

INSTITUTO GEOGRAFICO Y CATASTRAL

EL SISMO DE FOCO PROFUNDO

DE

29 DE MARZO DE 1954

EN LA

FALLA DE MOTRIL

POR

JUAN M.^a BONELLI y LUIS ESTEBAN CARRASCO
INGENIEROS GEOGRAFOS



MADRID

TALLERES DEL INSTITUTO GEOGRAFICO Y CATASTRAL

1957

EL SISMO DE FOCO PROFUNDO DE 29 MARZO DE 1954



INTRODUCCION

El 29 de marzo de 1954, a las 06^h 18^m 28^s (T. M. G.), los sismógrafos del Observatorio de Toledo registraron la llegada del primer impulso de un sismo violentísimo, tanto, que las plumas saltaron de las bandas interrumpiendo el registro. Minutos después, la pluma del Wiechert Z, de 1.300 kilos de masa, se estabilizaba retornando a su posición de equilibrio y continuaba el registro de un sismo cuyas características acusaban claramente su procedencia ibérica. Los otros dos sismógrafos, de componentes horizontales N. y S. de 1.000 kilos de masa cada uno, quedaron fuera de servicio hasta que, casi una hora después, se procedía por el personal del Observatorio, como todas las mañanas, al diario cambio de bandas.

En vista de lo ocurrido, y como la violencia del sismo y la seguridad de que su foco era ibérico hacía temer una catástrofe en la zona pleisósista, se iniciaron inmediatamente los oportunos contactos con los demás Observatorios de la red oficial, así como las posibles exploraciones macrosísmicas con el fin de localizar el epicentro. Todos los Observatorios habían registrado el sismo, y en todos la violencia del mismo había producido la interrupción de los registros; pero, con la natural sorpresa de todos, las informaciones macrosísmicas no anunciaban daños en ninguna parte; se había sentido en toda Andalucía, Granada (G. III-IV); en el Norte de Africa: Taza (IV-V), Meknés (IV), Fez (IV), Casablanca (II); en Castilla la Nueva, incluso en el propio Madrid, pero sin que hubiera dado lugar nada más que a la natural y consiguiente alarma, y como la región macrosísmica era extraordinariamente extensa, y como el epicentro se había podido situar, en una primera aproximación, entre Sierra Nevada y el Mar de Alborán, fué preciso pensar que nos encontrá-

bamos ante el inesperado y extraordinario hecho de que se había producido un sismo ibérico de foco profundo.

Esta hipótesis, que fué hecha con las mayores reservas, hubiera podido ser confirmada prontamente si los sismógrafos no hubieran quedado fuera de servicio por la violencia del primer impulso, pues entonces, la aparición en el sismograma de la inconfundible onda pP nos habría dado la clave del asunto; pero, al no contar con esta posibilidad, fué preciso esperar a la llegada de las informaciones que posteriormente se fueron recibiendo de los Observatorios extranjeros, las que vinieron a confirmar y reforzar la hipótesis de que el sismo era de foco profundo, y así, el Bureau Central de Sismología (B. C. I. S.), de Strasbourg, y la United States Coast and Geodetic Survey (U. S. C. G. S.), de Washington, que tiene montado un excelente servicio de localización rápida de epicentros, coincidieron en asignar a este sismo la profundidad hipocentral de 630 y 650 kilómetros, respectivamente, con las siguientes coordenadas epicentrales: 36°,9 N.; 3° 1/4 W., para la B. C. I. S., y 37° N.; 3° 1/2 W., para la U. S. C. G. S. Estos epicentros no ofrecen una gran concordancia con los resultados de las informaciones macrosísmicas; pero precisamente esta discordancia viene a reafirmar la inesperada profundidad del foco, por ser cosa normal y frecuente en los sismos de este tipo.

Los sismos de foco profundo

El asombro producido por este sismo, y el interés por el mismo como consecuencia de este asombro, obedece a que, como es bien sabido, los sismos se clasifican, por razón de la profundidad de su foco, en «normales», «intermedios» y «profundos», según que éste se encuentre a menos de 65 ó 70 kilómetros; entre 70 y 300 kilómetros, o a más de esta última cifra sin sobrepasar la de 700 kilómetros, pues a partir de ella, ni se ha registrado jamás un solo sismo, ni se admite que puedan producirse. Clasificados así los sismos, al estudiar la repartición de sus diferentes clases sobre la superficie del Globo, llega Beno Gutenberg en su excelente trabajo *Sismicidad de la Tierra*, a la conclusión de que los sismos de «foco profundo» (entre 300 y 700 kilómetros de profundidad focal), sólo se producían en el arco circumpacífico, mientras que en el geosinclinal mediterráneo sólo podían tener lugar, cuando más, sismos de «foco intermedio»,

pero aun éstos, en escaso número, y más bien limitados a la zona de los Cárpatos, Chipre, Rodas, las islas Lípari, etc. Y como esta teoría era por todos admitida porque obedecía al hecho real y tangible de que nunca se había registrado un sismo de tal tipo fuera del arco circumpacífico, fácil es comprender la curiosidad científica y el interés de la aparición del sismo que nos ocupa.

Turner, el eminente sismólogo inglés, fué el primero que llamó la atención acerca de la posibilidad de que existieran sismos cuya profundidad focal fuera notoriamente superior a la hasta entonces admitida. La explicación de su hipótesis la ofreció en la introducción al *International Seismological Summary*, que él dirigía, correspondiente al año 1920, publicado en 1924. Se basaba su hipótesis en la observación de las diferencias que se encontraban entre la hora de llegada de las ondas P a una serie de estaciones, en determinados sismos, y las calculadas teóricamente y que figuran en las tablas sismológicas.

Además, estos sismos ofrecían unas gráficas características, abundantísimas en impulsos en las fases preliminares y carentes casi por completo de ondas lentas. Posteriormente, el ilustre sismólogo japonés Wadati, en 1928, y en su trabajo *Shallow and deep earthquakes*, demostró la existencia de estos sismos, que fué corroborada por el Profesor Stoneley.

Comprobada la existencia de los sismos de foco profundo, se imponía la necesidad de buscar la explicación de su origen y del mecanismo que podría producirlos dentro del cuadro general de nuestros conceptos actuales acerca de la constitución, composición y características del interior de la Tierra. Todas ellas se han apoyado en la distinta estructura que tiene la corteza en la región pacífica y circumpacífica, y que, por esta razón, se ha llamado «estructura pacífica» de la corteza, y la que presenta en el resto del Globo y que se conoce por «estructura continental». Esta división —bastante generalizada y admitida, aunque no faltan autores que suponen que el fondo del Atlántico presenta características similares a las del Pacífico— admite que la estructura pacífica está caracterizada por la ausencia o casi ausencia de la capa superior, capa granítica o sial, y que, en su consecuencia, el sima superior, que no está sometido a la fuerte presión del sial y que se encuentra, además, refrigerado por

las aguas del mar, tiene unas condiciones de rigidez y tenacidad muy diferentes de las del sima superior continental. Esta distinta estructura de la corteza en regiones diferentes de la tierra, unida a la posibilidad de producirse en el interior corrientes subcorticales de tipo plástico como consecuencia de fenómenos radiactivos capaces de provocar fuertes elevaciones de temperatura en lugares determinados, daría lugar a desplazamientos del sima que serían el origen de los sismos de foco profundo. Según otras teorías, la producción de estas corrientes subcorticales sería consecuencia del desplazamiento de los continentes sobre el sima subyacente, que produciría un arrastramiento de éste y daría lugar a fenómenos de ruptura de las rocas en forma similar a la que producen los sismos normales. Y, por otra parte, la hipótesis de la isostasia, y la observación de las anomalías gravimétricas, ha intentado también buscar una explicación a la génesis de los sismos de foco profundo, tratando de encontrar una concatenación entre las anomalías observadas y la distribución de los focos de las distintas clases de sismos: normales, intermedios y profundos. En resumen, se admite que los sismos profundos no son debidos a una especie de explosión, ni a un colapso de la materia, sino que tiene su origen en desplazamientos o movimientos diferenciales a lo largo de ciertas fallas profundas; hipótesis que parece confirmarse por la presencia de grandes ondas transversales en las gráficas de estos sismos y por la distribución de los primeros impulsos —dilataciones o compresiones— observados en varios azimutes y a diferentes distancias epicentrales. La consideración de ambos datos de observación conduce a suponer un mecanismo en el foco muy similar al que da lugar a la producción de los sismos superficiales.

A pesar de todos estos loables esfuerzos, el problema está lejos de haber quedado satisfactoriamente resuelto, entre otras razones porque para que lo estuviera tendríamos que haber contestado antes con entera claridad a la pregunta de cómo se encuentra la materia en el interior de la Tierra y cuáles son sus características físicas y químicas y su comportamiento ante los distintos tipos de esfuerzos a que puede estar sometida en cada caso.

La primera pregunta, cuya contestación es bastante complicada, es aquella que se nos puede hacer acerca de si la materia es «sólida» o «flúida» en el interior de la Tierra, porque depende, en primer lugar, del valor que se quiera dar a ciertas palabras. La expresión muy

corriente en Geología de «materiales fundidos» significa, fundamental y generalmente, cuál es el comportamiento que sigue a una elevación de temperatura por encima del punto de fusión. En la superficie, cuando un material «funde» se hace «flúido», de donde, corrientemente, las palabras «fundido» y «flúido» vienen a ser sinónimas y, sin embargo, ambas corresponden a dos procesos diferentes de la materia, pues la primera se refiere a la transición del estado cristalino al no cristalino, y la segunda—transición de «sólido» a «flúido»—es el paso de una relativa gran rigidez y viscosidad a otros valores mucho menores.

Asimismo, es muy corriente que se defina un líquido como un cuerpo de «tenacidad» despreciable, en donde la palabra «tenacidad» viene definida por la presión mínima que ha de ser aplicada para que se produzcan en el cuerpo un corrimiento o flujo *plástico*; pero esta definición no está de acuerdo con el empleo correcto de la palabra «flúido», puesto que un material con poca o muy poca «tenacidad», pero elevada «viscosidad»—como, posiblemente, se encuentran los materiales en las capas profundas del manto—tendría que ser llamado «flúido» por ser su «tenacidad» despreciable, y esto, aunque por razón de su «viscosidad» puedan ser necesarios miles de años para que el movimiento de corrimiento o flujo que se produzca sea apreciable. La palabra «flúido» trae aparejados los conceptos de poca «tenacidad» y poco «coeficiente de viscosidad», pues ante la dificultad de que las palabras expresen caracteres concretos que impidan toda confusión, se ha buscado expresar las diferentes cualidades por medio de coeficientes numéricos mucho más aptos para darnos idea acerca de las condiciones de la materia en cada caso. También puede ser definida la tenacidad como la presión máxima que una sustancia puede resistir sin fluir o sin romper. La diferencia entre ambas definiciones está en que en el arrastramiento elástico («elastic creep») no está incluido el flujo elástico y puede ocurrir a presiones menores de la tenacidad, pues ésta, en realidad, depende del tiempo durante el cual actúa la presión, hasta el punto que se puede admitir que, dado un tiempo suficientemente largo, ninguna roca tiene tenacidad.

De igual manera, otra de las palabras que carecen de definición apropiada es la de «corteza». Al hablar de ella se suele tratar de materiales cristalinos y amorfos o vítreos, pues cuando un material no es cristalino, pasa a llamarse vítreo o amorfo, sin tener en cuenta si su temperatura se encuentra por encima o por debajo del punto

de fusión y, sin embargo, este punto es importante, pues da lugar a que cualquier material sólido pueda experimentar deformaciones permanentes no elásticas, sin romperse, ya sea por flujo *plástico*, ya sea por deslizamiento o arrastramiento («elastic creep») en el curso del tiempo.

Lo cierto es que al describir ciertas partes de la Tierra se consideran diferentes propiedades físicas: estado físico, densidad, elasticidad, viscosidad, tenacidad, temperatura, etc., que introducen no pocas dificultades de concepción y expresión. Hablamos antes de la clasificación de la corteza terrestre en estructura continental y estructura pacífica, pero para unos existe una capa cristalina en contraste con un substratum vítreo; otros, consideran una «litosfera», que es una capa de gran «tenacidad», superpuesta a la «astenosfera» de poca «tenacidad». Las palabras sial y sima, empleadas por otros, olvidan un poco las características elásticas de las rocas para fijarse en su composición, pero, desgraciadamente, tal división es ya insuficiente, y hoy se admite como más probable una clasificación de «rocas simáticas» (basaltos y gabros); otras menos básicas o más ácidas, las rocas «siálicas», y otras más básicas, ultrabásicas o «ultrasimáticas». Por último, en Sismología se admiten hoy tres capas: la granítica, la basáltica y la peridotítica, y aun, dentro de ellas, otras capas con baja velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

Conviene tener presente que, en el momento actual, la densidad y las constantes del interior de la Tierra, con excepción de la rigidez del núcleo, tienen valores cuya exactitud o, por mejor decir, aproximación, está dentro de los límites requeridos por la mayoría de los problemas, pero hay otras cantidades como la temperatura, viscosidad, fuerzas existentes capaces de producir cambios como los de formación de montañas, movimientos de parte o toda la corteza, etc., que no tienen datos seguros. La dificultad de tenerlos es debida, en parte, a que no hay, hoy por hoy, experiencias de laboratorio a las altas presiones y temperaturas del interior, y, en parte también, a que son demasiadas ciencias las que intervienen en la cuestión—atómicas, físicas, químicas, de especialidades múltiples—, que hacen absolutamente imposible que una sola persona domine tan variados campos científicos y, en su consecuencia, que sólo por medio de un trabajo coordinado de equipos se pueda llegar a lograr una síntesis.

Como hemos dicho más arriba, la existencia de los sismos de foco profundo y las características que, por el estudio de los sismogramas, se pueden suponer para el mecanismo en el foco, obliga a admitir que a 700 kilómetros de profundidad existen esfuerzos cortantes o de cizalla, lo que, a primera vista, parece exigir que la «tenacidad» de aquellas rocas tenga un valor suficientemente grande. Sin embargo, esto no es así, pues la viscosidad a esas profundidades parece ser tan elevada que no puede ocurrir un flujo *plástico* rápido aunque no exista tenacidad. Por otra parte, no hay dificultad en reconciliar la existencia de estos sismos con las exigencias de la isostasia y con su secuela de movimientos graduales de ajuste en la corteza, pero para que así suceda, parece necesario que la tenacidad de las rocas sea escasísima a esas profundidades, lo que no impide, sin embargo, que puedan ocurrir fenómenos de ruptura como consecuencia de relativamente rápidas acumulaciones de grandes esfuerzos. Griggs, («Deformation of rocks under high confining pressures.—*Jour. Geo.* 44.—1936»), comprobó que, al contrario de la creencia general, la experiencia demuestra que cuando una roca entra en la región de flujo *plástico*, no se deforma indefinidamente, sino que rompe si la deformación ha sido llevada suficientemente lejos.

En una primera aproximación es frecuente suponer que las presiones en el interior de la tierra son elásticas de acuerdo con la ley de Hooke, especialmente para pequeños esfuerzos que actúan durante intervalos cortos. Sin embargo, el acuerdo entre la observación y el cálculo basado en procesos elásticos puros, no es satisfactorio cuando se consideran grandes tensiones o cuando se trata de cualquier tensión que actúe durante un intervalo grande. Entonces se ha supuesto que a una presión crítica determinada («tenacidad») las condiciones definidas por Hooke cambian para hacerse dependientes del tiempo. La relación entre la diferencia de presiones y el doble de la relación del desplazamiento durante un flujo ideal, es la que ha venido a llamarse «coeficiente de viscosidad». Al introducir este nuevo concepto de viscosidad para representar el efecto total de todo flujo que depende del tiempo, ha habido que considerar también que la respuesta elástica puede ser retardada por la «fricción interna» («firmo-viscosidad»), aunque se piensa que los simples cambios de volumen pueden ocurrir sin fricción interna apreciable, pues los elementos de un material comprimido no cambian su orientación relativa.

El coeficiente de viscosidad y la fricción interna han sido investigados por Jeffreys por medio del estudio de los movimientos de los polos. Por otra parte, Schweydar observó que las mareas de la corteza serían totalmente imposibles si existiera una capa de 100 kilómetros de espesor que tuviera un coeficiente de viscosidad de 10^9 grm./cm. seg., o una capa de 600 kilómetros con un coeficiente de 10^{13} grm./cm. seg., que es, aproximadamente, el coeficiente de viscosidad del hielo. El estudio del levantamiento de las tierras después de la retirada de la glaciación del Pleistoceno ha permitido obtener datos más aproximados del coeficiente de viscosidad, y así, Vening Meinesz, partiendo de las anomalías de la gravedad, ha encontrado un valor de 4×10^{22} grm./cm. seg., y Haskell, por métodos puramente matemáticos aplicados a la recuperación de la tierra al desaparecer la capa de hielo de Fennoscandia, encontró también un valor de 10^{22} grm./cm. seg. Los datos más exactos conducen a un valor comprendido entre 10^{22} y 10^{23} grm./cm. seg. en la «astenosfera» superior, con un valor correspondiente para el tiempo de relajación, o sea, el tiempo necesario para que se produzca la recuperación de tipo elástico, de unos diez mil años.

Al considerar, con los anteriores datos a la vista, y con las teorías sobre que se fundamentan, el hecho de que por debajo de los 700 kilómetros no existen sismos, cabe pensar que tal suceso ocurre no porque las presiones disminuyan con la profundidad, sino porque el flujo *plástico* a esas profundidades tiene una velocidad suficientemente grande para impedir la acumulación de tensiones. Esta hipótesis obliga a admitir que el tiempo de relajación, por debajo de los 700 kilómetros es de 10^8 seg. (treinta años aproximadamente) y que el coeficiente de viscosidad disminuiría hasta llegar a un valor inferior a los 10^{20} grm./cm. seg.; mas como por encima de los 700 kilómetros existen sismos, parece probable que el coeficiente de viscosidad en esas capas exceda ya del anterior valor de 10^{20} grm./cm. seg.

Conviene observar que si se consiguiera apreciar una separación del ecuador de la figura de un verdadero círculo, podría indicarnos esta separación la existencia de una viscosidad relativamente elevada. No obstante, hasta el momento actual los datos son insuficientes para suministrar resultados dignos de crédito, pues no se han encontrado ondulaciones de la corteza superiores a los 50 metros.

El otro valor importante que es preciso tener en cuenta al tratar de elaborar hipótesis acerca de la existencia y origen de los sismos

de foco profundo, es la «tenacidad» de las rocas, cuyo orden de magnitud, a 15° centígrados, varía entre 10^9 para el mármol y la arenisca, y 10^{11} dinas/cm² para el cuarzo; valores que decrecen considerablemente con el aumento de temperatura. En las proximidades de la superficie de la Tierra, la tenacidad parece ser del orden de 10^9 dinas/cm², valor que se correspondería bien con el hecho de que persistan montañas de hasta 10 kilómetros de altura, a condición de que la viscosidad fuera suficientemente elevada —del orden de 10^{25} grm./cm. seg., por lo menos—, para que impidiera la existencia de un flujo *plástico* observable.

Por otra parte, la teoría de la isostasia exige la existencia de un flujo *plástico* a profundidades de 100 kilómetros, por lo menos, bajo presiones del orden de 10^7 y hasta 10^6 dinas/cm², y, en su consecuencia, para aceptar la isostasia hemos de admitir que el orden de magnitud de la tenacidad a 100 kilómetros no debe exceder de 10^7 dinas/cm², y, posiblemente, que ha de ser mucho menor. Esta consideración da lugar a pensar que cabe en lo posible, y hasta puede estimarse como probable, que la tenacidad de las rocas en la superficie y a profundidades mayores obedezca a mecanismos diferentes. Jeffreys cree que la tenacidad a 600 kilómetros es, por lo menos, del orden de 10^8 dinas/cm². Si así fuera —y no hay que olvidar la autoridad científica del sismólogo que sostiene esta creencia—, o haría falta una nueva explicación de la isostasia, o el equilibrio isostático no existiría.

Como puede verse por cuanto anteriormente llevamos dicho, la explicación del origen de los sismos de foco profundo envuelve una serie de problemas tan complejos y exige una serie de conociminetos tan dispares y diversos que, hoy por hoy, la contestación es un poco hipotética y aventurada. Lo que sí es indudable es que la presencia inequívoca y real del sismo de 29 de marzo de 1954, que nos ocupa, obligará a revisar viejos conceptos, porque la estructura pacífica de la corteza que parecía estar ligada de modo privativo a la existencia de estos sismos de foco profundo, ha dejado de estarlo, y, por lo tanto, las hipótesis que se hagan para explicar el origen de estos mismos tendrán que tener a la vista el hecho concreto y notable de que en el Sur de España, en pleno geosinclinal mediterráneo, también pueden producirse los sismos de foco profundo.

ESTUDIO DEL SISMO DE 29 DE MARZO DE 1954

Para llevar a cabo el estudio de este sismo, se solicitaron por este Laboratorio Central de Sismología las gráficas originales, o copias de las mismas, a un elevado número de Observatorios. Desgraciadamente, tan sólo se recibieron las de un reducido número de ellos. Y, en consecuencia, los datos sobre los que hemos operado no están leídos directamente en las bandas, sino que los hemos recogido de los Boletines sismológicos de los diferentes Observatorios.

En el Cuadro I figuran los Observatorios que se han utilizado para el cálculo, las horas de llegada de la onda P a cada uno de ellos, y sus distancias al epicentro elegido provisionalmente para el cálculo, cuyas coordenadas son: $\varphi_0 = 37^\circ$ N.; $\lambda_0 = 3^\circ,5$ W., habiéndose tomado como profundidad provisional la de 650 kilómetros.

Para el cálculo de las correcciones que hay que aplicar a este epicentro para obtener el definitivo, hemos seguido el método analítico descrito por Inglada en su trabajo *Contribución al estudio del batisismo sudamericano de 17 de enero de 1922*, cuya fórmula para las ecuaciones de condición es:

$$t_0 - \frac{\partial f}{\partial \Delta_n} \cos \frac{\Delta_n}{2} (\text{sen } Z_n \cdot \delta \lambda_0 + \cos Z_n \delta \varphi_0) + \frac{\partial f}{\partial h_0} \delta h_0 = \\ = T_n - t_0 - f(\lambda_0, \varphi_0, h_0)$$

en donde δt_0 , $\delta \lambda_0$, $\delta \varphi_0$ y δh_0 representan, respectivamente, las correcciones de la hora en el origen, longitud, latitud y profundidad; Δ_n , Z_n y T_n la distancia epicentral, azimut y hora de llegada de la onda P a los diferentes Observatorios; $f(\lambda_0, \varphi_0, h_0)$ es el tiempo de propagación de la onda P correspondiente a la distancia al epicentro provisional del Observatorio en cuestión; $\frac{\partial f}{\partial \Delta_n}$ y $\frac{\partial f}{\partial h_0}$ son las derivadas parciales de esta función con relación a la distancia y a la profundidad. Todos estos valores aparecen en el Cuadro I.

En el Cuadro II puede verse el sistema formado por las ecuaciones de condición que resuelto —por el método de los mínimos cuadrados— dió la solución siguiente:

$$\begin{aligned} \delta t_0 = x_0 &= + 0.224989 \\ \delta \lambda_0 = y_0 &= - 0.265653 \\ \delta \varphi_0 = z_0 &= + 0.041504 \\ \delta h_0 = t_0 &= + 0.040563 \end{aligned}$$

lo que da para el epicentro las siguientes coordenadas:

$$\varphi = 37^{\circ} 2' 5 \text{ N.}$$

$$\lambda = 3^{\circ} 46' \text{ O.}$$

con un valor de la hora en el origen de

$$T_0 = 06^{\text{h}} 17^{\text{m}} 05^{\text{s}}, 2$$

y una profundidad de

$$h = 654 \text{ Kms.}$$

En el Cuadro III figuran las desviaciones de cada una de las ecuaciones de condición y la desviación standard.

Como algunas de estas desviaciones tienen unos valores un poco elevados decidimos repetir el cálculo eliminando del mismo aquellos Observatorios cuya ecuación de condición presentara una desviación superior a la standard, con lo que quedó reducido el sismo a 75 ecuaciones.

La resolución del nuevo sistema condujo al siguiente resultado:

$$x = \delta t_0 = -0.199605 \pm 0.215449$$

$$y = \delta \lambda_0 = -0.251818 \pm 0.026202$$

$$z = \delta \varphi_0 = -0.034075 \pm 0.035978$$

$$t = \delta h_0 = +0.074939 \pm 0.029315$$

en el que aparecen las incógnitas con sus errores probables.

Por comparación entre los valores de las correcciones de las incógnitas y los errores probables de los mismos adoptamos como epicentro definitivo el de coordenadas:

$$\varphi = 37^{\circ} \text{ N.} \quad \text{y} \quad \lambda = 3^{\circ} 45' \text{ O.}$$

con una hora en el origen de

$$T_0 = 06^{\text{h}} 17^{\text{m}} 05^{\text{s}}$$

y una profundidad hipocentral de

$$h = 657 \text{ Kms.}$$

Este epicentro coincide con los determinados por la B. C. I. S. y la U. S. C. G. S. en cuanto al valor de la latitud y con la hora en el origen de la segunda. La longitud da un epicentro más desplazado hacia el W. ($1/4$ de grado aproximadamente). En cuanto a la profundidad, resulta sensiblemente igual a la de la U. S. C. G. S., aunque ligeramente superior.

Este epicentro se encuentra localizado en la falla de Motril, una de las que fracturan la cordillera Penibética, y muy próximo al del sismo destructor de 25 de diciembre de 1884, conocido con el nombre

de sismo de Andalucía, que alcanzó el grado X y destruyó numerosos pueblos en las provincias de Granada y Málaga, con un total de más de 17.000 edificios hundidos o destruidos.

Afortunadamente, en el caso del sismo que nos ocupa, la profundidad excepcionalmente elevada del foco ha evitado la repetición de la catástrofe, aunque sirve para confirmar dos cosas: la importancia de la sismicidad de esa falla precisamente, y la probabilidad de que los accidentes geológicos y tectónicos que se acusan en la superficie puedan afectar también a las capas profundas en proporciones no bien determinadas, pero con una cierta correlación que concede a toda la corteza una unidad sin perjuicio de la variedad que conocemos.

Como suele ocurrir en esta clase de sismos, el trazado de las isosistas es un poco desconcertante, pues en la región epicentral el sismo fué sentido con menos intensidad que en otras zonas del área macrosísmica, y, concretamente, en el Norte de Africa, en Marruecos, se llega a sentir con el grado VII, cuando en el epicentro sólo se registra el grado IV. A título informativo publicamos dos mapas de isosistas; el primero, de la Península Ibérica y Norte de Marruecos, trazado por el Ingeniero Jefe del Observatorio Sismológico de Alicante, D. Juan Martín Romero, y el segundo, de todo Marruecos, debido a M. Debrach, Director del Observatorio de Casablanca, que ha tenido la amabilidad de enviárnoslo. Como de la comparación de ambos puede deducirse, el trazado de las isosistas, que siempre tiene algo de subjetivo y personal, acusa verdaderas anomalías que hace muy difícil la unificación de las observaciones efectuadas a uno y otro lado del estrecho de Gibraltar. No obstante, parece evidente que la propagación de las ondas sísmicas ha encontrado un camino mucho más favorable hacia el S. y SW. que hacia las restantes direcciones; y, concretamente, en toda la zona de la Mole Bética, al E. de la falla de Motril, a pesar de estar en las cercanías del epicentro, no fué sentido el sismo, pasando bruscamente la intensidad del grado IV en la falla, al grado 0, 20 kilómetros más al E.

Este fenómeno de amortiguamiento al llegar al estrato cristalino de Sierra Nevada, Alpujarras, etc., ya se dió en el citado sismo de Andalucía, en el que los efectos destructores de la sacudida desaparecieron al llegar a esa región. Es decir, que todo el terreno secun-

dario que rodea la Mole Bética y, a veces, se infiltra en ella, vibra al producirse el fenómeno sísmico; mas no así el estrato cristalino, que permanece estable y tranquilo, tanto cuando el sismo es de profundidad normal —caso del sismo de 1884—, como cuando es de foco profundo, como ocurre en el caso actual.

Para que el cuadro del fenómeno quede más completo, conviene recordar que todo el estrato cristalino que constituye las Sierras Nevada, Alpujarras, Gador, etc., no está plegado, ni ha sido desplazado hasta aquel lugar por los movimientos alpinos o postalpinos. Es autóctono y pertenece al terreno arcaico más definido. A su alrededor todo ha sido plegado alpinicamente, y al S. el hundimiento de una dovela de la corteza ha dado lugar a la formación del mar de Alborán y del estrecho de Gibraltar. Así, pues, las serranías Penibéticas vienen a ser como una isla granítica, de la verdadera corteza, que emerge, aunque fraccionada y rota, en el mar alborotado y revuelto de los terrenos sedimentarios que las circundan. Y cabe preguntar: ¿Hasta dónde llegan y cómo están formadas las raíces de esta isla, que la preservan tan claramente de vibrar sísmicamente, cualquiera que sea la profundidad del foco? ¿Hasta dónde se prolongan las fallas que se observan en la superficie?

BIBLIOGRAFIA

- ALIA MEDINA, M.—*Sobre el origen de los batismos*. «Revista de Geofísica», número 21. Madrid, 1947.
- BONELLI, J., y ESTEBAN CARRASCO, L.—*Resultados provisionales del estudio del carácter sísmico de la Falla del Guadalquivir*. Publicaciones del Instituto Geográfico y Catastral. Madrid, 1953.
- BULLEN, E. K.—*Composition of the earth at depth of 500-700 km*. «Nature», 142: 671 (1938).
- GRIGGS, D. T.—*Deformation of rocks under high confining pressures*. «Jour. Geology», 44: 541-577 (1936).
- GUTENBERG, B., and RICHTER, C. F.—*Seismicity of the earth and associated phenomena*. Princeton University Press, 1940.
- TURNER, H. H.—*Deep Focus*. «International Seismological Summary for 1927», January, February, March. Pp. 1 and 108. Oxford, 1930.
- WADATI, K.—*Shallow and deep earthquakes (2d paper)*. Geophys. Mag., Tokyo, 2: 1-36 (1930).

CUADRO I

Núm.	OBSERVATORIOS	φ	λ	Δ_n	$\cos \frac{\Delta_n}{2}$	Z_n	$\text{sen } Z_n$
1	Málaga	36,7 N	4,4 W	0,8	0,99998	249,0	- 0,93358
2	Cartuja	37,2 N	3,6 W	0,4	99999	338,0	- 37461
3	Alicante	38,4 N	0,5 W	2,6	99974	59,4	+ 86074
4	Toledo	39,9 N	4,0 W	3,0	99966	352,5	- 13053
5	Tortosa	40,8 N	0,5 E	4,9	99909	38,0	+ 61566
6	Averroes	33,3 N	7,4 W	4,9	99909	221,2	- 65869
7	Lisboa	38,7 N	9,1 W	5,0	99905	293,0	- 92050
8	Coimbra	40,2 N	8,4 W	5,2	99897	314,0	- 71934
9	Alger	36,8 N	3,0 E	5,0	99905	90,5	+ 99996
10	Barcelona	41,4 N	2,1 E	6,3	99849	43,0	+ 68200
11	Oropa	45,6 N	8,0 E	12,1	99443	41,5	+ 66262
12	Besançon	47,2 N	6,0 E	12,4	99415	32,0	+ 52992
13	Neuchâtel	47,0 N	7,0 E	12,6	99396	34,5	+ 56641
14	París	48,8 N	2,5 E	12,7	99385	18,5	+ 31730
15	Pavia	45,2 N	9,2 E	12,7	99386	45,0	+ 70711
16	Prato	43,9 N	11,1 E	12,8	99377	54,0	+ 80902
17	Firenze	43,8 N	11,3 E	13,0	99357	54,0	+ 80902
18	Siena	43,3 N	11,3 E	13,0	99357	56,5	+ 83389
19	Roma	41,9 N	12,5 E	13,0	99357	63,0	+ 89101
20	Basel	47,6 N	7,6 E	13,1	99347	34,0	+ 55919
21	Zürich	47,4 N	8,6 E	13,6	99297	36,8	+ 59902
22	Chur	46,9 N	9,5 E	13,6	99297	40,0	+ 64279
23	Strasbourg	48,6 N	7,8 E	14,2	99233	32,0	+ 52992
24	Kew	51,5 N	0,3 W	14,5	99200	8,0	+ 13917
25	Ravensburg	47,8 N	9,6 E	14,6	99189	37,5	+ 60876
26	Karlsruhe	49,0 N	8,4 E	14,8	99167	32,0	+ 52992
27	Uccle	50,8 N	4,4 E	14,9	99156	20,0	+ 34202
28	Stuttgart	48,8 N	9,2 E	14,9	99156	32,0	+ 52992
29	Messina	38,2 N	15,2 E	15,0	99144	79,0	+ 98163
30	Reggio Calabria	38,1 N	15,7 E	15,1	99133	80,0	+ 98481
31	Heerlen	50,9 N	6,0 E	15,2	99122	23,5	+ 39875
32	Trieste	45,6 N	13,8 E	15,5	99087	51,0	+ 77715
33	Tamanrasset	22,8 N	5,6 E	16,0	99027	149,5	+ 50754
34	Rathfarnham	53,3 N	6,3 W	16,5	98965	354,0	- 10453
35	Taranto	40,5 N	17,2 E	16,8	98927	71,5	+ 94832
36	Zagreb	45,8 N	16,0 E	16,9	98914	53,0	+ 79864
37	Witteveen	52,8 N	6,7 E	17,4	98849	21,0	+ 35837
38	Jena	50,9 N	11,6 E	17,5	98836	33,0	+ 54464
39	Cheb	50,1 N	12,4 E	17,9	98782	36,0	+ 58779
40	Duham	54,8 N	1,6 W	17,9	98782	3,5	+ 06105
41	Praha	50,1 N	14,4 E	18,3	98728	39,0	+ 62932
42	Wien	48,2 N	16,4 E	18,3	98728	46,0	+ 71934
43	Hamburg	53,5 N	9,9 E	18,9	98643	25,0	+ 42262
44	Aberdeen	57,1 N	2,1 W	20,3	98435	2,0	+ 03490
45	Köbenhavn	55,7 N	12,4 E	21,6	98229	25,0	+ 42262

$\cos Z_n$	$\frac{\partial f}{\partial \Delta_n}$	$\frac{\partial f}{\partial h_0}$	$T_n = P$	$f(\lambda_0, \varphi_0, h_0)$	$\frac{\partial f}{\partial \Delta_n} \cos \frac{\Delta_n}{2} = A$	A sen Z_n	A cos Z_n	$T_n - t_0 -$ $-f(\lambda_0, \varphi_0, h_0)$
			h m s	m s				s
- 0,35837	2,4	+ 9,3	06 18 19	1 17,1	2,39995	- 2,24055	- 0,86007	- 3,1
+ 92718	2,0	+ 9,4		20 16,3	1,99998	- 0,74921	+ 1,85434	- 1,3
+ 50904	4,5	+ 8,4		28 22,2	4,49883	+ 3,87232	+ 2,29008	+ 0,8
+ 99144	4,5	+ 8,0		31,6 24,0	4,49847	- 0,58718	+ 4,45996	+ 2,6
+ 78801	7,2	+ 6,5		40 35,0	7,19345	+ 4,42872	+ 5,66851	0,0
- 75241	7,2	+ 6,5		40 35,0	7,19345	- 4,73825	- 5,41242	0,0
+ 39073	7,3	+ 6,5		42 35,7	7,29307	- 6,71327	+ 2,84962	+ 1,3
+ 69466	7,6	+ 6,4		42,2 37,2	7,59217	- 5,46135	+ 5,27398	0,0
- 00873	7,3	+ 6,5		44,0 35,7	7,29307	+ 7,29278	- 0,06367	+ 3,3
+ 73135	9,0	+ 5,6		52,0 45,7	8,98641	+ 6,12873	+ 6,57221	+ 1,3
+ 74896	10,0	- 0,1	19 46,4	2 39,0	9,94430	+ 6,58929	+ 7,44788	+ 2,4
+ 84805	10,0	- 0,4		50,0 42,0	9,94150	+ 5,26820	+ 8,43089	+ 3,0
+ 82413	10,0	- 0,6		51,0 44,0	9,93960	+ 5,62989	+ 8,19152	+ 2,0
+ 94832	10,0	- 0,7		51,0 45,0	9,93860	+ 3,15352	+ 9,42497	+ 1,0
+ 70711	10,0	- 0,7		52,1 45,0	9,93860	+ 7,02768	+ 7,02768	+ 2,1
+ 58779	10,0	- 0,8		54,0 46,0	9,93770	+ 8,03980	+ 5,84128	+ 3,0
+ 58779	10,0	- 1,0		55,4 48,0	9,93570	+ 8,03818	+ 5,84011	+ 2,4
+ 55194	10,0	- 1,0		58,0 48,0	9,93570	+ 8,28528	+ 5,48391	+ 5,0
+ 45399	10,0	- 1,0		58,0 48,0	9,93570	+ 8,85281	+ 4,51071	+ 5,0
+ 82904	10,0	- 1,1		59,0 49,0	9,93470	+ 5,55538	+ 8,23626	+ 5,0
+ 80073	10,0	- 1,6	20 02,0	54,0	9,92970	+ 5,94809	+ 7,95101	+ 3,0
+ 76604	10,0	- 1,6		02,0 54,0	9,92970	+ 6,38271	+ 7,60655	+ 3,0
+ 84805	10,0	- 2,0		07,0 50,0	9,92330	+ 5,25856	+ 8,41545	+ 2,0
+ 99027	10,0	- 2,0		11,0 3,0	9,92000	+ 1,38057	+ 9,82348	+ 3,0
+ 79335	10,0	- 2,0		11,0 4,0	9,91890	+ 6,03823	+ 7,86916	+ 2,0
+ 84805	10,0	- 2,0		12,0 6,0	9,91670	+ 5,25506	+ 8,40986	+ 1,0
+ 93969	10,0	- 2,0		14,0 7,0	9,91560	+ 3,39133	+ 9,31759	+ 2,0
+ 84805	10,0	- 2,0		14,0 7,0	9,91560	+ 5,25447	+ 8,40892	+ 2,0
+ 19081	10,0	- 2,0		14,5 8,0	9,91440	+ 9,73227	+ 1,89177	+ 1,5
+ 17365	10,0	- 2,0		15,4 9,0	9,91330	+ 9,76272	+ 1,72144	+ 1,4
+ 91706	9,9	- 2,0		18,0 10,0	9,91308	+ 3,91297	+ 8,99918	+ 3,0
+ 62932	9,9	- 2,0		20,0 13,0	9,80961	+ 7,62354	+ 6,17338	+ 2,0
- 86163	9,7	- 2,0		27,0 18,0	9,60562	+ 4,87524	- 8,27649	+ 4,0
+ 99452	9,7	- 2,3		28,0 22,9	9,59961	- 1,00345	+ 9,54700	+ 0,1
+ 31730	9,7	- 2,4		30,0 25,8	9,59592	+ 9,10000	+ 3,04479	- 0,8
+ 60182	9,7	- 2,4		34,0 26,8	9,59466	+ 7,66268	+ 5,77426	+ 2,2
+ 93358	9,7	- 2,7		36,0 31,6	9,58835	+ 3,43618	+ 8,95149	- 0,6
+ 83867	9,7	- 2,8		38,0 32,6	9,58709	+ 5,22151	+ 8,04040	+ 0,4
+ 80902	9,6	- 3,0		41,0 36,5	9,48307	+ 5,57405	+ 7,67199	- 0,5
+ 99813	9,6	- 3,0		42,0 36,5	9,48307	+ 0,57894	+ 9,46534	+ 0,5
+ 77715	9,5	- 3,0		44,0 40,4	9,37916	+ 5,90249	+ 7,28901	- 1,4
+ 69466	9,5	- 3,0		45,0 40,4	9,37916	+ 6,74680	+ 6,51533	- 0,4
+ 90631	9,5	- 3,0		51,0 46,1	9,37109	+ 3,96041	+ 8,49311	- 0,1
+ 99939	8,8	- 3,2	21 03,0	59,1	8,66228	+ 0,30231	+ 8,65700	- 1,1
+ 90631	8,9	- 3,8	14,0	4 10,5	8,74238	+ 3,69470	+ 7,92331	- 1,5

CUADRO I

Núm.	OBSERVATORIOS	φ	λ	Δ_n	$\cos \frac{\Delta_n}{2}$	Z_n	sen Z_n
46	Atenas	38,0 N	23,7 E	21,4	0,98261	79,0	+ 0,98163
47	Skalnatè pleso	49,2 N	20,2 E	22,0	98163	47,0	+ 73135
48	Bergen	60,4 N	5,3 E	24,1	97797	11,0	+ 19081
49	Istambul	41,1 N	29,1 E	25,4	97553	70,5	+ 94264
50	Uppsala	59,9 N	17,6 E	26,6	97318	24,0	+ 40674
51	Ksara	33,8 N	35,9 E	32,5	96005	84,0	+ 99452
52	Bermuda	32,4 N	64,7 W	50,0	90631	283,5	— 97237
53	Harvard	42,5 N	71,6 W	51,6	90032	299,0	— 87462
54	Ottawa	45,4 N	75,7 W	53,5	89298	303,0	— 83867
55	Palisades	41,0 N	73,9 W	53,7	89219	297,5	— 88701
56	New York	40,7 N	74,1 W	53,8	89180	298,0	— 88295
57	Fordham	40,9 N	73,9 W	53,8	89180	297,5	— 88701
58	Fort de France	14,3 N	61,1 W	55,7	88417	262,0	— 99027
59	State College	40,8 N	77,9 W	56,6	88048	298,5	— 87882
60	Washington	39,3 N	77,0 W	56,8	87965	296,5	— 89493
61	San Juan	18,4 N	66,1 W	57,7	87589	263,5	— 99357
62	Quetta	30,2 N	67,2 E	57,3	87756	74,5	+ 96363
63	Cleveland	41,5 N	81,5 W	58,9	87079	301,0	— 85717
64	Chapel Hill	35,9 N	79,0 W	59,0	87036	293,5	— 91706
65	Cincinnati	39,1 N	84,5 W	61,9	85762	299,5	— 87036
66	Columbia	34,0 N	81,0 W	61,7	85851	292,5	— 92388
67	Chicago	42,0 N	87,7 W	62,9	85310	303,5	— 83389
68	Saint Louis	38,6 N	90,2 W	66,1	83819	301,0	— 85717
69	Denhra Dun	30,3 N	78,1 E	66,1	83819	69,5	+ 93667
70	New Delhi	28,6 N	77,2 E	66,3	83724	71,0	+ 94552
71	Bombay	19,0 N	72,9 E	68,0	82904	82,0	+ 99027
72	Poona	18,5 N	73,9 E	69,0	82413	82,0	+ 99027
73	Bogotá	4,6 N	74,1 W	71,9	80953	262,0	— 99027
74	Hyderabad	17,4 N	78,5 E	73,4	80178	80,5	+ 98629
75	Balboa Heights	9,0 N	79,6 W	73,7	80021	268,5	— 99966
76	Tananarive	18,9 S	47,6 E	73,3	80230	130,0	+ 76604
77	Mérida	8,3 N	71,1 W	74,2	79758	263,0	— 99255
78	Hungry Horse	48,3 N	114,0 W	75,2	79229	319,5	— 64945
79	Bozeman	45,7 N	111,0 W	75,3	79176	316,0	— 69466
80	Grahamstowu	33,3 S	26,6 E	75,6	79016	154,5	+ 43051
81	Butte	46,0 N	112,6 W	75,9	78855	317,5	— 67559
82	Logan	41,8 N	111,8 W	78,1	77660	313,6	— 72537
83	Salt Lake City	40,8 N	111,8 W	78,8	77273	313,0	— 73135
84	Victoria	48,5 N	123,4 W	79,7	76772	324,5	— 58070
85	Seattle	47,7 N	122,3 W	79,8	76717	323,0	— 60182
86	Veracruz	19,2 N	96,1 W	81,0	76041	287,0	— 95630
87	La Paz	16,5 S	68,1 W	80,9	76097	241,0	— 87462
88	Chihuahua	28,6 N	106,1 W	82,3	75299	300,0	— 86603
89	Ooxaca	17,0 N	96,8 W	82,3	75299	285,5	— 96363
90	Puebla	19,0 N	98,2 W	82,3	75299	288,0	— 95106
91	Tacubaya	19,4 N	99,2 W	82,7	75069	289,0	— 94552
92	Corvallis	44,6 N	123,3 W	82,7	75069	321,5	— 62251
93	Tucson	32,2 N	110,8 W	83,5	74606	305,5	— 80902

(Continuación)

$\cos Z_n$	$\frac{\partial f}{\partial \Delta_n}$	$\frac{\partial f}{\partial h_0}$	$T_n = P$	$f(\lambda_0, \varphi_0, h_0)$	$\frac{\partial f}{\partial \Delta_n} \cos \frac{\Delta_n}{2} = A$	$A \sin Z_n$	$A \cos Z_n$	$T_n - t_0 - f(\lambda_0, \varphi_0, h_0)$
			^h ^m ^s	^m ^s				
+ 0,19081	8,9	- 3,7	06 21 15,0	4 08,7	8,74523	+ 8,58458	+ 1,66868	+ 1,3
+ 68200	9,0	- 4,0	16,0	14,0	8,83467	+ 6,46124	+ 6,02524	- 3,0
+ 98163	8,5	- 4,0	37,0	32,9	8,31275	+ 1,58616	+ 8,16004	- 0,9
+ 33381	8,5	- 4,0	50,0	43,9	8,29201	+ 7,81638	+ 2,76796	+ 1,1
+ 91355	8,5	- 4,0	58,0	54,1	8,27203	+ 3,36457	+ 7,55691	- 1,1
+ 10453	8,5	- 4,0	22 47,0	5 44,2	8,16043	+ 8,11571	+ 0,85301	- 2,2
+ 23345	7,0	- 7,0	25 05,0	8 01,5	6,34417	- 6,16888	+ 1,48105	- 1,5
+ 48481	7,1	- 7,0	16,0	12,7	6,39227	- 5,59081	+ 3,09904	- 1,7
+ 54464	7,3	- 6,3	29,0	26,2	6,51875	- 5,46708	+ 3,55037	- 2,2
+ 46175	7,1	- 6,2	31,0	27,8	6,33455	- 5,61881	+ 2,92498	- 1,8
+ 46941	7,1	- 6,1	31,0	28,5	6,33178	- 5,59065	+ 2,97258	- 2,5
+ 46175	7,1	- 6,1	32,0	28,5	6,33178	- 5,61635	+ 2,92370	- 1,5
- 13917	7,0	- 6,0	46,0	41,9	6,18919	- 6,12897	- 0,86135	- 0,9
+ 47716	7,0	- 6,0	49,0	48,2	6,16336	- 5,41648	+ 2,94091	- 4,2
+ 44620	7,0	- 6,0	52,0	49,6	6,15755	- 5,51058	+ 2,74750	- 2,6
- 11320	6,8	- 6,0	59,0	55,9	5,95605	- 5,91775	- 0,67422	- 1,9
+ 26724	6,9	- 6,0	26 02,0	53,1	6,05516	+ 5,83493	+ 1,61818	+ 3,9
+ 51504	6,7	- 6,5	07,0	9 04,1	5,83429	- 5,00098	+ 3,00489	- 2,1
+ 39875	6,8	- 6,5	11,0	04,7	5,91845	- 5,42757	+ 2,35998	+ 1,3
+ 49242	6,2	- 7,0	25,0	23,9	5,31724	- 4,62791	+ 2,61832	- 3,9
+ 38268	6,3	- 7,0	26,0	22,6	5,40861	- 4,99691	+ 2,06977	- 1,6
+ 55194	6,3	- 6,6	31,0	30,1	5,37453	- 4,48177	+ 2,96642	- 4,1
+ 51504	6,3	- 6,1	54,0	50,6	5,28060	- 4,52637	+ 2,71972	- 1,6
+ 35021	6,3	- 6,1	56,0	50,6	5,28060	+ 4,94618	+ 1,84932	+ 0,4
+ 32557	6,2	- 6,2	58,0	51,9	5,19089	+ 4,90809	+ 1,69000	+ 1,1
+ 13917	6,0	- 7,0	27 08,0	10 02,5	4,97424	+ 4,92584	+ 0,69226	+ 0,5
+ 13917	6,0	- 7,0	13,0	08,5	4,94478	+ 4,89667	+ 0,68817	- 0,5
- 13917	5,5	- 7,0	27,0	25,0	4,45242	- 4,40910	- 0,61964	- 3,0
+ 16505	5,5	- 7,0	36,0	33,2	4,40979	+ 4,34933	+ 0,72784	- 2,2
- 02618	5,5	- 7,0	38,0	34,9	4,40116	- 4,39966	- 0,11522	- 1,9
- 64279	5,5	- 7,0	41,0	32,7	4,41265	+ 3,38027	- 2,83641	+ 3,3
- 12187	5,5	- 7,0	44,0	37,6	4,38669	- 4,35401	- 0,53461	+ 1,4
+ 76041	5,5	- 7,0	46,0	43,1	4,35760	- 2,83004	+ 3,31356	- 2,1
+ 71934	5,5	- 7,0	46,0	43,7	4,35468	- 3,02502	+ 3,13250	- 2,7
- 90259	5,5	- 7,0	49,0	45,3	4,34588	+ 1,87094	- 3,92255	- 1,3
+ 73728	5,5	- 7,0	51,0	47,0	4,33703	- 2,93005	+ 3,19761	- 1,0
+ 68835	5,3	- 7,1	28 04,0	59,0	4,11598	- 2,98561	+ 2,83323	0,0
+ 68200	5,2	- 7,4	06,0	11 02,7	4,01820	- 2,93871	+ 2,74041	- 1,7
+ 81412	5,1	- 7,9	08,0	07,4	3,91537	- 2,27366	+ 3,18758	- 4,4
+ 79864	5,1	- 7,9	12,0	07,9	3,91257	- 2,35466	+ 3,12473	- 0,9
+ 29237	5,0	- 8,0	14,0	14,0	3,80205	- 3,63590	+ 1,11161	- 5,0
- 48481	5,0	- 8,0	18,0	13,5	3,80485	- 3,32780	- 1,84463	- 0,5
+ 50000	5,0	- 8,0	21,0	20,5	3,76495	- 3,26056	+ 1,88248	- 4,5
+ 26724	5,0	- 8,0	22,0	20,5	3,76495	- 3,62802	+ 1,00615	- 3,5
+ 30902	5,0	- 8,0	24,0	20,5	3,76495	- 3,58069	+ 1,16344	- 1,5
+ 32557	5,0	- 8,0	26,0	22,5	3,75345	- 3,54896	+ 1,22201	- 1,5
+ 78261	5,0	- 8,0	26,0	22,5	3,75345	- 2,33656	+ 2,93749	- 1,5
+ 58779	4,8	- 8,0	31,0	26,5	3,58109	- 2,89717	+ 2,10493	- 0,5

CUADRO I

Núm.	OBSERVATORIOS	φ	λ	Δ_n	$\cos \frac{\Delta_n}{2}$	Z_n	sen Z_n
94	Boulder City	36,0 N	114,8 W	83,7	0,74489	310,5	— 0,76041
95	Huancayo	12,0 S	75,3 W	83,3	74722	249,5	— 93667
96	Shasta	40,7 N	122,5 W	84,8	73846	318,0	— 66913
97	Mazatlan	23,2 N	106,4 W	85,0	73728	296,0	— 89879
98	Guadalajara	20,7 N	103,3 W	85,1	73669	292,0	— 92718
99	Berkeley	37,9 N	122,3 W	86,7	72717	316,0	— 69466
100	Pasadena	34,1 N	118,2 W	86,9	72597	311,0	— 75471
101	Mt. Hamilton	37,3 N	121,6 W	87,2	72417	315,0	— 70711
102	Manzanillo	19,1 N	104,3 W	87,3	72357	291,5	— 93042
103	Ukiah	39,1 N	123,2 W	87,3	72357	317,5	— 67559
104	Buenos Aires	34,9 S	57,9 W	87,2	72417	222,0	— 66913
105	Nemuro	43,3 N	145,6 E	95,0	67559	22,0	+ 37461
106	Akita	39,7 N	140,1 E	96,3	66697	27,5	+ 46175
107	Hong Kong	22,3 N	114,1 E	96,8	66393	56,0	+ 82904
108	Sendai	38,3 N	140,9 E	97,5	65935	27,5	+ 46175
109	Matsushiro	36,6 N	138,2 E	98,4	65342	30,0	+ 50000
110	Maebashi	36,4 N	139,1 E	99,0	64945	30,0	+ 50000
111	Manila	14,6 N	121,0 E	106,7	59693	56,5	+ 83389

(Conclusión)

$\cos Z_n$	$\frac{\partial f}{\partial \Delta_n}$	$\frac{\partial f}{\partial h_0}$	$T_n = P$	$f(\lambda_0, \varphi_0, h_0)$	$\frac{\partial f}{\partial \Delta_n} \cos \frac{\Delta_n}{2} = A$	$A \sin Z_n$	$A \cos Z_n$	$T_n - t_0 -$ $-f(\lambda_0, \varphi_0, h_0)$
			h m s	m s				
+ 0,64945	4,7	- 8,0	06 28 31,0	11 27,5	3,50098	- 2,66218	+ 2,27371	- 1,5
- 35021	4,9	- 8,0	33,0	25,5	3,66138	- 3,42950	- 1,28225	+ 2,5
+ 74314	4,5	- 8,2	35,0	32,6	3,32307	- 2,22357	+ 2,46951	- 2,6
+ 43837	4,5	- 8,0	40,0	33,5	3,31776	- 2,98197	+ 1,45441	+ 1,5
+ 37461	4,5	- 8,0	41,0	34,0	3,31511	- 3,07370	+ 1,24187	+ 2,0
+ 71934	4,8	- 8,4	46,0	41,3	3,49042	- 2,42466	+ 2,51080	- 0,3
+ 65606	4,7	- 8,5	46,0	42,3	3,41206	- 2,57512	+ 2,23852	- 1,3
+ 70711	4,7	- 8,6	46,0	43,7	3,40360	- 2,40672	+ 2,40672	- 2,7
+ 36650	4,7	- 8,7	47,0	44,2	3,40078	- 3,16415	+ 1,24639	- 2,2
+ 73728	4,7	- 8,7	52,0	44,2	3,40078	- 2,29753	+ 2,50733	+ 2,8
- 74314	4,7	- 8,6	53,0	43,7	3,40360	- 2,27745	- 2,52935	+ 4,7
+ 92718	4,5	- 9,0	29 27,0	12 19,0	3,04016	+ 1,13887	+ 2,81878	+ 3,0
+ 88701	4,5	- 9,0	35,0	24,9	3,00137	+ 1,38588	+ 2,66225	+ 5,1
+ 55919	4,5	- 9,0	36,0	27,1	2,98769	+ 2,47691	+ 1,67069	+ 3,9
+ 88701	4,5	- 9,0	39,0	30,3	2,96708	+ 1,37005	+ 2,63183	+ 3,7
+ 86603	4,5	- 9,0	40,0	34,3	2,94039	+ 1,47020	+ 2,54647	+ 0,7
+ 86603	4,5	- 9,0	44,0	37,0	2,92253	+ 1,46127	+ 2,53100	+ 2,0
+ 55194	4,3	- 8,7	31 17,0	13 11,5	2,56680	+ 2,14043	+ 1,41672	+ 0,5

CUADRO II

Sismo de 29 de marzo de 1954

Ecuaciones de condición

$$x + ay + bz + ct = d$$

	<u>Coefficiente a</u>	<u>Coefficiente b</u>	<u>Coefficiente c</u>	<u>Coefficiente d</u>
1	+ 2,24055	+ 0,86007	9,3	— 3,1
2	+ 0,74921	— 1,85434	9,4	— 1,3
3	— 3,87232	— 2,29008	8,4	+ 0,8
4	+ 0,58719	— 4,45996	8,0	+ 2,6
5	— 4,42872	— 5,66851	6,5	0,0
6	+ 4,73825	+ 5,41242	6,5	0,0
7	+ 6,71327	— 2,84962	6,5	+ 1,3
8	+ 5,46135	— 5,27398	6,4	0,0
9	— 7,29278	+ 0,06367	6,5	+ 3,3
10	— 6,12873	— 6,57221	5,6	+ 1,3
11	— 6,58929	— 7,44788	— 0,1	+ 2,4
12	— 5,26820	— 8,43089	— 0,4	+ 3,0
13	— 5,62989	— 8,19152	— 0,6	+ 2,0
14	— 3,15352	— 9,42497	— 0,7	+ 1,0
15	— 7,02768	— 7,02768	— 0,7	+ 2,1
16	— 8,03980	— 5,84128	— 0,8	+ 3,0
17	— 8,03818	— 5,84011	— 1,0	+ 2,4
18	— 8,28528	— 5,48391	— 1,0	+ 5,0
19	— 8,85281	— 4,51071	— 1,0	+ 5,0
20	— 5,55538	— 8,23626	— 1,1	+ 5,0
21	— 5,94809	— 7,95101	— 1,6	+ 3,0
22	— 6,38271	— 7,60655	— 1,6	+ 3,0
23	— 5,25856	— 8,41545	— 2,0	+ 2,0
24	— 1,38057	— 9,82348	— 2,0	+ 3,0
25	— 6,03823	— 7,86916	— 2,0	+ 2,0
26	— 5,25506	— 8,40986	— 2,0	+ 1,0
27	— 3,39133	— 9,31759	— 2,0	+ 2,0
28	— 5,25447	— 8,40892	— 2,0	+ 2,0
29	— 9,73227	— 1,89177	— 2,0	+ 1,5
30	— 9,76272	— 1,72144	— 2,0	+ 1,4
31	— 3,91297	— 8,99918	— 2,0	+ 3,0
32	— 7,62354	— 6,17338	— 2,0	+ 2,0
33	— 3,87524	+ 8,27649	— 2,0	+ 4,0
33	— 4,87524	+ 8,27649	— 2,0	+ 4,0

CUADRO II (Continuación)

	<u>Coficiente a</u>	<u>Coficiente b</u>	<u>Coficiente c</u>	<u>Coficiente d</u>
34	+ 1,00345	— 9,54700	— 2,3	+ 0,1
35	— 9,10000	— 3,04479	— 2,4	— 0,8
36	— 7,66268	— 5,77426	— 2,4	+ 2,2
37	— 3,43618	— 8,95149	— 2,7	— 0,6
38	— 5,22151	— 8,04040	— 2,8	+ 0,4
39	— 5,57405	— 7,67199	— 3,0	— 0,5
40	— 0,57894	— 9,46534	— 3,0	+ 0,5
41	— 5,90249	— 7,28901	— 3,0	— 1,4
42	— 6,74680	— 6,51533	— 3,0	— 0,4
43	— 3,96041	— 8,49311	— 3,0	— 0,1
44	— 0,30231	— 8,65700	— 3,2	— 1,1
45	— 3,69470	— 7,92331	— 3,8	— 1,5
46	— 8,58458	— 1,66868	— 3,7	+ 1,3
47	— 6,46124	— 6,02524	— 4,0	— 3,0
48	— 1,58616	— 8,16004	— 4,0	— 0,9
49	— 7,81638	— 2,76796	— 4,0	+ 1,1
50	— 3,36457	— 7,55691	— 4,0	— 1,1
51	— 8,11571	— 0,85301	— 4,0	— 2,2
52	+ 6,16888	— 1,48105	— 7,0	— 1,5
53	+ 5,59081	— 3,09904	— 7,0	— 1,7
54	+ 5,46708	— 3,55037	— 6,3	— 2,2
55	+ 5,61881	— 2,92498	— 6,2	— 1,8
56	+ 5,59065	— 2,97258	— 6,1	— 2,5
57	+ 5,61635	— 2,92370	— 6,1	— 1,5
58	+ 6,12897	+ 0,86135	— 6,0	— 0,9
59	+ 5,41648	— 2,94091	— 6,0	— 4,2
60	+ 5,51058	— 2,74750	— 6,0	— 2,6
61	+ 5,91775	+ 0,67422	— 6,0	— 1,9
62	— 5,83493	— 1,61818	— 6,0	+ 3,9
63	+ 5,00098	— 3,00489	— 6,5	— 2,1
64	+ 5,42757	— 2,35998	— 6,5	+ 1,3
65	+ 4,62791	— 2,61832	— 7,0	— 3,9
66	+ 4,99691	— 2,06977	— 7,0	— 1,6
67	+ 4,48177	— 2,96642	— 6,6	— 4,1
68	+ 4,52637	— 2,71972	— 6,1	— 1,6
69	— 4,94618	— 1,84932	— 6,1	+ 0,4
70	— 4,90809	— 1,69000	— 6,2	+ 1,1
71	— 4,92584	— 0,69226	— 7,0	+ 0,5
72	— 4,89667	— 0,68817	— 7,0	— 0,5
73	+ 4,40910	+ 0,61964	— 7,0	— 3,0
74	— 4,34933	— 0,72784	— 7,0	— 2,2

CUADRO II (Conclusión)

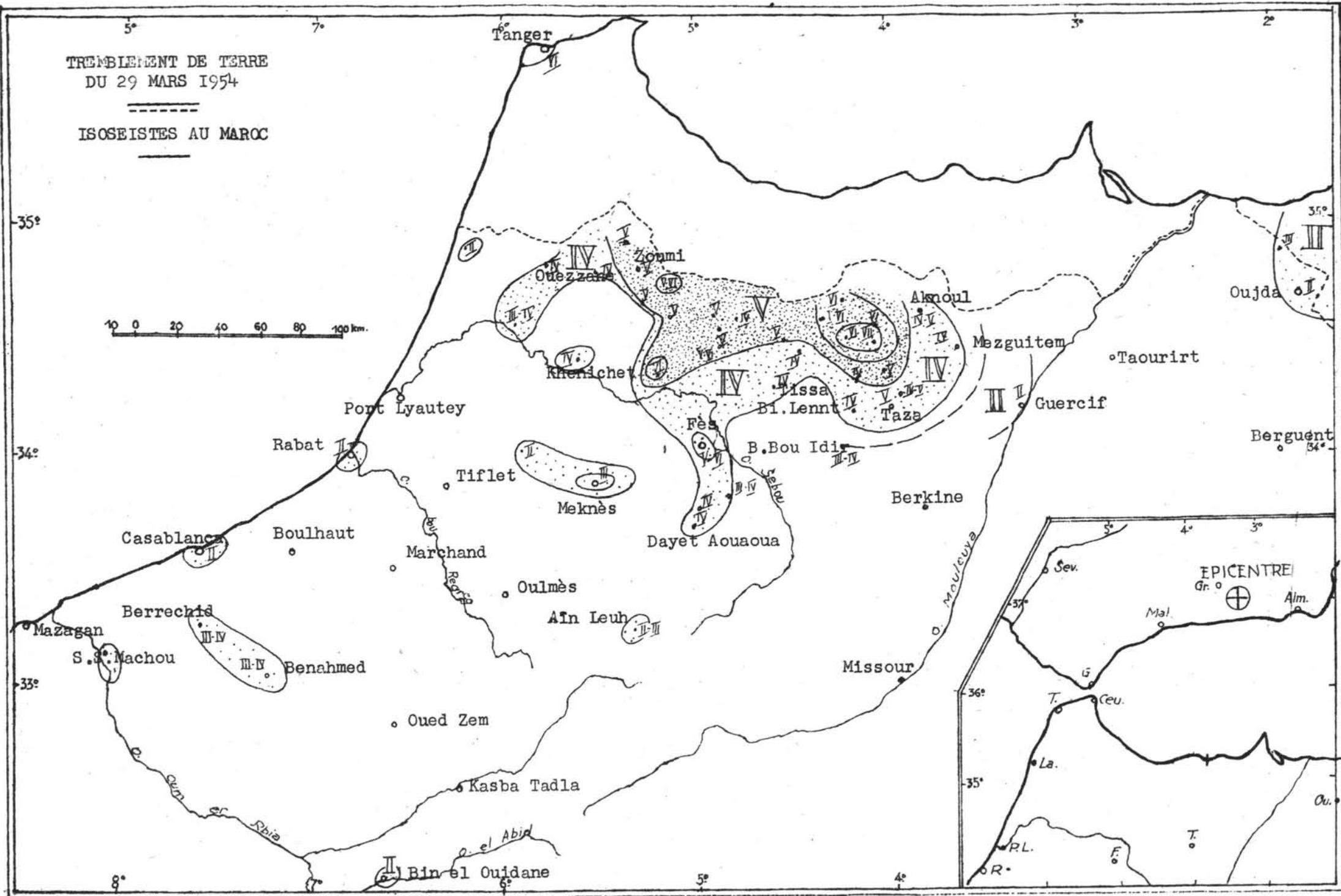
	<u>Coficiente a</u>	<u>Coficiente b</u>	<u>Coficiente c</u>	<u>Coficiente d</u>
75	+ 4,39966	+ 0,11522	— 7,0	— 1,9
76	— 3,38027	+ 2,83641	— 7,0	+ 3,3
77	+ 4,35401	+ 0,53461	— 7,0	+ 1,4
78	+ 2,83004	— 3,31356	— 7,0	— 2,1
79	+ 3,02502	— 3,13250	— 7,0	— 2,7
80	— 1,87094	+ 3,92255	— 7,0	— 1,3
81	+ 2,93005	— 3,19761	— 7,0	— 1,0
82	+ 2,98561	— 2,83323	— 7,1	0,0
83	+ 2,93871	— 2,74041	— 7,4	— 1,7
84	+ 2,27366	— 3,18758	— 7,9	— 4,4
85	+ 2,35466	— 3,12473	— 7,9	— 0,9
86	+ 3,63590	— 1,11161	— 8,0	— 5,0
87	+ 3,32780	+ 1,84463	— 8,0	— 0,5
88	+ 3,26056	— 1,88248	— 8,0	— 4,5
89	+ 3,62802	— 1,00615	— 8,0	— 3,5
90	+ 3,58069	— 1,16344	— 8,0	— 1,5
91	+ 3,54896	— 1,22201	— 8,0	— 1,5
92	+ 2,33656	— 2,93749	— 8,0	— 1,5
93	+ 2,89717	— 2,10493	— 8,0	— 0,5
94	+ 2,66218	— 2,27371	— 8,0	— 1,5
95	+ 3,42950	+ 1,28225	— 8,0	+ 2,5
96	+ 2,22357	— 2,46951	— 8,2	— 2,6
97	+ 2,98197	— 1,45441	— 8,0	+ 1,5
98	+ 3,07370	— 1,24187	— 8,0	+ 2,0
99	+ 2,42466	— 2,51080	— 8,4	— 0,3
100	+ 2,57512	— 2,23852	— 8,5	— 1,3
101	+ 2,40672	— 2,40672	— 8,6	— 2,7
102	+ 3,16415	— 1,24639	— 8,7	— 2,2
103	+ 2,29753	— 2,50733	— 8,7	+ 2,8
104	+ 2,27745	+ 2,52935	— 8,6	+ 4,7
105	— 1,13887	— 2,81878	— 9,0	+ 3,0
106	— 1,38588	— 2,66225	— 9,0	+ 5,1
107	— 2,47691	— 1,67069	— 9,0	+ 3,9
108	— 1,37005	— 2,63183	— 9,0	+ 3,7
109	— 1,47020	— 2,54647	— 9,0	+ 0,7
110	— 1,46127	— 253100	— 9,0	+ 2,0
111	— 2,14043	— 1,41672	— 8,7	+ 0,5

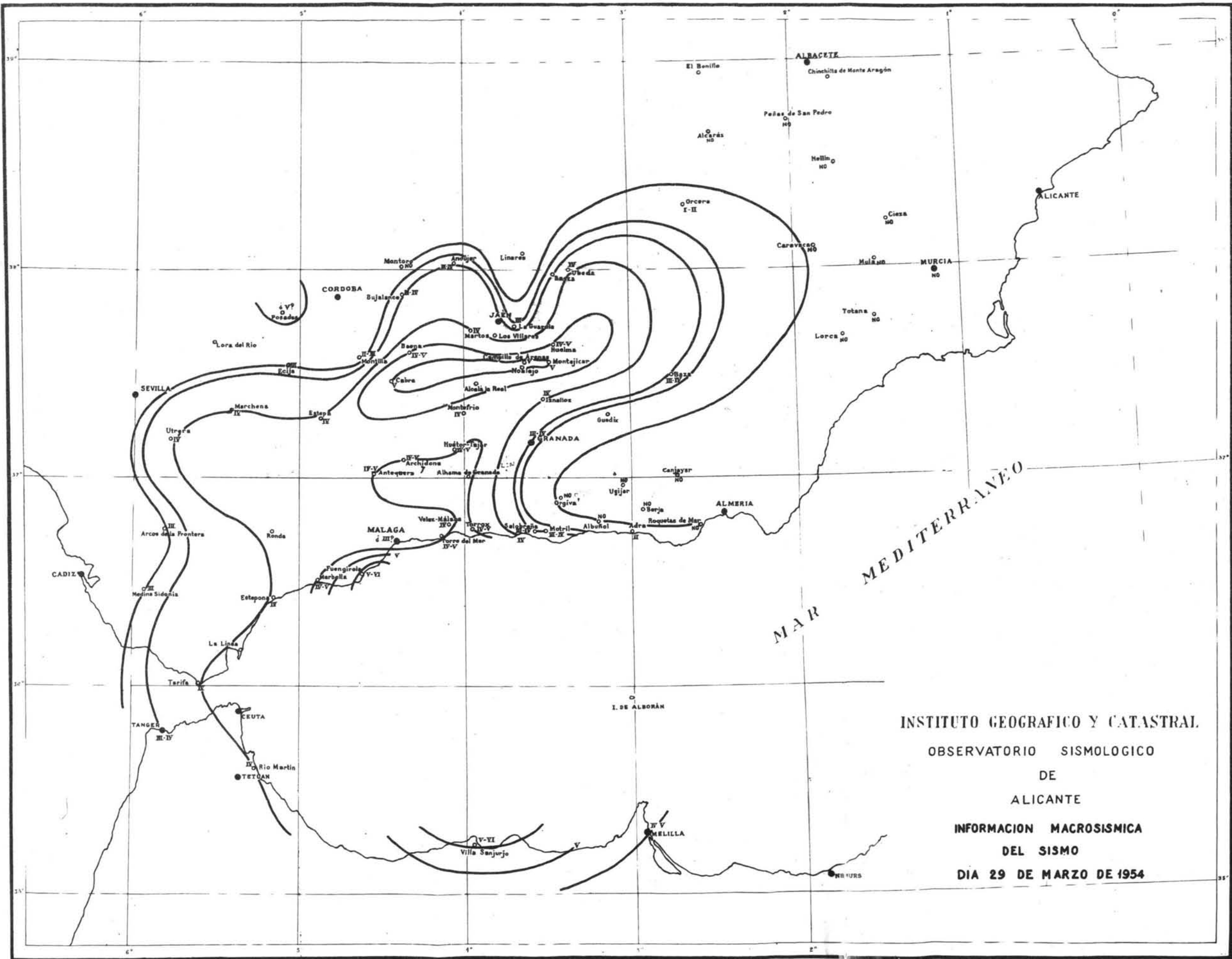
CUADRO III

SOLUCIÓN		NÚM.	DESVIACIONES	NÚM.	DESVIACIONES
$\delta t_0 = x_0 = +$	0,224989	33	— 2,21755	74	3,26626
$\delta \lambda_0 = y_0 = -$	0,265653	34	— 0,63106	75	0,67708
$\delta \varphi_0 = z_0 = +$	0,041504	35	3,21870	76	— 2,34325
$\delta h_0 = t_0 = +$	0,040563	36	— 0,27639	77	— 2,59339
		37	1,25681	78	1,15176
		38	0,76484	79	1,70747
		39	1,76567	80	1,90087
		40	— 0,63571	81	0,03000
		41	2,76881	82	— 0,97369
		42	2,02521	83	0,73045
		43	0,90293	84	3,56828
		44	0,91624	85	0,04937
		45	2,22354	86	3,88850
		46	0,98616	87	— 0,08249
		47	4,52913	88	3,45622
		48	1,04547	89	2,39497
		49	0,92430	90	0,40102
		50	1,74294	91	0,40701
		51	4,38329	92	0,65790
		52	— 0,25916	93	— 0,45648
		53	0,02726	94	0,59894
		54	0,56979	95	— 3,45732
		55	0,15949	96	1,79922
		56	0,86905	97	— 2,45201
		57	— 0,13574	98	— 2,96756
		58	— 0,71078	99	— 0,56402
		59	2,62069	100	0,40325
		60	1,00372	101	1,83695
		61	0,33756	102	1,17984
		62	— 2,43547	103	— 3,64227
		63	0,60814	104	— 5,32386
		64	— 2,87842	105	— 2,95449
		65	2,50300	106	— 4,98237
		66	0,12774	107	— 3,45139
		67	2,74360	108	— 3,58532
		68	0,26227	109	— 0,55517
		69	0,81478	110	— 1,85690
		70	0,10722	111	— 0,11807
		71	0,72089		
		72	1,71331		
		73	1,79551		
				Desviación Standard	
				$\sigma = 1,987$	

TREMBLEMENT DE TERRE
DU 29 MARS 1954

ISOSEISTES AU MAROC





INSTITUTO GEOGRAFICO Y CATASTRAL
OBSERVATORIO SISMOLOGICO
DE
ALICANTE
INFORMACION MACROSISMICA
DEL SISMO
DIA 29 DE MARZO DE 1954