podían intervenir en un cálculo preciso, y aplicando el procedimiento que se basa en la hipótesis del rayo rectilíneo y la propagación con velocidad constante, hasta la distancia de unos 850 kilómetros.

La determinación de la profundidad hipocentral del sismo del bajo Segura por medio del trazado de la curva dromocrónica, ha dado dos valores sensiblemente iguales de 56 a 57 kilómetros. El procedimiento que acopla de dos en dos las Estaciones sismológicas y utiliza las diferencias de horas de $\overline{P}$ ha dado, al aplicar los datos horarios de las cinco sacudidas, 65 valores de la profundidad, de los cuales sólo tres son aceptables e inferiores a 60 kilómetros, cinco están comprendidos entre 60 y 100 kilómetros, y, los demás, son superiores a dicho último límite, o son imaginarios, infinitos o imposibles. La extrema discrepancia de estos resultados es debida a la inexactitud de los datos del registro instrumental, que ofrecen un error medio de 5,64 segundos, si se considera el conjunto de las seis Estaciones citadas y todas las sacudidas, uno que oscila entre 1,84 y 8,76, si se atiende a los datos de las cinco sacudidas en cada Estación, y, por último, un error que varía entre 1,83 y 8,11, para los datos de cada sacudida facilitados por dichas Estaciones.

Si se tiene en cuenta que un error de una décima de segundo en el valor de τ produce en el cálculo de la profundidad hipocentral por la fórmula (3) uno de 4 a 5 kilómetros, por término medio, se comprenderá que la precisión de los datos horarios del sismo del bajo Segura no permite, al emplearlos todos por igual, obtener un valor aceptable de la profundidad

hipocentral. Un estudio detenido de los valores de las horas de $\bar{P}$, facilitados por las diversas Estaciones, ha permitido escoger para cada pareja un valor de τ resultante de formar los promedios de los datos más concordantes, y gracias a esta selección de τ, se han podido hallar seis valores poco discrepantes de la profundidad hipocentral, cuyo promedio de 58,7 kilómetros, difiere muy poco del obtenido por medio del trazado de la curva dromocrónica.

Otro procedimiento, que utiliza la hora del sismo en el epicentro, ha dado dos nuevos valores de la profundidad hipocentral 55 y 46,3 km., y el promedio de todos ellos, que resulta igual a 55 kilómetros, es el que hemos elegido como más plausible, con un error de 2 kilómetros.

Conocido ya el valor de la profundidad hipocentral $h = 55$ kilómetros se ha podido construir la curva dromocrónica correspondiente, y deducir de ella la hora de cada sacudida en el epicentro, la cual coincide sensiblemente con la obtenida por el cálculo, basándose en las horas de $\bar{P}$ facilitadas por las seis Estaciones sismológicas ya citadas. Determinada la hora inicial de las sacudidas en el epicentro se ha podido calcular, por una sencilla operación, la hora en el hipocentro.

A continuación se indican las horas así obtenidas:

	Hora epicentral	Hora focal		
1.ª sacudida.....	$10^h\ 40^m\ 41^s$	$10^h\ 40^m\ 31^s,3$	del 10	de septbre.
2.ª íd.....	$10^h\ 56^m\ 33^s,8$	$10^h\ 56^m\ 44^s,1$	—	—
3.ª íd.....	$11^h\ 59^m\ 10^s,7$	$11^h\ 59^m\ 1^s$	—	—
4.ª íd.....	$14^h\ 22^m\ 39^s,3$	$14^h\ 22^m\ 29^s,6$	—	—
5.ª íd.....	$0^h\ 38^m\ 34^s,8$	$0^h\ 38^m\ 25^s,1$	—	—

Los errores de estas horas pueden evaluarse en un segundo o segundo y medio.

Si se tiene en cuenta la inexactitud de las horas de $\bar{P}$ en la mayor parte de las Estaciones y sacudidas, se reconocerá la gran precisión que permiten los procedimientos empleados en este trabajo, que dan la profundidad hipocentral con error de 2 kilómetros y la hora inicial en menos de dos segundos. Como los datos de la información macrosísmica son bastante seguros para permitir la localización del epicentro, con un error del orden de 3 a 4 kilómetros, se ha renunciado a hallar el valor más probable de las coordenadas del epicentro, basándose en las horas del principio de las sacudidas, pues dadas las inexactitudes de éstas, el cálculo no hubiera podido dar resultados más aceptables que los obtenidos por el trazado de

las isosistas

(epicentro: $\varphi = 38° 4' 30''$ N y $\lambda = 51° 46'$ W Gr.).

Dado el gran número de datos horarios de que se dispone en este sismo, pues se han registrado las horas de $\overline{P}$ de cinco sacudidas, ha sido posible combinarlos de tal modo, que se contrarresten los errores cometidos y hacer el cálculo con datos de gran precisión, lo que ha permitido hallar con mucha aproximación la profundidad hipocentral. Ésta resulta ser de 55 kilómetros, y fija la región en que se ha producido el sismo en las capas más profundas de la zona exterior o de fractura de la corteza terrestre.

Esta conclusión afirma más nuestra creencia de asignar causa tectónica al sismo del bajo Segura, ya que resulta poco admisible la acción de los gases, principalmente hidrocarburos, contenidos y formados en las margas salíferas del Keuper, circulando por grietas a tan considerable profundidad, como la que ha dado el cálculo en este caso.

En los sismos donde no concurra la circunstancia favorable de contar con tantos datos de observación, como en el del bajo Segura, y éste es el caso del sinnúmero de debilísimas sacudidas que se producen en nuestro suelo, será necesario contar con la hora del principio del sismograma en décimas de segundo. De otro modo será imposible fijar la profundidad hipocentral con error de 4 a 5 kilómetros, pues éste es el que por término medio corresponde a una variación de una décima de segundo en la hora del principio del sismograma. Las Estaciones sismológicas suizas de Zürich y Chur, comprendiendo esta necesidad del progreso de la moderna sismometría, han instalado ya sismógrafos de gran sensibilidad, en que el tiempo se determina a la décima de segundo. Esperamos que en nuestra patria, cuya sismicidad es más importante que la de Suiza, lleguemos pronto a disponer de instrumentos que den la hora de las fases en décimas de segundo.

El procedimiento de cálculo que en este trabajo hemos aplicado al sismo del bajo Segura es de una sencillez extraordinaria, y no requiere por otra parte, el disponer de las gráficas, ni hacer análisis difíciles de los sismogramas para fijar las fases iniciales, que en los temblores próximos—precisamente los más interesantes—, exigen una larga experiencia, que sólo se adquiere en las Estaciones sismológicas. En el procedimiento, que con tanto detalle se explica en esta Memoria, sólo se necesita como dato la hora del principio del sismograma registrado por las Estaciones sismológicas, dato que mensualmente publican éstas en sus boletines, y

está, por lo tanto, a disposición de todo el que quiera dedicarse a estas necesarias e importantes investigaciones.

El resultado del cálculo es facilitar las tres coordenadas del foco, con lo cual el sismo queda fijado en el espacio y la hora inicial de la sacudida, que lo determina en el tiempo. Es como extender la partida de nacimiento del sismo, pues sabemos el punto y hora en que se produjo la sacudida. La localización del epicentro permitirá hacer el estudio y delimitación de nuestras zonas sísmicas. La determinación de la profundidad hipocentral permitirá deducir la afinidad de los sismos que se produzcan en una misma comarca en distintas épocas, saber cuales corresponden a un mismo accidente sismogénico, y, por lo tanto, ir conociendo interesantes pormenores de los rasgos ocultos de la corteza terrestre. Por último, el conocimiento de la hora en que se producen las sacudidas podrá servir de base al estudio de la sismicidad de nuestro suelo y definir las características de la periodicidad o frecuencia sísmica de nuestras zonas, tan diversas por las condiciones con que se manifiestan en ellas los fenómenos sísmicos.

Para llegar a este conocimiento de nuestro suelo es necesario dedicar a cada una de las sacudidas que se producen a diario y registran las Estaciones sismológicas de nuestra red, un trabajo análogo al que se presenta en esta Memoria, claro está que reducido a más modestas proporciones, si se trata de débiles sismos en que sólo se cuenta con la hora del principio, registrada por dos o tres Estaciones.

Esta labor, tan importante, como prolongada, que está al alcance de los amantes de la Sismologia, exige la colaboración de muchos investigadores, que deseen ofrecer a su patria el concurso que requiere la historia sísmica de nuestro suelo. Estas razones nos han llevado a estudiar al detalle el sismo del bajo Segura, confiados en que los procedimientos explicados despertarán el interés de los centros e investigadores que se dedican a estas importantes cuestiones y que España, gracias a esta labor, contará en breve plazo con el estudio, ya hecho, de los caracteres de sus zonas sísmicas, estudio, que a pesar del funcionamiento de una importante red de Estaciones sismológicas, apenas se ha iniciado, no obstante la importancia extraordinaria que tiene desde el punto de vista científico.

BIBLIOGRAFÍA

1. V. INGLADA.—*Cálculo de las coordenadas del foco sísmico y del instante inicial de las sacudidas por medio de las horas del principio de los sismogramas registrados en varias Estaciones próximas*. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, tomo XXII, cuad. IV, páginas 523-92 (junio de 1926).
2. B. GUTENBERG.—*Die mitteleuropäischen Beben vom 16 November 1911 und 20 Juli 1913. I.* Herausgegeben von O. Hecker. Veröffent. des Zentralbüros d. int. seism. Assoc. Strasburg, 1915 84 págs. y un atlas de 32 láminas.
3. V. INGLADA.—*Los problemas de la moderna sismología geológica en relación con el estudio de la tectónica de las regiones sísmicas de España*, tomo extraordinario publicado con motivo del 50° aniversario de la fundación de la Real Sociedad Española de Historia Natural, págs. 349-365, Madrid, 1921.
4. V. INGLADA.—*Nuevas fórmulas para abreviar el cálculo de la profundidad aproximada del foco sísmico por el método de Köveslighety y su aplicación a algunos temblores de tierra*. Instituto geográfico. Madrid, 1921, págs. 47 a 50.
5. R. SÁNCHEZ LOZANO Y A. MARÍN.—«Estudio relativo a los terremotos en la provincia de Murcia de 1911.» *Boletín del Instituto Geológico*, tomo XII, 2.ª serie, págs. 179-214.
6. V. KINDELÁN Y J. DE GOROZTIZAGA. Ingenieros de Minas — «Sobre los terremotos ocurridos en las provincias de Alicante y Murcia en 1919.» *Boletín del Instituto Geológico de España*, tomo XLI, 1920, págs. 247-277.
7. A. DE QUERVAIN.—*Jahresbericht der Schweizerischen Erdbebendienst 1923*, págs. 9-11, Zürich, 1924.
8. *Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Institut, Nr. 108.* Seismische Registrierungen in de Bilt, 7, 1919. Utrecht, 1922.
9. P. DE NOVO Y CHICARRO. Ingeniero de Minas.—«Reseña Geoló-

gica de la provincia de Alicante.» *Boletín del Instituto Geológico de España*, tomo XVI, 2.ª serie, 1915.

10. M. M.ª SÁNCHEZ-NAVARRO NEUMANN, S. J.—«Los terremotos alicantinos en septiembre de 1919.» *Ibérica*. Año VI, tomo II, vol. XII, núm. 301.

11. M. M.ª SÁNCHEZ-NAVARRO NEUMANN, S. J. — «Los terremotos sentidos en las provincias de Alicante y Murcia en septiembre de 1919.» *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*. Año IX, núm. 69, págs. 85-88.

12. M. M.ª SÁNCHEZ-NAVARRO NEUMANN, S. J.—*Contribución al estudio de las ondas sísmicas*. Asociación Española para el progreso de las ciencias. Congreso de Sevilla, 1917.

13. A. SIEBERG.—*Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde*. Teoría de las ondas sísmicas por Beno Gutenberg, págs. 334 a 343. Jena, 1923. Librería de G. Fischer.

ÍNDICE DE LAS MATERIAS

	Páginas.
Introducción	1
I.—Antecedentes	5
II.—Determinación de la profundidad hipocentral por el trazado de la curva dromocrónica	14
III.—Determinación de la profundidad hipocentral por medio de las diferencias de horas de $\overline{P}$ registradas en cada dos Estaciones sismológicas	18
IV.—Determinación de la profundidad hipocentral por medio de las horas de las sacudidas en el epicentro	36
V.—Cálculo de la hora inicial, de las cinco sacudidas, en el foco y en el epicentro	45
VI.—Grado de precisión de los datos horarios del registro instrumental y de los resultados del cálculo	54
VII.—Conclusión	67
Bibliografía	71

IMPRENTA
CLÁSICA ESPAÑOLA