

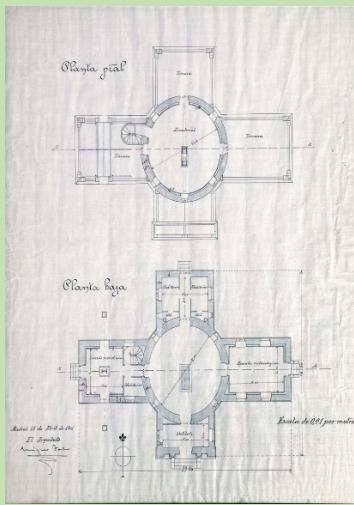
R. P. MANUEL MARÍA SÁNCHEZ-NAVARRO NEUMANN, S. J.

TERREMOTOS, SISMOGRAFOS Y EDIFICIOS

(Edición facsímil)

TRABAJOS DE SISMOLOGÍA. 6

**INTRODUCCION Y VIDA DE MANUEL MARÍA SÁNCHEZ-
NAVARRO NEUMANN, Y EL OBSERVATORIO ENTRE 1906-1940.
por MANUEL ESPINAR MORENO**



LIBROS EPCCM

GRANADA, 2023

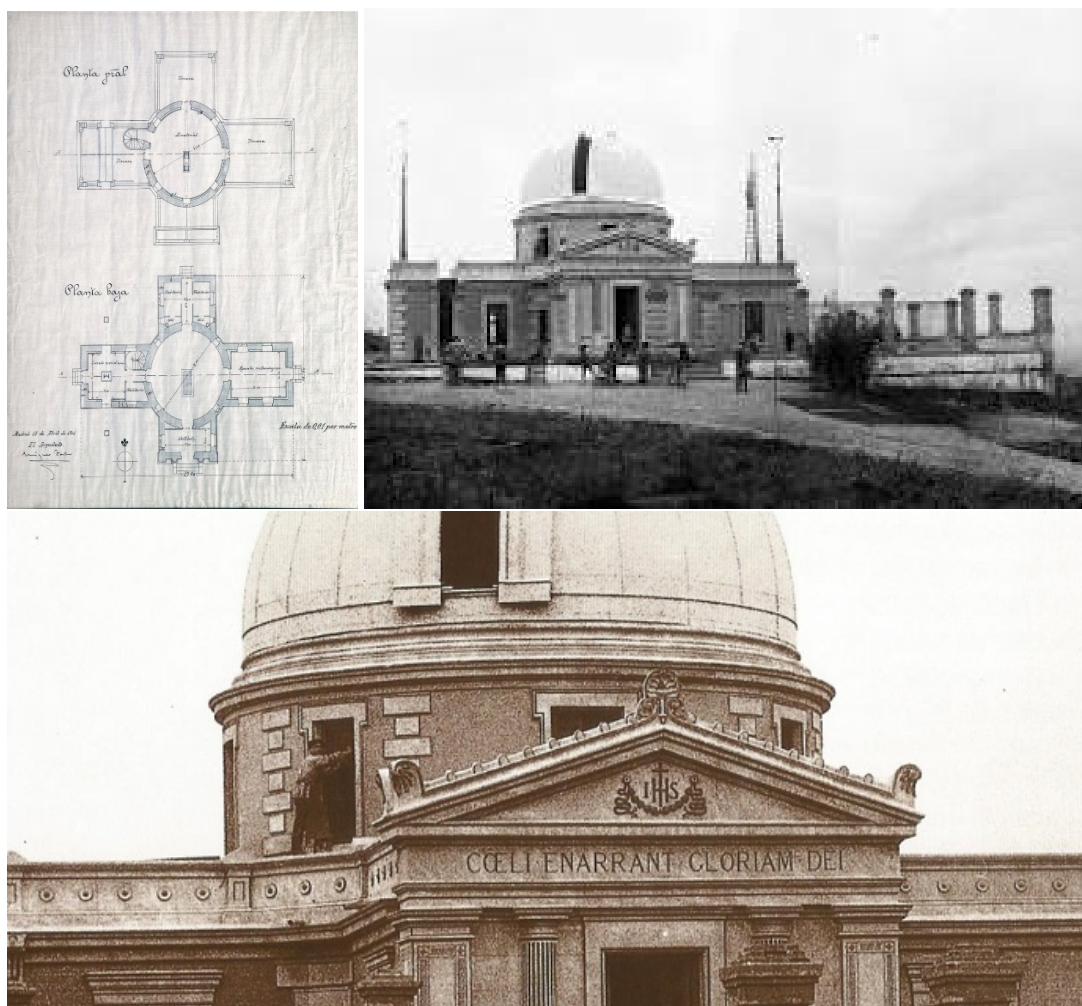
R. P. MANUEL MARÍA SÁNCHEZ-NAVARRO NEUMANN, S. J.

TERREMOTOS, SISMOGRAFOS Y EDIFICIOS

(Edición facsímil)

TRABAJOS DE SISMOLOGÍA. 6

**INTRODUCCION Y VIDA DE MANUEL MARÍA SÁNCHEZ-
NAVARRO NEUMANN, Y EL OBSERVATORIO ENTRE 1906-1940.
por MANUEL ESPINAR MORENO**



LIBROS EPCCM

GRANADA, 2023

R. P. MANUEL MARÍA SÁNCHEZ-NAVARRO NEUMANN, S. J.

TERREMOTOS, SISMOGRAFOS Y EDIFICIOS

(Edición facsímil)

TRABAJOS DE SISMOLOGÍA. 6

**INTRODUCCION Y VIDA DE MANUEL MARÍA SÁNCHEZ-
NAVARRO NEUMANN, Y EL OBSERVATORIO ENTRE 1906-1940.
por MANUEL ESPINAR MORENO**



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



"Manuel Espinar Moreno"
Centro Documental del Marqués de Lacerda



INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFÍSICA
Y PREVENCIÓN DE DESASTRES SÍSMICOS



IUM-16: Patrimonio, Cultura y
Ciencias Medievales

LIBROSEPCCM
Granada, 2023

Editor: Manuel Espinar Moreno

©HUM-165: Patrimonio, Cultura y Ciencias Medievales

Primera edición: 2023

R. P. Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, S. J. : Terremotos, sismógrafos y edificios. Edición facsímil). Trabajos de Sismología.6. Introducción y vida de Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, y el Observatorio entre 1906-1940, por Manuel Espinar Moreno.

© Manuel Espinar Moreno

Diseño de cubierta: Manuel Espinar Moreno.

Motivo de cubierta: Plano y fotos del Observatorio de Cartuja.

Maquetación: Manuel Espinar Moreno.

Anexo a la Revista: Estudios sobre Patrimonio, Cultura y Ciencia Medievales (EPCCM), ISSN: 1575- 3840, ISSN: e-2341-3549. Digibug <http://hdl.handle.net/10481/>
ISBN: 84-7933-254-9 DL.: GR-604-2003

Edición del Grupo de Investigación HUM-165: Patrimonio, Cultura y Ciencias Medievales. Colaboración del Centro: “Manuel Espinar Moreno”, Centro Documental del Marquesado del Cenete. Departamento Historia Medieval y CCTTHH (Universidad de Granada), y el Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, Universidad de Granada (IAGPDS).

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede realizarse con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos. www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.



© 2018 DOAJ.

The DOAJ site and its metadata are licensed under CC BY-SA

INDICE

Presentación	p. 7
Notas sobre la vida y obras del R. P. Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, S. J. (1867-1941)	p. 11
El observatorio entre 1906 y 1940. La etapa del R. P. Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, S. J.	p. 71
Edición facsímil de la obra: Terremotos, Sismógrafos y Edificios del Revdo Padre Manuel María Sánchez-Navarro Neumann	p. 105
Terremotos, Sismógrafos y edificios	p. 107



Presentación

Decíamos en el año 2003 cuando hicimos la primera reproducción de esta obra junto al prof. Juan de Dios Morcillo Puga, en lo que nosotros llamamos prólogo, que entre los actos, acontecimientos y celebraciones que se habían desarrollado durante el año 2002, con motivo del *I Centenario del Observatorio de Cartuja* (Granada), fundado por la Compañía de Jesús en su finca de la Cartuja, e inaugurado el 6 de Junio de 1902, han destacado: la celebración de un *Congreso Internacional de Sismología*, ubicado en el *Parque de las Ciencias*; la edición de dos CDs, cuyos contenidos se centran, uno, en la Historia del Observatorio, y, el otro, en la investigación llevada a cabo por los miembros de este Centro de Investigación. En el año 2003, la celebración de una **Exposición** organizada por la *Obra Social de la Caja General de Ahorros de Granada*. Ahora, queremos añadir a lo anterior la publicación de una obra de extraordinaria importancia escrita por el que fuera Director del Observatorio en la primera etapa del siglo XX, el R. P. Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, S. J., titulada: *Terremotos, Sismógrafos y Edificios*, que se publicó en Madrid en 1916. Al estar agotada queremos volver a darla a conocer en Digibug para que se pueda consultar más fácilmente.

Esta obra fue muy valorada en su tiempo por la innovación que en tales estudios suponía; constituye el primer manual sobre terremotos, aparatos para registrarlos e incidencia sobre las edificaciones, escrita en castellano. La opinión que de ella encontramos en las numerosas reseñas redactadas por autores extranjeros y españoles es bastante satisfactoria, favorable y calificada de obra fundamental para el estudio de los terremotos, sus efectos sobre las construcciones e instrumentos más usuales empleados para su estudio y posterior investigación. Fue crucial para todos los países de habla castellana y de ella encontramos traducidas muchas de sus ideas. Innovadora y muy actualizada en aquellos tiempos donde la Sismología estaba dando sus primeros pasos en firme.

Entre los especialistas de aquellos momentos se realizaron esfuerzos para confeccionar mapas mundiales con especificación de las zonas sísmicas y asísmicas. Las mejoras llevadas a cabo en los sismógrafos permitieron obtener mayor información y aumentar la investigación. Esta situación la vivió plenamente el Observatorio de cartuja, hemos podido comprobar cómo las mejoras introducidas en la instrumentación y, especialmente, los nuevos modelos construidos, colocaron a este centro entre los mejores del Mundo.

La idea primordial del R. P. Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, S. J., fue que la Sismología debía cumplir una función social, *si queremos caritativa*. Toda ella debe tener la finalidad de evitar la muerte de numerosas personas, lo que se consigue con la mejora de los instrumentos y una profunda innovación en las construcciones para que resistan el efecto de los terremotos. Esta idea fue la que le llevó a lo largo de su dilatada carrera a estudiar los tres elementos que se implicaban en el mundo de la Sismología: el hecho del terremoto, los distintos aparatos para registrarlos y los efectos producidos sobre los edificios. Conociendo bien cada uno de ellos se pueden aplicar mejoras y prevenir sus daños logrando salvar numerosas vidas humanas y evitar la destrucción de los bienes privados y de la sociedad.

La edición del libro original va precedida de una serie de noticias sobre la importancia que tiene recomponer la Biografía de su autor y su trayectoria humana e intelectual. Toda ella se pone de manifiesto al ver la gran cantidad de Congresos a los que asistió, libros y artículos editados en varias lenguas, y en especial la gran cantidad de

conferencias que dictó al más variado público. La opinión de sus discípulos y de sus colegas de profesión se manifiestan en numerosas cartas y escritos. Creemos que hemos conseguido reunir las noticias más destacadas sobre este importante sismólogo. Acompañamos su bibliografía con la relación de trabajos reseñados año por año, nos indica la gran cantidad de horas de trabajo manual e intelectual que realizó siempre pensando en la *Mayor Gloria de Dios* y en las consecuencias caritativas del mismo.

El libro *Terremotos, Sismógrafos y Edificios* consta de tres partes bien diferenciadas, pero con gran trabazón. El inicio está dedicado a ofrecer una visión global del problema y la relación de cada uno de los apartados posteriores. La primera parte está dedicada a los terremotos. Analiza el movimiento sísmico en sí mismo y sus efectos sobre el terreno y edificios, escalas sísmicas utilizadas, temblores submarinos y fenómenos acústicos, causas de los terremotos, cálculo de algunos elementos sísmicos, períodos sísmicos y algunos datos de Geología. En total son nueve capítulos expuestos de forma magistral para el entendido y el profano en la materia.

La segunda parte se dedica a los sismógrafos y aparatos dedicados para el estudio de la Sismología con especial énfasis en el funcionamiento de cada uno de ellos; péndulos verticales, invertidos y de registro magnético-fotográfico, componente vertical, tacos y mareógrafo; el sismograma, cálculo de la distancia epicentral, determinación del epicentro y procedimiento para calcular el trabajo producido por un terremoto, telesismos y estudio de las ondas sísmicas. En total abarca siete capítulos.

La tercera y última parte se destina a los edificios y al estudio de la resistencia sísmica de los materiales de construcción, algunos consejos sobre la elección del sitio, movimientos extrasísmicos y a la Asociación Sismológica Internacional. En total son otros cuatro capítulos. Acompaña a esta obra unos índices de láminas, de figuras y erratas advertidas en la edición.

Decíamos que en la edición que presentábamos se había mantenido el texto original aunque no coincidían las páginas, este hecho lo especificábamos colocando una barra [/] seguida del número de página del original. También hacíamos notar que las ilustraciones la habíamos diferenciado, lo mismo que el texto original, en figuras y láminas; las figuras las mantuvimos tal y como las hizo el P. Sánchez-Navarro para conservar lo mas posible la originalidad y frescura de sus propios dibujos y no alterarlos con la técnica actual, además decidimos no mantenerlos en los lugares de origen y colocarlos al final de cada capítulo llevados por la misma composición de la nueva paginación, por lo que respecta a las láminas las hemos mantenido en lo posible, en su ubicación original, porque de la misma manera que allí no alteraba el texto, en esta nueva edición tampoco lo alteraba; sin embargo, si queremos dejar constancia de la poca calidad de las fotografías usadas porque en el mejor de los casos los clichés tienen del orden de los 90 años, con un estado de conservación bastante lamentable y con una serie de avatares muy importantes, en otros casos no ha habido más remedio que hacer reproducciones de las propias que se encuentran en la obra referida.

Queremos que esta obra ayude al acercamiento de los profanos a esta ciencia y a los especialistas para que incidan en temas que todavía no están superados. Que este pequeño libro sirva para recordar la máxima utilizada por su autor: *Ad Maiorem Gloriam Dei*.

El motivo de subir a Digibug esta obra titulada: *Terremotos, Sismógrafos y Edificios*. Trabajos de Sismología 6 con Introducción y vida de Manuel María Sánchez-Navarro Neumann y sobre el Observatorio de cartuja durante la etapa que lo dirigió, junto con el facsímil de la edición. Que en esta ocasión usamos la edición y ejemplar que se

conserva en la Biblioteca Nacional de España, manuscrito número 1/7200, R. 51719, es facilitar su consulta por los estudiosos y amantes de la Sismicidad en general. La obra de esta forma se presenta tal cual salió de la imprenta. Tratamos de que se pueda consultar por los estudiosos y amantes de este tipo de estudios. Estaban estas obras del padre Sánchez-Navarro agotadas y muchas veces difíciles de consultar. Fueron en su día trabajos novedosos y se convirtieron en obras de obligada consulta pues en todo el mundo era su autor referencia obligada por su buen hacer y constante trabajo como buen hijo de San Ignacio al que podemos aplicar la máxima medieval de: Ora et Labora. A la mayor Gloria de Dios dedicó sus trabajos pues tenían un componente social que nos permite ver cómo fue un adelantado de su tiempo. Creo que los miembros de la Compañía de Jesús estarán encantados de ofrecer la oportunidad de que esta obra pueda ser consultada por aquellos estudiosos sobre Sismicidad y Sismología, facilitando de esta manera a los jóvenes investigadores el acceso a este tipo de trabajos tan necesarios en ocasiones para la Historia, la Arqueología, la Física y la Edificación entre otras disciplinas. Fue una de las facetas de aquel insigne médico escogido por Dios para desarrollar su labor en la fiebre de la Tierra, en las manifestaciones de enfermedades de nuestro planeta como ya apuntaban los humanistas. Tampoco creo que la Biblioteca Nacional de España, el Instituto Andaluz de Geofísica, ni la Universidad tengan inconveniente en que esta compilación vea la luz pues el Grupo HUM-165, que dirijo, y el Centro que lleva mi nombre y el I.A.G.P.D.S., están totalmente de acuerdo que este tipo de obras se editen ya que permiten que todos podamos tener acceso a ellas.

De este modo nuestro esfuerzo se ve en cierta manera compensado y a la vez nos permite anunciar que editaremos otros trabajos relacionados con la Sismicidad y la Sismología que cada día gana más adeptos y está totalmente de moda en muchas universidades de todo el mundo. La nuestra no podía ser menos como se puede ver en los numerosos trabajos de los distintos miembros del Instituto Andaluz de Geofísica y P.D.S., queremos dar las gracias a su Directora y equipo de Dirección.

Muchos años después de su edición, más de una centena concretamente, nos atrevemos a editarla tal cómo fue concebida, lo hacemos junto con unas notas sobre este personaje en la colección de trabajos que ofrece Digibud de la Universidad granadina. Los centros de investigación a los que los autores están o estuvieron ligados igualmente quieren que obras como esta estén al alcance de todos los investigadores y lectores que se interesan por el pasado de las tierras granadinas. Sin otro particular espero que se saque alguna enseñanza de esta obra que al fin y al cabo fue fruto de algunas horas de trabajo para conocer mejor el Observatorio de Cartuja y al director de la parte sismológica, así esperamos lograr que esta obra que fue una gran realidad en su día permanezca hoy gracias a los modernos sistemas de edición.

Queremos agradecer al padre Eduardo Moores las notas que nos pasó sobre las obras del Padre Manuel María Sánchez-Navarro Neumann pues gracias a ellas pudimos ir enarbolando y componiendo como fue su vida, sus obras, sus pensamientos e inquietudes sociales como buen soldado de Cristo al que le tocó lidiar con muchos problemas, pero siempre tuvo fe y confianza en Dios para acercarse a los hombres como mejor sabía: con su trabajo constante y su ciencia que realizaba para mayor gloria de Dios. Por ahora seguimos profundizando en su dilatada y caritativa labor.

Manuel Espinar Moreno, Enero 2023

NOTAS SOBRE LA VIDA Y OBRAS DEL R. P. MANUEL MARÍA SÁNCHEZ-NAVARRO NEUMANN, S. J. (1867-1941)¹.

Introducción.

El 23 de Enero² de 1867 nace en la ciudad de Málaga una de las figuras más prestigiosas de la Sismología española y mundial, más tarde conocido como el R. P. Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, S. J. Tras sus años de infancia completó sus estudios de Bachillerato y se decidió por la Medicina. Para ello se matriculó en la Facultad de Medicina de Cádiz donde curso las respectivas materias de esta carrera con gran brillantez para ejercer como médico. Pronto decidió doctorarse en Medicina y comenzó sus trabajos y estudios que compatibiliza con otras tareas que le aportaron un gran éxito en su profesión. Su Tesis se publicó pronto en Madrid cuando contaba 26 años.

Nos dice el P. Due que desde joven se aficionó al estudio de las Ciencias Naturales y a los de Historia. Sus trabajos de investigación le proporcionaron grandes satisfacciones y pronto publicó dos obras muy interesantes en 1889 y 1893. La primera de ellas se titula *Apuntes sobre el origen y antigüedad del hombre*, que elaboró y dio a la imprenta en Cádiz, y la segunda, *Estudio sobre las secreciones esquizofíticas*, que fue presentada como Tesis o Memoria de Doctorado en Medicina y Cirugía en la Facultad de Medicina de Madrid y pronto fue editada. Este bagaje cultural le acompañó durante toda su vida pues además de las Ciencias Naturales y la Historia pronto sus inquietudes personales y científicas le llevan al mundo de la Geofísica y de la Meteorología. En estas últimas comienza a destacar muy pronto y le aportaron un gran prestigio en el mundo de la ciencia.

¹ Sobre la figura del Padre Manuel María Sánchez-Navarro Neumann ya hemos llamado la atención en varios de nuestros trabajos, así puede consultarse: *Historia del Observatorio de Cartuja, 1902-2002. Nuevas investigaciones*. Manuel Espinar Moreno, José Antonio Esquivel Guerrero y José Antonio Peña Ruano (Editores), Granada, 2002, ISBN: 84-688-1738-4. Publicamos el trabajo: “El Observatorio entre 1906 y 1940. La etapa del R. P. Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, S. J.” y “Notas sobre la vida y obras del R. P. Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, S. J.” y con Juan de Dios Morcillo: “Prólogo, introducción y notas al libro del R. P. Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, S. J.: *Terremotos, Sismógrafos y Edificios*, Madrid, 1916, Reedición, Granada, 2003. ISBN 84-7933-254-9, DL.: GR-604-2003.

² En otros documentos dice que Junio.

Ingreso en la Compañía de Jesús y labor como sismólogo en el Observatorio de Cartuja.

Sin embargo, cuando todo un mundo se abría a este médico investigador los designios divinos le hicieron cambiar su trayectoria humana, la llamada divina le llevan a tomar la decisión de hacerse sacerdote. Uno de sus principales colaboradores y biógrafo, Antonio Due, nos cuenta como ingresó en la Compañía de Jesús en 1900 y transcurridos varios años fue ordenado sacerdote³. Tras su ordenación sus superiores lo envían a Granada para que se dedicara a los estudios de Sismología en el recién creado Observatorio de Cartuja, dependiente del Colegio Noviciado de los jesuitas de Granada. El mismo nos refiere años más tarde como por obediencia se dedicó a esta nueva materia desde mediados de 1905. Los últimos votos los realizó el 15 de Agosto de 1910. Desde 1900 a 1901 reside en Granada en el Colegio Noviciado, en 1902-1903 se traslada al Colegio de Madrid, en 1903-1905 lo encontramos en Murcia en el Colegio de San Jerónimo y desde 1905 vuelve a Granada, se ordena y es destinado al Observatorio de Cartuja.

A partir de ese momento comienza con gran ardor y entusiasmo una labor que perdura durante toda su existencia. Al recibir el encargo de sus superiores empezó a relacionarse con otros estudiosos del extranjero y de otros observatorios españoles. El trabajo constante, su amor al estudio y su clara intuición en todo lo que hacía le llevaron a conseguir una sólida formación en el mundo de la Sismología. Desde muy pronto se inmiscuye en los problemas de esta ciencia y buscó siempre planteamientos teóricos y soluciones prácticas que hicieran posible una aplicación real de esta en la sociedad. Esta iniciativa y su larga trayectoria investigadora hizo que pronto comenzara a dar sus frutos. Su inventiva y esfuerzo le hicieron superar innumerables problemas de índole científica y sobre todo económicos, casi siempre salió airoso de aquellos trances gracias a su constancia, esfuerzo y tesón, fue superando poco a poco aquellos obstáculos en especial el de la escasez de medios materiales con el que se encontraba en el Observatorio cada día. La puesta al día de los aparatos dedicados a la Sismología y la construcción de otros nuevos lo consiguió gracias a su tarea diaria y a la ayuda de sus ayudantes mecánicos que le seguían en todas las iniciativas que se le ocurrían.

³ En el Expediente del P. Sánchez Navarro no dice que ingresó en la Compañía de Jesús el 8 de Febrero de 1900 en la Provincia de Toledo-Andalucía.

Desde 1905 a 1908 vive una etapa difícil pues además de la penuria de instrumentos sismológicos tiene que dedicarse a una larga tarea de estudio para conseguir una adecuada preparación. El resultado de este enorme esfuerzo fue la reorganización de la Estación Sismológica y la publicación de varios trabajos en revistas nacionales y extranjeras que hicieron que su nombre y el del Observatorio fueran conocidos en el mundo de la Sismología. Desde 1902 publicaba en Razón y Fe, el Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, la Revista de la Real Sociedad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, el Boletín del Observatorio de Cartuja, en la Revista Broteria, en Ciel et Terre, Cosmos, Bolletino della Società Sismologica Italiana y en la Union Géodésique et Géophysique International entre otras.

Sus constantes estudios sobre los instrumentos que iba conociendo a través de las publicaciones y viajes le llevaron a desarrollar una adecuación de los sismógrafos de Cartuja. Sin embargo, pronto se dio cuenta que había que dotar a esta estación de nuevos materiales por lo que a partir de 1908 comienza su ingente labor de diseño, montaje, estudio y comprobación de los nuevos sismógrafos. En todo momento fue ayudado y secundado por los HH. Coadjutores que le siguen con laboriosidad y dócil obediencia. Sus indicaciones eran órdenes y gracias a ello el Observatorio de Cartuja se fue dotando de sismógrafos sensibles y potentes que llevaron a Cartuja en un breve tiempo a obtener registros de un gran número de terremotos con lo que se superó a otras estaciones europeas y españolas mejor dotadas en instrumental, personal y en dinero.

A partir de 1907 lo encontramos como Director del Observatorio de Cartuja. El Jefe de Astronomía es el P. Mier y Terán, su ayudante el H. Luis López, Jefe de Meteorología el P. Ramón Martínez y su ayudante el H. Luis Hurtado y Jefe de Sismología el P. Manuel M^o Sánchez Navarro Neumann y su ayudante P. Emilio Ortega. Continúa de Director hasta 1920 y sus ayudantes fueron en Sismología el P. Emilio Ortega hasta 1911, desde 1912 a 1921 el H. Antonio Sola. En 1921 aparece como Director del Observatorio el P. Manuel Grund, como Jefe de Sismología encontramos desde 1921 a 1931 al P. Sánchez Navarro y en 1928 como ayudante al H. Juan Francisco Martínez Dornacu.

Como decía el propio Sánchez-Navarro su mayor satisfacción fue ver como el Boletín del Observatorio de Cartuja era citado y consultado por multitud de estudiosos y que sus instrumentos permitían obtener material suficiente y exacto. Su espíritu español le llevaba a exponer como sus instrumentos se podían llamar españoles puesto que habían sido construidos aquí y presentaban en ocasiones más

ventajas que los modelos extranjeros, aunque a veces servían de punto de partida a los que adaptaba o inventaba, casi todos ellos se convertían en modelos originales.

En la etapa de 1910 a 1916 se intercambian las publicaciones de Cartuja con las de otros observatorios e instituciones de Alemania, Austria, China, Estados Unidos, Filipinas, Italia, España, Canadá, Hungría, Inglaterra, Japón, Malta, Perú, Portugal, Rusia, Egipto, Francia, Haití, Rumania, Hawai, Chile, Méjico, Serbia, Uruguay, Siria, San Salvador, Noruega, Costa Rica, Dinamarca, Turquía Asiática, Grecia, Bolivia, Brasil, Bélgica, Australia, etc.

Sabemos por sus propios escritos que contaba con un gran número de informadores y favorecedores que le enviaban datos a Cartuja, entre ellos cita muy a menudo al H. Esteban Tortosa de Málaga, antiguo ayudante del P. Sánchez- Navarro. Cuando ocurrió el terremoto de 16 de Junio de 1910 se produjeron averías en los sismógrafos que fueron reparadas por el H. Luis López, S. J., arregló los bifilares Cartuja pero no el Wiechert. Otro de sus colaboradores, el H. Alfonso Pérez, construyó un sismógrafo pequeño. Se lamenta el P. Sánchez-Navarro de no poder dedicar todo su tiempo al estudio de los terremotos pues se lo requieren *"los deberes de la enseñanza y otras múltiples e ineludibles ocupaciones"*.

Con sus nuevos sismógrafos logró aumentar el número de terremotos recogidos en las bandas, así contabiliza 177 en 1908, 159 en 1909 y 285 en 1910, nos dice que parecía cierta la existencia de un aumento real atribuible al más esmerado cuidado de los sismógrafos y a los buenos servicios del personal. Hace especial énfasis en la necesidad de recoger y estudiar estos fenómenos de la Naturaleza, nos dice: *"De desear sería que la prensa sería tomase con empeño y encargase a todos sus correspondientes como preferentes todos los datos que se refieran a terremotos, sobre todo españoles, con los que realizarían una labor verdaderamente científica y que había de redundar en honor de la patria"*. Continuamente solicita intercambio de publicaciones y añade que este debe de hacerse con el de otras ciencias como las Matemáticas, Física, Química, Geología, Geografía, Historia, Arte de Construir, etc., por la gran relación que tienen en este campo con la Sismología.

Una cuestión que le preocupó siempre fue el de saber la hora exacta en que ocurría el terremoto. Por estos años trabajó con el P. Ricardo Garrido y su ayudante Salvador Parra, que le proporcionan la hora exacta por teléfono. En Cartuja se estaban construyendo una serie de piezas muy delicadas para un péndulo tipo Cartuja con destino al colegio de los jesuitas de Cienfuegos y se enviaron copias y

fotografías para el del Colegio de Campolide en Lisboa según las anotaciones del propio Navarro Neumann. Las noticias que siguen están sacadas de sus publicaciones.

En 1910 participó en la Exposición Universal de Bruselas enviando 6 fotografías y recibió un Diploma de Honor por esta colaboración. La fama del Observatorio se iba ampliando y fue visitado por los alumnos de la Escuela Superior de Guerra y por los de la Artillería de Marina, que vinieron acompañados de su Coronel, Director y profesorado. El subdirector del Observatorio de Marina de San Fernando hizo en 1910 tres visitas para ver el funcionamiento de los sismógrafos y también estuvo en Cartuja el P. B. Berloty, S. J., Director del Observatorio de Ksara (Siria)⁴.

En 1911 se hicieron algunas mejoras y entre ellas se colocó un hilo entre el Observatorio de Cartuja y la Estación Sísmica, que estaba situada a unos 420 metros en uno de los patios del Colegio Noviciado, se grababan en las bandas las señales horarias y se evitaba tener que llamar constantemente por teléfono. Se arregló un cronógrafo por parte del H. Luis Hurtado, se donaron al Observatorio varios alburnes y 100 pesetas para iniciar un nuevo sismógrafo de 1000 kilogramos. Uno de sus colaboradores, el H. Antonio Sola, construyó un mecanismo multiplicador destinado a completar el Cartuja vertical. En 1911 se registraron un total de 257 terremotos. Las visitas fueron muy numerosas. El P. Juan Murillo, S. J., profesor de Física fue nombrado Director del Observatorio Meteorológico de Cartuja. Los modelos de sismógrafos Cartuja siguen siendo imitados y copiados en América, así conocemos uno en Puerto Príncipe (Haití) y el de La Paz en Bolivia.

En 1912 estaba todavía roto el Wiechert de 200 kilogramos. Fue trasladado el H. Luis López a Madrid por motivos de salud y se repartieron sus cargos y trabajos los HH. Salvador Parra y Antonio Sola. Desde Estrasburgo se pide que se cambie el modelo de Boletín de la estación granadina pero las dificultades económicas lo impiden por el momento. Se registraron 152 terremotos en 1912. Los problemas de espacio llevaron a trasladar algunos sismógrafos a las dependencias del Colegio Noviciado. El P. Sánchez trataba de formar algunos discípulos en Sismología y así nos cuenta:

".. la Estación Sismológica de Cartuja (Granada) dentro de lo limitadísimo de su esfera, ha tratado también de difundir la Ciencia, por otros medios además de los referidos, ya por medio de Conferencias públicas, dadas por el entonces discípulo nuestro en Geología P. Juan Murillo, S. J., en 1909 y 1911, ya también

⁴ Debe de haberse equivocado pues Ksara está en Libia.

proporcionando datos para la construcción de instrumentos e instrucciones para la interpretación de sismogramas, como hicimos en 1910 durante varios días con el P. B. Berloty, S. J., Director del Observatorio de Ksara (Siria) y en 1911 con el P. Ricardo Cirera, S. J., y el H. Hornos, Director y Mecánico respectivamente del Observatorio del Ebro (Tortosa) y con el Subdirector del Observatorio de Marina de San Fernando Sr. Francisco Graiño y hemos practicado también en 1914".

En aquellos momentos difíciles de 1914 recuerda a sus antiguos colaboradores, ya fallecidos algunos de ellos, así en sus escritos dedica un recuerdo a los días en que trabajaron junto en Granada, entre ellos destaca a algunos de sus predecesores como fue el P. Ramón Martínez (1903-1906), los antiguos ayudantes HH. Esteban Tortosa (1906-1908), Miguel Jiménez (1908), Luis López (1908-1912) y Antonio Sola (1912-1913), además de sus colaboradores actuales el H. Salvador Parra y al antiguo mecánico del Colegio H. Alfonso Pérez y al P. Descotes.

La desastrosa guerra tiene consecuencias más o menos remotas pues no llegaban publicaciones a Granada desde Bruselas, París, China, Apia, Austria, Rusia, etc., y no se podía publicar en las revistas internacionales. La estación se encuentra en un local de difícil acceso y no pueden entrar al recinto nada más que muy pocas personas, por ello se han llevado al Observatorio dos modelos de demostración, albunes con copias de sismogramas y las publicaciones. Nos dice que durante 1914 visitaron la estación 1803 personas además de los padres jesuitas y a todos los había atendido personalmente. Entre ellos estuvieron los alumnos de la Escuela Superior de Guerra, Profesores y alumnos de la Escuela Normal y de las Escuelas del Ave María, la Visitación, Domínicas, etc. Entre las personalidades estuvo el arzobispo, el obispo de Guadix, varios astrónomos entre ellos D. José Galbis, Jefe del Servicio Meteorológico Español y del Observatorio Central de Madrid "*venido especialmente para conferenciar con nosotros sobre la instalación que proyecta de unos sismógrafos en el importante Centro a su cargo*". Otros sismólogos de la Compañía de Jesús estuvieron en Granada y otros pedían se les enviaran diapositivas de los instrumentos para conferencias.

Su tiempo lo pasa dedicado a las observaciones sismológicas, a sus tareas en el confesonario y en los trabajos de la residencia, por ello no podía estar dedicado por entero a la Sismología, este hecho lo lamenta y nos transmite sus pensamientos y explicaciones sobre sus tareas de esta forma:

"reduciéndola al tercio o quizás menos de lo que debiera haber sido, fue el mal estado de nuestra salud, siempre enfermiza y que nos impide desarrollar iniciativas y trabajar con la continuidad y tesón que tanto edifica en nuestro Ayudante y que

constituye una de las características que deben adornar a un buen religioso de la Compañía de Jesús".

En varios de sus trabajos nos expone lo que pensaba sobre el quehacer científico y en especial sobre los que tienen la Ciencia como *modus vivendi*. Anima a todos los que tengan ganas de trabajar sin trabas ni complejos pues la laboriosidad diaria suple en ocasiones a lo realizado por los superdotados. En el siguiente párrafo tenemos un resumen de lo que defendía en estos casos:

".. el investigar y el tantear tan poco está vedado a las medianías de buena voluntad amantes del trabajo que en casi todos los países resulta condición sine qua non para obtener el título de doctor. Abundando en estas ideas y con tanta mayor razón cuanto que si nos dedicamos a estos estudios es por disposición de nuestros Superiores, lo que nos asegura, en medio de nuestros achaques y deficiencias, hemos emprendido algunas investigaciones parte publicadas o en prensa y parte inéditas y aun apenas esbozadas".

Su salud delicada, los muchos trabajos al margen del Observatorio y, sobre todo, la falta de sismólogos le llevaron a organizar unos cursos de Sismología en 1914, así nos cuenta: *"Este año hemos comenzado a dar una clase dos veces por semana a tres de nuestros HH. estudiantes, con carácter principalmente, práctico y más especialmente dirigido para ponerlos rápidamente en estado de hacerse cargo de una Estación Sismológica y aun añadir a la marcha rutinaria alguna investigación personal, sirviéndoles de texto nuestra obra inédita de Sismología práctica"*. Estos estudiantes el 18 de diciembre ante el Provincial y la comunidad jesuita dieron estos HH. Una conferencia. A pesar de todo aquel esfuerzo en 1915 estaba prácticamente solo como personal científico en el Observatorio.

El 13 de Mayo de 1915 escribe a D. Salvador Raurich comentándole que había recibido de sus superiores autorización para poder formar parte de la Sociedad Astronómica de Barcelona y le pide que presente la candidatura de la Estación Sismológica de Cartuja como socio protector. El 21 de Mayo le vuelve a escribir para que en su nombre de las gracias al Presidente Torné y Fontseré por haber apadrinado la solicitud de la Estación Sismológica de Cartuja.

Constantemente nos recuerda que el valor práctico de los instrumentos radica en que estén bien contruidos y que por lo menos lo hayan sido por sus inventores y añade que se les cuide bien.

En noviembre de 1919 asistió al Congreso Nacional de Ingeniería de Madrid, allí se expusieron algunos instrumentos del Observatorio de Cartuja y resultados de las investigaciones desarrolladas en los años de funcionamiento. Este hecho hizo que el rey conociera de primera manos el trabajo. El P. Sánchez-Navarro nos relata:

"Tampoco podemos olvidar las halagüeñas frases que S. M., a quien nos acababa de presentar el eximio inventor y buen amigo Excmo. Sr. D. Leonardo Torres Quevedo, se dignó pronunciar en la Exposición celebrada durante el Congreso Nacional de Ingeniería (Noviembre 1919), al mostrarle el álbum de sismogramas obtenidos con nuestros péndulos españoles, y el macrotrémetro "P. J. Granero, S. J.", que también expusimos".

Hacia poco que había vuelto al Observatorio el P. Ricardo Garrido, tras un intervalo de Septiembre de 1912 a Agosto de 1919, y hacerse cargo de la Dirección del Observatorio Astronómico y Meteorológico de Cartuja además de sus clases de Física, Química y Astronomía.

Toda aquella labor comienza a ser reconocida pues el 13 de Octubre de 1920 fue declarada de Utilidad Pública la Estación Sismológica de Cartuja (Granada) por R. O. publicada en la Gaceta de Madrid del 16. El rey Alfonso XIII y el Gobierno daban este importante espaldarazo a la Estación Sismológica y su Director era nombrado poco después Vocal de la Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica. Muchas asociaciones científicas lo incluyeron entre sus miembros y con el paso del tiempo le honraron con distinciones, nombramientos y premios.

Esta etapa fue calificada por Sánchez Navarro Neumann como de expansión científica española, nos expone como la ciencia de nuestro país era imitada en el exterior sobre todo en Sismología. Cuando asistió a la Segunda Asamblea General de la Asociación Internacional de Sismología en Manchester visitó Londres y París donde estuvo en los Museos de Historia Natural y tomó apuntes sobre todo de la sección de Paleontología. En muchos de los congresos defendió que aparecieran las fallas reflejadas en los mapas geológicos por la importancia que tenían en los sismos.

Sobre las líneas de investigación de la moderna Sismología debían de trazarse tratando de sacar unas enseñanzas prácticas de esta ciencia. En uno de sus párrafos encontramos las principales ideas sobre todo esto, nos lo expone así:

"Sacar fruto práctico de los conocimientos anteriores que sean susceptibles de ello, de las más horrendas catástrofes, para evitar que se repitan, construyendo edificios capaces de resistir la acción destructora de los más violentos sismos, aprovechando datos recogidos, digámoslo así, entre escombros y ruinas, tal vez tumbas prematuras que nos muestran lo que debemos evitar, o de las construcciones que se conservan incólumes, o con averías menos importantes y que nos sirven de modelos dignos de imitación; utilizar el sismógrafo y sus derivados para estudiar la resistencia a los estremecimientos de los materiales de construcción, el estado de las vías de comunicación y del material móvil afecto a las mismas, y aun de las naves que surcan el proceloso piélago, a veces menos agitado que la tierra, llamada firme, he aquí las principales aplicaciones de la Sismología, o sea el fin de la Sismología aplicada".

" Y cuanto no queda por hacer con respecto a los pasados! Revisar archivos parroquiales, municipales, provinciales, bibliotecas, etc., etcétera; estudiar en los monumentos y aun edificios particulares, y más en el mismo suelo, los efectos de sismos antiguos es labor que está por comenzar, o poco menos".

Por estos años se lamenta de falta de espacio y de problemas con los sismógrafos pues los nuevos construidos a partir de 1907-1908 tuvieron que llevarse a un local más apropiado, construido expresamente en uno de los patios interiores del Colegio Noviciado del Sagrado Corazón, situado a unos centenares de metros del Observatorio Astronómico donde habían estado desde 1902.

Tomó parte activa en numerosos Congresos nacionales e internacionales entre los que destacan el de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional de la Haya (1907), Manchester (1911) y Madrid (1924), el de Geología de Madrid (1926), los de la Asociación para el Progreso de las Ciencias en diversas ciudades españolas y portuguesas desde 1911 a 1927, Primer Congreso de Ingeniería de Madrid (1919) y otros. Además de sus ponencias y comunicaciones presentó trabajos, gráficas e instrumentos en las respectivas exposiciones de los congresos, entre ellos destaca el organizado por la Sociedad Astronómica de España y América que se celebró en Barcelona en 1921 y el de la Exposición Iberoamericana de Sevilla de 1929-1930 donde obtuvo el Gran Premio para el Observatorio de Cartuja y en varios instrumentos de su Estación Sismológica. Estos aparatos fueron muy celebrados por muchas personalidades de la vida científica y política de aquellos momentos pero en especial por el rey de España Alfonso XIII. Su prestigio era tal que era continuamente invitado por diferentes entidades docentes y culturales que aprovechaban su asistencia a congresos para organizar actividades especiales, así sus conferencias son muy numerosas, las acompañaba de proyecciones y materiales gráficos para hacer llegar la ciencia al pueblo. Entre ellas destacan las dictadas en

Madrid, Barcelona, Cádiz, Granada, Sevilla, Valencia y otras ciudades y pueblos. En su destierro dictó conferencias en Nápoles y en Roma sobre todo en la Universidad Gregoriana.

A pesar de todo ello siempre que podía ocultaba su nombre en el anonimato pues no se dedicó ninguno de sus aparatos sino que los denominó con el nombre de otros padres de la Compañía de Jesús canonizados o no: Berchmans, Belarmino, Canisio, Granero, etc. Su modestia era tan grande que cuando nos habla de las estaciones sismológicas elogia siempre a sus directores y al llegar al de Cartuja dice "*restando esta de Cartuja (Granada), por cierto no tan afortunada en su dirección*".

Su incesante labor y sabios consejos se ponen de manifiesto por muchos de sus colegas, así el Comandante del Estado Mayor y Jefe de la Estación Sismológica de Toledo, D. Vicente Inglada y Ors, escribió una obra interesante en 1919, lo cita en varias ocasiones entre los impulsores de la moderna Sismología, entre otras personalidades nos habla de aquel impulso de la nueva ciencia gracias a los trabajos del P. Sánchez-Navarro Neumann, el Prof. Gerland, Tomás de Azcarate, el P. Cirera, José Comás Sola y Eduardo Fontseré entre otros⁵. En una reseña sobre algunos de sus trabajos publicada en la prestigiosa revista belga Ciel et Terre de 1920 se dice de él que es "*un espíritu bastante ingenioso y trabajador infatigable, es el principal creador en España de la Ciencia Sismológica, que brilla hoy gracias a su esfuerzo y tesón*".

Sabemos que tuvo un papel destacado en la refundación de la Asociación Sismológica Jesuita de América. Esta asociación contaba con un Boletín que era considerado como una de las mejores publicaciones mundiales en Sismología. La Asociación se trató de formar en 1909 por el P. Odenbach que contaba con algunos aparatos sismológicos desde 1900 pues lograron poner el primer sismógrafo gracias al H. Rueppel en el colegio de San Ignacio, más tarde Universidad John Carrol de Cleveland (Ohio). Como muchos colegios de jesuitas y Universidades se iban dotando de sismógrafos el P. Odenbach pensó en crear una red sismológica basada en los centros de enseñanza de los jesuitas y escribió a los directores de colegios con la idea de reunirse el 2 de febrero de 1909 para hacerla realidad. Con todo ello se creó el llamado Jesuit Seismological Service que funcionó durante un corto período de tiempo hasta que desapareció por discrepancias y falta de medios económicos.

⁵ INGLADA Y ORS, Vicente: *El interior de la Tierra según resulta de las recientes investigaciones sismométricas*. Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico. Madrid, 1919.

La idea de reflotar o rehacer la Asociación surge de nuevo tras la Primera Guerra Mundial, así a partir de 1921 se comienza a gestar una nueva cooperación en el campo científico. En 1925 el P. Macelwane propuso a los Superiores de la Compañía de Jesús en Estados Unidos un plan de reorganización y funcionamiento del Servicio Sismológico.

En aquellos momentos sabemos que contribuyó especialmente en el relanzamiento de la Asociación una carta enviada por el P. Sánchez-Navarro al P. Macelwane y su contenido fue dado a conocer a todos los Superiores de la Compañía. Las ideas y prestigio del entonces Director del Observatorio de Cartuja hizo que se reunieran en Chicago los Colegios y Universidades el 24 de Agosto de 1925. La nueva asociación fue bautizada como Jesuit Seismological Association, su primer Presidente fue el P. Sullivan de la Universidad de Orleans y el Secretario el P. Macelwane de la de Saint Louis. El centro estaba en Saint Louis Missouri y se creó el Departamento de Geofísica. A partir de 1944 se convierte en Centro e Instituto de Tecnología Geofísica.

Aunque las ideas del P. Sánchez-Navarro fueron primordiales para el nacimiento de esta asociación pronto se tomó la determinación que los centros y observatorios situados fuera de Estados Unidos y Canadá no podían formar parte de ella, pues tras ver los pros y contras, se decidió que fuera una sociedad netamente americana⁶.

En los resúmenes y memorias elaboradas por el P. Sánchez Navarro nos encontramos que en 1923 se registraron 142 terremotos, en 1924 un total de 343, en 1925 fueron 353 y en 1926 un total de 419, la cifra más alta hasta aquellos momentos. Funcionaban a pleno rendimiento los sismógrafos Berchmans, Javier y Belarmino, aunque este último no estaba acabado. Los problemas de espacio llevaron a construir un edificio adecuado que cree que se comenzará en 1927, estaría parte excavado en la roca para dar más fiabilidad a los registros. En 1927 llegaron cambios en el personal y la solución a los problemas de los sismógrafos se agrandaron por el encendido de los hornos del Colegio Noviciado. El P. Provincial dio una limosna y con otros pequeños fondos se empezó a construir el nuevo pabellón. Nos da las coordenadas del nuevo edificio y una altura de 772 metros sobre el nivel del mar, tiene forma de T con fachada al norte. Se emplearon para desmontar la roca 70 barrenos. La sala tiene una superficie de 6 x 4'30 x 3'50, tejado a dos aguas, cielo raso y capa de corcho aislante para evitar los cambios bruscos de temperatura. Contaban con un salón de 12 metros cuadrados y una sala

⁶ DUE ROJO, Antonio, S. J.: "El vigésimo quinto aniversario de la 'Jesuit Seismological Association'", *Urania*, 1950, pp. 266-269.

para laboratorio fotográfico. El proyecto lo habían hecho dos HH. uno ingeniero agrónomo y el otro estudiante de Ingeniería de Caminos.

El año 1927 trae a Cartuja importantes visitas entre las que descuellan las del Ministro de Gracia y Justicia, Excmo. Sr. D. Galo Ponte, acompañado del Director General de Penales, el Gobernador Civil, el Presidente de la Diputación y los Presidentes de las dos Audiencias, que reciben una explicación del Director del Observatorio. Continuaron otras como la del ex-Ministro de Instrucción Pública, Excmo. Sr. D. Natalio Rivas, el profesor y escritor D. Fidel Fernández Martínez, el Rector de la Universidad, Dr. D. Fermín Garrido, las del P. Luis Rodés, S. J. y la del P. Ignacio Puig, S. J., la del Prof. G. Alberti y Andrea, Director del Observatorio de Arcetri (Florencia) y de un grupo de profesores de Lisboa.

En 1928 se registraron 364 terremotos. Entre las visitas a destacar se encuentra la del Prof. Dr. P. Zeeman, de Amsterdam, Premio Nóbel del que dice Navarro Neumann que "*permaneció más de una hora en nuestra estación sismológica*". En 1929 funcionaban perfectamente los sismógrafos y se registraron en total 400 terremotos, se incrementó la tirada del Boletín por su demanda, se envía relación de terremotos a D. José Galbis para preparar el trabajo sobre el Congreso de Estocolmo de 1930, recibieron la visita del Sr. García de Lomas, Jefe de la Estación Sismológica de Málaga. Se preparó y asistió a la Exposición Ibero-Americana de Sevilla. El pabellón era bellísimo como obra de D. Leopoldo Torres Balbás y les cedieron un local por parte del Presidente de la Excma Diputación Provincial de Granada, D. Francisco Martínez Lumbreras. Se presentaron el Belarmino, barógrafo Loyola, macrotremómetro Granero y otros materiales además de sismogramas, publicaciones, curvas, etc. Entre los ilustres visitantes descuellan los reyes y sus hijos. El P. Sánchez Navarro nos dice:

"SS. MM. los Reyes (q. D. g.) D. Alfonso XIII y Doña Victoria Eugenia, en unión de sus augustos hijos los Infantes D. Jaime, Doña Beatriz y Doña María Cristina, los Infantes D. Carlos y D. Alfonso de Borbón, Doña María Luisa y D. Alfonso de Orleans, Príncipe D. Carlos de Borbón, Ministro de Fomento Excmo Sr. Conde de Guadalhorce y brillante séquito, honraron con su visita, nuestra modesta instalación el 2 de Noviembre, interesándose S. M. el Rey (q. D. g.), más especialmente, por el sismograma del terremoto antipodal del 16 de Junio, y por la gráfica de la depresión del 1 al 2 de Febrero, registrada por el Loyola, con 9 veces de aumento, a pesar de la sencillez de su construcción".

También visitaron la exposición el Cardenal-Arzobispo de Granada, Dr. D. Vicente Casanova y Marzol, el Gobernador Civil, D. Manuel G. de Longoria, el Alcalde, D. Mariano Fernández Sánchez- Puertas y el Presidente de la Diputación D. Francisco Martínez Lumbreras.

Las visitas al Observatorio que destacan son las de S. A. R. el Infante D. José Eugenio de Baviera, el ex-Ministro D. Natalio Rivas, el Gobernador Militar, y otros muchos ilustres directores de estaciones.

Durante el año 1930 ocurrieron algunos acontecimientos notables. El primero de ellos fue el nombramiento como Vocal de la Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica del P. Manuel Sánchez-Navarro por orden del monarca Alfonso XIII de acuerdo a la R. O. de 26 de Enero publicada en la Gaceta de Madrid del 5 de Febrero, pág. 981. La segunda es la colaboración firme del P. Antonio Due Rojo desde principios de septiembre como subdirector del Observatorio. La tercera es que el último día del año se recibió un hermoso diploma que acredita haber concedido el Jurado Superior de recompensas de la Exposición Ibero-Americana de Sevilla (1929-1930) Gran Premio a la Estación Sismológica de Cartuja (Granada) por sus instrumentos de Sismología. Se registraron 377 terremotos este año. Se estaban estudiando mediante ampliaciones fotográficas los más cercanos lo que suponía una gran importancia desde el punto de vista científico.

Tras muchos años de trabajo a finales de 1931 finalizaba la llamada tercera componente con el Canisio, va a llegar uno de los peores momentos de su vida cuando la República en 1932 expulsó a la Compañía de Jesús de España e incautó el Observatorio. Nos relata el P. Due:

*"Humanamente considerado, esto equivalía a segar en flor las ilusiones de un hombre de ciencia, consagrado a ella toda su vida con el mayor entusiasmo y ardor; más su espíritu fuerte, confortado con la energía sobrenatural de su sólida virtud, venció y sobrellevó esta dura prueba dando a todos un alto ejemplo de magnanimidad, cuyo mérito pocos podrán apreciar tan exactamente como el que esto escribe, discípulo y auxiliar del Padre Sánchez Navarro durante 15 años en que participó en sus empresas e investigaciones con mayor intimidad que otro alguno"*⁷.

⁷ DUE ROJO, Antonio, S. J.: "Un gran sismólogo español", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Abril-Junio, 1939, pp. 1-2.

A partir del 2 de Febrero de 1932 el Observatorio pasó a manos del Gobierno. Se nombró Director del mismo a D. Félix Gómez Guillamón, Ingeniero Geógrafo, y se dotó al centro con personal del Instituto Geográfico. El resumen de la labor científica de la Estación Sismológica de Cartuja (Granada) durante el año de 1931 está firmado por D. Félix Gómez Guillamón. Se registraron 444 terremotos y cita los trabajos del P. Due y del P. Sánchez Navarro. Las visitas fueron numerosas y entre ellas descuella la de algunos profesores y alumnos. Entre los especialistas destaca la del distinguido sismólogo D. Alfonso Rey Pastor que vino hasta Granada en Comisión Oficial.

En el curso 1931-1932 lo encontramos en Nápoles, en 1934-1936 en Ruysbroeck (Belgica) en un Colegio , en 1936-1937 está en Entre-os-Rios (Portugal) para volver a Granada en 1937-1938 a la Residencia de los Jesuitas. En 1939-1940 es destinado por problemas de salud al Puerto de Santa María donde murió. En una nota se dice que era científico y asceta, entre sus méritos estaba el tener la colección de fotos más completa del mundo en la especialidad de Meteorología, Astronomía y Sismología y el redactor de la nota nos dice: "*Era un asceta rigurosísimo, sin que ello restara nada a su humor fino y oportuno, como buen gaditano-malagueño*".

A pesar de todo dio un magnífico ejemplo y sobrellevó esta dura prueba durante el destierro y a su vuelta en 1938, así repetía en sus escritos y conferencias la frase latina: Dominus dedit, Dominus abstulit. El 11 de Agosto de 1938 se hizo entrega del Observatorio al Provincial P. José Fernández Cuenca que estuvo acompañado por el P. Sánchez Navarro y otros jesuitas.

A partir de ese momento y venciendo dificultades de toda índole entre las que destacan las económicas se entraba en otra etapa difícil por la Guerra. A pesar de todo se fueron normalizando los servicios. A partir de 1940 el estado de salud del P. Sánchez Navarro se vio empeorado y tuvo que ser sustituido por el P. Due Rojo. Se le restableció la subvención que el Estado sufragaba para hacer frente a algunos gastos materiales.

A finales de 1939 tuvo que dejar la Dirección del Observatorio y se preparó su traslado al Puerto de Santa María donde había un clima más benigno que en Granada. Sobre su enfermedad sabemos pocas cosas pero si nos dicen sus biógrafos que acabó el jueves, 30 de Enero, a las 8'10 de la tarde. Su salud estuvo siempre minada por habituales achaques. Sabemos que a pesar de la fiebre y mal estado celebró el día de Navidad tres misas y entre ellas la de media noche. No pudo levantarse más. Fue poco a poco perdiendo su energía y vitalidad, la fiebre lo

debilitaba por días y fueron frecuentes los insomnios, agudísimos dolores desde la cadera a los pies que no le permitían reposar y por fin quedó el cuerpo sin movimiento alguno de cintura para abajo. Con todo ello la gangrena no tardó en manifestarse. A pesar de ello siempre conservó las facultades mentales hasta su muerte y decía a los que le rodeaban: "*Las relaciones entre el muerto (así llamaba a la parte inferior de su cuerpo) y el vivo son muy tirantes, y vencerá el muerto, pero podrá durar la lucha hasta veintidós años: ? Y sin poder trabajar ni leer, porque ya no veo!*".

Sus últimos días fueron mortificantes pues se encontraba que no podía trabajar y además era inútil en la Religión según su opinión, a pesar de eso emborronaba innumerables cuartillas con temas científicos, históricos y apologeticos de gran actualidad con ánimo de publicarlos en revistas y periódicos. Se preocupaba por no poder celebrar misa ni aún poder ir a rezar. Además, todo se complicó cuando la parálisis le impidió poder hacer nada y ver como tenía que resignarse a que todo se le hiciera. Su recato y modestia le llevaron a sufrir enormemente y le proporcionaron humillaciones que no es dado imaginar. Todos los días se confesaba, comulgaba y rezaba las tres partes del Rosario con gran recogimiento y fervor. Daba las gracias a los que le rodeaban, su amor y vocación crecían y en los últimos días de su enfermedad escuchó a otros padres que podía salir la Compañía de Jesús de nuevo al destierro, ante esto se enfervorizaba y pedía al Señor y a la Virgen Santísima mil veces la muerte. Con ello se purificaba su alma, recibió los Santos Sacramentos y murió sin agonía como la lámpara que se agota. Le falló el corazón y durmió el sueño de los justos.

Tras su larga y penosa enfermedad murió en el Puerto de Santa María (Cádiz) el 30 de Enero de 1941 cuando contaba con la edad de 74 años. Su fallecimiento puso de manifiesto como en el mundo científico era muy estimado y querido por lo que numerosos investigadores transmitieron el pésame a los superiores de la Compañía de Jesús "*en las que se pone de manifiesto el aprecio que universalmente se hacía de su labor cultural y la admiración hacia el que supo reunir a un alto nivel científico de la labor constante de toda su vida, las virtudes de religioso y sacerdote ejemplar*", pues no hay que olvidar que estuvo casi treinta años al frente del Observatorio y de Director de la Estación Sismológica granadina. Nos han dejado por escrito los que lo conocieron que no tuvo una salud firme sino que estuvo siempre aquejado de molestas dolencias pero que a pesar de ello estaba diariamente en su trabajo y al frente de cuantas situaciones se presentaban.

Su trabajo visto por su discípulo P. Antonio Due Rojo.

A poco de su muerte, el P. Due publico "Labor científica del R. P. Manuel María Sánchez-Navarro, S. J." en el Boletín del Observatorio de Cartuja, publicación interna, Compañía de Jesús, Granada, 1942, en donde nos pone de manifiesto sus largas horas dedicado no solo a la investigación sino a la preparación de instrumentos nuevos y tareas diarias. Nos dice su biógrafo:

*"En el mismo Boletín sísmico, que representaba el fruto de su labor cotidiana en la interpretación de los sismogramas, hallamos las huellas de un trabajo minucioso, paciente y perseverante, traducido en un análisis más esmerado que el que solían hacer otros centros similares, y un aprovechamiento atento y pudiéramos decir extremado, de los elementos facilitados por las demás estaciones en sus telegramas y datos preliminares; laboriosidad y exactitud de la que fue testigo el que esto escribe, durante los años en que, a partir de 1925, desempeñó el cargo de subdirector del Observatorio"*⁸.

Entre las opiniones que tiene su discípulo de su ingente labor de investigación destaca:

*"Otra nota característica en muchos de sus escritos es el acendrado patriotismo, manifestado por el cariño y entusiasmo con que trata de asuntos relacionados con los intereses de España, con sus glorias históricas y científicas, y el empeño con que a veces supo poner de relieve y en su justo lugar cuanto podía realzar el prestigio y autoridad españoles en el campo de los valores intelectuales y morales"*⁹.

Además de su labor como diseñador de sismógrafos y aparatos, preparación de numerosas conferencias sobre el mundo de la Sismología, tareas propias del orden sacerdotal, muchas horas de estudio y reflexión, viajes, etc., hay que destacar su ingente labor investigadora que se vio plasmada en gran número de revistas nacionales y extranjeras que sobrepasan el número de 300 artículos en varias lenguas: francés, italiano, inglés, alemán, portugués y castellano relacionados con los campos de la Geofísica y Astronomía se puede destacar que publicó el primer

⁸ DUE ROJO, Antonio, S. J.: "Labor científica del R. P. Manuel M? Sánchez-Navarro, S. J.", *Boletín del Observatorio de Cartuja (Granada)*. Publicación interna, Compañía de Jesús, Granada, 1942, pág. 1.

⁹ *Ibíd.*

manual de Sismología en castellano: *Terremotos, sismógrafos y edificios* en 1916. Cuando se hace un repaso de su bibliografía llama la atención su dilatado y amplio conocimiento de los campos del saber pues se dedicó a varias ciencias del conocimiento humano. Tenía una memoria privilegiada, mucha afición al estudio y a las lecturas, le apasionan los problemas difíciles y siempre busca una explicación racional y didáctica de los mismos para exponerlos de la manera más sencilla a los demás. En todos sus trabajos nos encontramos su originalidad, sus propios pensamientos, sus investigaciones, un nuevo modo de exponer las cuestiones, etc.

El archivo de las bandas de los bifilares Cartuja llegó a tener 35.000 gráficas, su péndulo invertido Berchmans suministraba excelentes aportaciones sobre todo para los terremotos españoles y a partir de 1924 comienzan a funcionar los de registro magneto-fotográfico con el Belarmino, el mayor éxito instrumental de todos los fabricados, y el Canisio. En su diario anotaba fielmente los cálculos, las tentativas y los resultados de cada uno de los aparatos para mejorarlos y tenerlos a pleno rendimiento. Por todo ello muchos sismólogos decían que era uno de los hombres que no se contentaban con repetir lo que veía fuera de España sino que pensaba por su cuenta y por ello desarrolló esta tarea tan original y provechosa. Sus normas y orientaciones fueron aceptadas y seguidas en otros centros sismológicos del mundo, se imitaron sus modelos de sismógrafos y se solicitaban con gran interés. Sus aparatos recibieron menciones honoríficas y premios y por ello la Estación de Cartuja fue declarada de Utilidad Pública el 13 de Octubre de 1920 por R. O., recibió varios premios en Barcelona y sobre todo el Gran Premio de la Exposición Iberoamericana de Sevilla en 1929-1930.

La mayor parte de sus estudios se encaminaron a conocer el suelo español y por ello los terremotos españoles ocuparon la mayor parte de su investigación. Publicó varios trabajos sobre terremotos históricos con lo que se le puede denominar, creo, como uno de los padres de la llamada Sismicidad Histórica.

Además de todo lo dicho hay que añadir que el Archivo y la Biblioteca se fueron enriqueciendo con el paso de los años. Se conservaban miles de negativos de la actividad solar y otras de Astronomía que correspondían al paso de los cometas Halley, Brooks y Delevan además de muchas fotografías de nubes. La biblioteca contaba con un fondo muy importante por el gran número de revistas científicas y las separatas de los trabajos de los PP. que trabajaban en el Observatorio sobre todo en Astronomía y Geofísica. El intercambio con otros centros iniciado por el P. Sánchez Navarro continuó con sus sucesores. Nos dice el P. Due que en el fichero doble de autores y materias se contabilizaban unas 70.000 fichas. Esta es la herencia

que nos dejaba uno de los mejores sismólogos españoles que desarrolló su actividad ligado a Granada.

En conjunto sus principales publicaciones se hicieron en las siguientes congresos y revistas: Congresos de la Asociación para el Progreso de las Ciencias, revistas *Razón y Fe*, *Ibérica (Revista semanal ilustrada)*, *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, *Memorias de la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, *Revista de la Real Sociedad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, *Sal Terrae (Revista mensual de cultura eclesiástica)*, *Producción (Revista de Agricultura, Industria e Ingeniería)*, *Boletín del Observatorio de Cartuja*, *Atti della Pontificia Accademia delle Scienze*, *Broteria (Revista contemporánea de cultura)* y *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*.

Algunas opiniones y pésames sobre el P. Sánchez-Navarro Neumann

Tras su muerte se recibieron en la Compañía de Jesús numerosos telegramas de pésame por la muerte de este admirado científico. El primero de ellos no en orden de llegada sino por la categoría de quien lo envía es el siguiente: "*En nombre del Sr. Ministro de Justicia y en el mío propio, testimonio a V. R. el más sentido pésame por la muerte del virtuoso y sabio P. Manuel M. Sánchez Navarro, verdadera gloria de España. Respetuosamente salúdale: Puigdollers*".

Otro lo envió el Director General de Asuntos Eclesiásticos al R. P. Provincial de la Compañía de Jesús. Otro es enviado al P. Due por el Director del Observatorio Astronómico de Madrid.

D. Félix Gómez Guillamón que lo había conocido ante la noticia de su fallecimiento escribe lo siguiente: "*Profundamente conmovido noticia fallecimiento sabio sismólogo Padre Sánchez Navarro, expreso mi nombre y todo personal esta Estación, nuestro sincero dolor tan sensible pérdida. Saludos*".

El Director de la Estación Sismológica de Málaga escribe al P. Due dándole el pésame por aquella pérdida. Otro es enviado por el Director del Observatorio de San Fernando (Cádiz) al R. P. Rector del Colegio Noviciado de Cartuja: "*Exprésole profundo sentimiento fallecimiento Padre Sánchez Navarro, pérdida irreparable ciencia española. Respetuosamente. Director Observatorio San Fernando*".

En otras obras nos ofrecen opiniones sobre este eminente sismólogo, así D. José Galbis Rodríguez, Inspector General del Cuerpo de Ingenieros Geógrafos, lo

calificó en varias ocasiones como: *".. el más competente e infatigable sismólogo español"*. El Contralmirante D. Wenceslao Benítez, Director del Observatorio de San Fernando expresa: *"su pérdida para la Compañía, es irreparable"*. Su hermano de religión y también, miembro de la Compañía de Jesús, Director del Observatorio del Ebro, R. P. Romana, dijo: *".. sus grandes méritos e infatigables trabajos, elevaron a grandes alturas el Observatorio"*. Eduardo Fontseré, Director del Observatorio Fabra, en Barcelona, expuso: *".. con su infatigable trabajo dio renombre universal a ese Centro y contribuyó eficazmente al progreso científico"*. Por último D. José María Lorente, del Observatorio Meteorológico de Madrid nos dice: *"..fue uno de esos hombres que no se contentan con repetir lo que ven fuera de España, sino que realizan obra original"*.

Su labor y ejemplo fue para muchos un acicate de trabajo, así le dedicaron algunos libros y dedicatorias de las que pasamos a exponer las siguientes:

"Al sabio P. Sánchez Navarro y Neumann, S. I., homenaje respetuoso de su admirador, Salvador G? Francos, Astrónomo de la Armada, autor de: Terremotos y aparatos para registrarlos".

"Al sabio sismólogo, inspirador de este modesto trabajo, con todo afecto y admiración, le dedica este ejemplar su discípulo: Alfonso Rey Pastor, Director de la Estación Sismológica de Toledo, autor de: Traités sismiques de la Péninsule Iberique".

"Ao eminente sismologo espannol e sabio ilustre, D. Manuel María Sánchez Navarro Neumann, con o maior apreço pola sua obra notavel, muito afectuosemen, e affmo. Dr. Raul de Miranda, Catedratico de Física del Globo en la Universidad de Coimbra, autor de: Tremores de terra".

" A mi buen amigo y sabio sismologo R. P. Manuel S. Navarro, en testimonio de consideración y afecto: D. Vicente Inglada y Ors, Teniente Coronel de Estado Mayor e Ingeniero Geógrafo, autor de: Observaciones gravimétricas".

Unos escritos inéditos del P. Sánchez- Navarro Neumann

Entre las anotaciones que manejamos para reconstruir la vida de este eminente sismólogo nos encontramos dos folios mecanografiados con alguna anotación a mano, se titulan "A nuestros favorecedores", queremos darlos a conocer pues en ellos el autor, indudablemente Sánchez-Navarro. nos dice en el primero de ellos:

"
+ JHS. A nuestros favorecedores.

Al serle devuelto a la Compañía de Jesús el Observatorio de Cartuja (Granada) por decreto del Exmo. Sr. Jefe del Estado de 3 de Mayo del corriente año de 1938, III Triunfal, que anula el Presidencial de expoliación del 23 de Enero de 1932, puesto en ejecución el 2 de febrero del mismo año, parte del personal del antiguo vuelve a reanudar sus tareas, después de seis años y medio de ausencia, pasados por los mas en gran parte en el destierro, y en las circunstancias anómalas que atravesamos, las que vedan aumentarlo por la penuria de sujetos, empleados en ministerios sagrados o en la enseñanza, cuando no prestando servicios mas directos a la Patria. Todo ello tiene que influir en nuestras publicaciones, hasta que el triunfo definitivo y avallador de la nueva Cruzada, en pro de la Civilización Católica, la única que merece tal nombre, por ser las otras barnices de Cultura, sepulcros blanqueados, permita volver a la vida normal.

El que esto escribe, en el momento de la incautación, acababa de terminar la construcción de un barógrafo extra-sensible el Bonona y planeaba otros nuevos instrumentos, cuando se vio despojados del archivo de sismogramas de más de 5.000 terremotos, registrados por sismógrafos ya originales, ya importantes modificaciones de otros, cuya construcción había dirigido y que le valieron a la Estación Sismológica un GRAN PREMIO “por sus instrumentos sismológicos, en la Exposición Ibero-Americana de Sevilla (1929-1930), precisamente cuando iba a comenzar el estudio sistemático del dicho archivo, auxiliado por un padre joven, de excelentes dotes y con la formación científica más apropiada para el caso. Aunque haya intentado continuar su labor, tanto en Nápoles, como en Ruysbroeck (Brabante) y en Entre-os-Rios (Douro), gracias a los envíos tan frecuentes como generosos de sus antiguas relaciones, (que mucho agradece, rogándoles continúen favoreciéndole), esos trabajos han adolecido del no contar ni con material científico propio, ni con la buena biblioteca especializada que había llegado a formar. Hoy vuelve a dedicarse mas de lleno a la Sismología, con sobra de años (72) y de enfermedades, por no permitir las circunstancias del momento reemplazarle por sujeto más idóneo, ya que casi solo cuenta en su abono el trabajar con instrumental construido bajo su dirección y por el H. H. Coadjutores de la Compañía de Jesús, esto es españolísimo, un gran puñado de artículos y la experiencia que debiera haber adquirido durante los 25 años que ha dirigido una estación sismológica.

Durante toda la incautación, el Observatorio ha estado bajo la inmediata posesión del Instituto Geográfico y Catastral, llamándose primero Estación Sismológica y Meteorológica de Cartuja (Granada), y después Observatorio Geofísico, nombre que se le conserva, por no cambiar más, por más que convenga recordar el que posee una ecuatorial bastante potente, y otros instrumentos astronómicos, y que carece de secciones magnética y de electricidad atmosférica, incompatibles con las otras como que influyen con las vecinas líneas de alta tensión y los tranvías

eléctricos de Granada. Fuera de los cambios de nombre, ha sufrido notables modificaciones, que se traducen por la adición de un local adosado al antiguo, destinado a servir de morada al Ingeniero Geógrafo Director, y de otro para cobijar a todos los sismógrafos, los que dejamos, parte en el mismo Observatorio, parte, y precisamente los más potentes, en el entonces Colegio Máximo, hoy utilizado por los militares, distante unos 400 metros, casi al N.

Aparte de resultar en su interior muy atenuados los violentos cambios térmicos del clima granadino, no rara vez superiores a los 20° entre la máxima y la mínima del mismo día, y de aparecer ingeniosa la distribución de los instrumentos al que no tenga que cuidarlos, adolece del grave defecto de su estrechez, que hace muy incómodos los delicados ajustes necesarios con harta frecuencia.

Al remontar en el nuevo pabellón los sismógrafos de registro mecánico se aumentó de los 280 kilogramos la masa del Cartuja vertical a 370, reemplazando por plomo el caldero viejo, lleno de hierro de desecho y gravilla que le servía de masa, a la vez que se hacía lo mismo con el Berchmanss, elevando de 3000 a 4260 kilogramos el peso de su masa. Lástima que la cantidad nada despreciable empleada no lo hubiera sido en adquirir mejores muelles que los muy malos (trozos de hoja de sierra puestos dobles, para reforzarlos) que tenía y le dejaron, y que empleamos por solo contar con muy escasos recursos cuando lo construimos. Ese pédulo sufrió, en su porción multiplicadora-inscriptora, una poco feliz modificación, que ha reducido considerablemente su eficiencia, y que ha sido preciso cambiar, para dejar al sismógrafo tal cual lo dejamos, y necesitará un muy penoso y largo arreglo para recobrar su primitiva sensibilidad, lo mismo que los otros sismógrafos de registro mecánico, bastante descuidados, parte por las dificultades antedichas del local, como por lo extraordinario de las circunstancias, que han obligado al personal, y mucho más a su dignísimo Director, el Comandante de Ingenieros Don Félix Gómez Guillamón a asumir otras más urgentes ocupaciones, y últimamente a muy largas ausencias. Si a este cuidado insuficiente se añade por algún tiempo la falta de papel sensible, y aun del bueno ordinario, y el poco amortiguamiento y aumento relativo con que encontramos a la componente vertical Belarmino, debidos al haber dejado demasiado separados los imanes inductores, se comprenderá la natural desilusión que tuvimos al hallarnos con un material de estudio muy inferior al que nos había venido dando el mismo instrumental, cuando corría a nuestro cargo.

Por otra parte, mucho antes del glorioso levantamiento salvador del 18 de julio de 1936, principio de una nueva Era histórica, habían comenzado a publicarse resúmenes sismológicos, en vez de los que publicábamos más completos y continuó publicando unos años, bien bajo la forma impresa, primero, y después hectografiada, y publican las estaciones sismológicas más acreditadas, y aun usa la de Toledo, a pesar de las terribles peripecias por que tuvo que pasar durante su

largo y doloroso cautiverio. Por eso faltan datos, fuera de las copias de los telegramas cifrados, y el último boletín provisional solo abarca hasta el fin del pasado año de 1937. Todas esas circunstancias, unidas a las que antes apuntamos, motivarán el que solo los ocupemos de los terremotos cuyas gráficas prometan suministrar datos utilizables, y no del montón de los vulgares, que solo sirven para llenar páginas y más páginas, a ser recubiertas por el polvo de los archivos, y que nadie consulta.

Quiera el Sagrado Corazón bendecir nuestra modesta labor y hacer que redunde en su Mayor Gloria, y, por tanto en el aumento del crédito científico de la Nueva España, la de los Mártires y los Héroes, la Maestra de las Naciones que no quieran perecer esclavas de masones y judíos, entre torrentes de sangre y avenidas de podredumbre, en medio de la más oprobiosa tiranía de la hez de la sociedad, y eso a título de Democracia y de la Libertad.

*El Director del Observatorio Geofísico de Cartuja, S. J.
Apartado N° 32- GRANADA”.*

Junto a este escrito se encuentra otro que parece ser una corrección y apunte del anterior pues son prácticamente lo mismo, pero tienen diferencias y por ello lo recogemos aquí, pues de esta forma los investigadores pueden conocer ambos, el segundo dice así:

“ + *JHS. A nuestros favorecedores.*
Al serle devuelto a la Compañía de Jesús el Observatorio de Cartuja (Granada) por decreto del Exmo. Sr. Jefe del Estado de 3 de Mayo del corriente año de 1938, anulando el despojo de que fue objeto el 2 de Febrero de 1932, volvemos a reanudar en él nuestra antigua labor científica como miembros de la Compañía de Jesús después de seis años y medio de ausencia. Hemos vuelto del destierro y nuestro deseo es el mismo de siempre: trabajar por la Mayor Gloria de Dios. De momento tenemos que participar de las circunstancias de la guerra en nuestras publicaciones, hasta que el triunfo definitivo y avasallador de la Nueva Cruzada en pro de la Civilización Católica, nos permita volver a la vida normal. Poco antes de la expoliación acabábamos de construir un barógrafo extra-sensible y planeábamos otros nuevos instrumentos, a la vez que ensayábamos, con éxito el aumentar de 15 a 25 milímetros los minutos en las bandas de nuestro péndulo invertido Berchmans. Después, privados de toda clase de material y de los sismogramas de más de 5.500 terremotos registrados por nuestros aparatos y desposeídos de la biblioteca especializada que se había formado lentamente, apenas si hemos podido trabajar algo en nuestro destierro trashumante de Nápoles, Ruysbroeck (Brabante) y Entre-os-Rios (Douro). Sentimos y deseamos manifestar en estas líneas un vivo agradecimiento a nuestras antiguas relaciones por sus envíos tan frecuentes como generosos, y a quienes rogamos que continúen

dispensándonos la misma benevolencia en adelante, así como lo haremos nosotros en cuenta las circunstancias lo vayan permitiendo.

No estará de más el que recordemos que, tanto nuestros sismógrafos, como sus accesorios y receptores, son de fabricación doméstica, y, por tanto jesuita, y, en nuestro caso netamente española. Todos se hicieron (1908-1931), bajo nuestra dirección por diversos H. H. Coadyutores de la Compañía de Jesús, y son, o modelos nuevos o notables modificaciones de otros existentes, y obtuvieron un GRAN PREMIO en la Exposición Ibero-Americana de Sevilla (1929-1930). (Suprimir lo que sigue, menos el tramo final).

Durante la incautación el Observatorio ha estado bajo la inmediata posesión del Instituto Geográfico y Catastral, llamándose primero ESTACIÓN SISMOLÓGICA Y METEOROLÓGICA DE CARTUJA (GRANADA), y después OBSERVATORIO GEOFÍSICO, nombre que es el actual. Sin embargo debemos recordar que posee tres ecuatoriales, la una bastante potente y otros importantes instrumentos astronómicos, recibiendo un GRAN PREMIO en la ya citada Exposición: por sus aparatos astronómicos. Además, no se han podido montar las secciones magnética y de electricidad atmosférica y telúrica, que, unidas a las ya existentes caracterizarían un observatorio geofísico, por la proximidad de los tranvías de la vecina Granada, que perturbarían tanto las observaciones, como para inutilizarlas por completo.

Una innovación ha sido la de la construcción de un pabellón donde se cobijen todos los sismógrafos, y que imponía el tener que trasladarlos del antes Colegio Máximo, que se había adjudicado a la Universidad de Granada, sin haber lugar para los mismos en el Observatorio, distante sus 400 metros, y donde ya se hallaban los menos sensibles. En el nuevo local, gracias a su acertada construcción con muros dobles y gruesa capa aisladora sobre el cielo raso, se ha conseguido atenuar los perniciosos efectos de los cambios de temperatura del clima granadino, los que, aun a la sombra, pasan, con frecuencia de los 20° centígrados y aun alguna vez de los 25, en el mismo día.

En cambio, la colocación de los sismógrafos, en particular de los de registro magneto-fotográfico con sus lámparas, galvanómetros y receptores, y aun de los bifiliares Cartuja, aunque a primera vista parezca ingeniosa, y, resulta hasta artística, es muy poco práctica, por lo que dificulta los finos ajustes exigidos por instrumentos tan potentes como delicados, si han de dar el máximo rendimiento de que son capaces.

Al remontar en el nuevo pabellón los sismógrafos de registro mecánico, se proveyó al Cartuja vertical de una nueva masa, reemplazando por 370 kilogramos de plomo la suya consistente en un caldero de deshecho, relleno de hierro viejo y gravilla y que pesaba 280, a la vez que se le aumentaba la longitud pendular, con notable pérdida de sensibilidad para los temblorcillos cercanos, por no presentarse tan

fácilmente el fenómeno de la resonancia, procurado adrede por carecer de amortiguamiento. Al remontar el péndulo invertido Berchmans, se cambió por otro más homogéneo el contenido del recipiente cúbico de palastro, que le sirve de masa, reemplazando el hierro de deshecho y las piedras, por roblones de hierro, con lo que el peso de la dicha masa pasó de los 3.000 a los 4.200 kilogramos. Lástima que la cantidad nada despreciable empleada en ambas mejoras no se hubiese gastado en adquirir en la Fábrica Nacional de Armas de Toledo unos muelles como los que tanto contribuyen a que el Wiechert de dicha Ciudad Imperial sea el mejor del Mundo: Nosotros, cuando montamos el Berchmans solo contábamos con una exigua cantidad para ello, y nos fue preciso utilizar trozos de hoja de sierra puestos dobles, por no ser suficientemente fuertes para soportar tanto peso, y teníamos intención de cambiarlos, pero después de la construcción de los instrumentos que proyectábamos y que nos prometían más. Lástima, también, que a un sismógrafo tal no le hubieran, entonces, colocado el nuevo motor de marcha rápida que teníamos, en vías de adaptación, que bien se lo merece un tan potente sismógrafo para el estudio de los sismos cercanos. Por cierto que la innovación de aplicarle unas piezas de un Wiechert de 200 kilogramos de masa, que resultó muy inferior a nuestros bifiliares, le ha hecho trabajar mal durante no poco tiempo, y necesitará de un largo y penoso arreglo, para recobrar la sensibilidad con que lo dejamos, y lo mismo los otros sismógrafos de registro mecánico; con esto, y la falta de amortiguamiento, extensiva a la componente vertical Belarmino, unida a una notable decrecimiento de aumento, por haber dejado demasiado espacio entre los polos conjugados de los imanes inductores, se ha perdido la ocasión de registrar no pocos sismogramas y estropeado muchos más, causándonos una triste disilusión el examen de las bandas, en particular más recientes, y más cuando quedaron en el Observatorio el mismo que nos cuidaba de los sismógrafos y el mecánico que había construido no pocos de ellos. Han debido influir bastante las anómalas circunstancias por las que atravesamos, otras ocupaciones del personal, en parte ocupado en construir piezas para montar otros sismógrafos fuera, y las múltiples ocupaciones y largas ausencias de nuestro dignísimo antecesor el Comandante de Ingenieros e Ingeniero Geógrafo Don Félix Gómez Guillamón, debidas a empleos de incomparable trascendencia.

(+) Quiera el Divino Corazón de Jesús bendecir nuestra nueva labor, y hacer que esceda, o, a menos no resulte inferior a la nuestra antigua, y sirva también para el aumento del crédito científico de la Nueva España, la de los Mártires y Héroes, Maestra de las Naciones, Mas Grande que cuando el Sol no se ponía jamás en sus inmensos dominios.

El Director del Observatorio Geofísico de Cartuja, S. J.

A. M. D. G. “

Bibliografía sobre el P. Sánchez-Navarro Neumann

DUE ROJO, Antonio, S. J.: "Un gran sismólogo español", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Abril-Junio, 1939, pp. 1-2.

- "El R. P. Manuel Sánchez Navarro", *Cincuentenario Cartuja, 1894*. Granada, 1994, pp. 81-83.

- "Labor científica del R. P. Manuel M? Sánchez Navarro, S. J.", *Boletín del Observatorio de Cartuja (Granada)*, Enero-Septiembre, 1940, pp. 1-8.

- "El R. P. Manuel Sánchez Navarro, S. J.", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Tomo XXXIX (1941), pp. 117-120.

- "Um grande sismólogo espanhol", *Broteria*, Vol. XXXII, fasc. 3, Março, 1941, pp. 284-287.

Anónimo: "Padre Manuel M? Sánchez Navarro + 30-1-1941", Establecimientos Cerón y Librería Cervantes, S. L. Cádiz-Madrid, pp. 20-24. (Ad usum privatum).

A ello hay que añadir lo reseñado en la nota 1 de este trabajo donde citamos algunos de nuestros trabajos sobre este personaje.

Muchas de las noticias biográficas las hemos sacado de los trabajos del P. Sánchez Navarro Neumann, S. J., como complemento ofrecemos una relación de trabajos lo más completa que hemos podido, aunque somos conscientes de que faltan algunos. Su obra clasificada por años queda de la siguiente manera:

**PUBLICACIONES DEL R. P. Manuel María SANCHEZ-NAVARRO
NEUMANN, S. J.**

Año 1889

Apuntes sobre el origen y antigüedad del hombre. Cádiz, 1889.

1893

Estudio sobre las secreciones esquizofíticas. Memoria presentada para optar al grado de doctor en Medicina y Cirugía. Madrid, 1893.

1902.

- "Observatorio de Granada. Sección geodinámica", *Razón y Fe*, Tomo III (1902), pp. 512-520.

1906.

- "El desastre de California registrado en el Observatorio de Cartuja (Granada), *Razón y Fe*, Tomo XV, julio 1906, pp. 355-360.

- "Notas sobre el terremoto de Valparaíso", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, 1906, Agosto, p. 1.

- "Notas sobre el terremoto de Bodö (Noruega)", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Septiembre, pp. 1-2.

1907

- "El gran terremoto mejicano del 15 de Abril de 1907", *Razón y Fe*, junio 1907, fig. 1, pp. 1-3.

- "Os terremotos observados sem ó auxilio de instrumentos". *Broteria*, vol. VI, 1907, p. 217-250.

- "Association Internationale de Seismologie. Première Assemblée Générale", *Cosmos*, A. LVI, 26 Octubre 1907, pp. 465-467.

- "La segunda Conferencia de la Comisión permanente y Primera Asamblea general de la Asociación Internacional de Sismología", *Razón y Fe*, núm. 77, Noviembre, 1907, pp. 1-11.
- "El último congreso internacional de Química", *Razón y Fe*, Tomo XVII, (1907), p. 504-512.
- "Crónica científica", *Razón y Fe*, Tomo XVIII, 1907, pp. 507-513.
- "Recensión de "Compendio de Historia Crítica de la Medicina, por J. Rodríguez Fernández", *Razón y Fe*, Tomo XVII, 1907, p. 382-384.
- "Note sur la Station Sismologique de Cartuja (Granada), Espagne", *Comptes rendus des Scéances ... de l'Association Internationale de Sismologie ... á La Haye*, 1907, pág. 153-154.
- "Quelques causes d'erreur dans la détermination de l'heure dans les séismogrammes", *Comptes rendus des Scéances ... de l'Association Internationale de Sismologie*, 1907, pp. 1-3.

1908

- "Die neue Erdbebenwarte in Cartuja", *Die Erdbebenwarte*, Laibach, 1907-1908, pp. 75-78.
- "Estudio comparativo de los instrumentos más usados en Sismología", *Revista de la Real Sociedad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid*. Marzo, abril, mayo, junio y julio de 1908, Madrid, 1908, pp. 1-80.
- "Les sismographes construits á Cartuja (Grenade)", *Cosmos*, A. LVII, 8 Juillet 1908, pp. 87-90, fig. 5.
- "Les pendules Stiattessi á l'Observatoire de Cartuja (Granada)", *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, vol. XII, Modena, 1908, pp. 409-416 (pp. 1-10).
- "Datos sobre macrosismos españoles". *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Tomo VIII, 1908, pp. 884-888.
- "Las borateras de Chilcaya", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Tomo VIII, 1908, pp. 440-442 (1-2).

- "Datos sobre los macrosismos españoles", *Boletín de la Real Sociedad española de Historia Natural*, Octubre 1908, pp. 385-388.
- "La teoría de M. Oddone et les observations de Cartuja en 1907", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, A. Febrier 1908, p. 84-85.
- "Le pendule bifiliare de Cartuja", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, A. 1908, pp. 299-301.
- "La nouvelle Station Sismologique de Cartuja (Grenade)", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, A. 1908, pp. 369-372.
- "Primera Asamblea General de la Asociación Internacional de Sismología", *Razón y Fe*, Tomo XX, (1908), pp. 93-103.
- "Notas y noticias científicas", *Razón y Fe*, XXI, 1908, pp. 488-495.
- "Recensión de "Memorias del Observatorio del Ebro" por el P. Mariano Balcells, S.J.", *Razón y Fe*, Tomo XXII, 1908, pp. 517-519.

1909.

- "Le nouveau Pendule vertical de la Station Sismologique de Cartuja (Grenade)", *Ciel et Terre. (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, números 9 y 10, 1909, pp. 397-405, fig. 3. (pp. 1-11).
- "Aperçu des Instruments le plus usités en Sismologie", *Ciel et Terre. (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, números 7 y 8, 1909, pp. 295-326, figuras 8. (pp. 1-34).
- "La composante verticale Vicentini de la station sismologique de Cartuja (Grenade)", *Beiträge zur Geophysik*, X, 2, 1909, pp. 78-85.
- "Note sur le temblement de terre de Constantine", *Annuaire de la Société Météorologique de France*, Mai 1909, pp. 114-117, fig. 1.
- "O recente terremoto de Messina", *Broteria*, vol. VII, 1909, pp. 100-110, fig. 4. (pp. 1-10).

- "Nota sobre el terremoto de Mesina del 28 de Diciembre de 1908", *Boletín de la Real Sociedad española de Historia Natural*, Diciembre de 1908, Marzo 1909, pp. 130-136.

- "Le nouveau pendule horizontal de Cartuja (Grenade)", *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, Tomo XIII, Modena, 1909, pp. 207-218, fig. 1. (pp. 1-14)

- "El nuevo péndulo vertical de la Estación Sismológica de Cartuja (Granada)", *Boletín de la Real Sociedad española de Historia Natural*, Tomo IX, Octubre 1909, pp. 386-394.

- "Le séisme hispano-portugais du 23 Avril enregistré à Cartuja (Grenade) par un petit jouet scientifique", A. LVIII, *Cosmos*, 22 Mai 1909, pp. 568-569, fig. 4.

- "La nueva estación sismológica de Cartuja (Granada)", *Razón y Fe*, Tomo XXIII, 1909, p. 230-235 (1-5).

1910.

- "Le tremblement de terre iberique du 23 d'avril de 1909", *Ciel et Terre*, núm. 2, 1910, pp. 81-92, fig. 2. (pp. 1-28).

- "Datos macrosísmicos sobre el terremoto ibérico del 23 de Abril de 1909", *Boletín de la Real Sociedad española de Historia Natural*, Enero 1910, pp. 81-88.

- "Aperçu général des Phénomènes sismiques enregistrés à Cartuja en 1909", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, num. 2, 1910, pp. 84-86.

- "Les Tremblements de Terre ressentis en Espagne pendant l'année 1909", *Ciel et Terre*, núm. 7, 1910, pp. 277-288. (pp. 1-14).

- "Enumeración de terremotos sentidos en España en 1909" *Boletín de la Real Sociedad española de Historia Natural*, X, Junio 1910, pp. 293-301.

- "Noticias Científicas: Sismología", *Razón y Fe*, Tomo XXVIII, Octubre 1910, pp. 212-221 (pp. 1-9).- "Les récents tremblements de terre du sud-est de l'Espagne á la station sismologique de Cartuja (Grenade)", *Cosmos*, num. 1328, 9 Juillet 1910, pp. 32-34, fig. 2.

- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada). El terremoto del 16 de Junio de 1910", *Boletín mensual del Observatorio de Cartuja*, Junio, 2 págs.

- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada). Resumen del año 1910", *Boletín mensual del Observatorio de Cartuja*, Diciembre, 4 págs.

- "Boletín Sísmico de Febrero-Marzo-Abril de 1910", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, 1910.

- "Bulletin Sismique. Février- Mars-Avril 1910", *Ciel et Terre. Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, num. 3, 4 et 5, Bruxelles 1910, pp. 1-8.

- "Bulletin Sismique. Mai-Juin-Juillet 1910", *Ciel et Terre. Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, num. 6, 7 et 8, Bruxelles 1910, pp. 1-10.

- "Bulletin Sismique. Août-Septembre-Octobre 1910", *Ciel et Terre. Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1910, pp. 1-5.

1911.

- "Enumeración de los terremotos sentidos en España en 1910", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XI, Noviembre 1911, pp. 459-470.

- "La Segunda Asamblea General de la Asociación Internacional de Sismología", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Noviembre 1911, pp. 471-474.

- "La Segunda Asamblea General de la Asociación Internacional de Sismología", *Razón y Fe*, Tomo XXXI, Octubre 1911, pp. 196-204 (1-9).

- "Datos macrosísmicos", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Diciembre 1911, pp. 531-538.

- "Nota sobre algunos temblores de tierra sentidos en Tenerife en 1909 y 1910", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Diciembre 1911, pp. 538-543.

- "Les Tremblements de Terre enregistrés á Cartuja (Grenade) pendant l'année 1910", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, num. 3, 1911, pp. 108-119, fig. 2.

- "Les Tremblements de Terre ressentis en Espagne pendant l'année 1910", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, num. 10, 1911, pp. 330-340. (pp. 1-14)
- "La récente éruption du volcan Taal", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, num. 11, 1911, pp. 1-5. (pp. 380-385).
- "Les Tremblements de Terre enregistrés á Cartuja (Grenade) pendant l'année 1910", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, num. 3, 1911, pp. 136-143.
- "Nota sobre el terremoto del 3-4 de Enero de 1911", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, num. 1, pp. 12-14, fig. 1.
- "Los recientes terremotos granadinos", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, num. 4, pp. 53-56, fig. 3.
- "La segunda Asamblea general de la Asociación Internacional de Sismología", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, num. 6, pp. 87-89.
- "Los recientes terremotos murcianos", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, num. 8, pp. 119-122, fig. 4. 6, pp. 87-89.
- "Tremomètre Cartuja (Grenade)", *Cosmos*, A. LX, 19 Mars 1911, pp. 289-291, fig. 4.
- "Quelques causes d'erreur dans la détermination de l'heure dans les sismogrammes", *Comptes rendus.....*, Manchester, 1911, pp. 233-236.
- "El terremoto destructor de Santafé del 31 de Abril de 1911", *Boletín Mensual de la Estación Sismológica de Cartuja (Granada)*, numeros 5 y 6, 1911, pp.
- "Notas y noticias científicas", *Razón y Fe*, XXX, 1911, pp. 226-236.
- "Los recientes terremotos granadinos", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, I, 1911, pp. 53-55.
- "La Segunda Asamblea General de la Asociación Internacional de Sismología", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, I, 1911, pp. 87-89.

- "Bulletin Sismique. Janvier 1911", *Ciel et Terre. Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1911, pp. 1-10.
- "Bulletin Sismique. Février- Mars-Avril 1911", *Ciel et Terre. Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1911, pp. 1-8.
- "Bulletin Sismique. Mai-Juin-Juillet 1911", *Ciel et Terre. Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1911, pp. 1-11.
- "Bulletin Sismique. Septembre-Octobre-Novembre 1911", *Ciel et Terre. Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1911, pp. 1-9.
- "Bulletin Sismique. Decembre 1911", *Ciel et Terre. Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1911, 1 pág.
- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada). Resumen del año 1911", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Granada, 1911, pp. 1-4.
- "Macrosismos españoles", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Abril 1911, 1 pág.

1912

- "La Sismología como auxiliar de la Geofísica", *Congreso de Granada, Congreso de la Asociación para el Progreso de las Ciencias*, Granada, 1912, Tomo III, pp. 5-24.
- "St. Louis University", *Bulletin of....., Razón y Fe*, Octubre 1912, pp. 258-259.
- "Algunas indicaciones sobre la construcción de un sismógrafo para los terremotos locales y cercanos, y el estudio de los sismogramas", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, A. II, 1912, números 13 y 15, pp. 54-58 y 103-108, fig. 12.
- "El terremoto granadino del 14 de Septiembre de 1912", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, numero 19, pp. 171-173, fig. 1.
- "Sismographe Cartuja á composante veticale", *Cosmos*, A. LXI, 5 Diciembre 1912, pp. 635-636, fig. 1.

- "Noticias científicas", *Razón y Fe*, Tomo XXXIII, 1912, pp. 500-511 (pp. 1-11).
- "Notas astronómicas. Estrellas nuevas", *Razón y Fe*, Tomo LII, Madrid, Octubre 1912, p. 204-210.
- "Enumeración de los terremotos sentidos en España durante el año de 1911", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XII, Noviembre, 1912, pp. 508-524.
- "Recensión del "Bulletin of St. Louis University" April 1912. The Geophysical Observatory", *Razón y Fe*, Tomo XXXIV, 1912, p. 258.
- "El cometa Brooks", *Sal Terrae (Revista mensual de cultura eclesiástica)*, I, 1912, pp. 81-83.
- "Un sismógrafo para los terremotos locales y cercanos, y el estudio de los sismogramas", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, II, 1912, pp. 54 y 103 (pp. 1-8).
- "El terremoto granadino del 12 de Septiembre de 1912", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, II, p. 171.
- "Le nouveau pendule vertical de la Station Sismologique de Cartuja", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, 1912, pp. 1-2.
- "Bulletin Sismique. Janvier-Février-Mars 1912", *Ciel et Terre. Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1912, pp. 1-7.
- "Bulletin Sismique. Avril-Mai-Juin-Juillet 1912", *Ciel et Terre. Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1912, pp. 1-10.
- "Bulletin Sismique. Août-Septembre-Octobre 1912", *Ciel et Terre. Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1912, pp. 1-7.
- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada). Resumen del año 1912", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Granada, 1912, pp. 1-4.

1913

- "Les Tremblements de Terre enregistrés á Cartuja (Grenade) pendant l'année 1912", *Ciel et Terre*, num. 25, 1913, pp. 85-94.
- "La estación Sismológica de Pulkovo", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, numero 25, 1913, pp. 67-69, fig. 3.
- "La Estación Sismológica de Cartuja (Granada)", *Sal Terrae (Revista mensual de cultura eclesiástica)*, Tomo II Mayo 1913, pp. 466-469.
- "Enumeración de los terremotos sentidos en España durante el año 1912", *Boletín de la Real Sociedad española de Historia Natural*, Abril 1913, pp. 238-248.
- "Nota sobre los efectos causados en los edificios por algunos movimientos artificiales", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Madrid, 1913, T. IX, p. 169-183, 13 págs.
- "L'Astronomie et la Physique du Globe au IVe Congrès de l'Association espagnole pour l'avancement des Sciences (1913)", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, num. 7, 1913, pp. 1-8.
- "Sur quelques application du Sélénium en Astrophysique", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, num. 12, 1913, pp. 369-373 (pp. 1-4).
- "Enumeración de los terremotos sentidos en España durante el año de 1912", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XIII, Abril, 1913, pp. 238-249.
- "La Astronomía y la Física del Goblo en el IV Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias", *Sal Terrae (Revista mensual de cultura eclesiástica)*, II, 1913, pp. 655-661.
- "Notas y noticias científicas", *Razón y Fe*, Tomo XXXVI, 1913, pp. 362-367.
- "Association Espagnole pour le progrès des Sciences. IX Congrès", *Cosmos. Revue des Sciences et de leurs application*, A. LXII, 1913, pp.

- "Bulletin Sismique. Novembre-Decembre-Janvier-Février 1912-1913", *Ciel et Terre. Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1912, pp. 1-11.
- "Bulletin Sismique. Mars-Avril-Mai 1913", *Ciel et Terre. Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1913, pp. 1-7.
- "Bulletin Sismique. Juin-Juillet-Août-Septembre 1913", *Ciel et Terre. Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1913, pp. 1-9.
- "Bulletin Sismique. Octobre-Novembre-Décembre 1913", *Ciel et Terre. Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*, Bruxelles 1913, pp. 1-8.
- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada). Resumen del año 1913", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Diciembre, Granada, 1913, pp. 1-4.
- "Datos Sísmicos 1912", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Enero, Granada, 1913, 1 pág.
- "Escala de Sieberg", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Febrero, Marzo, Abril y Mayo, Granada, 1913, pp.1-5.

1914

- "Os ultimos descobrimentos em Sismologia", *Broteria*, vol. XII, Braga, 1914, pp. 36-53 (pp. 1-17).
- "Enumeración de los terremotos sentidos en España durante el año de 1913", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XIV, 1914, pp. 519-526.
- "Apuntes de Sismología aplicada", *Razón y Fe*, Tomo XXXVIII, 1914, pp. 69 y 347 (pp. 1-25).
- "Boletín sismológico" *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. I., vol. I, 17-I-1914, pp.1-3.
- "El calor y la luz de las estrellas", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. I., vol. I, 21-II-1914.
- "Rosa Ursina", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. I., vol. II, 8-VIII-1914, pp. 1-2.

- "El cometa Delavan", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. I, vol. II, 10-X-1914, p. (0'5).
- "El planeta Saturno", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. I, vol. II, 19-XII-1914, pp. 1-3.
- "Determinación del epicentro de un terremoto", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, IV, 1914, p. 35.
- "El cometa Delaván (1913 f)", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, IV, 1914, p. 125-127.
- "Cálculo de algunos elementos sísmicos", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, IV, 1914, pp. 137-144.
- "Les Tremblements de Terre enrégistrés á Cartuja (Grenade) pendant l'année 1913", *Ciel et Terre (Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie)*, A 1914, pp. 51-59.
- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada). Breve noticia y resumen de los trabajos realizados en 1914", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Diciembre, Granada, 1914, pp. 1-4.

1915

- "El terremoto italiano del 13 Enero de 1915", *Boletín de la Real Sociedad española de Historia Natural*, Abril 1915, XV, pp. 191-195.
- "Nota sobre el terremoto italiano del 13 de enero de 1915", *La Gaceta del Sur*, Granada.
- "Essai de quelques formules aux tremblements de terre de Messina et d'Avezzano", *Bolletino della Societa Sismologica Italiana*, vol. XIX, fasc. 1-2, Modena, 1915, pp. 1-8.
- "Essais Géophysiques. Travail produit par un tremblement de terre", *Bolletino della Societa Sismologica Italiana*, vol. XIX, fasc. 5-6, Modena, 1915, pp. 1-15.
- "Essai de quelques formules applicables aux macrosismes", *O Instituto*, vol. LXII, núm. 10, Coimbra, 1915, pp. 1-7.

- "Algunos datos sobre la sismicidad de España durante los años 1909-1914", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XV, 1915, pp. 450-458.
- "El V Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias", *Razón y Fe*, XLIII, 1915, p. 501-506.
- "Motores y edificios", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. II., vol. III, 22-V-1915, pp.1-5.
- "La catástrofe de Avezzano (13-1-1915)", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, V, 1915, pp. 9-13.
- "1903-1912.- Diez años de actividad de la Estación Sismológica de Cartuja", *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, Congreso de Madrid*, Madrid 1915, Tomo III, pp. 245-260 (pp. 1-15).
- "Trabajo desarrollado por un terremoto", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, V, 1915, pp. 85-90.
- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada). A cargo de los PP. de la Compañía de Jesús. Resumen de los trabajos realizados en 1915", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Diciembre, Granada, 1915, pp. 1-3.
- "Datos macrosísmicos", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Diciembre, Granada, 1915, pp. 1-2.

1916

- "Tronometro "Cartuja" (modelo pequeño)", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Madrid, T. IX, 1916, pp. 183-196 (pp. 1-14)
- "Enumeración de los terremotos sentidos en España durante el año de 1914", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XVI, 1916, pp. 333-340.
- "Enumeración de los terremotos sentidos en España durante el año de 1915", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XVI, 1916, pp. 342-349.
- *Terremotos, sismógrafos y edificios*. Madrid, 1916, 256 págs.

- "Las causas de los terremotos y el trabajo que producen", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. III, vol. V., 11-III-

- "El Príncipe B. Galitzin", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. III., vol. VI., 26-VIII-1916, pp. 1-2.

- "Varios datos sismológicos relacionados con la constitución interna de la Tierra", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, VI, 1916, pp. 17-23.

- "Macrotrómetro "Granero", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Bilbao, 1916, T. X, pp. 167-173.

1917

- "Ensayo sobre algunas fórmulas aplicables a los macrosismos", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Valladolid, T. IV, 1917, p. 93-105.

- "Algunos datos sobre los temblores de tierra sentidos en España durante el sexenio 1909 a 1914, recogidos por la estación sismológica de Cartuja", *Congreso de la Asociación para el Progreso de las Ciencias*, Valladolid, 1917, T. IV, pp. 55-76 (pp. 1-21).

- "El observatorio astronómico de Cartuja", *Congreso de la Asociación para el Progreso de las Ciencias*, Valladolid, 1917, T. IV, pp. 83-92.

- "Ensayo sobre la sismicidad del suelo español", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XVII, 1917, pp. 83-106.

- "El P. J. de la Cruz Granero, S. J. y el Observatorio de Cartuja", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. IV., vol. VII, 31-III-1917, pp. 1-7.

- "Las series de Fourier en Meteorología", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, VII, 1917, pp. 65-68.

1918

- "Efectos de los terremotos sobre las cañerías", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. V., vol. IX, 5-IX-1918, p. 1.

- "Los temblores granadinos de 26 y 28 de abril de 1918 y sus réplicas", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. V., vol. IX, 15-VI-1918, pp.1-2.

- "Macrotrómetro "P. Granero, S. J.", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. V., vol. X, 13-VIII-1918, pp. 1-2.

- "Voladura de unos polvorines (Sismología aplicada)", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, VIII, 1918, pp. 32-35.

1919

- "Trerometro "Granero"", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Sevilla, T. X., 1919, p. 119-123.

- "Sismología pura y sismología aplicada (nuevas prientaciones)". Discurso inaugural de la Tercera Sección. *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Bilbao, T. I, 1919, pp. 37-62.

- "Ensayo crítico de los sismógrafos más en uso. Generalidades y péndulos verticales de registro mecánico", *Congreso de la Asociación para el Progreso de las Ciencias*, Sevilla, T. IV, 1919, pp. 33-67.

- "Contribución al estudio de las ondas sísmicas", *Congreso de la Asociación para el Progreso de las Ciencias*, Sevilla, T. IV, 1919, pp. 121-127.

- "Enumeración de los terremotos sentidos en España durante el año de 1916", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XIX, Madrid, 1919, pp. 216-223.

- "La estrella más cercana", *Razón y Fe*, Tomo LIV, Madrid, Julio y Agosto 1919, pp. 365-375 (pp. 1-10).

- "Enumeración de los terremotos sentidos en España durante el año de 1917", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, XIX, 1919, pp. 222.

- "Les tremblements de terre", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, 1914-1919, pp. 51, 112, 142, 172 y 255. (pp. 33)

- "El VII Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias", *Razón y Fe*, Tomo LV, 1919, pp. 229-235.
- "La sismicidad del suelo español durante el decenio 1909-1918", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. VI., vol. XII, 19-VII-1919, pp. 1-2.
- "Los terremotos alicantinos de septiembre de 1919", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, 8-II-1919, p. 1.
- "Estudio de algunos gráficos de explosiones", *Memorias de la Academia de Artes y Ciencias de Barcelona*, XV, n. 6, 1919, pp. 1-14.
- "Algo de Sismología Aplicada (movimientos artificiales)", *Producción (Revista de Agricultura, Industria e Ingeniería)*, I, n. 15, 1919, pp.
- "Los terremotos sentidos en las provincias de Alicante y Murcia en Septiembre de 1919", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, IX, 1919, pp. 85-87.
- "Datos referentes a la sismicidad de la porción oriental de la Península Ibérica", *Memorias de la Academia de Artes y Ciencias de Barcelona*, Tomo XIII, número 8, pp.1-8

1920

- "El Congreso Nacional de Ingeniería", *Razón y Fe*, Tomo LVI, Madrid, Enero y Febrero 1920, pp. 212-218 (pp. 1-7).
- "Ensayo crítico sobre los sismógrafos más en uso: Péndulos horizontales e invertidos de registro mecánico", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Bilbao, T. IV, 1920, p. 51-87.
- "Les tremblements de terre", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, 1920, pp. 55-61 y 120-132.
- "Les principaux macrosismes des années 1915-1918 enregistrés à Grenade", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, 1920, p. 14-25.

- "Una fórmula para la temperatura media de una localidad en función de su latitud y de su altura sobre el nivel del mar", *Memorias de la Academia de Artes y Ciencias de Barcelona*, XVI, n. 5, 1920, pp. 1-5.

- "El macrotremetro P. J. Granero, S. J.", *Producción (Revista de Agricultura, Industria e Ingeniería)*, II, n. 28, 1920, pp. 1-2.

- "Recensión de "Bibliografía general de Temblores y Terremotos", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. VII, vol. XIV, 28-VIII-1920, p. (1-5).

1921

- "Formule empirique pour le calcul de la temperature moyenne d'une localité, en fonction de sa latitude et de sa altitude", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, 1921, p. 137-139 (2)

- "Un appareil pratique de sismologie appliquée", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, 1921, p. 14-21 (pp. 1-7)

- "Exposition International d'Astronomie de Barcelona", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, 1921, p. 209-213 (pp. 1-4).

- "La Exposición de Astronomía y ciencias afines de Barcelona", *Razón y Fe*, Tomo LXI, 1921, pp. 483-491.

- "El sismógrafo "Berchmans" de la estación sismológica de Cartuja", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Oporto, 1921, pp. 1-8.

- "La estación sismológica y el Observatorio Astronómico y Meteorológico de Cartuja", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Granada. Granada, 1921.

- "El sismógrafo "Berchmans" de la estación sismológica de Cartuja", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, S.l., 1921, pp. 1-8.

- "Datos referentes a la sismicidad de la porción oriental de la Península Ibérica", *Memorias de la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, XIII, n. 8, 1921, pp. 1-10.

- "Recensión de "Nuevas fórmulas para abreviar el cálculo de la profundidad aproximada del foco sísmico por el método de Kövesligethi y su aplicación a algunos temblores de tierra" por Vicente Inglada Ors", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. VIII, vol. XVI, 8-X-1921, p. (0'5).
- "Radiotelelepter Hurtado", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. VIII, vol. XVI, 19-XI-1921, p. 1.
- "Una estación sismológica española", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, XI, 1921, pp. 92-103.
- Bosquejo sísmico de la Península Ibérica", *La estación sismológica y el Observatorio Astronómico y Meteorológico de Cartuja (Granada)*, Granada, 1921, pp. 1-7.
- "Lista de los sismos destructores sentidos en la Península Ibérica entresacados textualmente del 'A Catalogue of destructive Earthquakes A. D. 7 to A. D. 1899, by John Milne, D. Sc. F. R. S.", en *La estación sismológica y el Observatorio Astronómico y Meteorológico de Cartuja (Granada)*, Granada, 1921, pp. 8-10.
- "Lista de los terremotos más notables sentidos en la Península Ibérica desde los tiempos más remotos hasta 1917, inclusive, con ensayo de agrupación en regiones y períodos sísmicos", en *La estación sismológica y el Observatorio Astronómico y Meteorológico de Cartuja (Granada)*, Granada, 1921, pp. 11-65.
- "Datos macrosísmicos", en *La estación sismológica y el Observatorio Astronómico y Meteorológico de Cartuja (Granada)*, Granada, 1921, pp. 66-68.
- "Somera descripción de Sierra Nevada sacada de un folleto de principios del siglo pasado", en *La estación sismológica y el Observatorio Astronómico y Meteorológico de Cartuja (Granada)*, Granada, 1921, pp. 69-73.
- "Sobre una regla empírica para averiguar la temperatura media de una localidad, en función de su latitud y de su altura sobre el nivel del mar, aplicable a nuestra España y a la costa N. de Marruecos", en *La estación sismológica y el Observatorio Astronómico y Meteorológico de Cartuja (Granada)*, Granada, 1921, pp. 83-87.

1922

- "Le sismographe inverti "Berchmans" de la station sismologique de Cartuja", *Ciel et Terre (Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie)*, 1922, p. 277-281 (pp. 1-5)
- "Nueva aplicación de la sismología", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. IX., vol. XVIII, 25-XI-1922, pp. 1-2.
- "Las estaciones sismológicas alemanas y austríacas", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. IX, vol. XVIII, 24-II-1922, p. (0'5).
- "Nuevo sismógrafo", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. IX, vol. XVII, 25-II-1922.
- "Terremotos registrados por el observatorio de Roca di Papa", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. IX, vol. XVIII, 11-III-1922, p. 1.
- "La sociedad "Erda" y su "Revista de Geofísica Aplicada", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. IX., vol. XVIII, 16-XII-1922.
- "The Berchmans Seismograph "Bulletin of the Seismological Society of America", Abril 1922, pp. 24-28.

1923

- "Calcule du travail produit par un tremblement de terre", *Atti della Pontifizia Accademia delle Scienze*, LXXVI, 1923, pp. 99-109.
- "Noticias científicas (Sismología aplicada)", *Razón y Fe*, Tomo LXV, Madrid, Enero 1923, pp. 84-87.
- "Aprovechamiento de los gases volcánicos como fuerza motriz", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. X., vol. XX, 14-XII-1923, p. 1.
- "El barógrafo de mercurio de la estación sismológica de Cartuja", *Memorias de la Academia de Artes y Ciencias de Barcelona*, XVII, n. 22, 1923, pp. 1-4.
- "El barógrafo "Loyola", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. X, vol. XIX, 17-II-1923.

53

- "Recensión del "Annuaire général des universités, grandes écoles, academies, archives, bibliothèques, etc.", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. X, vol. XIX, 17-II-1923, p. 1.
- "Sinmeteoroscopto Hurtado, S. J.", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. X, vol. XIX, 17-III-1923, p. 1.
- "Recensión de "Untersuchungen über die Bodemunruhe mit perioden von 4s-10s in Europa" von B. Gutenberg", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. X, 5-VII-1923, p. 1.
- "A propósito de la catástrofe aeronáutica de Bruselas", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. X, vol. XX, 8-XI-1923, p. (0'5).
- "Recientes terremotos del Japón", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. X, vol. XX, 10-II-1923, pp. 1-3.
- "Recensión de "Geologische physicalische und angewandte Erdbebenkunde" von Dr. August Sieberg", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. X, vol. XX, 2-VIII-1923, p. 1.
- "Gráfica del terremoto del día 10 de julio de 1923", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, XIII, 1923, p. 85.
- "Celajes y puestas de Sol", *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, XIII, 1923, p. 82.

1924

- "Le tremblement de terre de Japon (1-IX-1923)", *Ciel et Terre (Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie)*, 1924, p. 46-50 (pp. 1-4).
- "Phénoméne géologique à Monachil", *Ciel et Terre (Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie)*, 1924, p. 208-212 (pp. 1-5).
- "Congresos científicos en España. Unión Geodésica y Geofísica Internacional. Segunda Conferencia", *Razón y Fe*, Tomo LXX, 1924, pp. 474-488.

- "Datos macrosísmicos para el estudio de un terremoto destructor", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Salamanca. T. IV, 1924, pp. 59-63.
- "Los fenómenos geológicos de Monachil (Granada)", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XI., vol. XXI, 24-VII-1924, pp. 1-8.
- "El sismógrafo "Javier" de la Estación Sismológica de Cartuja", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. X, vol. XXI, 21-VI-1924, pp. 1-5.
- "Bendición de sismógrafos", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XI, vol. XXI, 14-VI-1924, p. (0'5).
- "II Asamblea de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XI, vol. XXII, 15-II-1924, pp. 1-8.
- "La station sismologique de Cartuja (Granada)", *Union Géophysique Internationale. Section de Sismologie. Seconde Assemblée Générale de Madrid*. Octubre, 1924. Publié dans le *Rapport sur l'organisation du Service Sismologique en Espagne*, Madrid, 1924, pp. 1-14.
- "La Astronomía y la Geofísica en la exposición de material docente del primer congreso nacional de educación católica", *Revista de la Real Sociedad Astronómica de España y América*, A. XIV, 1924, pp. 46-48 (pp. 1-2).
- "Phénomènes sismo-géologiques á Monachil", 1924. Conferencia ilustrada con proyecciones.
- "Le tremblements de terre du Japon (1-IX-1923)", *Materiaux pour l'Etude des Calamités*, A. I, 1924, pp. 54-60.
- "Mouvements du sol d'origine extra-seismique en général", *II Congreso de la U. G. G. I.*, Conferencia en Madrid, 1924, pp. 17-20.
- "De l'influence des mouvements du sol d'origine extraseismique sur les determinations de la latitude d'un lieu et plus particulièrement sur la "Polodie"", *II Congreso de la U. G. G. I.*, Conferencia en Madrid, 1924, pp. 121-122.

1925

- "Notes seismologiques", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, 1925, pp. 93-100 y 127-133. (pp. 1-13).
- "Los terremotos de Orihuela", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Valencia, 1925, pp. 1-10.
- "La componente vertical "Belarmino" de la estación sismológica de Cartuja", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XII, vol. XXIII, 4-IV-1925, pp. 1-5.
- "Recensión de "Zeitschrift für Geophysik", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XII, vol. XXIII, 3-I-1925, p. 1.
- "Recensión de "Terremotos y aparatos para registrarlos" por Salvador García Franco", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XII, vol. XXIII, 18-IV-1925, p. (0'5).

1926

- "El XIV Congreso Internacional de Geología", *Razón y Fe*, Tomo LXXV, Madrid, Junio 1926, pp. 527-541 (pp. 1-14).
- "XIV Congreso Geológico Internacional. Madrid, 1926. Geofísica", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVII, vol. XXVI, 31-VII-1926, pp. 1-5.
- "Los terremotos y sus efectos", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIII, vol. XXVI, 9-16-X-1926, pp. 1-10.
- "Un pseudo sismograma interesante", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIII, vol. XXVI, 13-XI-1926, pp. 1-4.
- "Sur quelques contributions de la Géophysique á la Géologie", *Congrés I de Géologie á Madrid*, 1926, pp. 1-3.
- "La seismicité de l'Espagne", *Materiaux pour l'Etude des Calamités*, A. III, 1926, pp. 255-265.

56

- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada) a cargo de un P. de la Compañía de Jesús y su labor científica durante el año de 1926", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Diciembre, Granada, 1926, pp. 1-3.

1927

- "Notes seismologiques", *Ciel et Terre (Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie)*, 1927, p. 128-136.

- "Algunos problemas de vital interés para nuestra España, relacionados con la Geofísica", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Cádiz. T. II, 1927, pp. 83-103.

- "Algunos problemas de vital interés para España", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIV, vol. XXVIII, 12-XI y 17-XII-1927, pp. 1-18.

- "El XI Congreso de la Asociación Española y Portuguesa para el progreso de las Ciencias", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIV, vol. XXVII, 25-VI-1927, pp. 1-4.

- "Recensión de las "Observaciones gravimétricas" por B. Inglada Ors", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIV, vol. XXVII, 1-I-1927, p. (0'5).

- "El Profesor Alfredo Quervain", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIV, vol. XXII, 12-III-1927, p. 1.

- "La expedición del Dr. Quervain a Groenlandia", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIV, vol. XXVII, 16-IV-1927, p. 1.

- "Recensión de "Grundlagen der Erdenkunde" von B. Gutenberg", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIV, vol. XXVII, 11-VI-1927.

- "La XIVe Session du Congrès Géologique International (Espagne, 1926)", *Extrait de la Revue de Questions scientifiques*, avril 1927, pp. 1-12 (de Armand Renier).

- "Les études de Géophysique au XIVe Congrès Géologique International", *Extrait de la Revue de Questions scientifiques*, avril 1927, pp. 12-21.

- "Les séismographes de la station sismologique de Cartuja (Granada), extrait du *Bulletin de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale. Section de Séismologie*, Fasc. 4, 1927, pp. 119-131 (pp. 1-12).

- "Quelques remarques sur les accélérations maximales des différentes phases dans quelques seismogrammes", *Bulletin de l'Union Géodésique et Géophysique International. Section de Séismologie*, Fasc. 5, 1927, pp. 92-98 (pp. 1-6).

- "Les études de géophysique au XVI Congrès Géologique International", *Revue des questions scientifiques*, 1927, Avril, pp. 1-7.

- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada) a cargo de un P. de la Compañía de Jesús y su labor científica durante el año de 1927", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Diciembre, Granada, 1927, pp. 1-2.

- "Terremotos en las Islas Palaos", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Abril, Granada, 1927, 1 pág.

1928

- "La estación sismológica de Cartuja y su labor científica (1903-1928)", *Razón y Fe*, Tomo LXXXII, Madrid, Enero 1928, pp. 59 y 242, (pp. 1-16).

- "Intervención del Beato Cardenal Roberto Belarmino, S. J. en el primer proceso de Galileo Galilei", *Razón y Fe*, Tomo LXXXIV, 1928, p. 377 y Tomo LXXXV, pp. 193 y 410 (pp. 38).

- "Actual cooperación de la Compañía de Jesús a los estudios sismológicos", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XV, vol. XXIX, 28-I y 4 y 11-II-1928, pp. 1-11.

- "Emilio Wiechert (1861-1928)", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XV, vol. XXX, 20-X-1928, pp. 1-2.

- "Julio Grablowitz (1840-1928)", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XV, vol. XXX, 20-X-1928, pp. 1-2.

- "Recensión de "Seismes et sismographes" par H. Bouasse", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XV, vol. XXX, 1-IX-1928, p. (0'5).

- "Recensión de "Ètude sur la pluie en China (1873-1925)" par E. Gherzi, S. J.", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XV, vol. XXX, 24-XI-1928, p. 1.

- "Un quart de siècle d'activité sismologique á Grenade (1903-1928), *Ciel et Terre (Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie)*, A., 1928, pp. 53-59.

- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada), a cargo de un P. de la Compañía de Jesús y su labor científica, durante el año de 1928", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Diciembre, Granada, 1928, pp. 1-3.

1929

- "Les preuves de la théorie wegenerienne du déplacement des continents sont elles évidentes?", *Ciel et Terre (Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie)*, A, 1929, pp. 195-203.

- "Notas sísmológicas", *Ciel et Terre (Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie)*, A., 1929, pp. 251-258.

- "Valor de las pruebas principales de la Teoría de Wegener", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVI, vol. XXXI, 20-IV-1929, pp. 1-2.

- "Estado actual de la determinación de epicentros", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVI, vol. XXXI, 29-VI-1929. pp. 1-5.

- "¿Se pueden utilizar los péndulos Galitzin para el registro de terremotos cercanos?", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVI, vol. XXXII, 28-IX-1929, pp. 1-5.

- "La Exposición Ibero-Americana de Sevilla", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVI, vol. XXXI, 11-XII-1929, pp. 1-14.

- "Recensión de "Discurso del Sr. Inglada Ors en su recepción en la Academia de Ciencias Exactas", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVI, vol. XXXI, 3-III-1929.

- "Recensión de "Libro en honor del Dr. D. Juan Creus y Manso", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVI, vol. XXXI, 25-5-1929, p. (0'5).

- "Recensión de "Handbuch der Geophysik" von B. Gutenberg", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVI, vol. XXXII, 5-X-1929, p. (0'5).

- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada), a cargo de un P. de la Compañía de Jesús, y su labor científica durante el año de 1929", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Diciembre, Granada, 1929, pp. 1-3.

1930

- "O estado actual da Sismologia", *Broteria (Revista contemporanea de cultura)*, XI, 1930, pp. 29-34.

- "El terremoto italiano de 23 julio 1930", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVII, vol. XXXIV, 16-V-1930, pp. 1-2.

- "La Exposición Ibero-Americana de Sevilla, 1929-1930", *Razón y Fe*, Tomo XC, 1930, p. 524-539.

- "El P. Juan Jorge Hagen, S.J. (1847-1930)", *Razón y Fe*, Tomo XCIII, 1930, pp. 270-272.

- "P. Francisco A. Tondorf, S. J.", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVII, vol. XXXIII, 25-I-1930, p. (0'5).

- "Recensión de "50 ans de travail scientifique de l'observatoire de Zi-Ka-Wei", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXVII, vol. XXXIII, 15-II-1930.

- "Recensión de "Anais do Observatorio Astr. da Universidade de Coimbra", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXII, vol. XXXIV, 7-VII-1930.

- "L'astronomie et la physique du globe á l'Exposition ibero-américaine á Sevilla, 1929-1930", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, A. 1930, pp. 11-17.

- "Estación Sismológica de Cartuja (Granada), a cargo de un P. de la Compañía de Jesús, y su labor científica durante el año de 1930", *Boletín del Observatorio de Cartuja*, Diciembre, Granada, 1930, 1 pág.

1931

- "Revue séismologique de l'année 1929", *Ciel et Terre (Bulletin de la Société Belge d'Astronomie)*, A. 1931, pp. 124-132.
- "El sismógrafo de registro fotográfico del P. Alfani, Sch. P.", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVIII, vol. XXXV, 7-III-1931.
- "Notas sismológicas del años 1930", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVIII, vol. XXXV, 16-V-1931, pp. 1-9.
- "Registro de una turbonada por meteorógrafos y sismógrafos", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVIII, vol. XXXVI, 26-IX-1931.
- "La previsión de las olas anormales en las costas de nuestras posesiones y Protectorado de Marruecos", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVIII, vol. XXXVI, 31-X-1931, pp. 1-2.
- "San Roberto Belarmino y el primer proceso de Galileo Galilei", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVIII, vol. XXXVI, pp. 1-12 y 19-XII-1931, pp. 1-14.
- "Algunos problemas sismológicos", *Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Barcelona. T. III, 1931, pp. 171-177.
- "Notas y noticias científicas", *Razón y Fe*, XCVI, 1931, pp. 350-360.
- "El P. Estanislao Chevalier, S.J.", *Razón y Fe*, Tomo XCIV, 1931, pp. 264-266.
- "Recensión de "Una rectificación de la longitud de La Paz, y otras longitudes del Continente Sudamericano" por M. Descotes, S. J.", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XVIII, vol. XXXV, 7-III-1931, p. (0.5).
- "Un petit grain blanc enregistré par des sismographes", *Zeitschrift für Geophysik*, A. VII, 1931, pp. 26-32.
- "Resumen de la labor científica de la estación sismológica de Cartuja (Granada) cargo de los PP. de la Compañía de Jesús durante el año de 1931". Mecanografiado, inédito, 1 pág.

1932

- "Arquitectura antisísmica", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIX, vol. XXXVII, 30-I y 6-II-1932, pp. 1-10.
- "La motonave "Augustur", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIX, vol. XXXVII, 30-IV-1932.
- "Un nuevo variógrafo", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIX, vol. XXXVII, 14-V-1932, pp. 1-4.
- "El Instituto Vulcanológico Friedlander", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIX, vol. XXXVII, 21-B-1932.
- "Una visita al observatorio Vesubiano", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIX, vol. XXXVII, 25-VI-1932, pp. 1-10.
- "El Instituto de Física Terrestre de la Universidad de Nápoles", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIX, vol. XXXVIII, 2-VII-1932, pp. 1-2.
- "Una gran fiesta marítima", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XIX, vol. XXXVIII, 5-IX-1932.
- "La Station Séismologique de la Compagne de Jesus a Cartuja (Espagne)", extrait de la *Revue des Questions Scientifiques*, septembre 1932, pp. 247-253 (pp. 1-7).
- "Le vairographe Brebeif", *Atti della Pontifizia Accademia delle Scienze*, LXXXV, 1932, pp. 220-225.
- "Notas sismológicas del año 1930", *Bolletino della Società Sismologica italiana*, Tomo XXX, 1931-1932, pp. 1-12.
- "El Instituto vulcanológico Friedlander", *Bolletino della Società Sismologica italiana*, Tomo XXX, 1931-1932, pp. 1-4.
- "La station Séismologique de Cartuja", *Ruvue des questions scientifiques*, 1932, Septiembre, pp. 247-254.

- "Le R. P. Richard Cirera, S. J. ", *Ruvue des questions scientifiques*, 1932, Noviembre, pp. 231-237.

1933

- "A exposiçao fascista", *Broteria (Revista contemporanea de cultura)*, XXXVIII, 1933, pp. 81-88.

- "El Excmo. Sr. General D. José Elola y Gutiérrez", *Atti della Pontifizia Accademia delle Scienze*, LXXXVI, 1933, pp. 451-453.

- "Notas sismológicas y vulcanológicas (primer semestre de 1932)", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XX, vol. XXXIX, 21-I-1933, pp. 1-7.

- "Notas sismológicas y vulcanológicas (segundo semestre de 1932)", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XX. vol. XL, 1-VII-1933, pp. 1-8.

- "Trabajos de desecación en Italia. Las Lagunas Pontinas (Littoria)", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XX, vol. XL, 8-VII-1933, pp. 1-3.

- "El Profesor Juan Luis Palazzo", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XX, vol. XL, 22-VII-1933, pp. 1-2.

- "Una exposición única en su clase en Roma", *Razón y Fe*, Tomo CII, 1933, pp. 492-503.

- "Ciclones y otros fenómenos meteorológicos más importantes del año 1932", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XX, vol. XXXIX, 1-IV- 1933, pp. 1-3.

- "Les macroseismes à Grenade", *Atti della Pontifizia Accademia delle Scienze*, LXXXVI, 1923, pp. 225-236.

- "L'enregistrements des plésioséismes", *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, Tomo XXXI, 1933, pp. 7-21.

1934

- "La sección de Vulcanología en la Asamblea de Lisboa de la Asociación Geodésica y Geofísica Internacional", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXI, vol. XLI, 27-I-1934, p. 1.

- "Ciclones y otros fenómenos meteorológicos más importantes del año 1933", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXI y XXII, vol. XXII y XXIII, pp. 1-14.
- "La cooperación belga al Año Polar, 1932-1933", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXI, vol. XLII, 20-X-1934.
- "La Sismología. Ojeada retrospectiva. Recientes progresos", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXI, vol. XLIII, 3-X, 17-XI, 1 y 8-XII de 1934, pp. 1-15.
- "El Vesubio. El Observatorio Vesubiano", *Razón y Fe*, Tomo CIV, 1934, pp. 225-242.
- "Recensión de "Tempête sur le monde" por L. de Poncins", *Razón y Fe*, Tomo CVI, 1934, pp. 559-563.
- "Distinción al P. Guido Alfani", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXI, vol. XLI, 20-I-1934, p. (0'5).

1935

- "El Museo Real de Arte e Historia de Bruselas", *Razón y Fe*, Tomo CIX, 1935, pp. 246-260.
- "La Exposición Universal de Bruselas", *Razón y Fe*, Tomo CIX, 1935, pp. 108-116.
- "La Exposición Universal de Bruselas", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXII, vol. XLVI, 20-VII-1935, pp. 1-8.
- "El Museo Real de Historia Natural de Bruselas. Sección de Vertebrados", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXII, vol. XLIV, 12-IX-1935, pp. 1-6.
- "Notas sísmicas de 1934", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXII, vol. XLIV, 2-XI-1935, pp. 1-5.
- "El P. Buenaventura Berloty, S. J.", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXII, vol. XLIII, 15-II-1935, pp. 1-2.
- "El R. P. Buenaventura Berloty, S. J.", *Revue des questions scientifiques*, Tomo XVII, 1935, pp. 275-277.

- "Rodolfo de Koveslighety Rado", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXII, vol. XLIV, 31-VII-1935, p. 1.
- "La repartition des épices centres sismiques calamiteux en Italie", *Ciel et Terre (Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie)*, A. 1935, pp. 32-34.
- "Notas sísmicas de 1933", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXII, vol. XLIII, 9-III-1935, pp. 1-6.
- "Notas vulcanológicas de 1933", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXII, vol. XLIII, 18-V-1935, pp. 1-5.

1936

- "El Museo del Ejército de Bruselas", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXIII, vol. XLV, 20-VI-1936, pp. 1-2.
- "Recensión de "The Brunner focal depth time-distance chart" by G. J. Brunner, S. J. and J. B. Macelwane, S. J.", *Ibérica. Revista semanal ilustrada*, A. XXIII, vol. XLV, 2-V-1936, p. 1.
- "Apuntes de Sismología para una conferencia", Manuscrito, inédito, 7 págs.
- "Sur les causes des tremblements de terre", *Bolletino della Societé Sismologica Italiana*, Tomo XXIV, 1936, pp. 87-101.

1937

- "Os jesuitas e a sismologia", *Broteria (Revista contemporanea de cultura)*, XXIV, 1937, pp. 145-153.
- "Jesuitas astrónomos", *Broteria (Revista contemporanea de cultura)*, XXIV, 1937, p. 433-457.

1938

- "La cruzada española en el mar", *Razón y Fe*, CXV, 1938, pp. 267-279.
- "Sur le tremblement de terre du Dogger Bank (7-VI-31)", *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, Tomo XXXVI, 1938, pp. 14-17.
- "A nuestros favorecedores", Mecanografiado, inédito, 2 págs. (existen dos copias con pequeñas variantes y correcciones).

Además publicó muchos trabajos en los Boletines del Observatorio de Cartuja desde 1908 a 1931 que se calculan en total unos 65. Se titulan:

- Datos macrosísmicos y resúmenes anuales.

Obras inéditas.

- "Algunos puntos de Apologética, relacionados con las Ciencias Físico-Naturales", ejemplar mecanografiado, 36 págs.
- "La Séismicite de l'Espagne par le P. Emm. S-Navarro Neumann, S. J., Directeur de la station Séismologique de Cartuja (Granada)", publicado en parte en *Materiaux pour l'étude des calamités* (Ginebra). Mecanografiado, inédito, 7 págs.
- "La estación sismológica de Cartuja (Granada), a cargo de un P. de la Compañía de Jesús, y su labor científica (1903-1928)", Conferencia pronunciada con motivo del XXV aniversario del Observatorio. Granada, texto mecanografiado, 8 págs.
- "A nuestros favorecedores". Texto mecanografiado, 2 págs. (Hay dos versiones con pequeñas variantes).
- "Los terremotos y sus efectos", Conferencia pronunciada en el Instituto Católico de Artes e Industrias, Madrid, 1926.
- "Sobre Sismología", Conferencia pronunciada en el Observatorio de Marina de San Fernando (Cádiz), San Fernando, 1927.
- "El papel de la Sismología en el mundo actual", Conferencia pronunciada en el Centro Escolar y Mercantil de Valencia, Valencia, 1927.

- Tres conferencias sobre temas sismológicos, una en Orihuela y dos en Sevilla en 1929.

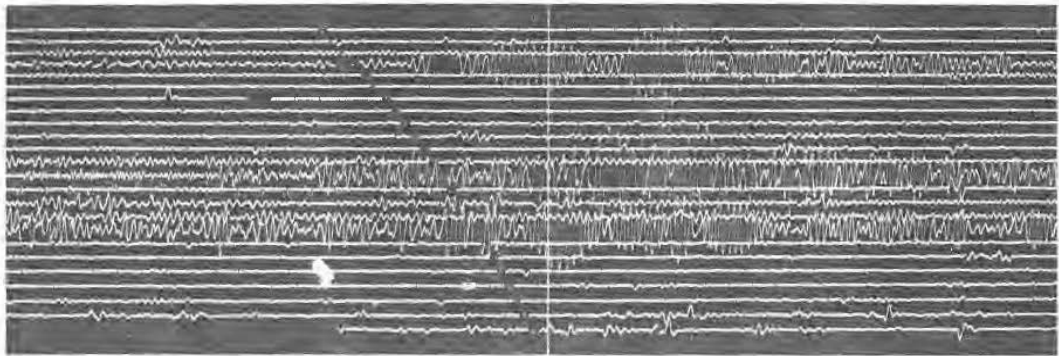
Imágenes y fotos de Sánchez-Navarro, sismograma y sismógrafo Berchmans





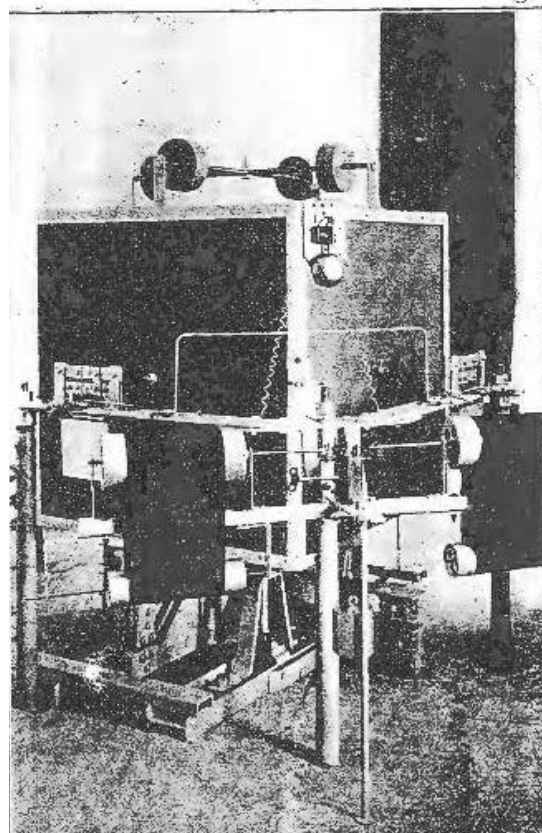


STATION SISMOLOGIQUE DE CARTUJA (GRANADA)



Sismographe «Javier» à enregistrement magnéto-photographique.

Partie du graphique réduit, avec le commencement du tremblement de terre du 6 Juillet 1924 (R. H. 41 m. 49.4).
↓ 6.830 kms. On voit également une partie de deux autres graphiques.



El Observatorio entre 1906 y 1940. La etapa del R. P. Manuel María Sánchez Navarro Neumann, S. J.

Manuel Espinar Moreno.

Investigador del I.A.G.P.D.S. (Universidad de Granada).

El Observatorio entre 1906 y 1919.

Nos dice el P. Due que el Observatorio va a recibir un gran impulso, en especial los estudios sismológicos, con la llegada del P. Sánchez-Navarro Neumann, quien a partir de 1908 y secundado por los HH. Coadjutores Alfonso Pérez y Salvador Parra, emprenda la reorganización de lo que fue la Estación Sismológica de Cartuja, por ello se le considera el auténtico fundador de la sección de Sismología. Los problemas prácticos de aquella ciencia fueron resueltos por ellos a pesar de los inconvenientes económicos por lo que atravesaba el Observatorio.

Los inconvenientes que presentaban los sismógrafos Stiattessi por la balumba de los péndulos horizontales y el espacio que exigían les hacían perder sensibilidad. Aunque con aquellos defectos los péndulos horizontales Stiattessi, con sus períodos de 15 a 22 segundos y masas de 208 kgs., dieron gráficas bastante notables y vistosas. Entre aquellas gráficas destacaba la del terremoto de California del 18 de abril de 1906, estudiada por el P. Sánchez-Navarro Neumann y publicada en la Rev. Razón y Fe, además de las gráficas de los terremotos de las Aleutinas y Valparaíso del 16-17 de agosto de aquel año, que fueron reproducidas por la importancia que tenían en el magnífico Álbum del profesor Emilio Rudolph y del Dr. Segismundo Szirtes, publicado por la antigua Asociación Internacional de Sismología, láminas 16 (1) a 16 (5). Las observaciones meteorológicas, astronómicas y algo de las sismológicas fueron publicadas en el Boletín del Observatorio de Cartuja a cargo de los jesuitas.

Varias razones y entre ellas la carencia de espacio dentro del Observatorio llevaron a plantear al Rector del Colegio Máximo, P. José María Valera, S. J. la construcción de un péndulo horizontal y su instalación en un lugar del Colegio. A finales de 1906 se emprendió la construcción de nuevos instrumentos entre ellos la de un péndulo horizontal, tipo Omori, con masa de 106 kgs, que se instaló en un local ubicado en el Colegio Máximo, exento de los graves inconvenientes del pilar de la ecuatorial del Observatorio. El Omori quedó suspendido de un pie de hierro forjado en ángulo por consejo de un sismólogo afamado, aunque no se tuvo el éxito esperado. Después de muchas pruebas y tanteos, con numerosos fracasos, se consiguió un instrumento, de grosera apariencia pero que funcionaba a pesar de que

su amortiguador era una lata, que contuvo sinapismos y otros detalles del mismo jaez. Por fin cumplió su cometido, como uno de los buenos, y aún mejor que otros de excelente aspecto¹. Se adaptó al Omori un aparato multiplicador inscriptor tipo Grablovitz con estilete de aluminio Marvin y unas palancas multiplicadoras que modificaban las de los hermanos Bosch, de Estrasburgo. Todo quedó montado a finales de 1907. Trabajó durante varios años hasta que hizo falta para otras cosas aquel local y se utilizó el sismógrafo para construir otros. En aquellos años de funcionamiento del Omori se contó con sismógrafos más potentes y aquel quedó abandonado. Hay que decir y destacar que aquel sismógrafo, con 14 segundos de período, 33 veces de aumento, y un coeficiente de amortiguamiento alrededor de 4, proporcionó muchas gráficas notables que se vieron publicadas. Asistió el P. Sánchez-Navarro Neumann a la Asamblea Sismológica de La Haya en Septiembre de 1907, aprovechó para estar una quincena en Estrasburgo conversando con el prof. Rudolph, Mainka y A. Sieberg, le enseñaron algunos sismógrafos y aprendió mucho. En La Haya se presentaron varios aparatos y conoció varias eminencias sismológicas entre ellas algunos españoles.

A principios de 1908 antes de emprender la modificación del Omori presentó en la Real Academia de Ciencias una Memoria que se publicó en Julio. El 6 de Junio había acabado de montar un péndulo bifilar de 305 kg. que denominó Cartuja, utilizó partes del Vicentini y otros materiales de desecho. Comenzó la publicación de un Boletín sísmico en el acreditado Bulletin de la Societé Belge d'Astronomie, mas tarde Ciel et Terre), gracias al profesor E. Lagrange, de Bruselas. También en Julio da al Boletín de la Estación Sismológica de Cartuja (Granada) una nueva forma en sus publicación, presentación y trabajos. Con motivo del desastre de Mesina (28 diciembre de 1908) se dieron conferencias sobre terremotos por parte del P. Juan Murillo, S. J., discípulo del P. Sánchez-Navarro, se prolongaron hasta el 14 de febrero de 1909, el público fue selecto, se realizaron numerosas proyecciones foto-eléctricas, diapositivas, etc., se estudio el de Mesina, el del 23 de enero de 1909 en Luristan (Persia) con mas de 50.000 víctimas y otros entre ellos algunos españoles, se vieron los efectos sobre el terreno y las construcciones.

(¹) SÁNCHEZ-NAVARRO NEUMANN, Manuel M.: S. J.: "Estudio comparativo de los Instrumentos más usados en Sismología", *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid*, Marzo, Abril, Mayo, Junio y Julio de 1908, Madrid, 1908, pp. 1-80. Pág. 19 dice que al Omori de 106 kg., construido en Cartuja, bastó adaptarle un trozo de hojalata de 15x10 cms., dentro de una caja doble de sinapismos, llena del citado líquido, para obtener fácilmente amortiguamientos regulables de casi 1:1 hasta 6,9:1 y más, lo que se hizo siguiendo los consejos del Dr. E. Rudolph y del Dr. Mainka. Con este se obtenían aumentos de 70 y más veces, aunque la paja procedía por saltos. Se procedió a equilibrar las agujas. Una de aluminio, sistema Marvin, que no lo estaba bien, daba pésimos resultados.

El éxito de aquel sismógrafo y el deseo de montar otros más potentes llevaron a adquirir uno en el extranjero². La compra se hizo a una de las firmas más afamadas en la especialidad de sismología, sin embargo daba muy pocas gráficas, no ya buenas, pero ni aún pasables, por lo que se intentó construir un nuevo instrumento. La primera dificultad era económica pues no se contaba con el millar de duros que, por entonces, hubiera costado poner en Granada un Wiechert de 1000 a 1200 kgs. fabricado en los acreditados talleres de G. Bartels, de Gotinga, entonces lo mejor y más avanzado³. Como no se tenía dinero se determinó construirlo en el Observatorio y en el Colegio de la Compañía. Recuerda el P. Sánchez-Navarro aquellos momentos de esta forma:

"Aquí resultó la penuria provechosa, y más útil que la abundancia; esta hubiera ahorrado no pocos cálculos y tanteos, pero en eso mismo está la clave de una formación, mucho más sólida, que la que se obtiene hallándose todo hecho, mientras que, gracias a aquella, se ha podido, DEO JUVANTE, lograr la satisfacción de trabajar en España con instrumentos españoles, y en buena parte originales.

Hecha virtud de la necesidad, se procedió a un estudio detenido de todos los sismógrafos de algún mérito, luego publicado en la Revista de la R. A. de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y de los boletines con los datos obtenidos con los mismos, y, más en particular, de las copias de sismogramas, tal vez el medio más exacto para avalorarlos, llenando no pocas cuartillas de cálculos, y, después de la tal preparación teórica, se procedió a un sin número de ensayos, en particular de palancas multiplicadoras-inscriptoras, ya que se pretendía obtener resultados aceptables, con masas muy pequeñas (los discos de fundición que integraban los Stiattessi, y un Vicentini vertical, con pantógrafo), sin más gastos que el trabajo inteligente y abnegado de varios de nuestros HH. Coadyutores, y en particular del H. Alfonso Pérez, S. J."⁴.

⁽²⁾ Era un Wiechert, de 200 kg. de masa, construido en la casa Gotinga Spindler y Hoyer, un péndulo cronógrafo y un cilindro receptor de Estrasburgo de J. y A. Bosch.

⁽³⁾ Dice el P. Sánchez-Navarro que recibió carta el 6 de Febrero de 1906 del mecánico Georg Bartels. Había en aquel momento péndulos instalados en Göttingen, Munich, Estrasburgo, Potsdam, Leipzig, Jena, Apia (Samoa), Viena, Budapesth, Upsala, Pribram y se pensaba instalar uno en Toledo. En su trabajo titulado "La Sismología como auxiliar de la Geofísica", *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*. Congreso de Granada, 1912, pág. 11 nos dice que mientras que el péndulo Wiechert, de 17.000 kgs costaba 5.000 marcos, y 2.500 marcos el de G. Bartels, que también era un Wiechert, de 1000 kgs., los Cartuja, construidos con materiales de desecho sólo alcanzaron la cifra de 1.000 pesetas escasas y en aquel gasto se incluyen los bifilares, de 425 y 305 kgs, el Omori, de 106 y el Cartuja vertical de 280 kgs., incluyendo las masas.

⁽⁴⁾ Datos tomados de los apuntes para una conferencia del P. Sánchez-Navarro Neumann titulada: "La estación sismológica de Cartuja (Granada), a cargo de un P. de la Compañía de Jesús, y su labor científica (1903-1928)".

El fruto de estos trabajos fue el obtener los dos Cartuja bifilares, ya realidad en Junio y Julio de 1909, que todavía funcionaban en 1928 con pequeñas modificaciones y que prestaban servicios muy apreciables sobre todo en los terremotos fuertes. También se logró en aquellos momentos de actividad constructora el llamado Cartuja vertical de 280 kgs. de masa. Contaba con un viejo caldero de desecho, relleno de hierro viejo y de gravilla. La porción multiplicadora-inscriptora la construyó, con verdadera maestría, el P. Pedro María Descotes, S. J., que fue luego Director del Observatorio del Colegio de San Calixto de La Paz, muy renombrados entre los sismólogos por su importante estación sismológica. Más tarde fue nombrado el P. Descotes jefe del servicio de sismología, de meteorología y del horario de la república de Bolivia, también había sido honrado por el gobierno francés por sus trabajos investigadores y académicos.

Para abaratar costes se suprimieron las armazones metálicas para la suspensión de los péndulos y se reemplazaron por los fuertes muros de una habitación baja, bastante apartada, y se introdujeron el uso de despertadores corrientes para hacer avanzar las bandas receptoras. El Cartuja vertical era notable por su aumento extraordinario de 580 veces, sólo superado entonces por el coloso de 17.500 kgs. del del Instituto de Gotinga. En 1909 comenzó a estudiar terremotos poco o escasamente sentidos para que la Sismología española estuviera a la altura de la de otras naciones. Así publicó 76 terremotos sentidos en 1909, 63 en 1910, 180 en 1911 y 36 en 1912. Además estudió los de Canarias y posesiones de Marruecos. En 1909 se construyó un péndulo horizontal con masa de 2'5 kg. para demostración y que llegó a producir gráficas aceptables, se montó un cilindro con motor de relojería adaptado para mover la banda con gran velocidad. También se estudió y solicitó información a otras muchas estaciones sismológicas sobre el terremoto de 23 de abril de 1909.

Con aquel instrumental, que bien merece el título de casero, comenzó la Estación Sismológica de Cartuja (Granada). La publicación de su Boletín mensual, separado del Observatorio Astronómico y Meteorológico, comenzó en 1908 y siguió así hasta 1916, volviendo a unirse, o incluso a no publicarse, por falta de medios económicos, dada la extremada dificultad e imposibilidad de comunicaciones por la Guerra Mundial. Sin embargo si continuaron funcionando sin interrupción los sismógrafos. Durante aquel espacio de tiempo se registraron y publicaron datos sobre 1595 terremotos, con una media anual de 193, máximo de 285 en 1911, y mínimo de 152 en 1912. De ellos sólo se sintieron en Granada 27 eventos, 542 eran en su mayor parte españoles, con epicentros a menos de 1000 kms., 211 entre 1000 y 5000 kms.,

y 745 a más de 5000 kms. Entre ellos figuran varios como el de las Islas Chabrol a 18.000 kms., y el de las Islas Tonga a 19.500 kms.

En ocasiones el Observatorio contó con la ayuda y colaboración de miembros de la Compañía de Jesús como ocurrió en 1915 con el terremoto del 13 de enero de 1915, el P. Provincial, José María Valera, S. J., envió fotografías y así nos dicen "a quien tanto debe la Estación Sismológica de Cartuja (Granada)".

Entre las publicaciones de aquellos años destaca el Boletín en castellano, siguiendo la pauta internacional y los signos convencionales para que pudiera ser utilizado, era enviado a 150 estaciones sismológicas con regularidad. El material con signos convencionales era aprovechado en estudios comparativos, cálculos de epicentros, velocidades de transmisión, etc. Se publicó además otro Boletín en francés, acompañado de algún texto, en el Bulletin de la Société Belge d'Astronomie, de Bruselas, y se dieron a la prensa otros muchos trabajos, en particular referentes a la sismicidad del suelo español por lo que se titularon muchos de ellos: *Enumeración de los terremotos sentidos en España durante el año de...*, que se publicaron en los boletines de la R. S. Española de Historia Natural y que abarcaba la época de 1909 a 1917. También otro trabajo sobre la sismicidad de la porción oriental de la Península fue publicado en las Memorias de la R. A. de Ciencias y Artes de Barcelona. Siguió otro de toda España publicado por la R. S. E. de Historia Natural. Con aquellos y otros materiales se publicó un número titulado *La Estación Sismológica y el Observatorio de Cartuja (Granada)*, que tuvo que suprimirse por falta de medios y nuevos materiales para sostenerla. Entre todas las publicaciones destaca una publicada en Madrid en 1916 que se titula: *Terremotos, Sismógrafos y Edificios*, primera obra en castellano, original de su autor y no traducción. Se colaboró en Ciel et Terre, La Gaceta del Sur (Granada), La Defensa (Málaga), Sal Terrae, etc. La mayoría de los trabajos eran del P. Sánchez-Navarro Neumann, que además dedicó parte de su tiempo a deberes sagrados y a la enseñanza.

En 1911 se presentó un trabajo en el Congreso de Granada y varios en la Asamblea Sismológica de Manchester, en esta se buscaron relaciones con otros investigadores. Se construyó un nuevo modelo de tremómetro portátil y se redactó una obra titulada *Apuntes de Sismología Técnica* que se continuaba en 1912 junto con la edición del Boletín mensual en castellano y en francés. Se montó otro péndulo vertical Cartuja de 87 kgs. de masa para estudiar terremotos cercanos y una componente vertical. En 1913 otro tremómetro y varias piezas destinadas a un péndulo de unas 2 toneladas de masa.

La publicación realizada en 1921 por el Observatorio de Cartuja sobre los

terremotos de la Península Ibérica era la más completa en aquellos momentos, el famoso *Bosquejo Sísmico de la Península Ibérica* tenía como obra anterior de referencia el *Catalogue of destructive earthquakes* del profesor J. Milne, apedillado por todo ello como el padre de la Sismología moderna, había estudiado 61 períodos sísmicos para los años comprendidos entre el 7 y el 1899 de la era cristiana. En la publicación del P. Sánchez-Navarro figuraban 91 series para los mismos años y en total 153 entre los años 500 a. d. Xto y 1917 actual.

Además entre las pruebas de actividad del Centro de Cartuja había que destacar la asistencia de su Director a la Asamblea Internacional de Sismología de la Haya, celebrada en 1907, visitando antes durante varios días la célebre estación sismológica de Estrasburgo, estuvo también en la Manchester donde pudo ver el funcionamiento y aparatos que tenían ambas. Asistió a los Congresos de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias de Granada (1911), Madrid (1913), Valladolid (1915), Sevilla (1917), Bilbao (1919), y el de Ingeniería en Madrid (1919), presentó en todos ellos comunicaciones, aparatos nuevos y gráficas, y continuo dando numerosas conferencias científicas tanto en Madrid como en Granada.

La construcción de instrumentos, unos nuevos y otros con modificaciones en ocasiones importantes, el cálculo de nuevas fórmulas para determinar distancias epicentrales, velocidad de transmisión de ondas sísmicas, distribución de materiales que integran el interior de la Tierra, trabajo producido por el terremoto, frecuencia de réplicas, etc., motivaron artículos científicos y otros de vulgarización en castellano y en francés que fueron publicados en revistas especializadas. De ellas podemos destacar varios boletines de las sociedades sismológicas de Italia y América, de Academias científicas de gran valía, además de otras españolas, así como en revistas como *Ibérica* de Barcelona, revista de la Sociedad Astronómica de España y América, *Razón y Fe* de Madrid, *Cosmos* de París, *Broteria* y otras muchas como puede verse en su Curriculum que estudiamos en siguiente capítulo de este libro.

A finales de 1919 nos dice el P. Sánchez-Navarro que acaba el período que puede llamarse historia antigua del Observatorio, caracterizado por la escasez, por no calificarlo de penuria, no se contaba con rentas y sólo se contó con pequeñas sumas que destinaba el Colegio Máximo del que dependía. En todos aquellos años se produjeron cambios incesantes de auxiliares y personal, ello hizo que en ocasiones incluso largas no se tuviera ni mecánico siquiera mediano, para tener en buen estado el instrumental, o añadir algún sismógrafo a los existentes o mejorar los

más potentes.

Entre los cooperadores de esta primera etapa encontramos los HH. Esteban Tortosa (1907-1908) y Luis López (1908-1912) que construyeron piezas de hierro de casi todos los sismógrafos, el mecánico H. Alfonso Pérez, HH. Antonio Parra (1907-1908), Miguel Jiménez (1908), Carlos Linares (1909) y Antonio Sola (1911-1913) y Salvador Parra.

En esta etapa la biblioteca del Observatorio se fue dotando de una abundante bibliografía. Si consultamos los Boletines mensuales en 1910 nos encontramos una relación de las publicaciones recibidas desde Alemania, Austria, Canadá, China, Filipinas, Hungría, otros organismos españoles, Italia, Francia, Japón, Rusia, Egipto, Estados Unidos, Haití, Inglaterra, Malta, Perú, Portugal, Rumania, Chile, Hawai, Java, Australia, Méjico, Serbia, Uruguay, Siria, San Salvador y Noruega.

En esta primera etapa encontramos un organigrama del Observatorio que pasamos a exponer para ver el funcionamiento exacto del mismo y de cada una de sus secciones:

Año 1907. Director: P. Sánchez Navarro Neumann. Jefe de Astronomía, P. Mier y Terán, ayudante el H. Luis López. Jefe de Meteorología, P. Ramón Martínez, ayudante H. Luis Hurtado. Jefe de Sismología, P. Sánchez Navarro Neumann, ayudante, P. Emilio Sola. En 1909 cambia el Jefe de Astronomía, P. Ricardo Garrido, ayudante H. Salvador Parra. En 1910 encontramos de Jefe de Meteorología al P. Juan Murillo y de ayudante al H. Luis Hurtado. En 1912 tenemos de Jefe de Meteorología al P. Rafael Valdivia y de ayudante al H. Luis Hurtado. En 1915 el Jefe de Astronomía es Sánchez Navarro con su ayudante H. Salvador Parra y el Jefe de Meteorología es el P. Agustín del Moral. En 1916 tenemos de Jefe de Meteorología al P. Yañez Genicio y en 1918 en esta sección encontramos al P. Federico Savoie. En 1919 encontramos en Meteorología al P. Rafael Barraquer y en 1920 en Astronomía al P. Ricardo Garrido.

La etapa de 1920 a 1932.

A finales de 1920 comenzó a conseguirse algo de lo ya previsto, en aquellos momentos se va a producir un hecho importante, el 13 de Octubre, una Real Orden declara de Utilidad Pública a la Estación Sismológica de Cartuja (Granada), la dotación de una subvención por parte del Instituto Geográfico, unida a una limosna de 1000 pts del R. P. Provincial, a lo que se unía la gran habilidad y laboriosidad de uno de los HH. Coadjutores, con todo ello se permitió iniciar la era de las construc-

ciones más recientes, comenzando con el sismógrafo Berchmans.

Este es un péndulo invertido, tipo Weichert, muy modificado. Su masa la constituye un recipiente cúbico de palastro, relleno de hierro de desecho, piedras y gravilla, con peso de 3.000 kgs., y se apoyaba sobre unos muelles planos de acero, gracias a una montura cardánica, de gran robustez. Inscibía los movimientos del suelo, con amplificaciones variables entre 120 y 1200, que en 1928 sabemos que eran 760, con períodos de 3 a 6 segundos, amortiguamiento alrededor de 4, y su avance, de 15 mm. por minuto, que acababa de elevarse a 25. Además del cronógrafo de rigor llevaba su estabilizador para equilibrar el péndulo, verdadera balanza loca, cuya caída se evita gracias a los muelles astasiadores, relacionados con las palancas multiplicadoras-inscriptoras. A pesar de su masa, ya un tanto pesada, con su período de 5 segundos, apreciaba un gramo que se le añadiese. Por su considerable aumento, finura de su trazado y rapidez de registro, constituía el mejor sismógrafo del Observatorio para estudiar los terremotos cercanos, en su inmensa mayoría españoles o marroquíes.

Se pensó en construir un coloso de unas 15 a 20 toneladas, pero el proyecto requería sumas considerables y un gran local expresamente destinado para él. El coste total mínimo era de unas 6.000 pts de las que no había rastros ni esperanza de obtenerlas. Por todo ello fue preciso renunciar al plan ya que era muy aventurado y costoso. Se resignaron con construir algo transportable, lo que en Sismología tratándose de instrumentos potentes, equivale a decidirse por uno de los registros óptico o magneto-fotográfico, este último de construcción más complicada y difícil, aunque más potente, y sin algunos de los inconvenientes del primero, aunque no dejaba de tener las propias.

De todas estas dudas, proyectos y trabajos nació el sismógrafo Javier, que se llamó así por ser bendecido con el portentoso brazo del santo Apóstol de las Indias y el Japón. Era un péndulo horizontal, tipo Galitzin, con numerosas modificaciones para exaltar todo lo posible su sensibilidad, en la hipótesis, que al principio parecía evidente, de que unos imanes, con acero de muelles de coche, y un sismógrafo, así mismo casero, y con sólo el espejito traído del extranjero, jamás podría compararse con los salidos de renombrados talleres de Masing o de Cambridge, con sus imanes de acero al tungsteno Hartmann y Braun, igualmente acreditados. La sensibilidad de este sismógrafo es extraordinaria, si bien su funcionamiento resultó irregular, por falta de local alejado de perturbaciones extrañas.

El mecanismo multiplicador del Javier consistía en 4 carretes planos, con 200

vueltas, cada uno, de alambre de cobre, los que se mueven entre los polos conjugados de dos imanes permanentes, mientras que el otro par, actuando sobre una lámina de cobre rojo, así mismo unida con la masa, sirve de amortiguador. La corriente producida por los carretes va por unos conductores al galvanómetro, y por medio de un espejito envía el rayo de luz que recibe de una linterna especial, a una lente cilíndrica, colocada en el receptor, y que transforma la línea que recibe, en un punto, de brillo deslumbrador. Ese puntito es el que va a impresionar el papel sensible, arrollado sobre un cilindro, y al que un despertador ordinario hace girar, y otro avanzar, para evitar la suspensión de los trazos. Por razones de economía el avance era solo de 60 cms. por hora.

El péndulo Javier se pudo construir gracias a un subsidio anual del Estado, sin ello hubiera sido imposible sufragar los gastos, y otros exigidos para montar un taller con su torno y motor de 1/2 caballo. Con aquel auxilio estatal se comenzó a trabajar y se continuó la publicación del Boletín Sismológico mensual. La publicación era cada vez más importante por haberse duplicado el número de gráficas de terremotos. También se hizo la construcción, bastante difícil, de una componente vertical, de un tipo del que solo trabajaban una decena en todo el Mundo en el campo de la Sismología.

Aquel sismógrafo nuevo recibió el nombre de Belarmino, en honor del Cardenal Roberto Belarmino, S. J., beatificado durante el año en que se construía, y el M. R. P. General Wlodimiro Ledókowski, S. J., lo bendijo en su corta estancia en Granada, utilizando la fórmula concedida por la Santa Sede que figura en el Ritual Romano, usó para el acto una estola, que también había servido a uno de sus más ilustres predecesores, San Francisco de Borja, S. J. En la componente vertical de este sismógrafo el estiramiento del muelle es de unos 30 cm., mientras que el período propio es de 12 segundos, equivalentes a 36 m., se había centuplicado con creces su sensibilidad gracias a los artificios empleados para conseguir su astasiado. Su importancia fue tal que varios sismólogos notables solicitaron al P. Sánchez-Navarro el envío de dibujos de sus piezas para imitarlo e instalarlo en sus estaciones sismológicas⁵.

Además en los talleres de Cartuja se construyeron en aquellos años varios instrumentos destinados al estudio de los movimientos cercanos y en especial un barógrafo de mercurio denominado Loyola, de unas 7 veces de aumento. Algunas de sus gráficas resultaban interesantes como la del 12 de abril de 1927, día aciago y

⁽⁵⁾ El P. Due nos recuerda en el Cincuentenario del Observatorio de Cartuja como la construcción de sismógrafos de registro magneto-fotográficos como el Belarmino fue sin duda el mayor éxito de los conseguidos. Le siguieron los dos horizontales Canisio, construidas por el H. Juan Francisco Martínez Dornacu.

de tristes recuerdos por haber barrido unas olas anormales un campamento. Las rachas de viento alcanzaron en Granada 31'5 m/s se ven de forma evidente y nos permite comprobar como a pesar de la distancia entre los puntos donde ocurrió el evento y Cartuja debió de alcanzar una gran violencia.

La estación sismológica no tenía un local apropiado y se venía luchando por conseguirlo. A pesar de las dificultades económicas nos dice el P. Sánchez-Navarro que se había logrado edificar uno que esperaba que cumpliera su cometido. Esta obra había sido realizada por el maestro D. Anselmo González, aunque había sido planeada por dos HH. estudiantes que eran ingenieros. El edificio tenía forma de T, constaba de un salón, en la fachada, donde iban los sismógrafos de registro mecánico, cronógrafos y estación receptora de T. S. H., fuera de los locales destinados al ahumado y ennegrecido de las bandas y su fijado, y el laboratorio fotográfico. Perpendicular al solar y excavado en la roca había otro destinado a los sismógrafos de registro magneto-fotográfico, con sus correspondientes accesorios como lámparas, galvanómetros y receptores. La fachada es de un estilo árabe granadino para darle sabor local y parecido con el Colegio Máximo, del que dista pocos metros. Llevaba una imagen de la Virgen de las Angustias, en azulejos de colores, por ser Patrona de Granada y de la Sismología, y una invocación en honor suyo por la bendición de los sismógrafos de la estación de Cartuja.

Desde 1921 a 1928 se denomina la segunda etapa del Observatorio de Cartuja. En aquellos años se continuó la labor científica y las tareas culturales, se asistió a Congresos, Exposiciones, Conferencias, etc. Los miembros del Observatorio y de la estación además de asistir tomaron parte activa en las discusiones científicas, fiestas y exposiciones como la Exposición de Astronomía y Ciencias afines de Barcelona (1921), los Congresos Internacionales de Geodesia y Geofísica (1924), y Geología (1926) que dieron un gran prestigio al centro en niveles internacionales, Congreso de Cádiz (1927), el de la Asociación Española de Madrid, Granada, Valencia, Orihuela, y numerosas conferencias con proyecciones.

Respecto a la edición de trabajos se continuaba escribiendo en las revistas y sociedades científicas ya reseñadas en el primer período y se ampliaron a la Academia Pontificia de Ciencias Naturales de Roma, la Revue des Questions Scientifiques de Bruselas, Matériaux pour l'étude des Calamités de Ginebra, etc. También se había realizado y así continuaba una importante actividad epistolar con especialistas, intercambio de publicaciones con lo que se estaba formando una importante biblioteca, enseñar los instrumentos y ofrecer explicaciones a los numerosos visitantes del Observatorio, explicación a personalidades relevantes,

algunas de elevada categoría, recibir grupos de oficiales, cadetes y estudiantes, con frecuencia universitarios acompañados de sus catedráticos, etc., toda una continua labor con la que se trataba de no desmerecer la ayuda del Estado pues el Centro no podía subsistir. Todo aquello trataba de añadir *"su granito de arena al grandioso edificio de la Ciencia Cristiana y española, al procurar la Mayor Gloria de Dios, por cuyo Amor y Obediencia se han emprendido, y continuado, por 25 años esta labor, en si oscura y de ningún lucimiento"*.

En el Congreso celebrado en Cádiz el 3 de mayo de 1927 nos dice el P. Sánchez-Navarro que además de realizar trabajos en la Estación de Cartuja durante más de 20 años por encargo de sus superiores, se había dedicado a estudios geofísicos y a las labores docentes de Geología. Con los materiales que tenía recogidos había elaborado aquella conferencia que bien pudiera denominarse iniciación a la Geofísica aplicada.

Entre las cartas que se guardan en las carpetas de la Biblioteca del Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos de Granada tenemos una de 21 de marzo de 1925. Por ella el Director General del Instituto Geográfico le comunica de forma particular al director del Observatorio de Cartuja Padre Manuel M. Sánchez Navarro que la renuncia a la subvención económica se la paraliza durante unos días. La carta queda de la siguiente forma:

Rdo. P. Manuel M. Sánchez Navarro.

Mi respetable y querido amigo:

He recibido su carta del 16 de los corrientes con la instancia en que hace renuncia a la subvención de ese Centro. Siento extraordinariamente esa actitud de Uds., que saben cuánto se les aprecia y considera en esta casa; pero respeto su parecer y las razones que a ello les mueven.

Sin embargo, en mi deseo de evitar que dejen de figurar Uds. entre nuestros colaboradores, suspendo unos días la tramitación de la instancia, en vista de que por R.D. de 3 de los corrientes, artículo 24 (Gaceta del 4), no se exige ya acta del Delegado del Tribunal gubernativo de Hacienda y solamente se requiere en las adquisiciones de material certificación del Jefe de la Dependencia, en este caso usted, de haberse hecho el servicio.

Nosotros no tenemos más remedio que cumplir las órdenes de la superioridad y jamás añadimos una dificultad, antes bien damos cuantas facilidades nos es permitido. Por eso la disposición citada complace a nosotros más que a quienes sufrían los rigores de la anterior, y espero que le hará desistir de la renuncia enviada.

Quedo como siempre su afmo. amigo y s. s.

q.b.s.m.

Luis Cubillo (rúbrica).

El 4 de abril de 1928 el Director General D. Juan López Lircen comunica al Habilitado del Observatorio de La Cartuja D. Martín Lasarte Eraso que con aquella fecha había dispuesto la expedición de un libramiento de 7.250 pesetas. Este estaba dividido en libramientos trimestrales en el concepto de en firme a nombre de D. Martín y contra la Delegación de Hacienda de Granada de 1.812 pesetas y 50 céntimos para el pago de la subvención del Observatorio de aquel año. El documento tiene como encabezamiento Presidencia del Consejo de Ministros. Dirección General del Instituto Geográfico y Catastral. Sección Contabilidad.

Las cuestiones económicas fueron motivo de algunos problemas pues el 11 de marzo de 1929 Mariano Estévez desde la Dirección del Observatorio del Ebro en Tortosa escribe a la Dirección General del Instituto Geográfico y Catastral, Sección Contabilidad. Se dirige a R. P. Luis Rodés y le comunica que había recibido una carta suya y le manda los impresos que le solicitan, alude a un libramiento de dinero. En la segunda parte de la carta dice textualmente: "*El libramiento expedido al R. P. Sánchez Navarro lo fue "EN FIRME" y no "a justificar"*". Así se le hizo saber remitiéndole copia literal de orden remitida por este Centro a la Ordenación de pagos pero se omitió el hacer constar el detalle de "en firme" en el oficio en que se lee arriba -con carácter de orden interior de este Negociado- y eso dio origen a su alarma que ha quedado desvanecida por completo".

El 13 de marzo Luis Rodés escribe al P. Manuel Sánchez Navarro, S. J. enviándole copia del Jefe del Negociado de Contabilidad del Instituto Geográfico y Catastral por la que se ve que se ha hecho el libramiento en firme. Además le dice que ya habría recibido esta noticia por otros conductos. Un detalle curioso que aparece escrito a mano tras la firma dice así "*Espero habrá mejorado su delicada salud; así lo pido al Señor"*.

Las cartas son las siguientes:

Carta al Padre Rodés.

Observatorio del Ebro. Tortosa. Dirección.

Dirección General del Instituto Geográfico y Catastral. Contabilidad. Jefe.

R. P. Luis Rodés.

Muy Sr. mío y de mi más respetuosa consideración:

Acabo de recibir su grata y al acusarle recibo de ella lo hago del pliego

certificado de los impresos a que alude la suya. Se procederá, pues, a librar inmediatamente⁶.

El libramiento expedido al R. P. Sánchez Navarro lo fue "EN FIRME" y no "a justificar". Así se le hizo saber remitiéndole copia literal de orden remitida por este Centro a la ordenación de pagos pero se omitió el hacer constar el detalle de "en firme" en el oficio en que se lee arriba -con carácter de orden interior de este Negociado- y eso dio origen a su alarma que ha quedado desvanecida por completo.

*Con este motivo me es grato repetirme respetuosamente de V. att? S.S. q.b.s.m., Mariano Estévez. (rubricado).
Hoy 11-3-929.*

*Observatorio del Ebro. Tortosa, 13 de Marzo de 1929. Dirección.
R. P. Manuel Sánchez Navarro, S. J. Cartuja -Granada.
P. C.*

Muy amado en Cto. Padre Sánchez Navarro: me complazco en enviarle copia de la carta que acabo de recibir del Jefe del Negociado de Contabilidad del Instituto Geográfico y Catastral; por la que verá que le hizo el libramiento "EN FIRME". Supongo ya se le habrá comunicado por otro conducto.

Con esta ocasión me reitero de V. affmo. h. en Cto., que se encomienda a sus ss. SS. y OO.

Luis Rodés, S. J. (rúbrica).

Espero habrá mejorado su delicada salud; así lo pido al Señor.

La participación del Observatorio de Cartuja en la Exposición Iberoamericana de Sevilla en 1929 fue un gran éxito sobre todo por las secciones de Sismología y Meteorología. El H. Luis Hurtado nos dice años más tarde que la presentación de los datos se hizo en un gran cuadro a colores. Entre las personalidades ilustres a quienes más interesó el Cuadro Climatológico de España estaba el rey D. Alfonso XIII que honró con su presencia la inauguración de la Exposición y el Pabellón de Granada, se detuvo bastante tiempo y realizó atinadas preguntas y observaciones. Se presentaron en esta Exposición cuadros estadísticos sobre meteoros del clima de Granada. Todo era fruto de 25 años de trabajo que se habían ido publicando en los respectivos Boletines del Observatorio de Cartuja⁷. El papel del Observatorio alcanzó pues un gran éxito en Sevilla que superó las esperanzas de los investigadores pues: "El Jurado otorgó al trabajo: primero, Medalla de Oro; luego, con nueva prueba de aprecio, sustituyó la Medalla por el "Gran Premio", la recompensa más elevada que otorgaba. El Diploma se conserva en nuestro

⁽⁶⁾ En la carta dice: inmediatamente.

⁽⁷⁾ HURTADO, Luis, S. J.: *El clima de España*. Granada, 1941, pág. 4.

Observatorio de Cartuja..".

Entre los papeles y notas manuscritas del P. Sánchez-Navarro Neumann nos encontramos un resumen de la labor científica de la Estación Sismológica de Cartuja (Granada) a cargo de los PP. de la Compañía de Jesús durante el año 1931. Nos dice que habían funcionado, con regularidad, salvo con alguna pequeña interrupción temporaria de algún sismógrafo, los de registro mecánico Berchmans (invertido con masa de 300 kg., componentes N-S y E-W), los dos Cartuja bifilares, de 340 kg. N-S y E-W y el vertical Cartuja, de 280, componente N-S, además del grupo de registro magneto-fotográfico, integrado por la componente vertical Belarmino y los dos bifilares Canisio, todos salidos de nuestros talleres, a cargo de los HH. Coadjutores de la misma Compañía de Jesús.

El material español, en la más genuina acepción de la palabra, es decir de fabricación casera, había permitido registrar 443 terremotos, de los cuales solo 66 tenían sus epicentros a menos de 1000 kms. y 4 se habían sentido en la misma estación sismológica, o en la vecina ciudad de Granada. Entre aquellos terremotos descollaban 12 antipodales, sentidos en la isla N. de Nueva Zelanda, y 42 de las Islas Salomón, distantes unos 16.500 kms.

Con los datos de los 103 mejor registrados se habían remitido 78 telegramas cifrados a la Dirección General del Instituto Geográfico y a la Associated Press (Madrid), a las estaciones sismológicas de Alicante, Almería, Málaga y Central de Toledo, a los observatorios de Marina de San Fernando y del Ebro en Tortosa y a la Oficina Internacional de Estrasburgo.

Se publicaron 260 ejemplares del Boletín Mensual y se remitieron a centros con los que se mantenía intercambio científico, además de copias de sismogramas, planos de instrumentos, en despiezo, envío de datos especiales, etc. El Subdirector, R. P. Antonio Due Rojo, había publicado en la Rev. Ibérica datos macrosísmicos y microsísmicos sobre los terremotos de la Península Ibérica de los tres primeros trimestres del año. El Director R. P. Manuel M? Sánchez-Navarro había contribuido con resúmenes de los terremotos más importantes sentidos en 1930 y primer trimestre de 1931, además de notas sobre olas anormales, y una turbonada, registrada por meteorógrafos y sismógrafos, publicada con algunas modificaciones en el Zeitchri für Geophysik, además de otros trabajos científicos que suman 10 en total.

También se había construido un barógrafo de gran sensibilidad, el variógrafo

Breboe, con registro sobre papel ennegrecido, al humo del petróleo, y con receptores con avances de 16-50-600 mm/hora, y aumento de 8 veces, habiéndose sacado ampliaciones de 3 a 7'5 veces, de trozos de las gráficas más notables, y se estaba preparando su descripción.

Las visitas al Observatorio habían sido bastante numerosas, descollaban entre ellas las de varios grupos de profesores y escolares, tanto nacionales como extranjeros, y en especial la de algunos especialistas como el Ingeniero-Geógrafo y distinguido sismólogo, Don Alfonso Rey Pastor, que llegó en Comisión Oficial, y las de representantes de varias entidades importantes.

El 17 de noviembre de 1931 el Habilitado de la Estación Sismológica de Cartuja D. Martín Lasarte comunica al Excmo. Sr. Director General del Instituto Geográfico y Catastral de Madrid que de acuerdo con lo dispuesto por oficio de 28 de febrero de aquel año había hecho efectivo en la Tesorería de Hacienda la cantidad de 1.812'50 pesetas (líquido 1.788'94 pesetas) correspondientes al 4º libramiento trimestral de la subvención a la Estación Sismológica de Cartuja que figuraba en el capítulo 13 artículo 1º, concepto 5º cuya ordenación se dio el 12 de noviembre número 14. La carta tiene como encabezamiento JHS. Estación Sismológica de Cartuja. Apartado 32. Granada (Declarada de Utilidad Pública). Real Orden del 13 de Octubre 1920.

A partir de 1921 el Director del Observatorio es el P. Manuel Grund, Jefe de Astronomía, P. Ricardo Garrido, ayudante H. Salvador Parra, Jefe de Meteorología, P. Rafael Barraquer y ayudante H. Luis Hurtado, Jefe de Sismología, P. Sánchez Navarro Neumann y ayudante H. Antonio Sola. Todo sigue igual hasta 1930 donde aparece como Jefe de Astronomía y Meteorología el P. Juan Murillo y ayudantes los HH. Salvador Parra y Luis Hurtado. Jefe de Sismología, P. Sánchez Navarro y ayudante H. Juan Francisco Martínez Dornacu.

La etapa de expropiación del Observatorio (1932-1938).

A principios de 1932, cuando se había acabado de instalar la tercera componente magneto-fotográfica, y se esperaba recoger un fruto abundante de los estudios y trabajos realizados durante muchos años, se produjo la incautación del Observatorio por parte del Gobierno. Ello es fruto de la extinción de la Compañía de Jesús en España, decretada por la República⁸.

(⁸) Nos dice el P. Sánchez Navarro Neuman que el 23 de enero de 1932 salió una ley que precisaba cumplir la ejecución de un artículo de la nueva constitución aprobada, se fijaba en diez días la puesta en vigor de la expropiación y salida de los bienes de la Compañía de Jesús de España. El artículo en cuestión era el 26 y por el

Años más tarde nos enteramos de una serie de noticias desconocidas hasta ahora que se conservan en una carta de D. José Galbis al P. Due. Le dice el 14 de julio de 1948 que entretenido en revisar papeles y fotografías que había obtenido durante más de 20 años, se encontró una del Observatorio de Cartuja y se la envía por si les es útil o susceptible de ampliación. Le da las gracias por las publicaciones enviadas. Le dice que ha dejado de trabajar en asuntos climatológicos y que el resumen que había entregado al Ministerio del Aire abarcaban desde 1860 a 1930 y desde el punto de vista internacional desde 1901 a 1930. Le apostilla que este trabajo no se publicará por su gran extensión, pues tiene más de 1000 folios más cuadros, mapas, etc. aunque el servicio lo informó favorablemente, pero dejará huella en los archivos y es interesante para los que estudian los asuntos climatológicos. Le recalca que le han informado que es un digno alumno del padre Manuel María Sánchez Navarro Neuman, profesor también de Galbis y que tanto lo alentó. El P. Sánchez Navarro pidió al gobierno de la República que fuera él el que se encargara de recibir en nombre del Estado el Observatorio de Cartuja. En este momento es cuando hice la fotografía que le envió. Le acompaña su dirección en Plaza de Santa Bárbara, núm. 6 de Madrid.

El Gobierno poco después encargó la dirección del Observatorio y de la estación Sismológica al Instituto Geográfico y Catastral. Desde allí se envió como Director al ingeniero geógrafo Don Félix Gómez Guillamón que continuó la labor hasta el 11 de Agosto de 1938.

En esta etapa el Observatorio contó con un Boletín Macrosísmico editado por el Instituto Geográfico y el Observatorio Geofísico de Cartuja. Entre las innovaciones se contaba para el registro de los terremotos con la colaboración de los Corresponsales Sísmicos. Estas personas con sus distintas informaciones suministraban datos interesantes y en muchas ocasiones únicos. Pese a esta colaboración se les recomienda en el Boletín continuamente que deben de ofrecer datos lo más exactos posible. Así se pone al final de las llamadas Notas Sísmicas elaboradas en Cartuja: *"Nuestros Corresponsales Sísmicos deben tener la precaución de llevar el reloj con la hora oficial lo más exacta posible, lo que hoy no es difícil con las señales horarias dadas por diversas estaciones de radio. En el mismo momento de sentir un sismo deben tomar nota de la hora y minuto exacto,*

se proscribió a las órdenes religiosas que tenían voto especial de obediencia a la Santa Sede. El artículo fue votado por 179 diputados contra 58, es decir por menos de un tercio del número total de 470 diputados de la Cámara. Cfr. SÁNCHEZ NAVARRO NEUMANN, M. María. S. J.: "La station sismologique de la Compagnie de Jesus a Cartuja (Espagne)", *Extrait de la Revue de Questions Scientifiques*, 20 Septembre 1932, pág. 247.

por lo menos".

Los corresponsales que conocemos por los años de 1935 a 1938 en la Provincia de Granada son los siguientes:

Localidad	Número	Corresponsal	Profesión
Albondón	10101	D. Antonio Mesa del Castillo	Médico
Albuñuelas	11102	D. Joaquín González Rejón	Médico
Alcudia	10503	D. José del Castillo Sánchez	Médico
Aldeire	10504	D. Joaquín Vílchez López	Maestro
Alfacar	10402	D. Antonio López López	Cabo Guardia Civil
Alfaguara	10400	D. Pablo de Ardales	Capellán
Algarinejo	10801	D. Francisco Ruiz Guerrero	Médico
Alhama	10202	D. Manuel Aguado Remón	Maestro
Almuñécar	11001	D. Enrique Mateos Almoguera	Abogado
	11001a	D. Manuel Corral Melero	Maestro
Alquife	10506	D. Manuel Simón Cobo	Médico
Armillá	10403	D. Vicente Machado	Secretario Ayuntamiento
Atarfe	11203	D. Emilio Fernández Soler	Cabo Guardia Civil
Bérchules	11301	D. Rosendo Sánchez Payán	Médico
Cádiar	11302	D. Fernando López Ruiz	Médico
Caniles	11303	D. Juan Fernández Tafalla	Médico
	11303a	D. Antonio Izquierdo Martínez	Perito Agrícola
Castillejar	10601	D. Andrés Romero Muñoz	Médico
Colomera	10703	D. Juan de Dios Martínez	Maestro
Cúllar Baza	10305	D. Jerónimo Bueno Quesada	Maestro

Cúllar Vega	11207	D. Pablo del Castillo Segovia	Médico
Chimeneas	10205	D. Eduardo Crespo Hoces	Médico
Dólar	10513	D. Antonio Ibáñez López	Electricista
Exfiliana	10514	D. Pedro Pérez de Andrade	Guarda Forestal
Galera	10603	D. Victoriano Sánchez	Agricultor
Gabia Grande	11212	D. Miguel Gámez Rodríguez	Cabo Guardia Civil
Gorafe	10519	D. José Caballero Díaz	Cabo Guardia Civil
Granada	10413 10413a	P. Rafael de Antequera. D. Santiago González Sola	R. P. Franciscano. Comerciante
Guadix	10520	Srta. Pura García Merino	Observadora de la Est. Meteorológica
Güejar Sierra	10414	D. Antonio Guerrero Rendón	Médico
Güejar Faragüit	11003	D. Eugenio Alcántara	Médico
Huélago	10521	D. Cirilo Martínez	Secretario del Ayun- tamiento
Huéscar	10604	D. Manuel Vargas Jiménez	Maestro
Illora	10901	D. Juan Jiménez Ruiz	Electricista
Iznalloz	10709 10709a	D. Manuel Vílchez Montalvo D. José Romo Pérez-Hita	Cura Párroco Carpintero
Jete	11007	D. José Bustos Díaz	Labrador
Lanjarón	11116	D. Manuel Jiménez Zambrano	Médico
Lanteira	10526	D. Marcelino Miranda	Médico
Mala	11214	D. Francisco Carrión Campos	
Moclín	10710	D. Juan Hoces García de la Fuente	Guarda
Montefrío	10902	D. José Guzmán Sánchez	Médico
Motril	11011	D. Manuel Pérez Reina	Vista de Aduanas

EL OBSERVATORIO ENTRE 1906-1940

	11011a 11011b	D. Tomás Galiana Montes Sr. Jefe del Puerto	Industrial Ingeniero
Otura	11215 11215a	D. Antonio Pérez Vílchez. D. Miguel Anguita Ruiz	Telefonista
Padul	10425	D. José Serrano Pérez	Médico
Píñar de Alhama	10200	D. Manuel García Rama	Sargento de la Guardia Civil
Pinos del Rey	11100	D. Francisco Martín Delgado	Cabo de la Guardia Civil
Pinos Puente	11216 11216a	D. Fernando del Charco. D. Raimundo Villanueva Freyre	Médico Maestro

Se incluye una nota en la que dice que se ruega a los lectores del Boletín que indiquen los nombres y señas de cuantos señores sean aptos para Corresponsales Sísmicos en las poblaciones que no contaban con ellos. Además se hizo el enlace del Observatorio a la red Geodésica de Primer Orden y se calculo de nuevo su posición Geográfica que quedó así: Lat. 37°, 11', 24'' N., Long. 3°, 35', 42'' W. Gr. Para la altitud se habían realizado los correspondientes trabajos por la Brigada de Nivelación de alta precisión dirigida por el Ingeniero Geógrafo, D. José María Gil Lasarte.

Al ser restablecida la Compañía de Jesús en España se le hizo entrega del Observatorio al R. P. Provincial de Andalucía. Entre los boletines editados en estos años tenemos los datos de Octubre, Noviembre y Diciembre firmados por D. Félix Gómez Guillamón con una nota que dice:

"Las dificultades impuestas por la guerra ha sido la causa de que quedemos sin papel para el registro de los sismógrafos magneto-fotográficos desde el día 6 de Diciembre de 1936. Esperamos subsanar pronto esta anomalía".

Continúan los resúmenes sísmicos de 1937 en los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo y Junio. En este último mes destaca un terremoto de 11 de Junio que se sintió en Gabia la Grande, Alhendín, Padul y Granada. Otros más pequeños se registraron en los meses de Marzo y Abril de 1938. En el mes de Mayo se incluye una nota que dice:

"Para dar cumplimiento al Decreto de 3 de Mayo de 1938, B. O. número 563 por el cual se restablece en España la Compañía de Jesús y se le devuelven sus bienes, se celebró el acto de restitución del Observatorio Geofísico de Cartuja el día 11 de Agosto de 1938 al R. P. Fernández Cuenca, Provincial de Andalucía, quien en nombre de la Compañía de Jesús acompañado de los RR. PP. Sánchez-Navarro Neumann y Berrocal Dörr y H. Hurtado se hicieron cargo del Observatorio, así como de las nuevas construcciones destinadas a Pabellón Sismológico, despacho y viviendas.

En el acto, que fue sencillo y solemne a la vez, el R. P. Fernández Cuenca hizo constar el acertado trabajo y celo demostrado por el Instituto Geográfico durante su actuación, que se traduce en la perfecta conservación del Observatorio y de la Estación Sismológica, así como todo el instrumental accesorio.

Nosotros agradecemos las amables palabras del R. P. Fernández Cuenca, declarando que sentimos personalmente una gran satisfacción al cumplir la orden de devolución del Observatorio para que en él puedan seguir desarrollando la admirable labor científica en colaboración con el Instituto Geográfico, que durante nuestra permanencia en la dirección del mismo hemos trabajado con el máximo interés y que hemos velado día tras día por la conservación y el mejoramiento de las dependencias y material científico que se nos confió, en cumplimiento de nuestro deber.

Hoy tenemos la gran satisfacción de que se nos reconozca este esfuerzo y con ello nos sentimos generosamente pagados.

El Director del Observatorio. Félix Gómez Guillamón, Comandante de Ingenieros e Ingeniero Geógrafo".

El día 11 de Julio de 1938 se sintió un terremoto en Alhendín, Atarfe, Gabia la Grande, Armilla, Santafé e incluso en Orgiva, el epicentro se sitúa en Sierra Elvira. En el mes de Octubre los días 7, 8 y 9 se sintieron en Armilla cuatro terremotos.

Tanto el P. Sánchez-Navarro como el P. Due elogian la labor realizada por D. Félix Gómez Guillamón durante aquellos años, en palabras del P. Due *"Es justo consignar aquí, no solamente su benemérita labor científica, sino también el esmero en la conservación del material, y mejoras y ampliaciones de locales llevadas a cabo durante ese período"*.

Los datos climatológicos recogidos durante muchos años por el H. Luis Hurtado fueron utilizados y publicados más tarde por D. Félix Gómez Guillamón en su obra *El clima de Granada*. El H. Hurtado comenta en 1941 que había estado trabajando durante más de 30 años en el Observatorio de Cartuja y añade: *"y aún sigo ahora,*

*después de aquellos aciagos tiempos en que la República se incautó de él y me obligó a un paro forzoso. En todos estos años he procurado, y sigo procurándolo, dedicar la mayor actividad a estos estudios climatológicos, con el solo deseo de servir a nuestra Patria, y en ella con especialidad a Granada, ya que en Granada está instalado nuestro Observatorio. Quiera el Sagrado Corazón de Jesús y nuestra amadísima Patrona, la Virgen de las Angustias, a quienes se lo dedicamos, sean de alguna utilidad para todos"*⁹.

La etapa de 1938 a 1941.

Cuando el Observatorio fue devuelto a la Compañía de Jesús por un decreto del Jefe del Estado del 3 de Mayo de 1938, 3er año triunfal, que anulaba el presidencial de expoliación del 23 de Enero, puesto en ejecución el 2 de Febrero de 1932, nos dice el P. Sánchez-Navarro que volvió a reanudar en él su antigua labor científica después de seis años y medio de ausencia, junto a él estaban otros jesuitas y antiguo personal. Dice que había vuelto del destierro y su deseo era el de siempre: trabajar por la Mayor Gloria de Dios. Durante aquellos años de destierro y circunstancias anómalas el Observatorio pasó por penuria de personal. Por el momento (dice) que participaba de las circunstancias de la guerra, influyó en sus publicaciones que volverían a comenzar cuando triunfara la Nueva Cruzada y les permitiera volver a la vida normal.

Gracias a estas notas sabemos que poco antes de la expoliación acababa de construir un barógrafo extra-sensible y planeaba otros nuevos instrumentos, a la vez ensayaba con éxito el aumentar de 15 a 25 milímetros los minutos en las bandas del péndulo invertido Berchmans. En aquellos momentos de 1932 fue privado de toda clase de material y de los sismogramas de más de 5.500 terremotos registrados por los aparatos del Observatorio además de ser desposeídos de la Biblioteca que se había ido formando lentamente. Precisamente cuando estaba realizando el estudio sistemático del archivo, auxiliado por un Padre joven, de excelentes dotes y con la formación científica mas apropiada para el caso. Durante su destierro apenas pudo trabajar algo pues había sido un hombre trashumante en Nápoles, Ruysbroeck (Brabante) y Entre-os-Rios (Douro). Agradece a sus antiguas relaciones que continúen enviando publicaciones al centro y él espera poder hacerlo cuando todo aquello acabe y las circunstancias lo permitan. Sabemos que tiene en esos momentos 72 años, algunas enfermedades, achaques propios de los muchos años, y las circunstancias no permitían por el momento reemplazarle por un investigador más idóneo *"ya que casi solo cuenta en su abono el trabajar con instrumental construido bajo su dirección y por HH. Coadjutores de la Compañía de Jesús, esto*

⁹) HURTADO, Luis, S. J.: *El clima de España*. Granada, 1941, pág. 5.

es españolísimo, un gran puñado de artículos y la experiencia que debiera haber adquirido durante los 25 años que ha dirigido una estación sismológica".

Vuelve a insistir y a recordar que los sismógrafos, sus accesorios y receptores eran de fabricación doméstica, y por tanto jesuita, y en el caso granadino netamente española. Todos los que había en el Observatorio se construyeron entre 1906-1908 y 1931 bajo su dirección por diversos HH. Coadjutores de la Compañía de Jesús, y eran, o modelos nuevos o notables modificaciones de otros existentes, y habían obtenido un Gran Premio en la Exposición Ibero-Americana de Sevilla (1929-1930) por los instrumentos sismológicos y de otras secciones.

Durante la incautación el Observatorio había estado bajo la inmediata posesión del Instituto Geográfico y Catastral, denominándose primero Estación Sismológica y Meteorológica de Cartuja (Granada) y más tarde Observatorio Geofísico, así seguía llamándose en 1938. Tenía este centro tres ecuatoriales, una bastante potente, y otros instrumentos astronómicos que hicieron que todo en conjunto recibiera el premio en la citada Exposición en especial por los aparatos astronómicos. Hay que lamentar que no se habían podido montar las secciones magnética y de electricidad atmosférica y telúrica, que unidas a las ya existentes hubieran caracterizado a un observatorio geofísico. La razón fue por la proximidad de los tranvías de la ciudad que perturbaban las observaciones y las inutilizaban por completo.

Una gran innovación de aquellos años fue la construcción de un pabellón donde cobijar todos los sismógrafos. Estas construcciones sirvieron de casa al Ingeniero Geógrafo Director. Ello llevó a trasladarlos desde el antes Colegio Máximo, que había sido adjudicado a la Universidad de Granada y a los militares, y no había sitio en el Observatorio por lo que se metieron en el nuevo pabellón pues su edificación se hizo pensando en aquella necesidad. El traslado se hizo durante unos 400 metros y se unieron a algunos poco sensibles que estaban en el Observatorio. En el nuevo local, gracias a su acertada construcción con muros dobles y gruesa capa aisladora sobre el cielo raso, se consiguió atenuar los perniciosos efectos de los cambios de temperatura del clima granadino, que pasan aún a la sombra de los 20º centígrados y algunas veces de los 25º en un mismo día. Sin embargo era estrecho porque hacia muy incómodo realizar ajustes en los sismógrafos, cosa que ocurría con harta frecuencia.

La colocación de los sismógrafos, en particular de los de registro magneto-fotográfico con sus lámparas, galvanómetros y receptores, y de los bifilares Cartuja, aunque a primera vista parecía ingeniosa, resultaba hasta artística, pero muy poco

práctica. La mala colocación dificultaba los finos ajustes exigidos por instrumentos tan potentes como delicados, máxime si se quería obtener el máximo rendimiento de que eran capaces.

Aprovechando el traslado al remontar en el nuevo pabellón los sismógrafos de registro mecánico, se proveyó al Cartuja vertical de una nueva masa, reemplazando por 370 kg. de plomo la suya, consistente en un caldero deshecho, relleno de hierro viejo y gravilla y que pesaba 280 kg, a la vez que se le aumentaba la longitud pendular, con notable pérdida de sensibilidad para los temblorcillos cercanos, por no presentarse tan fácilmente el fenómeno de la resonancia, procurado adrede por carecer de amortiguamiento.

Cuando remontaron el péndulo invertido Berchmans se le cambió por otro más homogéneo el contenido del recipiente cúbico de palastro, que le sirve de masa, reemplazando el hierro de deshecho y las piedras por roblones de hierro, con lo que el peso de la masa pasó de los 3.000 a los 4.260 kgs.

El P. Sánchez-Navarro se lamenta de que la cantidad nada despreciable empleada en ambas mejoras no se hubiera gastado en adquirir en la Fábrica Nacional de Armas de Toledo unos muelles como los que tanto contribuyen a que el Wiechert de aquella ciudad sea el mejor del mundo. Dice que cuando montó el Berchmans sólo contaba con una exigua cantidad y le fue preciso utilizar trozos de hoja de sierra puestos dobles, por no ser suficientemente fuertes para soportar tanto peso, y siempre tuvo intención de cambiarlos, pero siempre con la promesa que lo haría después de la construcción de otros aparatos e instrumentos para los que le prometían más dinero y nunca llegaba. También lamenta que a este sismógrafo tan potente no le hubieran colocado entonces el nuevo motor de marcha rápida que tenían en vías de adaptación, bien se lo merecería un sismógrafo como aquel para el estudio de los sismos cercanos. Algunos cambios como la innovación de aplicarle unas piezas de un Wiechert de 200 kgs. de masa, que resultaba muy inferior a los bifilares, le hacía trabajar mal durante no poco tiempo, y se necesitaba un largo y penoso arreglo para que recobrarla la sensibilidad con la que lo dejaron. Algo semejante ocurría con los otros sismógrafos de registro mecánico. Con todo aquello y la falta de amortiguamiento, extensiva a la componente vertical Belarmino, unida a un notable decrecimiento de aumento, por haber dejado demasiado espacio entre los polos conjugados de los imanes inductores, habían perdido la ocasión de registrar no pocos sismogramas y estropeado muchos más, causando una triste desilusión al examinar las bandas, en particular las más recientes. Todo aquello se podía haber evitado máxime cuando quedaron en el Observatorio la persona que cuidaba los sismógrafos y el mecánico que había construido no pocos de ellos. Ante

todo esto dice que han debido influir bastante las anómalas circunstancias por la que atravesó la Compañía de Jesús y algunos de sus miembros, el que el personal que quedó fuera destinado a otros trabajos entre ellos la de construir piezas para montar otros sismógrafos fuera de Granada, múltiples ocupaciones y largas ausencias del Director del Observatorio el Comandante de Ingenieros e Ingeniero Geógrafo, D. Félix Gómez Guillamón, debidas a empleos de incomparable trascendencia.

Antes del 18 de Julio de 1936 habían comenzado a publicarse resúmenes sismológicos, en vez de los más completos, unas veces bajo la forma impresa y otras hectografiada, como publicaban las estaciones más acreditadas, y así lo seguía utilizando la de Toledo, a pesar de las terribles peripecias por que tuvo que pasar durante su largo y doloroso cautiverio. Por todo aquello faltaban datos, no había muchas copias de los telegramas cifrados y el último Boletín provisional solo abarca hasta el fin del año 1937. Por todo ello se ocuparía de los terremotos cuyas gráficas podían suministrar datos importantes y se dejarían para mas adelante otros.

Con todo esto el nuevo Director P. Sánchez Navarro pide a Dios que bendiga su nueva labor, que sea al menos como la antigua y sirva para el crédito científico. Entre las notas manuscritas del Director del Observatorio de La Cartuja encontramos un escrito dirigido al Excmo Sr. Ministro de Hacienda en que se dice:

"Excmo. Sr. El que suscribe, Director del Observatorio Geofísico de Cartuja (Granada), a V. E. respetuosamente expone: Que disfrutando la Estación Sismológica del mismo nombre antes de su incautación, con los demás bienes de la Compañía de Jesús el 2 de Febrero de 1932 de franquicia telegráfica para enviar telegramas cifrados a las otras estaciones sismológicas u observatorios españoles y a la oficina Central internacional de Estrasburgo, espera de V. E. el que se digne disponer le sea concedida la misma franquicia, que espera se haga extensiva a la de correos para las publicaciones científicas del dicho Observatorio, en la forma que ha venido disfrutando, cuando estaba a cargo directo del Instituto Geográfico y Catastral. Favor que suplica a V. E., cuya vida guarde Dios muchos años. Granada"¹⁰.

A estas notas manuscritas siguen otras anotaciones del P. Sánchez Navarro que dicen:

"que con fecha de la aprobación de los presupuestos por las Cortes co-

⁽¹⁰⁾ No pone fecha pero debe de corresponder a 1939.

rrespondientes al año 1932 había sido concedida a la E. Si. de Cartuja (Sección Geofísica del antedicho Obs.) declarada de Utilidad Pública por R. O. de 13 de Octubre de 1920 y que forma parte del antedicho Observ., una subvención 1270 de la cual había disfrutado hasta el momento de su incautación el 2 de Febrero de 1932 y deseando conforme al decreto un año que vuelvan las cosas al estado que tenían antes de dicha incautación". En otra ficha de papel encontramos los siguientes datos muy interesantes que nos permiten saber que había nacido en 1867:

"D. Manuel M^o Sánchez Navarro Neumann natural de Málaga provincia de idem de 72 años de edad estado soltero y profesión sacerdote que habita en Gran Vía num. 28 y residente en Granada. Cédula de 13^a clase n. 4.605. Granada 2 de Diciembre de 1938".

El 30 de Enero de 1939 o III año triunfal el Director del Observatorio Geofísico de Cartuja Manuel M^o S.-Navarro Neumann, S. J. dirige un escrito al Vicepresidente del Gobierno Español que pasamos a transcribir:

"Excmo. Sr. Vicepresidente del Gobierno Español. El que suscribe, Director del Observatorio Geofísico de Cartuja (Granada), en nombre de sus Superiores de la Compañía de Jesús a V. E. respetuosamente expone:

Que disfrutando en el momento mismo de la incautación la Estación Sismológica de Cartuja, que es hoy una de las partes integrantes del antedicho Observatorio, de una subvención anual de 7. 250 pts. en firme, sin más descuento que el 1'2% y para que las cosas vuelvan al estado que tenían antes del 2 de Febrero de 1932, conforme al Decreto del Excmo. Sr. Jefe del Estado de 19 de Mayo del presente año.

SUPLICA a V. E. se digne dar las disposiciones convenientes a fin de que le sea concedida de nuevo la referida subvención, bien que resulte insuficiente para cubrir los gastos de todo el Observatorio, y nos exija algunos sacrificios pecuniarios, a mas de la aportación de personal que prestaremos gustosos por el resurgimiento de la Nueva España. Es gracia que espera alcanzar de la rectitud de V. E. cuya vida guarde Dios muchos años".

Este día Sánchez Navarro Neumann escribe además una carta a don Fernando Martín Sánchez Julia en la que le comunica que nunca hizo mención de la fecha de la R. O. por la que se le daba la subvención y reflexionando sobre aquello pensaba que jamás existió. Un amigo suyo le había puesto en contacto con el Ministerio y hablaron con D. César Silio que logró que entre los presupuestos del Instituto Geográfico se introdujese una partida de 10.000 pesetas con el 1'2% de descuento para la Estación Sismológica de Cartuja. El Instituto ya conocía los trabajos y publi-

caciones de la Estación de Cartuja entre ellos el envío de telegramas, copias de sismogramas, etc., que habían realizado con los señores Galbis, Rico, García de Lomas, Navarro, Rey Pastor y otros hasta el extremo que el Observatorio de Cartuja logró ser reconocido de Utilidad Pública por el Excmo General D. José de Elda por R.O. de 13 de octubre de 1920. Este General ya había muerto. El presupuesto del Ministerio con el del Instituto Geográfico se presentó a las Cortes y fue aprobado. Se envió una comunicación del Director General en la que le anuncia a Sánchez Navarro Neumann que tiene concedida la subvención. Al poco tiempo D. Martín Lasarte Eraso fue habilitado por el Observatorio para cobrar en Granada el 2º y 3º trimestre de la subvención del año 1922. En el primer presupuesto de la Dictadura se rebajó un 25% todos los gastos extraordinarios del Instituto Geográfico y la subvención que correspondía a la Estación de Cartuja se quedó en 7.250 pesetas en firme y repartida en cuatro trimestres.

Le comunica en esta carta que no habían podido obtener información en la Gaceta pero que le envía los certificados de la Delegación de Hacienda para que sirvan de comprobantes de haber cobrados aquellas subvenciones. También le comunica que el Observatorio había recibido distintos nombres y en aquellos momentos se le conocía como Observatorio Geofísico de Cartuja aunque por sus tres ecuatoriales y magníficos aparatos se le debería llamar también Astronómico. Además, la aviación española requería la información del Servicio Meteorológico y el que hay en el Observatorio era de gran valor pues mandaban seis partes cada día a los distintos centros militares. Por todo aquello la subvención debería de ser para el Observatorio y sus distintos servicios. Le pide que si puede aumentar la subvención lo haga pues le recuerda que desde que tomó posesión quedaron libres del antiguo personal que estaba en aquellos momentos en Málaga en la Estación Sismológica y el Estado se ahorra más de 30.000 pesetas al año ya que la Compañía de Jesús suministraba todo el personal del Observatorio y los gastos de conservación y mejora del edificio y demás aparatos.

El 11 de Marzo de 1939 Antonio Due escribe a Navarro Neumann y le comunica que había consultado con el R. P. Superior la nueva redacción de la instancia y la había aprobado plenamente pero que una vez redactada la enviase para que desde allí el P. Superior la remitiera a su destino el lunes sin más tardanza. Le remite unas notas sobre la aprobación de las Cortes y la inclusión en los presupuestos de 1922 de una subvención de 7.250 pesetas con el descuento del 12%. Se había disfrutado de aquella hasta la incautación del 2 de Febrero de 1932 hasta el 19 de Mayo de 1938 por el decreto del Jefe del Estado donde se ordena que vuelvan las cosas al estado que estaban antes de la incautación.

El 18 de Agosto D. Félix Campos Guereta escribe al padre Due comunicándole que había recibido su carta del 12 del corriente, le agradece la disposición que tiene como director del Observatorio. Le dice que lamenta el estado de salud del padre Manuel María Sánchez Navarro y desea que se restablezca pues sus trabajos y entrega son dignos de admiración y de respeto.

El 6 de Septiembre de 1939 el Padre Ignacio Romaña, abogado, escribe al Padre Antonio Due desde Madrid, calle Génova, 21, diciéndole que le había escrito el Provincial sobre la subvención del Observatorio de Cartuja. Le informa de varios asuntos entre ellos las variadas gestiones desde que se hizo la entrega del centro a la Compañía de Jesús y poder obtener subvención bien ordinaria o bien extraordinaria. Todo ello lo había tratado con Vicepresidencia y el Sr. Serrano, con el Instituto Geográfico y con otras instituciones y le habían dicho que sí pero había problemas para aplicar la solución correcta. Algo parecido ocurrió con el Observatorio del Ebro donde estaba de Director un hermano de Ignacio Romaña. Allí en el Ebro se habían movido y algunas instituciones como las Diputaciones de Tarragona y Barcelona habían ayudado bastante. Los del Observatorio del Ebro tenían la ventaja de que había sido asolado y devastado el local y los aparatos por lo que podían solicitar una subvención extraordinaria. Le comunica que estaba trabajando para la subvención del año próximo y para ello le dice que desde Granada escriban al Instituto Geográfico para que los apoye y les aumente la subvención pero que duda que el aumento sea posible. Otra cosa es dirigirse al Instituto de España que era el que podía dar algo pues contaba con abundante dinero, allí estaban Palacios y Sainz Rodríguez. Otra cosa era dirigirse a la Dirección General de Regiones devastadas y solicitar ayuda pues él había hablado con el Director General y había sacado una buena impresión de la entrevista. Sin embargo, había un problema pues el Observatorio de Cartuja no había sufrido con la guerra ni había sido devastado que es lo necesario para lograr el dinero. Había que hacer una instancia y presentar una prueba pericial de los daños y lo que costaba poner en marcha el Observatorio afectado. Si se demuestra es fácil lograr el dinero. Le había hablado al Director y le pidió 15.000 pesetas, pero había que justificarlas y contar con un informe del Instituto. Cuando había examinado todo lo antecedente se encontró con un documento en que se hacía constar que el Instituto entregaba el Observatorio de Cartuja en buen estado. Ello obligaba a pedir ayuda a los amigos y entidades más próximas tanto regionales como locales y preparar todo para los presupuestos del año siguiente. Otra cosa que se podía hacer era pedir al Instituto Geográfico una ayuda puesto que en sus presupuestos anteriores se incluía al Observatorio de Cartuja y la mayoría de los capítulos habían sido prorrogados.

El 26 de este mes vuelve a escribirle Ignacio Romaña a Antonio Due diciéndole que el tema de la subvención era difícil de obtener en aquellos momentos, pero si en los del año siguiente. Le dice que la instancia entregada en Burgos posiblemente se hubiera extraviado había que hacer otra dirigida al Ministro de Instrucción o al Subsecretario de Presidencia acompañada de cuantos documentos y pruebas pudiera conseguir. La instancia debía tener póliza de 1'50 pesetas. Debía remitir el mismo documento al Ministro y al Director del Instituto Geográfico para que apoyen la petición. Cuando esté todo acabado que le remita los documentos a su dirección para que su secretario los entregue y otra copia para el Ministro de Educación la entregaría personalmente Ignacio Romaña una vez que volviera de un viaje a Murcia, Alicante y Valencia.

Encontramos varias hojas manuscritas con apuntes sobre las labores que realiza el Observatorio para solicitar la subvención de la administración central. Las notas están redactadas por el Padre Due Rojo que desempeñaba en estos momentos el cargo de Director del Observatorio. Dice que tiene las secciones de Meteorología, Astronomía y Sismología y que desde 1902 estaba dirigido por la Compañía de Jesús. La sección de Meteorología estaba dotada de todos los aparatos requeridos para el servicio algunos de los cuales habían sido construidos y perfeccionados para sus aplicaciones científicas en los talleres del Observatorio. Se venía publicando el Boletín Mensual y se intercambiaba con los principales Observatorios del mundo. Se conservan materiales de observación de 38 años que había servido para publicar estudios y artículos diversos en revistas españolas y extranjeras. Los gráficos demostrativos se han presentado en algunas exposiciones provinciales donde se les dieron algunos premios. Las suministran a la industria, agricultura, sanidad y a los militares. Así desde 1926 se envían mensualmente al Servicio Agronómico de la Provincia, tarjetas postales con franquicia a la sección Hidrográfica del Guadalquivir y trimestralmente al Servicio Nacional de Estadística y a la Jefatura del Aire en Zaragoza. Durante los últimos tiempos de la guerra se enviaba diariamente el Boletín Meteorológico y Previsión del tiempo al Estado Mayor del Ejército del Sur. En la actualidad se transmitían partes diarios cifrados completos a las tres de la madrugada a la Jefatura del Aire en Zaragoza y se les envía un telegrama urgente. También se envían cuatro partes a las horas reglamentadas 7,30, 10,30, 13, 3 y 18 al Aeródromo de Armilla (Granada) y desde allí se retransmite a Sevilla. Además, se envía diariamente a la prensa local. Todos estos servicios se vienen prestando sin recibir a cambio retribución ni subvención alguna. Solicita ayuda para material y publicaciones, así como el sueldo de dos empleados y franquicia para la correspondencia oficial del Observatorio. Además, muchas personas y entidades solicitan observaciones referentes a temperaturas, lluvias,

vientos, etc., necesarias para su trabajo y siempre se les ha facilitado.

En la sección astronómica describe los aparatos y dice que se han publicado trabajos excelentes sobre la actividad solar pero las estadísticas tuvieron que ser interrumpidas por falta de medios materiales.

La estación Sismológica que fue declarada de Utilidad Pública el 13 de octubre de 1920 es la que mayor actividad ha desarrollado pues se han publicado 250 trabajos y artículos de revista, han asistido a congresos internacionales y se han desarrollado trabajos científicos y numerosas conferencias. Las observaciones sísmicas y la superioridad de estas se pone de manifiesto en el boletín que se publica sin interrupción y se tiene una gran calidad en los sismógrafos ideados y construidos por el Padre Manuel M^a Sánchez Navarro que ha dirigido el centro durante más de 30 años y que ha cesado a causa de su quebrantada salud.

Desde 1906 hasta el presente con el intervalo de 1932 a 1939 se ha mantenido el servicio de registro sismológico con aparatos de construcción española que había merecido elogios en el extranjero y que habían elevado el prestigio de la Sismología española haciendo figurar a España en lugar preferente entre muchos servicios sismológicos extranjeros. Se había estudiado la sismicidad del suelo español y se construyó el sismógrafo de 3000 Kgs de modelo Wiechert modificado con el que se obtuvieron gráficos notables de terremotos españoles. No tiene subvención y además se interrumpe el trabajo al no poder tener material magneto-fotográfico al no obtener licencia de importación. El gasto calculado de la estación Sismológica es de 8.000 pts calculados sobre el año 1931 y prescindiendo de los gastos de correo. Teniendo en cuenta todos estos trabajos y servicios se concedió por el Estado al Observatorio para el año 1922 una subvención de 10.000 pts que quedaron reducidas a 7.250 pts en firme y se les suprimió del todo en 1931 por la República. Ahora se hacen todos los servicios sin recibir ayuda ni retribución por lo que se habían suprimido o restringido muchos de ellos. Juzgando que todos los servicios y gastos ascenderán anualmente a 25.000 pts suplica al Director General del Instituto Geográfico que le conceda la cantidad solicitada y se especifique esta con destino al Observatorio de Cartuja.

El 11 de Octubre de 1939 el jesuita Ignacio Romaña escribe al Padre Due Rojo y le comunica que este día había presentado la instancia para que se incluya la subvención en el año próximo aunque le dice que no sabe si le concederán el aumento pedido aunque cuentan con el apoyo del Instituto Geográfico.

El 6 de Noviembre el Ingeniero Jefe de la Sección I del Instituto Geográfico y Catastral de Madrid de la Presidencia del Gobierno escribe a la estación sismológica y climatológica de Malaga contestando un escrito que estaba asentado con el núm. 65 de fecha de 27 de Octubre respecto a la subvención del Observatorio de Cartuja de Granada. Le dice que todas las afirmaciones de la instancia responden a la realidad y son dignas de tener en cuenta. La Estación Sismológica es lástima que se encuentre como dice el solicitante sin funcionar apenas a pesar de los excelentes aparatos que tiene. La sección de Meteorología es de un gran valor por el instrumental como por los datos y archivo de 38 años, datos que el Ingeniero Jefe conoce perfectamente porque le valieron para escribir un libro sobre la climatología de Granada que se publicó en 1933. La cooperación a la protección de vuelos de Aviación debe ser tenida en cuenta por el Ministerio del Aire del cual depende el Servicio Meteorológico. La estación de Cartuja se considera como Sismológica y Climatológica igual que las otras del Instituto. En cuanto a la sección Astronómica es la que menos importancia tiene y por tanto corresponde informar sobre ella al Jefe del Observatorio Astronómico de Madrid.

La sigue diciendo que desde Febrero de 1932 a Agosto de 1938 se hizo cargo del Observatorio de la Cartuja el Instituto Geográfico y no dejaron de funcionar ninguna de sus estaciones y los gastos ocasionados durante este período estaban en el Instituto como los haberes de personal y muchos funcionarios fueron trasladados desde la Estación Sismológica de Almería y en aquellos momentos estaban en Málaga. Todo ello puede servir para ver los gastos de una estación con sismógrafos de registro fotográfico y así lo remití con el presupuesto el 30 de septiembre pues el aparato Victoria estaba en Málaga y es el único funcionando en su clase en España.

En resumen, le comunica que se debe de acceder a lo solicitado, de acuerdo a la cuantía que determine el Director General, y lo que permitan las disponibilidades económicas del presupuesto del Instituto Geográfico, quedando el Observatorio de Cartuja sometido a la natural inspección y publicación de sus boletines dentro de las normas establecidas por el Instituto, fijando las zonas macrosísmicas y concediendo franquicia telegráfica como tienen las demás estaciones.

El 19 de Noviembre de 1939 escribe el padre Romaña a Due comunicándole que recibió su carta de 15 del corriente y le agradece el envío del informe presentado a la Dirección General, además le dice que estuvo con el Director del Instituto y apoyaba las subvenciones pedidas.

El 4 de Diciembre el Director General, D. Félix Campos Guereta Martínez, escribe al padre Antonio Due comunicándole que el Subsecretario de la Presidencia le remitió la instancia solicitando una subvención de 25.000 pts para el Observatorio. Se le destinan según la Dirección General la cantidad de 20.000 pts. si las condiciones económicas lo permiten. Antes de todo ello en el anteproyecto de presupuestos de 1940 se incluyeron 10.000 pts y así fue comunicado a Hacienda.

El 14 de Febrero de 1940 el padre Ignacio Romaña escribe a Due diciéndolo que no le contestó su carta de 2 de Enero por los viajes realizados pero que le comunica que la subvención no se ha aumentado sino que se mantiene la de 7250 pts del Instituto Geográfico. Le dice que el Instituto propuso subvención mayor para la Cartuja y el Ebro *"pero el Ministerio de Hacienda que ha resultado un podador inigualable, ha dejado a La Cartuja con la anterior consignación y ha suprimido totalmente la del Ebro, habiendo oído que se le iba a dar algo por regiones devastadas"*. El 20 de febrero escribe otra el padre Romaña donde le comunica que contesta una de 17 del corriente y le dice que el Director del Instituto había escrito a Due Rojo y estaba muy interesado por el Observatorio de Granada. La señala el nombre, D. Fernando Martín Sánchez, y la dirección para que le escriba. Le explica que le parecen bien las gestiones que piensa hacer y lo que había hablado con su hermano. Respecto al cobro de la subvención se realizaría en Hacienda. En cuanto a lo que le pregunta que se informará y le dirá todo respecto a si se paga por trimestres vencidos o adelantados, concesión en firme o a justificar, etc. El 20 de marzo otra carta del padre Romaña en la que le informa de cómo van las gestiones y la adquisición del papel fotográfico que le interesaba pues pensaba tramitar este papel por medio del Sr. Martín Sánchez.

En unas notas manuscritas encontramos los trabajos del Observatorio de Cartuja. En la sección meteorológica las observaciones y registros diarios, publicación de boletines mensuales y publicaciones eventuales de artículos en el boletín y en revistas científicas. Servicio de información diaria a la prensa y Radio Granada, parte dos veces al día al Aeródromo de Armilla (sección Militar) y a la Jefatura del Aire por conferencia telegráfica a las 3 de la madrugada, nota mensual a la prensa y radio sobre los acontecimientos meteorológicos más importantes del mes y un resumen mensual. En la sección astronómica observaciones eventuales de actividad solar y astrofísica más nota mensual a la prensa y radio.

Se realizan en las distintas secciones una cooperación con el Instituto Geográfico de acuerdo al plan establecido. Con todo ello pide la subvención. Se dice que la subvención es en firme y se acompañará a la solicitud el plan de trabajo a desarrollar sin acompañar ninguna justificación.

El 25 de Marzo de 1940 se redacta una instancia del padre Due al Director General del Instituto Geográfico, Estadístico y Catastral de Madrid en la que se dice que Due Rojo es miembro de la Compañía de Jesús, natural de Málaga, de 42 años de edad, estado soltero y profesión religioso, cédula personal de 6ª clase, núm. 66.905, expedida en Granada el 3 de noviembre de 1939. Expone que desempeña el cargo de Director del Observatorio de Cartuja en sus tres secciones de Meteorología, Astronomía y Sismología y que trabaja en colaboración con el Instituto Geográfico por lo que le suplica le sea concedida la subvención de 7.250 pts para atender los gastos de material y personal subalterno del Observatorio.

El 13 de Abril de 1940 D. Fernando Martín-Sánchez Juliá escribe al padre Due diciéndole que el padre Romaña la paso la instancia de la subvención concedida y que había realizado los trámites para que se pagara. Le dice que había tachado la palabra concedida y puso librada pues en efecto estaba concedida y así figuraba en el Capítulo III, artículo 4º, grupo único, concepto III del presupuesto del Instituto Geográfico. Las nuevas instancias deben de contener estos datos.

El 23 de Abril de 1940 se le manda por parte del Director General D. Félix Campos Guereta una carta en la que le comunica que ha ordenado que la subvención sea tramitada en la Sección de Contabilidad y se ordene que la delegación de Hacienda de Granada libre trimestralmente la cantidad correspondiente.

El P. Sánchez-Navarro Neumann dejó una gran impronta en el mundo de la Sismología. El P. Due recordando su figura dice que *"en frase de un ilustre profesor, siempre aportaba algo nuevo y útil, alguna orientación provechosa para el trabajo de los especialistas, fruto de un estudio constante unido a una larga experiencia"*.

En 1940, un año antes de la muerte del P. Sánchez-Navarro, ocupó el puesto de Director, por larga enfermedad, el P. Antonio Due Rojo. Poco después el Observatorio fue incorporado al Consejo Superior de Investigaciones Científicas con lo que inicia una nueva etapa que daría esplendor a la ciencia sismológica y sobre todo a este centro granadino.

El 13 de Enero de 1941 D. Félix Campos-Guereta Martínez envía al padre Due un ejemplar del Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid.

En una nota manuscrita el padre Due recoge unos apuntes para elevarlos a Madrid, nos dice que es natural de Málaga y tiene 43 años, licenciado en Ciencias Físicas, cédula personal 64.391, clase 13?, expedida en Granada el 26 de septiembre de 1940, le adjunta el plan de trabajos científicos del Observatorio de Cartuja. En Meteorología las observaciones diarias, partes como ha señalado antes, información de prensa y radio, respuestas a consultas meteorológicas del Ayuntamiento de Granada, delegación de regiones devastadas y otras entidades privadas, conferencias de Meteorología a los guías de montaña, datos al Servicio Meteorológico Nacional, etc. Se detallan los trabajos de las otras secciones, pero no aporta cosas nuevas del plan de trabajo que ya expuso en otras ocasiones. Todos estos datos quedaron recogidos en la instancia que se elevó el 23 de Junio de 1941.

A partir de 1940 cambia el organigrama del Observatorio pues encontramos un Director y dos ayudantes en Meteorología y Sismología. Así en 1940 de Director está el P. Due Rojo que ostenta el cargo hasta 1965 que aparece el P. Teodoro Vives Soteras, en 1969 el P. Matías García Gómez. Los ayudantes en Meteorología son en 1940 el H. Luis Hurtado, en 1948 el H. Bonifacio Torralbo, en 1951 el H. Gabriel Serrano, en 1957 el H. Pedro Martínez Martos, en 1965 el H. Antonio Castillo Fernández y en 1969 el H. Manuel Merlo Vallejo. En la sección de Sismología encontramos en 1940 al H. Juan F. Martínez Dornacu, en 1950 al H. Carlos Fernández Dorador, en 1951 D. José Burgos, en 1966 al H. Manuel Merlo Vallejo y en 1969 D. Gregorio Cruz Hernández¹¹.

En la etapa de la Universidad desde 1971 encontramos como Directores desde 1971 a 1973 a D. Fidel J. López Aparicio, en 1973 a D. Rafael Infante Macías, 1974 a D. Juan A. Vera Torres, 1978 a D. Manuel Rodríguez Gallego y 1979 a D. Bernardo García Olmedo. Como Secretario General desde 1971 a 1974 encontramos a D. José María Quintana González. Jefe de Astronomía desde 1971 a 1979 esta D. Gerardo Pardo Sánchez. En Meteorología desde 1971 a 1973 encontramos a D. Rafael Infante Macías, desde 1974 a 1979 a D. Rafael Fernández Rubio y ayudantes D. Manuel Merlo Vallejo desde 1973 a 1979 y D. Leonardo Navarro Alonso desde 1973 a 1977. En Sismología desde 1971 a 1979 está D. Luis Esteban Carrasco y de ayudantes a D. Carlos López Casado desde 1971 a 1978, desde 1978 y 1979 encontramos a D. Fernando de Miguel Martínez y a D. Francisco Vidal Sánchez.

(¹¹) El personal de Astronomía desde 1971 a 1975 era: D. José María Quintana González, D. Ángel Rolland Quintanilla, D. Pilar López de Coca Castañer, Doña Mercedes Prieto Muñoz, D. Miguel Giménez Yanguas, D. Antonio Megías López, D. Eduardo Caballero Alcázar, D. Eduardo Battaner López, D. Rafael Garrido Haba, D. Eduardo Pérez Rodríguez, D. Nicolás Pérez de la Blanca Capilla y D. Juan M. Hernández Álvarez de Cienfuegos. El personal dedicado a Meteorología en Sierra Nevada era: D. Antonio de Zayas y Fernández de Córdoba, D. José Luis López y Doña Dolores Fiñana Blanco.

EL OBSERVATORIO ENTRE 1906-1940

EDICIÓN FACSIMIL DE LA OBRA

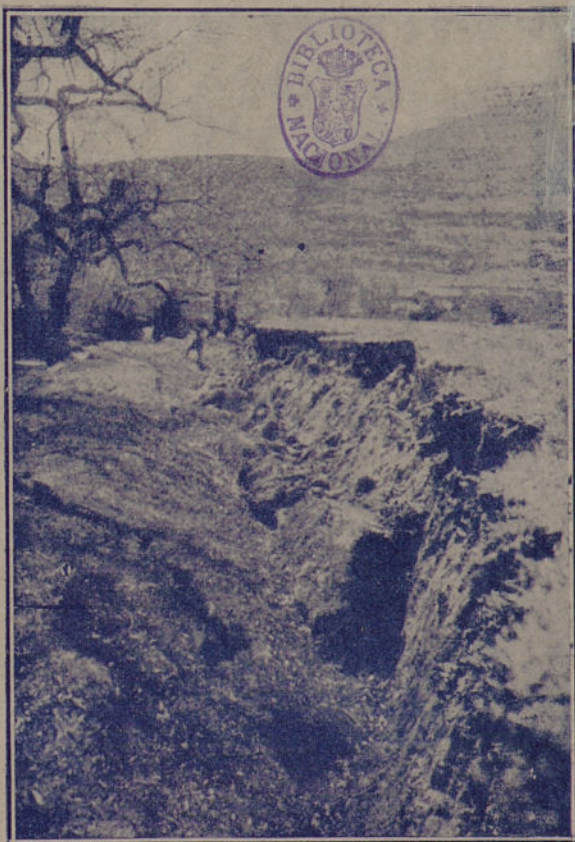
TERREMOTOS, SISMOGRÁFOS Y EDIFICIOS

DEL REVDO PADRE MANUEL MARÍA SÁNCHEZ-NAVARRO NEUMANN

IHS

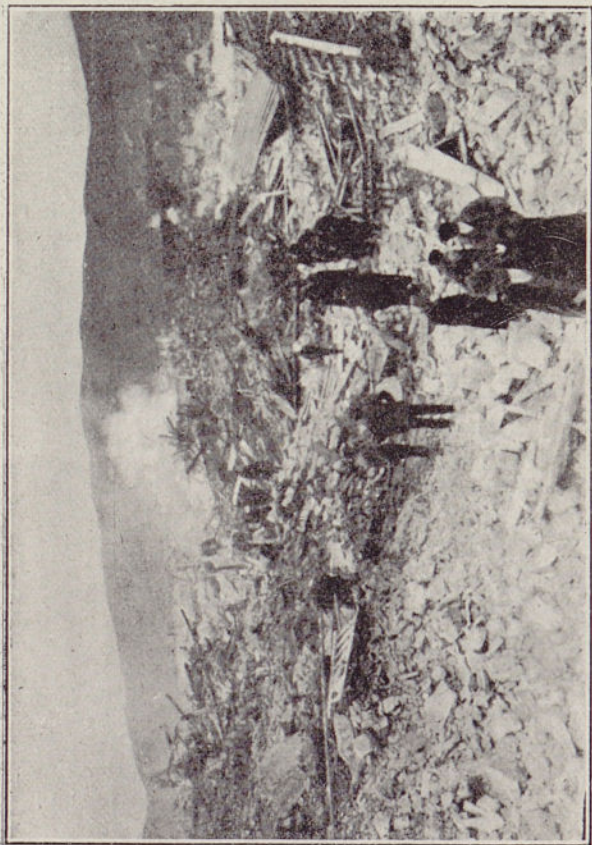
P. Manuel M.^a S. Navarro Neumann,

Director de la Estación Sismológica de Cartuja (Granada).



TERREMOTOS
SISMÓGRAFOS
Y EDIFICIOS

TERREMOTOS, SISMÓGRAFOS Y EDIFICIOS



Lám. I.—Ruinas de Avezzano; apenas ha quedado piedra sobre piedra.



TERREMOTOS

R 51719

SISMÓGRAFOS Y EDIFICIOS

POR EL

P. Manuel M.^a S. Navarro Neumann, S. J.

Director de la Estación Sismológica de Cartuja (Granada).



MADRID

941—IMP. DE GABRIEL LÓPEZ DEL HORNO
San Bernardo, 92, teléfono 1922

1916

Con las licencias necesarias.

ES PROPIEDAD



TERREMOTOS, SISMÓGRAFOS Y EDIFICIOS

(Dedit Vocem Suam, mota est terra.)

UNO de los espectáculos más aterradores que ofrece la Naturaleza, cuando con sus terribles amenazas parece querer prevenirnos a que evitemos el único mal absoluto, aquel cuyo castigo no tiene fin, es cuando al estremecerse en extrañas convulsiones, agita con violencia espantosa una populosa ciudad a la manera que lo hacen las encrespadas olas del mar embravecido con la débil barquilla, esa misma tierra, que en aquellos momentos en nada merece el epíteto de firme con que la designan los marinos. Bamboléanse los edificios, cáense y rómpense los objetos, cuartéanse y, al fin, derrúmbanse los muros, encontrando a la vez muerte y sepultura entre los escombros muchos de los míseros habitantes, mientras que los supervivientes, cegados y semi-asfixiados entre las densas nubes de polvo, en medio de espantosas tinieblas, solo acá y allá parcialmente desvanecidas por la

sinistra llama del incendio, presa del más profundo pánico, y apenas a medio vestir, huyen a la desbandada, sin saber adonde ni por donde, hallando a cada paso el camino obstruido por altísimas barricadas de informes trozos de edificios, muebles y objetos revueltos en increíble desorden. Mientras tanto, el suelo se sigue estremeciendo, y les persiguen en su fuga como con una granizada de proyectiles, las tejas y pizarras que ruedan de los tejados, los pedazos de cristal que se desprenden de las vidrieras y otros mil objetos, a más de los cascotes y aun trozos de muros, que tal vez les causen, no sólo heridas, sino que también la muerte, y aun les sirvan de pasajera tumba, y todo esto en medio del estrépito producido por los derrumbes y la caída y rotura de objetos, los crujidos del maderamen, los ayes y lamentos, las voces pidiendo auxilio o llamando a seres queridos y aun también por el del mismo terremoto, que con horrisono estallido hace retemblar su potente voz, cual apocalíptica trompeta, contribuyendo poderosamente a la desolación.

Al tiempo que esto ocurre, ábrense profundas quebradas en tierras y peñas, prodúcense derrumbes importantes en los vecinos montes, de cuyas cimas desgájanse rocas, que van a caer al fondo de los valles y de cuyas laderas despréndense y deslízanse las tierras con árboles y edificios. Algunos de estos quedan enterrados, a la manera que lo fueron las tiendas de Datán, Abirón y sus secuaces, con sus míseros habitantes, en medio de estraños hundimientos del terreno; contornéanse las vías férreas como si fueran gigantescas serpientes, destrúyense los puentes, cual si los estrujasen entre dos manos colosales, al estrechar la distancia que mediaba entre las orillas; prodúcense escalones, con descensos o elevacio-

nes muy considerables de enormes fajas de terreno, y otros fenómenos importantísimos, que holgaría mencionar aquí, y de intensidad decreciente con la distancia, reducidos, finalmente, a simples efectos sobre aparatos especiales, capaces de inscribir aun en los antípodas del sitio donde haya ocurrido la catástrofe, el allí debilísimo estremecimiento del suelo, incapaz de impresionar directamente nuestros sentidos.

El sismólogo, sin salir de su gabinete de trabajo, tal vez situado a varios millares de kilómetros del sitio donde acaba de acaecer la catástrofe que acabamos de esbozar a grandes rasgos (sin faltar, empero, a la verdad con exageraciones retóricas, pues lo antes expuesto, no sólo ha pasado y más de una vez y en diferentes sitios, sino que, triste es el decirlo, volverá a repetirse una y otra), al analizar una de esas bandas de papel ennegrecido cubiertas de signos extraños y que, al verlos trazar por el estilete inscriptor, le hubieran traído a la memoria el misterioso dedo que inscribía con caracteres desconocidos las terribles amenazas que hubieran de cumplirse antes de que terminase el sacrilego festín de Baltasar, ve en ellos el relato de un cataclismo. Con el auxilio de la regla milimétrica, tablas numéricas, mapas geográficos y la insustituible regla de cálculos, averigua a qué distancia y en qué dirección tembló la tierra, precisa el sitio, determina el trabajo desarrollado por el terremoto y aun en muchos casos puede avanzar algo sobre sus probables efectos, y aun tal vez con bastante aproximación con qué fuerza se ha estremecido la tierra, esto es, cuál haya sido la máxima aceleración en el epicentro. Ese mismo gráfico o *sismograma* le dará idea de las dimensiones del accidente geológico principal que entró en jue-

go, y al presentar inscritas ondas de diferentes clases llegadas las unas en pos de las otras, le ofrecerá un medio para sondear ese interior de la Tierra que tantos secretos oculta en sus misteriosas entrañas.

Finalmente, el estudio de las ruinas y de los edificios y construcciones que hayan permanecido incólumes o hayan padecido más o menos, la situación especial de los mismos, etc., dará abundante material para deducir reglas, cuya discreta aplicación servirá, si no para evitar en absoluto los daños, al menos para aminorarlos considerablemente.

Aquí tenemos trazado el plan de esta obrita, en la que discurriremos sobre los problemas más interesantes de la Sismología, a la que presentaremos en su estado real, que es el de formación, con sus brillantes triunfos, sus problemas en vía de solución y sus actuales enigmas, prefiriendo ceñirnos a unos pocos de los puntos principales, omitiendo otros que necesariamente deberíamos tocar al escribir un *manual*, para presentar, en reducido espacio, algo de la Ciencia atractiva y lozana de los boletines, revistas profesionales y memorias académicas, y no mucho condensado de la que pudiéramos llamar *momificada* de un resumen impersonal.

Aunque nos dirijamos al público ilustrado en general, con objeto de que puedan utilizarse estas páginas con fin didáctico, no hemos vacilado en introducir numerosas fórmulas y explicaciones, quizá un poco técnicas, tanto en lo que pudiéramos apellidar *Sismología pura*, como en sus aplicaciones prácticas, en las que insistimos por su extremada importancia y por ser poco conocidas. Cuidamos, sin embargo, de que las fórmulas sean en su inmensa mayoría elementales, y todo el conjunto asequible a

las personas que hayan recibido una mediana educación científica, esto es, la que se da de ordinario en los centros de segunda enseñanza y en sus análogos.

Ahora que las Estaciones Sismológicas se multiplican cada día, y que no sólo los centros científicos más directamente relacionados, sino aun los mismos Gobiernos y el público inteligente se interesan por el desarrollo de estos estudios, de capital importancia en los países visitados con alguna frecuencia por el terrible azote de los terremotos, países entre los cuales figuran los de la América latina y la Península Ibérica, nos ha parecido el momento más oportuno para reunir nuestros apuntes y escribir esta obrita, animándonos grandemente a ello el no existir aún otra análoga en castellano y el deseo de contribuir en la medida de nuestras débiles fuerzas al progreso científico de nuestra raza. Al vulgarizar conocimientos utilísimos, intentaremos no pierdan su carácter, condensando en pocas páginas lo que la lectura asidua de libros, folletos y revistas y la interpretación de muchos centenares de gráficos y el manejo y construcción de numerosos instrumentos, en gran parte nuevos modelos, así como la explicación de un cursillo de Sismología a varios de nuestros jóvenes religiosos nos han enseñado. En una palabra: los conocimientos más importantes adquiridos en los diez años que llevamos de Director de una Estación Sismológica, puestos al alcance del lector.

Partiendo de la firme convicción de que la *verdad* es la luz y el *convencionalismo* una de las más peligrosas nieblas que tienden a ocultarla, exponremos en todo caso franca y lealmente nuestra opinión. Quizá aparezcamos duros y exclusivistas, pero jamás, en cuanto con el auxilio de Dios Nuestro Señor podamos evitarlo, apasionados.

Juzgaremos los hechos por su actual valía, no por la que pudieran haber tenido; discutiremos las teorías y opiniones, sin entrar nunca en la cuestión personal, máxime al tratarse de significadas personas, que si no fuesen separables de sus escritos, renunciaríamos, desde luego, a la tarea comenzada; tal es el respeto que nos merecen.





PRIMERA PARTE

Los terremotos.

CAPITULO PRIMERO

El movimiento sísmico estudiado en sí mismo: Amplitud y período, máxima aceleración, duración y carácter.

Como lo indica su mismo nombre (1), el *terremoto* no es más que un movimiento de la tierra, si bien no se suele aplicar esta denominación más que a los movimientos rápidos y sensibles, cuya intensidad, ligada con sus efectos varía dentro de límites amplísimos. Aunque de ordinario, y sobre todo en América, se apelliden *temblores* (2) a los terremotos débiles, lo mismo merece el calificativo de terremoto el movimiento apenas sentido en medio del más completo reposo que el capaz de producir las mayores

(1) Del latín: *terrae motus* = σεισμος (*seísmos*) en griego, de aquí el nombre de Sismología que se da a la ciencia que los estudia.

(2) Y también *remezones*, aunque esta frase designa con más propiedad a las sacudidas débiles o medianas que siguen de ordinario a las violentas, y cuyo equivalente es *réplicas* o sacudidas secundarias.

catástrofes, a la manera que tan viento es el que agita imperceptiblemente el follaje como el que arranca de cuajo la corpulenta encina. Más aún: la misma cantidad de movimiento que en unas ocasiones no nos causa la menor inquietud podría en circunstancias diversas llenarnos de espanto y originar graves perjuicios. Evidente ejemplo de esta aseveración nos lo da el *traqueteo* inevitable que sufrimos durante un viaje en el tren y hasta en el tranvía, y que por conocido e inofensivo apenas nos llama la atención; pues bien, esos saltos que casi nos levantan del asiento y esas oscilaciones a uno u otro lado que no pocas veces exceden los diez y aun quince centímetros de amplitud por un par de segundos y aun menos que dura cada balance, corresponden a movimientos comparables y hasta superiores a los que se sienten durante los terremotos más violentos, y si de hecho sacudiesen a una ciudad construida a la europea, esto es, con piedras y ladrillos, con esa misma violencia, que dentro del vehículo nos parece un poco molesta, no tardaría muchos segundos en convertirse en un montón de ruinas.

Considerado el terremoto como un movimiento, hay que estudiar en él, primero, su intensidad, y después su duración y carácter.

El criterio científico para apreciar debidamente la intensidad de un movimiento se halla basado en la amplitud y ritmo del mismo movimiento, esto es, en la máxima aceleración producida. En los terremotos esa máxima aceleración será la de las partículas del suelo.

El movimiento de que nos ocupamos puede considerarse como rítmico, y, por consiguiente, si llamamos *A* a la máxima desviación hacia un lado u otro de una par-

ticula del suelo, T al ritmo o periodo completo del movimiento y α a la máxima aceleración, tendremos que

$$\alpha = \frac{4\pi^2 A}{T^2}, \text{ y aproximadamente igual a } \frac{39,5 A}{T^2}, \text{ aun-}$$

que ordinariamente se simplifique más aún, admitiendo por valor de α la cantidad $\frac{40 A}{T^2}$; fórmula fácil de recordar y de calcular, y de suficiente exactitud para el caso.

Más adelante veremos varios medios para determinar la máxima aceleración, ya sea por medio de la caída o rotura de objetos, ya con auxilio de los gráficos.

En la fórmula de la máxima aceleración A , o sea la amplitud, mediría hasta 80 centímetros, según el profesor Emilio Oddone (1), en algunos sitios cuando el terrible terremoto de Avezzano, si bien rarísima vez llegue a 16 centímetros, cifra aproximada del máximo cuando el de Valparaíso del 17 de Agosto de 1906, ni tampoco sea frecuente alcance los 10, como acaeció con los de San Francisco del 18 de Abril del mismo año, y Messina, 28 de Diciembre de 1908. En el mismo de Avezzano, según el autor citado, los 80 centímetros aludidos sólo se presentaron en alguno que otro sitio de terreno incoherente, al que califica de *anelástico*, mientras que en suelo ordinario no pasó de 10, de unos pocos en el duro y de uno solo en la roca. En general, con una amplitud de un centímetro el movimiento sísmico rara vez dejará de ser destructor y pudiera serlo con la mitad. Para que sea perceptible directamente no ha de bajar mucho de diez

(1) Gli elementi fisici del grande terremoto Marsicano-Fucense del 13 gennaio 1915, *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, vol. XIX, 1915, nums. 3-4, pág. 204. Esta cifra nos parece excesiva; más tarde volveremos sobre el asunto.

milésimas de milímetro o diez micras (10μ), amplitud que exige un ritmo bastante rápido para que el terremoto no pase desapercibido.

En Granada las amplitudes medidas en los gráficos de nuestros sismógrafos convenientemente amortiguados y correspondientes a terremotos sentidos en la localidad han oscilado entre 1850μ (terremoto Ibérico del 23 de Abril de 1909) y 10μ (alguna de las réplicas del terremoto de Santafé del 31 de Mayo de 1911).

Según el Profesor de Sismología de la Universidad de Tokio, Dr. Fusakushi Omori, los períodos de la porción más activa de los sismos suelen ser de un segundo o más bien algo menos en los débiles, y de uno a dos segundos en los destructores. En uno de los más violentos que jamás se hayan conocido, en el de Mino-Owari, del 28 de Octubre de 1891, fué de 1,3 segundo y de 1,8 en el que en 1894 ocasionó 26 muertos y 171 heridos en Tokio (1). En Avezzano y sus contornos fué de 0,6 segundo, deducido de un minucioso interrogatorio y de 1,2 segundo a los 70 kilómetros, según los gráficos trazados por los autogregistradores de presión del célebre acueducto llamado *l'Acqua Marcia* (2).

Nosotros hemos sentido en Granada temblores con ritmos de 0,4 segundo a 4 segundos, aunque los más los han tenido de 0,4 a 0,8 segundo. En general, los muy débiles han tenido períodos mucho más cortos que los fuertes procedentes del mismo sitio, y suelen tenerlo largo los de gran área de sacudimiento sensible, además de los de muy lejana procedencia. En el terremoto Ibérico, así

(1) Note on applied Seismology, Beiträge zur Geophysik, Erg. I, 337.

(2) O. c., 109.

llamado por haberse sentido en las cuatro- quintas partes de la Península, destructor en Benavente y sus alrededores, a unos 490 kilómetros de la Estación Sismiológica de Cartuja (Granada), el período registrado fué de 3,2 segundos.

En el terremoto de Avezzano admite el Profesor Od-done hasta 950 centímetros por segundo en un segundo, esto es, 950 gals (1), en la hipótesis de dos movimientos sinusoidales superpuestos, y de sólo 450 en la de que se tratase de movimientos impulsivos (2). Según Omori, cuando el terremoto de Mino-Owari la máxima aceleración debió ascender entre 500 y 700 gals en el Valle de Neo (3), que fué el que más sufrió cuando este desastre, cuyas víctimas pasaron de 7.000, y los perjuicios de 100.000.000 de *yens* (pesos). En los terremotos de San Francisco de California, Valparaíso y Messina, la máxima aceleración no parece haber pasado de 250 gals, según el célebre sismólogo japonés ya citado. Un sismo cuya máxima aceleración pase de 25 gals, merece ya el calificativo de destructor, por sus efectos probables, y ha de pasar de 0,25 para que sea sensible, en opinión del Profesor Adolfo Cancani (4).

En el movimiento sísmico, como veremos más adelante, la causa parece hallarse muy poco profunda, y como

(1) Gal, contracción de Galileo, nombre dado en honor de este sabio astrónomo y físico a la unidad de aceleración.

(2) O. c., 204.

(3) Seismic Experiments, *Bulletin of the Imperial Earthquake Investigation Committee*, vol. IV, nº 1, 31.—(Este autor, como otros muchos, da las máximas aceleraciones en milímetros por segundo; adoptamos el GAL como unidad para uniformizar así los cálculos.)

(4) Sur l'emploi d'une double échelle sismique des intensités, empirique et absolue, B. z. G. Erg. I, 281.

siempre es pequeño el movimiento que experimenta el bloque de la corteza terrestre, cuyo re-ajuste, en gráfica expresión del ilustre Profesor A. de Lapparent, produce el sismo, la componente vertical es siempre la menos importante en los terremotos, y rara vez alcanza su valor la tercera parte del de las componentes horizontales, si no es a muy largas distancias, a las cuales sólo impresionan los sismógrafos.

En el terremoto de Tokio, antes citado, la máxima aceleración vertical fué de 6,1 gals, cuando era de 45 la horizontal. Omori afirma que el error cometido al prescindir en los cálculos de la influencia de la componente vertical no pasa del 20 por 100, y en su lugar veremos su escasa influencia sobre las construcciones, por supuesto si se trata de un movimiento sísmico.

Es fácil calcular su valor, teniendo en cuenta el ángulo de *emergencia* o de salida de las ondas sísmicas.

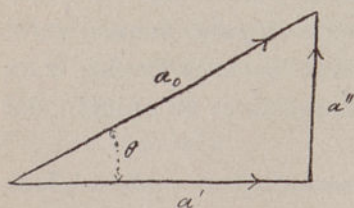


FIG. 1.ª

Sean α' y α'' las máximas aceleraciones deducidas con el auxilio de la fórmula usual: $\alpha = \frac{4 \pi^2 A}{T^2}$, α_0 la máxima aceleración resultante y θ el ángulo de emergencia tendremos:

$$\text{tang } \theta = \frac{\alpha''}{\alpha'}, \alpha_0 = \frac{\alpha'}{\cos \theta} = \frac{\alpha''}{\text{sen } \theta}, \text{ y por consiguiente:}$$

$$\alpha'' = \alpha_0 \text{ sen } \theta, \alpha' = \alpha_0 \text{ cos } \theta.$$

En el caso anterior, $\alpha' = 45$ — $\alpha'' = 6,1$, $\theta = 7^\circ 40'$, $\alpha_0 = 45,5$ gals.

El carácter del movimiento sísmico, si bien no es rítmico en absoluto y en todos los casos, es lo suficien-

te para poder considerarlo como tal en los casos ordinarios.

De acuerdo con Omori podemos admitir como hecho cierto, y aun demostrado, la producción de fracturas en los terremotos destructores. En los otros las niega; nosotros, sin dejar de reconocer lo probable que resulta esta aseveración en muchos casos y aun quizá como regla ordinaria, no la encontramos tan evidente como la primera proposición del sabio japonés. Según éste, a la producción de las dichas fracturas sobre el terreno en los sismos destructores, se debe el que la moción verdaderamente nociva en los sitios agitados con mayor violencia sea muy sencilla, y suela consistir en una o dos, rara vez más, sacudidas violentas, precedidas por unas pocas más débiles y seguidas por muchas, igualmente menos importantes. En los terremotos no tan fuertes suelen observarse numerosas sacudidas rítmicas casi iguales en período y amplitud, lo que atribuye Omori a que no habiendo excedido el esfuerzo a los límites de la elasticidad del suelo, lo que se producen son vibraciones, y no estallidos de fractura; con ésta el esfuerzo es ciertamente mayor, pero se agota pronto y por eso dura poco su máximo de energía cinética, mientras que en aquellas unas vibraciones siguen a otras, con lento decremento, dentro del cual se presentan refuerzos de cuando en cuando. Algo parecido a lo que ocurre con una copa de cristal al golpearla: un choque suficientemente violento la quebrará, y el sonido resultante será de breve duración, un chasquido seco; otro golpe, insuficiente para romper la copa, podrá hacerla vibrar por largo tiempo.

Varias circunstancias, sin embargo, pueden cambiar la modalidad del choque y a la vez influir en la duración

de los terremotos violentos en su moción más intensa y son principalmente: el poderse sentir a distancias muy considerables de sus *epicentros* (*); el no ser infrecuente se sucedan rápidamente unos a otros, lo que pudiera simular uno solo de larga duración, aunque sea excepcional el que dos o más seguidos tengan la misma intensidad; y, por último, el ser muy probable que cuando se produzcan fallas de gran longitud, con hundimientos o desencajes muy considerables del bloque movido, el movimiento nada tenga de instantáneo, a la manera que una larguísima tapia al derrumbarse no es lo más corriente lo haga de golpe. Buen ejemplo de ello nos lo da el terremoto destructor que en la madrugada del 4 de Enero de 1911 asoló buena parte del Turkestán ruso con 390 víctimas, según datos oficiales (1) en el cual, a juzgar por los gráficos obtenidos en algunas estaciones sismológicas, y en particular en la de Cartuja (Granada), la falla principal, de unos 170 kilómetros de largo, situada en las inmediaciones del lago Issik-kul tardó unos 18 segundos en producirse (2). Cuando el terremoto de San Francisco cuya falla no mide menos de 435 kilómetros, según el distinguido Profesor de Geología de la Universidad de Baltimore Dr. H. Fielding Reid, la moción más violenta no se presentó hasta unos 30 segundos después de iniciadas las sacudidas fuertes y duró de 30 a 60 segundos, lo

(*) ἔπι = sobre — κέντρον = centro, frase que sirve para designar el sitio donde se sintió con mayor violencia un terremoto, por suponersele lógicamente situado encima (o al lado) de lo que haya engendrado el movimiento, prescindiendo de la génesis de éste.

(1) Fürst B. Galitzin (Golicyn), Das Erdbeben vom 3-4 Januar, 1911, *Bulletin de l'Accad. Impériale des Sciences*, St. Pétersbourg, 1911, 135.

(2) Prof. Elmar Rosenthal.

que atribuye, no sólo a la vibración de los bordes de la ruptura *in situ*, lo que supondría poco más de un par de segundos hasta encontrar una posición aproximada de equilibrio, sino a la sucesiva llegada de los choques originados por las rupturas más lejanas de la falla, transmitidos con la velocidad aproximada de unos 7 kilómetros por segundo (1).

Como nos proponemos mostrar más adelante, aun en la hipótesis de que el movimiento fuese instantáneo, como, por ejemplo, el choque producido por una masa metálica al caer sobre una roca, o por la explosión de una mina o proyectil, la transmisión se verifica por ondas de muy distintas velocidades, y los *retardos* de las unas con respecto a las otras se van haciendo tanto más notables cuanto más lejano resulte el origen de la agitación.

Cuando el terremoto Ibérico, los efectos destructores se produjeron en pocos segundos en Benavente, Samora Correia, Sao Estevão y otros pueblos circunvecinos, mientras que en el Colegio-Noviciado del Sagrado Corazón que la Compañía de Jesús tiene en las afueras de Granada, en el sitio llamado Cartuja, y del que forma parte la Estación Sismológica del mismo nombre, a unos 490 kilómetros del Ribatejo, lo sintieron los más durante 5 o 6 segundos y alguno durante 30 segundos, lo que está perfectamente de acuerdo con el sismograma que dió en aquella ocasión el Omori modificado de 106 kilogramos, primer péndulo que construimos. El terremoto fué débil en Cartuja durante pocos segundos y muy débil por casi

(1) On Mass Movements in Tectonic Earthquakes... B. z. G. Bd. X, H 3, 346.

medio minuto más; así que muchos que sintieron lo primero no percibieron lo segundo, cuando de haber sido violento todos lo hubieran sentido por medio minuto y tal vez por más de uno. Algo más cerca, en Castillejo, a unos 5 kilómetros de Sevilla y 300 del presunto epicentro debió durar más, pues las educandas del Colegio de Damas del Sagrado Corazón pudieron interrogar a las religiosas repetidas veces durante el temblor, y los mismos 30 segundos de duración pudo apreciar en el Puerto de Santa María, a 348 kilómetros, nuestro antiguo ayudante H.^o Esteban Tortosa, S. J. (1), el mismo que dos años más tarde había de fundar la hoy tan importante Estación Sismológica del Colegio de San Calixto en La Paz (Bolivia), montando un bifilar exactamente igual al primero de nuestros genuinos Cartuja, que tan bien sabía manejar.

Algunas veces puede hallarse cerca el epicentro, ser el terremoto violento y durar bastante, como pudimos comprobar con los sismos semi-estructores de Adra, 16 de Junio de 1910, y de Santafé, 31 de Mayo de 1911, los cuales, a pesar de hallarse los presuntos epicentros de los mismos solamente a 85 y 15 kilómetros, duraron ambos 30 segundos y 20 la más violenta de las muy numerosas réplicas del primero.

De los demás temblores que llevamos sentidos en Granada, en número de 25, ninguno ha excedido los 8 segundos ni durado menos de 3, y la moción nos ha parecido siempre muy sencilla, todavía más que la indicada por Omori en sismos japoneses análogos, lo que se

(1) Le Tremblement de Terre Ibérique... «Ciel et Terre» (*Bulletin de la Société Belge d'Astronomie*), num. 2 [1910], 59.

explica fácilmente, teniendo en cuenta que los más de éstos eran de focos muy distantes (submarinos, con gran frecuencia), al revés de los que sentimos y registraron los sismógrafos de Cartuja, en su mayor parte de la hermosa Vega granadina.

En 19 terremotos del Japón y de la isla de Formosa, violentos, semi-estructores y destructores convenientemente registrados con sismógrafos apropiados, encontró el profesor Omori como duración de la porción más violenta cifras comprendidas entre 4,3 segundos (terremoto de Tokio del 20 de Junio de 1894, ya citado) y 28 segundos (gran terremoto de Mino-Owari en Tokio) (1). El terremoto de Avezzano duró solamente unos 5 segundos, según las minuciosas interrogaciones del profesor Oddone (2).

Parece demostrado que las duraciones inferiores a un segundo son excepcionales, lo mismo que las de más de 3 minutos, como el caso citado por el célebre sismólogo inglés J. Milne, en el que la agitación sensible se prolongó 4 minutos 33 segundos (3).

En los terremotos de foco algo lejano, si no son muy débiles, se siente, primero, un estremecimiento de ritmo muy rápido y un marcado predominio del movimiento de abajo arriba o viceversa (componente vertical). Después siguen sacudidas, unas veces algo bruscas, otras como vaivenes u ondulaciones de ritmo más lento, y entre las cuales se encuentran las que producen la máxima aceleración del suelo, o sea el máximo del movimiento, termi-

(1) On the Duration of the Strongest Part of Motion in Destructive Earthquakes, B. Imp. E. I. C. Vol. II, num. 2, 207-208.

(2) L. c., 107.

(3) *Earthquakes* (5.^a ed., 1903), 73.

nando el fenómeno con un apagamiento o decremento gradual de las oscilaciones. Si el sismo fuese poco intenso dejarían de percibirse los últimos movimientos, y aun también de ordinario los primeros; esto es, tanto la *fase final* como los *preliminares* del *sismograma* que nos daría un instrumento apropiado (cuyas indicaciones están en perfecta armonía con lo que realmente sucede, como no podía menos), y todo se reduce a las oscilaciones más especialmente ondulatorias de la llamada *porción principal*, por hallarse en ella casi siempre las ondas que producen la máxima aceleración del suelo.

En un terremoto débil y de foco muy cercano se suelen sentir al mismo tiempo el estremecimiento y los vaivenes, siempre más intensos, aunque nos parezca lo contrario, por ser más sensibles a los estremecimientos que a los movimientos laterales con la misma máxima aceleración.

En los destructores, en los cuales carecemos cuando esto escribimos de experiencia propia, el terror que suele apoderarse hasta de los mejor librados apenas les permite darse cuenta de lo que pasa. Sin embargo, por tratarse de un punto muy importante diremos algo tomado de la interesante Memoria del Profesor Oddone, y de otro trabajo, también notable, referente a otro terremoto destructor, de carácter muy distinto del de Avezzano y también de fecha reciente.

En Avezzano y sus contornos se presentaron, a más de los movimientos de *vaivén*, u ondulatorios y de estremecimientos de arriba abajo o viceversa, *trepidatorios* o *subsultorios*, esto es, de los movimientos producidos por las ondas longitudinales y transversales, originadas por la transmisión del esfuerzo liberado al través de materia-

les elásticos, como lo son las rocas, otros que Oddone compara con las ondas *trocoidales* que se producen en un estanque cuando arrojamamos en él una piedra, movimientos estos últimos que sólo se presentan en los terrenos sueltos y sin consistencia. Más adelante, al tratar del sísmógrafo, hablaremos de estas ondas y de las anteriores: aquí citaremos tan sólo alguna observación.

En la carretera cercana a San Benedetto vió el peón caminero inclinarse los chopos unos 30° a un lado u otro, mientras que el suelo se alzaba y abajaba desmesuradamente y se abrían enormes rajadas. La agitación de los árboles fué tan violenta como para derribar y arrancar de raíz uno enorme, situado cerca de un foso y para desgajar las ramas de otros. Varios campesinos relataron al Profesor Luis Palazzo, que con tanto acierto dirige el Servicio Meteorológico y Geodinámico de Italia, que les pareció ver el suelo ondear como si fuese un lago, y lo mismo notaron en Ortuchio, según el ingeniero Rosatelli (1).

Oddone deduce de estas observaciones y de otras muchas, que omitimos por brevedad, que además de movimientos horizontales los hubo verticales, resultando en conjunto *una especie de rotación del suelo alrededor de un eje horizontal*, y para ello aduce la razón de que si se hubiese tratado de un simple movimiento horizontal, esto es, si, por ejemplo, la parte alta de los postes y árboles hubiese obrado de masa estacionaria, mostrando un centro de percusión, para una inclinación de 20° con respecto a la vertical, el suelo debería haberse desviado a la izquierda o a la derecha $x_0 = h \text{ tang } 20^\circ$, y siendo la altu-

(1) Op. c., 93, 94.

ra h del centro de percusión por lo menos de 5 metros, resultaría $x_0 = 180$ centímetros, y como tal amplitud parece inverosímil, la inclinación observada no puede explicarse, admitiendo solamente un movimiento horizontal (1).

Sin rechazar esta explicación, se nos ofrece que el tan distinguido sismólogo italiano parece prescindir un poco de la reacción elástica producida por la acumulación de los impulsos, cambio de dirección en los mismos y aun repentina detención en medio del movimiento, y que esa acumulación basta para explicar muchos efectos notables, aun sin recurrir a la hipótesis antes dicha y menos a los 180 centímetros de amplitud, que con razón rechaza. Basta sacudir algún árbol apropiado para convencerse de lo que indicamos. Las máximas aceleraciones de este autor, por otra parte muy recomendable por su claro talento, vasta erudición y formal empeño de buscar una explicación a todo hecho que relata, nos parecen exageradas y lo mismo sus amplitudes, y así, por ejemplo, cuando el terremoto de Messina admitió una cifra análoga a la que da para Avezzano, cuatro veces superior a la admitida por Omori (2), quien también practicó sus investigaciones sobre el terreno, y a la estimada por el profesor G. B. Rizzo (3), por cierto testigo de aquella tremenda catástrofe. Con los 80 centímetros de amplitud que antes citábamos y los 0,6 segundos que supone de ritmo, la máxima aceleración no sería de 950 gals, sino de $8800 = \frac{39,5 \times 80}{0,36}$, o sea más de nueve veces

(1) O. p., 95.

(2) Preliminary Report on the Messina-Reggio Earthquake...
B. Imp. E. I. C. Vol. III, num. 2, 40.

(3) Oddone, op. c., 158.

mayor que la aceleración de la gravedad, lo que hubiera lanzado por los aires personas, objetos y aun restos de edificios.

Se nos ofrece una explicación plausible de esto, lo más acorde con lo observado, es que la 0,6 segundo de período correspondió al terreno elástico o casi elástico (rocoso, duro y aun ordinario), y que en el que apellida *anelástico*, fofo y nada consistente, el período sería mucho mayor, quizás de 1,2 a 2 o 3 segundos y aun 4, como en Adra, y las amplitudes, suma de varios impulsos, apenas llegarían en cada uno a 30 centímetros, como el máximo del terrible terremoto de Mino Owari, o a lo sumo a 40. Con esta última cifra y $T = 1,5$ segundos, período nada improbable para un suelo comparable en cierto modo con una jalea, y aun más bien corto, la máxima aceleración resultaría de 700 gals, como la máxima del sismo japonés, según Omori (1), cuando este último sobrepujo positivamente en mucho al italiano, no sólo por su enorme área de sacudimiento, etc., sino que también por sus efectos *in situ* sobre el terreno.

Cuando el terremoto destructor del 19 de Noviembre de 1912 (2) entre los que no corrieron peligro alguno de morir aplastados por estar a campo abierto y lejos de lo construido, hubo algunos que vieron pasar las ondas superficiales y las describen como *olitas de tierra* que mecían las hierbas y los árboles al levantarse; otros vieron primero derrumbarse las poblaciones que estaban a lo lejos e inmediatamente después sintieron el movimiento, y

(1) Seismic Experiments... B. Imp. E. I. C. Vol. IV, num. 1. 31.

(2) F. Urbina y H. Camacho. «La zona megaseísmica Acambay-Tixmadeje». *Boletín del Instituto Geológico de México*, núm. 32, 40-41.

algunos que iban a caballo oyeron un *trueno de agua*, al mismo tiempo que el animal se espantaba, y al volver los ojos a todos lados nada veían, sino el polvo que se levantaba de los lugares poblados que desaparecían. La duración fué de unos 4 a 6 segundos.

Prescindiendo de si efectivamente existen o no movimientos circulares durante los terremotos, hecho negado por muchos sismólogos, no estará de más el que recordemos que los dichos movimientos no tienen que proceder necesariamente de un giro o vuelta, dado que pueden obedecer a una serie de impulsos recibidos en distintas direcciones y aun de uno solo de soslayo, como vemos acaece con la bola de billar cuando gira, a la vez que avanza, sin haber recibido del taco más que un impulso de atrás adelante.

Algunos autores han negado que la agitación producida por un terremoto pueda transmitirse de preferencia según una dirección determinada, negación que, tomada en absoluto, es simplemente falsa, como lo prueban los continuos aciertos del procedimiento del Príncipe Boris Galitzin en el cálculo de epicentros, en el que se determina la posición de éstos con una distancia y un acimut, como veremos en su lugar, y ese acimut lo dan precisamente amplitudes en función de la dirección del movimiento sísmico actuando sobre aparatos orientados convenientemente, esto es, el uno en la del meridiano y en primer vertical el otro (1).

Ante todo conviene recordar que si nuestra vista nos sirve para precisar con delicadeza admirable la orientación de los objetos, ya el oído nos da el acimut del sitio

(1) E-W y N-S.

de donde proceda un sonido, el de una trompeta, por ejemplo, con una aproximación rara vez de unos 45°, y menos aún en casos menos favorables, y todavía es inferior la perfección de la sensibilidad general para apreciar la dirección del movimiento sísmico, y más hallándose en el interior de un edificio, donde lo que pudiéramos llamar reacción elástica de muros y suelos ha de influir notablemente en dificultar una recta apreciación, a la manera que los espejos respecto al objeto visto y las mismas paredes, produciendo reflexiones en el sonido.

En las distancias cortas las reflexiones y refracciones de las ondas sísmicas debidas a la diferente conductibilidad de los complejos materiales que integran las capas superficiales del subsuelo y a las dimensiones del accidente geológico, visible o no, y del que dependa el movimiento han de influir en que con harta frecuencia la dirección no se presente clara, aunque de ordinario se haya podido comprobar en los mismos sismos destructores por la orientación de los muros que hubieran sufrido más o menos, y también muchas veces por la caída de objetos, cual ocurrió, por ejemplo, con gran número de estelas funerarias situadas cerca de un templo budista en Sakata, cuando el terremoto destructor del 22 de Octubre del año 1894 (1).

Diremos de paso que en la caída de objetos no hay que olvidar que a la reacción elástica de los mismos hay que añadir la de los otros que se hallen más o menos en contacto y la del suelo, y que los impulsos son, de ordinario, de vaivén o balanceo, esto es, de un lado a otro, alter-

(1) Omori, *Publications of the Earthquake Investigation Committee*, num. 12, pl. VIII.

nando con otros menos intensos y en diversas direcciones, productos de las causas antedichas y de otras que no nos detendremos en analizar, entre las que figuran el ángulo de emergencia de las ondas y la forma, distancia, orientación y dimensiones del accidente geológico ligado con su aparición. De tratarse de objetos de considerable tamaño, como, por ejemplo, tapias largas, etc., no parece improbable la opinión de Oddone (1) de que la longitud de la onda sísmica influya en la dirección del derrumbe y baste para explicar el por qué un trozo caiga hacia un lado y otro al opuesto.

Por nuestra parte no hemos sentido aún ningún terremoto cuyas sacudidas, ni aun de lejos, nos recordaran la tan recopiada *maraña* del profesor Sekiya Seikei ni los *ovillos* trazados por los antiguos sismoscopios registrados, y aun por los recientes del Profesor G. Vicentini, así como los péndulos de este tipo, provistos, como aquéllos, del *pantógrafo* del malogrado Dr. G. Pacher. Esas curvas tan complejas dependen de la falta de amortiguamiento y de las *nutaciones* de esos instrumentos, lo cual les hace entremezclar sus propias oscilaciones pendulares y sus giros (dependientes aquéllas del defecto indicado, y éstos de su imperfecta suspensión) con los verdaderos movimientos de la tierra, al estremecerse, engendrándose el sismo o terremoto.

(1) O. c., 99.

CAPITULO II

El movimiento sísmico estudiado en sus efectos: (α: Sobre el terreno (geológicos).—Áreas macrosísmica y plesiosista.—Desviaciones laterales; compresiones seguidas de hundimientos o de elevaciones; eyecciones y deslizamientos; rajadas...

Se da el nombre de *área macrosísmica* (*) a la extensión de terreno en la cual se haya sentido un terremoto. Sus dimensiones son en extremo variables y no están siempre en relación con la violencia o intensidad misma del movimiento, y sí con el trabajo producido, como veremos en su lugar.

Entre los 450 terremotos sentidos en España en los años 1909 a 1915, inclusive, cuyos datos ha recogido y publicado la Estación Sismológica de Cartuja (Granada), figuran muchos cuya área de sacudimiento sensible no ha pasado de unos pocos kilómetros cuadrados, como muchas de las réplicas del violento terremoto de Huéscar (prov. de Granada) del 24 de Noviembre de 1913, apenas sentidas fuera de la *Sierra de la Encontrada*, a unos dos kilómetros de dicha ciudad (1). En cambio, el sismo destructor de Benavente del 23 de Abril de 1909 se sintió hasta Oña (613 kms. al NE¹/₄N), Lorca (630 kms. al ESE¹/₄S), y aun en Barcelona (950 kms. al ENE) (2). El

(*) *μακρός* (*makrós*) = grande, aquí sensible al hombre directamente.

(1) Enumeración de los terremotos sentidos en España durante el año de 1913, *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Abril 1914.

(2) «Le Tremblement de Terre Ibérique.»

terremoto de Adra de las 4 h. 16 m. del 16 de Junio de 1910, cuya máxima aceleración no llegó ciertamente a la mitad que la del anterior en su *área pleistosista* (*), fué sentido en Madrid (410 kms.) por alguno, por varios en Córdoba (200), Murcia (210), Ceuta (225), Alicante (248) y Sevilla (272), lo que le da un área macrosísmica casi tan grande como la del sismo catastrófico de Avezzano (unos 635.000 kilómetros cuadrados), no siendo muy inferior la de la violenta réplica de las 16 h. 27 m. del mismo día 16 de Junio (1).

Tampoco faltaron en nuestro territorio, durante el referido período, áreas macrosísmicas restringidas con sismos semi-destructores no muy inferiores al más fuerte de los de Adra; así, el de Lorquí del 3 de Abril de 1911 apenas se sintió más allá de Alicante (72 kms.) (2), y el de Santafé del 31 de Mayo del mismo año (3), escasamente a la mitad de la distancia, con decremento tan rápido de intensidad, que ésta apenas resultaba a los 15 kilómetros escasos (Cartuja [Granada]) con cuatro gals durante 10 segundos y menos de un gal durante los 20 restantes que duró (**), cuando ciertamente su máxima aceleración epicentral llegó en algún punto a pasar de los 25, y aun 30 gals.

Algunos terremotos alcanzan áreas macrosísmicas

(*) *πλεῖστος* (*pleistos*) = mayor, más violento. También se usa el apelativo *mezosísmica*, de *μεῖζων* (*meizon*) = más grande, con idéntica acepción, y *mesosísmica*, de *μέσος* (*mesos*) = en medio.

(1) Enumeración..., 1910, id.

(2) Los recientes terremotos murcianos. *Revista de la Sociedad Astronómica de España*, Nbre. 1911.

(3) Los recientes terremotos granadinos, id. Julio 1911.

(**) Datos calculados sobre un sismograma del Cartuja bifilar de 425 kgs.

realmente enormes, como la del famoso terremoto de Lisboa del 1.º de Noviembre de 1755, sentido en casi toda la Europa, el N. de Africa, y hasta parece que algo en América, la que asigna el profesor Reid 120.000.000 de kilómetros cuadrados (1), esto es, algo más de cinco veces la extensión del inmenso Imperio ruso. Según el mismo, el terremoto de Mino-Owari se sintió en un espacio de 4.700.000 kilómetros cuadrados, y de sólo 40.000 el que el 28 de Julio de 1883 costó en Ischia la vida a 2.300 personas, las que en su mayoría fueron desde los escaños de un teatro a presentarse ante el Supremo Juez de vivos y muertos.

El área destructora, a la que también se le da el nombre de *pleistosista*, *mezosísmica* o *megasísmica* (*), es de dimensiones muy variables, lo mismo que la macrosísmica. A veces alcanza enormes proporciones, como en el terremoto de Lisboa, que produjo víctimas en poblaciones distantes más de 300 y aun 400 kilómetros, como Cádiz, Sevilla, Granada, Madrid, y en el de Mino-Owari, en el que el radio medio del área sacudida, con una máxima aceleración superior a 30 gals, ciertamente calificable de destructor, midió 150 millas inglesas (242 kilómetros) (2), y el área resultante, por tanto, 184.000 kilómetros, más del doble de Portugal. Como sismo destructor de área mezosísmica reducidísima citaremos el que el 23 de Octubre de 1907 quitó la vida a 167 personas, de

(*) μέγας = grande. También se llama *megasismo* al terremoto de gran área de sacudimiento y cuyo trabajo sea tal que permita le registren los sismógrafos sensibles repartidos por todo el globo.

(1) The energy of earthquakes, *C. R. des Séances de la IV^e Conf... de l'Assoc. Intern. de Sismologie* (Manchester, 1911), 270.

(2) Milne, *Seismology* (1898), 140.

las cuales 158 la perdieron entre el inmenso montón de escombros a que quedó reducido el pequeño pueblo de Ferruzano (Calabria), y del que sólo pudieron extraer dos heridos (1).

Al tratar del trabajo desarrollado por los terremotos volveremos a ocuparnos de las áreas macrosísmicas de algunos, bastando aquí el que digamos de antemano que en los mismos países donde son frecuentes los de área muy considerable, como pasa, por ejemplo, en las costas de América, bañadas por el Pacífico, y sus cercanías, no faltan los de área restringida, tal vez más destructores, como el de Acambay (2), ya citado, y el de Cartago (Costa Rica), del 4 de Mayo de 1910 (3), que positivamente lo fueron más que el de Chilapa del 14 de Abril de 1907 (4), mexicano, como el primero, y el del Salvador, del 7 de Noviembre de 1915 (5), los que dejaron en la Estación Sismológica de Cartuja buena prueba de su enorme energía cinética.

En los terremotos débiles y aun fuertes, lo más ordinario es que no dejen rastros en el suelo; no así los violentos y destructores, los que, de no originarse en el fondo de los mares, dejan huellas, a veces indelebles, de su paso. Figuran como principales las desviaciones latera-

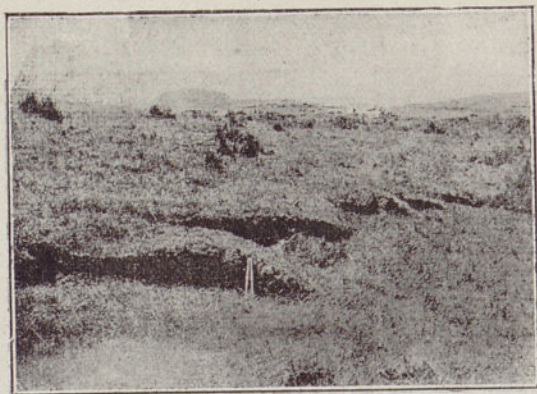
(1) Rizzo, Nuevo Contributo allo Studio della Propagazione dei Movimenti Sismici, *Mem. d. R. Acc. d. Sc. di Torino*, 1907, 1908, 384.

(2) 232 muertos, sumando las cifras contenidas en las páginas 40 y 122, o. c.

(3) Unos 500 muertos, según datos de la Prensa.

(4) 28 muertos y 120 heridos, Dr. Emilio Böse e ing. A. Villaña y J. García; El temblor del 14 de Abril de 1907. *Parergones del Instituto Geológico de México*, 452.

(5) Unos 10 muertos, según datos de la Prensa.



LÁM. II.—(a) Extremidad de la falla del mismo terremoto cerca de Punta Arenas. (Omori.)



(b) Embarcadero de Inverness, cortado en dos y separados ambos trozos lateralmente unos 6 ms. (terr. de S. Francisco). (Omori.)



les, compresiones, seguidas de hundimientos o elevaciones, eyecciones de fango o de arena, rajas, deslizamientos, etc.

Aunque sea esto adelantar ideas, diremos que los dos primeros fenómenos se presentan casi exclusivamente en las *fallas* o líneas de rotura producidas en el bloque de la marquetería terrestre, cuyo desencaje, en gráfica expresión del ilustre Profesor Alberto de Lapparent, engendra el terremoto, aunque el segundo también se observe en los sitios donde ofrece el suelo menor resistencia, como lo son las orillas de los ríos situadas en la inmediación de las fallas.

La desviación lateral puede medir varios metros, como en el embarcadero de Inverness, en la costa W de la bahía de Tomales, el cual quedó cortado en dos y separados ambos trozos unos seis metros el uno del otro, cuando el terremoto de San Francisco de California (1).

Notable efecto de compresión nos lo da la falla del terremoto que acabamos de citar cerca de Punta Arenas (2) y las orillas del Nagara, cuando el terremoto de Mino-Owari, el que entre otros muchos puentes destruyó por completo el de este anchuroso río, así como de contorno serpentiforme de un trozo de vía férrea antes recta, la fotografía del Profesor R. D. Oldham del cercano a Rangapara, después del gran terremoto de la India Inglesa de 1897, reproducida por A. Sieberg en su precioso *Handbuch der Erdbebenkunde* (3).

Buen ejemplo de rajadas muy profundas del suelo son

(1) Omori, Preliminary Note on the Cause of the San Francisco Earthquake..., B. Imp. E. I. C. Vol. I, n.º 1, l. III, fig. 11.

(2) Omori, o. c. L. III, fig. 12.

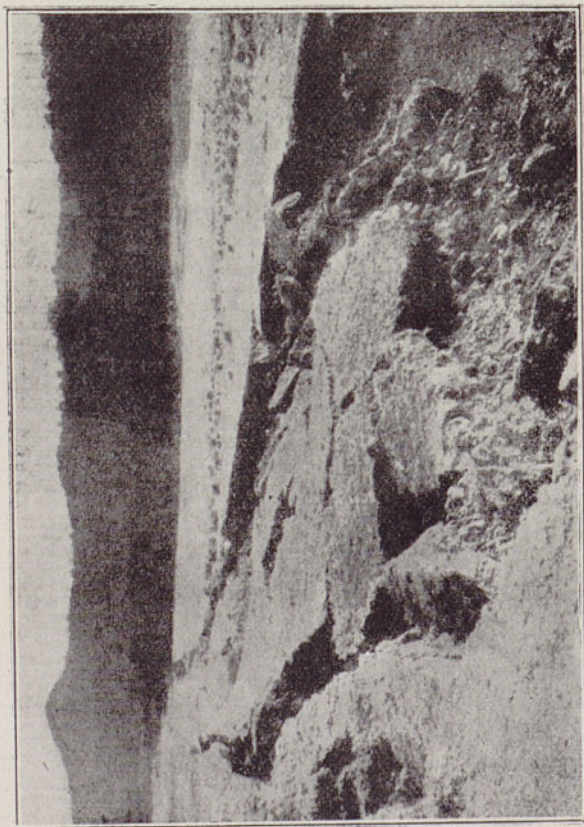
(3) 101, fig. 33.

las que se formaron en las cercanías de Güevejar (provincia de Granada), cuando el terremoto destructor del 25 de Diciembre de 1884, y también las del de Avezzano, en el cual se presentó un imponente sistema de fracturas del suelo, en frase de Oddone, anchas, profundas, onduladas y radiadas, las que por algún tiempo inspiraron tal temor, que no sólo los más de los hombres no se atrevían a transitar por su causa a través del desecado lago de Fucino, sino que las mismas caballerías se espantaban y rehusaban hacerlo, y más todavía por la falla o escalón que lo rodeó, al que varios de los testigos que interrogó vieron abrirse y cerrarse repetidas veces y en amenazadoras proporciones, quedando finalmente como una grieta de 30 a 100 centímetros de anchura con el labio interno entre 30 y 90 centímetros más bajo, y con una longitud de más de 70 kilómetros, según las medidas de este ilustre Profesor italiano (1). Notabilísima es la falla del terremoto de Acambay (2) con considerables descensos del terreno, también en forma de escalón, las que alcanzaron hasta 150 centímetros en algunos puntos de los ríos Lerma y Batán, tan bien reproducidas en las hermosas fotografías del Sr. Urbina.

Algunas veces se presentan eyecciones de arena, de fango, agua, salida de gases sulfurosos, de metano, etc., como consecuencia, más o menos directa, de la formación de rajas. Las eyecciones de arena fueron particularmente notables cuando el terremoto de Formosa del 17 de Marzo de 1906, llamado también de Kagi por la Prefectura, en la cual causó más víctimas y otros estragos.

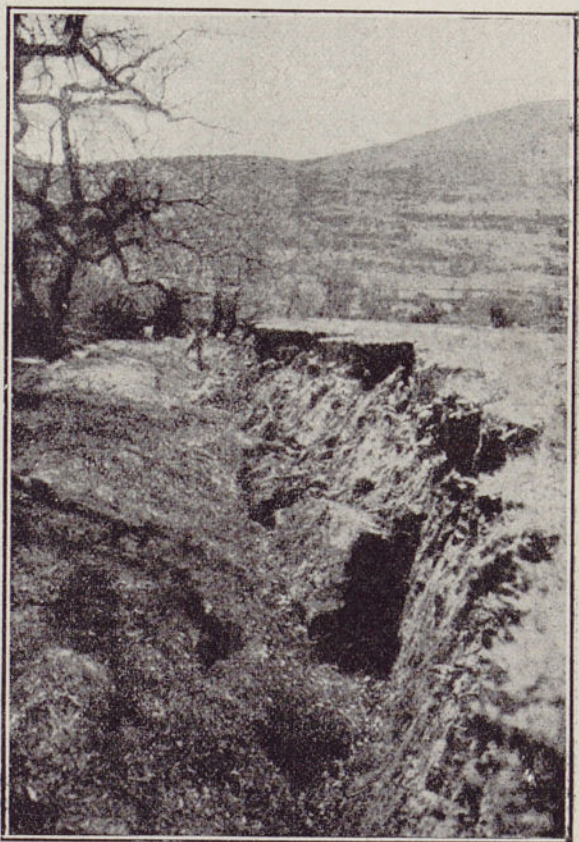
(1) O. c., 82.

(2) O. c., 51, l. XXII y XXV, en particular.



LAM. III.—Despedazamiento del terreno en el extremo de una grieta, valle de San Pedro el Alto, cuando el terremoto de Acambay. (Fot. Urbina.)





LÁM. IV.—Margen derecha del Lerma, mostrando el hundimiento producido por el terremoto de Acambay. (Fot. Urbina.)



La génesis de este último fenómeno es muy sencilla: entre la capa superficial del suelo, en este caso de tierra laborable, y otra de tierra compacta o de roca, existía una intermedia de arena, y ésta hubo de buscar salida entre las rajadas de la capa superficial, al ser comprimida contra la misma por la capa compacta, agitada a su vez por el terremoto; prodújose así una especie de invasión o inundación de arena que transformó en un momento en desolado yermo lo que antes fuera feraz campiña, cubriéndola con un espesor medio de unos 60 centímetros (1).

Cuando el terremoto semi-destructor de Santafé, ya citado, en la vecina población de Pinos Puente, se formaron en el suelo rajadas muy profundas, bastante numerosas y de dos a siete metros de longitud por unos 20 centímetros de anchura, varias de las cuales daban salida a vapor de agua y a emanaciones sulfurosas, hecho muy natural si se tiene en cuenta la cercanía de varias fuentes termales en explotación (*), y aun quizá asociado a debilísimas manifestaciones volcánicas, dado que en la vecina Sierra Elvira, entre las calizas jurásicas y liásicas que la integran, acaba de descubrir el distinguido profesor de la Universidad de Madrid, Dr. Fernández Navarro, una toba andesítica, resultante de la aglomeración por presión mecánica de lapillis y cenizas vomitadas por una fractura volcánica (2). Durante el mismo terremoto,

(1) Omori, Preliminary Note on the Formosa Earthquake..., B. Imp. E. I. C. Vol. I, n.º 2, l. XX, fig. 7.

(*) Datos facilitados por el profesor del Instituto Técnico de Granada D. Rafael López Mateos.

(2) Notas petrográficas, B. R. S. esp. H.^a nat., Febrero, 1916, 109.

en Jau, aldea a un kilómetro al W de Santafé, y edificada sobre los aluviones del Genil, en algunos pozos poco profundos subió bastante el agua y entró arena a través de las rajadas formadas.

Los deslizamientos, así como el desprendimiento de rocas, son fenómenos no siempre efecto de los terremotos, ya que pudieran ocasionarlos la acción disgregadora de las aguas, aunque no rara vez los acompañen, y aun también los produzcan. Ejemplo de esto último lo tenemos en el desgajamiento de una inmensa masa de roca desde la cima del monte Sarez, en las altas mesetas del Pamir (Turkestán ruso), del 18 de Febrero de 1911, con producción de un terremoto destructor que hizo 180 víctimas, y del que nos ocuparemos al tratar del trabajo de un terremoto calculado sobre los datos resultantes de la interpretación de sus sismogramas. En España hubo uno, afortunadamente débil, en Santa María de Genestaza y sus alrededores (prov. de Oviedo) el 2 de Enero de 1915, debido a la misma causa. Cuando ésta es el sismo, y la violencia de éste muy considerable, pueden adquirir esas avalanchas gigantescas proporciones, como ocurrió en el terremoto de la India Inglesa de 1897 y el de Mino Owari; en ambos, algunas faldas de montes, cubiertas antes de añosos árboles, quedaron con la roca al descubierto, deslizándose tierras, árboles y casas hasta ir a parar al fondo de los valles, y en uno de estos últimos, en el de Neo, hubo además la formación de verdaderos abismos, más que rajadas, en cuyo fondo, cual tragados por la tierra, perdieron la vida muchos infelices, enterrados en vida con sus casas (1).

(1) Sieberg, *Der Erdball*, 346, fig. 239.

Cuando el terremoto del 1884, un desprendimiento de la porción alta de la ciudad en Alhama (prov. de Granada) aplastó muchas casas en la baja, con muerte de 200 personas, y más luctuoso ha sido todavía para Goia el desprendimiento de la falda detritica del monte Sperone, al correr por la pendiente de 55° de inclinación del mismo, perdida la adherencia con la roca de resultas de las violentísimas sacudidas del terremoto de Avezzano (1). Las rocas desprendidas tal vez alcanzan dimensiones muy considerables, a la vez que recorran grandes distancias. En Santa María Tixmadeje, cuando el terremoto de Acambay, y también en Dongú y San Pedro Potla, situados igualmente al pie de acantilados, entraron rodando y rebotando enormes bloques desprendidos de éstos, los que marcaron su paso destruyendo árboles y cercas, sin causar, afortunadamente, pérdida de vidas, a la vez que producían al chocar y romperse gran estrépito. Uno de los bloques que penetró en el primero de los pueblos citados media ocho metros cúbicos, y otro de 44, también de andesita, se detuvo cerca de la aldea Puente, después de derribar una cerca (2).

Al reproducir la escala de intensidades de Sieberg volveremos sobre alguno de estos puntos y añadiremos unas ideas sobre otros, también interesantes, pero cuya exposición exigiría demasiado espacio.

(1) Oddone, o. c., 162.

(2) Urbina, o. c., 53-54.

CAPITULO III

El movimiento sísmico estudiado en sus efectos: β) Sobre los edificios y objetos en general: Derribado, resbalamiento, proyección, fractura y rajado, disgregación.

Recordaremos algunos principios como preliminar obligado a la enumeración, más que otra cosa, de los efectos de los terremotos sobre las construcciones y otros objetos:

1.º Si la aplicación de una fuerza a un cuerpo elástico es lo suficientemente lenta para que éste adquiriera su posición de equilibrio sin que entre en vibración, la fuerza deberá considerarse como aplicada gradualmente.

2.º Si la aplicación de una fuerza es tan rápida como para terminar en un intervalo muy pequeño con relación al período propio del cuerpo, la fuerza ha de considerarse impulsiva.

3.º Cuando una fuerza se aplica impulsivamente a un cuerpo elástico produce un esfuerzo dos veces mayor al que resultaría si obrase gradualmente sobre el mismo cuerpo. Esta fuerza impulsiva, en vez de obrar sobre el *centro de gravedad* del mismo lo hace sobre el de *percusión*, igualmente determinable por el cálculo.

En un macrosismo y con los períodos ordinarios, sobre todo si exceden de un segundo, como acaece normalmente con los destructores, la fuerza que ejercen sobre cuerpos no muy grandes (pilares y columnas, por ejemplo) y cuyo período, si vibrasen, fuese inferior, o a lo

sumo análogo, puede considerarse como aplicada gradualmente, según Omori (1).

En el primer caso (por ejemplo, columnas o pilares de 30 y aun más centímetros de diámetro y amplitudes, en ese caso cuando menos de 7 u 8 centímetros) resulta bastante aproximada la fórmula del profesor C. D. West:

$\alpha = g \times \frac{ix}{y}$, en la que α expresa la máxima aceleración necesaria para derribar un cuerpo cuya base descansa sobre un plano horizontal y tenga por sección $2x$ y cuyo centro de gravedad se halle a la altura y . Si las máximas aceleraciones correspondientes a la componente vertical y a la horizontal fuesen respectivamente α'' y α' , tendríamos: $\alpha' = (g - \alpha'') \frac{x}{y}$. Tanto esta fórmula como la anterior, que no es mas que un caso particular de la misma: $\alpha'' = 0$, resultan exactas con error medio de un 20 por 100, rara vez mayor, en los numerosos experimentos hechos por Omori, y la causa de las divergencias

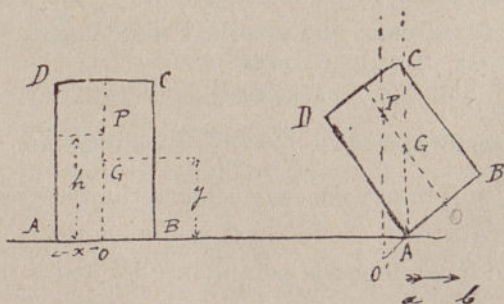


FIG. 2.^a

observadas la atribuye a carecer los pilares ensayados de una arista convenientemente dispuesta que les sirviese de eje de giro en su caída.

(1) Note on applied Seismology, B. z. G. Erg. I, 393.

En el segundo caso consideremos una columna rectangular de base cuadrada, o sea una *pilastra* $ABCD$, que descansa sobre el suelo *sin medio alguno de unión*, esto es, sin cimiento, etc., cuyo centro de gravedad esté en G ; llamemos $2y$ a su altura y $2x$ a un lado de la base, mucho menor que la altura, como de ordinario.

La altura del centro de percusión P de la dicha pilastra, con relación a su base AB , será:

$$OP = \frac{\left(\frac{x^2 + y^2}{3} + y^2\right)}{y} = \frac{x^2 + 4y^2}{3y}$$

Si el suelo se mueve bruscamente en la dirección de la flecha, esto es, de a hacia b , la pilastra deberá girar, teniendo por centro de percusión o de empuje al punto P y se caerá siempre que su centro de gravedad G caiga fuera del eje de giro A . Si llamamos O' al punto de intersección de la vertical, que pasa por P , con la prolongación de la línea BA , tendremos que la distancia OO' se pueda tomar como la doble amplitud $= 2A$ del movimiento necesaria para que la pilastra se caiga.

Tenemos que: $\frac{GO}{AO} = \frac{PO}{OO'}$, y como $2A = OO' = \frac{OA \times OP}{OG}$, resultará: $A = \frac{x(x^2 + 4y^2)}{6y^2}$, ecuación que da la amplitud minimum necesaria para tumbar una pilastra de $2y$ de altura y $2x$ de base, y que muestra evidentemente que A no depende solamente del valor de la relación $\frac{x}{y}$, como en la fórmula de West, sino que también del valor absoluto de x (*).

(*) Llamando h a la altura del *centro de percusión*, esto es, del punto que debe caer fuera para que se tumbe el objeto, la fórmula general resulta: $A = h \times \frac{x}{y}$.

Con cuerpos en que la relación $\frac{x}{y}$ sea constante, por ejemplo de $\frac{1}{5}$, bastará una máxima aceleración igual o superior a 196 gals para derribarlos, con tal de que las amplitudes excedan de 0,67 centímetros ($x = 1 \text{ cm}$) y 67 centímetros ($x = 100 \text{ cm}$)..., etc. Lo primero, con la máxima aceleración indicada exigiría un período igual o

inferior a: $T_1 = \sqrt{\frac{4 \pi^2 \times 0,67}{196}} = 0,37$ segundo y lo otro

3,7 segundos. El primer cuerpo es, por tanto, derribable, aun prescindiendo de otras razones, por un terremoto muy destructor, ciertamente, pero de los que aun en los años menos infaustos, apenas faltan un par de ellos en alguna parte del mundo, el segundo, naturalmente con las mismas restricciones que en el caso anterior, resulta prácticamente inderribable, dado que exigiría una moción todavía más violenta que la del sismo de Minowari, reputado actualmente como el más violento de estos últimos tiempos.

Lo dicho basta para explicar el por qué edificios de tan insignificante sección, como algunos *sky scraper* de más de un centenar de metros de San Francisco de California y la esbeltísima torre *Garisenda* de Florencia, con sus 99 metros de altura y menos de 6 metros de sección, resisten tan admirablemente a los terremotos, y esta última desde hace más de cinco siglos, y es que aunque carecieran de cimientos son inderribables en una sola pieza, y la solidez y excelente trabazón de los materiales les libran de los accidentes tan temibles del desmoronamiento y de la fractura, haciendo se porten cual lo harían gigantescos monolitos.

En el derribado y también en la proyección, resbalamiento, disgregación y formación de rajaduras y grietas no hay que olvidar la suma de unos esfuerzos con otros y también las detenciones bruscas y cambios de dirección, cuya capital importancia en las fracturas parece no tenerse siempre tan en cuenta como fuera menester.

El eminente sismólogo ruso Príncipe B. Galitzin ha deducido la siguiente fórmula, que damos cambiada la notación, para no variar la adoptada, y que permite calcular la máxima aceleración mínima capaz de derribar a un paralelepípedo homogéneo:

$$z = x \sqrt{\frac{4}{3}} \times \frac{g}{y} \left(1 + \frac{x^2}{y^2}\right) \quad (1)$$
, la que con: $y = 5x$ y $x_1 = 1$ cm., $x_2 = 100$ cms., da por máxima aceleración 165 gals en vez de los 196 de la fórmula de West, ciertamente de carácter empírico y no producto como esta de un cuidadoso análisis teórico del asunto, avalorado y confirmado por los experimentos.

La *proyección* es otro de los fenómenos observables en determinadas circunstancias. Si llamamos z a la máxima aceleración en sentido horizontal, H a la altura desde la cual haya caído un cuerpo pesado, y S la separación o distancia que medie entre el pie de la vertical o punto donde debiera quedar el objeto, de haberse simplemente caído, sin que ninguna fuerza lo empujara hacia delante y aquel donde cayó efectivamente (excluidos el rodado, rebotes y las oscilaciones, más que probables, de lo que le sirviera de soporte, de no ser éste una roca o algo equivalente), tendremos que:

(1) Über eine dynamische Skala zur Schätzung von makroseismischen Bewegungen. C. R. (Manchester, 1911), 189.

$$\alpha = \sqrt{\frac{g}{2}} \times \frac{S}{\sqrt{H}} \quad (1), \text{ y simplificando, } \alpha = \frac{2,2 S}{\sqrt{H}}$$

Aplicando el Profesor A. Riccò la fórmula indicada a grandes bloques de granito caídos desde distintas alturas de la torre de la Catedral de Sinopoli, alguno de los cuales se apartó hasta 840 centímetros, dedujo como máxima aceleración del terremoto que los derrumbó 390 gals, cifra de la que se deduce como altura de caída, $H = \frac{(2,2 S^2)}{\alpha^2}$, aquí de unos $22 \frac{1}{2}$ metros.

Esa máxima aceleración parécenos excesiva, por tratarse de un sismo que solamente causó la muerte a un centenar de personas, a pesar de lo poblado de su área pleistostista y de la pésima construcción de los más de los edificios. La causa de esto la atribuiríamos a que no se trata de un cuerpo colocado sobre el borde de otro de superficie plana y rígido en absoluto, como supone la fórmula, sino de ese mismo cuerpo puesto encima de otro imperfectamente elástico, como por ejemplo, un muro, el cual, al ser sacudido por el terremoto, coadyuva al lanzamiento del objeto, como lo prueban los observados más de una vez con sismos relativamente poco violentos, e incapaces de originar tales efectos a no intervenir la reacción elástica del soporte. Omori, en uno de sus experimentos, de los que hablaremos más adelante, sacudiendo violentamente pilares de ladrillos de un par de metros de altura y unos 23 centímetros de lado sus bases, ha podido medir vibraciones de unos 17 centímetros de amplitud por casi 1,6 segundo de período (2). Esas vibraciones

(1) Riassunto della Sismografia del terremoto del 16 Noviembre de 1894. *B. S. S. I.*, V, 168.

(2) Seismic Experiments on the Fracturing and Overturning of Columns, *B. Imp. E. I. C.*, vol. IV, num. 1, 20.

es probable alcancen mayor amplitud en los edificios muy elevados y eso aun con sacudidas menos violentas que las producidas artificialmente por el célebre profesor de Sismología de la Universidad de Tokio, y, sin duda, han de alejar notablemente de la vertical a los objetos que se desprendan.

El *resbalamiento*, tratándose de superficies algo extensas, perfectamente horizontales, aunque no lisas por completo, ni menos lubricadas, exige, en general, máximas aceleraciones superiores a 400 gals. Cuando una o varias de las condiciones expuestas no se cumplen, bastarán otras muy inferiores, cual ocurre en el Japón con las casas de madera al estilo del país, cuyos postes descansan sobre pequeñas piedras planas tomadas con frecuencia de los arroyos, de los que se salen los postes fácilmente, y más aún al desvencijarse un tanto, sin que resulten muchas veces daños importantes, y sí deformaciones antiestéticas.

Para que un cuerpo *resbale* en vez de ser *derribado*, es preciso que su coeficiente de fricción cumpla con la condición: $\mu < \frac{x}{y}$, y por cierto el valor de μ es sumamente elevado: de 0,50 para la madera, de 0,71 para las piedras y ladrillos (1), de donde resulta que para que un objeto de madera resbalase sobre un piso de lo mismo, haría falta una máxima aceleración de $980 \times 0,50 = 490$ gals y unos 700 si fuesen de ladrillo, en la hipótesis antedicha y excluyendo, por supuesto, las oscilaciones del objeto y las pequeñas dimensiones del soporte, como acabamos de decir.

(1) Sir Guilford Molesworth, *Pocket Book of Engin. Formulae*, 403 (23.^a ed., 1896).

Los fenómenos de *fractura* y de *rajado* son, por su frecuencia y efectos, mucho más importantes que los de derribado y resbalamiento, tomados en su más estricto sentido.

Como en ningún sitio se han estudiado mejor que en el Japón, primero por el Profesor inglés John Milne, el fundador de la Sismología moderna, y después por su brillante discípulo el Profesor japonés Fusakushi Omori, tomaremos de uno de los más importantes trabajos de este último cuanto nos sea preciso para exponer una síntesis de este último.

Supongamos un pilar de ladrillos *ABCD* fijado convenientemente sobre el suelo, esto es, con sus cimientos, como de ordinario, y que el dicho suelo se mueve en la dirección *ab* con una aceleración al principio nula, en el punto de equilibrio *O*, la que va aumentando, al ir hacia la derecha, hasta el punto *b*, para después disminuir, anularse de nuevo, al llegar segunda vez a *O* y crecer, alcanzando en *a* el mismo valor que antes en *b*, aunque con signo contrario. Si llamamos $+\alpha$ a la aceleración alcanzada en este último punto y $-\alpha$ a la correspondiente al punto *b*, tendremos que la posición de la columna o pilar, supuesto inmóvil y fijo sólidamente en el suelo, no habrá variado con relación a este, mientras que la aceleración $+\alpha$ habrá obrado sobre la columna con una fuerza igual al producto de la masa de aquélla por la aceleración producida por el movimiento, la que actuará en la misma dirección que este.

Supongamos ahora una sección *EF* de la columna y veamos en qué condiciones pudiera fracturarse. La por-

(1) Note on applied Seismology...

ción $EFCD$, cuyo peso es W y cuyo centro de gravedad se halla en una altura f , se encuentra accionada por una fuerza horizontal $\frac{\alpha}{g} W$, aplicado al punto G . Si introdu-

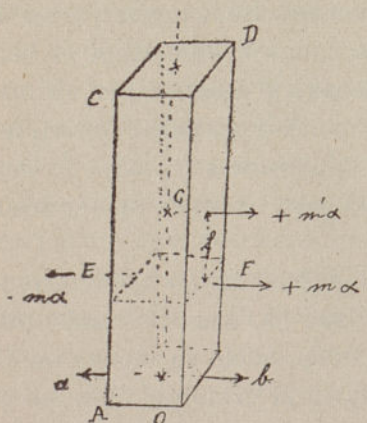


FIG. 3.^a

cimos dos fuerzas iguales y opuestas, $+\frac{\alpha}{g} W$ y $-\frac{\alpha}{g} W$, a lo largo de la línea de intersección del plano EF con el principal que pase por G , tendremos que el momento del par de fuerzas que tienda a flexionar la columna es: $M = \frac{f \alpha W}{g}$, pudiendo despreciarse la fuerza que tiende a cortar el pilar o de

cisallamiento, muy inferior a la que tiende a *cimbrarlo*, y, por lo tanto, a fracturarlo, si la altura de la misma es un múltiplo algo crecido de su espesor, como de ordinario.

Si la columna se dobla ligeramente, esto es, se cimbrera hacia adelante, por ejemplo, bajo la acción de la fuerza horizontal indicada, existirá contracción longitudinal de los elementos situados por delante del eje central o *fibra neutra* y estirado de los que se hallen por detrás. La presión sufrida por los unos y la tensión ejercitada sobre los otros la podremos expresar por la fórmula

general: $P = \frac{M}{I} \times x_0$, en la cual x_0 es la distancia, $O'\gamma$,

I el momento de inercia del plano EF con relación al eje OO'' y M su momento de flexión, deducible en el caso de un movimiento rítmico, como el de un terremoto, por

ejemplo, de la ecuación usual de la máxima aceleración:

$$\alpha = \frac{4 \pi^2 A}{T^2}, \text{ en la que } A = Oa = Ob, \text{ y } T \text{ será el ritmo}$$

del movimiento.

Como antes teníamos: $M = \frac{f \alpha W}{g}$, sustituyendo resultará: $P = \frac{x_0 f \alpha W}{I g}$.

Si P iguala o excede a la fuerza de cohesión F del material que integre la columna, ésta deberá romperse o, al menos, rajarse por el lado E . De donde tendremos

que: $F = \frac{f \alpha W x_0}{I g}$, siendo α la máxima aceleración mínima, en este caso, capaz de fracturar la columna, cantidad deducible, a su vez, si se conoce el valor de F , con

la fórmula: $\alpha = \frac{I g F}{x_0 f W}$.

Bastará que indiquemos algunos momentos de inercia, sin detenernos más en este punto, tan conocido de Ingenieros y Arquitectos y del que tratamos sólo a título de vulgarización de conocimientos, relacionando los dichos momentos con el eje OO' antedicho, o sea con la *fibra neutra*.

Columna de sección circular ($r = x_0$).....	$I = \frac{\pi x_0^4}{4}$
» de base cuadrada (lado = $2 x_0$).....	$= \frac{4}{3} \pi_0^4$
» de base rectangular (lados = $2 b$ (grandes), $2 x_0$ (pequeños).....	$= \frac{4 b x_0^3}{3}$
» de base circular hueca ($2 x_0 - 2 x_1$).....	$= \frac{\pi (x_0^4 - x_1^4)}{4}$
» de base cuadrada hueca ($2 x_0 - 2 x_1$).....	$= \frac{4}{3} (x_0^4 - x_1^4)$

El *rajado* de los muros y tabiques es otro fenómeno

importante y dependiente del movimiento sísmico. Aunque pudiera ser debido en algunos casos a ceder el piso por no estar el edificio convenientemente cimentado, muchas veces lo produce la inercia misma del muro, obrando análogamente a la del pilar de cuya fractura nos acabamos de ocupar.

Sea un muro $abcd$ cuya base se encuentra fija en el suelo; si éste se mueve en el sentido de $\alpha\beta$, el muro, al deformarse, ocupará la posición $abc'd'$, gracias, por una parte, a su considerable inercia, y por otra a la carga ordinaria de pisos, techumbres, etc., que la aumentan considerablemente, y como el cambio de longitud se hace más notable en las líneas inclinadas unos 45° sobre la horizontal, en las dichas líneas se presentarán de preferencia las rajaduras, así como en las perpendiculares a las mismas, por efecto del movimiento de reacción en sentido $\beta\alpha$ que necesariamente ha de seguir al anterior, de no terminar el *rajado* en una serie de fracturas con de-

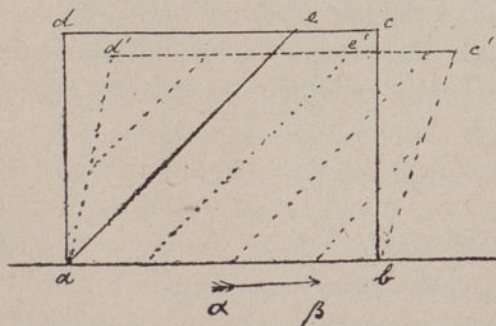


FIG. 4^a

Omori (1) (de quien es la explicación anterior) cuando estuvo en California para estudiar, por cuenta de su Go-

rumbe. Notable ejemplo de estas rajaduras en un revestimiento de estuco nos lo da uno de los muros del hotel Saint James en San José, fotografiado por

(1) Cause of the San Francisco Earthquake, 12-13.



LÁM. V.—La iglesia de Aquilpa después del terremoto de Chilapa, la torre, seccionada en varios trozos, aun superpuestos, indica claramente los efectos de la inercia y de la reacción elástica, y además que la amplitud del movimiento no fué muy considerable.

bierno, los efectos del terrible terremoto del 18 de Abril de 1906.

El célebre sismólogo inglés Sir Robert Mallet, en su clásica obra sobre el gran terremoto napolitano de 1857, donde se encuentra el germen de buen número de recientes descubrimientos, utilizaba las fracturas para calcular el ángulo de emergencia de las ondas sísmicas, y con aquél la profundidad del foco u origen del terremoto, procedimiento que pierde mucho de su valor si tenemos en cuenta lo corrientes que son las fracturas horizontales, como las hemos visto en más de un tabique después del terremoto de Santafé del 31 de Mayo de 1911, y sin que dejaran de presentarse las casi verticales.

Según Oddone, las dos grandes fracturas casi verticales de la fachada de la iglesia de Santa Lucía en Magliano, y otras lesiones análogas en otros edificios, se debieron a movimientos de rotación de los muros transversales (1).

En el notable trabajo que tantas veces llevamos citado, atribuye este distinguido sismólogo la gran frecuencia de líneas de fractura con inclinación de unos 62° aproximadamente al ángulo de emergencia complementario del anterior, esto es, de 28° (2).

La *disgregación* de los objetos arguye poca, o mejor dicho, casi ninguna adherencia en las partes que los integran, y si se trata de edificios es preciso sean pésimos los materiales, mala la hechura, y tal cual vez indican impericia por parte de quienes los hayan dirigido, cuando no cierta conciencia demasiado laxa en asunto grave por

(1) Cause of the San Francisco Earthquake, 186.

(2) o. c., 114.

las terribles consecuencias que, tarde o temprano, es probable acaezcan. Los efectos de las causas antes citadas, aisladas unas veces, otras reunidas, resultaron particularmente luctuosos en Messina, el 28 de Diciembre de 1908 y en Avezzano el 13 de Enero de 1915, fechas fatales para aquellas dos poblaciones y sus contornos, y en las que la primera perdió el 50 por 100 de sus habitantes, y el 80 por 100 de los suyos la segunda.

Respecto a Messina, el Profesor Omori, después de estudiar sobre el terreno sus ruinas, atribuye tan horrenda catástrofe no tanto a la violencia del sismo, cuya máxima aceleración no cree excediera en mucho de 200 gals, como a la pésima construcción de los edificios, con muros sin ninguna ligazón los unos con los otros, como la muestra, por ejemplo, uno de los ángulos de la Plaza Cavallotti, y con materiales tan de desecho, aun en los barrios más elegantes, como para medir hasta cinco metros de altura en algunos sitios los montones de escombros, como en el cruce de la Vía Cavour con la de Istria (1). Entre tales montones de cascotes, maderamen, herraje y moblaje, y de mil otros objetos entremezclados, formando un conjunto de restos indefinibles por lo fragmentados, no es de extrañar que lo raro y extraordinario fuese el escapar con vida, que no el quedar horriblemente mutilado a la par que sepultado. Según el mismo sabio japonés, cuando el terrible terremoto de Mino-Owari, en la ciudad de Nagoya, algo más populosa que Messina, el número de víctimas ascendió a 190, a pesar de haber sido allí el movimiento sísmico algo más intenso (260 gals) (2), y de no consistir la casa japonesa de

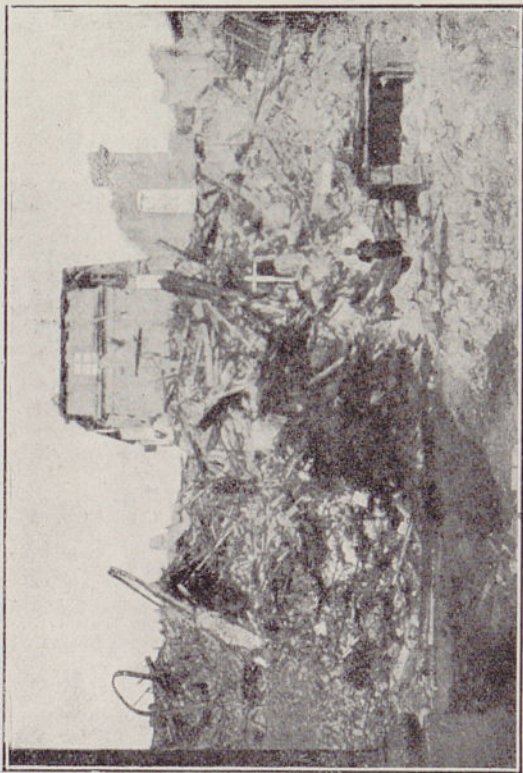
(1) Omori, Preliminary Report on the Messina... I, XI.

(2) o. c., 40.



LÁM. VI.—Casas de la plaza Cavallotti después del terremoto de Messina, mostrando la destrucción de sus fachadas y de otros muros, debida a la mala calidad del material empleado. El desfondado de los pisos causó víctimas innumerables, y sin embargo, los tabiques en pie, las puertas aun cerradas y los cuadros todavía pendientes de los muros, indican un movimiento no más fuerte que el sentido en San Francisco, incomparablemente menos luctuoso, a pesar de su extensa área destructora y de lo poblado de ésta.





LAM. VII.—La vía Cavour en su cruce con la Idría, después del terremoto de Messina y obstruída por montones de escombros de unos 5 metros de altura, lo que muestra la resistencia insignificante a la factura y a la disgregación de los muros. Lo extraño fué, según Omori, que tomó esta vista, no que perecieran 75.000 personas, sino que se salvaran otras tantas, opinión de la que participamos.



las clases menos acomodadas un ideal bajo el punto de vista sísmico, ni mucho menos. Una construcción no tan detestable, con tal que hubiese sido nada más que mediana, hubiera salvado la vida a más de 74.600 personas.

Las 6 grandes fotografías y 25 postales con vistas de Avezzano y de sus contornos que nos remitió desde Roma uno de nuestros Superiores a raíz del suceso, las publicadas por *Ibérica*, las reproducidas por Oddone en su tan interesante trabajo y los relatos muy detallados del *Corriere d'Italia* y de otros periódicos igualmente italianos, nos inclinan a creer que lo detestable del material y defectuosa construcción tuvieron la culpa de casi todas las desgracias, a lo que habría que añadir en muchos sitios la influencia perniciosa de los rellenos y terrenos de acarreo en las cimentaciones, sin que sea preciso admitir máximas aceleraciones tan elevadas ni menos amplitudes tan enormes con períodos tan cortos, como no se supongan las dichas amplitudes suma de impulsos sucesivos.

CAPÍTULO IV

Escalas sísmicas de Forel-Mercalli-Cancani y Sieberg.

El determinar el valor de la máxima aceleración requiere el uso de instrumentos especiales, fuera de los casos contados en los cuales se pueda deducir de las dimensiones de los objetos derribados, y además esos instrumentos sólo existen en unos pocos sitios, y por más que se multiplicasen jamás se podrían instalar en todas partes, de aquí las *escalas de intensidades* (1) más o menos empíricas y también más o menos utilizables en regiones diversas para las que más especialmente hayan sido ideadas.

Por lo pronto la división de terremotos en muy débiles, débiles, fuertes, muy fuertes, violentos y destructores, para usar de la fraseología ordinaria, y que a primera vista parece buena, apenas si puede admitirse en sus términos de débiles, violentos y destructores, porque fuera de estos últimos, no falta en la misma población y hasta dentro del mismo aposento quienes califican de violento al sismo, como a cada paso nos muestra la prensa diaria. Sirvanos de ejemplo lo acaecido en Madrid, donde los terremotos constituyen un fenómeno poco menos que desconocido, tal es su rareza con el sentido el 23 de Abril de 1909, al que no faltó quienes lo calificasen de

(1) La intensidad con que se haya sentido un terremoto en un sitio determinado es la máxima aceleración sufrida por las partículas del suelo.

destructor, otros lo considerasen como débil, mientras que para muchos pasó desapercibido.

El fin de las escalas es proporcionar medios de comparación para deducir aproximadamente de su existencia o no existencia la intensidad del sismo.

Los fenómenos objetivos son muy superiores a los subjetivos, y constituyen los mejores datos que se pueden recoger para el estudio de los terremotos.

La escala hoy más admitida es la denominada Forel-Mercalli (1), del nombre de sus autores, la que comprende X grados, desde el I (movimiento sísmico sólo perceptible con el auxilio de los instrumentos), hasta el X (destructor) y que el Profesor Adolfo Cancani, a más de añadirle dos grados más, por presentarse terremotos, por desgracia, aún más violentos, dedujo las máximas aceleraciones probables y capaces de ocasionar los efectos característicos de cada grado. Últimamente el distinguido Secretario Técnico de la Estación Imperial de Estrasburgo, Augusto Sieberg, ha publicado una escala casi idéntica a la de Forel-Mercalli-Cancani, pero muy superior por la riqueza de datos fácilmente observables que da como característicos de cada uno de sus grados, lo que nos incita a reproducirla, añadiendo las aceleraciones probables.

ESCALA DE SIEBERG (2).

«I (*temblor insensible*: $< 0,25$ gal).—No percibido por el hombre y sólo conocido por haberlo registrado los sis-

(1) G. Mercalli, Sulle Modificazioni proposte alla Scala Sismica di Rossi-Forel, *B. S. S. Ital.*, VIII, 184.

(2) Über die markroseismische Bestimmung der Erdbebenstärke, *B. z. G.*, XI, 2/4, 231-235.

mógrafos en especial sensibles a los terremotos cercanos y los sismoscopios también más sensibles. En algún caso pudiera darse cuenta alguna persona de haberlo sentido, después de constarle su existencia.

II (*muy ligero: 0,25-0,5*).—Solamente advertido en medio del reposo completo por alguna persona muy sensible (en especial muy nerviosa) como un estremecimiento o balanceo casi imperceptible, y más fácilmente sentido en los pisos altos que en los bajos y, sobre todo, estando despierto en el silencio de la noche.

III (*ligero: 0,5-1*).—Sentido por pocos en relación al número de los que no se dieron cuenta del fenómeno, como un estremecimiento análogo al producido por el rápido paso de un coche. Rara vez se puede apreciar la duración del temblor y menos todavía la dirección aparente del movimiento. Varias personas se enteran de que lo que sintieron, sin apenas darse cuenta, fué un sismo, al saber que otras lo habían sentido.

IV (*mediano: 1,0-2,5*).—Apenas sentido fuera de los edificios por algunos. En el interior de éstos, percibido por los más, aunque no por todos. Estremecimiento o ligero balanceo del mueblaje y otros objetos, con ligero golpeteo de las piezas de cristalería y vajilla que se encuentran casi tocando las unas a las otras, al modo como sucedería si pasase cerca y sobre un empedrado desigual un carro pesadamente cargado. Las cristaleras se estremecen, crujen las ventanas, puertas, viguería y los pisos de madera. Los líquidos contenidos en vasijas de gran superficie (el agua en los lavabos, p. ej.), se mueven ligeramente. El temblor puede despertar algún dormido y nunca causa espanto, de no estar ya las personas excitadas y angustiadas por terremotos anteriores.

V (*algo fuerte: 2,5-5*).—Sentido por muchos en calles y plazas, a pesar de la agitación producida por el tráfico ordinario. En el interior de las casas se presentan muchos hechos que observar. Unas veces se siente un estremecimiento análogo al que hubiera producido un pesado mueble al derrumbarse, y otras, hallándose al observador sentado o en el lecho, le parece sentir como si estuviese en una embarcación agitada por las olas.

El follaje de las plantas se mueve, como si soplaste un viento de mediana intensidad, ocurriendo lo mismo con los objetos fácilmente agitables.

Los objetos suspendidos libremente, como cortinas, lamparillas eléctricas y arañas (no muy pesadas), oscilan, las campanillas suenan y los relojes de péndola se paran (1) o describen sus péndolas, al oscilar, arcos mucho mayores que de ordinario, según que la dirección de la sacudida sea perpendicular al plano de oscilación, o coincida más o menos aproximadamente, con el mismo, y los parados andan un poco. Las campanas de muelle de los relojes de pared suenan; las lamparillas eléctricas pueden apagarse por establecerse cortos circuitos o interrupciones; los objetos de equilibrio poco estable caen o cambian algo de lugar; los cuadros golpean a los muros y se tuercen; pequeñas vasijas completamente llenas de líquido se derraman, mientras que puertas y ventanas

(1) Esto puede ocurrir con sacudidas mucho más débiles, como nos pasó con el terremoto Ibérico tantas veces citado (7,4 mm p. seg² = III F. M. en Cartuja [Granada]), y depende mucho del período del sismo, del estado de limpieza del reloj, de la relación entre los pesos de la péndola y de la pesa, del equilibrado, del escape (el Graham es muy expuesto a las paradas, al revés del *libre* de Riefler), etc. Es conveniente el saber si el reloj se paraba fácilmente o no.

entreabiertas se cierran o se abren más, a veces con rotura de cristales.

Ordinariamente despiertan los dormidos y, alguna vez, se refugian las personas al descubierto.

VI (*fuerte: 5-10*).—Todos sienten el terremoto con espanto (1), por lo que muchos huyen al exterior. Algunos creen estar a punto de ser derribados. Los líquidos contenidos en vasijas se agitan notablemente; caen cuadros de las paredes, y libros, etc., de estantes y aparadores, lo que no ocurre, si se encuentran orientados, según la dirección predominante de las sacudidas. Numerosos cristales de puertas, ventanas y armarios se quiebran, y hasta los mismos muebles y otros objetos estables cambian algo de posición y aun se caen. Tocan solas las campanas pequeñas de las capillas, etc.

En alguno que otro edificio sólidamente construido a la europea (2), se producen pequeñas grietas sin importancia, y también se desprende algún poco de estuco o revestimiento de paredes o cielos rasos.

En los edificios mal construidos, los desperfectos son mayores, sin llegar a ser nunca alarmantes (3).

VII (*muy fuerte: 10-25*).—En el interior de los edificios muchos objetos, aun pesados, caen o se mueven, produciéndose grandes perjuicios. Las gruesas campanas de las iglesias tocan solas (4).

(1) Afirmación demasiado absoluta, al menos para España.

(2) Sieberg dice *mitteleuropischer*, pero en España, en muchas partes, y también en América, se construye tan sólidamente o más que en Alemania, donde por otra parte la rareza de los terremotos violentos no exige precauciones, necesarias en otras partes.

(3) En esto y en lo que se siga se excluyen, por de contado, los edificios ruinosos de por sí.

(4) Alguna vez basta el grado VI, como acaeció con las de la

Se enturbian las aguas corrientes y se presentan ondas contra la corriente. En las orillas se pueden presentar eyecciones de arena o guijarros, a la vez que puede cambiar el caudal y la composición de las aguas.

Numerosas casas del tipo europeo (mampostería), a pesar de su sólida construcción, sufren algunos desperfectos, tales como grietas menos importantes en los muros, caídas de porciones considerables del revestimiento de las paredes y cielos rasos, desprendimiento y caída de tejas, torcedura de veletas. Rotura y caída de chimeneas de mala construcción, con el estropeo consiguiente de los tejados. Caída de adornos de piedra mal sujetos, de las altas torres.

En los edificios construídos con armazón interior y tabiques de madera, los daños, caída del revestimiento etcétera, se acentúan.

Los edificios en mal estado, ya por su construcción ya por el material, ya por el descuido, como por ejemplo, muchas casas generalmente habitadas por personas menos acomodadas, cobertizos, chozas y aun iglesias, sufren notablemente, y aun pudieran destruirse parcialmente. En cambio no sufren nada los edificios sólidamente construídos con algunas precauciones, como ocurre, por ejemplo, con los de hormigón armado y los de armazón de cañas o madera, muy comunes en los países tropicales.

VIII (*ruinoso: 25-50*).—Todos los troncos de árboles, y en especial las palmeras, se balancean fuertemente, como si las agitase un violento huracán. Hasta los muebles

Catedral de Granada en la madrugada del 16 de Junio de 1910, cuando el más violento de los terremotos de Adra.

más pesados cambian de lugar o caen al suelo. Las estatuas y objetos semejantes situados cerca del suelo en iglesias, cementerios, etc., o se desvían y tuercen sobre sus pedestales o caen.

Los vallados de piedra se derrumban. A pesar de que estén sólidamente construídas, las casas del tipo europeo sufren notablemente, presentándose rajadas importantes en los muros, y se producen tal vez hundimientos parciales. La mayor parte de las chimeneas de las casas caen, y lo mismo puede ocurrir con las de las fábricas y con las torres que estén también en mal estado, con el consiguiente daño de los edificios circunvecinos. Las chimeneas de fábrica de buena construcción sólo sufren desperfectos en su porción más alta.

Los edificios de gran resistencia (Japón, etc.), construídos de piedra o ladrillos, sufren análogos desperfectos que los europeos ordinarios con los terremotos del grado VII, y las casas de madera se deforman. Las estacas carcomidas de los edificios malayos y análogos se rompen.

Se presentan algunas rajadas pequeñas en el suelo, con salida, a veces de arena, y en terrenos húmedos también de fango y de agua.

IX (*destructor: 50-100*).—Hasta los más sólidos edificios de construcción europea ordinaria sufren graves deterioros, de tal manera, que muchos quedan inhabitables, y alguno que otro total o casi totalmente destruído. Los edificios de armazón de madera o metálica ordinaria pierden gran parte del revestimiento de material y quedan más o menos resentidos. Los edificios de piedra y ladrillos, construídos para resistir a los terremotos, sufren notables desperfectos, y algunos, los de madera, rajadas,

desencaje de piezas..., pudiendo quedar notablemente torcidos y desvencijados los más viejos y menos resistentes.

X (*muy destructor: 100-250*).—La mayor parte de los edificios de piedra y con armazón quedan gravemente damnificados y aun destruidos, diferenciándose los construidos más especialmente para resistir a los terremotos en que el tanto por ciento de los muy perjudicados es menor que el de los de construcción a la europea. Los mismos edificios y puentes de madera sufren averías de consideración, y alguno que otro queda destruido.

Los diques y obras análogas quedan con más o menos desperfectos. Los railes se tuercen. Las cañerías de aguas o gas se rompen o atascan. Se raja el asfalto de las calles y plazas y se presentan elevaciones en el empedrado. En los terrenos poco consistentes, y más aún si son húmedos, se abren grietas de hasta varios decímetros de anchura, las que, cuando son paralelas a los ríos y canales, miden hasta 0,5 a 0,75 m. Pueden desprenderse de los montes, no sólo tierras, sino hasta trozos de rocas, y rodar a los valles.

Las orillas escarpadas se derrumban en parte, mientras que las bajas se cubren en algunas partes de arenas o fango, con lo que se modifica notablemente el aspecto del paisaje. El caudal de aguas cambia con gran frecuencia en fuentes y pozos, y también las aguas de ríos, canales y lagos pueden ser proyectadas a las orillas.

XI (*catástrofe: 250-500*).—Sólo alguno que otro edificio de piedra o ladrillos resiste a la destrucción. Aun de los mismos de madera o de armazón de hierro quedan arruinados, sobre todo en las cercanías de la línea de fractura. Los más sólidos puentes de cantería y de hie-

rro se destrozan por romperse los pilares de cantería y quebrantarse los de hierro. Algunos puentes de madera resisten, mientras que otros quedan arruinados o sufren grandes averías. Los diques y otras obras hidráulicas se rompen. Los railes de las vías férreas se encorvan y retuercen notablemente.

En las vías de comunicación (camino, carreteras, etcétera), se muestran efectos diferentes, según la constitución del terreno. Las canalizaciones de aguas, gas, etcétera, no sólo se rompen, sino que se inutilizan. En el terreno suelen presentarse muy notables cambios morfológicos, amplias rajaduras y fallas, y especialmente en terrenos secos, desviaciones horizontales o verticales del suelo. En otras condiciones pueden presentarse abundantes eyecciones de arena o de fango. Los desprendimientos de tierra o desgajamientos de rocas son frecuentes.

XII (*gran catástrofe*: > 500 gals).—Ningún edificio ni obra de arte humana queda en pie (*).

Las modificaciones del terreno alcanzan las mayores proporciones, sobre todo si las condiciones de éste son favorables. Así, en las tierras laborables se presentan hoyos profundos alternando con montones de materiales

(*) Esta afirmación de Sieberg es demasiado absoluta. Siempre que haya muchos edificios, como de ordinario ocurre, algunos resisten, y esas ruinas totales jamás se han observado sino después del incendio, que suele ser consecuencia del terremoto, y el que, sobre todo tratándose de un país donde el petróleo se consume en abundancia para el alumbrado y el caserío es en general de madera, como en el Japón, destruye por completo, no sólo lo ya derribado y maltrecho, sino lo que de otro modo se hubiese salvado incólume o con muy pocas averías.

Los edificios de *hormigón armado*, y aun algunos de *bahareque* de Centro América, tienen una existencia prodigiosa respecto a los terremotos, y los primeros también a los incendios.

arrojados al través de numerosas grietas, a la par que como escalones (descensos o elevaciones del terreno) y desviaciones laterales. Se desprenden peñascos de las cimas, se producen numerosas fallas y trastornos en las riberas de ríos y lagos, cuyas aguas bañan puntos que antes no habían alcanzado. Las corrientes de agua, tanto las superficiales como las subterráneas, sufren numerosos trastornos, y los mismos ríos pueden cambiar notablemente su curso, etc.»

Algunas observaciones se nos ofrecen respecto a ciertos pormenores de la precedente escala, primeramente, porque se da como carácter de terremoto el que *ningún edificio quede en pie*, y eso habiendo muchos en el área pleistosista, como hasta ahora ha ocurrido, no parece haberse observado jamás. Alábase después en demasía la resistencia de los edificios japoneses, muy ligeros y elásticos, por las condiciones especialísimas del país, pero, en general, con techos pesadísimos, escasa trabazón, a pesar del derroche de excelentes maderas, por falta de tirantas, y juntas con profundas entalladuras, que exponen a fatales roturas, lo que hace se desvencijen con facilidad, y aun se derrumben con terremotos que ciertamente respetarian las buenas construcciones de hormigón armado, y aun algunas de las de *baharique* de Centro América, haciéndose poco caso de aquellas que tan brillantes pruebas han dado con terremotos tan destructores como los de California, Jamaica y otros muchos.

Por el contrario, entre las mejoras introducidas por Sieberg en la escala Forel-Mercalli nos parece muy de loar la supresión de víctimas como característico de algunos grados de aquélla, como el VIII^o (sin víctimas, o solamente alguna desgracia personal aislada); IX^o (ví-

timas no muy numerosas y esparcidas en diferentes puntos de la población); X^o (considerable número de víctimas), pues el número de éstas depende, más que de la intensidad misma del sismo, que es lo que se pretende definir con las escalas, de otras circunstancias relacionadas con el estado de los edificios, hora, costumbres del país, densidad de la población, etc. Así, puede haber víctimas con un terremoto muy poco intenso que acabe de derrumbar un edificio ruinoso, y no haberlas con uno incomparablemente más violento.

CAPITULO V

Temblores submarinos: Escala de Rudolph. — *Fenómenos acústicos:* Escala de Knett. — Tipos de Davison.—Interrogatorio de Cancani.

Los focos de un sinnúmero de terremotos se hallan en el fondo de los océanos, aparte de que el movimiento originado en tierra se transmite también a las aguas, por lo que en éstas se sienten los efectos de los sismos, si bien éstos son mucho menos nocivos que lo serian en tierra, gracias a la construcción especial de los buques. Directamente no está demostrado provoquen la destrucción de los mismos, y decimos de propósito *directamente*, porque las olas sísmicas, engendradas por los terremotos submarinos, pueden dejar tierra adentro, a enormes distancias de la orilla, a las embarcaciones, como acaeció con la corbeta peruana *América* y el vapor norteamericano, asimismo de guerra, *Wateree*, cuando el terremoto de Arica del 13 de Agosto de 1868 (1).

Entre estas olas sísmicas, una de las más luctuosas de estos últimos tiempos, fué la que el 15 de Junio de 1896 barría una extensión de más de 150 kilómetros a lo largo de las costas del Japón central (isla grande, Hondo o Nippon), con muerte de más de 27.000 personas (2).

El distinguido profesor de la Universidad de Estras-

(1) Montessus, *La Sismologie moderne*, l. VII, págs. 118-119.

(2) Sieberg, *Handbuch*, 34.

burgo, Dr. Emilio Rudolph, hizo su especialidad de estos estudios y publicó la siguiente escala de intensidades:

ESCALA DE RUDOLPH

- I. (Temblor muy débil), o mejor, ruido percibido generalmente sólo bajo cubierta.
- II. (» débil), pero suficiente, sin embargo, para despertar a los dormidos.
- III. (» sentido en todo el barco), semejante al que producirían unos grandes toneles que rodasen sobre la cubierta.
- IV. (» ligero), análogo al estremecimiento que producen las cadenas al correrse rápidamente.
- V. (» fuerte), como si el buque pasara rozando sobre un fondo desigual.
- VI. (» intenso), capaz de hacer oscilar los objetos ligeros y de hacer estremecer el timón.
- VII. (» violento), las sacudidas hacen crujir el armazón, siendo imposible mantenerse en pie.
- VIII. (» muy violento), los mástiles, la obencadura y demás aparejos y los mismos objetos pesados colocados sobre el puente se estremecen.
- IX. (» excesivamente violento), el buque da a la banda y se para o pierde marcha.

- X. (Temblor destructor), caen los tripulantes sobre el puente, saltan las juntas de éste y ábrense vías de agua.

Cuando el terremoto de Adra del 16 de Junio de 1910 cerca de dicha villa sintieron el terremoto a bordo del vapor *Industria* y del laúd *María*, ambos anclados a un kilómetro próximamente de la costa, así como en algunos barcos de pesca, a la altura de la misma y unos 6 kilómetros mar adentro, con fondos de 60 a 70 metros. A bordo de estos últimos fueron las sacudidas tan bruscas y violentas, que los tripulantes tenían que sujetarse fuertemente para no ser derribados, mientras que el mar que los rodeaba parecía como si hubiese entrado de pronto en ebullición, y un ruido, como de hélice, se dejaba sentir por debajo de las quillas. En el vapor *Ramoncito*, frente a Motril y con rumbo a Salobreña, sintieron de pronto un movimiento extraño, como si hubiesen tocado en un bajo. Algunos barcos de pesca, que también se hallaban en aguas de Motril, experimentaron trepidaciones, mientras que en otros, que se encontraban cerca de Almería (43 kilómetros al ENE.), notaron un ligero movimiento anormal de las aguas, sin que sospechasen se trataba de una sacudida sísmica, hasta que saltaron a tierra sus tripulantes y allí, enterados de lo ocurrido, pudieron relacionar los hechos (1).

A los terremotos suelen acompañar ruidos más o menos fuertes, y cuya intensidad, tono y timbre dependen en gran parte de la naturaleza del terreno, mas aún que

(1) Enumeración..., 1910, *B. R. S. esp. de H. nat.*, Nov. 1911, 463-464.

de la intensidad misma del sismo, dado que pueden presentarse sin sacudidas concomitantes, y de hecho se les oye con gran frecuencia en dichas condiciones, y hasta en sitios donde los temblores son poco menos que desconocidos.

Ejemplo de esto último lo da el litoral belga, sobre todo en las cercanías de Ostende, y de lo anterior los *bramidos* (1) de Guanajuato (México), que desde el 9 de Enero de 1784 hasta mediados de Febrero del mismo año, aterrizaron de tal modo a los habitantes de aquella rica ciudad, que casi todos la abandonaron por algún tiempo, a pesar de que ni la menor sacudida sísmica acompañaba aquellos estallidos, tan imponentes como inofensivos.

En la América latina reciben el ya citado nombre de *bramidos*, pero más generalmente el de *retumbos*; en las costas del N. de Francia, de Bélgica y de Holanda se les conoce con los de *bombes de mer*, *rots de mer*, *canon de la mer*, *mist bommen*, *mist poeffers*, *zoepoeffers*; *paperbargs*; en Italia los llaman *rombo*, *bombio*, *balza*, *marina*, *bonnito*, *brontidi*; en Suiza, *canons du lac*, *Seechiessen*; en Alemania *Bodenknale*; en la India inglesa *guns of Barisal*, del sitio donde más se perciben; en las costas dálmatas *lucene*; en el Japón *jinari*, etc., lo que indica lo frecuentes que son estos ruidos, cuyo estudio, así como el de los que acompañan a los terremotos, es muy interesante. Para facilitar el de unos y otros pueden servir las escalas que damos a continuación, y para los primeros el *interrogatorio* que pondrá fin a este capítulo.

(1) Sieberg, *Handbuch*, 117.

ESCALA DE KNETT

1. Detonación de intensidad *mínima*: sólo perceptible en absoluto reposo, y aplicando el oído al suelo.

2. Detonación de intensidad *débil*: perceptible al aire libre, cuando no hay viento, y en absoluto reposo; fácilmente perceptible por el procedimiento anterior.

3. Detonación de *mediana intensidad*: ruido que llama la atención, perceptible al aire libre, aunque el silencio no sea completo, oyéndose también en el interior de una habitación cerrada y tranquila.

4. Detonación de *gran intensidad*: gran estrépito.

5. Detonación de *intensidad extraordinaria*: estruendo análogo al de un fuerte trueno o al del disparo de una gruesa pieza de artillería; terror general.

TIPOS DE DAVISON

1.º *Paso de carros, etc.*: vacíos, cargados, caminando sobre piedras, cercanos, lejanos; paso de un tren a través de un túnel, sobre un puente, etc.

2.º *Trueno*: cercano, lejano, apagado, etc.

3.º *Viento*: impetuoso, silbante, áspero; mugido, aullido, lamento.

4.º *Cargas de piedra, etc., que caen*: ruido análogo al producido por un muro al derrumbarse.

5.º *Caída de cuerpos pesados*: caídas de árboles, vigas, golpes dados en la puerta.

6.º *Explosiones*: de una caldera, de un barreno, de un cohete, lejana repercusión de cañonazos.

7.º *Ruidos diversos*: pisadas de hombres o animales,

vuelos de pájaros, ruido de olas lejanas, de llovizna o granizada, etc.

INTERROGATORIO DE CANCANI

1. Hora y número de las detonaciones, y si fuesen muchas, hora del máximo.
2. ¿Qué intervalo suele mediar entre una detonación y otra?
3. ¿En qué época del año es más frecuente el fenómeno, y qué días se ha observado?
4. ¿Con qué tiempo se presenta? ¿Serenó, nublado, con viento?
5. ¿De dónde parece proceder el ruido? ¿De qué punto del horizonte? ¿Parece vecino o lejano, venir del aire o de debajo de la tierra?
6. ¿En qué se distingue este ruido de los disparos de cañón o de los truenos lejanos?
7. ¿Cómo los apellida la gente del pueblo? ¿Qué idea tiene de ellos y a qué los atribuye?

CAPITULO VI

Causas de los terremotos.—Isosistas.

Los más de los terremotos, y especialmente los de área macrosísmica considerable, son de origen tectónico, esto es, débense a las mismas causas que producen los movimientos *orogénicos* (*) y *epirogénicos*. Estos últimos abarcan áreas muy extensas, las que sufren movimientos análogos a los de una báscula, muy lentos de ordinario y de pequeña amplitud vertical, traducidos en las costas por *transgresiones o regresiones del mar*, según que sus aguas invadan nuevos territorios o dejen en seco a los que antes cubrían. Si se presenta alguna alteración en el movimiento lento y progresivo a que aludimos, y ésta consiste en una detención o aceleración brusca, prodúcense sacudidas, o sea terremotos, débiles, de ordinario, rara vez medianos o fuertes, y frecuentemente caracterizados por sentirse con análoga intensidad en lugares muy apartados los unos de los otros, como ocurre en Galicia, por ejemplo, con algunos sismos.

Los movimientos *orogénicos*, a los que debe la Tierra sus perfiles montuosos y el mar sus fosas abisales, se caracterizan por su mayor amplitud vertical, violentas alteraciones, con harta frecuencia, y marcada limitación del territorio que toma parte en los mismos, el que afecta

(*) De ὄρος = monte, y γενικός = perteneciente, relacionado.

de ordinario la forma de una faja más o menos estrecha, de forma groseramente rectangular, tal vez contorneada. Su acción sismogénica es preponderante y directamente relacionada con el relieve del suelo. Preséntanse allí donde los desniveles abundan y las cordilleras han surgido en épocas relativamente recientes, y en particular en los geosinclinales terciarios, como lo son Sierra Nevada, en nuestra España, y los Apeninos y los Andes. Las fosas profundas, fenómeno inverso, pero correlativo y debido a las mismas causas, ejercen en los mares análoga acción sismogénica que en tierra las cordilleras de montañas aún no asentadas del todo, y la contraria las llanuras submarinas extensas y poco profundas, verdaderas mesetas, de ordinario asísmicas, como lo es tierra adentro la Ibérica.

Los materiales heterogéneos que integran la corteza o costra más externa de nuestro globo, la única que conocemos de una manera directa, están muy lejos de hallarse en perfecto equilibrio estático, y, aun en la hipótesis de que éste hubiese existido, más tarde o más temprano, y una vez y otra se trastornará, ya en una parte, ya en otra, aún sin recurrir al tantas veces invocado enfriamiento secular. Según éste, al contraerse el núcleo habría de ocurrir con la costra terrestre lo que a la epidermis de una fruta carnosa al desecarse ésta, con la producción de arrugas; aquí montañas y fosas, y las correspondientes quebraduras, por lo poco extensible de las rocas, y gran amplitud de los movimientos, produciéndose así terremotos de intensidad y área de sacudimiento en relación con la entidad de las masas puestas en juego y otros factores que apuntaremos a su tiempo. Los efectos del calor y del frío, del agua en su múltiple aspecto

de agente de disolución, disgregación, hidratación, etc., en cuerpos de tan diversa composición química, conductibilidad, poder absorbente y emisivo, elasticidad, etc.; los desniveles más insignificantes, sin importancia en pequeña escala y que en grande determinan el curso de los ríos y tanto influyen en la vida de una región; la misma fuerza tensiva *in situ*, de las rocas, con su superficie externa ciertamente libre, pero comprimidas por los demás lados, muy en particular cuando se hallan sometidas a unos de esos lentos procesos, clasificables de pseudo-metamórficos que tiendan al aumento de volumen, causas son todas de la conservación de un estado especial durante el cual se almacenan energías tensivas, designado por *histéresis sísmica* (*).

Cuando el material que sufre la dicha histéresis es plástico, y el esfuerzo tangencial ejercido sobre el mismo amplio y suficiente, se dobla y aun contornea, afectando esos pliegues, tan caprichosos, a veces, que presentan muchas rocas estratificadas. En el caso contrario y siempre que el esfuerzo exceda los límites de la elasticidad de la roca, habrá rotura o *estratoclasis* y transformación en trabajo de corta duración, la energía tensiva acumulada durante años y aun siglos, produciéndose un terremoto, en la más estricta acepción de la frase.

Según el profesor H. Fielding Reid, en los terremotos tectónicos tiene lugar lo siguiente:

«1. La fractura de las rocas, causa de un terremoto tectónico, es la consecuencia de un esfuerzo superior al que pueda soportar su elasticidad; este esfuerzo, a su

(*) De ὑστέρησις = penuria, escasez, aquí disminución de resistencia por sobrecarga, la que al franquear los límites de la de ruptura, ocasionará el terremoto.

vez, sería el resultado de los cambios de posición o movimientos relativos de las porciones circundantes de la corteza terrestre.

»2. Esos cambios de posición no se verifican súbitamente en el mismo instante de la fractura, sino que alcanza su máximum después de un periodo de tiempo más o menos largo.

»3. Los únicos movimientos en *masa* que ocurren durante el terremoto son las vibraciones marginales o *rebotes* de los labios de la fractura hacia sitios libres de tensión, y esos movimientos no se extienden más allá de algunos kilómetros de la dicha fractura» (1).

Los terremotos de origen volcánico indubitable son muy frecuentes durante los periodos paroxísticos o erupciones, hallándose caracterizados, en general, por lo limitado de su área macrosísmica, regla que no deja de tener sus excepciones, de lo que diremos algo en la segunda parte de esta obrita.

Entre las restantes causas, mucho menos frecuentes, cuéntanse algunos sismos, propiamente dichos, debido a hundimientos del terreno, atribuibles a la acción disolvente de las aguas, extraordinariamente exaltada por la elevación de su temperatura, unida a llevar disuelta, a pesar de ésta y gracias a fuertes presiones, considerable cantidad de anhídrido carbónico, según ocurre alguna vez en la Carniola y también en el Lacio, según el ilustre director del Observatorio Geodinámico de Rocca di Papa, Profesor Dr. G. Agamennone (2), y también al desprendimiento de macizos rocosos, como en los ya citados

(1) *On Mass...* 338.

(2) *L'eau, cause indirecte des tremblements de terre, C. R..., A. Sismol. Int.* (La Haye), 177-184.

terremotos de Sarez y de Santa María de Genestaza, insignificante este último en comparación del primero, y aun de los originados por las avalanchas tristemente célebres de Servoz (1751) en Saboya, de Goldau (1806) y de Elm (1881) en Suiza (1). En este último, por cierto de menor importancia que los otros dos últimamente citados, la masa de rocas desprendidas arrastró y sepultó entre sus 25.000.000 de metros cúbicos 84 casas, pereciendo ciento quince personas.

Se denominan *líneas isosistas* (*) las que abarcan el espacio (o los espacios) de terreno, en el cual los efectos producidos por el terremoto correspondan al mismo grado de la escala de intensidades. Su trazado requiere un considerable número de observaciones y no poco tiempo para determinar el grado medio correspondiente a cada localidad, por lo que rara vez resultarán muy exactas en los países donde la información sea deficiente, cual hoy ocurre con los más. El trazado de esas líneas, hecho con toda exacción, y, sobre todo, si se hace sobre un mapa geológico a gran escala, puede ser de capital utilidad, como veremos en su lugar. Aquí nos contentaremos con añadir que, de no ser el terreno muy homogéneo, como, por ejemplo, esas inmensas llanuras de *barros* tan fértiles de Extremadura, rara vez adquieren las isosistas la forma de elipses más o menos alargadas, sino que presentan entrantes y salientes y aun especies de *islotes* intermedios, donde el movimiento se sintió, tal vez, nada o mucho menos, quizá mucho más, que en su alrededor; esas irregularidades, esos *puentes sísmicos* dependen de la ma-

(1) E. Haug, *Traité de Géologie*, I, 1.

(*) *ισος* = igual, *σειστος* = agitado, tembloroso.

yor o menor conductibilidad de terreno, produciendo, en los casos más favorables, análogos efectos a los de una gruesa capa de arena sobre un mal empedrado con respecto al estremecimiento producido por el paso de carros y coches.

En general, las isosistas más altas, y sobre todo la que rodea inmediatamente el área pleitosista, suele ser bastante alargada y de forma más o menos rectangular, y las últimas van teniendo cada vez más tendencia a la forma ovalada. En algunos, como, por ejemplo, los de la línea *sismo-tectónica* Albufeira-Estoi-Villa Real de Santo Antonio-Ayamonte, la intensidad es igual, o casi, en toda la línea (VI próximamente el de los terremotos del 12 de Agosto de 1911 y 11 de Julio de 1912) (1), decreciendo rápidamente al separarse de ella, y lo mismo ocurrió con los terremotos de Torrevieja (Alicante) del 1 y 2 de Julio de 1909 (2), en los que la dicha línea parece extenderse unos 15 kilómetros paralela a la costa, resultando un área pleitosista casi lineal, de acuerdo con lo sustentado por Reid, por ser larga la falla, y un área macrosísmica muy alargada.

(1) Prof. F. L. Pereira de Sousa, Principais macrosismos em Portugal (1911, 1912, 1913), *Com. d. Serv. Geol. de Portugal*, X. 202.

(2) Algunos datos sobre la sismicidad de España durante los ño 1909-1914, *B. R. S. esp. de H. nat.*, Dbre. 1915.

CAPITULO VII

Cálculo de algunos elementos sísmicos.—Coeficiente de absorción.—
Profundidad hipocentral: procedimiento Kövesligéthy-Jánosi.—
Curvas de intensidad y de absorción.—El trabajo producido por
un terremoto.

En este capítulo, quizá el más original de toda la obra, nos vamos a permitir descender a detalles muy elementales, a la vez que ocuparnos de cálculos reputados por tan difíciles, que los más se consideran incapaces de ejecutarlos, cuando todos los dotados de una mediana inteligencia y un poco de buena voluntad pueden tratarlos con provecho.

Es evidente que un terremoto se siente con mayor violencia en unos sitios que en otros, y la experiencia demuestra que la intensidad no decrece simplemente en función directa del cuadrado del alejamiento al epicentro, ni mucho menos el decrecimiento es igual, ni aun proporcional, para una distancia dada, en todos los terremotos. Trátase de una función compleja, en la que figuran como factores principales las condiciones del medio transmisor, o sea del terreno, unidas a las características del sismo, expresándose el decremento de energía en función de la distancia Δ , expresada en kilómetros del coeficiente de absorción por kilómetro (de no indicarse expresamente otra cosa), al que se le designa k y de $e = 2,71828\dots$ base de los logaritmos neperianos o naturales. Si llamamos I_0 a la intensidad con la que se haya

sentido un terremoto en el epicentro y I a la que tenía, por término medio, a los Δ kilómetros, tendremos:

$$\frac{I_0}{I} = e^{k \Delta}, \text{ y llamando } N \text{ a } \frac{I_0}{I}, \text{ tendremos } \log N = 0,4343 \times k \times \Delta, k = \frac{\log N}{0,4343 \Delta}.$$

En el terremoto de Adra del 16 de Junio de 1910 la intensidad, a los 12 kilómetros de distancia, resultaba la mitad, de donde, si sustituimos en la fórmula anterior, resultará:

$$k = \frac{0,301}{0,434 \times 12} = 0,058, \text{ o como se usa más de ordina-}$$

rio, por ser mucho menos expuesto a errores en los cálculos un poco complicados, $k = 5,8 \times 10^{-3}$, cifra poco diferente de la obtenida después con mayor aproximación, tal vez, al recalcularla, habida razón de la profundidad hipocentral.

En el Capítulo IV dimos, a la vez que la escala de intensidades, las máximas aceleraciones exigidas en los casos más ordinarios para producir los efectos característicos de cada uno de sus grados, según el Profesor Cancani, quien la calculó apoyándose en gran número de observaciones propias y otro más numeroso aún de otros sismólogos, y en particular de los Profesores Milne y Omori; ahora vamos a tomar por base esas máximas aceleraciones para la determinación de la profundidad hipocentral, o sea del origen del terremoto, y después para otros cálculos.

Cancani había notado que las máximas aceleraciones correspondientes a los distintos grados forman una progresión geométrica y el tan distinguido Profesor de Astronomía de la Universidad de Budapest Dr. R. de Kö-

vesligéthy (1) dedujo que la relación entre la intensidad de un grado G y la aceleración correspondiente al mismo γ , puede expresarse en la siguiente fórmula: $G = x + y \log \gamma$, en la que los valores medios de x y de y resultan respectivamente 0,38 y 3,0, de donde: $G = 0,38 + 3 \log \gamma$, y la diferencia entre dos grados distintos de intensidad: $G - G' = 3 \log \frac{\gamma}{\gamma'}$, ecuación igual a la admitida en Astrofísica para las diferencias de luminosidad entre las diversas magnitudes estelares (igualdad de Fechner, también conocida bajo el título, quizá algo pretencioso, de *ley psicofísica*).

Si llamamos h a la profundidad del foco o hipocentro y r, r' a los radios que partiendo del mismo vayan a parar a las distancias medias de los puntos o sitios situados sobre la superficie del suelo donde se hubiese sentido el terremoto con intensidades correspondientes a los grados G, G' , se tendría, en la hipótesis de que la pérdida de energía se hallase simplemente en razón inversa de las

distancias, que: $\frac{G}{G'} = \frac{r'}{r}$. Pero como esto es evidente-

mente falso, hay que averiguar el valor del coeficiente de absorción k en función de la distancia, correspondiendo a la r un decremento en la máxima aceleración expresable por la fórmula:

$\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{r'}{r} e^{k(r' - r)}$, en la que, en

el caso en que sustituyamos los grados de intensidad correspondientes a las máximas aceleraciones, se transformar

ará en: $G - G' = 3 \log \frac{r'}{r} + 3 k M (r' - r)$, $[M = \log_{10}$

(1) Seismonomia, B. S. S. Ital..., XI.

$e = 0,43429\dots]$, y en un punto del epicentro en: $G_0 - G = 3 \log \frac{r}{h} + 3 kM (r - h)$, ecuaciones a las que ha dado (β)

Kövesligéthy el nombre de *igualdades de Cancani*, en recuerdo de este célebre sismólogo romano. Como la solución del problema, siguiendo la marcha indicada por el sabio profesor húngaro, resulta un tanto laboriosa, y exige siempre se dé un valor un poco arbitrario a G_0 , basta con lo dicho para que sirvan de introducción a la elegante solución dada al problema por su distinguido discípulo el Dr. Em. Jánosi (1).

Para ello se despeja k en la ecuación:

$$k = \frac{1}{M} \cdot \frac{\frac{1}{3} (G - G') - \log \frac{r'}{r}}{r' - r}, \text{ la que, eligiendo intensi-}$$

dades que difieran entre sí tres grados (lo que, de ser posible, resulta ventajoso, según Jánosi, por disminuirse así notablemente la influencia de los errores en las apreciaciones) y llamando β al valor kM , dará ecuaciones de la

forma: $\beta_1 = \frac{1 - \log \frac{r'}{r}}{r' - r}$, en las cuales los valores $\beta_1, \beta_2, \beta_3 = Mk_1, Mk_2, Mk_3\dots$ deberán diferenciarse lo menos posible del valor $\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_m}{m}$, lo que se averigua por

la suma de los cuadrados de las diferencias de cada uno de los dichos valores con respecto a la media β_0 .

El primer tanteo se hace en la hipótesis, de ordinario falsa, de $h = 0$, con lo que resultará $r = \Delta$, o sea la distancia media entre el epicentro y la isosista, o límite del

(1) Bearbeitung makroseismischer Erdbeben (*Die Erdbeben in Ungarn i. J. 1906*), 83-87.

espacio en el cual se haya sentido con una intensidad mayor o igual a la supuesta, y también $r' = \Delta'$. Después de calculados los valores de $\beta_1, \beta_2 \dots$ y de averiguados el valor de β_0 y el de la suma de los cuadrados de los errores, se le da a h un valor hipotético, de 10 kilómetros, y se calculan entonces los valores de $r, r' \dots$, con la fórmula: $r = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \dots$, deduciéndose los valores de $\beta'_1, \beta'_2 \dots$ y comparando la suma de los cuadrados de los errores con la obtenida anteriormente, obtendremos la indicación suficiente para las cifras que debemos ensayar si queremos llegar rápidamente al resultado apetecido, para lo cual también nos habremos de fijar en los crecimientos relativos de los valores $\beta'_1, \beta'_2 \dots$ al aumentar $r_1, r'_2 \dots$ en función de h' ... Después ensayaremos un número más bajo, 7 kilómetros, por ejemplo (o más alto, según lo antes indicado), y con esto, y quizá algún par de tanteos más y un gráfico que represente los valores de las sumas de los errores, como ordenadas, y las profundidades epicentrales, como abscisas, gráfico que podemos improvisar toscamente sobre un trozo de papel cualquiera, y mejor cuadriculado, llegaremos rápidamente a la solución del problema, que aquí será el valor de h que reduzca al minimum la suma de los cuadrados de las diferencias, supuestos errores en este procedimiento.

En el terremoto de Adra, ya citado, adoptamos como valores medios de Δ los que siguen, correspondientes a los grados Forel-Mercalli, puestos al lado entre paréntesis.

12 kms. (VIII), 26 (VII), 63 (VI), 122 (V), 205 (IV), 410 (III), admitiendo, para cada uno, la mínima aceleración correspondiente en la escala de Cancani (25-10-5-2,5-1-0,5 gal, respectivamente), con lo que resultaron las

siguientes sencillísimas igualdades, las que, no obstante el nombre un poco pretencioso de *ecuaciones trascendentes*, al que tienen derecho, se resuelven con la mayor facilidad y rapidez manejando, siquiera sea medianamente, la regla logarítmica, y bastante más despacio con la tabla de logaritmos:

$$\beta_1 = \frac{1 - \log \frac{122}{12}}{110}, \beta_2 = \frac{1 - \log \frac{205}{26}}{179}, \beta_3 = \frac{1 - \log \frac{410}{63}}{347}, \text{ lo}$$

que dió $\beta_0 = 2,5 \times 10^{-4}$, $\Sigma_0^2 = 5,695 \times 10^{-7}$. Un valor de 5 kilómetros para h dió $\Sigma_s^2 = 0,765 \times 10^{-7}$, 6 el de 0,328... 8 el de 0,160... 7 el de 0,161... y finalmente 7,5 dió como valor de $\Sigma_{7,5}^2 = 0,140 \times 10^{-7}$, resultando, por lo tanto, la

profundidad media probable del hipocentro de este terremoto de unos 7 kilómetros y medio, análoga a las obtenidas en otros terremotos de parecidas condiciones por los profesores Kövesligéthy y Oddone y los doctores Em. Jánosi, A. Réthly y Egas de Castro (5-11 kilómetros).

Hemos dicho profundidad probable del hipocentro, aunque con mayor propiedad hubiéramos debido decir *muy posible*, pues como el fundamento del método es bastante hipotético, no es de extrañar el que dé a veces resultados inadmisibles, como los 102 y 170 kilómetros, respectivamente, de profundidad hipocentral supuesta a los terremotos de Charleston (31-VII-1886) y Assam (12-VI-1887) (1). Por nuestra parte, en la docena de veces que le hemos utilizado, hemos obtenido cifras entre $-0,5$ kilómetro (terremoto del Alto Éssera (28-III-1914) y $+ 28$ kilómetros (terremoto de Mino Owari), y actualmente es

(1) Bearbeitung..., 134.

el procedimiento que de ordinario da cifras más razonables.

Indirectamente pudiéramos ensayar, con el ilustre Profesor de la Universidad de Gotinga Dr. Emilio Wiechert, el deducir la profundidad hipocentral de un terremoto en función del período de las ondas sísmicas y de la velocidad de traslación de las mismas, a la manera que con las olas del mar, en las cuales $V = 1,4$ kilómetro por segundo, próximamente, T el período en segundos y P la profundidad, relacionados entre sí según la fórmula: $P = 0,35 T$, de donde unas olas que se suceden a las otras cada 8 segundos, proceden de unos fondos de 2,8 kilómetros de profundidad máxima. En tierra, esto es, transmitiéndose el movimiento al través de materiales sólidos,

Wiechert cree mejor la fórmula general: $H = \frac{TV}{2}$

en vez de la anterior, $P = \frac{TV}{4}$, valiendo V una cantidad

variable, según la rigidez de los materiales, naturaleza de las ondas, etc., de lo que nos proponemos hablar a su debido tiempo. Aquí bastará con que indiquemos que la velocidad de traslación en los casos más ordinarios, comprobada en numerosos macrosismos japoneses, es de unos 3,5 kilómetros por segundo, lo que con $T = 4$ segundos, como en el terremoto de Adra que nos acaba de servir de

ejemplo, nos dará $H = \frac{4 \times 3,5}{2} = 7$ kilómetros, cifra

idéntica, en la práctica, a la que obtuvimos aplicando al mismo caso el procedimiento Kövesligéthy-Jánosi. Con T comprendidos entre 0,4 segundo y los 4 de antes, tendremos profundidades hipocentrales de ordinario, comprendidas entre 700 y 7.000 metros. En los megasismos más

notables no cree Wiechert pasen éstas de unos 30 a 35 kilómetros (1), cifra que más bien nos parece un poco alta.

Volvamos de nuevo al terremoto de Adra, y tomando una hoja de papel cuadriculado marquemos como abcisas las distancias límites de las isosistas VIII, VII... o sea 12 kilómetros, 26... y como ordenada correspondiente a cada una de las máximas aceleraciones correspondientes 25 gals, 10... y para la distancia $O =$ punto epicentral, 45,2 = VIII, 8, que obtuvimos como media, aplicando la fórmula de Kövesligéthy marcada (β). Si unimos los puntos indicados con una línea, veremos afecta ésta la forma aproximada de una hipérbola equilátera, lo que nos invitará a calcularla para hallar así la expresión del decremento de la intensidad en un terremoto, en función de la distancia y aun tal vez una imagen ciertamente deformada del trabajo realizado por el sismo, posiblemente rectificable y comparable con las de otros terremotos.

Algunos tanteos bastante rápidos con un poco de expedición en el manejo de la regla logarítmica, y mucho orden en la marcha de los cálculos, nos permitirán averiguar cuál de las fórmulas que ensayemos resulta más favorable y también determinar los valores de coeficientes, constantes y aun exponentes.

Para Adra, por ejemplo, la intensidad media a una distancia Δ , en kilómetros estará expresada en gals, si utilizamos la fórmula: $I = \frac{530}{11,5 + \Delta + 0,004 \Delta^2}$, la que, además de dar resultados prácticamente iguales a los que

(1) Über Erdbebenwellen, I, 55 (*Nach. d. K. Ges. d. Wiss. Göttingen*, 1907).

dimos antes, y nos han servido para calcularla, tiene la gran ventaja de ser fácilmente integrable por tener una de las *formas tipos* que tienen de ordinario los autores, y resultar las operaciones numéricas necesarias sumamente sencillas.

Naturalmente se ocurre el ensayo de una exponencial en la forma: $I = Ae^{-k \Delta}$, en la que, a su vez, tendremos que introducir otra expresión que nos dé el valor de k para cada distancia, en función de esta misma, esto es, de Δ . En este caso particular tenemos: $k = \frac{5,4}{91 + \Delta}$ y la

exponencial: $I = 45,2 e^{-\frac{5,4 \Delta}{91 + \Delta}}$, expresable también en función del logaritmo natural de la distancia, por una expresión de la forma: $Ae^{-(\alpha - bl \Delta) \Delta}$

Más adelante volveremos sobre la primera de estas fórmulas, al tratar del trabajo producido por un terremoto.

El profesor H. Fielding Reid, de acuerdo con los principios que hemos transcrito en el capítulo VI, ha tratado de calcular el trabajo desarrollado por un terremoto, suponiéndole igual al necesario para producir la fractura de las rocas, en función del coeficiente de ruptura de aquéllas y de la superficie de ésta. Con un granito, cuyo coeficiente de fractura fuese de 2×10^8 dinas (*) por centímetro cuadrado y 2,7 su densidad, el peso mismo de la roca bastaría para romperla con tal de que un área circular de más de kilómetro y medio *quedase en hueco*, esto es, sin más apoyo que el periférico, puesto que, llamando r al radio y n al espesor de la roca, tendríamos:

(*) Fuerza necesaria para imprimir en un segundo la velocidad de un centímetro por segundo a una masa de un gramo.

$F = \frac{2,7 \pi r^2 n}{2 \pi r n} = 1,35 r$, y con $r = 1,5 \times 10^5$, resultarán: $1,35 \times 1,5 \times 10^5$ gramos (1), o sea las mismas 2×10^8 dinas, carga de ruptura del granito mencionado. Ciertamente estos *huecos* rarísimamente existirán, pero si corrimientos, presiones laterales, etc., cuyos efectos sean análogos.

Si admitimos esa cifra para las rocas que integran los labios de la gran falla que se produjo cuando el terremoto de San Francisco y también que fuese doble, por las ramificaciones secundarias, etc., de la longitud medida; esto es, que tuviese $2 \times 435 = 970$ kilómetros de largo, y suponiendo, a más que la cifra calculada por el sabio sismólogo norteamericano, de $1,75 \times 10^{24}$ ergs (*) que da por probable, como trabajo del dicho terremoto, fuese exacta, un sencillísimo cálculo nos daría la profundidad hipocentral, aquí el espesor medio de los labios de la fractura, en este caso de 9 kilómetros = 9×10^5 centíme-

tros = $\frac{1,75 \times 10^{24}}{9,7 \times 10^7 \times 2 \times 10^{10}}$, para emplear solamente unidades del sistema C. G. S.

La cifra obtenida por el profesor Reid es de 8 kilómetros, pero las incertidumbres en cálculos fundados todavía en observaciones, que bien pueden calificarse del *orden*, le hacen admitir como probable que el espesor de la falla es de menos de 20 kilómetros (2).

Como veremos en la segunda parte, por comparación con otros terremotos, el trabajo admitido por Reid para

(1) On Mass..., 339.

(*) Trabajo de una dina que actúa en el espacio de un centímetro.

(2) o. c., 349.

el de San Francisco de California habria que multiplicarlo probablemente por diez o veinte, y por lo pronto no parece haber hecho mucho caso del descenso medio de un metro producido con ocasión del mismo sismo, en un bloque de 435 kilómetros de longitud y 50 de anchura, con espesor ciertamente desconocido, pero casi seguramente superior a un kilómetro. El trabajo producido por el descenso de ese bloque, con densidad 2,8, que es la media de las rocas más ordinarias y con $g = 9,8 \times 10^2$ centímetros, será:

$E = 4,35 \times 10^7 \times 5 \times 10^6 \times 1 \times 10^5 \times 1 \times 10^2 \times 2,8 \times 9,8 \times 10^2 = 6,0 \times 10^{24}$ ergs, o sea unos 6×10^{16} kilográmetros. Sumado este trabajo con el de la fractura resultarían unos 8×10^{24} ergs, cifra que nos parece más aproximada, aunque nos inclinemos a creerla próximamente la mitad o el tercio de la verdadera.

Oddone supone que el trabajo producido por el terremoto de Avezzano fué de 4×10^{22} ergs (cerca de mil millones de caballos de vapor durante cinco segundos) (1), en el caso de que el descenso general de 40 centímetros observado por él en una extensión de 50 kilómetros cuadrados en el área mezosísmica comprendiese todo el espesor del bloque movido hasta la profundidad de 10 kilómetros, que es la que asignan sus cálculos al hipocentro. Si, a imitación de Reid, tuviésemos en cuenta el esfuerzo exigido para producir la fractura, devuelto aquí en for-

(1) o. c., pág. 205, dice (*circa un miliardo di cavalli a vapore per 5 sec*), por errata evidente de imprenta y supresión de *di milione*, pues sino serían: $7,35 \times 10^9 \times 10^3 \times 5 = 3,7 \times 10^{13}$ ergs. Con densidad 2,8 los datos de este ilustre sismólogo nos dan 5,6 en vez de 4 (densidad $= \rho = 2,0$ ciertamente baja, fuera de algún caso muy especial).

ma de trabajo por las vibraciones marginales, las mismas cifras que sirven de base a los cálculos de Oddone nos darían cantidades nada despreciables que agregar a la que supone exacta y aún cree confirmarán los registros telesísmicos, esto es, los gráficos obtenidos a gran distancia.

Coloquémonos en el caso menos favorable para la obtención de cifras altas, esto es, supongamos un cilindro de 10 kilómetros de altura y 50 kilómetros cuadrados de base, lo que nos dará una superficie de ruptura de unos

$$1 \times 10^6 \times 2 \sqrt{\frac{5 \times 10^{11}}{\pi}} \times \pi = 2,5 \times 10^{12} \text{ centímetros}$$

cuadrados de sección, los que, con el granito tomado como tipo por Reid, y antes citado, cuya carga de ruptura es de 200 kilogramos por centímetro cuadrado, equivalentes aquí a unos 2×10^{10} ergs, resultaría un trabajo liberado de $E = 5 \times 10^{22}$ ergs, sólo a este título. Pero aún tenemos más; esa cifra de 200 kilogramos como carga de ruptura, corresponde a una roca muy poco resistente, y las que forman el fondo del alvéolo del lago desecado Fucino, como calcáreos cristalinos que son (1) han de ser mucho más tenaces, aún sin invocar el efecto tan favorable de la presión (aquí como media de unos 1.350 kilogramos por centímetro cuadrado), al que en el presente caso no puede contrabalancear en manera alguna el aumento de temperatura (cuando más de 330° , media 165° y eso en la hipótesis del aumento constante y de un grado centígrado cada 33 metros de profundidad), sino más bien favorecerlo. Si admitimos para estas rocas la misma carga de ruptura que la de las calizas cristali-

(1) o. c., 160.

nas menos resistentes, o sea las *b* de Villebois (Aisne) (1), o sea 1.250 kilogramos por centímetro cuadrado, obtendríamos la cifra de $3,1 \times 10^{23}$ ergs (*), todavía inferior a la que nos parece asignable a este terremoto, cuyos gráficos, habida cuenta de las distancias, acusan un trabajo notablemente superior al del terremoto de Sarez del 18 de Febrero de 1911, comprendido, ciertamente, entre los $2,1$ y $6,0 \times 10^{23}$ ergs y muy probablemente entre 4 y 5×10^{23} ergs.

Además del cálculo del trabajo del terremoto de California, el Profesor Reid tomando por base las cifras que hemos citado, ha deducido el trabajo probable de otros terremotos, suponiéndole proporcional al cuadrado de la longitud de la isosista III de cada uno, y prescindiendo de su intensidad máxima, decremento de la misma, etc., por lo que el mismo apellidó en Mánchester de aproximado (*roughly*) su procedimiento (2). Para no citar más que un par de sismos de los mejor estudiados, diremos asigna las cifras de $5,7 \times 10^{23}$, y $2,2 \times 10^{24}$ ergs, respectivamente, a los de Messina y de Mino Owari.

Estas cifras nos parecen bajas por las antedichas razones y otras que estarán mejor en la segunda parte. Lo contrario acaece con las del Profesor Kövesligéthy referentes al último de los terremotos antes citados, el cual desarrolló, según sus cálculos, un esfuerzo tal, que, convenientemente aplicado, hubiera levantado nuestro globo 1,2 milímetros. Ahora bien; eso exigiría un trabajo

(1) *Annuaire du Bureau des Longitudes (1912)*, 528.

(*) La falla de 70 kilómetros de Oddone (o. c., 82), nos daría: $E = 8,5 \times 10^{23}$ ergs, supuesto iguales a los antes citados los demás datos.

(2) *The energy...*, 272.

de: $6 \times 10^{24} \times 1,2 \times 10^{-5}$ kilográmetros = unos 7×10^{29} ergs, cifra $3,2 \times 10^5$ veces mayor que la de Reid, y que nos inclinamos a creer entre 10.000 y 20.000 veces mayor que la realidad.

Según el párrafo publicado en la página 53 de su *Science Séismologique* por el tan benemérito y notable sísmólogo francés Conde de Montessus de Ballore, de quien tomamos también las cifras de Kövesligéthy, el Ingeniero C. Bassani calculó en 16×10^{27} kilográmetros ($1,6 \times 10^{56}$ ergs) el trabajo del terremoto, ciertamente muy violento, pero nada extraordinario, de Florencia del 19 de Julio de 1899. Ese esfuerzo tan enorme para un resultado tan insignificante debe provenir de alguna errata importante, traducida aquí por unos 13 a 14 ceros de más. Siendo la masa de la tierra de 6×10^{24} kilogramos, próximamente, el esfuerzo antes indicado hubiera sido capaz de elevarla: $\frac{16 \times 10^{27}}{6 \times 10^{24}} = 2.560$ metros, unas $8 \frac{1}{2}$ veces la altura de la famosa torre Eiffel!

Habiendo calculado en varios terremotos de los mejor estudiados fórmulas capaces de representar con bastante exactitud el decremento de la intensidad, dando los valores de la máxima aceleración correspondiente a una distancia determinada (1), primero se nos ocurrió el integrarlas, para deducir la máxima aceleración media, y con ésta, el área macrosísmica y la duración del fenómeno, hallar un procedimiento para comparar el trabajo de unos terremotos y otros siquiera medianamente aproximado (2); poco después hemos ensayado el cálculo del

(1) Essai de quelques formules aux tremblements de terre de Messina et d'Avezzano, *B. S. S. It.*, XIX, 48-53.

(2) Essai de quelques formules applicables aux macrosismes, *O Instituto (Coimbra) LXII*, núm. 10, p. 1-7.

trabajo externo, o sea el gastado en agitar el área macrosísmica en el espesor de un kilómetro, y supuesto el suelo de una densidad determinada, y después, al ver que con la fórmula del Príncipe B. Galitzin (1) se puede calcular con bastante aproximación, y tal vez hasta un 50 por 100, el trabajo realizado por un terremoto, se nos ha ofrecido el hacerlo en función de las dichas fórmulas que tenemos en ensayo, de la profundidad hipocentral, y de un factor de reducción, en estos momentos en estudio, y provisionalmente $\frac{2}{3}$ (*).

Bajo ese último título, tenemos que el trabajo producido por un terremoto pudiera calcularse con cifras del orden y aun tal vez más aproximadas, con arreglo a la fórmula siguiente:

$E = \frac{2}{3} H A T \pi \Delta \rho$, en la cual H es la profundidad hipocentral media, o más exactamente, la de la fractu-

ra sismogénica, en los más de los casos; $A = \int_{x=0}^{x=\Delta} F dx$

en la que F es la fórmula calculada expresamente en cada caso particular y que representa el decremento de intensidad; T es duración de segundos del terremoto en su mayor violencia y en el epicentro; Δ el radio medio del área macrosísmica, y ρ la densidad media de las rocas

(1) Trabajo desarrollado por un terremoto, *R. S. A. E. Nbre.-Dbre., 1915, 85-59.*

(*) El cálculo de la fórmula se puede evitar con el trazado del decremento de la máxima aceleración en función de la distancia, esto es, del gráfico con y en gals y x en kilómetros. Ese gráfico se puede integrar con el planímetro de Amsler, contando los cuadrados, y hasta recortándolo en cartón y pesándolo, haciendo esto también con un rectángulo del mismo cartón cuidadosamente medido.

que constituyen principalmente el suelo de la misma. Con H y Δ en kilómetros, A en centímetros y $\rho = 2,8$; para obtener el valor del resultado en ergs, nos bastará con emplear la fórmula:

$$E = 6 H \Delta A T \times 10^{15}.$$

En el cuadro adjunto damos al lado de los resultados los datos que hemos utilizado, debiendo advertir que si

bien las cifras que nos han servido de base para los mismos, nos parecen probables, por más que las áreas de Messina y de Mino-Owari, tomadas de Reid, tal vez sean un poco grandes, no hemos cuidado mucho de aquilatarlos, pues esto hubiera exigido mucho tiempo, y nuestro designio era más particularmente hallar un procedimiento general y no hacer un estudio particularizado de varios terremotos. Siempre que nos ha sido



FIG. 5.^a

Avezzano (Isosistas).

dado hemos tomado por base los mapas sísmicos trazados por otros; así, para los de Avezzano y Messina utilizamos los del doctor G. Martinelli; del Alto Éssera, el del profesor doctor D. Eduardo Fontseré (1), de Caraveli (Perú) del Sr. Sieberg, y de Mino-Owari, las máximas aceleraciones y distancias asignadas por el profesor Omori, para

(1) Sobre un centro de actividad sísmica en el Alto Éssera.

tener con esa cooperación, en cierto modo pasiva, pero no menos eficiente, de tan distinguidos sismólogos, siquiera una base realmente científica.

La fórmula elegida como rápidamente integrable es de la forma: $y = \frac{A}{a + bx + cx^2}$, en la cual se pueden presentar dos casos en la práctica, según que tengamos:

$$b^2 \geq 4 ac. \text{ En el primero tendremos: } \int_{cx=0}^{2cx=x} \frac{A}{a + bx + cx^2} dx =$$

$$= \frac{A}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \ln \left(\frac{2cx + b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2cx + b + \sqrt{b^2 - 4ac}} \right) + C, \quad C = -\frac{A}{\sqrt{b^2 - 4ac}}$$

$$\ln \left(\frac{b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{b + \sqrt{b^2 - 4ac}} \right), \text{ ó } = \frac{2A}{\sqrt{4ac - b^2}} \operatorname{arctang} \left(\frac{2cx + b}{\sqrt{4ac - b^2}} \right)$$

$$+ C, \quad C = -\frac{2A}{\sqrt{4ac - b^2}} \operatorname{arctang} \left(\frac{b}{\sqrt{4ac - b^2}} \right). \text{ Apliquemos}$$

la fórmula adecuada a un caso concreto, por ejemplo, al terremoto del Alto Éssera, en el que tenemos como datos: $\Delta = x = 20$ kilómetros; $F = \frac{85}{3,5 + 1,5 \Delta + 0,2 \Delta^2}$.

N. B. Aun a riesgo de ser excesivamente elementales, indicaremos que a no querer usar de tablas basta con la regla de cálculos, recordando que $\operatorname{cotang} \alpha = \frac{1}{\operatorname{tang} \alpha}$, y que en los ángulos muy pequeños la diferencia entre el seno y la tangente puede considerarse como despreciable en estos cálculos aproximados. El valor del arco estará dado por la proporción: $\frac{\pi}{a} = \frac{1}{x}$, dado que el arco de 180° ($r = 1$) vale π .

En el ejemplo primero, y en nuestros casos, resultaría el logaritmo neperiano de una fracción, lo que debe evitarse, y se consigue recordando que $a^{-n} = \frac{1}{a^n}$.

Como $4ac = 2,80$, es evidentemente mayor que $b^2 = 2,25$ nos precisa utilizar la segunda, con la que, sustituyendo, tendremos:

$$\int_{x=0}^{x=20} \frac{85}{3,5 + 1,5x + 0,2x^2} dx = \frac{2 \times 85}{\sqrt{2,80 - 2,25}} \operatorname{arctang} \left(\frac{0,4 \times 20 + 1,5}{\sqrt{2,80 - 2,25}} \right) + C, C = - \frac{2 \times 85}{\sqrt{0,55}} \operatorname{arctang} \left(\frac{1,5}{\sqrt{0,55}} \right).$$

Haciendo las operaciones indicadas, y sacado el factor común $\frac{2A}{\sqrt{\dots}}$, nos resta calcular las longitudes de los arcos cuyas tangentes valen respectivamente 12,80 y 2,02, restarlas y multiplicarlas por el indicado factor común, o lo que es lo mismo, restar los grados correspondientes, y multiplicar la longitud del que resulta por el dicho factor y tendremos el resultado final apetecido, aquí 85.

Con $A = 85$, $\Delta = 20$ — $H = 3$ (*) — $T = 6$, tendremos:

$$E = 6 \times 3 \times 20 \times 85 \times 6 \times 10^{15} = 1,84 \times 10^{29} \text{ ergs.}$$

(*) Calculado por el procedimiento del Sr. Comas Solá, del que se hará mención oportuna en la segunda parte.

TRABAJO DESARROLLADO POR UN TERREMOTO

REGIÓN	FECHA	T seg.	Δ kms.	ÁREA MACROÍSMICA kms ²	H kms.	F	I	E Ergs.	E' Caballos- vapor-año.
Alto Èssera (Huesca)	28 Marzo 1915	6	20	1.260	3	85 $3,5 + 1,5 \Delta + 0,2 \Delta^2$	85	$1,8 \times 10^{10}$	$7,8 \times 10^3$
Lorqui (Murcia)	3 Abril 1911	»	72	14.200	1,3	152 $3,3 + 1,5 \Delta + 0,025 \Delta^2$	323	$1,1 \times 10^{21}$	$4,8 \times 10^3$
Avezzano (Már- sica)	13 Enero 1915	5	450	635.000	12,5	725 $5 + 0,17 \Delta + 0,006 \Delta^2$	6450	$1,1 \times 10^{21}$	$4,8 \times 10^6$
Benavente (Ri- batejo)	23 Abril 1909	6	630	1.200.000	6,5	920 $8 + \Delta + 0,003 \Delta^2$	2100	$3,0 \times 10^{23}$	$1,3 \times 10^6$
Messina	28 Dicbre. 1908	»	1220	4.700.000	9	2540 $8,9 + 0,2 \Delta + 0,01 \Delta^2$	9200	$3,6 \times 10^{21}$	$1,6 \times 10^7$
Caraveli (Perú)	6 Agosto 1913	»	1060	3.500.000	5	7800 $30 + 0,2 \Delta + 0,01 \Delta^2$	19350	$3,7 \times 10^{21}$	$1,6 \times 10^7$
Mino-Owari (Ja- pón Central)	28 Octubre 1891	»	2100	13.700.000	16	2800 $7 + 0,13 \Delta + 0,001 \Delta^2$	35000	$4,2 \times 10^{21}$	$1,8 \times 10^8$

CAPÍTULO VIII

Períodos sísmicos.—Tipos de Cancani.—Hipérbola de Omori.—La predicción de los terremotos en la actualidad.

Si bien un sismo apenas sensible y aun mediano puede presentarse aislado, esto es excepcional en los terremotos fuertes y más todavía en los destructores. Omori dice, con mucha razón, que: «*A un fuerte terremoto casi siempre siguen otros más débiles, y si hubiese sido violento y destructor, el número de las sacudidas menores podrá llegar a ser de algunos centenares y aún millares* (1).

Además de esta regla general, en algunas regiones suelen afectar los temblores de tierra, tomados en conjunto, cierto carácter especial que permite conjeturar con razonables probabilidades de acierto lo que ocurrirá *después que se haya sentido un terremoto*: así, por ejemplo, en el Sur de Sajonia y en el Norte de Bohemia se sienten de vez en cuando *enjambres* de temblores, en su mayor parte debísimos, pocas veces medianos, rarísimos fuertes, con la particularidad de que éstos no tienen momento fijo de aparición, y unas veces lo hacen al principio, y otras, y allí es lo ordinario, a mediados y aún al final del período sísmico, el que puede durar dos o más meses y comprender algunas docenas de macrosismos y un número mayor todavía de ruidos sísmicos.

(1) Sulle repliche del gran terremoto giapponese del 1854, *B. S. S. It.*, II, 153.

Algo análogo ocurrió en la hermosa y feraz Huerta de Murcia con los terremotos, por desgracia mucho más importantes, acaecidos en 1823, 1828-1829 y 1911, por más que se note cierta tendencia hacia la agrupación en subperiodos, iniciados por el terremoto más violento, del cual los demás parecen mejor ser réplicas, que preliminares de las series siguientes:

En 1911 el primer terremoto fué el del 21 de Marzo a las 14 horas 10 minutos y alcanzó el grado VIII, lo mismo que el del 3 de Abril a las 11 horas un minuto, cuyos efectos destructores fueron más considerables, si bien su área macrosísmica fué mucho menor que la del primero, y durante los 65 días que duró el período sísmico, esto es, hasta el 24 de Mayo inclusive, apenas dejó de sentirse algún temblor en 19 días, subiendo hasta 119 sismos los correspondientes a los 46 días agitados, según el entonces Párroco de Lorquí, Sr. D. José Rubio Valdés quien nos prestó, con su celosa cooperación, excelentes servicios. Las intensidades de los dichos sismos fueron, aproximadamente:

VIII	VII	VI	V	IV	III	
2	2	6	17	35	57	(1),

además de varios no anotados en los primeros días, de muchos estremecimientos tal vez dudosos, y de los simples ruidos.

Según el Profesor Adolfo Cancani-Montani, uno de los más notables sismólogos que ha tenido Italia, con ser patria de tan excelentes, los numerosísimos terremotos italianos acaecidos entre los años de 1315 a 1902, acerca de los cuales pudo recoger un material inmenso, se han

(1) Los recientes terremotos murcianos...

presentado con tendencia a agruparse los de cada período sísmico con arreglo a ciertas modalidades características, a las que denominó *tipos*, admitiendo cinco de éstos (1).

Tipos de Cancani: «A. El terremoto principal se presenta al principio; el período de agitación no pasa de 10 días, por hallarse muy poco profundo el hipocentro o foco (*).

B. El terremoto principal se da al principio, frecuentemente precedido por algunos más débiles; el período dura de 10 días a tres meses, conforme a la profundidad del foco. Las réplicas van siendo cada vez más escasas y menos intensas.

C. El terremoto principal se presenta al principio, precedido por algunos más débiles y seguido de centenares y aún millares de otros, también menos intensos, cuya aparición se prolonga desde tres meses hasta uno o más años. Las réplicas van disminuyendo cada vez más, tanto en número, como en intensidad, mientras que el epicentro se va como dislocando (cambiando de sitio) durante el mismo período sísmico.

D. El terremoto principal se presenta después de haber comenzado el período y cuando más pronto, pasada ya la décima parte de la duración total del mismo.

(1) Sulla distribuzione della intensità delle repliche nei periodi sísmici italiani, *B. S. S. It.*, VIII, 17.

(*) Hoy si viviera es probable opinase de otro modo sobre lo del foco este sabio sismólogo. Nosotros nos inclinamos a creer que las réplicas dependen primero de la mayor o menor violencia, o mejor dicho trabajo, del sismo principal, y después de las condiciones del terreno, etc. Las más fuertes y aisladas pudieran constituir mejor terremotos secundarios que sacudidas decrecientes o de apagamiento.

No se nota regularidad en la distribución de los terremotos principales y de sus réplicas.

E. No existe terremoto principal, teniendo la misma intensidad todos los que se sienten, con algunos débiles intercalados, sin que se note regularidad en su distribución.»

Del paciente análisis de los 300 periodos sísmicos importantes observados en Italia en los casi seis siglos que median entre las dos fechas antes citadas, dedujo Cancani que allí el tipo más corriente es el *B* y después el *A*, y que en 213 de ellos, el terremoto principal fué al principio, y en los 87 restantes uno o varios terremotos violentos le precedieron. Esto da un 70 por 100 de frecuencia a los tipos *A*, *B*, *C*, y un 30 por 100 a los *D*, *E*.

Entre los terremotos que pudiéramos llamar *clásicos* por lo conocidos, pertenecen al tipo *C* los de Mino-Owari, San Francisco, Valparaíso, Messina, Avezzano...

Los recientes sismos españoles o sentidos en España de los que venimos recogiendo datos, nos dan respectivamente como ejemplos de los tipos: *A*, los de Santafé (iniciados el 31 de Mayo de 1911)... *B*, Torrevieja (1.º de Julio de 1909)... *C*, Benavente (23 de Abril de 1909)... *E*, serie granadina del 18 de Septiembre al 20 de Octubre de 1909, para no citar más que uno claro. En cambio, aún no hemos encontrado ninguno evidente del tipo *D*. La serie murciana ante citada, pudiera estar formada por tres sub-periodos sísmicos *B*, *B*, *A*, iniciados cada uno de los dos primeros por un terremoto del grado VIII, y el último por uno del VII.

El Profesor Omori ha creído poder representar debidamente el fenómeno de las réplicas o sacudidas secundarias con una hipérbola equilátera de la forma:

$y = \frac{a}{b+x}$ (*) en la que y indica el número de sacudidas que deben sentirse en un día determinado y a , b , dos constantes calculadas para cada caso en particular. Aunque los ejemplos aducidos por este eminente sismólogo resultan concluyentes, los casos desfavorables parecen frecuentísimos, al menos fuera del Japón, como lo son los del terremoto de San Francisco, según el Profesor Reid, de Messina, según el Dr. A. Cavasino, etc., y nuestros ensayos hechos principalmente con macrosismos españoles han sido, en general, menos afortunados.

Una de las series más favorables es la de las réplicas del terremoto de Adra, de las que registramos 69 desde el 16 de Junio de 1910 a las 4 horas 16 minutos, hora del terremoto principal, hasta el último día del mismo mes a las 23 horas 59 minutos, serie perfectamente homogénea y ajena por completo de la influencia de la hora, tráfico callejero, ocupaciones, reposo, descuido, etc., etc., a que están sujetos aun los observadores más conspicuos y completamente impersonal, por proceder de un instrumento insugestionable como tal y absolutamente imparcial. Las réplicas del resto del día del terremoto fueron 37, y las del siguiente 8, siendo el cálculo que hicimos el elementalísimo siguiente:

$\frac{a}{b} = 37, \frac{a}{b+1} = 8$, de donde $\begin{cases} a = 37b \\ a = 8b + 8 \end{cases}$, y restando: $0 = 29b - 8, b = \frac{8}{29} = 0,276, a = 37 \times 0,276 = 10,20$ y nuestra ecuación será: $y = \frac{10,20}{0,276+x}$, bastante buena, bajo el punto de vista cuantitativo, pues nos

(*) Puede consultarse el excelente resumen del Dr. E. Tams-
Ueber die Frequenz der Nachstöße starken Beben (*Die Naturwis-
senschaften* 12 März 1915).

da 67 réplicas para el mes de Junio, en vez de las 69 antes indicadas, pero los *saltos* de lo realmente observado en algunos días, no dejan de ser notables, y es que el fenómeno de las réplicas es bastante complejo, y hay que atender, no sólo a su número, sino que también al trabajo desarrollado, y tener en cuenta en lo posible, con la naturaleza misma del fenómeno. De irse agotando paulatinamente la energía cinética desarrollada por el sismo, a la manera que lo harían las vibraciones de un diapason, resultaría una exponencial de decremento, mejor que una curva con tendencia a resultar a la larga asintótica al eje de las x , como la omórica; pero no, parecemos se trata de algo análogo a los derrumbios parciales de un edificio recientemente semidestruido, y el de constituir las réplicas de ordinario, vibraciones de ritmo mucho más rápido que el terremoto principal, y tanto que algunas veces, por esta circunstancia, unida a su insignificante amplitud, no pasan de meros ruidos, así como su marcha frecuentemente saltuaria y siempre a lo menos escalonada, parecen exigir un atento estudio de sus causas secundarias y aun de su misma naturaleza íntima, antes de traducirlas por fórmulas, que sean a la vez *cuantitativas* por dar resultados numéricos suficientemente aproximados, y también *cualitativas* por representar la expresión analítica de la verdadera marcha del fenómeno.

En el caso antes citado, en el terremoto de Acambay de que antes nos ocupamos, y en el de Hokkaido (Yeso), estudiado también por Omori, no hemos notado que la exactitud, por otra parte discutible aquí, que dé el procedimiento de los mínimos cuadrados supere a la ventaja de bastar para el cálculo de la hipérbola de Omori el

conocer el número de sacudidas sentidas (o también registradas por el mismo instrumento) en el resto del mismo día del terremoto y en el siguiente, aparte de resultar un tanto laborioso, si las observaciones se refieren a muchos días. Así se podría predecir con alguna base científica, y aun en muchas ocasiones con notable aproximación, el número probable de réplicas y aun su distribución diaria, por supuesto después de un violento terremoto.

El Profesor Kövesligéthy partiendo de la base de que la conductibilidad sísmica de los terrenos (esto es, la velocidad con que transmiten el movimiento), decrece cuando se aproxima su ruptura, y por tanto, el terremoto, ha podido *predecir retrospectivamente* la fecha de algunos sismos sentidos en el Japón, único país para el cual quizá tuviera aplicación este método, al que su ilustre autor apellida la *histéresis sísmica* y que exige numerosas estaciones sismológicas y un perfecto conocimiento de la conductibilidad del terreno.

Además de estas predicciones científicas, hay otras que también lo son, según sus autores, y que se hallan fundadas sobre ciertas corrientes telúricas que dicen se desarrollan minutos y aun tal vez horas antes que se produzca un terremoto, tal vez, y esto es lo más grave, a unos pocos de centenares de kilómetros. Hoy, después de varios años de expectación y de algunas comprobaciones, podemos afirmar que esas predicciones tienen el mismo valor que la de los Almanagues sobre los acontecimientos políticos del año venidero.

Por otra parte, el saber que ha de ocurrir un terremoto en sitio y momento determinados, aunque la predicción se hubiese de cumplir infaliblemente, y todavía más, aunque comprendiese también la máxima aceleración y

duración del fenómeno aludido, sólo evitaría las desgracias personales; pero antes de pronosticar con certeza, ¡cuánta infundada alarma! ¡Cuántas tentativas criminales para apoderarse, por medio de los tales fatídicos vaticinios, de lo ajeno, como se ha dado ya más de un caso! ¿No es más propio del hombre, criatura predilecta del Altísimo, emplear el don sublime de la inteligencia, no en huir del peligro, que para esto sóbrales a los animales con su instinto, sino en arrostrarlo y desarmarlo? Si el terremoto aterra es porque, desgraciadamente, destruye y mata, y en nuestra mano está el evitarlo, como trataremos de exponer en la parte tercera y aun en esta, en alguno que otro lugar hemos someramente indicado.

CAPITULO IX

Algunos datos de Geografía Sísmica: Trabajos del Conde de Montessus de Ballore.—Datos macrosísmicos.

La tierra tiembla de continuo, y tanto, que el número de terremotos sentidos anualmente es de unos 3.500 a 4.000, o sea 10 diarios, próximamente, según los últimos catálogos internacionales, a pesar de que la información macrosísmica deje tanto que desear, con rarísimas excepciones, que el célebre Milne admitía como probable unos 30.000 temblores por año, cifra que todavía resulta excesivamente modesta si lo que ocurrió en España (1), y aún persiste un poco, resulta lo ordinario en los más de los países.

Como regla general *donde ha temblado la tierra temblará*, como dice con sobrada razón el Conde de Montessus de Ballore, actualmente la primera autoridad en esta rama de la Sismología, si bien no se siga, ni mucho me-

(1) En los últimos catálogos publicados por la Oficina Central de Estrasburgo, bajo los auspicios de la Asociación Internacional de Sismología aparecen sentidos en España durante los años 1904-1905-1906 y 1907, respectivamente, tres, cinco, tres y cuatro terremotos. Durante el ensayo que iniciamos en 1909 y continuamos hasta la fecha, de recoger dichos datos y de publicarlos, lo hemos hecho con más de 450, fuera de 70 canarios y más de 50 del N. de Marruecos, con media anual de 64, contando sólo los de la Península, máximo de 180 (1911) y mínimo de 24 (1913), y eso que nuestros medios de información resultan limitadísimos.



LÁM. VIII.



nos de aquí, que donde no haya temblado no tiemble alguna vez, a la manera que sería una afirmación gratuita el asegurar que un volcán apagado desde luengos siglos no entrará otra vez en erupción. El Somma, conocido desde la más remota antigüedad, tuvo su primer paroxismo conocido cuando la terrible catástrofe que destruyó a Pompeya el año 79 de Nuestro Señor Jesucristo. Y no pocas veces se presentan terremotos destructores, bien después de varios siglos de calma, quizá gastados más o menos parcialmente, en acumular fuerzas tensivas, como con el de Rogues y Lambesc (Provenza), del 11 de Junio de 1909, bien resulten particularmente fatales en sitios donde antes habían sido menos violentos que en sus alrededores, como el desastre de Avezzano, aunque siempre tengan tendencia a presentarse en determinadas regiones.

En su notable obra *Les Tremblements de Terre, Geographie Séismologique*, a la que remitimos al lector que desee algunos conocimientos más extensos en la materia, el Conde de Montessus divide las distintas regiones de la tierra en *asísmicas*, *penesísmicas* y *sísmicas*, según que se presenten en las mismas rarisima vez los terremotos, lo hagan con alguna mayor frecuencia, sin llegar a ser violentos o, por el contrario, constituyan un fenómeno, por decirlo así, corriente, en tal o cual ocasión destructor, no pocas violento. Las regiones sísmicas ocuparían, según este sabio, los geosinclinales alpinos y sus contemporáneos, hallándose situadas en las proximidades de los grandes desniveles y alineadas, precisamente, en las líneas de menor resistencia de la corteza terrestre, comenzando por la depresión Mediterránea, con sus prolongaciones, por una parte, hasta las Antillas, y por otra has-

ta la vertiente Sur del Himalaya y hasta el lago Baikal y continuando por casi todo el contorno del Pacífico.

Nuestra España goza también del triste privilegio de figurar entre los países sísmicos, sobre todo en su porción SE., pues si bien en otras regiones, como las del NE., NW., E..., no dejan de sentirse temblores de tierra de vez en cuando, sólo por excepción resultan semidestructores lo más, y no con relativa frecuencia y hasta constituir un verdadero azote, como los que más de una vez han experimentado las provincias de Alicante, Almería, Granada y Murcia. El mapa que damos adjunto permitirá darse cuenta con rapidez de la repartición de la sísmicidad en España durante estos últimos siete años, lo mismo que el general, en el que aparecen sombreados los territorios sísmicos del Conde de Montessus de Ballore, y marcados con puntos los terremotos violentos y con cruces los destructores registrados por los péndulos españoles de la Estación Sismológica de Cartuja (Granada), dará buena idea de la sísmicidad mundial.

El estudio de los sismos sin el auxilio del sismógrafo, o usando este maravilloso instrumento como comprobante y auxiliar, y no como único medio de investigación, o poco menos, se halla hoy en marcado estado de inferioridad con relación al instrumental, debido esto a la deficiencia de la información macrosísmica, precisamente la más fácil, por no requerir generalmente instrumentos, y contentarse, aun en los casos más delicados, con una cinta métrica, un clinómetro improvisado con un nivel de albañil, un croquis, unas medianas fotografías. Además, si los conocimientos nunca sobran, y los datos bien elegidos del geólogo, que trata de relacionar las fallas, etc. con los accidentes geológicos de la región;

del ingeniero, que mide y trata de valuar las masas movidas; del arquitecto, que juzga de los efectos producidos por el sismo sobre tal o cual estructura, cuyas condiciones normales de resistencia fácilmente calcula...; los datos de haberse sentido un terremoto, con expresión, a ser posible, de su fuerza, duración, dirección, etc., y más si los dichos datos son minuciosos, y se dan con relación a los indicados en la escala (esto es, prescindiendo de la temperatura, presión atmosférica, color del cielo, etc., que suelen sobrar en informes donde falta lo que realmente importa), siempre son interesantes, a veces irremplazables, y deben remitirlos todos los que quieran contribuir al progreso de la Sismología a los centros científicos que los publiquen (1) sin dejar pasar el tiempo, para que no se borren, ni menos confundan, los recuerdos, y aun las mismas noticias de la Prensa diaria, sobre todo de la local, no sólo resultan útiles, sino que pudieran ser insustituibles.

(1) En España los viene publicando desde 1909 inclusive la Estación Sismológica de Cartuja (Apartado núm. 32), Granada.





SEGUNDA PARTE

Sismógrafos.

CAPITULO X

ESTUDIO INSTRUMENTAL DE LOS TERREMOTOS: Teoría del sismógrafo.—El amortiguamiento.—Registros magneto-fotográfico, fotográfico y mecánico.—Fuerza de restitución.—Señales horarias.

En la primera parte de esta obra nos hemos ocupado del movimiento sísmico en sí y de sus efectos; en esta segunda, y con igual o análoga concisión, lo hacemos del estudio que pudiéramos llamar *instrumental* de los sismos, esto es, de la parte mejor conocida de la Sismología, fecunda en brillantes descubrimientos, cuyos esplendores han fascinado de tal manera a los que cultivan esta ciencia, que muy contados son los que no le sacrificuen sus desvelos, y si no toda, al menos la mejor parte de su actividad. El sismógrafo, ese maravilloso instrumento que, según sugestiva frase del célebre profesor de Gotinga, Emilio Wiechert, nos permite auscultar la tierra y entrever lo que encierran sus inaccesibles entrañas, parece monopolizar en el día la atención de los sismólogos más notables, salvo rarísimas excepciones. Quizá haya

en esto exceso, pero fuerza es convenir en que, si bien la reacción se impone en plazo no lejano, ese exceso es digno de respeto más que de indulgencia. Gracias a esa preponderancia del sismógrafo, en pocos años ha dejado de ser la Sismología una ciencia embrionaria, adquiriendo en ella el cálculo matemático excepcional importancia.

La materia de que vamos a ocuparnos, no sólo es bastante nueva, sino que también muy extensa, y serános preciso prescindir de mucho interesante, pero menos necesario, para desarrollar el plan que nos hemos trazado.

Llámase *sismógrafo* al instrumento destinado a dar una representación gráfica del movimiento de la tierra. Este, aun verificándose en todos sentidos, puede descomponerse en tres resultantes principales *componentes*: una de arriba abajo, o viceversa, *componente vertical*, designada con la letra *Z*, por cenit, y las otras, horizontales y formando entre sí ángulo recto, esto es, ortogonales, y orientadas de preferencia en la dirección NS. la una, y EW. la otra, a las que se les llama, respectivamente, componentes N. y E. Hallándose mucho más generalizados los sismógrafos destinados al estudio de estas últi-

mas, comenzaremos por ellos, no sin advertir que si con frecuencia se les llama péndulos, es porque lo son, salvo rarísimas excepciones.

Cualquiera que sea el tipo a que pertenezca uno de estos sismógrafos, podemos considerarlo, siguiendo el dictamen de Wiechert, como un péndulo ordinario o vertical, de cuya masa saliese hacia abajo una varilla capaz de señalar trazos so-

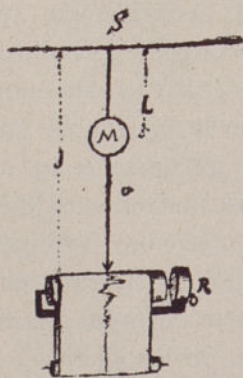


Fig. 6.^a

bre una banda de papel, arrastrada por un motor de relojería. Si llamamos L a la longitud del péndulo, o sea a la distancia que media entre su punto de suspensión y el centro de gravedad de la masa M , J a la longitud total del aparato, o sea a la distancia que media entre el punto de suspensión S y el extremo inscriptor del sismógrafo, cualquiera que sea su disposición, T_0 al período pendular y A al aumento, tendremos que: $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$, y aproximadamente, en el sistema métrico, por diferenciarse poco π y \sqrt{g} , :

$$T_0 = 2 \sqrt{L}, \quad A = \frac{J}{L}, \quad L = \left(\frac{T_0}{2}\right)^2.$$

La sensibilidad de un péndulo se expresa en función del número de milímetros y fracciones de milímetro que mide en el gráfico una desviación de la masa equivalente a $1''$, y como el arco de un segundo vale $\frac{1}{206,265}$ de radiante, tendremos que a cada milímetro de desviación corresponden unos 206 metros de longitud pendular equivalente. Así, una desviación de 10 mm. por $1''$ en el gráfico de un sismógrafo, cuyo período, T_0 , fuese de 10 segundos, y L , por tanto, de 25 metros $= \left(\frac{10}{2}\right)^2$, nos dará de longitud total: $J = 206 \times 10 = 2.060$ metros, y tendrá por aumento inicial $A = \frac{2060}{25} = 82$ veces próximamente.

Estas cifras, en unión de otras, de las que nos ocuparemos en su lugar, suelen denominarse *constantes*.

En el péndulo, al producirse un movimiento del suelo, y por consiguiente de la suspensión, aparato multiplicador, receptor, etc., la masa, en virtud de su considerable inercia, ha de permanecer inmóvil, por lo que se

le da el nombre de *masa estacionaria*, pero esto sólo acaece con movimientos muy rápidos o lentos y de pequeña amplitud y marcado desincronismo con el periodo pendular, de no existir circunstancias especiales. De lo contrario, los rozamientos inevitables en sus conexiones con la banda receptora, y aun solo los inherentes a la suspensión, le hacen oscilar con su propio período, a semejanza de una plomada o de la péndola de un reloj, y esta oscilación que transforma una simple desviación de la vertical en un senoide, con decremento de ordinario bastante pequeño, de estar el instrumento bien construido, basta para viciar los gráficos, que suelen presentar máximos y mínimos, debidos, en gran parte, y a veces todos, a la concurrencia de impulsos de la masa, puesta en movimiento y del suelo.

De ser este rítmico, la ecuación representativa de estos movimientos combinados sería: $y = \text{sen } x + \text{sen } nx$.

El principio de la masa estacionaria nos lo hará ver el adjunto esquema, en el cual tenemos una masa M suspendida de un punto S a una distancia L . Si el punto S

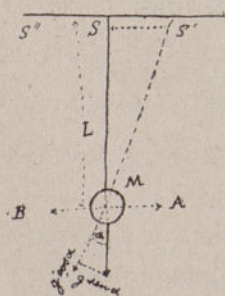


FIG. 7.^a

se trasladase a S' con gran rapidez, y lo mismo a S'' , después de haber pasado por su antigua posición o de reposo S , la masa M , en virtud de su inercia, no habrá tenido tiempo de moverse hacia S' , atraída por la acción de la gravedad, con la fuerza $M \text{ sen } \alpha$, cuando el movimiento se verifica hacia S'' , actuando entonces dicha fuerza en sentido contrario. Esto, como dejamos apuntado, es excepcional, y lo demuestra también la práctica diaria en muchas estaciones sismo-

lógicas y más palpablemente aún las clásicas experiencias del Príncipe Galitzin.

Figurémonos un péndulo dispuesto de tal manera que no pueda oscilar más que en un plano, como una péndola de reloj, y que inscribe sus movimientos sobre un cilindro receptor con su motor de relojería, situado, como el péndulo con su suspensión, sobre una plataforma únicamente movable en sentido horizontal, y en el plano de oscilación antedicho, gracias a un mecanisco especial, y que del techo del recinto donde se verifiquen las experiencias penda una varilla rígida, perfectamente sujeta al mismo, de manera que se pueda suponer inmóvil, y que esté provista del mecanismo conveniente para inscribir sobre el mismo receptor que el péndulo, con la separación conveniente para evitar los choques.

Si movemos la plataforma, rítmicamente o no, mientras gira el cilindro provisto de su banda receptora, es indudable que el gráfico que trace el extremo inscriptor de la varilla rígida sujeta al techo, será la exacta representación del movimiento de la plataforma, a la manera que lo sería de los de nuestra mano izquierda el gráfico trazado por un lápiz, tenido inmóvil con la mano derecha y apoyado convenientemente sobre un papel blanco, si moviésemos éste con la dicha mano izquierda. En cambio el gráfico inscrito por el péndulo será, digámoslo así, la *traducción* más o menos fiel de los verdaderos movimientos de la plataforma.

Las siguientes curvas reproducidas de la magistral memoria del Príncipe Galitzin de que nos ocupamos (1), nos ahorrará la discusión. En ellas la curva interna es

(1) *Zur Methodik der seismometrischen Beobachtungen.*

fiel trazado del movimiento impreso a la plataforma móvil, puesto que es el del estilete inscriptor sujeto a la varilla pendiente del techo; la otra es la inscrita por el péndulo en las condiciones indicadas. Las correspondientes a las dos primeras series de curvas están obtenidas con el péndulo libre; las de la restante hallándose éste provisto de un mecanismo adecuado que le impida entrar en franca oscilación, esto es, de un *amortiguador* que obligue a su masa a que realmente actúe de estacionaria.

Si el péndulo carece del amortiguamiento conveniente, vemos que cuando el disincronismo entre el período propio del movimiento y el del péndulo es considerable, su gráfico guarda cierto parecido con la realidad, aquí representada fielmente por el gráfico de la varilla fija; que cuando uno de los dichos períodos es factor del otro, o se le parece, presenta el sismograma máximos periódicos que no existen, efecto de la resonancia, a la vez que resulta falseado el período del movimiento; y por último, que traza más bien una caricatura de éste, que no una copia fiel, cuando se trata de sacudidas irregulares. Este es el único caso en el cual también falla un péndulo convenientemente amortiguado, aunque mucho menos, como lo muestra claramente el gráfico correspondiente. En los demás se nota la perfecta semejanza de ambas curvas, sin más diferencia esencial que la debida al *retraso* de la trazada por el péndulo, retraso, por otra parte, calculable con gran exactitud, y del cual se tiene cuenta en los estudios un poco delicados.

Ese amortiguamiento o apagamiento se obtiene utilizando la resistencia del aire dentro de un espacio cerrado, o la de un líquido viscoso o, finalmente, la de un campo magnético.

Un razonable desarrollo de la teoría del péndulo exigiría mucho espacio, y como, por otra parte, se halla convenientemente expuesta en los buenos tratados de Mecánica, a ellos nos remitimos y aquí nos contentaremos con algunas rápidas reflexiones que más hacen a nuestro propósito.

En la ecuación característica $z^2 + 2\varepsilon z + n^2 = 0$, las raíces son: $z_1 = -\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 - n^2}$, $z_2 = -\varepsilon - \sqrt{\varepsilon^2 - n^2}$. Si $n > \varepsilon$, las raíces son imaginarias, y el péndulo se moverá rítmicamente (en el supuesto $x'' = 0$, en la ecuación primitiva general: $\theta'' + 2\varepsilon\theta' + \frac{g}{l}\theta + \frac{1}{l}x'' = 0$), su período será: $T_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{n^2 - \varepsilon^2}}$, y el gráfico que dé, una curva de extinción.

La rapidez del decremento para una desviación determinada de la masa crece con el valor del amortiguamiento, o sea ε , y con $\varepsilon = n$, $T_0 = \infty$, la ecuación característica tiene por raíces iguales: $-\varepsilon = n$; pero este caso es más bien teórico, por ser siempre $\varepsilon \geq n$.

Con $\varepsilon > n$, las raíces son reales, y el péndulo es *aperiódico*, esto es, su masa permanece inmóvil en la posición en la que se deje, por carecer de la fuerza necesaria, o *fuerza de restitución* que la haga volver a su primitiva posición, o de *reposo*.

Si el amortiguamiento es nulo, $\varepsilon = 0$, $T_0 = \frac{2\pi}{n}$; pero este caso también resulta teórico, pues, según antes indicamos, resulta imposible la supresión completa de los rozamientos, y a éstos hay que agregar, fuera del caso especialismo en el que trabajase el péndulo en el vacío, la resistencia que opone el aire a los movimientos de la masa.

Si llamamos v al conjunto de esos rozamientos y resistencias, θ a la amplitud de una onda medida en el gráfico y $\theta + 1$ a la siguiente, tendremos: $v = \frac{\theta}{\theta + 1}$. El valor de v en el mismo péndulo, y en idénticas circunstancias decrece algo al disminuir θ , $\theta + 1$, y depende del valor absoluto de ambos factores. En un caso práctico, en el cual el péndulo trabajaba en excelentes condiciones, resultaron los pares de valores: 10 — 9 y 2 — 1,4 milímetros, siendo $v = 1,11$; 1,43, respectivamente.

El decremento logarítmico del sinusoide será: $\Lambda = \log v$, y el periodo pendular $T_0 = \frac{2\pi}{n} \sqrt{1 + 0,537 \Lambda^2}$, fórmula dispuesta para el uso de los logaritmos vulgares, y que muestra la poca influencia del rozamiento en el periodo, de no tratarse de amplitudes muy pequeñas, en las que ya merece el nombre de amortiguamiento, al menos en los péndulos que por su funcionalismo especial han de rozar necesariamente más que los otros. Con $v = 2$, $\Lambda = 0,3013$, $T = 10,0$ segundos, tendríamos $T_0 = 10,3$ segundos, y la longitud pendular equivalente habría pasado de 25 metros a 26,5, crecimiento harto pequeño para un rozamiento enorme.

Llamemos, para mayor comodidad, $h = \frac{\varepsilon}{n}$, $\mu^2 = 1 - h^2$, $m = \frac{h}{\sqrt{1 - h^2}}$, de donde $\mu^2 = \frac{1}{1 + m^2}$. Según la teoría del péndulo, $v = e^{\frac{\varepsilon T_0}{2}} = e^{\pi m}$, de donde $\log v = (\pi \log e) m = 1,3644 m$, fórmulas fundamentales de los péndulos, o sea de los sismógrafos destinados al estudio de las componentes horizontales del movimiento, puesto que sirven para deducir las que, convenientemente aplicadas, nos darán la amplitud verdadera de una

onda cualquiera medida en el gráfico, objeto de la *Sismometría*, con la determinación incomparablemente más fácil del período de la misma.

Veamos como ejemplo los valores respectivos de v , m , h , μ^2 en tres casos, dos de ellos extremos, es decir, péndulo sin amortiguamiento ni rozamiento y péndulo aperiódico, y en uno medio, o sea con un amortiguamiento más bien pequeño, pero de los más usuales, $v = 5$, lo que, en la notación Wiechert, más extendida que la del Príncipe Galitzin, que venimos usando, escribiríamos: $\epsilon : 1 = 5$.

En el 1.º: $v = 0 - m = 0 - h = 0 - \mu^2 = 1$; en el 2.º: $v = 5 - m = 0,512 - h = 0,456 - \mu^2 = 0,792$, y en el 3.º: $v = \infty - m = \infty - h = 1 - \mu^2 = 0$.

En el periodo de 10,0 segundos del ejemplo anterior con $v = 0$, sería ∞ en el último caso, y de 11,2 segundos para $v = 5$, elevándose de 25 a 31,2 metros la longitud pendular.

Para no alargarnos demasiado, omitiremos el desarrollo completo de los cálculos que permiten deducir la fórmula que da el valor absoluto x_m de la amplitud de una onda, cuyo periodo es T_p , y que mide y_m en el gráfico, obtenido con un péndulo, cuyo periodo (sin amortiguamiento, es T , y su aumento inicial V , y nos contentaremos con dar la dicha fórmula, en la que, para simplificar, haremos:

$$u = \frac{T_p}{T}, f(u) = \left(\frac{2u}{1+u^v} \right)^2, \text{ resultando: } x_m = \frac{1}{V} (1 + u^2) \sqrt{1 - \mu^2 f(u)} \cdot (y + \rho_m) \quad (1), \text{ siendo } \rho \text{ una corrección que}$$

(1) Fürst Galitzin, *Ueber ein neues schweres Horizontalpendel...*, 47.

hay que aplicar cuando se pretende una gran exactitud y el sismógrafo tiene palancas multiplicadoras, de lo que nos ocuparemos más adelante.

Apliquemos esta fórmula en un caso práctico y de los más ordinarios: supongamos que se trata de un gráfico del Cartuja bifilar ENE de la Estación Sismológica del mismo nombre, con $T = 10,0$ seg., $V = 120$ — $v = 5$, y que la onda mide 10 milímetros de amplitud, a contar desde la línea media, y que además $T_p = 20$ segundos, por contarse exactamente tres *crestas* o salientes entre dos marcas consecutivas de minutos; además, el *rozamiento* medio que desvía el estilete inscriptor de la línea de reposo es de 0,007 milímetros para un segundo, hallándose expresado por la fórmula $r_{T_p} = \frac{r T_p^2}{T^2}$. La amplitud corregida de rozamiento, a lo que llamaremos $y_m + f(r)$, será: $10 + 0,007 \times 20^2 = 10,28$, o mejor, 10,3 milímetros, pues la aproximación en centésimas de milímetros sería ilusoria las más de las veces.

Si queremos averiguar la amplitud del movimiento de las partículas del suelo al estremecerlo el terremoto cuyo gráfico analizamos, esto es, utilizar el sismógrafo como sismómetro, no bastará con dividir la amplitud así corregida por el aumento, o sea: $\frac{10,3 \text{ } m_m}{120}$, o mejor: $\frac{10300 \mu}{120} = 86 \mu$, por ser este resultado erróneo en nuestro caso, y siempre que no se trate de movimientos muy rápidos o medien otras circunstancias especiales. Sustituuyamos en la última fórmula Galitzin los valores correspondientes a $\frac{T_p}{T} = 2 = u$, $\mu^2 = 0,792$, $f(u) = \left(\frac{4}{5}\right)^2 = 0,64$, y tendremos: $x_m = \frac{1}{120} \times 5 \sqrt{1 - 0,792 \times 0,64} \times 10,3 = \frac{1}{120} \times 3,51 \times 10300 = 300 \mu$.

En las fórmulas de Wiechert se calcula el aumento verdadero en función del inicial, del coeficiente de amortiguamiento y del cociente del período del movimiento dividido por el propio del péndulo o pendular. Usando la notación del príncipe Galitzin, tendremos:

$$V' = \frac{V}{\sqrt{(1-u^2)^2 + 4 \frac{0,537A^2}{1+0,537A^2} \times u^2}}, x_m = \frac{y_m + \rho_m}{V'}, \text{ y en}$$

nuestro caso: $V' = \frac{120}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{20}{10}\right)^2\right)^2 + 4 \frac{0,537 (0,699)^2}{1 + 0,537 (0,699)^2} \times \left(\frac{20}{10}\right)^2}}$

y finalmente $V' = \frac{120}{3,51} = 34,2$, y por tanto, $x_m = \frac{10300 \mu}{34,2}$

$= 300 \mu$, resultado exactamente igual al anteriormente obtenido y también calculado con la regla logarítmica, aunque las tablas del Dr. K. Zoeppritz (1) nos hubieran dado para $\frac{T_p}{T} = 2,0$ y $\epsilon : 1 = 5,0$ directamente \sqrt{S} , o sea el divisor de V (mejor en castellano A , inicial de aumento, y por tanto, traducción exacta de la palabra alemana significada por la otra letra), $3,51$, y las del príncipe Galitzin para $u = 2,0$ y $\mu^2 = 0,79$ el logaritmo vulgar de $3,51 = 0,5460$ (2).

Cuando el péndulo es aperiódico, resalta más todavía la sencillez de la fórmula Galitzin, pues entonces, como $\mu^2 = 0$, el valor del radical es la unidad. En ese caso y con el mismo péndulo etc.: $x_m = \frac{1}{120} \times 5 \times 10,300 = 430 \mu$, y $A' = 24$.

(1) Seismische Registrierungen in Göttingen in Jahre, 1906, 15.
 (2) Seismometrische Tabellen, V, 185.

Para terminar este punto, haciendo aún más palpable el valor del amortiguamiento, y también el escasísimo, por no decir nulo, de las medidas sin reducir, indicaremos que nuestros 300μ para $\varepsilon : 1 = 5$ y 430 ($\varepsilon = \infty$), se transformarian en 257 y 336μ para coeficientes de amortiguamiento $= 1$ y 10 , respectivamente, y eso en un caso bastante favorable. Cuando $T = T_0$ (*), los 10 milímetros medidos en la banda de un péndulo sin amortiguamiento, con $A = 120$, pudieran tal vez corresponder a una amplitud real de 10μ , si el rozamiento es muy pequeño, y de todos modos a una cantidad imposible de apreciar con mediana exactitud, por influir en su valor enormemente las más ligeras variaciones en el rozamiento y diferencias en el período. En cambio, con $\varepsilon : 1 = 5$ o 10 valdrá 79 y 101μ y 116 con $\varepsilon : 1 = \infty$, perdiendo cada vez más y más su influencia las causas de error en la determinación del rozamiento, períodos T , T_0 , fuera de la supresión de las resonancias y el evitar se superpongan los movimientos pendulares a los reales del suelo, agitado por el sismo, al aumentar el valor de ε , y sobre todo, al pasar de 30 o 40 , y mejor a la aperiodicidad.

La simple inspección de las fórmulas, y más aún los ejemplos anteriores, habrán hecho palpar la disminución en el aumento del sismógrafo, y por consiguiente, en las amplitudes de los gráficos que introduce el amortiguamiento, tanto mayor cuanto es más considerable y más

se acerca a la unidad la relación $\frac{T}{T_0}$. Esta disminución

(*) Continuaremos en adelante sirviéndonos de la notación Wiechert, por ser hoy la *oficial*, reservando la del príncipe B. Galitzin cuando nos volvamos a ocupar de sus trabajos o utilizemos sus fórmulas.

de amplitudes pudiera evitar se registrasen algunos sismos, pero puede en muchos casos remediarse forzando el aumento; en otros resultar hasta ventajosa, tratándose de agitaciones relativamente violentas, y en todo caso (de no contar con muchos sismógrafos, pues entonces no estaría tal vez de más uno sin amortiguar y muy sensible), creemos que más vale un gráfico verdaderamente científico, en el que se pueda estudiar con toda confianza amplitudes, periodos, diferentes clases de ondas, etc., etc., que algunas docenas de los *vistosos*, con enormes amplitudes tal vez, y que seguramente encantarán al vulgo ilustrado, pero que apenas servirán al sismólogo para tomar tal cual dato horario.

El gráfico puede trazarse o sobre papel blanco, empleando tinta de anilina y unas plumas más o menos análogas a las de los meteorógrafos Richard, o también sobre papel blanco, pero recubierto con una tenue capa de negro de humo, la que *arranca* a su paso, dejando un *surco* blanco sobre fondo negro un estilete apropiado. Como a la banda, ya en forma de *anillo sin fin*, ya simplemente sujeta y arrollada sobre la generatriz de un cilindro que gira, la hace avanzar de continuo un mecanismo de relojería, el trazo (de color o blanco), resultará una línea recta, si nada agítase al sismógrafo, y en el caso contrario dará una representación gráfica más o menos fiel del movimiento. De ordinario el cilindro avanza al mismo tiempo que gira, resultando helizoidal el trazado, con lo que se ahorran muchas bandas, siendo esto común a los sismogramas o gráficos obtenidos tanto con los péndulos antedichos, o de *registro mecánico*, como los de *registro magneto-fotográfico* y puramente *fotográfico*. El avance oscila entre 8 y 30 milímetros por minuto, en los

buenos sismógrafos modernos y las líneas suele procurarse disten las unas de las otras de 3 a 10 milímetros, girando el receptor de ordinario una vuelta o dos por hora.

Si se utiliza la acción reductora de un rayo luminoso, desviado por el espejo de un galvanómetro, en virtud de las corrientes inducidas que se producen al agitarse con el suelo, dos poderosos imanes permanentes entre cuyos polos opuestos se puedan mover libremente unas espirales de cobre unidas convenientemente a la masa pendular, tendremos el registro *magnético-fotográfico*, y el simplemente *fotográfico*, llamado más de ordinario *óptico*, si la desviación de ese rayo luminoso que ha de impresionar al papel gelatino-bromuro receptor está producida por un espejo, rendija o hilo opaco, directamente unido al sismógrafo.

El registro mecánico exige masas considerables, capaces de dominar con su inercia los muy notables rozamientos que se originan tanto en las conexiones de la masa con su suspensión y el mecanismo multiplicador-inscriptor, como entre el estilete o la pluma y la banda receptora, muy superior a los demás en instrumentos bien contruidos (*).

Las masas de estos péndulos son muy de ordinario de 1.000 y aun más kilogramos, y suelen exceder de 100 en los modelos siquiera medianos, por lo que se les llama *pesados*, por contraposición a los *fotográficos* o *ligeros*, cuyas masas rara vez pasan de algún kilogramo. Las de los magneto-fotográficos son de 7 a 14 kilogramos.

(*) Esto se comprueba haciendo oscilar libremente a un péndulo sin amortiguador y con la pluma o estilete levantado, o por el contrario, descansando sobre la banda receptora: a igualdad de desviaciones iniciales, se parará mucho antes en el segundo caso.

Salvo rarísimas excepciones, los sismógrafos han de registrar terremotos las más de las veces insensibles en la localidad donde se hallan instalados y de los sensibles sólo los débiles y medianos, esto es, movimientos cuya amplitud verdadera por excepción llegue a un milímetro y con gran frecuencia no pasa de alguna μ o fracción de ésta, y cuyos períodos oscilen entre algunas décimas de segundo y un minuto o algo más. Importa, pues, que no sólo el receptor mueva la banda con la velocidad indicada antes, con objeto de que se puedan separar bien unas ondas de otras, y apreciar sus períodos, así como el tiempo, o momento preciso en el cual se inscribieron, sino que también sea el aumento suficiente para que la representación gráfica de las dichas ondas resulte claramente visible, y, a ser posible, también mensurable.

En todos los péndulos, aumento y período dependen de varios factores, como lo son dimensiones, disposiciones de las piezas, esmero mayor o menor en la construcción, etc., y en los de inscripción mecánica, en particular del peso de la masa.

En todo péndulo es indispensable que la fuerza con la masa desviada de su posición de reposo tiende a volver a la misma, sea suficiente para vencer la resistencia que le oponen los rozamientos, esto es: $M \operatorname{sen} \alpha > r$, fórmula que se transformaría en: $M \operatorname{sen} \alpha + f(\varphi) > r$, en el caso en que con resortes apropiados se auxilie o modifique, más o menos, la acción de la gravedad. De no verificarse, la masa se quedará en cualquier punto en el que se la deje, y el péndulo resultará *lábil*, defecto gravísimo que importa evitar a todo trance, pues bastaría para inutilizar al sismógrafo, de no ser la dicha cualidad efecto de un amortiguamiento llevado hasta los límites

de la aperiodicidad, pues en este caso pudiera resultar sumamente ventajosa.

La fuerza de restitución, en los péndulos de inscripción mecánica, se halla en razón directa del peso de la masa e inversa de la longitud del péndulo simple que tuviese el mismo período, y del cuadrado del aumento. Si este último lo expresamos en veces, la masa en gramos y la longitud pendular en centímetros, la siguiente fórmula dará en *ergs* la fuerza de restitución: $F_r = \frac{Mg}{A^2 L}$. En

el Cartuja bifilar de 425 kgs. — $T_0 = 10,0$ seg. — $A = 120$, tendremos: $F_r = \frac{4,25 \times 10^3 \times 9,8 \times 10^2}{2,5 \times 10^3 \times 1,44 \times 10^4} = 1,16 \times 10^4$ ergs.

En los péndulos de inscripción mecánica sobre papel ennegrecido, no conviene baje mucho la cifra que acabamos de obtener, y aun es preferible el aumentarla de un 50 a un 100 por 100, para que el sismógrafo no trabaje forzado y registre bien las pequeñas amplitudes; en los que registran con tinta habría que triplicarla, cuando menos, disminuyendo, a ser posible, la longitud pendular o el aumento, según el fin que se pretendiese, si no se aumentaba la masa.

Actualmente resultan muy pequeños los aumentos inferiores a 50 veces, pequeños entre 50 y 100, medianos hasta 250, y grandes los superiores, por cierto muy rara vez obtenidos con péndulos de registro mecánico de no tener estos períodos muy cortos (1,5 a 2,5 segundos). En general, los aumentos muy grandes con períodos relativamente considerables, hoy sólo se encuentran en los péndulos magneto-fotográficos del Príncipe Galitzin (25 segundos), y en algunos fotográficos (9-15). Los períodos

más corrientes en los sismógrafos de registro mecánico, son los de 8-15 segundos, y después los de 2,0-5 segundos, y la ventaja de que sea a lo menos igual a la onda que se vaya a registrar, salvo casos especiales en los que puede convenir todo lo contrario, quedó demostrada con los fórmulas relacionadas con el aumento.

La ventaja principal del registro mecánico sobre papel ennegrecido estriba en la extrema finura de los trazos cuyo grosor puede reducirse a un par de centésimas de milímetro fácilmente, resultando todavía bien aparentes si las bandas se prepararon con esmero y estilete inscriptor se apoya lo suficiente (1/2 milígramo de presión basta con creces). Esa tenuidad permite separar las ondas muy rápidas unas de otras, con velocidades relativamente moderadas en el receptor y también clisés fotográficos capaces de soportar útilmente ampliaciones muy considerables. Además resulta muy económico, pero tiene en su pasivo el ahumado y fijado ulterior de las bandas con un barniz apropiado, operaciones un tanto entretenidas y no muy pulcras. Mucho más cómodos son los sismógrafos que inscriben con tinta, si bien sus líneas son bastante más gruesas, y mucho más las de los fotográficos y magneto-fotográficos, en los que raras veces miden menos de medio milímetro, resultando éstos bastante dispendiosos por el considerable gasto de papel al gelatino-bromuro de plata, reactivos fotográficos y foco luminoso siempre encendido. Además registran mal los movimientos de corto ritmo, no sólo por el grosor de sus trazos, sino que también por decrecer mucho la acción reductora de la luz cuando ésta se mueve rápidamente y con grandes amplitudes, resultando por eso *esfumados*

y aun invisibles los trazos, fuera de otra razón peculiar a los Galitzin magneto-fotográficos, y es que aumentan tanto menos cuanto más rápido es el ritmo del movimiento en los de periodo corto.

No holgará el que repitamos lo que decía el profesor Wiechert de que *es injusto el querer exigir a un sismógrafo que inscriba con igual perfección todo género de sismos* (1), a pesar de su manifiesta evidencia, y por eso, en el caso muy frecuente de contar con varios sismógrafos se les suele tener con aumentos y periodos diferentes en relación a la clase de sismos a la que se los dedique más en particular.

Merecen especial atención las señales horarias, y tanta, que errores de pocos segundos pudieran poco menos que inutilizar gráficos excelentes bajo los demás conceptos, y por esto, no sólo es preciso tener buena hora, gracias a un buen reloj, cuyo estado se determine a diario, o poco menos, ya por medio de observaciones con el astrolabio o, en su defecto, el círculo meridiano, ya, y es lo mejor y más cómodo, por comparaciones con las señales horarias dadas en horas fijas por la Torre Eiffel, Norddeich, San Fernando..., etc., sino que también que se inscriban en los gráficos señales todas las horas y minutos gracias a interrupciones muy cortas en los trazos (eclipses periódicos del foco luminoso, en los que registran sobre papel sensible o levantamiento de estiletos o plumas en los otros), o en señales puntiformes en estos últimos, cuidando mucho que la marcha del cronógrafo que las ocasiona sea buena y conocido su estado, y evitando el

(1) *C. R. d. S. de la 1^{ère} reunion de la C. P. de l'Assoc. Int. de Sismol., Rome, 1906, 163.*

que las marcas horarias se produzcan en líneas separadas, lo que pudiera traer gravísimos errores de paralaje (1).

(1) Quelques causes d'erreur dans la détermination de l'heure dans les sismogrammes, *C. R...*, 2^e (Manchester, 1911), 233-236.

CAPITULO XI

PÉNDULOS VERTICALES: Sismógrafo Brassart. Microsismógrafo Vicentini. Péndulos verticales Cartuja y San Calixto.—PÉNDULOS HORIZONTALES: Omori-Bosch. Mainka. Cartuja. Milne. Milne-Shaw y Milne Burgess.—PÉNDULOS INVERTIDOS: Péndulo astático de Wiechert.—REGISTRO MAGNÉTICO-FOTOGRAFICO: Péndulo horizontal Galitzin.

En este capítulo echaremos una rápida ojeada sobre los sismógrafos destinados al registro de los componentes horizontales del movimiento, eligiendo algunos modelos de los más característicos, y agrupándolos, en atención a la disposición de sus masas, en péndulos verticales, horizontales e invertidos. Ciertamente que el número de modelos es muy considerable, y que fácilmente pudiéramos citar, a más de los doscientos descritos por el malogrado Dr. R. Ehlert en su clásica tesis (1), unos 60 aparecidos después, pero siendo en su inmensa mayoría ensayos poco afortunados, unos pocos precursores de los actuales, y poquísimos, aun entre estos últimos, verdaderamente utilizables, en nuestro deseo de unir la concisión con la extensión de lo que nos parece de primaria importancia preferimos no detenernos mucho en un asunto más bien de segundo orden. Para nosotros, el instrumento no es más que el medio de adquirir datos utilizables para extender nuestros conocimientos actuales, algo parecido

(1) Zusammenstellung, Erläuterung und kritische Beurtheilung der wichtigsten Seismometer, *B. z. G. III, (3), 35-475, con 91 fig.*

al pico y a la pala que más nos proporcionan copia de un mineral: el estudio reflexivo y comparativo de esos datos es lo que ha de obrar lo que los procesos mecánicos y químicos, estos quizá nos den de un montón de tierras y guijarros tal vez un poco de oro o de platino, quizá otras substancias sin valor, incapaces de remunerar nuestro trabajo; aquél es posible, más aún, es seguro nos recompense con algún descubrimiento, si con la perseverancia hasta el fin en el trabajo se aunan la suficiente preparación científica y siquiera un mediano talento.

Los péndulos verticales, así llamados ordinariamente por su semejanza con el péndulo simple, inscriben las componentes horizontales del movimiento, pudiendo servir uno sólo para las dos, lo mismo que ocurre con los péndulos invertidos, si bien esta ventaja es harto discutible por influenciarse mutuamente los mecanismos multiplicadores inscriptores de ambas componentes. Su período propio se halla íntimamente ligado con la distancia que medie entre el punto de suspensión y el centro de gravedad de la masa y aunque pueda elevarse por otros medios (muelles de acción antagonista a la gravedad, adición de un péndulo invertido, etc.), esto sólo se consigue de ordinario en muy medianas condiciones. De no contar con un local excepcionalmente favorable, como en Catania, donde existe uno de 25,6 metros de largo, con algo más de 10 segundos de período completo (1) suele ser éste corto, lo que los hace más apropiados para los terremotos cercanos y el comienzo de los lejanos.

La mayor parte de los péndulos verticales son italia-

(1) A. Riccò, R. Osservatorio Geodinamico di Catania, *B. d. S. S. It.*, III, 150.

nos de origen y construcción, y se derivan del montado en Roma en 1886 por los mecánicos Brassart (1), después de un concienzudo estudio de los entonces más en

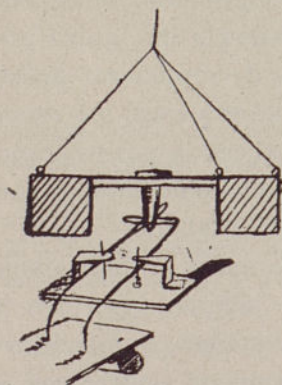


FIG. 8.^a

voga en el Japón y debidos a los profesores J. A. Ewing, T. Gray, J. Milne, S. Seikei y otros, y que todavía funcionan en aquel imperio como instrumentos secundarios. Juzgando muy acertadamente que el supuesto *astatismo* (*) de muchos de los péndulos que analizaron, dependían de los enormes rozamientos, que los hacían muy perezosos, a lo

que solía agregarse la fuerza de restitución casi anulada de resultas del péndulo invertido anejo, decidieron prescindir de la tal cualidad, comprada a costa de la sensibilidad, para conservar esta última cualidad de capital importancia. Renunciando a tener una fiel representación del movimiento sísmico, esperaban poder diferenciar las ondas de éste de las oscilaciones pendulares por el disincronismo que necesariamente había de presentarse con frecuencia, principio todavía sostenido por algunos sismólogos, y sobre el que creemos haber dicho lo suficiente al tratar del amortiguamiento.

El más extendido de los péndulos verticales en la ac-

(1) Ehlert. o. c., 375-376, fig. 25.

(*) *ἀστάσις* = inestable, eslo un sismógrafo cuando es a la vez muy sensible y está fuertemente amortiguado: lo primero lo hace capaz de registrar los movimientos muy débiles, y lo segundo el hacerlo fielmente.

tualidad, es el microsismógrafo Vicentini, el primero de los de inscripción mecánica al que se le haya dotado de un aumento capaz de luchar con ventaja, en algunas ocasiones, con los péndulos fotográficos más corrientes.

El malogrado ayudante del Profesor G. Vicentini, doctor G. Pacher, en su notable estudio sobre el péndulo vertical de que nos ocupamos (1) hace resaltar, con una franqueza que le honra, las piezas copiadas de los instrumentos de Agamennone, Bouquet de la Grye, Brassart y otros, resultando con todo esto, un conjunto completamente original, muy superior a los que le sirvieron de modelo para sus distintas piezas, y el mejor para el estudio de los terremotos cercanos y comienzo de los lejanos desde 1894, fecha en la cual se montó el primero en Siena, hasta 1900, en que apareció el péndulo astático de Wiechert. Aunque en nuestra opinión sea hoy su valía muy inferior, el existir bastantes en España y uno en la América latina, nos inclinan a que demos una brevisima descripción.

Fuera de alguno que otro modelo diferente, los Vicentini o *microsismógrafos universales*, como los apellida su ilustre inventor, tienen por característica la uniformidad, y

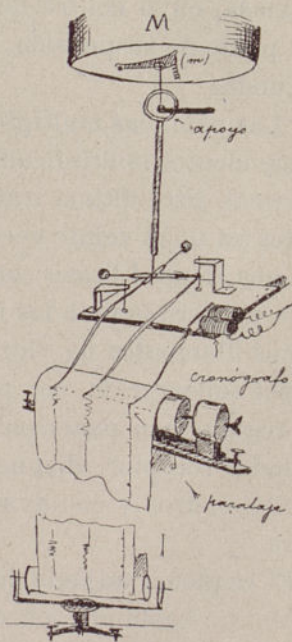


FIG. 9.^a

(1) *Microsismografi dell'Istituto di Fisica della R. Università di Padova (Venecia)*, 1897. - In 8.º, pág. 62, l. IV.

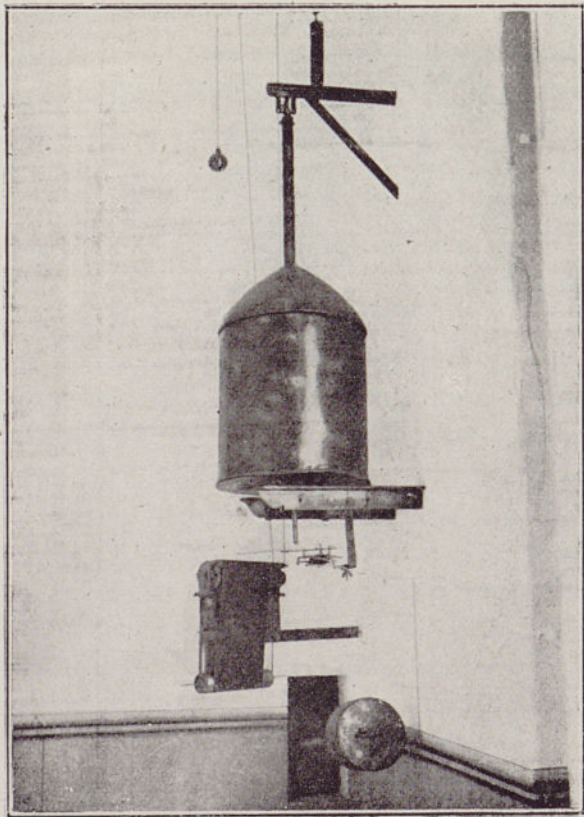
constan de un péndulo vertical y de un muelle con otra masa, para el estudio de la componente vertical de los sismos, de la que nos ocuparemos a su tiempo.

La masa del péndulo vertical es cilíndrica, de plomo forrado de latón y de 100 kgs. de peso, y se halla suspendida un alambre de acero de pocos centímetros de largo por 1,5 milímetro de diámetro, pendiente de una viga de hierro sólidamente empotrada en un pilar *ad hoc*, por el intermedio de un tubo de hierro que atraviesa la masa, cuyo centro de gravedad queda a 1,50 metro del punto de suspensión, y esto le da un periodo de 2,4 segundos.

Las palancas multiplicadoras son tres: dos (una por componente) multiplicadoras-inscriptoras y una tercera vertical. Esta última transmite los movimientos, aumentados ya unas veinte veces a los horizontales, de las cuales una tiene el brazo corto acodado en ángulo recto y la otra no, terminando los brazos largos de ambas por finísimos filamentos de vidrio, apoyados sobre la banda de papel ennegrecido, con presión variable y casi imposible de regular con exactitud, por bien torneado que esté el cilindro receptor, dispuesto para el uso de bandas de 2 a 2 $\frac{1}{2}$ metros y con avance de 60 a 90 centímetros por hora.

El esquema adjunto hará inútil una descripción más detenida; bastando con añadir que está provisto de un razonable amortiguador con aceite de vaselina, y que el acabado y pulido de las piezas es irreprochable, lo que no evita sea medianamente sensible y muy afecto a errores de paralaje, por tener un cronógrafo aparte con su estilete inscriptor, mecanismo inútil si se colocase el electro-imán de modo que sacudiese un poco más la platafor-





LÁM. IX.—Péndulo vertical Cartuja de 280 kgs. de masa, 2 seg. de período y aumento hasta 600 veces.

(El P. Pedro M.^a Descotes, S. J., actual Director de la E. S. San Calixto en La Paz, construyó la porción multiplicadora inscriptora durante su permanencia en Cartuja [Granada]).

ma donde están montadas las palancas multiplicadoras-inscriptoras, siendo el *alargamiento* o *acortamiento* de la porción terminal de vidrio de éstas, según se apoyen más o menos sobre la banda receptora, causa de errores probables de una decena de segundos, cifra hoy inadmisibles.

En la Estación Sismológica de Cartuja (Granada) (1), funciona desde Julio de 1909 un péndulo vertical con dos palancas, la una multiplicadora-inscriptora y la otra simplemente multiplicadora, ambas horizontales, de extremada ligereza y perfectamente equilibradas, que permiten obtener aumentos de unas 600 veces con 2 segundos de período y sólo 280 kilogramos de masa, cuando los microsismométrógrafos Agamennone de Rocca di Papa, Pavía y Toledo apenas pasan de 300 a 350 veces con el mismo período, poco más el coloso de Tacubaya de kilogramos 17.000 y 2.200 el de Gotinga, de igual masa y también con 1,5 segundos de período, a pesar del tan reconocido mérito del fecundísimo inventor italiano antes citado y del célebre profesor Wiechert, autor del segundo, copia del últimamente citado, que funciona en su famoso Instituto Geofísico. La montura es cardánica, para evitar las *nutaciones* o giros de los alambres de suspensión, por cortos que sean, y todo él modestísimo, por estar montado con material de desecho, aunque sí con gran delicadeza en su porción multiplicadora inscriptora, hecha, como el resto, bajo nuestra dirección por el P. Pedro María Descotes, S. J., quien ha montado otro,

(1) El nuevo péndulo vertical de la Estación Sismológica de Cartuja (Granada), *B. d. I. R. S. esp. H. nat.*, Obre. 1909, 387-394. «Le Nouveau Pendule Vertical de la St. Sism. de Cartuja (Granada), *Bull. de la S. B. d'Astr.* Nos 9-10 (1909), 397-405, fig. 3.

de 1.500 kilogramos de masa, 1.100 veces de aumento y 2,4 segundos de período en la Estación Sismológica del Colegio San Calixto en La Paz (Bolivia), introduciéndole algunas modificaciones, y con el nombre de vertical San Calixto, actualmente el sismógrafo más potente para el registro de terremotos cercanos de toda la América del Sur, y aún posiblemente también del Norte. El benemérito H. Constantino, Sc. Chr., montó en 1910 otro de 308 en el Colegio Saint Louis de Gonzague de Port-au-Prince (Haiti), uno de 700 kilogramos en el Observatorio de Marina de San Fernando, el Subdirector del mismo, señor Capitán de corbeta, D. Francisco Graiño, y, finalmente, otro de igual peso está en construcción en Madrid, con destino a un muy importante centro científico de aquella capital.

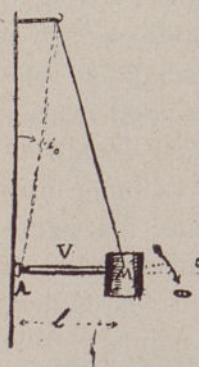


FIG. 10

Los péndulos más extendidos son los horizontales, representados por el siguiente esquema, en el que vemos a una masa M suspendida de un soporte S y provista de una varilla rígida o estribo, terminado en punta cónica, la que se apoya en una cavidad A situada en el muro, p. ej., y sea i_0 la inclinación del eje de giro de nuestro péndulo y l la distancia que medie entre el centro de gravedad de la masa y el punto de apoyo. El período pendular será:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g i_0}} \text{ y simplificando: } T_0 = 2\sqrt{\frac{l}{i_0}}, \text{ de donde}$$

la longitud del péndulo vertical equivalente L , sería:

$$L = \frac{l}{i_0}, \text{ lo que muestra lo fácil que debe resultar el que}$$

L alcance longitudes muy considerables con valores relativamente pequeños de l , haciendo i_0 suficientemente pequeño. En efecto, con $l = 1$ metro y suspensiones a 3 metros de altura, el profesor Omori ha montado péndulos que trabajan en buenas condiciones con períodos de 180 y aún más segundos. Con ese período $L = 8.100$ metros y con 10 veces de aumento, $J = 81.000$, de donde $1'' = 392$ milímetros.

Entre los péndulos horizontales de registro mecánico más extendidos figuran los Bosch o *péndulos pesados de Estrasburgo* (1), modificación de los Omori japoneses y con masas de 25 kilogramos, aumentos de unas quince veces, períodos, de ordinario, de 15 a 25 segundos, cilindros receptores de avance de 90 centímetros por hora y amortiguador de aire. Capaces de dar de cuando en cuando algún sismograma de una docena de centímetros de amplitud y aún más en sus máximos, si trabajan sin amortiguador, gracias al fenómeno de resonancias, son pocos sensibles, sus cilindros receptores acostumbra a balancearse cuando marchan, con los errores horarios correspondientes, a los que vienen a sumarse los del cronógrafo independiente, cuyas indicaciones corresponderían (salvo el paralaje o distancia necesaria entre el puntero de éste y el estilete inscriptor para evitar choques), si los cambios de temperatura del local no produjesen inclinaciones del suelo, las que se traducen por juntarse o separarse y aún tal vez montarse y entrecruzarse las líneas trazadas por el estilete inscriptor del péndulo, mientras que los trazos del cronógrafo se marcan sobre los sitios que aquéllas deberían ocupar, de no haber las tales

(1) J. & A. Bosch, *Seismographen (Katalog. N.º 22)*, p. 25-28.

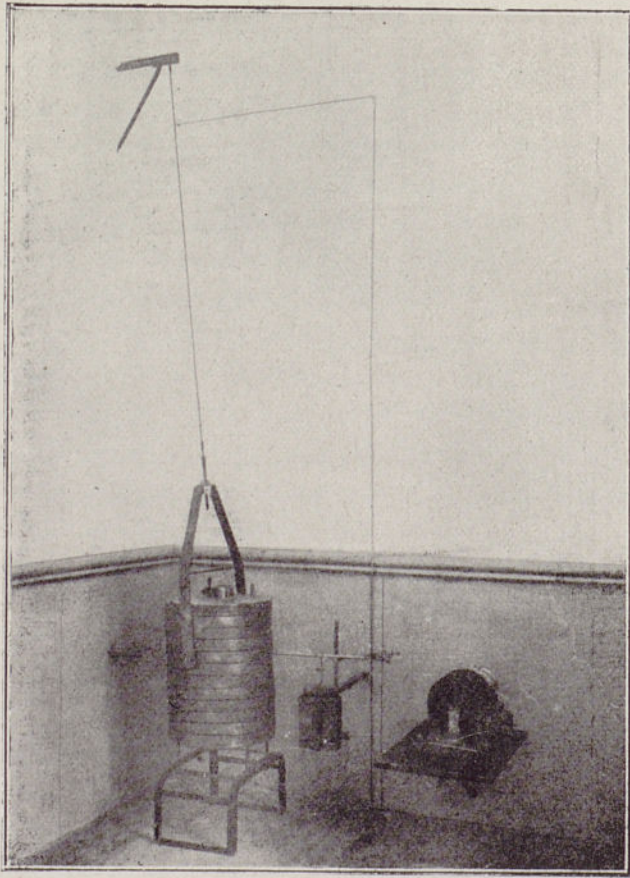
desviaciones, sitios que siguen las espiras de la hélice que hace avanzar tres milímetros cada vuelta al cilindro receptor.

Muy superiores son los péndulos del Dr. C. Mainka (1), contruidos por la citada firma y de los que hay dos pares en Barcelona, el uno instalado en el Observatorio Fabra por el profesor Dr. D. Eduardo Fontseré y el otro por D. José Comas Solá en su Observatorio particular Villa Urania. Provistos de buenos amortiguadores de aire, con estiletos muy ligeros y bien equilibrados y motores de relojería con reguladores de paletas, constituyen un modelo serio, capaz de dar resultados científicos, aun los pequeños, como son los aludidos, con masas de unos 140 kilogramos $T_0 = 6 - 10$ segundos y $A = 60 - 120$ veces. Existen varios medianos, con masas de 450 kilogramos y resultados bastante superiores.

Desde Junio de 1908 funciona en Granada un péndulo bifilar (2) como los Mainka, por estar suspendido de un alambre y tener otro (aquí un muelle), por punto de apoyo, que constituye un modelo nuevo, especialmente por carecer de soporte, hallándose fijos sus sostenes en un muro ordinario, por la disposición de su apoyo, con un mecanismo de centrado y para aumentar o disminuir el período pendular entre límites muy extensos ($T_0 = 6 - 25$ segundos, $L = 9 - 156$ metros), por su mecanismo inscriptor, amortiguador de láminas dentro de un recipiente con aceite de vaselina y otros detalles, al que al

(1) *Kurze Uebersicht über modernen Erdbeben-Instrumente* (1907), p. 14-20, f. 6.

(2) *Le nouveau pendule horizontal de Cartuja* (Grenade), *B. d. S. S., It. XIII*, 208-218, f. 1.



LÁM. X.—Cartuja horizontal, $M=425$ kgs., T_0 de 6 a 25 seg. A de 40 a 200, ϵ : 1 de 0 a más de 10.



año siguiente le unimos otro de 425 kilogramos de masa el cual constituye hoy, con el nombre de Cartuja bifilar ENE, por su orientación, el mejor sismógrafo de la Estación Sismológica cuyo nombre lleva, notable por la sencillez de su construcción, facilidad de su manejo y del que figura una copia en la Estación Sismológica de San Calixto en La Paz, en unión de otro con algunas modificaciones y de 2.000 kilogramos de masa.

El péndulo más repartido por todo el mundo, y del que existen hoy más de 60 ejemplares, es el fotográfico del célebre profesor inglés John Milne (1), habiendo contribuido a su difusión, no menos lo sencillo y aun *limpio* de su manejo, que la poderosa iniciativa que constituyó una de las más notables características de este sismólogo eminente, y el haberlo tomado bajo su protección la *British Association for the Advancement of Science*, la cual ha prestado los más de los péndulos.

Con masa muy pequeña, periodos de 15 a 22 segundos y aumento de 6 a 8 veces, resulta un sismógrafo muy sensible para las ondas lentas de los terremotos lejanos, gracias al fenómeno de las resonancias, excitado por ser insignificantes sus roces. En cambio, en las ondas de periodos notablemente inferiores al suyo, resulta muy poco sensible este instrumento, cuyo receptor, en los modelos algo antiguos (1898-1906), era de una lentitud que lo transformaba en un sismoscopio sensible, y nada más, puesto que con trazos de cerca de un milímetro de grueso el avance de un milímetro por minuto hacía imposible determinar periodos en los movimientos rápidos, los úni-

(1) *On the instalation and working of Milne's Horizontalpendulum (1901) in 8.º, p. 8, fig. 3.*

cos donde figurarían tal vez ondas no pendulares, y lo mismo en los otros. Después se construyen ya con receptores que avanzan 24 centímetros por hora, velocidad insuficiente aún.

No puede negarse que el Milne, por su difusión y sensibilidad para los movimientos lentos, ha prestado excelentes servicios, pero hoy su aumento propio insignificante, que impide se le adapte un amortiguador, so pena de que sólo registre un par de terremotos al año, le hace marcadamente inferior a los péndulos horizontales e invertidos de registro mecánico, y por esta razón se ha tratado con excelente resultado de forzarle el aumento y aplicarle un amortiguador, resultando así los Milne-Burgess, con 100 veces de aumento y el mismo período y los Milne-Shaw con 250 veces, T_0 entre 9 y 12 segundos y $\varepsilon : 1$ alrededor de 50, constituyendo este último un magnífico instrumento que creemos reemplazará en breve a los Milne primitivos. En éstos el aumento lo da una larga varilla colocada por delante de la masa, y el registro se obtiene al impresionar la luz de un pequeño foco (lamparilla de esencia, etc.), reflejada sobre un espejo al papel sensibilizado receptor, pasando antes al través de una rendija abierta en una laminita de metal sujeta en el extremo de la varilla, laminita, a su vez que resulta muy cercana a otra rendija perpendicular a la que lleva y colocada en la tapa de la caja herméticamente cerrada a la luz, que contiene el receptor. Como de la intersección de las dos rendijas resulta un pequeño cuadrado, único sitio por donde puedan llegar al papel sensibilizado los rayos luminosos, y aquél avanza de continuo, resultará una línea recta, de no agitarse el suelo, y ondula en el caso contrario.

En el Milne-Burgess (1) se coloca un espejito sobre la masa y en el Milne-Shaw (2) ese mismo espejito, de muy pequeñas dimensiones, está relacionado con la misma por medio de una palanca multiplicadora contando ambos con un buen amortiguador magnético y un avance, en

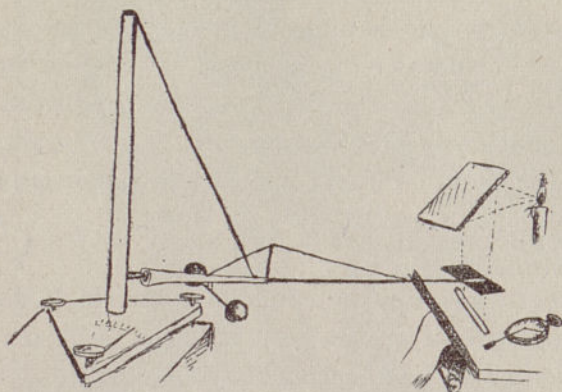


FIG. 11.

el segundo doble que en los Milne más recientes, y que en el Milne-Burgess, esto es, de 8 milímetros por minuto.

El péndulo invertido o astático de Wiechert modelo ordinario (3) (masa de 1.000 a 1.200 kilogramos), es, a pesar de lo delicado de su empleo y del defecto muy notable de no separar bien las dos componentes horizontales del movimiento, un instrumento muy sensible y capaz de dar brillantes resultados, y con su aparición en 1900 inició una nueva era en Sismología, bien que hoy le igualen y aun superen otros sismógrafos, tanto de registro

(1) Seismol. Inv. (B. A., Manchester, 1915), 6-15.

(2) Idem id. id.

(3) Ein astatisches Pendel höher Empfindlichkeit... *Physik. Zeitsch.* 4, J, 821-829, fig. 4.

mecánico como óptico, y sobre todo magneto-fotográfico.

Esquemáticamente podemos representarnos a uno de estos péndulos como una gigantesca peonza, la que en vez de descansar sobre su acerada punta la hiciese sobre unos muelles cardánicos, mientras que otros, convenientemente situados y relacionados a la vez con los amortiguadores de aire (especie de cilindro de vapor) y con las palancas multiplicadoras e inscriptoras, impidiesen su caída. Al inclinarse de un lado la masa, comprimirá al muelle correspondiente y este le rechazará, a su vez, adquiriendo el movimiento (de no funcionar los amortiguadores),

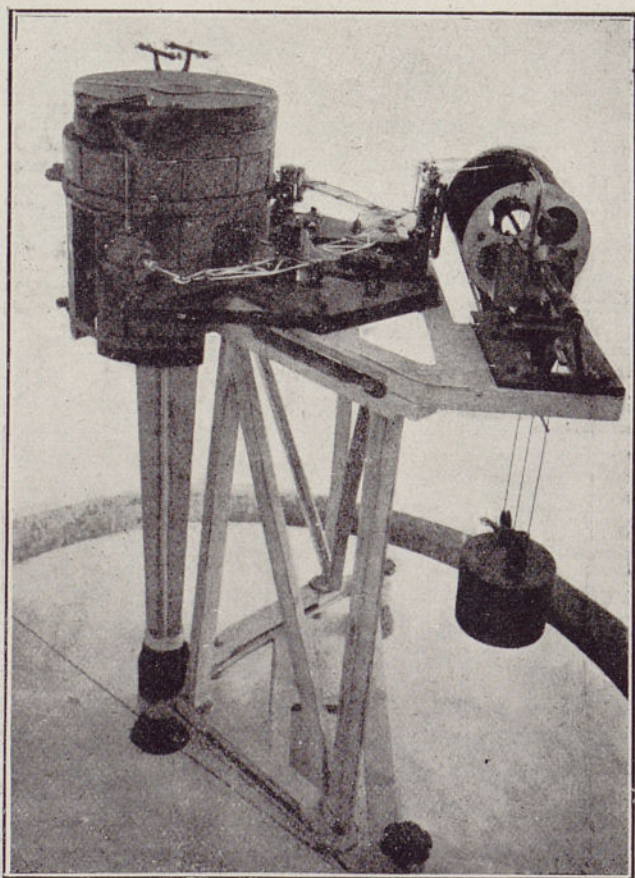
un ritmo expresable por la fórmula $T_0 = 2 \pi \sqrt{\frac{l}{\varphi - g}}$,

en la que l y g significan, como de ordinario, la distancia existente entre el centro de gravedad de la masa y el punto de apoyo, y la aceleración de la gravedad, respectivamente, y φ la fuerza de restitución del muelle o muelles que obren en aquel momento para enderezar la masa, y en contra de la gravedad.

T_0 crece en razón inversa de φ , y en circunstancias favorables se obtienen periodos de hasta 15 segundos, rara vez más, con $l = 1$ metro, de ordinario, lo que, con $g = 9,800$ da $\varphi = 9,975$, puesto que:

$$6,28 \sqrt{\frac{1}{9,975 - 9,800}} = 6,28 \times 2,39 = 15.$$

Pues bien, una disminución de un 0,25 por 100 de la fuerza de los muelles (esto es, $= 9,950$), nos daría 16 segundos de periodo, cifra correspondiente a 64 metros de longitud pendular equivalente, o sea con aumento de 8 metros (el 14 por 100) sobre la anterior de 56, y como basta un ligero cambio de temperatura para producir



LÁM. XI.—Wiechert (modelo Spindler y Hoyer) de 200 kgs. montado en la E. S. de Cartuja (Granada).

los indicados y aun otros mucho más considerables, por perder o ganar fuerza los muelles por poco que se eleve o descienda su temperatura, cambian mucho estos péndulos de período y de amortiguamiento, por depender éste para la misma masa, y en iguales circunstancias lo demás, de la longitud pendular equivalente. Además, en el movimiento registrado no entra solamente en juego la acción de la gravedad sobre la masa, como en casi todos los demás péndulos, sino también, y en mayor escala que en el Mainka, la fuerza elástica de varios muelles, lo que quizá pudiera dar la clave de algunas amplitudes excesivas y la frecuencia, quizá exagerada de ciertos períodos, casi siempre que se trate de movimientos fuertes y aun en algunos débiles, a pesar de amortiguamientos más bien fuertes, para péndulos de registro mecánico.

Además de este modelo existen otros de diferente fabricante y con masas de 80, 125 y 200 kilogramos, con innovaciones algunas menos felices y de manejo excesivamente delicado para los medianos resultados que pueden dar.

Los períodos de los Wiechert de 1.000 a 1.200 kilogramos suelen oscilar entre 7 y 12 segundos; sus aumentos, entre 100 y 250, y sus coeficientes de amortiguamiento, entre 4 y 7.

En la actualidad los péndulos más sensibles para el registro de las ondas lentas son los magneto-eléctricos del príncipe B. Galitzin (1), en los cuales el movimiento del suelo, al mover dos potentes imanes permanentes en forma de herradura, colocados con sus polos opuestos

(1) *Ueber ein neues aperiodisches Horizontalpendeln mit galvanometrische Fernregistrierung*, p. 131, fig. 23.

frente a frente, y sujetos al soporte del péndulo, producen corrientes en unas espirales de cobre, sujetas a la masa de modo que queden entre aquéllos y a muy pequeña distancia; esas corrientes, por medio de conductores, actúan sobre un galvanómetro extra-sensible del tipo d'Arsonval-Depretz, y lo que se registra son las desviaciones que experimenta un rayo de luz, emanado de un potente foco (lámpara Nerst o, en su defecto, de acetileno, etc.) al reflejarse en el espejito del dicho galvanómetro cuando se mueve bajo la acción de las corrientes inducidas. Una lámina rectangular de cobre puro y otro par de imanes permanentes bastan para transformar en aperiódico al péndulo del tipo Zöllner y una resistencia apropiada produce el mismo efecto con respecto al galvanómetro.

Si llamamos φ al ángulo de desviación del espejo del galvanómetro, ε_1 a su amortiguamiento, T_1 a su período propio, y $n_1 = \frac{2\pi}{T_1}$, la ecuación que exprese el movimiento de aquél será: $\varphi'' + 2\varepsilon_1\varphi' + n_1^2\varphi = 0$, y si fuese aperiódico el galvanómetro, esto es: $\varepsilon_1 = n_1$, resultará: $\varphi'' + 2n_1\varphi' + n_1^2\varphi + k\theta = 0$; en el caso en el que lo pongamos unido al péndulo, siendo k el *coeficiente del aumento*, determinable experimentalmente, y dependiente de la fuerza de los imanes, proximidad de sus polos a las espiras, sensibilidad del galvanómetro, etc., y ordinariamente con un valor de 25 a 250.

Si el período del péndulo fuese igual al del galvanómetro y ambos aperiódicos, el valor del aumento para una onda de período T_p , siendo el del péndulo y del galvanómetro T , y, por consiguiente: $\frac{T_p}{T} = u$, estará dado

por la fórmula: $V = \frac{k A}{\pi l} \cdot T \frac{u}{(1+u)^2}$. Con $k = 55$, $T = 25$

segundos, $T_p = 1$ segundo, y $A = 1.000$ milímetros (alejamiento del foco luminoso), y $l = 116$ mm., tendremos:

$\frac{55,000}{3,14 \times 116} \times 25 \times 0,0399 = 148$ veces, mientras que V ,

o sea el aumento, hubiera sido de 1.105 veces para $T_p = 20$ segundos, lo que muestra por una parte la extraordinaria variabilidad del aumento en estos péndulos, que exigen numerosas determinaciones de constantes y cálculos algo prolijos, y por otra sus aumentos, muy superiores a los de los demás péndulos para ondas de períodos grandes, suficientes en los cortos, y pequeñísimos en los muy cortos.

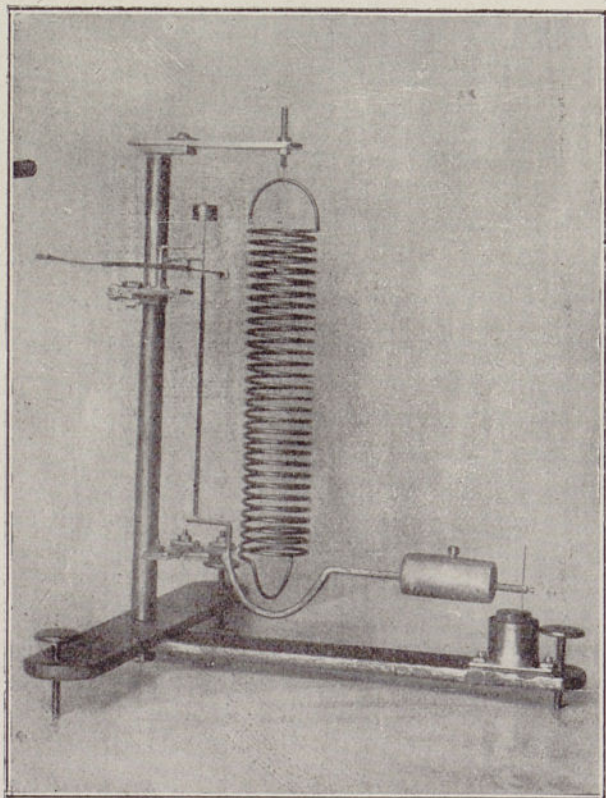
CAPÍTULO XII

COMPONENTE VERTICAL: Generalidades.—Componentes verticales
Vicentini, Wiechert y Galitzin.—TACOS Galitzin.—MARBÓGRA-
FO portátil de Honda.

Para obtener buenos gráficos de la componente vertical de los sismos, aparte de las cualidades exigibles al receptor, cronógrafo y mecanismo inscriptor propiamente dicho, precisa llenar las condiciones siguientes: insensibilidad a todo movimiento lateral; aumento, período y amortizamientos suficientes; y por último corrección conveniente de las desviaciones que pudieran producir los cambios de temperatura.

Forman parte de las *componentes verticales*, nombre que se les da a los sismógrafos dispuestos para su estudio, uno o más muelles a los que tiende una masa, la cual actúa, no sólo cuando la tierra se agita, que es precisamente lo que se pretende registrar, sino también según los cambios que sufran el muelle o los muelles en función de las variaciones térmicas. A este grave defecto ha tratado de remediar el inventor del utilísimo *invar* Dr. C. E. Guillaume, con otra aleación a la que llama N. S. P., cuya elasticidad apenas varía con cambios muy notables de temperatura.

Si suspendemos la masa del muelle, directamente y llamamos E a la elongación o estiramiento que experimente el tal muelle, tendremos: $T_o = 2\pi \sqrt{\frac{E}{g}} = 2\sqrt{E}$



LÁM. XII.—Componente vertical Cartuja (modelo de demostración),
peso total $2\frac{1}{2}$ kgs., T_0 de 1,3 a 2,1 seg. — A de 10 a 30, ε : 1 de 0
a más de 50.



lo que indica haría falta un estiramiento enorme para obtener un período razonable, dado que uno, más bien pequeño, como lo es 6 segundos, exige 9, dado que $6 = 2\sqrt{9}$, y no es necesario perder el tiempo en demostrar los gravísimos inconvenientes, ya que no la imposibilidad de manejar tan disformes aparatos.

Valiéndose de artificios apropiados, como lo son muelles de acción antagonista, masas más pequeñas que la verdadera y situadas muy por encima del centro de gravedad de ésta, mientras que la suspensión de la misma se hace bastante por bajo del dicho centro, etc., se consigue elevar bastante el período, aunque sea muy difícil el pasar de los 13 segundos de las Galitzin, que son las que hoy lo tienen más largo. Como el estiramiento del muelle helizoidal de estos magníficos instrumentos, de irreprochable construcción, es de unos 36 centímetros y el período antes indicado equivale a uno de 42 metros, el valor del *astasiado* resulta de $\frac{42}{0,36} = 117$ veces. Uno de 5 a 8 y aun 10 veces lo hemos conseguido fácilmente con un modelo muy pequeño (1) y de construcción poco cuidada, esto es, en condiciones más bien desfavorables.

La mayor parte de las componentes verticales se hallan integradas por uno o más muelles helizoidales. En éstos la elasticidad puesta en juego es casi exclusivamente la de torsión, expresándose el estirado E del muelle bajo la acción de la masa M por la fórmula: $E = \frac{2LR^2M}{\pi r^4G}$ en la cual G expresa el coeficiente de rigidez (módulo de resbalamiento, 2.º módulo de Young o

(1) Sismographe Cartuja à composante verticale, modèle de démonstration, *Cosmos* 5 Dbre. 1912, p. 635-636, fig. 1.

E_2 , μ en la notación de Lamé, coeficiente igual a $\frac{32 \gamma}{\pi}$ (γ o sea el coeficiente de torsión o de Coulomb), L la longitud *total* de resorte, R el radio del cilindro formado por las espiras de la hélice y r el del alambre que las forma.

Digamos aquí de paso que del valor del *estirado* de un muelle, expresado por la fórmula anterior, se puede deducir el valor de E_1 o E , primer módulo de Young, o simplemente módulo de Young del muelle ensayado, en función de su módulo de contracción transversal, σ , o coeficiente del Poisson, dado que:

$E = 2 E_2 (1 + \sigma)$, $E_2 = G$ (calculado en kilogramos por milímetro cuadrado y multiplicado por $9,8 \times 10^7$, para reducirlo al sistema C. G. S.) y que el valor de σ crece en los metales con el templado y el paso por el laminador o por la hilera, y vale en los mismos 0,3 aproximadamente (de 0,25 a 0,40).

Los muelles de acero Krupp empleados en las componentes verticales Wiechert pesan 8 kilogramos cada uno y el grosor del *alambre* es de 14 milímetros, lo que, con una densidad de unos 8,0 nos da: $L = \frac{8000 \times 10}{\pi \times 0,49 \times 8} = 6500$ milímetros. De éstos descontaremos 200 por los ganchos terminales, que no participan de la torsión y nos quedará $L' = 6300$, y con ésta, $E = 360$, $R = 100$, $M = 180$ kgs. tendremos:

$G = \frac{6300 \times 2 \times 100^2 \times 160}{\pi 7^4 \times 360} = 7500$, $E_2 = 7,4 \times 10^{11}$, $\gamma = 7,3 \times 10^{10}$, y con $\sigma = 0,3$, $E_1 = 1,92 \times 10^{11}$ C. G. S. cifra comprendida entre los 18 y los $20,4 \times 10^{11}$ asignados también al acero por Amagat y Everett y con mayor

razón entre los $17,5$ y $20,7 \times 10^{11}$ deducidos por el profesor E. Oddone con su esclerómetro.

Las desviaciones de origen térmico de la línea de reposo en los gráficos de las componentes verticales se expresan por la fórmula: $D = A C \left[\left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 g \right]$, en la cual C

es el coeficiente térmico de elasticidad del muelle utilizado y A el aumento, fórmula que resulta, simplificando: $D = JC$, siendo J la longitud total del péndulo equivalente, habida razón del susodicho aumento.

La variación de $1.^\circ$ en la componente vertical Wiechert de 1300 kilogramos con siete segundos de período y 160 veces de aumento, si careciese de la compensación adecuada, produciría una desviación de 70 centímetros en el gráfico, según este sabio sismólogo (1), y como el alargamiento de cada uno de los 8 muelles que sostienen la masa es de 36 centímetros, resulta como coeficiente térmico de los mismos $3,5 \times 10^2$ centímetros, esto es, que un grado centígrado de aumento o disminución en la temperatura de los muelles equivale a un aumento o disminución de 156 gramos en el peso de la masa.

Se ha tratado de corregir este grave defecto de los muelles por medio de compensaciones bi-metálicas (hierro y cinc en los Wiechert) dispuestas exactamente al revés que las varillas de acero y latón de las péndolas de algunos relojes, puesto que al fin de éstas es el de mantener igual, a ser posible, la longitud pendular, cualquiera que sea la temperatura reinante y las rejillas compensadoras de las componentes verticales deberían alargarse o acortarse en iguales proporciones, pero en

(1) *Das Institut f. Geophysik...*, 176.

sentido inverso de los muelles, para que la altura del centro de gravedad de la masa permanezca invariable y no se presenten más desviaciones que las producidas por los movimientos del suelo. Fuerza es confesar que esto sólo se consigue muy imperfectamente, lo que obliga a colocar estos instrumentos en locales subterráneos o semi-subterráneos, donde los cambios de temperatura apenas lleguen a $0,1^{\circ}$ al día, de no tratarse de alguno muy poco sensible, como lo es la componente vertical Vicentini, con la cual cambios de temperatura bastante mayores, aun de algunos grados, resultan tolerables.

En este instrumento (1) la elasticidad puesta en juego es la de flexión, y consta de una lámina de acero muy elástica (muelle para vagones) de $1\frac{1}{2}$ metros de largo por 7,5 centímetros de anchura y espesor decreciente de 1,0 a 0,7 centímetro; sin carga este muelle presenta una fuerte concavidad hacia arriba, y se halla sujeta por su extremidad más delgada, y gracias a una robusta pieza de hierro, al mismo pilar donde pende el microsismógrafo del mismo autor. En la otra extremidad se enfila una pesa cilíndrica de plomo de unos 50 kgs., bajo cuya acción debe quedar horizontal la superficie superior del muelle. Dos palancas, una de ellas acodada y vertical, simplemente multiplicadora, y otra horizontal, a la vez multiplicadora-inscriptora completan esta componente vertical que inscribe sus gráficos sobre la misma banda que lo hacen las componentes horizontales. Su período completo oscila entre 0,8 y 1,3 segundo y su aumento varía entre 80 y 200 veces, careciendo de amortiguador y resultando muy poco sensible, no sólo por la pequeñez de

(1) G. Vicentini e G. Pacher, *Microsismografo per la componente verticale*, *B. d. S. S. It.*, V, 33-58, l. II, fig. 6.

su periodo, sino que también por otros defectos, algunos de los cuales nos parecen fáciles de corregir (1).

Mucho más potentes son las componentes verticales Wiechert, tanto gran modelo ya citado, como pequeño modelo, con masa de 80 kilogramos, aunque todavía estén muy lejos de constituir un *desideratum* sobre todo por su exagerada y nociva sensibilidad térmica.

Hoy, para los terremotos lejanos, las mejores componentes verticales son las del eminente sismólogo ruso Príncipe B. Galitzin (2), de registro magnético-fotográfico y con aumentos hasta un millar de veces y aun más, en casos favorables, y en periodos elevados, lo que es sumamente ventajoso. Aunque su funcionalismo especial evite se produzcan desviaciones en sus gráficos con los cambios de temperatura, no por eso dejan estos de afectarles y aun mucho, cambiando su periodo, por lo que precisa también colocarlos en locales apropiados.

Conforme a la clasificación establecida por E. Bransart, llámense *sismoscopios* a los instrumentos destinados a indicar la existencia de un sismo y *sismómetros* a los que permiten medir su intensidad. Uno de los más extendidos y mejores de los primeros es el sismoscopio del fecundísimo cuanto notable Director del Observatorio geodinámico de Rocca di Papa, Profesor G. Agamennone, compuesto por dos péndulos invertidos (3), con sus masas fijas a distintas alturas sobre varillas de acero, teniendo una de aquéllas adaptada una laminita de platino

(1) La componente verticale Vicentini de la St. Sismol. de Cartuja (Grenade), *B. z. G.* X, 2, p. 79-85.

(2) *Ueber einem neuen Seismographen für die Vertikalkomponente der Bodenbewegung, v.*

(3) Sismoscopio elettrico a doppio effeto, *B. S. S. R.* III, 37-45.

con su abertura circular, al través de la cual pasa sin tocar sus bordes el extremo de la otra varilla. provisto de un trozo de alambre de platino, teniendo el aparatito sus conexiones con una pila eléctrica y un reloj, bien andando de continuo, bien parado a las doce. Si una sacudida impresiona al sismoscopio, por cierto muy sensible de no ser muy ancho el agujero, ciérrase el circuito y párase o échase a andar el reloj, pónese en movimiento un receptor antes parado, toca un timbre, etc., según los accesorios que se interpongan convenientemente en el circuito.

En los sismómetros más sencillos figuran los tacos Galitzin (1) capaces de dar utilísimos datos en casos de terremotos violentos y destructores. Consisten en unos

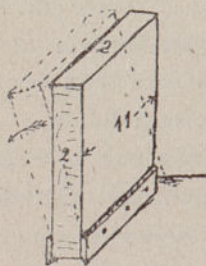


FIG. 12.

paralelepípedos rectangulares de madera de 2×10 centímetros de base y de alturas de 82,9, 41,3, 27,4, 20,4, 16,3, 13,5, 10,0, 8,9 y 7,9 centímetros, los que caerán si las máximas aceleraciones del suelo sobre el cual descansan alcancen, respectivamente: 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 y 200 gals, siendo conveniente pro-

veerlos de unas láminas de latón cortadas a bisel y sobresalientes unos 2 milímetros, para determinar el eje de giro, y establecer dos series orientadas N-S y E-W, de no aconsejar otra cosa causas especiales, como la presencia de algún accidente geológico de importancia y de distinto acimut.

Casi inútil parece el añadir la necesidad de colocarlos

(1) *Ueber eine dynamische Skala zur Schätzung von makroseismischen Bewegungen.*

a distancias convenientes, para que al caer unos no empujen a los otros, y fuera de las influencias extra-sísmicas. Si se les colocase sobre trazos que correspondan a los lados de sus bases, a más de los datos que proporcionarían con su caída o permanencia en pie, pudieran darlos de su giro o desviación.

Añadiremos como apéndice la siguiente breve reseña de un mareógrafo capaz de servir de útil auxiliar a los sismógrafos en las costas donde se observen ondas sísmicas y mareas anormales. Unense en este aparato a la sencillez, pequeñas dimensiones, fácil transporte y montado, otra cualidad más importante, la de su perfecta adaptación al objeto que se pretende, o sea al estudio de las mareas normales y anormales y al de las ondas sísmicas, como lo

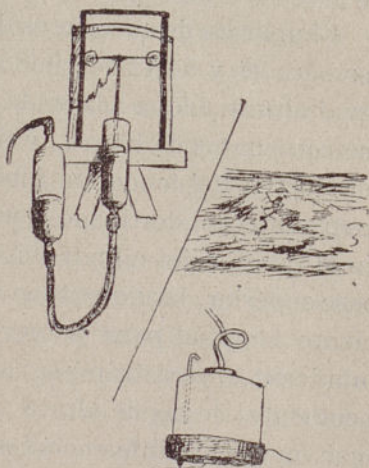


FIG. 13.

muestra la memoria del Profesor K. Honda y de sus colaboradores los Doctores T. Terada, Y. Yoshida y D. Itasani (1) que honra las *Publications...* japonesas, con ser tan notables.

Consta de un aparato de succión sumergido siempre y destinado a comprimir el aire contenido en su interior, haciéndolo actuar sobre el mercurio que llena en parte

(1) Secondary Undulation of Oceanic Tides, nº 26 (*Tokyo, 1908*), in fol. p. 113, l. XCV.

dos vasos comunicantes de cristal, unidos entre sí por un tubo de caucho. Sobre el nivel del mercurio del vaso comunicante libre hay un flotador, el cual lleva un vástago con una pluma Richard que inscribe sobre uno de los tan conocidos cilindros receptores de este afamado constructor. Dos ruedecitas situadas una a un lado y otra al otro de la pluma inscriptora, al correrse entre dos carriles o guías le impiden efectuar otros movimientos que no sean de ascenso o descenso.

El aparato de succión es de latón, cilíndrico, de gruesas paredes y de 12 centímetros de diámetro interno, por igual altura. Lleva adaptada a su base una basa de plomo con puntas de hierro, y penetra en su interior hasta muy cerca del fondo, un tubo de cobre de 2 mm. de diámetro interno, destinado a permitir la entrada del agua en el interior del cilindro. A continuación de éste, en su base superior, hay otro tubo de igual diámetro y de suficiente longitud para actuar sobre uno de los vasos comunicantes, registrándose las variaciones de presión dependientes de las de altura (o presión) de las aguas del mar, muy poco influenciadas por los cambios de presión y de temperatura atmosféricas.

CAPITULO XIII

EL SISMOGRAMA.—Generalidades.—Signos internacionales.
División en fases.

El sismograma es la representación gráfica, más o menos fiel, del movimiento del suelo en el sitio donde esté instalado el sismógrafo, pero no una copia a escala más o menos reducida del mismo movimiento, tal cual fué en el foco, ni aun siquiera en el epicentro, de hallarse éste distante. Acaece en esto algo análogo a lo que pasa con un rayo de luz dispersado por un prisma y proyectado sobre una pantalla: con el aumento de la distancia crece la longitud de la faja espectral, y lo que a la salida del prisma parecía una línea brillante (imagen de la rendija), con un borde rojo, el otro purpúreo y el centro confuso, se descompone en la cinta de innumerables matrices, surcado por las rayas negras características del espectro de Fraunhofer. Así también, en lo que con el Conde de Montessus de Ballore pudiéramos llamar *espectro sísmico* corto, esto es, de escasa duración en el epicentro y además confuso, se diferencian con la distancia las diversas clases de ondas (que no son otra cosa más que vibraciones elásticas debidas a una ruptura o hundimiento, etc., quizá rapidísimo, vibraciones que adquieren caracteres muy diversos tanto por los medios transmisores, como por su misma modalidad), llegando a agitar tal vez hasta 4 $\frac{1}{2}$ horas los sismógrafos situados a

enormes distancias, aun en el antípoda del epicentro, o *anti-epicentro* distante unos 20.000 kilómetros.

Por esto, fuera del interés particular que encierran los gráficos de los terremotos cercanos, los de los lejanos, obtenibles en todas partes (no así los otros), constituyen un precioso e insustituible medio de investigación sobre la rigidez, composición, estado probable, etc., de las regiones internas de la tierra, al través de las cuales, siguiendo el símil anteriormente expuesto, se *refracta* el espectro sísmico. De aquí el considerable número de estaciones sismológicas situadas en sitios donde los terremotos cercanos escasean y hasta constituyen un fenómeno excepcional, entre las que precisamente figuran las más renombradas, y que nada tendrían que hacer si no se dedicasen de lleno al estudio de los *telesismos* (*), con gran detrimento del de los *plesiosismos* (**), mucho más importante bajo el aspecto utilitario, y el mismo público ilustrado comparte un poco las ideas de los *profesionales*.

Nunca, o poco menos, resultan rectos los trazos de un sismógrafo sensible, sino que presentan sinusoides más o menos regulares, bruscas desviaciones, engrosamientos, etc., que denotan que el suelo está en continua agitación. Estas desviaciones unas veces son extra-sísmicas; producidas por corrientes de aire al abrir o cerrar la vitrina que resguarde al sismógrafo, por el tránsito cercano de personas o vehículos...; de origen meteórico más o menos directo y evidente, como los estremecimientos del suelo al balancearse los árboles azotados por el vendaval, la costa batida por fuerte oleaje, los bruscos cambios de

(*) $\tau\eta\lambda\epsilon$ = de lejos, lejano (epicentro a más de un millar de kilómetros).

(**) $\pi\lambda\eta\sigma\acute{\iota}\omicron\nu$ = cerca, cercano (id. menos id., id.)

presión atmosférica (*)...; o finalmente pudieran ser sísmicas, bien provengan de un terremoto local y sensible o no, bien del eco, repercusión o transmisión de otro lejano. Con buenos sismógrafos, sobre todo si están lo suficientemente amortiguados, es punto menos que imposible el confundir el gráfico de un sismo auténtico con esos movimientos parásitos, en ocasiones bastante molestos y nocivos, por enmascarar los sismos cuyos gráficos resulten muy débiles, sobre todo en sus comienzos, hoy casi lo más interesante de los mismos.

Los gráficos de los terremotos, o sismogramas presentan trazos diferenciables los unos de los otros en atención a sus períodos y amplitudes, lo que permite agruparlos en fases, o designándose, de ordinario, los puntos más interesantes o críticos por medio de iniciales, de acuerdo con la circular dirigida a fines de 1911 a los directores de las diversas estaciones sismológicas por el Profesor O. Hecker, como director de la Oficina Central de la Asociación Sismológica Internacional de Estrasburgo. Esas iniciales o *símbolos internacionales*, como los llama con sobrada razón el P. Federico L. Odenbach S. J. de Cleveland (O), están tomados en su mayoría del Profesor Wiechert, y son los siguientes, a los que añadiremos su sinonimia.

P (undae primae), primeros movimientos preliminares,

(*) Estos movimientos y otros análogos, que suelen prolongarse durante horas y aun días, con notable regularidad, se denominan barosismos, de *βαρῶς* = pesado, por hallarse más o menos relacionados con los cambios de presión atmosférica. En Granada alcanzan, a veces, hasta más de 10 μ de amplitud, si bien es muy raro que pasen de 5 μ , con períodos de 4 a 8 segundos, rara vez mayores o menores. En las estaciones sismológicas situadas muy en el interior su efecto disminuye mucho, creciendo, por el contrario, en las costas, sobre todo si el subsuelo es poco firme.

ondas longitudinales *erster Vorläufer, first preliminary tremors, primi tremiti, P₁, V₁, I, etc. ...*; *S (undae secundae)*, segundos movimientos preliminares, ondas transversales, *zweiter Vorläufer, second preliminary tremors, secondi tremiti, P₂, V₂, II, etc.*; *L (undae longae)*, ondas lentas, porción principal, grandes ondas, *Hauptphase, lange Wellen, long waves, onde lente, G, O, P₃, III* u ondas superficiales, entre las cuales se halla el máximo verdadero *M (maximum)* o los máximos, designándose entonces estos por subíndices, a partir del que se presentara primero *M₁, M₂ ...*; *C₁, C₂ ... (codae)*, cola..., indican los máximos secundarios registrados después de terminada la porción principal, y últimamente *F (finis)*, fin, *Ende, end, etc.*, indica el final claramente perceptible del movimiento.

Los signos aclaratorios de los puntos críticos antes indicados e incluidos también en la misma circular, son: *i (impetus)*, ímpetu o comienzo brusco y evidente (de una fase *P, S, L*); *e (emersio)* = comienzo menos definido y gradual, y aun tal vez incierto. Usados sólo indican el principio de una o más ondas, con duda de que pertenezcan a una fase dada. En el caso contrario, esto es, cuando determinan el principio de una fase fija se colocan ante el signo de ésta: *iP, eL*, por ejemplo. Algunas veces, sobre todo en *P* y aun tratándose de un solo terremoto, hay primero *eP* y varios segundos más tarde *iP*. *T (tempus)* indica el valor en segundos de los períodos completos de las ondas que se analicen y *A_N, A_E, A_Z*, respectivamente, las amplitudes verdaderas (reducidas de las medidas directamente en el gráfico), de las tales ondas en micras μ o milésimas de milímetro en las tres componentes *N-S, E-W* y vertical o *Z*, amplitudes a las que precederá el signo + si la desviación medida fuese

hacia el *N*, *E* o arriba o *Zenit*, y el signo — si fuese en sentido contrario. Δ indica la distancia del epicentro en kilómetros, calculada según los datos del sismograma. Un signo de interrogación = ?, colocado a continuación de un símbolo, indica duda sobre su exacta correspondencia.

Además de estos signos que pudiéramos llamar *oficiales*, la nomenclatura Wiechert, o de Göttinga (1) comprende otros que son los siguientes:

El gráfico puede ser simplemente *perceptible* = I, *notable* = II, y *muy notable* = III, en atención a las amplitudes registradas, y atendiendo a la distancia epicentral ser de un terremoto local, o sentido en la localidad = *d* (*domesticus*), o insensible. En este último caso, si su epicentro dista menos de 1.000 kilómetros se le designará con una *v* (*vicinus*); si dista más de 1.000 y menos de 5.000 con una *r* (*remotus*), y con una *u* (*ultimus*) (*) si distase más de 5.000 kilómetros, distancias apreciadas siempre por el arco de círculo máximo que medie entre el epicentro y la estación sismológica. P_R , P_R ,... = ondas longitudinales reflejadas una, dos... veces; S_R , S_R ,... = ondas transversales reflejadas una, dos... veces; PS = ondas que cambiaron su carácter y han sufrido una sola reflexión; PPS , PSS íd. reflejadas dos veces; *in* (*internus*), *ex* (*externus*) = sentido en el que se verificó la reflexión; L rep 1, M rep 1, L rep 2, M rep 2, indican respectivamente ondas lentas o máximos que ha recorrido el camino más largo para llegar a la estación, o que vuelven segun-

(*) *Wöchentliche Erbebenberichte des Geophysikalischen Institut der Universität Göttingen, 1912.*

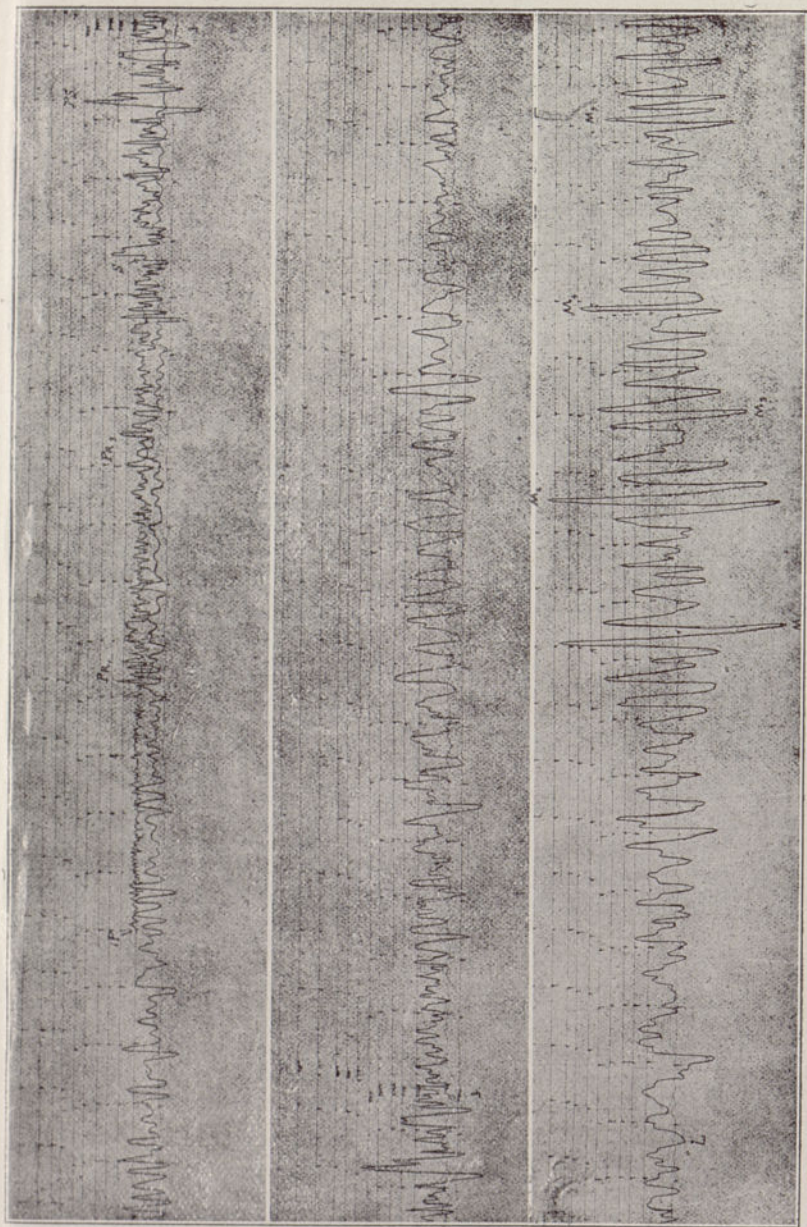
(**) Estas iniciales las comenzó a usar el Dr. G. Von dem Borne, de Breslau.

da vez, después de un viaje de 40.000 kilómetros, w_2 , w_3 , en la clasificación de Omori). Ultimamente, el signo \pm antes de una hora, con el aditamento de una cifra cualquiera, indica los límites del error probable en la determinación de algún punto crítico de importancia.

A estos signos pudiera añadirse con el Profesor Doctor J. B. Woodworth, distinguido director de la Estación Sismológica de la Universidad de Harvard (Cambridge, Mass, un O para designar la hora del terremoto, esto es, aquella en la que debió comenzar a sentirse en el epicentro, deducida de la distancia epicentral y de la hora inicial de P , o , en su defecto, de alguna otra onda bien definida y característica.

La división en fases, fácilmente factible en los sismogramas claros, los que con buenos instrumentos apenas llegan al tercio de los registrados, resulta a veces muy difícil y aun imposible, sobre todo si el aumento y el amortiguamiento son insuficientes y hay fuertes barosismos, bien que una sola de estas tres causas bastaría en muchos casos. Los criterios principales para determinar el comienzo de una fase son el cambio de periodo y de amplitud. De ordinario, en los gráficos siquiera medianos, P es fácil de determinar, S algo más difícil, y todavía más L , por lo que esta última suele darse en minutos y décimas de minuto, cuando aparece en muy buenas condiciones, en vez de los segundos ordinariamente usados para las otras. S suele faltar o ser discutible para las distancias inferiores a 250 kilómetros, y en general no muy claro a menos de 450 y a más de 11.000 a 12.000, ocurriendo esto último con P para las largas distancias, en las cuales, sobre todo durante el eclipse que parece experimentar entre los 12 y los 15.000 kilóme-





Lám. XIII.—Terremoto del S. del Japón del 15 Junio 1911. Gráfico del Cartuja bifilar ENE, T, = 10°, A = 118, ε : 1 = 3.

N.º

del al 191

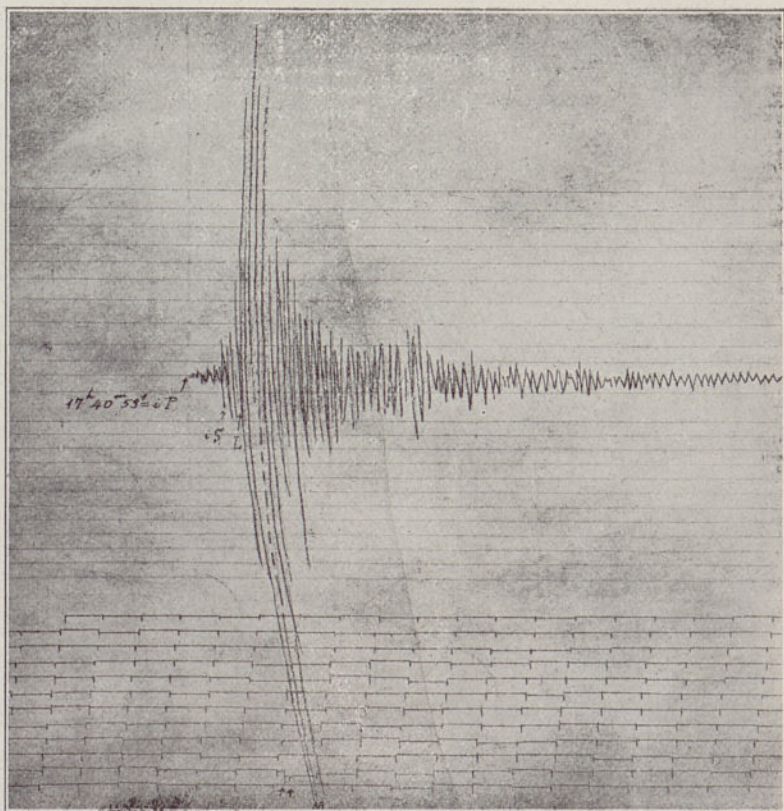
GRANADA

Boletín Sismológico de la Estación de Cartuja.

 $\varphi = 37^{\circ} 11' N$ $\lambda = 3^{\circ} 36' W$ Gr. $z = 768$ ms. Sub-suelo: Caliza tortoniense.Péndulo Cartuja bifilar (masa 425 kgs), componente E $20^{\circ} N$

$$T_0 = 10,0 \text{ seg.} - A = 118 - \varepsilon : 1 = 3,0 - \frac{r}{T_0^2} = 0,006$$

Fecha.	Fase.	Hora.	Período	AMPLITUD			Δ	NOTAS
				A_N	A_E	A_Z		
				μ	μ	μ		
		<i>h m s</i>	<i>s</i>	μ	μ	μ	<i>kms.</i>	
15-VI-1911	iP	14-39-37	2,4		+ 4,5			
	S	51-13	10		+ 48		10870	Sentido en todo el S del
	L	59,0-						Japón. Epicentro por el
	M_1	15-23-6	21,4		- 815			N. del archipiélago de
	M_2	25-15	21,0		+ 755			Kiu siu, donde produjo
	M_3	26-43	17,5		- 320			algunas víctimas.
	M_4	28-37	12,0		+ 124			$PR_1 = 14^h 44^m 49^s = + 30\mu$
	M_5	31-50	13,7		+ 134			$PR_3 \quad 47 \quad 33 \quad + 36$
	F	19-30-						PS $53 \quad 13 \quad + 90$

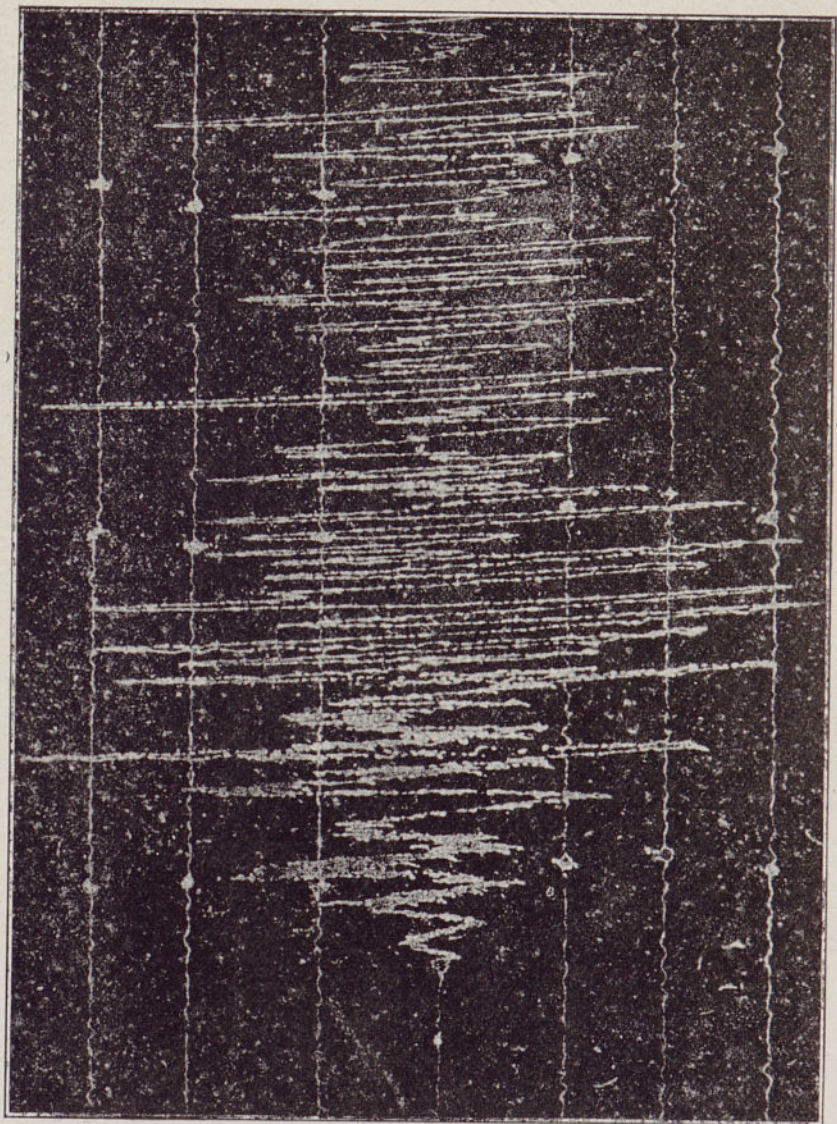


LÁM. XIV. — Terremoto Ibérico del 23 Abril 1909, registrado en la E. S. de Cartuja (Granada), por un péndulo Omori modificado, construido allí mismo, como todos los demás que hoy funcionan en la misma por HH Coadjutores de la Compañía de Jesús.

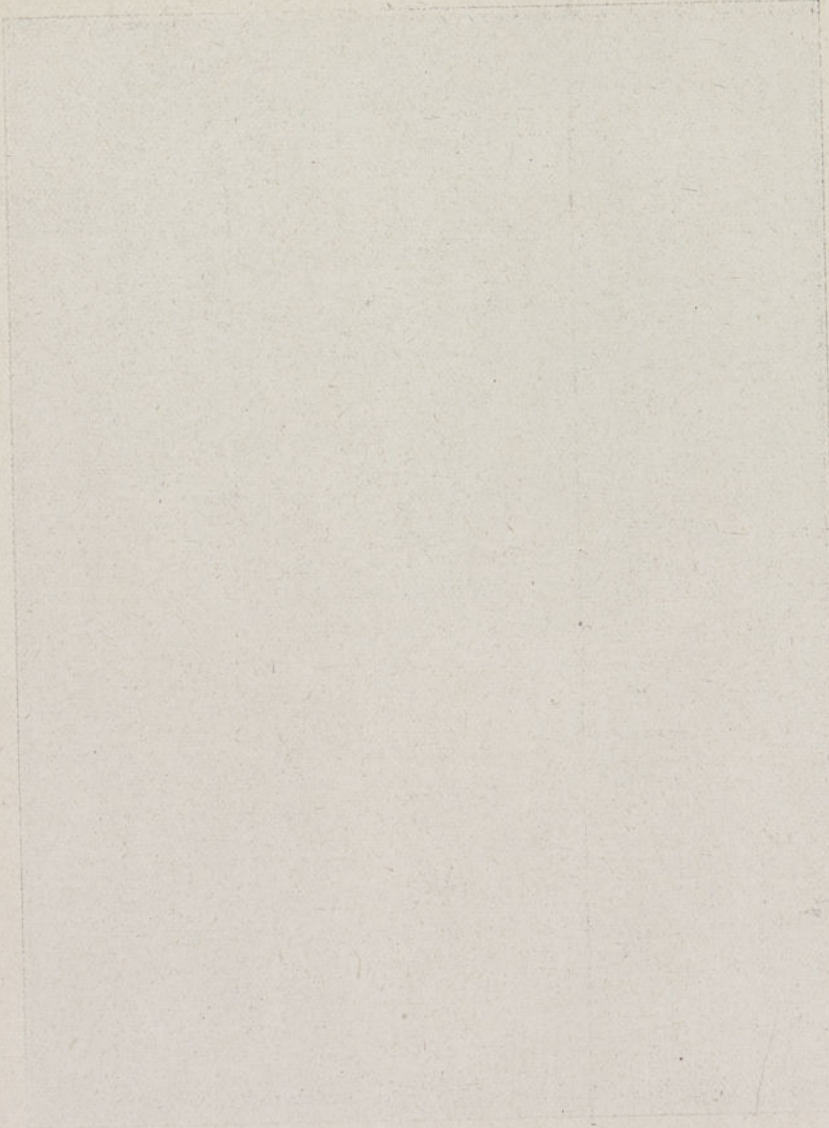
$\Delta = 495$ kms — ($M = 106$ kgs. — $T_0 = 14$ seg. $A = 33 - \varepsilon : 1 = 4$).

N. B. Las flechas cerca de M marcan dos desviaciones correspondientes en la línea trazada por el estilete del cronógrafo, suprimido aquél poco después. Hoy no funciona ese péndulo por ser más sensibles los Cartujas.





LAM. XV. — Terremoto del 27 Octubre 1910 a las 0h 59m 28s violento en Tetuán, débil en Málaga, etc. $\Delta = 270$ kms. Gráfico del Cartuja bífilar ENE, $T_0 = 10^s$ $\epsilon : 1 = 4$, aumento equivalente en la reproducción = 450 veces. (Las ondulaciones que muestran todas las líneas son barosimos; el espacio comprendido entre punto y punto corresponde a un minuto.)



tros, los reflejos P_R , P_{R_1} ,... son, por el contrario, mucho más aparentes.

Los dos puntos críticos más importantes son \bar{P} y S , puesto que no sólo nos permiten determinar la distancia epicentral con mayor precisión que los reflejos, hoy todavía imperfectamente estudiados, sino que también tal vez basten para localizar el mismo epicentro.

Al dar los datos que exijan correcciones de amplitud, se verifican éstas de ordinario con las tablas de Götinga, aunque también puedan utilizarse las del Príncipe Galitzin, indispensables en algunos casos particulares y para las correcciones por retardo horario, bien que el cálculo de los factores necesarios para cada caso particular resulte bastante rápido con la regla logarítmica y más si se emplean nomogramas y aun simples gráficos convenientemente trazados. Los datos se toman directamente de los sismogramas, o de sus reproducciones fotográficas, ampliadas o no, con el doble decímetro casi siempre, y muchas veces valiéndose de una lente de aumento.

Los gráficos que reproducimos, con sus puntos críticos convenientemente anotados, y también la hoja en la que aparecen descritos como se practica en los más acreditados boletines sismológicos, nos evitarán insistir sobre cuestiones y puntos cuya importancia puramente técnica carecería de interés para los más de los lectores, y que exigirían para su desarrollo el que les dedicásemos algunas docenas de páginas.

CAPITULO XIV

Cálculo de la distancia epicentral.—Trabajos de Omori, Wiechert y sus discípulos.—Algunas fórmulas. — *Hora del terremoto.*

El retardo, creciente en función de la distancia, con que se van inscribiendo sucesivamente las distintas fases de un sismograma, hizo concebir a principios de la última década del siglo pasado, fundadas esperanzas sobre la exacta determinación de la distancia epicentral con los datos del sismograma, problema de los más interesantes en Sismología, por encerrar la clave de otros muchos, y entre ellos el de la localización del epicentro.

Después de varios ensayos infructuosos por parte de otros, Omori, con unos cuantos gráficos obtenidos en Tokio con sus péndulos horizontales y varios otros europeos de terremotos japoneses, calculó una ecuación lineal de la forma: $x \text{ kms.} = k y \text{ seg.} + h$, en la que $y \text{ seg.} = S-P$ y k y h dos constantes cuyos valores más aproximados dedujo por el método de los mínimos cuadrados. La ecuación resultó ser: $x \text{ kms.} = 17,1 y \text{ seg.} - 1.360$ (1), utilizable para $y \text{ seg.} > 300 < 600$, y las diferencias muy considerables, hasta 400 kilómetros, dependientes en parte del material empleado, entonces lo mejor, pero que hoy resulta de escaso valor, y también de que una sola ecuación no basta para las distancias comprendidas entre los 4,5 y los 9,5 megámetros, como veremos después. Por estas razo-

(1) *Publications...*, num. 5 (1900), 63.

nes, y quizá más en particular por la última, el ilustre Profesor de Sismología de la Universidad de Tokio, acostumbra a dar una nueva fórmula para cada terremoto importante que estudia con datos suficientes para ello, inclinándose a creer, aunque sólo a título de hipótesis algo verosímil, que la conductibilidad de la Tierra es mayor bajo el fondo de los mares que al través de los continentes.

Por el procedimiento indicado y para los terremotos lejanos en que S no se puede precisar bien, dedujo Omori la fórmula: x kms. = 6,54 y seg. + 720 (1), en la que $L - P = y$ seg. $> 210 < 2050$ y otras varias para los cercanos, de las cuales la más conocida y ordinariamente utilizada es la: x kms. = 7,27 y seg + 38 (2), para $L - P = y$ seg $> 8,5 < 132$, fórmula esta última deducida de la discusión de los sismogramas de 17 terremotos japoneses de epicentros bien determinados.

Para los terremotos muy cercanos, hasta los 200 kilómetros, usamos con buenos resultados, desde 1908, la fórmula del Dr. C. Jordan, de Budapest: x kms. = 7,73 y seg. (3), y para y seg. > 25 parece resultar mejor en los mismos, la del Profesor Dr. A. Mohorovicic de Agram: x kms = 7,9 y seg. (4).

El Sr. Comas Solá usa la siguiente fórmula: x kms. = 6,6 y seg. (5), recomendando se tome como L al prin-

(1) *Publications...* n° 13 (1903), 87.

(2) *Id. id.*, 90.

(3) *La propagation des ondes sismiques, Rev. gén. des Sciences, 15-30 Juillet, 1907.*

(4) *Jahrbuch des meteor. Obs. in Zagreb... J. IX, IV T. Abt., 1, S., 59.*

(5) *Nota sobre el terremoto olotino... Mem. de la R. Acad. de C. y A. de Barcelona, VIII, núm. 6, 16.*

cipio de las oscilaciones amplias (en sismogramas obtenidos con péndulos no amortiguados, por supuesto).

En los trabajos que hemos mencionado y en otros, que la concisión nos obliga a sacrificar, el resultado final ha sido una fórmula, lo que implica el conocimiento de las diferencias de velocidad entre los tiempos de llegada de *P* y de *S* o *L* en función de las *proyecciones* de los caminos recorridos (prescindiendo de la profundidad, medio transmisor, etc.), sobre la superficie de la Tierra.

Esas distancias se aprecian en *arcos* y se calculan ordinariamente con auxilio de la fórmula

$$\cos \Delta_0 = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos (\lambda_1 - \lambda_2),$$

en la cual $\varphi_1, \lambda_1, \varphi_2, \lambda_2$, representan las coordenadas geográficas o sea la latitud y la longitud de los dos sitios cuya distancia queremos calcular (*).

Para distancias cortas esta fórmula es muy poco, o mejor dicho, nada exacta, y por eso hay que prescindir de su venerable antigüedad y utilizar otra en la que el valor de la incógnita varíe mucho más rápidamente que lo hace el coseno en estas circunstancias. El senoverso lo hace en las condiciones apetecidas, y el Profesor H. H. Turner, de la Universidad de Oxford, al proponer su procedimiento, ha dado una tabla (1) con los valores en grados y décimas correspondientes al resultado de los cálculos, aquí 2 senvers Δ_0 .

Si llamamos:

$$x = \cos \varphi_1 \cos \lambda_1, \quad y = \cos \varphi_1 \sin \lambda_1, \quad z = \sin \varphi_1$$

(*) Suele admitirse 111,2 kilómetros como valor de un grado.

(1) On a method of solving spherical triangles... *Monthly Notices of R. A. S.*, May 1915, 530-541.

y asimismo:

$x' = \cos \varphi_2 \cos \lambda_2$, $y' = \cos \varphi_2 \operatorname{sen} \lambda_2$, $z' = \operatorname{sen} \varphi_2$,
tendremos que:

$$2 \operatorname{senvers.} \Delta_0 = (x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2,$$

entendiéndose que las restas son *algebraicas* y los *cuadrados* siempre positivos; contándose φ positivo siempre su coseno y también su seno, cuando la latitud es boreal, y negativo en el caso contrario, y λ positivo hacia el E y negativo al W del meridiano de Greenwich hasta los 90° , y al revés en adelante, tratándose del coseno, y siempre positivo su seno. Con unas tablas de cuadrados y las ya mencionadas resulta este procedimiento bastante rápido y lo venimos usando desde casi a raíz de su publicación para las distancias inferiores a un par de megámetros y superiores a 100-200 kilómetros, pues para las inferiores un mapa regular resulta ya tan exacto y de manejo mucho más expedito.

En el cálculo de las fórmulas que den distancias en función de diferencias horarias y en otras muchas, en Sismología también abunda el criterio de recoger muchas observaciones, preocupándose más del número que de la calidad, y sin eliminar tal vez datos evidentemente inexactos, en la suposición de que los *mínimos cuadrados* bastarían para reducir a un justo límite los errores, cuando este procedimiento, utilizado con datos malos, sólo podrá dar resultados aceptables en el caso en que éstos se compensen inesperadamente, siendo muy fácil transformarle en el procedimiento de los *mayores disparates* cuando se le utiliza sin gran discernimiento, como decía un eminente matemático francés.

Si sobre una cuadrícula conveniente y tomadas las dis-

tancias por abcisas y las diferencias S-P, por ejemplo, por ordenadas, se marcan los puntos correspondientes a cada terremoto y a cada estación sismológica, la línea que pase por entre los dichos puntos con menos divergencias, excluidos los puntos muy separados, no sólo nos dará una representación exacta del fenómeno, en cuanto los datos empleados sean susceptibles de ello, sino que permitirá interpolar y aun calcular la ecuación de la curva (o curvas) que lo represente, obteniéndose fácilmente por el primero de estos medios tablas numéricas que expresen la distancia epicentral en función de S-P, etc. Esto es lo que hizo el malogrado discípulo de Wiechert, Dr. K. Zoeppritz, quien construyó sus curvas con datos sobre tres terremotos (mucho mejor estudiados que los que utilizara Omori, si bien no del todo irreprochables, bajo este aspecto peculiar), el de Kangra (India inglesa) del 4 de Abril de 1905, el de Calabria del 8 de Septiembre del mismo año y el de San Francisco de California del 18 de Abril de 1906, de los que existen gran número de gráficos correspondientes a distancias muy variables de los epicentros respectivos, muchos de ellos obtenidos con sismógrafos bastante poderosos y medianamente amortiguados (Wiechert de 1.000 a 1.200 kgs. con unos 12 seg. de período medio y aumentos de 100 a 200 veces), mientras que seis años antes Omori hubo de contentarse principalmente con los gráficos de sus péndulos horizontales de 10 veces de aumento, de sismógrafos Agamenzone y Cancani y péndulos horizontales Grablovitz de aumento análogo, aunque muy inferiores a sus instrumentos, y de dos Vicentini, pasables estos últimos para *P*, pero no para *S*, a causa de su corto período, no compensado por su aumento inicial de 100 veces, esto es, con un

material menos que mediano. El de Zoeppritz, incomparablemente mejor, resultaría hoy bastante endeble, por haber mejorado mucho la exactitud en los datos horarios y por tratarse de terremotos cuyos epicentros nada tienen de puntiforme, sobre todo en el de San Francisco, del que tanto nos hemos ocupado en la primera parte de este trabajo, siendo muy difícil de precisar la hora inicial o del terremoto para cada una de las estaciones sismológicas.

Las tablas de Zoeppritz (1), llamadas también de *Göttinga*, continuadas por el Dr. L. Geiger (2) e interpoladas por el profesor Dr. C. Zeiszig (3) se utilizan actualmente como internacionales, sobre todo para el cálculo de la distancia epicentral. El Dr. S. Szirtes las ha reproducido con algunas modificaciones en la forma, añadiéndoles tablas con las posiciones geográficas y los logaritmos de los senos y cosenos de φ , λ , x , y , z de cada una de las estaciones sismológicas existentes en 1912 (4). Más recientemente, el Dr. O. Klotz (5) ha añadido a sus tablas estereográficas las Zoeppritz-Geiger-Zeiszig, en unión de otras del profesor Mohorovicic que antes andaban litografiadas, resultando hoy las tablas Klotz indispensables con las Szirtes para los sismólogos de oficio.

Aunque volvamos sobre el asunto más adelante, indi-

(1) *Ueber Erdbebenwellen*, II, 115-135.

(2) *Ueber Erdbebenwellen*, III, 1-30.

(3) *Differenzen der Laufzeiten für die beiden Vorläufwellen eines Erdbebens* (hoja 47 \times 21 cms., publicada por la Academia Imperial de Ciencias de San Petersburgo [hoy Petrogrado] en 1911).

(4) *Geograph. Koordin. d. seism. Station.... B. z. G. XI (2-4)*, 177-189

(5) *Seismological Tables, Pub. of the Dominion Observatory, Otawa*, vol. III, n. 2 (1916), p. 19-61, con 2 gráficos.

caremos aquí que poseyendo numerosos datos de dos terremotos de muy corta duración en su área pleistosista y ésta muy limitada, además de otros referentes a sismos en los que se cumplieron las condiciones antedichas, indispensables si se pretende alguna exactitud en estos cálculos, hemos calculado las siguientes ecuaciones lineales utilizables entre los límites asignados a cada una.

- (α) x kms. = $9,7(S - P)$ segundos; ($x < 2700$ kms.,
 $S - P < 275$ segundos).
(β) x kms. = $17,7(S - P)$ seg. — 2150; ($x > 2700 < 6500$,
 $S - P > 275 < 490$).
(γ) x kms. = $21,1(S - P)$ seg. — 3800; ($x > 6500 < 10500$,
 $S - P > 490 < 680$).
(δ) x kms. = $32(S - P)$ seg. — 11400; ($x > 10500$,
(1) $S - P > 680$).

De las cuatro fórmulas la primera está calculada por el procedimiento gráfico, que puede verse desarrollado en lámina XVI, utilizando datos que recogimos a raíz del terremoto de Benavente del 23 de Abril de 1909 (1); la segunda con dos sismogramas del Cartuja bifilar de 425 kilogramos de Granada de los terremotos del 6 de Mayo de 1912 del S. de Islandia (2) y del 18 de Febrero de 1911 de Sarez (Pamir); y las restantes con datos publicados en varios boletines sismológicos de los más acreditados, referentes al terremoto de Avezzano del 13 de

(1) Varios datos sismológicos relacionados con la constitución interna de la Tierra. *Rev. de la S. A. de E.*, Marzo-Abril 1916, páginas 17-22, fig. 3.

(2) Le Tremblement de Terre Ibérique... *Ciel et Terre (B. de la S. Belge d'Astr.)*, n° 2 (1910).

(3) E. H. Harboe, Das islandische Hékla-Beben... *B. z. G.*, XII (5-6).



Enero de 1915. La última fórmula fundada en dos observaciones, una de ellas, sobre todo, hecha en condiciones poco favorables, por lo enorme de la distancia (16.200 kilómetros), sufrirá probablemente modificaciones de alguna mayor importancia que las otras, bastante exactas en los muy numerosos casos en los que las llevamos ensayadas y cuyos resultados, en general, concuerdan con las cifras correspondientes de las tablas Zeiszig, fuera de algunos casos en que estas dan valores marcadamente inexactos, como lo son, por ejemplo, por cortos, los comprendidos entre 9 y 10 minutos S-P. En la fórmula γ aplicamos el procedimiento de los mínimos cuadrados en su forma primitiva de Legendre, aunque creamos innecesario el gastar tanto tiempo en cálculos cuya exactitud depende de la interpretación del gráfico, a la vez que de la distancia epicentral verdadera, y ambas exigen un conocimiento mucho mayor del terremoto *in situ* del que hoy se tiene, quedando la real aplicación de los mínimos cuadrados reducida a la eliminación de los errores, mucho menores, de ordinario, atribuibles a la marcha del cilindro receptor y a otros análogos. Nuestras fórmulas, por tanto, las presentamos sólo a título de ensayo y las calculamos con otro fin muy diverso que el tratar de mejorar lo hecho por otros, aunque sin excluirlo, ya que en el Congreso Sismológico de Manchester (Julio 1911), en presencia del célebre Wiechert, se agitó y aprobó la moción de que la Oficina Central hiciese por mejorar las famosas tablas de Gotinga.

Otro dato muy importante contenido en las tablas y sobre el que habremos de volver más tarde, es la cantidad que hay que restar a P en función de Δ para tener a O , esto es, la hora en la que debió comenzar a sentirse

el terremoto en el epicentro. Como en los sismogramas P suele ser mucho más fácilmente determinable con exactitud que S , si tenemos los datos de varias estaciones sismológicas, como en todas ellas O debe ser igual, o mejor dicho, diferenciarse muy pocos segundos, será tal vez factible averiguar cuáles merecen mas confianza y son utilizables para calcular el epicentro del sismo. Un solo sismograma de confianza nos dará la distancia epicentral de otros, de diversas estaciones, con tal que conozcamos la hora de sus P , y aun solamente, si bien con mayor error probable, de S y mas todavía si se tratase de $PR...$, etc.

En nuestros ensayos, admitiendo con el Profesor G. Agamennone las 6 horas, 52 minutos, 53 segundos (1), como hora ± 3 segundos en la que comenzó a sentirse en Roma el terrible sismo de Avezzano, y restando los 80 kilómetros que distan ambas poblaciones, las horas de P en los numerosos boletines sismológicos que hemos consultado, relacionados con las distancias a las estaciones respectivas, nos han dado las ecuaciones siguientes:

$$(\varepsilon) \quad O = P - \frac{\Delta}{5 \text{ a } 7,7} \text{ seg.}, \quad \Delta \leq 500 \text{ ktros. (*)}$$

$$(\zeta) \quad \text{»} \quad \text{»} \quad - \frac{\Delta}{7,7} \quad \text{»} \quad , \quad \text{»} \quad > 500 < 2700 \quad \text{»}$$

$$(\eta) \quad \text{»} \quad \text{»} \quad - \frac{\Delta + 2000}{14,6} \quad \text{»} \quad , \quad \text{»} \quad > 2700 < 6600 \quad \text{»}$$

$$(\theta) \quad \text{»} \quad \text{»} \quad - \frac{\Delta + 4160}{18,2} \quad \text{»} \quad , \quad \text{»} \quad > 6600 < 10500 \quad \text{»}$$

$$(\iota) \quad \text{»} \quad \text{»} \quad - \frac{\Delta + 2260}{15,8} \quad \text{»} \quad , \quad \text{»} \quad > 10500 \dots\dots\dots$$

(1) Velocità di propagazione del terremoto marsicano..., *R. d. R. Acc. d. Lincei*, XXIV, ser. 5.^a, 1 sem., 5 f., p. 430.

(*) Esta fórmula está calculada con datos que recogimos cuando el terremoto Ibérico del 23-IV-1909.

CAPITULO XV

DETERMINACIÓN DEL EPICENTRO: (A) Con datos de tres o más estaciones: Milne y Omori, Rosenthal y Klotz.—Rudolph y Szirtes.
—(B) Con datos de una sola estación: Galitzin.—DIMENSIONES DE LA FALLA: ensayos de Rosenthal.—PROFUNDIDAD DEL FOCO: método Comas Solá.

Para muchos es uno de los misterios de la Sismología el que se pueda fijar con exactitud el sitio donde se haya sentido o podido sentir un terremoto, sólo por la interpretación de los enmarañados trazos de las bandas, esto es, de los sismogramas y, sin embargo, el asunto no presenta la menor dificultad en los casos nada raros de que se tengan tres o más buenas observaciones de otras tantas estaciones sismológicas, no muy cercanas entre sí, en relación con las distancias epicentrales, pudiendo bastar los datos de una sola estación sismológica, a ser completos y de primera calidad.

Conviene aquí recordar, sin pasar más lejos, que el epicentro no es en manera alguna un punto matemático, como dijimos a su debido tiempo, sino un área más o menos extensa, caracterizada por algún accidente geotectónico importante, y, sin embargo, lo que se pretende determinar es un punto, que puede estimarse en este caso como *centro de gravedad* de la dicha área epicentral, bien por ser el *más cercano*, bien por su cualidad de *inicial*, ya en absoluto, ya también en relación con una estación o grupo de estaciones sismológicas.

Una vez conocidas las distancias de tres o más esta-

ciones sismológicas al epicentro, bastaría recordar que hallándose tanto éste como aquéllas sobre la superficie de la tierra, y midiéndose las distancias en arcos, si son exactas, las intersecciones de los arcos descritos con las dichas distancias como radios, y tomando por centro con cada una la estación sismológica correspondiente, deberán coincidir en el epicentro. Como el material que utilizara el célebre Profesor Milne fuese, con mucho, más abundante que selecto y de buena calidad, este sabio se contentaba de ordinario con localizar los epicentros dentro de grandes óvalos, mientras que Omori los precisa mucho más en los terremotos cercanos que estudia por este método, valiéndose de mapas. Para las grandes distancias hay que emplear un globo terráqueo, siquiera de 35 centímetros de diámetro y con cintas o mejor tiras de papel divididas en distancias equivalentes a 500, 1.000... 20.000 kilómetros, habida razón de las dimensiones del globo pudiera determinarse el epicentro de un sismo con una aproximación rara vez mayor de ± 200 kilómetros, por los defectos inherentes al dibujo, grabado, pegado, etcétera, que suelen presentar los globos ordinarios. El procedimiento es muy expeditivo, aunque poco exacto.

El profesor de la Universidad de Lemberg, doctor W. Láska, calcula las coordenadas del epicentro en función de las de tres distancias epicentrales y las coordenadas de las tres estaciones correspondientes, estableciendo las ecuaciones siguientes, en las que entran como incógnitas las del epicentro:

$$\cos \Delta_1 = x_1 x_0 + y_1 y_0 + z_1 z_0$$

$$\cos \Delta_2 = x_2 x_0 + y_2 y_0 + z_2 z_0$$

$$\cos \Delta_3 = x_3 x_0 + y_3 y_0 + z_3 z_0$$

en las que $x_1 = \cos \varphi_1 \cos \lambda_1$, $y = \cos \varphi_1 \operatorname{sen} \lambda_1$, $z = \operatorname{sen} \varphi_1$, y sus logaritmos se hallan en las tablas Szirtes, más arriba mencionadas, y debe cumplirse (aunque de una manera asaz defectuosa en la práctica) la relación:

$$x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 = 1. \text{ En ella: } \operatorname{sen} \varphi_0 = z_0, \operatorname{tang} \lambda_0 = \frac{y_0}{x_0}.$$

Aun utilizando la regla logaritmica, el procedimiento es muy pesado y su exactitud, con buenos datos, apenas alcanza $\pm 1^\circ$, tanto en la latitud como en la longitud del epicentro.

En el terremoto de 15 de Junio de 1911, elegidas por bases las estaciones de Tiflis, Gotinga y Cartuja (Granada), las ecuaciones fueron las siguientes:

$$0,530 x + 0,536 y + 0,665 z = 0,410; \Delta_1$$

$$0,612 x + 0,108 y + 0,783 z = 0,137; \Delta_2$$

$$0,795 x - 0,050 y + 0,604 z = -0,142; \Delta_3$$

$$\Delta_1 = 7310 \text{ kms} = 65^\circ,8 (\text{Tiflis}), \varphi = 41^\circ 43' \text{ N} - \lambda = 44^\circ 48' \text{ E Gr}$$

$$\Delta_2 = 9140 \text{ kms} = 82^\circ,2 (\text{Gotinga}), \varphi = 51^\circ 33' \text{ N} - \lambda = 9^\circ 58' \text{ E Gr}$$

$$\Delta_3 = 10930 \text{ kms} = 98^\circ,2 (\text{Cartuja}), \varphi = 37^\circ 11' \text{ N} - \lambda = 3^\circ 36' \text{ W Gr}$$

Los valores de las incógnitas resultan: $x = -0,486$, $y = 0,680$, $z = 0,460$, de donde el epicentro de este terremoto debería hallarse a los $27^\circ,4 \text{ N}$ y $125^\circ,6 \text{ E Greenwich}$, dado que:

$$0,460 = \operatorname{sen} 27^\circ,4, \frac{0,680}{-0,486} = -1,40 = \operatorname{cotang} 90^\circ + 35^\circ,6 = 125^\circ,6.$$

La latitud resulta correcta, en cambio la longitud verdadera de este terremoto, sentido en el S del Japón y en el archipiélago Riu-kiu, con epicentro probable en las cercanías de la isla grande del mismo (O-shima) cae dos

o tres grados más al E. La ecuación de comprobación resulta: $x^2 + y^2 + z^2 = 0,910$.

El procedimiento estereográfico, de rápida ejecución, y bastante exacto, si lo son los datos empleados, lo ha introducido en Sismología el Profesor Dr. Elmar Rosenthal (1) de la Universidad de Rostov, por más de que su más activo propagador sea el Dr. Otón Klotz (2), del Observatorio de Ottawa, quien, sin conocer, a lo que parece, las indicaciones del sismólogo ruso, ha publicado varios notables artículos y tablas con los dos factores necesarios, calculados de 250 en 250 kilómetros para las distancias comprendidas entre 1.000 y 13.000 kilómetros para cada una de las 83 estaciones sismológicas que figuran en las *tablas sismológicas* mencionadas en el capítulo anterior.

En el procedimiento estereográfico se utiliza la proyección polar para determinar la posición geográfica del epicentro de un terremoto, conociendo las de tres o más estaciones sismológicas y sus distancias al dicho epicentro deducidas de los sismogramas correspondientes a las mismas.

Como en este procedimiento la proyección de un

(1) Sur la détermination de l'épicentre d'un tremblement de terre lointain, *B. d. S. S. Ital.*, XIII (1908), 345.

(2) Earthquakes Epicentres. *The Journal of the R. Ast. S. of Canada*, IV, núm. 3 (Mayo-Junio 1910), págs. 173-178, fol. 2.—Agradecemos al Dr. Klotz las deferencias que muestra a la Estación Sismológica de Cartuja (Granada) por haberla elegido en unión de la suya de Ottawa y de la de Hamburgo, justamente reputadas como de las mejores, para el ejemplo práctico que trae en el citado artículo, por haberla hecho figurar en sus *tablas* desde las primeras donde sólo daba factores para 27, de ellas 12 europeas, y también por sus muy frecuentes citas en los *Earthquakes Epicentres* que anualmente publica en la tan interesante revista antes mencionada.

círculo es otro círculo, para trazarlo basta conocer su radio y la posición de su centro. La longitud de este centro no varía en esta proyección, pero sí su distancia polar y el valor del radio, los dos dependientes de la latitud $= \varphi$ de la estación sismológica y de su distancia $= \Delta$ grados al epicentro.

De no recurrir a las tablas, o si no figurase la estación, etc., podrán utilizarse las fórmulas: $d = \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi + \cos \Delta}$
 $r = \frac{\sin \Delta}{\sin \varphi + \cos \Delta}$, rápidamente calculables con la regla

logarítmica. Averiguados ya los valores de d y r para las distintas estaciones, se procede a trazar arcos de círculo, haciendo centro en el

radio máximo que corresponda a la longitud de cada estación, tomando por centro el punto que diste del polo de proyección la cantidad d , y tomando por radio la r , ambas expresadas en fracciones decimales de $R = 1$ (1.000, en las tablas Klotz). El punto, o más exacta-

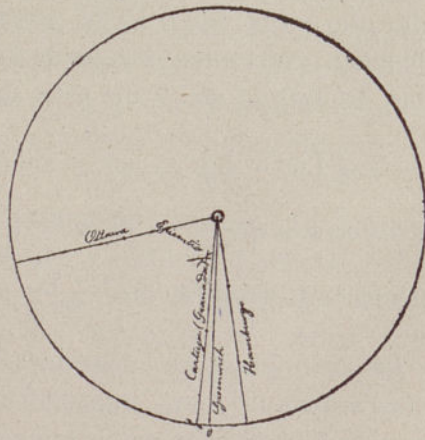


FIG. 14.

mente, el centro de gravedad del polígono resultante nos dará la posición geográfica del epicentro, en proyección estereográfica.

Para la resolución del problema sirve bien un círculo trazado sobre una hoja de papel blanco, cuya circun-

ferencia esté dividida en grados y que mida 10 centímetros de radio. Para evitar el recurso continuo a las tablas y a las reglillas milimétricas, anotamos en los radios, debidamente prolongados, de las estaciones que utilizamos con mayor frecuencia, los valores de d , y aun también los de r , en las un tanto separadas en longitud, y no en el caso contrario, por evitar confusiones. El gráfico adjunto permitirá hacerse cargo de lo que indicamos.

Determinado ya el punto epicentral, su longitud la dará directamente el radio que, partiendo del polo, pase por él y llegue a las divisiones del círculo, el que mejor que dividido de 0° a 360° , conviene lo esté de 0 a 180, a derecha e izquierda del O = meridiano inicial o de Greenwich, contándose los primeros al E y los otros al W . El radio que vaya del polo de proyección al dicho punto epicentral, convenientemente medido, nos permitirá calcular la latitud de φ de éste dada por la fórmula:

$$\rho = \text{tang} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \text{ si no se mide directamente sobre}$$

las divisiones que lleva el radio 180° , divisiones calculadas con la fórmula: $\rho = \frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi}$, utilizable para calcu-

lar las latitudes de algunos puntos importantes si quisiésemos trazar un mapa mundial del hemisferio boreal o austral en proyección polar, tomando por polo el N. o el S.

El procedimiento Rudolph-Szirtes (1) (último trabajo del profesor Dr. Emilio Rudolph, al que fuimos deudores de muchas atenciones y muy buenos consejos) emplea un *nomograma*, con el cual y con una regla, sin más cálcu-

(1) Nomographische Bestimmung des Epicentrums, *Petermanns Mitteil. Nov. 1913*.

los que algunas sumas y restas de muy pocas cifras, se determina la situación del epicentro de un terremoto en función de dos distancias y de las coordenadas de las dos estaciones correspondientes, resolviéndose rápidamente los siguientes problemas: 1.º, averiguar la distancia que separa las dos estaciones; 2.º, el azimut de la primera estación o base, con relación al polo y al arco de círculo máximo que la une con la segunda o auxiliar, o, lo que es lo mismo, el ángulo polo-base-auxiliar; 3.º, el azimut del epicentro con relación al dicho arco; 4.º, el azimut del epicentro con relación a la estación base y al polo; 5.º, latitud del epicentro, y 6.º y último, la diferencia de longitud entre la dicha base y el epicentro. A falta de nomograma o si se aspira a mayor exactitud se emplean fórmulas rápidamente calculables con la regla logarítmica, de las cuales dimos las aplicables al primer problema en el capítulo anterior e indicaremos las de los dos últimos, 5.º y 6.º, al tratar del procedimiento del Príncipe B. Galitzin.

Si llamamos $\varphi_1, \lambda_1, \varphi_2, \lambda_2$ a las coordenadas geográficas de dos estaciones sismológicas, distantes (en grados, por supuesto), Δ_1 y Δ_2 respectivamente del epicentro de un terremoto y entre sí δ , tendremos que el azimut A' del ángulo polo-base-auxiliar lo dará la fórmula:

$$\cos A' = \frac{\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos \delta}{\cos \varphi_1 \sin \delta},$$

y el (base-auxiliar-epicentro) por la:

$$\cos \alpha = \frac{\cos \Delta_2 - \cos \delta \cos \Delta_1}{\cos \varphi_1 \sin \delta}.$$

Ahora bien; el azimut A del epicentro con relación a la estación base habrá de ser uno de los tres $A = A' + \alpha$, $A' - \alpha$, $\alpha - A'$, quedando alguna duda sobre la combi-

nación de no repetirse los cálculos con otra tercera estación.

El brillante procedimiento del Príncipe Galitzin (1), vagamente entrevisto por el sabio escolapio P. Felipe Cecchi y después por Omori e Imamura, Wiechert y otros exige, de ordinario, aumentos enormes y péndulos aperiódicos, o al menos muy fuertemente amortiguados, así como el conocimiento de si la primera onda registrada fué en la componente vertical de dilatación o de compresión, esto es $+$ o $-$. Si llamamos A_N y A_E , como de costumbre, a las amplitudes absolutas de iP en las compo-

ponentes N-S y E-W y α al azimut, tendremos: $\text{tang } \alpha = \frac{A_E}{A_N}$,

y el cuadrante del dicho azimut es intermediario entre los signos de A_E y A_N , si fué $-$ el de la componente vertical, o el cuadrante opuesto si fué $+$.

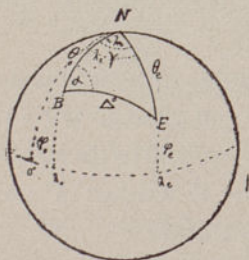


FIG. 15.

Con α , y Δ , conocida en función $S-P$ con el auxilio de las tablas, se averigua la posición del epicentro, relacionándola con la de la estación sismológica.

En el triángulo BNE , γ es igual a la diferencia de longitudes entre el punto $E =$ epicentro y el $B =$ estación sismológica, cuya colatitud conocida es: $\theta_0 = 90^\circ - \varphi_0$, la del epicentro que buscamos $\theta^e = 90^\circ - \varphi_e$ y la distancia que media entre ambos puntos Δ . Tendremos:

$\cos \theta_0 = \cos \theta_e \cos \Delta + \sin \theta_e \sin \Delta \cos \alpha$,

(1) *Ueber ein neues aper. Horizontalpendel...*, 45.

o lo que es lo mismo: $\text{sen } \varphi_e = \text{sen } \varphi_o \cos \Delta + \cos \varphi_o \text{ sen } \Delta \cos \alpha$, fórmula que nos da la latitud del epicentro.

La diferencia de longitudes, o sea el ángulo γ puede calcularse con la fórmula:

$$\text{sen } \gamma = \text{sen } \Delta \frac{\text{sen } \alpha}{\cos \varphi_e},$$

comprobable por la:

$$\cos \gamma = \frac{\cos \Delta - \text{sen } \varphi_o \text{ sen } \varphi_e}{\cos \varphi_o \cos \varphi_e}.$$

Conocida γ tendremos $\lambda_e = \lambda_o \pm \gamma$, según que α mire al E o al W.

En el caso de preferirse la tabla de logaritmos a la regla de cálculos si se recurre a la auxiliar $\text{tang } \chi = \cos \alpha \text{ tang } \Delta$, tendremos:

$$\cos \theta_e = \frac{\cos \Delta \cos (\theta_o - \chi)}{\cos \chi}, \text{ tang } \gamma = \frac{\tan \alpha \text{ sen } \chi}{\text{sen } (\theta_o - \chi)}, \text{ fórmulas,}$$

sin embargo, no siempre utilizables ($\Delta = 90^\circ$ o poco menos...), lo que también ocurre con la que da el valor de $\text{sen } \gamma$.

Como los primeros movimientos suelen tener amplitudes muy pequeñas, es muy fácil cometer errores importantes del azimut de no contar con aumentos muy considerables en péndulos en los que se hayan eliminado prácticamente los perniciosos efectos de las resonancias, esto es, que estén bien amortiguados. Con buenos gráficos, aun de péndulos con aumentos bastantes modestos y medianamente amortiguados, como los Cartuja bifilares de Granada, se pueden calcular epicentros por este método con una razonable aproximación.

Partiendo de la improbabilidad de que la producción de fallas, tan manifiesta en muchos terremotos, acaezca

en el mismo instante en toda la línea de fractura supone el profesor E. Rosenthal (1) que ésta comienza probablemente en un punto A y de allí se transmite por toda la línea con la velocidad correspondiente a las ondas elásticas, mientras que la amplitud aumenta a veces progresivamente hasta alcanzar un máximo relativo en otro punto B . En esta caso comenzaría el gráfico con eP y se presentaría el iP algún tiempo más tarde.

Esta manera de iniciarse los sismogramas es lo más corriente, lo que no excluye en manera alguna los comienzos bruscos, o sea en i , no sólo evidente, sino aun de gran amplitud, los cuales, sin invalidar la hipótesis de Rosenthal en absoluto, vedan el uso de su procedimiento.

En el violentísimo terremoto del Turkestan ruso, elegido por este sabio sismólogo como ejemplo, a pesar de haber contado entre los que han sacudido la Tierra con mayor fuerza y sin disputa el mayor registrado por nuestros sismógrafos españoles, comenzó su registro con eP , al que siguió iP unos 20 segundos más tarde (18 en los gráficos de Viena y Cartuja (Granada), 20 en Pulkovo y 24 en Ottawa).

Llamemos T_1 al momento en que se inició la fractura en el punto A y T_2 aquel en que comenzó en B y sean Δ_1 y Δ_2 las distancias de dichos puntos a la estación sísmológica y $f(\Delta)$ el tiempo tardado por las ondas sísmicas en recoger dichas distancias, tendremos: $T_2 - T_1 + f(\Delta_1) - f(\Delta_2) = iP - eP$, y si llamamos $T_2 - T_1 = z$, $iP - eP = dt$, será: $z + d \Delta f'(\Delta) = dt$. Hagamos: $d \varphi = x$, $d \lambda \cos \varphi = y$, en las cuales $d \varphi$ y $d \lambda$ expresan las di-

(1) Einige Bemerkunge über das Erdbeben vom 3-4 Januar 1911, *Phys. Zeitsch.* 12 J., 603 604.

ferencias de latitud y longitud entre A y B y llamemos α al azimut de la estación sismológica tomado desde el punto A , tendremos: $z - x \cos \alpha f'(\Delta) + y \sin \alpha f'(\Delta) = dt$, dando cada estación sismológica una ecuación semejante.

Apoyado Rosenthal en datos tomados de los boletines de las estaciones sismológicas de Pulkovo, Viena, Roca del Papa, Ottawa y Cartuja (Granada) (1) y admitiendo para el punto A : φ 43°N, λ = 77°E, de acuerdo con las isosistas trazadas por el Príncipe Galitzin valiéndose de observaciones macrosísmicas sobre el terreno, pudo asignar a la línea de fractura o falla principal AB 130 kilómetros de longitud y una dirección hacia el SW 65°, cuando el mapa del príncipe le da 160 kilómetros y SW 80° (2), aproximación notable en estos cálculos todavía en sus comienzos y de suyo un tanto aventurados.

Para calcular la profundidad hipocentral de un terremoto, el distinguido astrónomo y sismólogo catalán don José Comas Solá (1) admite que la velocidad de traslación de las ondas de la porción principal es de unos 3,4 kilómetros por segundo, mientras que en las distancias pequeñas (hasta 200 kilómetros en los terremotos de área macrosísmica reducida, y los 500 si ésta fuese grande), la velocidad de las ondas más rápidas P puede expresarse bien con la fórmula del profesor de la Universidad de Graz, H. Benndorf: $V = 0,0206 p + 5,5$, tomando siempre por unidades el kilómetro y el segundo.

Supone después que del foco o hipocentro H parten

(1) Com. en ruso pub. por la Ac. Imp. de C. Petrograd.

(2) Das Erdbeben vom 3-4 Januar 1911.

(3) Nota sobre el terremoto olotino... *Mem. de la R. A. de C. y A. de Barcelona*, vol. VIII núm. 6 (1909).

vibraciones, las que, antes de llegar al Observatorio O se propagan en ondas esféricas, siendo la línea de choque de los primeros movimientos precursoros la recta HO .

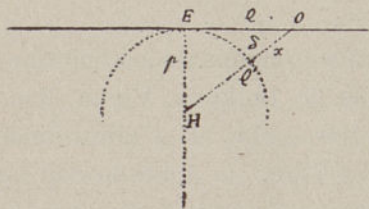


FIG. 16.

Pero el primer punto superficial que alcancen será E (el epicentro) que está a la distancia mínima de H y sucesivamente los demás entre E y O , dando lugar con su llegada a cada uno de los dichos puntos a la

formación sucesivamente de las ondas de la 3.^a fase (L). Así que los primeros movimientos hayan alcanzado al punto O , inmediatamente, y siempre bajo el punto de vista teórico, deberán aparecer las ondas de la 3.^a fase, procedentes de un punto indefinidamente próximo a O , manifestaciones, sin embargo, casi insensibles por su poca intensidad y por la poquísima longitud de las ondas, no apareciendo en realidad la 3.^a fase en todo su desarrollo hasta que hayan llegado al punto O las ondas superficiales procedentes del epicentro (*).

Admitidas esas premisas sea $\delta = EO$, V la velocidad de los primeros movimientos preliminares y v la de los de la 3.^a fase; además $HE = p = HQ' = EQ'$; $x = Q'O$. t_1 , t_3 los momentos o tiempos de llegada de los primeros movimientos preliminares y los de la tercera fase (P y L , según la nomenclatura de Gottinga, hoy internacional).

(*) Todo esto y lo que sigue, de no indicarse lo contrario, está tomado del Sr. Comas Solá, sin que esto implique el que participemos o no de sus opiniones, muy atendibles, pero quizá un tanto aventuradas.

En la hipótesis de que las velocidades fuesen constantes, las ecuaciones finales serán:

$$x = \frac{V}{3,4} [\delta - (t_s - t_1) 3,4], \quad p = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta}{x} - x \right),$$

a la que habrá que añadir: $V = 0,0206$, $p + 5,5$, dado que esa constancia no se admite para V .

Como el cálculo directo de p sería muy laborioso, el Sr. Comas Solá emplea un procedimiento que llama por *saltos*. Empieza por dar a p un valor hipotético p' en *armonía* con los caracteres del terremoto y con él se calculan V y x y también p . Si p y p' son sensiblemente discrepantes, como de ordinario, se calcula un nuevo V con $p'' = \frac{p + p'}{2}$; el cual se sustituye, y así sucesivamente.

Por este procedimiento, con un gráfico del Cancani, que entonces funcionaba en el Observatorio Fabra (Barcelona) [$\delta = 900$ kilómetros; $t_s - t_1 = 137$ segundos], y uno de los Cartuja de Granada [$\delta = 500$; $t_s - t_1 = 78$ segundos], del terremoto Ibérico del 23 de Abril de 1909, calculó una profundidad epicentral de 55 y de 51 kilómetros.

Para Cartuja el desarrollo del cálculo sería:

$$V = 0,0206 \times 51 + 5,5 = 6,55; \quad x = \frac{6,55}{3,4} (500 - 78 \times 3,4) = 452; \quad p = \frac{1}{2} \left(\frac{2500}{452} - 452 \right) = 50,$$

cifra de comprobación que difiere bien poco de la supuesta de 51.

Por nuestra parte, hemos utilizado este procedimiento con varios gráficos del Cartuja bifilar de 425 kilogramos, y a continuación damos los datos y las cifras obtenidas. Los números de orden se refieren a los del *Boletín Mensual* correspondiente.

Terremotos de la Huerta de Murcia del 21/III y 3/IV, 1911 (núms. 51 y 56); $d = 230$ y 225 kilómetros, $dt = 30$ y 29 segundos, $p = 12$ y 14 kilómetros (VIII — VIII F. M., área pleitosista muy reducida).

Terremoto exclusivamente local, IV F. M., del 8/VII-1911 (núm. 163), $d = 7$ kilómetros, $dt = 1$ segundo, $p = 1$ kilómetro.

Terremotos de Santafé, sentidos en Granada: 1.º, el casi destructor del 31/V/11 (núm. 110), $d = 15$ kilómetros, $dt = 2$ segundos, $p = 2$ kilómetros; 2.º, el del 5/XII/10, VI en Santafé (núm. 273), $d = 20$ kilómetros, $dt = 3$ segundos, $p = 4$ kilómetros.

Fuera de estas últimas cifras, las de 12 y 14 kilómetros en terremotos de áreas relativamente tan reducidas como los murcianos, y más aún las de 55 y 51 kilómetros, aun tratándose de una de enorme área de sacudimiento, para Europa, como lo fué el Ibérico, nos parecen positivamente exageradas y supondrían un trabajo incomparablemente mayor que el probable, bien se le calcule por procedimientos ya indicados en el capítulo VII, y recurriendo tan sólo a datos macrosísmicos, bien se utilicen las fórmulas del Príncipe B. Galitzin, en unión de datos tomados en los sismogramas, de lo que nos ocuparemos en el capítulo que sigue.

CAPITULO XVI

Procedimiento del príncipe B. Galitzin para calcular el trabajo producido por un terremoto.—El coeficiente de absorción en los telesismos.

Un terremoto producido evidentemente por una avalancha y convenientemente registrado, ha inaugurado, gracias a la maestría del eminente sismólogo ruso Príncipe B. Galitzin, una nueva vía a la Sismología, permitiendo con los sismogramas de una sola estación sismológica, no sólo determinar la posición del epicentro, sino también el trabajo realizado por el sismo, como ya auguraba en el Congreso de Mánchester el Profesor Reid.

El 18 de Febrero de 1911, una inmensa cima se desajaba de la montaña de Sarez, situada en las altas mesetas del Pamir, resbalando por su flanco y precipitándose hasta el fondo del valle por donde corría el río Murgab interrumpía su curso, haciéndole terminar en un extenso lago. Mientras esto acaecía, al estremecimiento producido por semejante derrumbio, aquí causa evidente del terremoto, el distrito de Oroshor se llenaba de ruinas, entre las cuales perecían 180 personas y todas las estaciones sismológicas del mundo, dotadas siquiera de un mediano instrumental pasablemente cuidado, registraban notables gráficos, aunque no extraordinarios, y que por cierto han tardado bastante tiempo en identificarse, identificación verificada, gracias al teniente coronel Spilko que recorrió la región dos años más tarde.

Las coordenadas del monte desprendido son:

$\varphi = 38^{\circ} 16' N$ — $\lambda = 72^{\circ} 34' E$. Gr., según Spilko, quien no se contentó con hacer *in situ* una concienzuda información de los hechos, sino que añadió numerosas mediciones y un plano detallado de la región.

Mr. Weber, de la Comisión Geológica rusa, ha determinado con tan valiosos datos dos límites extremos de la masa derrumbada (M) y de su descenso medio (D), dado que ha sido imposible fijarlos con exactitud. M oscila entre 7 y 10×10^{12} kilogramos, y D entre 3 y 6×10^3 metros. El trabajo resulta comprendido entre los $2,1$ y los $6,0 \times 10^{15}$ kilográmetros y será en *ergs*: $E > 2,1 < 6,0 \times 10^{23} = Mg\Delta$, (α).

Tomando como base para sus cálculos sus sismogramas obtenidos en Pulkovo a 3.800 kilómetros de distancia, el Príncipe Galitzin ha aprovechado esta ocasión para avalorar sus fórmulas (*) obteniendo una aproximación de las más satisfactorias.

El trabajo producido por el terremoto a distancia al estremecer la tierra, lo registran los sismógrafos, principalmente bajo la forma de ondas lentas, superficiales o de Lord Rayleigh, esto es, de las que constituyen la porción principal de los sismogramas, y si lo totalizamos a una distancia determinada Δ , siendo k el coeficiente de absorción o apagamiento de las dichas ondas, tendremos:

$$\text{mos: } E_1 = \frac{E}{2\pi \Delta^2} e^{-k\Delta} \quad (\beta)$$

(*) Tomaremos por base el artículo que publicamos en el núm. 45 (Nbre.-Dbre. 1915) de la *R. de la S. Astr. de E. y A.*, inspirado en otro del Dr. Klotz y de la traducción de la memoria original del Príncipe al que sirve aquél de comentario (*The Earthquake of February, 18, 1911, The Journal of R. Astr. S. of Canada, Nov. 1915*).

Si llamamos E a la cantidad de energía que estremezca el suelo de la estación sismológica durante la unidad de tiempo, V a la velocidad de traslación de las ondas lentas, v_m^2 a la media de la suma de los cuadrados de la velocidad adquirida por una partícula del suelo durante una oscilación completa (en función de la amplitud y período de la misma, y ρ a la densidad media de la corteza superficial de la Tierra, tendremos:

$$E = \frac{1}{2} V \rho v_m^2 (\gamma). \text{ Sea } A \text{ la amplitud de la desviación}$$

y T el período de la onda sísmica que la produjo; en este caso será: $v_m^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi A}{T} \right)_{(\delta)}^2$, siendo A y T variables, por más que puedan retenerse como constantes durante un cierto intervalo t , por permanecer durante el mismo T sin variaciones notables, y no ser muy difícil el determinar con bastante aproximación el valor medio correspondiente de A .

De las ecuaciones γ y δ se deduce:

$$E_t = \pi^2 V \rho \Sigma \left(\frac{A}{T} \right)_{(\epsilon)}^2 t$$

La sumación Σ debe extenderse a la totalidad de la porción principal, y comprender los movimientos de las tres componentes, para deducir los reales del suelo. Si designamos las amplitudes de las tres componentes: x_N ,

x_E , x_Z , tendremos que: $A = \sqrt{x_N^2 + x_E^2 + x_Z^2}$, fórmula

en la que: $x_N^2 = x_E^2 = 1,44 x_Z^2$, esto último según los gráficos de Pulkwo, y en la que hay que tomar dos veces el valor x_Z^2 para tener en cuenta los movimientos de arriba abajo en unión de los de abajo arriba (ondas de

compresión y de dilatación), con lo que resultará: $A^2 = 4,88 x_N^2$. Combinando las ecuaciones β y ε tendremos que la energía total desarrollada en el epicentro, en función del trabajo registrado por el sismograma, será:

$$E = 9,76 \pi^3 \Delta^2 e^{k\Delta} V \rho \Sigma \left(\frac{x_N}{T} \right)^2 t(\zeta).$$

La lectura atenta del sismograma obtenido en Cartuja (Granada), con un péndulo suficientemente amortiguado para el caso y de constantes conocidas (*), del terremoto de Sarez, después de las correcciones oportunas, nos dió en medidas absolutas:

x c	T s	s
$1,16 \times 10^{-2}$	24	300
$1,12 \times 10^{-2}$	15	120
$6,1 \times 10^{-3}$	14	600
$2,3 \times 10^{-3}$	12	900
$1,2 \times 10^{-3}$	12	600
$6,0 \times 10^{-4}$	12	900

De donde:

$$\Sigma \left(\frac{x_N}{T} \right)^2 t = 2,93 \times 10^{-4} CGS.$$

La distancia que media entre Granada y el punto determinado por el teniente coronel Špilko es de 6.490 kilómetros, y si admitimos para V y ρ las cifras 3,5 kilómetros por segundo y 2,8 y para k la misma cifra que el Principe para Pulkovo, esto es, $k = 4 \times 10^{-4}$ podemos resolver el problema. Ahora bien, como el producto $9,76 \pi^3 V \rho$ no varía, y para reducir a la vez, todas las medidas dadas en kilómetros a centímetros, adoptaremos el factor $2,95 \times 10^{18}$, equivalente al anterior y será:

$$E = 2,95 \times 10^{18} \times 4,2 \times 10^7 \times 2,93 \times 10^{-4} \times 1,32 \times 10 = 4,8 \times 10^{25} \text{ ergs, cifra idéntica para el caso a la calculada en Pulkovo por el Principe Galitzin.}$$

(*) Cartuja bifilar componente $E 20^\circ N$, $M = 425$ kgs., $A = 85$ veces, $\varepsilon: 1 = 3,4$.

El valor de k , bueno para 3.800 kilómetros es excesivo para cerca de 6.500, y habiendo observado en algunos terremotos que su decrecimiento con la distancia puede expresarse con bastante exactitud en función del logaritmo de la misma (en el de Avezzano para $\Delta > 28 < 500$ kilómetros resulta buena $k = 0,0682 - 0,00905 l \Delta$), hemos calculado la fórmula provisional: $k = 0,00103 - 0,000076 l \Delta = 0,00103 - 0,000176 \log \Delta$, utilizable para distancias superiores a 3.000 kilómetros. Utilizando esta fórmula, el trabajo del terremoto de Sa-rez resulta ser de $4,1 \times 10^{23}$ ergs.

Adjunto damos un cuadro con el cálculo del trabajo de varios terremotos notables, comparando en algunos los resultados que nos dan el brillante procedimiento del Principe Galitzin con los de nuestros modestos ensayos.

Trabajo desarrollado por varios terremotos, calculado (con gráficos obtenidos en Granada), siguiendo el procedimiento del Príncipe B. Galitzin, comparado en algunos con el deducido con las fórmulas Cartuja.

REGIÓN	FECHA	DISTANCIA $\Delta \times 10^5$ Cms.	$\Sigma \left(\frac{A}{T} \right)^2 t$ C. G. S.	k $\times 10^{-4}$	TRABAJO EN ERGS	
					PROCEDIMIENTO GALITZIN	PROCEDIMIENTO CARTUJA
Linera (Sicilia)	8-V-14	1630	$1,20 \times 10^{-7}$	20,0	$2,4 \times 10^{19}$	—
Acambay (México)	19-X-12	9300	$2,7 \times 10^{-6}$	3,3	$1,4 \times 10^{12}$	$> 1 < 6 \times 10^{22}$
Sakura (S. Japón)	12-I-14	11000	$5,22 \times 10^{-6}$	3,1	$5,5 \times 10^{22}$	—
Benavente (Portugal)	23-IV-09	490	$7,90 \times 10^{-3}$	73,0	$2,0 \times 10^{23}$	$3,0 \times 10^{23}$
Avezzano (Marsica)	13-I-15	1540	$5,47 \times 10^{-3}$	22,0	$1,2 \times 10^{14}$	$1,1 \times 10^{14}$
Caraveli (Perú)	6-VIII-13	9370	$3,74 \times 10^{-4}$	3,3	$2,1 \times 10^{14}$	$3,7 \times 10^{14}$ (1) $2,2 \times 10^{14}$ (2)
El Salvador (C. A.)	7-IX-15	8630	$4,34 \times 10^{-3}$	3,4	$1,7 \times 10^{25}$	—
Nase (S. Japón)	15-VI-11	10900	$1,81 \times 10^{-3}$	3,1	$1,9 \times 10^{25}$	—
Issik-kul (Turk-ruso)	3-I-11	6700	$3,18 \times 10^{-2}$	3,6	$4,5 \times 10^{25}$	—

(1) $H = 5$ kms.

(2) $H = 3$ kms.

CAPÍTULO XVII

ESTUDIO DE LAS ONDAS SÍSMICAS.—Algunas nociones sobre la elasticidad.—Trabajos de Nagaoka, Kusakabe, Adams y Cooker y Oddone.—Velocidad de traslación de las ondas sísmicas.

Como preliminar al estudio de las ondas sísmicas y sólo exclusivamente para los que desconozcan o hayan olvidado casi del todo la teoría de la elasticidad, vamos a permitirnos el exponer brevemente algunas nociones indispensables sobre punto tan interesante, a la vez que tan íntimamente ligado con la materia de que tratamos en este capítulo.

Figurémonos una barra cilíndrica de hierro, sujeta convenientemente por uno de sus extremos, y apliquemos al otro una fuerza capaz de estirarla. Cuando no se traspasa el límite de la elasticidad, esto es, si la barra vuelve a cobrar su longitud primitiva al cesar la tracción, por no haber sido ésta excesiva, tendremos que:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S},$$
 fórmula en la cual ΔL expresa el alargamiento o aumento de longitud relativo de una barra

cuya longitud es L y su sección S , su módulo de elasticidad E y se halla sometida a una fuerza de tracción F .

De donde: $E = \frac{FL}{\Delta LS}$.

Si se adopta (como de ordinario en los experimentos verificados fuera de Inglaterra y alguno que otro país aferrado a sus medidas antiguas), el kilogramo como uni-

dad de *tracción*, el metro de *longitud*, y el milímetro cuadrado de *sección*, y se quiere pasar al sistema aún más racional, denominado por sus unidades *centímetro-gramo-segundo* (C. G. S), habrá que multiplicar el valor E por $0,98 \times 10^8$, factores el primero ligeramente variable, sobre todo según la latitud del lugar, e igual a un milígramo dividido por una dina, y el segundo procedente de ser el milígramo la millonésima parte del kilogramo y el centímetro la centésima del metro.

Este E , o módulo de elasticidad, se llama generalmente módulo de Young, aunque más propiamente le corresponde el título de primer módulo de Young y por símbolo E' .

Al alargarse la barra sometida a la tracción ha tenido que estrecharse (*): a la relación entre esta contracción lateral y el alargamiento longitudinal o *estirado* se llama coeficiente de Poisson, y se le designa con la letra griega σ .

Si teniendo sujeta nuestra barra por uno de sus extremos y en posición horizontal, suspendemos del otro una pesa P , la barra se doblará más o menos, y cada punto de la sección S (a la cual y a una distancia L del extremo fijo habíamos aplicado la pesa P), descenderá una cantidad n . El módulo de rigidez o de deslizamiento, segundo módulo de Young, E_2 , G , (μ en la notación de Lamé, 1828), estará expresado por la fórmula: $E_2 = \frac{PL}{S_n}$, y su relación con el módulo de elasticidad con las:

(*) Ambos fenómenos, así como el recobrar el cuerpo su longitud primitiva, se observan facilísimamente con una brizna de caucho de un tirante, por ejemplo.

$$E_1 = 2(1 + \sigma) E_x, \quad E_2 = \frac{E_1}{2(1 + \sigma)},$$
 fórmulas que también

permiten calcular el valor de σ en función de los de E_1 y E_2 , aunque no falten medios para obtenerlo experimentalmente en los casos más corrientes.

Si continuamos los experimentos con nuestra barra y tratamos de *retorcerla*, podremos determinar directamente su coeficiente de torsión o de Coulomb. Sea D el diámetro de la dicha barra, sujeta fuertemente por uno de sus extremos, mientras que al otro aplicamos convenientemente una fuerza cuyo momento sea Γ . La sección de la barra que diste L del extremo fijo habrá girado un ángulo α_0 , cuyo valor, si no se ha excedido los límites de la elasticidad, será: $\alpha_0 = \frac{\Gamma L}{D^4 \gamma}$, fórmula en la cual: $\gamma = \frac{D^4}{\Gamma L \alpha_0}$

es el coeficiente de Coulomb, deducible también del módulo de rigidez, de acuerdo con la fórmula:

$$\gamma = \frac{\pi E_2}{32} = 0,098 E_2.$$

Un cuarto experimento en el que sometamos nuestra barra al choque de otro cuerpo duro, previamente ensayado, o a una presión conocida, nos permitirá averiguar el valor de λ , esto es, de una de las constantes de Lamé, ya que la otra es μ , o sea el módulo de rigidez, G , E_2 o 2º módulo de Young, de quien nos hemos ocupado ya.

El valor del módulo de compresión, o sea de la resistencia opuesta por el cuerpo a disminuir de volumen al ser comprimido es de $\lambda + \frac{2}{3} \mu$ (notación de Lamé) (*) o

(*) En la notación de Lord Kelvin, $\lambda = k$, $\mu = \frac{2}{3} n$. ($k =$ incompresibilidad; $n =$ rigidez).

en la ordinaria $\lambda + \frac{2}{3} E_2$. Lo mismo que μ, λ también es calculable en función de E_1 y de σ , con el auxilio de las fórmulas: $\lambda = \frac{\sigma}{(1 + \sigma)1 - 2\sigma} E_1, \mu = \frac{1}{2(1 + \sigma)} \cdot E_1$. Si aceptamos el valor de $\frac{1}{4}$ para σ que es el dado por Poisson, tendremos que: $\lambda = \mu$, y como valor del módulo de compresión $\frac{5}{3} \mu$, o lo que es lo mismo, $\frac{5}{3} E_2$.

Consideremos ahora el movimiento de una partícula de un cuerpo homogéneo e isótropo (*) u, v, w con relación a un sistema de ejes rectangulares $x y z$ y supuesto paralelo a los mismos y llamamos ρ a la densidad de dicho cuerpo y θ al cambio de volumen que experimente, y tendremos la ecuación diferencial fundamental:

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \mu \Delta u \\ \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} &= (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial y} + \mu \Delta v \\ \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \mu \Delta w, \text{ en la cual:} \\ \theta &= \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}, \end{aligned}$$

y λ y μ las dos constantes de Lamé.

De la ecuación fundamental se deduce que en los medios isótropos el movimiento se transmite por dos clases de ondas, íntimamente relacionadas entre sí, a saber: ondas de compresión o longitudinales, y de torsión o transversales. Las velocidades de traslación para unas y otras son:

$$V_1 = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}; V_2 = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}, \text{ de donde para } \sigma = \frac{1}{4}, \text{ o lo}$$

(*) ἴσος = igual, τρόπος = modo, constitución.

que es lo mismo, $\lambda = \mu, \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{3} = 1,732$ y para $\sigma = \frac{1}{3}, \frac{V_1}{V_2} = 2$. Prescindiendo del valor de σ la fórmula general sería:

$\frac{V_1}{V_2} \sqrt{2 \frac{1-\sigma}{1+2\sigma}}$, y conocida la relación $\frac{V_1}{V_2}$, el

valor de σ es: $\sigma = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - 1}$. Además, estas ondas, en

consonancia con el principio de Fermat tienen tendencia a transmitirse por el camino que pueda propagarlas más rápidamente, esto es, sea *braquistocrono* (*).

Además de estas ondas se presentan otras muy importantes, y son las superficiales o de Lord Rayleigh, cuya velocidad de traslación es, según el Principe Galit-

zin, $V_3 = 0,9194 \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = 0,92 V_2$, aproximadamente.

El período vibratorio de un cuerpo sólido se halla en función de su longitud, sección y módulo de rigidez. En la barra cilíndrica de hierro que nos ha venido sirviendo de ejemplo, el período sería:

$T = \frac{2 L^2}{k b m^2}$, fórmula en la cual $k = \frac{a}{\sqrt{3}}$, en nuestro caso: $\frac{1}{4} \frac{\pi r}{\sqrt{3}} = 0,453 r, b = \sqrt{\frac{E_2}{\rho}}, m = 1,875$ para el sonido mas grave (**).

(**) βραχίστος = más breve, χρόνος = tiempo.

(*) Si suponemos $E_2 = 7,5 \times 10^{11}$ (C. G. S.), $\rho = 8, r = 1$, para $L = 10 - T = 0,0011$ segundo (910 vibraciones por segundo, este acero con $L = 18,9$ cms. daría el *do* fundamental = 256 vibraciones por segundo, $T = 0,0039$ segundo); $L = 100 - T = 0,11$; $L = 1000 - T = 11$ segundos.

En los cuerpos sólidos de extraordinaria extensión, y, por tanto, prácticamente indefinidos como la Tierra, el período de vibración dependería, según Wiechert (1), de la velocidad de traslación de las ondas producidas, a la vez que de la profundidad del foco de donde procedieron, o sea: $T'' = \frac{2P}{V}$, o más bien de la porción más profunda del suelo puesta en vibración suficientemente intensa, a la manera que el período de la ola depende de la velocidad con que el agua transmite las vibraciones sonoras o mecánicas y de la profundidad máxima del fondo del lago, mar, etc., de acuerdo con la fórmula:

$$T = \frac{4P}{1400}.$$

Las ondas de compresión responden a la tendencia que tienen los cuerpos de conservar su volumen, y las de torsión (o mejor de distorsión, lo mismo que las anteriores, también lo son de dilatación) a la que tienen los sólidos de conservar su forma, y tanto la incompresibilidad como la rigidez pueden deducirse experimentalmente por procedimientos sencillos, a la vez que exactos, siempre que se trate de objetos apropiados, como la barra metálica que nos sirvió ha poco de ejemplo.

El profesor de la Universidad de Tokio, H. Nagaoka, empleó el procedimiento ordinario, y que pudiéramos llamar *estático*, para la determinación de los módulos de elasticidad y rigidez de 83 rocas de variada composición y edad geológica, *con el objeto de obtener datos utilizables por los sismólogos para resolver el problema de la propaga-*

(1) *Ueber Erdbebenwellen*, I, 54.

ción de las ondas sísmicas..., como dice en el proemio de su notable memoria (1).

El trozo de la roca que iba a estudiar, previamente tallado en prisma rectangular de 15 centímetros de altura, y de base cuadrada de 1 cm. de lado, se colocaba a lo largo y horizontalmente sobre dos cuchillas de acero a conveniente distancia una de otra mientras se cargaba con pesas el centro del prisma para doblarlo un poco, esto es, para flexionarlo. Un espejo situado en uno de los extremos del prisma reflejaba una escala distante 2,73 metros y observable con un anteojito provisto de su micrómetro ocular y en condiciones de medir flexiones con la aproximación de 1". Llamando δ al ángulo de flexión, a a la distancia que media entre las dos cuchillas o punto de apoyo, b a la longitud, c a su espesor y P al peso aplicado, el módulo de elasticidad será:

$$E_1 = \frac{3Pa^2}{4bc^3\delta}$$

Para determinar el de rigidez empleó prismas iguales a los citados, sólidamente sujetos por ambos extremos por medio de fuertes mordazas de acero; la una fija al soporte, y la otra sujeta a una polea, de la cual se suspendían pesos para *retorcer* el prisma. Este llevaba dos espejos planos muy pequeños, uno de ellos colocado en el extremo más cercano de la polea, para poder determinar el ángulo de torsión mediante una escala apropiada y un pequeño antejo, y el otro, colocado en el extremo sujeto a la mordaza fija, daba un buen punto de referen-

(1) Elastic Constants of Rocks and the Velocity of Seismic Waves, *P. E. I. C.*, N° 4 (1900, 48-67, fig. 1.

cia. Como las torsiones producidas eran bastante considerables, el micrómetro ocular resultaba innecesario.

Todas las rocas ensayadas dieron muestras de ser cuerpos anisótropos, variando notablemente en un mismo ejemplar el módulo de Young, según como se le hubiese seccionado. En cuanto a la rigidez de torsión, ésta disminuía rápidamente con la prolongación del experimento; así, p. ej., en uno en 19 minutos aumentó en un 30 por 100 el ángulo de torsión.

Nagaoka obtuvo con la fórmula aproximada; $V_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, una velocidad máxima de 7,05 kilómetros por segundo para una clorita arcaica y como mínima 1,19 kilómetros en una toba riolítica cenozoica; V_2 , calculada con la fórmula que antes dimos, o sea: $V_2 = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$, le dió

cifras comprendidas entre 3,42 kms. por segundo en una caliza paleozoica y 0,78 km. en una arenisca cuarzosa diluvial. Dedujo como conclusión de carácter general que la rigidez de las rocas suele ser tanto mayor cuanto más antiguas son; así la clorita citada, cuya densidad es 2,955, tienen por módulo de Young $= E = 147,6 \times 10^{10}$ (C. G. S.), mientras que en la arenisca el valor de E se reduce a $4,02 \times 10^{10}$.

Con ser muy notables estos trabajos no dejan de tener sus puntos discutibles, pues por una parte se utilizan métodos y fórmulas aplicables a cuerpos isótropos, a otros que no lo son en las condiciones requeridas por el experimento, y, por otra parte, las rocas, al servir de medio transmisor de las ondas sísmicas, se hallan en masas muy extensas, sometidas a considerables presiones, y aun tal vez tensiones violentas, todo lo que parece

contribuirá más bien a exagerar su elasticidad y aun quizá a borrar en parte la anisotropía hallada por este sabio sismólogo japonés.

La simple inspección de las columnas Vl (V_1) y Vt (V_2) de sus cuadros indica claramente la diversidad de valores del cociente $\frac{V_1}{V_2}$, alguna vez menos probable, como en el núm. 11 *b*, donde con $Vl = 4,54$ kilómetros por segundo y $Vt = 3,45$, sería $\frac{V_1}{V_2} = 1,32$ y $\sigma = -0,176$; esto es, que el mármol en cuestión se contraía lateralmente al sufrir una compresión en sentido longitudinal. En cambio, con la clorita núm. 50, para no citar más que estos dos ejemplos elegidos a la primera ojeada, el coeficiente de Poisson resulta de 0,355, cifra más admisible que la otra, que no lo es, pero probablemente alta.

El Dr. S. Kusakabe ha continuado igualmente en Tokio estos estudios, midiendo el módulo de elasticidad de 158 ejemplares de rocas diversas por un procedimiento ciertamente ingenioso y basado en un experimento de Melde; esto es, en la insignificante influencia que ejerce un cuerpo de pequeñas dimensiones adherido a un diapasón de suficiente tamaño sobre el tono de las vibraciones de éste (1).

Un trozo prismático de la roca que se quería ensayar, sólidamente sujeto por un extremo a una mordaza muy pesada (30 kilogramos) y estirado por medio de un alambre de latón de 0,2 milímetros de diámetro, tenso con una

(1) A Kinetic Measurement of the Modulus of Elasticity, *P. E. I. C.*, N.º 22, *Ser. B. Art. 3* (1905), 27-49, lám. II.

pesita de 100 gramos y un electro-imán para golpear al prisma, constituían la parte integrante de su aparato, con el cual deducía el módulo de Young del trozo de roca en función de la longitud del alambre con la cual eran las vibraciones más amplias, gracias a la sintonización, después de las correcciones necesarias al aditamento del dicho alambre.

De sus experimentos obtuvo para E y V_1 cifras análogas a las de Nagaoka, sin embargo de que su máximo para V_1 no pase de 6,12 kilómetros por segundo para la misma roca que daba 7,05 a este profesor, y su mínimo no baje de 1,43. Dedujo igualmente que las rocas más antiguas tienen mayor módulo de Young que las modernas, hecho confirmado después por otros; esto es, que las rocas son tanto menos elásticas cuanto más recientes; así, p. ej., obtuvo como término medio para las calizas y granitos paleozoicos $E = 78,0 \times 10^{10}$ y $36,0 \times 10^{10}$, respectivamente, mientras que las mismas rocas cenozoicas le daban por media $E = 64,7 \times 10^{10}$ y $34,1 \times 10^{10}$. Sin embargo, esos valores son muy variables para una misma clase de roca, así dos granitos japoneses le dieron $59,3 \times 10^{10}$ y $12,5 \times 10^{10}$, diferencia ciertamente enorme.

También pudo descubrir un hecho de gran importancia, esto es, la considerable pérdida de elasticidad que sufren las rocas porosas al humedecerse en función del agua absorbida. Una arenizca mesozoica que tenía por módulo de Young, $10,15 \times 10^{10}$ cuando seca, sólo alcanzaba la cifra de $3,173 \times 10^{10}$, esto es, menos de un tercio, estando bien mojada.

Los profesores F. D. Adams y E. G. Coker, de la Universidad Mac Gill de Monreal, casi al mismo tiempo que

Kusakabe, estudiaron la elasticidad de mármoles, granitos y otras rocas, aunque con muy diferente instrumental. Un delicado aparato, ideado por el profesor Ewing, servía para determinar el módulo de Young, y otro original de Coker, daba directamente el coeficiente de Poisson. El valor de este último resultó comprendido entre 0,198 y 0,290 (1) con media de 0,244. En cuanto al módulo de Young es este entre 2,4 y 2,6 veces mayor que la rigidez del ejemplar ensayado, y de 1,2 y 1,8 veces su incompresibilidad.

Estos últimos experimentos parecen merecer gran confianza, tanto por el procedimiento elegido y cuidado con que se han realizado, como por los resultados obtenidos, de acuerdo con la teoría y con los ensayos incomparablemente más fáciles repetidos un sinnúmero de veces con los metales, y en especial con bronces, hierros y aceros.

Los valores máximos obtenidos para V_1 y V_2 fueron 6,4 y 3,8 kilómetros por segundo, respectivamente, lo que da una relación, en el ejemplar en cuestión de $\frac{V_1}{V_2} = 1,68$. Lo mismo que los físicos japoneses también pudieron ellos observar que las rocas más antiguas eran siempre las más elásticas entre las de su clase.

Más recientemente aún, el profesor Emilio Oddone ha

(1) Prof. C. G. Knott, *The Physics of Earthquake Phenomena* p. 165. Tanto en esta página como en otras, expone con notable claridad estos trabajos y los antes citados, los que discute de distinto modo que lo hacemos, sacando, empero, las mismas conclusiones. Como teníamos a mano las memorias originales de los sabios japoneses, hemos preferido hacer lo de siempre: presentar a nuestros lectores un trabajo original, fruto de nuestro estudio y expresión de nuestra opinión personal.

ensayado otro procedimiento para determinar el módulo de Young, y que le oímos exponer en la Asamblea Sis-mológica de Mánchester, donde presentó su instrumento. Este consiste en una especie de *escleroscopio* (*), esto es, en un tubo cilíndrico de cristal con ambos extremos abiertos y provisto en el superior de un diafragma que se puede abrir por medio de un disparador, y sobre el cual

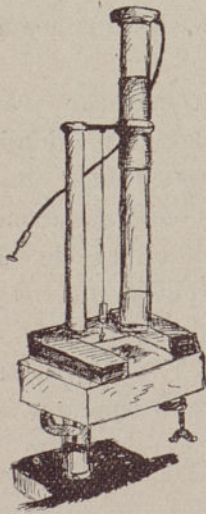


FIG. 17.

se coloca una esferita de acero (de las de los ejes de las bicicletas). El ejem-pilar que se quiere estudiar, tallado en paralelepípedo, y con la cara que mire hacia arriba cubierta con una capa de negro de humo, se coloca de modo que sirva como de cierre o de base inferior al tubo, sujeto éste convenientemente a un soporte con su plomada y torni-llos de nivel para que quede bien per-pendicular.

El experimento se realiza dejando caer la esferita de acero (de 6,4 mm. de diámetro en este modelo), desde una altura moderada (45 cms.) sobre la cara ennegrecida del paralelepípedo, y midiendo después con toda exacción y con un micros-copio provisto de un ocular micrométrico, las dimensio-nes de la huella que deje la bolita señalada en la capa de negro de humo, la que será circular, si el cuerpo fuese

(*) *σκληρός* = duro, nombre dado por Mr. A. F. Shore a un aparatito muy práctico para averiguar la elasticidad relativa de los cuerpos. Ésta se deduce por la altura a que rebote la pequeña masa de acero al caer sobre el cuerpo que se estudia desde una altura dé-terminada. *Scientific American*, 29 August 1908, p. 136-137, fig. 2.

isótropo, y tanto más pequeña cuanto más dura la roca y menos reformable la esferita de acero. Con fórmulas debidas a Hertz se puede deducir el módulo de elasticidad del sólido que se ensaye en función del radio (o semi-ejes) de la superficie de contacto, de la máxima presión ejercida por la esferita al caer y del radio y módulo de elasticidad de ésta (1).

Este procedimiento no se halla exento de causas de error, como lo son la forma de la esferita, la cual, a la menor deformación permanente que sufra ha de dejar, naturalmente, mayor señal, lo que exigiría un penoso calibrado antes de cada experimento; la influencia del espesor de la capa de negro de humo modificando más o menos la presión sobre la superficie del cuerpo ensayado; el dar por conocido el coeficiente de Poisson y otros más.

Oddone dice haber encontrado «*rocas plutónicas de las más importantes de la litoesfera que son isótropas, ocurriéndole lo mismo a las de origen endógeno o abisal*, y cita como ejemplos los pórfidos, granitos, traquitas y algunas calizas, lo que contradice a todas las observaciones que hemos citado, sin que deje de ser muy probable esta aseveración, dado que el módulo que determina este distinguido sismólogo italiano es el de percusión (rebote o rechazo de la bolita de acero), más bien que el de elasticidad (resistencia a la flexión). Mientras que con hierros y aceros obtiene cifras muy parecidas a las deducidas por otros muchos, lo que ciertamente es en abono del proce-

(1) Déterminations dynamiques des modules d'élasticité de Young des roches, *C. R. des S...* 237-247, lám. III, fig. 3.

«La IV riunione... a Manchester (18-20 Luglio 1911), *B. S. S. Ital.* XV, 208-209.

dimiento y con las rocas calizas el valor de E se mantiene alrededor de 55×10^{10} , este último varía para Kusakabe y Adams y Coker entre 52 y 86×10^{10} ; en los granitos admite la cifra de 100×10^{10} , mucho más elevada que las observadas por otros, conforme queda apuntado en párrafos anteriores.

De acuerdo con sus experimentos, Oddone admite para V_1 los valores siguientes: granitos de 6,2 a 7 kilómetros por segundo, sienitas 7,5, dioritas 8, pórfidos 8,8 y como media 7,7 kilómetros por segundo «*como velocidad de propagación de las ondas longitudinales en las rocas que forman la porción fundamental de la corteza terrestre*». En las calizas esta velocidad descendería a unos 5,3 kilómetros por segundo próximamente.

Después de estos preliminares un poco largos, pero que juzgamos indispensable preámbulo para lo que vamos a decir y complemento de lo expuesto en algunos capítulos de esta parte y de la primera de esta obrita, haremos algunas indicaciones sobre las velocidades de traslación de las ondas sísmicas.

Los primeros cálculos aproximados se deben al Profesor Omori, los que efectuó con los datos de los mismos terremotos japoneses registrados en Europa, que le sirvieron para deducir su fórmula (pág. 154), y obtuvo para las ondas P , S y su v_3 (equivalentes éstas últimas a las ondas donde suele hallarse el máximo verdadero) las velocidades de 12,8 — 7,3 — 3,3 kilómetros por segundo (1) respectivamente como *medias*. Después de haber eliminado los valores más discutibles, los valores de P oscilan entre 15,5 y 11,7 kilómetros por segundo; entre 8,4 y 6,6

(1) *Publications... num. 5, 73.*

los de S ; y finalmente de 3,67 a 3,0 los de v_s , midiendo en arco las distancias entre los epicentros y las diversas estaciones sismológicas y dividiendo las dichas distancias por la diferencia de hora entre la del terremoto en el dicho epicentro y la del comienzo del registro de la fase analizada en la estación sismológica, esto es, p. ej.,

$$V_1 = \frac{\Delta \text{ kms.}}{(P - O) \text{ seg.}} \dots$$

De los estudios de Omori se deduce, con la mayor evidencia la enorme velocidad de traslación de las ondas P o longitudinales, y la también considerable, aunque notablemente menor, de las transversales o S . La de las primeras, aun en la hipótesis de que recorran el camino más corto, esto es, la *cuerda* que separe al foco o punto de origen del terremoto y el sismógrafo, supera en mucho la velocidad de traslación de las rocas más elásticas que acabamos de citar y aun del mismo topacio (9 kilómetros por segundo), con ser este cuerpo el más rígido de todos los ensayados por Nagaoka.

Omori, de acuerdo con este sabio, opina que las ondas longitudinales y transversales de los primeros y segundos movimientos preliminares emanados del foco, caminan a cierta profundidad y siguiendo el *arco*, por una capa de máxima conductibilidad existente en el interior de la Tierra y muy distante de su centro. La gran conductibilidad de esa capa, debida al aumento de presión capaz de sobrepujar con mucho en ella los efectos de la elevada temperatura probable en la misma, en la hipótesis de una densidad de 3,5, exige, según el mismo Nagaoka, un valor para E de 600×10^{10} , cuando Oddone da a un excelente acero inglés 207×10^{10} . Esa capa debería ser unas dos veces más rígida que el acero.

Para no alargarnos demasiado, y por relacionarse con observaciones algo antiguas y, por tanto, las más defectuosas, nos contentaremos con citar los nombres dignos de más extensa mención de los profesores Milne, Oldham, Benndorf, Kövesligéthy, Imamura, Láska, Rudolph, cuyos trabajos sobre este tema, en unión de los de Rizzo y de Omori los hallará el lector extractados y discutidos en un notable artículo del Dr. C. Jordan (1), de Budapest, quien, sin embargo, saca la consecuencia un poco original y que ciertamente hoy, nueve años más tarde, sería de los primeros en desechar, de que P y S se transmiten primeramente por la cuerda y con velocidades constantes de 11 y 6 kilómetros por segundo, hecho, sin embargo, que no lo da sino como lo más probable.

En el caso del Dr. Jordan, y que no analizamos en pro de la brevedad, la causa de haber adoptado esa vía e hipótesis de la velocidad constante, fué el haber usado con demasiada confianza de los mínimos cuadrados creyendo que éstos se encargarían de mejorar no pocas observaciones, para nosotros detestables, y que es más seguro contar con muchos datos, aunque los más sean malos, que seleccionarlos cuidadosamente, eligiendo los obtenidos en circunstancias más favorables, que es a lo que nos inclinamos, pareciéndonos mejor un puñado de héroes aguerridos que una inmensa caterva entreverada, como la de Jerjes. Veamos en otros trabajos muy interesantes, bajo otros aspectos, el resultado final de una hora arbitraria admitida de acuerdo con una hipótesis preconcebida.

El profesor de la Universidad de Messina, Dr. G. Rizzo, en la pág. 312 de su notable Memoria sobre el terre-

(1) La propagation de ondes sismiques... *Revue des Sciences.*

moto de Calabria del 8 de Septiembre de 1905 (1), indica que el comienzo de *P* fué en sus gráficos a las 2 h. 43 m. 18 s. (*T. m. E. C.* = Greenwich + 1 hora), y en los de Catania a las 2 h. 43 m. 30 s., siendo las distancias respectivas al punto epicentral, que sitúa a los 38° 50' N y 16° 16' E Gr., de donde la velocidad media aparente resulta ser de unos 6,9 kilómetros por segundo y de suponerla igual entre los 0 y los 84 kilómetros a lo que fué entre éstos y los 174, la hora inicial del terremoto sería 2 h. 43 m. 17 s. — $\frac{84}{6,9}$ segundos, o sea: 0 = 2 h. 43 m. 4 s.

Rizzo encuentra esa cifra muy baja y admite, *a priori* las 2 h. 43 m. 12 s. como hora inicial del terremoto, de donde resultan para *V*, valores decrecientes, esto es, en razón inversa de las distancias, desde 100 a 1000 kilómetros, comenzando por 20,8 kilómetros por segundo para 100 kilómetros (2), 16,7 para 200... hasta 7,9 para 1000, aumentando después la velocidad hasta alcanzar los 12,5 kilómetros por segundo a los 9000 kilómetros y últimamente 14,5 para la de 20000 (anti-epicentro o punto antipodial del epicentro).

Nos contentaremos con añadir que nadie ha encontrado esas velocidades tan enormes de 20,8 kilómetros por segundo a ninguna distancia, y que tampoco se ha demostrado que a menos de un megámetro se observen las de 16,7 (muy poco probable, aun a distancias extremas), 13,9, 11,8 ni siquiera la de 10,4, que asigna a los 500 kilómetros, y todo esto achacable, principalmente, a la hora inicial, con no ser muy buenas, con mucho, salvo

(1) Sulla velocità di propagazione delle onde sismiche..., *A. R. d. Sc. d. Torino (1905-1906)*, in fol., p. 309-350, lám. II.

(2) o. c., 348.

tal cual rarísima excepción, las observaciones recogidas a distancias relativamente cortas, que es precisamente en las que más influyen los errores horarios. Más aún, la cifra de 6,9 kilómetros por segundo, que acabamos de calcular con sus mismos datos y que Rizzo desecha, puede retenerse como aproximada y más bien un tanto elevada para la distancia 0-174 kilómetros y mejor para los 400-600 según las más recientes y correctas determinaciones de los Profesores Dres. K. Haussmann de Aquisgram (1) y A. Mohorovicic de Agram (Zagreb) (2) y nuestros ensayos (3) y bastante en acuerdo con los *Laufzeit* de Gotinga (4). Los 20,8 kilómetros por segundo, aun en el caso más favorable ($\rho = 2,7$), exigiría para E un valor de 1160×10^{10} , esto es, supondría que la película más externa de la Tierra, a muy pocos kilómetros de profundidad, por hondo que supusiésemos el foco, era casi cinco veces más rígida que un excelente acero.

De los estudios hechos por los discípulos de Wiechert y en particular por el Dr. K. Zoeppritz, fallecido a los veintisiete años en 1908, y continuados después por el Profesor G. Angenheister y los Dres. L. Geiger, B. Gutenberg y K. Wegener, se deduce que la velocidad aparente de traslación de las ondas P o longitudinales va creciendo en función de la distancia hasta alcanzar la

(1) Beitrag z. Bestim. d. Fortpflanz. d. Erbebenwellen, *C. R.*, 197-203. En la pág. 201 da velocidades crecientes de 6,0 a 6,7 kilómetros por segundo para distancias de 150 a 400 kilómetros.

(2) Velocidad inicial = 5,6 kilómetros por segundo, creciendo con la distancia, *Jahrb. d. meteor. Obs. in Zagreb.*, IX G. IV T., 37.

(3) 6,4 kilómetros por segundo entre Cartuja y Benavente (490-495 kilómetros), *Le Tremblement de Terre Ibérique...*

(4) De 0 a $1^\circ = 6,95$ kilómetros por segundo, de 1° a $5^\circ = 7,2$ a 7,3...

de 14,0 kilómetros por segundo a los 13000 kilómetros, decreciendo luego algo para volver nuevamente a dicha cifra hacia los 16000 kilómetros, y aumentar luego adquiriendo a los 20000 kilómetros la velocidad máxima de 15,4 kilómetros por segundo (*). También se observa

que la relación $\frac{V_1}{V_2}$ es casi constante, y vale alrededor

de 1,80, lo que da un coeficiente de Poisson de 2,7. Además, cada vez encuentra mayor confirmación, lo que pudiéramos llamar *homogéneo-conductibilidad de la Tierra* para distancias iguales, por ser en éstas la misma la velocidad de traslación de las ondas de igual naturaleza, cualquiera que sea el azimut del epicentro de un terremoto en relación con el de la estación sismológica y las coordenadas geográficas de ambos puntos, siempre que las dichas distancias no sean muy pequeñas, pues en éstas la variable conductibilidad de las capas someras del suelo resulta manifiesta.

En cuanto a las ondas largas *L*, o porción principal, y lo mismo ocurre con la *cola* o *C* y *M* o los máximos, su velocidad de traslación es constante (fuera de las distancias de algunos muy pocos kilómetros), y tanto, que en los gráficos de los terremotos más violentos y de mayor área macrosísmica, pudo ya Omori en 1900 (1) demostrar la existencia de máximos secundarios correspondientes a las sacudidas emanadas del foco y transmitidas al sismógrafo después de haber recorrido el arco de círculo más largo, ondas a las que llamó w_2 , y w_3 a las que volvían a agitar el suelo de la estación sismológica por segun-

(*) La transmisión por la cuerda reduciría las dos velocidades mencionadas a 10,7 y 9,9 kilómetros por segundo.

(1) *Publications... num. 13, 123.*

da vez, después de haber recorrido toda la redondez de la tierra, propagándose probablemente a muy pequeña profundidad. La velocidad de las primeras ondas será:

$$w_2 = \frac{40000 - 2 \Delta}{tw_2 - t}, \text{ y la de las } w_3 = \frac{40000}{tw_3 - t}.$$

Para estas últimas halló por término medio 3,4 kms p. seg. y para las otras 3,7 cifras sobre todo la primera, que discrepan muy poco de la *media* de lo observado después con relativa frecuencia. En Cartuja las cifras que hemos obtenido oscilan entre 3,3 y 3,6 kilómetros por segundo, divergencias bien explicables por lo difícil que es identificar una onda con su correspondiente, y por ser de ordinario de muy pequeña amplitud. Cuando el terremoto de San Francisco, dieron la vuelta al mundo en 3 h. 21 m. 17 s. con velocidad de 3,32 kilómetros por segundo (1).

El aumento de velocidad, antes mencionado, que experimentan las ondas de las dos primeras fases, o sea *P* y *S*, indica ya que la transmisión del movimiento se verifica al través de medios cuya conductibilidad crece, aunque no de una manera continua, y esa heterogeneidad transmisora ha de necesitar refracciones análogas a las que sufre la luz al pasar de un medio a otro de distinta refringencia, además de verificarse la propagación de las vibraciones en *ramas de cónicas* (arcos de parábola o hipérbola, probablemente), en vez de hacerlo en línea recta o quebrada, cuando la conductibilidad del medio aumenta o disminuye progresivamente. Si trazamos la curva que represente la marcha del fenómeno encontraremos una guía que nos haga entrever algo sobre el misterio

(1) El desastre de California registrado en el Observatorio de Cartuja (Granada), *Razón y Fe*. [Madrid], XV, núm. 3 (Julio 1906) 360.

rioso camino que recorren las ondas sísmicas al través de las entrañas de la Tierra.

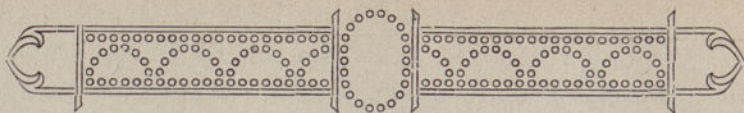
Reuniendo en un solo gráfico las ecuaciones que dimos en la página 160, notaremos resulta una línea quebrada y que las inflexiones de la misma, esto es, los puntos que indican cambios bruscos en la conductibilidad del medio transmisor, corresponde a distancias medidas en arcos, cuyas cuerdas pasarían respectivamente, a 140-700-1780 y 3750 kilómetros de la superficie externa de nuestro planeta, o lo que es lo mismo, a 6230-5670-4590 y 2620 kilómetros de su centro (0,98-0,89-0,63-0,41 *R*). Es, pues, probable que nuestro globo esté integrado por una serie de envolturas concéntricas que rodean a un núcleo, conforme con la opinión del ilustre Wiechert, quien compara la Tierra con un gigantesco aerolito peridótico.

Según las fórmulas bastante aproximadas (excepto quizás la última, sujeta, probablemente, a modificaciones un tanto importantes, y que influirán en las dimensiones del núcleo), que dimos en la página 162, la velocidad aparente de las ondas sísmicas *P*, variable al principio, se regulariza después alcanzando un valor casi constante y de 7,7 a 7,8 kilómetros por segundo en las distancias comprendidas entre 500 y 2700 kilómetros. Después comienza a crecer hasta un máximo de 10,3 kilómetros por segundo, siguiendo la marcha indicada aproximadamente por la fórmula empírica (7). Entre los 8600 y los 10500 o algo más cambia de nuevo la razón del crecimiento, alcanzando la cifra de 13,6 kilómetros por segundo, y, últimamente, la de 14,1 kilómetros por segundo en el antiepicentro (8,9 kilómetros por segundo siguiendo la cuerda, aquí diámetro terrestre).

Aun admitiendo esa última cifra mínima, dada que la

densidad de la Tierra es 5,5 veces superior a la del agua, tendríamos que el módulo de rigidez de la misma, en unidades *C. g. S.* sería: $V_1^2 \rho$, o sea:

$E = 5,5 (8,9 \times 10^5)^2 = 4,35 \times 10^{11}$, lo que equivale a decir que nuestro planeta es unas dos veces menos deformable que si fuese de acero, en las condiciones en que ensayamos a este metal, por supuesto, dato obtenido por otros diversos procedimientos y de acuerdo con las opiniones tan autorizadas de Lord Kelvin y de Sir G. H. Darwin.



TERCERA PARTE

Los edificios.

CAPITULO XVIII

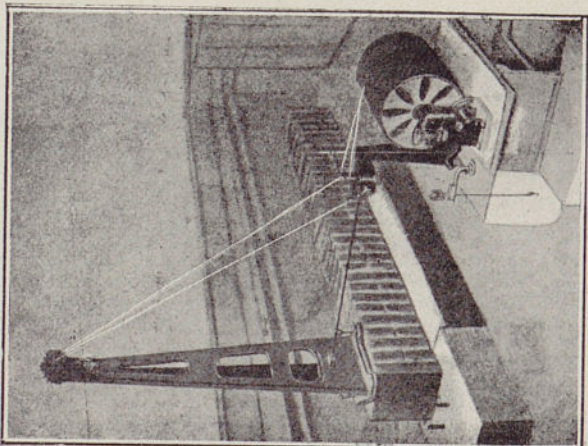
Estudio de la resistencia sísmica de los materiales de construcción:
El coronel Mardel. — Milne. — Omori. — Cálculos y reflexiones.

Para que no falte algo de *práctico* o, mejor dicho, de *caritativo* en esta obrita, dedicaremos esta última parte a las aplicaciones de la Sismología a la Arquitectura y a la Ingeniería y cuyo fin es precaver, en cuanto sea posible, los malos efectos de los terremotos sobre las construcciones, evitando pérdidas de vidas y haciendas. Estas aplicaciones ciertamente están mucho menos estudiadas de lo que fuera de desear y muy poco fuera del Japón, el país donde tiembla más la tierra, aunque algunos territorios americanos, como el Norte y Centro de Chile, Centro América, parte del Perú, México, Colombia, el Ecuador..., por desgracia no le vayan muy en zaga. Dado el carácter de estas páginas seremos muy breves, contentándonos con dar algunas ideas generales, repitiendo tal cual vez cosas que por sabidas se suelen echar en olvido.

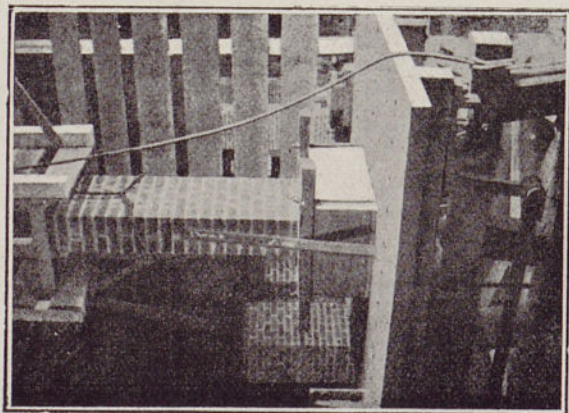
A raíz del desastre de Lisboa del 1.º de Noviembre de 1755, el ingeniero húngaro Carlos Mardel propuso e hizo adoptar un tipo de construcción sumamente resistente a las sacudidas sísmicas, habiéndolo probado con un modelo, al que fijó sobre una plataforma que hizo mover violentamente valiéndose para ello de varios soldados (1). Hubo de pasar más de un siglo antes de que se repitiesen estos experimentos, iniciándolos en Tokio el célebre Milne en 1883 con una *batea* o wagón para mercancías casi reducido a una plataforma montada sobre ruedas, consistiendo sus experimentos en sujetar sólidamente sobre la misma columnas y pilares de formas y dimensiones variables y de materiales diversos y a obligar a la *batea* a correrse por railes con mayor o menor estremecimiento, hasta producir, a ser posible, la fractura o el derribado, calculando después la máxima aceleración que había causado los tales efectos. Después, con el carácter eminentemente práctico que caracterizaba a este ilustre ingeniero de Minas, deducía conclusiones sobre la forma, dimensiones, material, hechura, etc., más apropiados para resistir una máxima aceleración determinada (el terremoto más violento que probablemente pudiera presentarse en el sitio donde se fuera a construir, dada la historia sísmica de la región) con la mayor economía compatible con lo que se pretende en una construcción asísmica, cuya finalidad sismológica es resistir sin averías, al menos importantes, los temblores de tierra.

El brillante discípulo de Milne, profesor Fusakushi Omori, emplea en estos experimentos, que pudiéramos llamar dinámicos, por contraposición a otros, de los que

(1) Prof. F. Pereira de Sousa, *Effeitos do terremoto de 1755*, 211.



(b) Péndulo Omori montado sobre una pilastra antes de someterla a experimentos de flexión.



Lám. XVII.—(a) Plataforma de experiencias de Mano.



también diremos algo, la *shaking table* de su colega en la Universidad de Tokio el ingeniero B. Mano, robusta plataforma de madera, a la que, por medio de palancas convenientemente acopladas a una máquina de vapor, se la puede imprimir movimientos de vaivén en sentido horizontal de amplitud y ritmo variables, y cuya máxima aceleración, caso necesario, puede exceder con mucho la de la gravedad.

En los ensayos se comenzaba a mover la *mesa* con relativa lentitud y se disminuía el período hasta alcanzar o el fin pretendido o, a lo menos, la máxima aceleración obtenible en aquellas condiciones, permaneciendo la amplitud del movimiento constante o poco menos. Una pluma Richard, convenientemente sujeta a la plataforma, inscribía los movimientos de la misma sobre un cilindro receptor, provisto de su cronógrafo y también de otro contacto para señalar el momento preciso de verificarse algún fenómeno en el objeto colocado simplemente sobre la dicha plataforma, o fuertemente sujeto a la misma, según la naturaleza del experimento, y tal vez provisto también de su pluma inscriptora, relacionada con otro receptor.

Los experimentos se relacionaban con el derribado y resbalamiento de cuerpos diversos y la fractura de pilares de ladrillos de distintas formas y calidades y unidos con morteros de distinta composición. Remitiéndonos a lo expuesto en el capítulo III, daremos algunos datos concretos sobre el resultado obtenido en los muchos centenares de ensayos realizados por Omori en los años 1899 a 1912 (*).

(*) Parecidos principalmente en *Note on applied seismology*, y *Bull. of the Imp. Earthq Inv. Comm. Vol. IV.*

El valor de la fuerza de cohesión = F (v. p. 41-43) en columnas hechas con ladrillos japoneses, en general muy buenos, puede llegar hasta algo más de 9 kilogramos por centímetro cuadrado de sección, y es de ordinario superior a 3,5 con los *escogidos* y a 2,24 con los *medianos*, pero puede descender todavía bastante con los *malos*, y además depende, en gran parte, de la fábrica o hechura, y más de la mezcla empleada. Si se sustituye la de cal y arena, aun la mejor de su clase, por cemento en buenas condiciones, aunque lleve cuatro partes de arena, la columna o el pilar, de fracturarse, lo hará por el espesor de los mismos ladrillos, y no por las juntas, como sucede cuando se usa la mezcla común; lo contrario (excluyendo por supuesto excesiva parsimonia en el empleo del mortero, o notables descuidos en la construcción), demostraría a la vez la mala calidad del mortero y la excelente de los ladrillos. Las columnas cilíndricas y los pilares de igual sección en toda su altura se rompen muy de ordinario al ras del soporte que los sujeta a la *plataforma de sacudidas*, lo que indica ya la conveniencia de robustecer las secciones bajas, aun á expensas de las altas.

Una columna bien construída y aislada y sin sobrecarga, aunque exceda en esbeltez las de los grandiosos monumentos de Grecia y Roma, no se rompe si no es a impulsos de una máxima aceleración enorme. Para no citar más que un ejemplo, sólo diremos que una de las pilastras ensayadas, con $x_0 = 11,25$ cms., $f = 102$ y $W = 126$ kgs., no se derribó, al fracturarse su base, hasta que se la sometió a un movimiento de 5,36 cms. de amplitud por 0,47 segundo de período, al que corresponde una máxima aceleración de 971 gals, casi igual a la de la gravedad, y jamás observada en ningún terremoto. El

valor de F , o sea de la fuerza de cohesión, deducido de la fórmula: $F = \frac{x_0 f W a}{l g}$, resulta aquí de 9,3 kgs. por c^2 de sección.

Además de los diversos procedimientos conocidos de Ingenieros y Arquitectos para calcular el valor de un coeficiente cuyo conocimiento exacto resulta tan útil como lo es F , hay otro, que quizás esté un poco ignorado, y al que pudiéramos llamar *estático*, también largamente ensayado por Omori, procedimiento en el cual la novedad consiste en emplear el nivel más exacto y sensible quizás, esto es, el péndulo horizontal, al que fácilmente se le puede habilitar para que aprecie no sólo segundos y décimas, sino que también centésimas y aun milésimas de segundo de arco.

En los ensayos de Omori, pilastras de ladrillos, hasta de dos y más metros de altura, y construídas con la suficiente antelación para que estuviesen bien trabados aquéllos y bien fraguado el mortero, se tendían horizontalmente, haciendo descansar sus extremidades sobre dos soportes de piedra, sólidamente unidos al piso de hormigón y de gran espesor, por medio de cemento puro. En cada extremo de la columna o pilastra se situaba un péndulo horizontal (aunque después se vió que holgaba uno, dado que las indicaciones de ambos resultaban idénticas) y se colocaban pesas sobre el centro de la columna, anotando las flexiones correspondientes, mensurables por las desviaciones de los trazos en los gráficos y calculables en función de las constantes de los dichos péndulos.

El módulo de rigidez se calcula con la fórmula siguiente:

$$E_2 = \frac{3l^2}{64a^3} \times \frac{W}{\delta}, \text{ en la cual } l \text{ es la longitud de la}$$

parte de la columna que queda *en vano* entre los dos soportes de piedra, $2a$ el lado de la base, W el peso que la hace flexionar un ángulo δ , expresado por su seno. Con $l = 184,3$ cms, $2a = 22,5$ cms. y pesas de 2,43 a 147,85 kgs., las deflexiones observadas en un número considerable de pilastras de ladrillos variaron entre $1'',20$ y $92'',49$, siendo la deflexión exactamente proporcional al peso. En uno de estos experimentos, 16,54 kilogramos produjeron una deflexión de $11'',36$, de donde: $E_2 = 2,925 \times 10^{10}$. Con $\rho = 1,6$, el periodo propio de esta columna sería, de acuerdo con la fórmula de lord Rayleigh (p. 187) de 0,09 segundo, mientras que el periodo realmente observado varió entre 0,122 y 0,143 seg., según la amplitud, discrepancia que Omori atribuye a la existencia de algunas juntas más débiles cerca de la base de la columna, las que alargan el periodo. El valor más elevado de E_2 correspondiente a una columna de ladrillos de primera calidad es de $4,596 \times 10^{10}$, y el menor en otros inferiores procedentes del mismo tejat es de $1,290 \times 10^{10}$, de donde el periodo propio de una construcción en que entren los segundos será próximamente el doble que el de otra de los primeros. Terminaremos estos experimentos, que pudiéramos calificar de *indirectos*, recordando ser condición indispensable, para que den resultados exactos, que el suelo sea muy resistente, esto es, que pueda retenerse en la práctica como indeformable, pues de no ser así sus propias flexiones, debidas al peso de la columna, de las pesas y del mismo observador, etcétera, falsearían aquéllos.

La máxima altura que se le puede dar a un pilar o muro no muy largo (sin cargas ni aberturas que lo debiliten y que resulte capaz de resistir victoriosamente una

máxima aceleración dada), la expresa la siguiente fórmula de Milne: $A = \sqrt{\frac{F^2 \alpha_0 g}{3 \alpha \rho}}$. Aplicada a la columna de excelente ladrillo, citada en la página 210, y suponiendo nos contentásemos con que fuese capaz de resistir las sacudidas de un terremoto tan excesivamente violento como lo fué el de San Francisco, esto es ≈ 250 gals, que no es poco, tendríamos como altura máxima la de 4,12 metros, mientras que con ladrillo mediano, de no aumentar la sección, el pasar de dos metros de altura expondría a la fractura. Basta con lo dicho para que se palpe la enorme importancia que tienen los materiales, manera de utilizarlos y estructura en la resistencia que opongan los edificios a la acción destructora de los sismos, considerada según su manera ordinaria de influir, esto es, en función de la máxima aceleración con que se agiten las partículas del suelo.

Cierto es que en las construcciones no se trata ordinariamente de pilares o de muros aislados, sino de los mismos perforados por huecos, cargados con techumbres y a veces también con pavimentos, etc., y que lo uno disminuye notablemente la resistencia de una manera directa, y lo otro influye también perniciosamente, elevando considerablemente el centro de gravedad del edificio, y todo junto hace que máximas aceleraciones muy inferiores, relativamente, produzcan los mismos efectos, pero siempre será verdad indiscutible de la que en cada terremoto desastroso se ven ejemplos, de que la resistencia de las mismas obras de mampostería, las menos recomendables de todas, bajo el punto de vista sismológico, se acrecienta en gran manera con el juicioso y esmerado empleo de buenos materiales, quedando siempre, de ha-

berlos, algún edificio de estos indemne o poco averiado, aun en la región más castigada del área pleistostista.

Tomaremos del Profesor Omori un ejemplo del cálculo referente a la máxima aceleración necesaria, para destruir un edificio determinado en un caso sumamente sencillo: en el Mercado público de Ensuiko, pequeña población de la isla de Formosa, el que consistía en un cobertizo formado por un tejado de dos aleros de tejas ordinarias sobre armazón de madera, sostenido por veinte pilares de ladrillos y que cubría un área rectangular de $36,20 \times 9,20$ metros. La superficie del tejado era de 360 metros cuadrados y su peso total de 27000 kgs. incluida la viguería, lo que da 75 kgs. por cada m^2 . Cada pilar debía sostener $\frac{1}{20}$ de la carga del tejado, esto es, unos 1350 kgs. y pesaba, a su vez, 570 kgs. hallándose formado por 38 hiladas de ladrillos, con altura total de 2,61 metros y $1 \frac{1}{2}$ ladrillo = 35,5 cms. de sección. La presión total ejercida por cada pilar sobre el suelo era de $1350 + 570 = 1920$ kgs. y como la sección de su base era de 1260 cms^2 , resultaba una presión de 1,52 kg. por $\text{cm}^2 = 15200$ por m^2 .

Si a esta compresión se une la fuerza aglomerante de la mezcla, poco más o menos igual, por ser de calidad inferior, lo mismo que los ladrillos, resulta una resistencia a la fractura de unos 3,04 kgs. por cm^2 . Dado el peso considerable de la techumbre, el centro de gravedad del edificio se hallaba a los 2,23 ms. de altura, o sea a unos 38 cms. por debajo del tope de los pilares.

Teniendo en cuenta los valores ($x_0 = 17,75$ cms., $F = 3,04$ kgs. p. cm^2 — $f = 223$ cms. — $W = 1920$ kilogramos), y aplicando la fórmula dispuesta para averiguar la máxima aceleración capaz de fracturar los pila-

res del tal Mercado, tendremos: $\alpha = \frac{4gx_0^3 F}{3fW}$, aquí igual

a 52 gals. Las condiciones del tal cobertizo eran a todas luces insuficientes para subsistir largo tiempo en región tan castigada por terremotos destructores, y su precaria existencia tuvo pronto término. El 6 de Noviembre de 1904 el gran terremoto llamado Kagi, por el pueblo donde ocasionó mayores destrozos, lo asoló, rompiendo los pilares por sus basas, y también por las juntas donde se apoyaban las tirantas del techo.

Como no parece excediese allí mucho la máxima aceleración de 100 gals y seguramente no llegó a 150, un excelente material, aun inferior al de la pilastra tan resistente de Omori, hubiera reducido los daños del edificio a unas cuantas grietas menos importantes y a la probable pérdida de la mayoría de sus tejas, de no estar éstas mucho más sujetas que lo que se acostumbra.

Lo que acabamos de exponer indica la conveniencia, quizá un poco olvidada de puro sabida, de construir las techumbres lo más ligeras que se pueda, de usar de buenos materiales y de vigilar las *juntas*, ya que no siempre cabe el eliminarlas.

De análoga manera se calcula la resistencia sísmica de los pilares de un puente, aunque en este caso, como también en los anteriores, sea preciso determinar previamente la cohesión del material, ya por medio de la *mesa de sacudidas*, ya por otros procedimientos, si se aspira a que los resultados sean dignos de crédito.

Si llamamos y a la distancia de una sección cualquiera de una columna o pilar al tope de la misma, tendremos las siguientes ecuaciones que nos darán el valor mínimo de x_0 para una máxima aceleración determinada α .

En un pilar de sección cuadrada tendríamos:

$$x_0 = y^2 \times \frac{\alpha \rho}{10gF},$$

dando el cálculo de esta fórmula un perfil parabólico, empleado muy frecuentemente en el Japón para las pilas de los puentes, y hasta en Tokio se ha llegado a construir una *casa a prueba de terremotos*, con muros parabólicos y techumbre independiente, ensayo interesante, aunque nada práctico por la enorme cantidad de materiales gastados en un edificio más bien pequeño, y por construirse hoy con relativa facilidad edificios mucho más baratos, cómodos y artísticos, sin que por ello dejen de ser más resistentes.

Los muros y pilares sólo excepcionalmente se encuentran aislados, por una parte y por otra, como dejamos apuntado oportunamente en la primera parte, además de los efectos mecánicos dependientes de las acciones antagonistas de la máxima aceleración impresa por el movimiento sísmico, y de la inercia del objeto existen otros producidos por las desviaciones laterales y las elevaciones o depresiones del suelo, o en otros términos, por sus movimientos diferenciales. Estos, relegados exclusivamente a las fallas principales, o a sus más inmediatas cercanías, causan efectos poco menos que irremediables, aunque sólo se presentan en tan excepcionales casos y en espacios tan circunscritos y de ordinario, sísmicamente hablando, tan *sospechosos*, que se puede evitar casi siempre el edificar en los mismos, y si esto no fuese posible, todavía no parece esté vedado al hombre el escapar del peligro, como veremos más adelante.

En un sinnúmero de edificios, por no decir en los más,

sobre todo si son grandes y viejos y se les ha ido añadiendo trozos, como alas, pabellones, etc., en distintas fechas, las distintas porciones no forman un todo homogéneo, sino una reunión de partes, dotada cada una de su propio período vibratorio, y así, en vez de presentar el conjunto mayor resistencia, es posible sea ésta mucho menor que la individual de una de las porciones integrantes, comprometiendo la integridad del todo al funcionar como los péndulos invertidos en uno de los tan sencillos como sugestivos experimentos de Milne. Tomaba este sabio eminente unas tiras de caña de bambú, de análoga elasticidad y longitud, y las sujetaba, separadas las unas de las otras, y bien verticales, sobre un soporte apropiado, enfilando en sus extremos libres, convenientemente dispuestos, unas pesas de plomo y uniéndolas unas a otras con tiras de papel fuerte. Sacudiendo la tabla en sentido horizontal, cual lo haría un terremoto, se estremecían y aun oscilaban los pendulitos invertidos con períodos tanto más rápidos cuanto menos pesasen sus masas (dada la igualdad supuesta de la elasticidad de las tiritas de bambú). Si las masas eran iguales, las tiras de papel resistían; pero si había diferencia de peso o de elasticidad en la caña o la pesa se sujetaba más alta o más baja, en una palabra, si había disincronismo entre dos pendulitos unidos por la misma tira de papel, al oscilar aquéllos ésta se desgarraba.

Ya apuntamos en otro lugar la perjudicial influencia de las techumbres muy pesadas, que elevan muy considerablemente el centro de gravedad de los edificios, techumbres de las que tanto se abusa en el Japón, que por esto quizás las considere el profesor Omori como una de las causas más poderosas de la destrucción de los edifi-

cios, cuando en muchas partes de Europa y de España, y también de Italia, América del Sur y aun del Norte y Central, etc., más bien resulten ligeras y relativamente reducida su influencia. Aquí nos contentaremos con señalar la necesidad de la trabazón de unas partes con otras y de que la viguería se apoye lo suficiente sobre los muros para evitar el *desfondado* de los pisos, desgraciadamente muy conocido donde se suelen sentir sismos destructores, y en particular en Italia, donde se presenta con aterradora frecuencia y funestísimos resultados casi en cada uno de aquéllos; la conveniencia de sujetar muy bien las tejas o pizarras en los aleros de los tejados, pues de lo contrario se desprenden, aun con sismos simplemente violentos, y al caer desde alturas, a veces muy considerables, suelen causar no pocas víctimas, dado lo frecuente que sea el lanzarse a la calle en cuanto se dejan sentir sacudidas un tanto amenazadoras; la urgencia de cuidar muchos de los puntos débiles, cuales son las aberturas que presentan los muros, destinados tanto a puertas como a ventanas, etc.

Hay un punto, sin embargo, que aunque pareza extraño a nuestro tema, exige mención especial, y es la importancia que tienen las canalizaciones, tanto de agua como de gas, y aun eléctricas, bajo el punto de vista sísmológico. Sabido es lo frecuente, y a veces terrible, de los incendios originados indirectamente por los terremotos, ya vertiendo lámparas encendidas de petróleo u otros líquidos inflamables o derribando hornillas, ya con escapes de gas, ya, finalmente, con los cortos circuitos, y precisamente esos incendios, importantes en sí por su número y por lo crítico de las circunstancias, se agravan de tal manera con las múltiples roturas de las cañerías de

agua, que ni el esfuerzo de millares de inteligentes e intrépidos obreros hábilmente dirigidos, ni aun el supremo medio al que se apeló después de ver la inutilidad de los otros tratando de evitar la conflagración general volando con dinamita hiladas enteras de casas para oponer al voraz elemento inmenso murallón de ruinas, fueron bastante para impedir que San Francisco de California perdiera todo lo edificado en un área de más de siete kilómetros cuadrados con los cuatro días que duró el incendio que siguió al terremoto del 18 de Abril de 1906 y que ocasionó perjuicios incomparablemente superiores a los de las mismas sacudidas sísmicas, bastante bien resistidas por los más de los edificios, gracias a los excelentes materiales empleados en los mismos.

Precisa, pues, cuidar mucho de las canalizaciones y disponerlas en los sitios menos peligrosos, a la vez que construirlas con la mayor solidez, recurriendo en algunos puntos hasta a colocarlas dentro de túneles, y más que nada conviene tener, siempre que se pueda, y se trate, naturalmente, de países sísmicos, en su más genuína acepción, dobles canalizaciones, procedentes de diversos puntos. Estos medios, sin embargo, no siempre resultan infalibles; de aquí el que la incombustibilidad de los edificios, siempre deseable, lo sea mucho más en los dichos países.

CAPITULO XIX

Algunos consejos sobre la elección del sitio.—Construcciones sísmicas, penesísmicas y asísmicas.—El hormigón armado.—Otros tipos de edificios.

La elección del sitio donde se vaya a edificar es un problema que rara vez se presenta, puesto que hoy, fuera de los Estados Unidos, no se suelen improvisar las ciudades, ni menos trasladar los edificios de un lado a otro, como se haría con un armario o cómoda, y el ejemplo de Guatemala, cuya capital ha tenido que mudarse tres veces, hasta encontrar un sitio donde, hasta la fecha, volcanes y terremotos no la castigan como antes, apenas si tiene alguno que otro comparable, como el de Güevéjar, pueblo pequeño de la provincia de Granada, edificado sobre una loma pendiente de terreno de acarreo, sin adherencia sobre las rocas que recubre, terreno que, al deslizarse cuando el gran terremoto de Lisboa de 1.º de Noviembre de 1755, arrastró consigo a las casas, destruyéndolas, sin que hubiera que lamentar desgracias, por la extrema lentitud del fenómeno. A pesar de tan elocuente prueba de lo detestable del sitio, lo reedificaron en él, y como era de esperar, se repitió lo acaecido con ocasión del sismo andaluz del 25 de Diciembre de 1884, allí mucho más violento que el portugués, sólo que al reconstruirlo por segunda vez lo trasladaron a una explanada cercana, y con esto desapareció esa causa de destrucción que tantas víctimas causó en Alhama durante el referido

terremoto andaluz, y causa y continuará ocasionando en otras partes, y más en particular en Calabria y en Sicilia.

No dejan de presentarse, sin embargo, casos en los cuales se pueda elegir sitios más adecuados, sin salir del perímetro de una población, y en las que abundan los terremotos y el suelo sea desigual, la experiencia bastaría para designar los lugares elegibles y desechables, y también algunas condiciones teóricas conducen al mismo fin. En Tokio, inmensa metrópoli de más de dos millones de habitantes, hay espacios de terreno situados hasta en sitios muy céntricos casi sin valor, y que por no querer nadie edificar en ellos precisa dedicar a jardines, y es por haberse observado que se siente en ellos como violentos y destructores los terremotos medianos o simplemente violentos en los barrios cercanos, de tal manera, que para no dar más que un ejemplo, cuando el gran terremoto de 1894, la máxima aceleración en el de Hongo pasaba de 100 gals, mientras no llegaba a 45 en el de Hitotsubashi (1). El primero es llano, con suelo aluvial, muy poco consistente, mientras que el segundo, distante un kilómetro, se halla sobre una colina de arcilla muy dura.

Los terrenos artificiales, esto es, los rellenos, y mas todavía los suelos movedizos y pantanosos, son muy perjudiciales, y en ellos se presentaron los mayores daños cuando el terremoto de San Francisco, como de ordinario, mientras que sufrían bastante los edificios no muy sólidos, construídos sobre terrenos blandos y casi nada los que lo estaban sobre los duros. En un relleno, y en

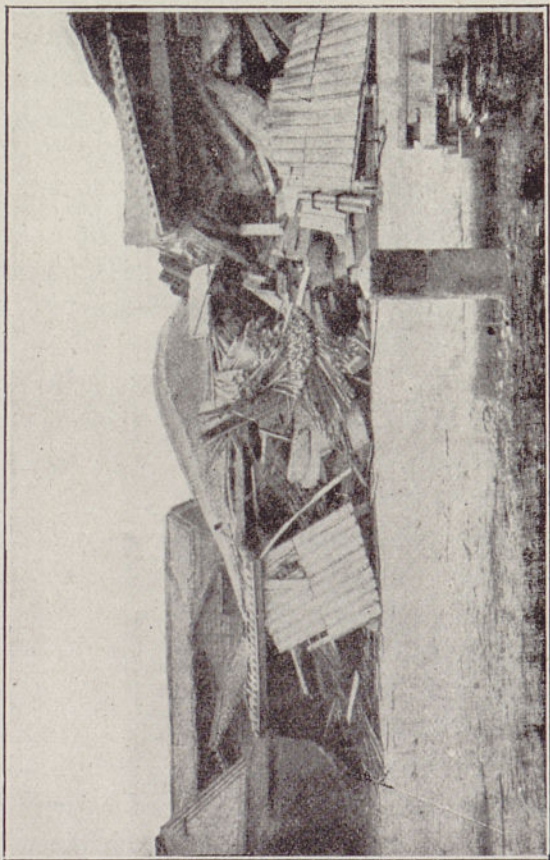
(1) Milne, *Seismology*, 139.

ese mismo terremoto, se produjo el hundimiento de la fachada y de la porción anterior de un hotel, con doce víctimas, hundimiento causado por haber cedido el terreno y carecer el edificio de la ligazón necesaria, y por otra parte difícilísimamente conseguible en los de mampostería, ligazón que hubiera evitado dicho desgraciado accidente.

En el Colegio-Noviciado del Sagrado Corazón que la Compañía de Jesús tiene en las afueras de Granada, en el sitio llamado Cartuja, en el cual se halla la Estación Sismológica del mismo nombre, suelen sentirse los terremotos con un grado menos de intensidad que en la mayor parte de la vecina ciudad, edificada principalmente sobre los aluviones del Genil, mientras que el dicho Colegio se alza sobre una colina de caliza tortonense sumamente dura.

La unión de dos terrenos de condiciones diferentes constituye un sitio que debe evitarse, por ser casi seguro que al agitarse la tierra, cada uno lo hará con distinta amplitud y aun periodo, con los efectos consiguientes análogos a los estudiados experimentalmente por Milne con sus pendulitos, y de que tratamos en páginas anteriores. Por último, las cercanías de las fallas importantes son muy peligrosas, lo mismo que las riberas de los ríos, pues aquéllas pueden jugar de nuevo, y en éstas suelen presentarse rajadas muy importantes y compresiones violentísimas y tal vez irresistibles.

Podemos dividir las construcciones según su resistencia contra la acción demoledora de los terremotos del mismo modo que lo hace con las distintas regiones de nuestro globo el ilustre sismólogo francés Conde de Montessus de Ballore en sísmicas, penesísmicas y asísmicas.



LÁM. XVIII.—Almacenes de Kagoshima destruidos el 12-I-1914 por el más fuerte de los terremotos ocasionados por la erupción del Sakura (distante 34 kms.), registrado en Cartuja (Granada) a los 11.000. La ruina se debió aquí a la debilidad extrema (de los pies derechos. En cambio las tejas aparecen aún unidas a las cubiertas, aun a la derrumbada, y ésta apenas hubiera sufrido de no haber cedido sus sostenes.



Las malas, fácilmente destruibles, merecen la primera denominación; las ordinarias de mampostería, razonablemente estudiadas y construídas con esmero y con buenos materiales, pueden clasificarse de *penesismicas* cuando menos, dado que resisten bien los terremotos violentos, y aun los medianamente destructores; por último, para que un edificio o construcción merezca el título de *asísmica*, ha de ser capaz de sufrir sin notables desperfectos las más terribles sacudidas, y aun para que fuese *asísmica* en absoluto hasta afrontar los mismos movimientos diferenciales del suelo.

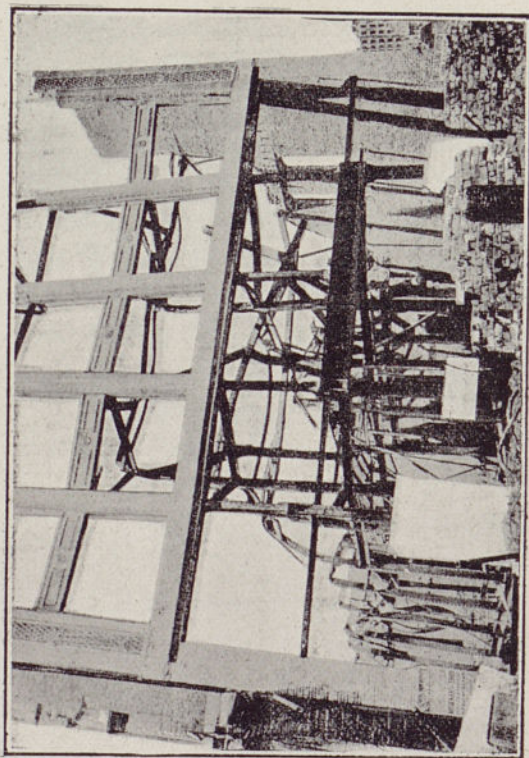
Ocupándonos de estas interesantes cuestiones como sismólogos, y sin hacer más que apuntarlas, nos contentaremos con indicar que los edificios y demás construcciones de hormigón armado, bien estudiados y construídos, resisten admirablemente a los terremotos más destructores, de no ceder el terreno o producirse elevaciones o movimientos laterales de importancia, y aun esos mismos movimientos resultarían menos ofensivos y aun de ningún efecto, si a las dichas construcciones se las proveyese de una especie de plataforma, o mejor, de una basamenta corrida capaz de sostener, sin deformarse, el peso de los muros, de quedar en hueco; y aun de resistir algún violento empuje de abajo arriba, idea ya indicada, aunque con otros materiales (madera embreada, piedras o ladrillos y cal hidráulica), en 1881, por el entonces Comandante, después General de Ingenieros Excelentísimo Sr. D. Manuel Cortés y Agulló (1) (al que le cupo la honra y con él a nuestra España, de haber sido el primero que ha escrito una obra realmente científica

(1) *Los Terremotos y sus efectos en las edificaciones*, Manila, 1881, in 8.º, p. 93, con album in fol. de XVIII láminas.

de arquitectura antisísmica, siendo también muy notable la que publicó al final de su larga y fructuosa carrera) (1). Tendriase así un monolito de extraordinaria resistencia e independiente del suelo, sobre el cual descansarían, tan sólo, aunque evitando los labios de las fallas y sus más inmediatas cercanías, no habría inconveniente en cimentarlo, ya sobre terreno duro, o de faltar éste o de hallarse muy hondo el firme, pudiera apoyarse sobre los *conos* del célebre ingeniero francés Considère, o recurrirse a la *plataforma*.

Las construcciones de hormigón armado son incombustibles, resisten temperaturas elevadísimas sin experimentar averías notables, y en ellas se pueden localizar, por decirlo así, los incendios, aun sin agua, por medio de compuertas de hierro o acero, cual ocurrió con ocasión del horroroso incendio de San Francisco, a raíz del terremoto del 18 de Abril de 1906 con el único gran edificio que entonces existía allí del dicho material, el almacén de Bekins y C^{ia}, el cual, rodeado de casas a las que las llamas consumieron y derrumbaron, sufrió un violento incendio en su porción S, en la cual había copia de mercancías de las más inflamables, por no haberse podido cerrar a tiempo las contra-ventanas de acero, situadas detrás de las vidrieras que daban a la calle, rotas por las llamaradas que salían de la casa más vecina, mientras que dicho incendio no pudo propagarse al resto del edificio por evitarlo los mamparos de acero, por una parte, y por otra los muros interiores, pisos y techumbre de hormigón armado, no sólo incombustible, sino que,

(1) Casa desmontable, etc..., precedido de una introducción del Conde de Montessus. *Boletín del Servicio Sismológico de Chile*, XI, p. 211-247, L. XXVII (1915). (Obra póstuma.)



LAM. XIX.—Efectos del incendio sobre un edificio de ladrillo y armazón de hierro, después del terremoto de San Francisco. Apenas algún trozo de muro ha quedado en pie y las llamas, al devorarlo casi todo, han torcido las piezas metálicas, contribuyendo éstas, al dilatarse, a que la destrucción fuese más completa.



además, muy mal conductor del calor, y en el cual las varillas, etc., de acero, gracias a los ferratos de cal y silicatos de hierro formados, constituye con el cemento, el cascajo y la arena un todo sumamente resistente y no una asociación de elementos capaces de prestarse mutuo apoyo en condiciones ordinarias, pero no en las especialísimas que aquí tocamos. Precisamente, y con el mismo terremoto, se dieron pruebas evidentes de lo detestables que son las armazones de hierro, forradas de otros materiales, como en la hermosa torre del Ayuntamiento, en la que, al oscilar la estructura férrea, derribó los muros y las costosas columnas de mármol que la rodeaban, y en muchos edificios las dilataciones de las piezas de hierro, al calentarse por el fuego, sirvieron de arietes para destruir los muros, produciéndose la caída de los pisos de algunos, mientras quedaban en pie los muros y aun en estado de poder utilizarse en la reconstrucción de los mismos edificios, por haber las llamas fundido con frecuencia y con mayor aun doblado, las viguerías, allí casi todas de hierro.

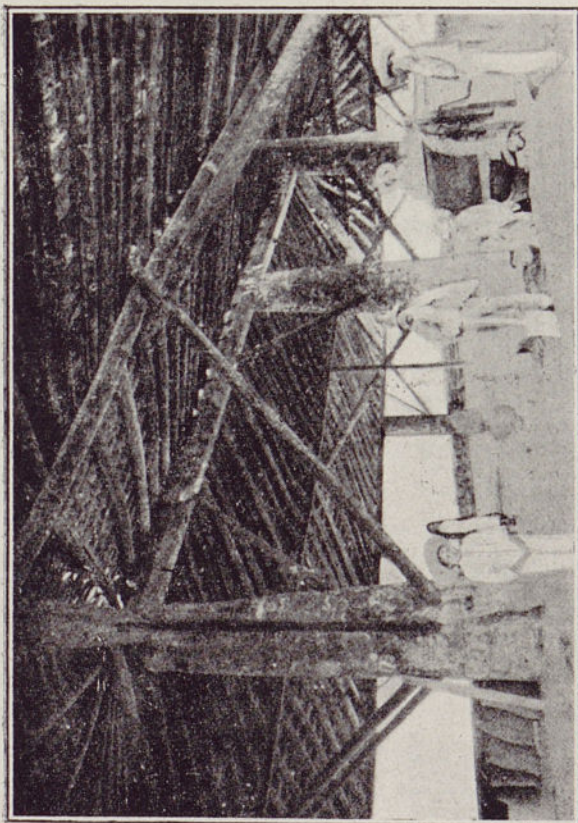
Cierto que el hormigón armado, y sobre todo zunchado, y asociado a las mamparas de acero, etc., y excluyendo cuidadosamente todo material de construcción combustible, es el material que en rigor merece entrambos títulos de asísmico y de incombustible, al que pudiéramos añadir el de aséptico o más propiamente *aseptizable* por excelencia; pero no se puede utilizar siempre por causas económicas, etc., y por eso hay que recurrir a los tipos de construcción del país, eligiendo buenos materiales, cuidando mucho de que estén bien estudiados los proyectos y sea buena la construcción, e introduciendo las modificaciones oportunas en lo ya existente, de no

poder adoptar el tipo ideal de que hablamos, que fué lo que quiso hacer el Sr. Cortés Agulló con su notable obra ya citada, y es una de las labores más importantes de la célebre Comisión Imperial japonesa y aun la primordial por su indiscutible utilidad, bajo el punto de vista humanitario.

Bajo el nombre de *ligno concrete*, en Inglaterra, y en Italia con el de *legno cemento*, se ha comenzado a usar el hormigón asociado a la madera exclusivamente o a ésta y al hierro en alambres y clavazón especial (1), y en los países en que la madera o algo equivalente, como el bambú, bejucos y lianas muy resistentes y poco putrescibles abundan, quizá fuera fácil emplearlo con tanta baratura como resistencia contra la acción destructora de los terremotos, aun respetando la estética, como lo exigen de hecho muchos municipios, quizá no tan celosos en velar por la seguridad personal de sus administrados, tolerando se habiten edificios ruinosos y se construya sin las garantías suficientes de solidez, las que, naturalmente, se han de exigir mayores donde tiemble mucho y fuerte de donde la tierra merezca el epíteto de firme.

Las casas con armazón de madera, que tanto abundan en Portugal y en España, y a cuyo tipo más característico pertenecen casi todas las antiguas de Madrid, son notables por su resistencia sísmica, si bien propagan demasiado el sonido al través de muros y pisos, y también, por desgracia, el incendio, aunque nunca tanto como las casas japonesas de madera, ramaje y barro, con sus tabiques de cartón, *cajas de cerillas fosfóricas* como las apellidaba el célebre Milne, quien presenció

(1) Ing. M. A. Boldi, *Conferenza... sul... o Legno-Cemento*, Roma, 1912.



LAm. XX. El granero de la Hacienda de Tepetongo, poco después del terremoto de Acambay, que arruinó todos los edificios en las cercanías.

varios fuegos en Tokio, en los cuales ardieron más de un millar de casas, en cada uno, perdiendo una ocasión, por esta causa, casi toda su magnífica biblioteca sismológica. Cuando el terrible terremoto de Mino-Owari, del que varias veces nos hemos ocupado en la primera parte, el incendio que le siguió destruyó todas las 1.242 casas de Kasamatsu y 2.225 de las 5.852 que por entonces contaba Gifu (1).

Excusado parece el indicar que las construcciones de tierra (cajones de barro), o de *adobes* o ladrillos sin cocer, lo mismo que las cales malas, sobre todo si son dolomíticas y las arenas de *detritus* rocosos de todas clases, y no de granos de cuarzo, y en general todo material de escasa resistencia o fuerza adhesiva, según su finalidad, debe desecharse en todas partes, y con doblada razón en los países de alta sismicidad. El mismo barro, sin embargo, asociado a la madera, como lo hacen en el Miño (2), o a esta y a los bejucos, como en las casas de *bahareque* de Centro-América y de México, siempre que los insectos jilófagos no destruyan la armazón y se las vista por dentro y fuera, como suele hacerse con las un poco cuidadas con una capa de mortero y se las encale o pinte, constituye edificios muy resistentes, económicos y aun cómodos, por ser muy poco rápidos en su interior los cambios de temperatura, dada la poca conductibilidad del barro, al revés que le ocurriría a un edificio exclusivamente metálico, asísmico ciertamente, de estar siquiera medianamente proyectado y construido, pero ciertamente incomodísimo y tolerable sólo por necesidad.

(1) Montessus de Ballore, *La Science Séismologique*, 514.

(2) Prof. A. Bensaude, *Le tremblement de terre de la vallée du Tage*, 24.

CAPÍTULO XX

MOVIMIENTOS EXTRA-SÍSMICOS: Breve idea de algunos de los principales, atendida la utilidad práctica.—Instrumentos más especialmente destinados al estudio de estos movimientos: tromómetros.—Los motores de explosión, vapor, etc., y los edificios.—Los trenes y su estabilidad en función de la de los puentes por donde pasan.—Efectos que producen aquéllos en los edificios cercanos a la vía.

Los movimientos de origen extra-sísmico son también muy importantes por la influencia que ejercen sobre la estabilidad de las construcciones. Entre los más interesantes, bajo el punto de vista práctico, se cuentan los estudios realizados para determinar la influencia del funcionamiento de los motores sobre los edificios que los cobijen o se hallen en las cercanías, y también del paso de los trenes por puentes y viaductos sobre los mismos; y también sobre los edificios más cercanos a la vía.

Para estos estudios habremos de tomar otra vez por guía al eminente Profesor de Sismología de la Universidad de Tokio, Dr. Fusakushi Omori, continuador de los trabajos de sus iniciadores en esta Ciencia, el celeberrimo John Milne y el ilustre y veterano Profesor Ewing, a más de indicaciones tomadas de otras fuentes, y en particular de las Memorias del Príncipe B. Galitzin, cuya reciente muerte deplora la Sismología, añadiendo lo que nos sugiera la experiencia o el raciocinio.

Las exigencias de la vida moderna, a la vez que nos acostumbran a ciertas comodidades, que ya más que lujo se apellidan necesidad, nos exigen algunos sacrificios,

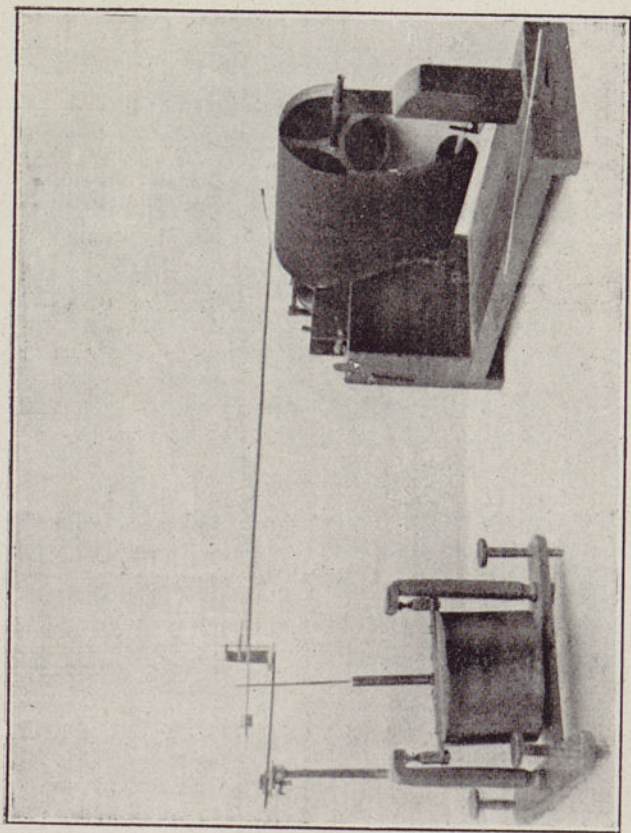
pequeños en general, para la colectividad, pero en manera alguna despreciables en casos particulares. El alumbrado eléctrico, por ejemplo, no puede darse sin motores, y éstos pudieran acarrear molestias y aun perjuicios de importancia, lo mismo que los trenes y tranvías, aun prescindiendo de los accidentes, y sólo considerando su funcionamiento más normal.

Una de las características del movimiento que los motores fijos comunican al suelo y a los edificios es la rapidez de su ritmo, casi siempre inferior a un segundo, y algunas a una décima y aun mucho menos, lo que hace al tal estremecimiento molesto y aun dañoso, con amplitudes harto escasas. Las otras características más principales son su regularidad y su duración, muy de ordinario de varias horas al día, cuando no es continua, o poco menos. Además, en las distancias muy cortas tiene en él la componente vertical gran preponderancia sobre las horizontales, al revés de lo que vimos ocurría con los verdaderos terremotos.

La rapidez de ritmo indicada hace que los edificios en conjunto se estremezcan, esto es, vibren, con el mismo período del motor, equivalente al número de vueltas que dé su volante en un tiempo determinado y sin tomar el suyo propio sino en casos excepcionales, por ser éste ordinariamente más elevado; no ha lugar, por consiguiente, el fenómeno de las resonancias que tanto puede aumentar las amplitudes de los movimientos si nos atenemos a los edificios en conjunto, aunque sí y mucho tratándose de vidrieras, cristalería y, en general, de los objetos pequeños y, por tanto, de rápido ritmo, ya cuando vibran, ya cuando se estremecen, sobre todo si no llegan a balancearse con cierta amplitud.

Las amplitudes pequeñísimas, casi siempre de milésimas o de centésimas de milímetro, rara vez de décimas, y sólo por excepción de un milímetro o más, excluyen entre los fenómenos que pueden producir estos movimientos artificiales al derribado, proyección y aun deslizamiento, de no tratarse de objetos pequeñísimos o de alguna circunstancia excepcional, en el último de los fenómenos citados. En cambio pueden producir fracturas (o sea grietas, rajadas, desprendimiento de yesones, etc.) y disgregaciones, aparte del abajamiento del terreno, con sus naturales consecuencias, de ser éste mueble, y peor todavía si se agrega a esta mala cualidad la de ser encima pantanoso, y también no debemos olvidar las molestias subjetivas causadas por el movimiento y sus consecuencias más perceptibles, cuales son estremecimiento del piso, muebles y objetos, y en particular de los más pequeños, los que, de estar muy cerca unos de otros, como se suele tener guardada la cristalería y la vajilla, los hace entrechocarse y también el temblor de las vidrieras, acompañados del ruido que producen y tal vez del propio del motor.

Fuera de este último ruido, evitable fácilmente por medio de amortiguadores en el piso y hasta en las mismas paredes de las habitaciones en las que resultase más molesto, para lo que bastaría algún buen aislador como el *linoleum* o el *ruberoïd*, unido, si fuese preciso, a una capa de serrín de corcho de un par de centímetros de espesor, queda el estremecimiento mucho más difícil de atenuar, y aun a veces casi imposible, el que, alcanzando a producir una máxima aceleración de 1 gal, resulta ya molesto, y cuando pasa de 2 gals, no sólo es muy penoso, sino que pudiera perjudicar a la misma estabilidad del edificio.



L.ÁM. XXI.—Tromómetro Cartuja pequeño modelo; $M = 5 \frac{1}{2}$ kgs. T. = 0,52 seg. — A entre 20 y 200 (los palancas). Receptor de 1,7 a 5,5 mm. por segundo.



Esas máximas aceleraciones se averiguan con bastante facilidad con el auxilio de instrumentos especiales, como el tromómetro Cartuja (1), por ejemplo, siendo las características principales de éstos la de ser transportables, poseer aumentos variables, y a veces considerables, y hallarse dotados de receptores de velocidad variable y siempre grande; esto es muy superior a la que suelen tener los receptores de los sismógrafos corrientes. En el modelo aludido, el peso total es de seis y medio kilogramos, el aumento puede variar, a voluntad, entre 35 y 250 veces y la banda receptora avanzar de 1,7 a 5,5 milímetros por segundo, siendo el aparatito de registro mecánico, sobre papel ennegrecido, de ordinario, aunque puede emplearse una pluma especial y tinta sobre papel blanco, para los aumentos inferiores a 50 veces. Con el primero de los registros indicados se obtienen fácilmente líneas de una finura tal, que con el auxilio de una buena lente se separan ondas hasta de 0,01 segundo de ritmo y aun más rápidas, así como amplitudes de bastante menos de media micra, utilizando el aumento máximo u otro cercano al mismo.

En Tokio emplea Omori un instrumento mucho más pesado (15 kgs.), y con aumento de 10 a 70 veces, con objeto de averiguar si las quejas que suelen presentar los que se creen molestados por el funcionamiento de los motores sitos en el vecindario son legítimos o no. Un agente se traslada con su instrumento al lugar donde dan las quejas, y obtiene el gráfico del estremecimiento, documento impersonal, el que medirán en la Estación Sismológica Central, y si la máxima aceleración iguala o

(1) Tromómetro Cartuja... *A. E. p. el P. de las C. (Congreso de Madrid, 1913), IV, 183-196, fig. 4.*

excede 1,7 gals, la queja está fundada, y los dueños del motor han de optar por hacerlo menos molesto, pagar una indemnización, trasladarlo o... pararlo; si no alcanza la cifra antedicha, los querellantes resultan demasiado quejumbrosos para ser buenos japoneses, y deben calmar sus nervios y tener paciencia, mientras se acostumbra, si no prefieren retirarse.

El radio perjudicial de estos motores fijos, con respecto a los edificios, no pasa de 75 a 100 metros como máximo, según el príncipe Galitzin, y la influencia de las componentes del movimiento varían mucho con la dirección y con la altura, y lo mismo que hay sectores de mínima agitación, a los que podíamos llamar de *reposo* o *espacios muertos*, es frecuente sean más sensibles las trepidaciones en algún piso alto, no muy apartado del motor, que en las inmediaciones del mismo.

Suponiendo que un motor hiciese estremecer un edificio o uno de sus muros, produciendo una máxima aceleración de 2 gals en la componente vertical del mismo, o sea de $\frac{1}{500}$ próximamente de la acción de la gravedad, el efecto sobre los cimientos de tal edificio, cuya presión fuese de 2.500 kilogramos por m², esto es, más bien pequeña, y correspondiente a unos dos o tres pisos, sería comparable a los golpes de un pisón de $p = \frac{2P\alpha}{g}$
= 102 kgs. de peso. Si el ritmo fuese de 0,6 segundo, los golpes habrían de repetirse 1,66 veces cada segundo y 10 si fuera de 0,1 segundo. Con cinco horas tan sólo de trabajo diario, al cabo del año resultarían 11 o 66 millones de golpes, a razón de 30.000 o 180.000 diarios, según el caso. De no ser muy sólidos los dichos muros, y resistente

el subsuelo, un semejante apisonamiento es muy probable produjese a la larga descensos irregulares de suficiente cuantía para producir grietas peligrosas, sin contar con los efectos de las componentes horizontales, y aparte de las molestias consiguientes a semejante traqueteo. Estas últimas pueden ser grandes, aun a largas distancias y tratándose de pequeños motores, ya que el profesor Omori (1) pudo comprobarlas como realmente molestas en un local distante 87 metros de otro donde se hallaba instalado un motor de petróleo de 10 caballos, y la máxima aceleración absoluta (0,24 seg. de periodo, 34 μ de amplitud) no excedía de 2,36 gals.

Cuando las amplitudes son excesivamente pequeñas (fracciones de micra), parece reducirse el efecto producido por las mismas máximas aceleraciones, a la manera de lo que vimos ocurría con el derribado, el que exige una cierta amplitud mínima relacionada con las dimensiones absolutas del objeto. Eso debe, principalmente, depender de no exceder los límites de la elasticidad de las partículas que integren los objetos (pilares, muros, etc.), aunque fuerza sea el confesar que estos fenómenos tan interesantes, aun bajo el punto de vista del interés material, están aún muy poco estudiados, a pesar de que estas investigaciones son relativamente fáciles y no exigen grandes dispendios.

Omori ha estudiado con gran exacción los movimientos propios de los vagones de ferrocarril, valiéndose, sin embargo, de instrumentos sin amortiguador y con rozamientos enormes, que en manera alguna le reemplazan, así es que los resultados que da solo pueden admitirse

(1) *Publications...* N° 18,7.

como una primera aproximación, susceptible de grandes mejoras, aun con los medios actuales. Como los trabajos de este sabio son muy interesantes y las publicaciones japonesas en las que aparecen no muy conocidas, daremos un extracto de sus conclusiones, y haremos lo mismo al tratar de los efectos producidos en los puentes al paso de los trenes.

Los movimientos en sentido vertical dependen en gran manera de las conexiones de unos railes con otros, esto es, de las *juntas*, y su máximo ocurre cuando la velocidad es de unos 50 kilómetros por hora, decreciendo la amplitud con velocidades superiores, hecho este último, sin embargo, que se nos ofrece muy discutible, puesto que en el mismo trayecto recorrido con pocos días de intervalo, la vez primera a razón de unos 90 kilómetros por hora y la segunda con casi 120 para corregir hasta cierto punto un retraso, que vaya si los hay, aun en circunstancias normales, allende los Pirineos, sentimos la segunda saltos mucho más violentos, los más fuertes que recordamos, a pesar de haber recorrido bastantes líneas, tanto en España como en otros países de Europa, y casi siempre con velocidades muy inferiores.

El estremecimiento de abajo arriba que se experimenta al paso sobre los puentes es el mismo que se siente al recorrer los terrenos subyacentes. Las curvas y los cambios de vías no influyen de una manera marcada sobre el dicho estremecimiento, el que puede medir más de 15 milímetros de amplitud, lo que, con el período observado de 0,22 segundo da una máxima aceleración de 1220 gals, esto es, muy superior a la de la gravedad. Semejante moción vertical puede producir descarrilamien-

tos si concurren otras circunstancias, como un fuerte vendaval, alguna curva de poco radio, etc.

Respecto a las vibraciones o vaivenes laterales, las conclusiones de Omori son las siguientes:

I. El efecto de las juntas es imperceptible.

II. La amplitud es pequeña cuando el tren camina despacio, y crece con rapidez cuando su velocidad excede a 35 kilómetros por hora.

III. La vibración durante el paso por los puentes es un 30 por 100 mayor que cuando se atraviesa por los terrenos adyacentes. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que nunca alcanza la moción sobre los puentes la considerable amplitud que con tanta frecuencia se observa cuando la vía está tendida sobre llanuras de tierra blanda y el tren pasa a toda máquina.

IV. La desviación o choque producido al entrar o salir en una curva, es directamente proporcional a la velocidad e inversamente al radio de la dicha curva, pudiendo la dicha desviación medir más de $7 \frac{1}{2}$ centímetros.

V. El efecto producido por los cambios de vía es con frecuencia tan marcado como el que producen las curvas.

VI. El movimiento se compone esencialmente de dos clases de vibraciones, cuyos períodos son, respectivamente, de 0,7 a 0,8 segundo y alrededor de 1,5, con máximas aceleraciones observadas de 214 y 137 gals, respectivamente, las que corresponden a amplitudes de unos 25 y 78 milímetros.

De aquí resulta lo que al comienzo de esta obra indicábamos que los saltos y vibraciones verticales que se experimentan en el tren, cuando los cruces de vía exce-

den con mucho el valor de la componente vertical en los sismos más destructores que jamás se hayan sentido, siendo la influencia del suelo tan considerable, como para experimentarse unas cuatro veces más fuerte al pasar por un suelo blando y sin consistencia, que si éste fuese duro y compacto. En cuanto a los movimientos laterales, los que se experimentan, por ejemplo, en algunas curvas de la línea de Tokaido, son muy semejantes a los experimentados en Nagoya cuando el terrible sismo de Miño-Owari, tantas veces mencionado. Por consiguiente, al recorrer el tren a toda máquina semejantes curvas, sobre llanuras de terreno muy poco firme y durante un tiempo lluvioso y huracanado, gracias a las dichas vibraciones y a los saltos que antes mencionamos, podría volcarlo o hacerle descarrilar el viento con menos de la mitad de la presión que necesitaría, de estar parado el convoy, de donde se deduce la conveniencia de las curvas de gran radio, de las juntas muy bien hechas, sin resaltos, y de las velocidades reducidas al pasar por los puntos peligrosos.

El estudio de las deflexiones de los puentes de ferrocarril es muy interesante, puesto que permite averiguar su resistencia relativa y por comparación la forma más apropiada que pueda dársele, asociando a la vez la resistencia y la economía con el juicioso repartimiento del material empleado; además indican los cambios producidos por la acción del tiempo, repetición de cargas, etc. Otra circunstancia pudiera tal vez presentarse y fué la que motivó las experiencias llevadas a cabo por Omori durante los años de 1899 y 1900 en 11 puentes; éstos se calcularon para el tránsito de convoys muy ligeros, cuando ya en la época aludida el paso de las locomotoras ha-

bía triplicado, habiéndolas ya de más de 60 toneladas (hoy habría que contar tal vez con las de 250 a 300), y si los nuevos trenes tenían que pasar por los mismos sitios, era lo más natural el probar si los puentes no se flexionaban demasiado, indicando un peligro probable, lo que hubiera obligado a reforzarlos y aun reconstruirlos.

La *deflexión* constituye el descenso, en sentido vertical, del puente al paso o permanencia sobre el mismo de una locomotora, vagones, etc., mientras que las *vibraciones* son los movimientos de ritmo rápido producidas por el dicho paso o por otras causas. Estas vibraciones pueden ser de arriba abajo o *verticales*, en el sentido de la anchura del puente o *transversales*, o en el de su longitud o *longitudinales*. Su amplitud aumenta con la rapidez del tren y es nula a poco de pasado éste. La *deflexión* aumenta también con la rapidez de marcha, puesto que al natural *pandeo* producido por el paso de la locomotora, etc., hay que agregar la amplitud de las vibraciones de abajo arriba.

Los períodos vibratorios propios de los puentes (provocados por los vientos fuertes, hombres al pasar, etc.) son tanto mayores, relativamente, cuanto menos sólidos son éstos; así, por ejemplo, en los tramos de 60 metros de un puente sobre el Ibi-gawa era de 1,06 segundos, mientras que otros, de iguales dimensiones del del Ishikari-gawa, daban 0,87 segundos, de acuerdo con los 73 milímetros de amplitud de los movimientos del primero al paso del mismo convoy que daba 5,0 mm. al pasar por el segundo, resultando la máxima aceleración de unos 26 gals en ambos casos. (VIII, F. M.)

La deflexión máxima observada por Omori fué de 19 milímetros, mientras que por término medio resultó de

unos 9 mm. y en algún caso de solos 5 mm. Las vibraciones verticales variaron entre 5,2 mm. y 0,8 mm. y su cuantía, como las de las deflexiones, pueden admitirse como testimonio de la mayor o menor seguridad que ofrezca el puente.

Los movimientos longitudinales son menos importantes; no así los transversales observados por Omori con máximas hasta de 3,7 milímetros de amplitud por 0,9 segundos y 1,3 mm. por 0,22, lo que da aceleraciones de 18 y 98 gals, correspondientes a terremotos violentos y destructores. Esas vibraciones deben aumentar muy notablemente al soplar de lleno sobre el puente un viento huracanado, en el caso de ser enteramente metálico o casi y coadyuvar poderosamente a que se produzcan catástrofes, como la acaecida en un tren de la Compañía Nippon al atravesar por encima del río Hoki (Hoki-gawa) el 7 de Octubre de 1899, en la que varios vagones atestados de viajeros se precipitaron en sus aguas, con muy numerosas víctimas.

Terminaremos esta rápida reseña indicando que los mismos pilares de los puentes, aun los de piedra, ladrillo u hormigón armado, vibran y se inclinan al paso de los trenes (11" en un pilar bastante sólido, p. ej.), y que es notable, por lo brusco y amplio de la oscilación, el efecto producido por las *paradas de pronto*, las que, de hallarse en mal estado los puentes, pudieran tener fatales consecuencias.

El paso cercano de los trenes puede ser altamente perjudicial a los edificios construidos sobre suelo movedizo o al menos poco consistente, y aun los mismos tranvías pudieran no resultar inocuos en casos especiales. Conocemos un ejemplo de lo primero bien palpable acaecido

ha ya bastantes años en las afueras de Málaga en un sitio donde los estremecimientos producidos por el paso de los trenes eran molestos aun a unos 200 metros de la línea férrea, y originaron a la larga tales grietas en los muros de una casa de campo, edificada sobre el terreno que allí apellidan de *bugeo*, que hubo que trasladarla a otro sitio menos desfavorable.

CAPITULO XXI

La Asociación Sismológica Internacional y sus reuniones.—Sociedades y publicaciones sismológicas.—Las Estaciones Sismológicas de la Compañía de Jesús —La Sismología en España y en la América latina.

Como hemos podido ver en la rápida ojeada que acabamos de dar a la Sismología, el interés que despierta esta ciencia se debe, no sólo al que en sí encierran los variados problemas geofísicos, cuya clave se halla en los sismogramas, sino más bien al de sus aplicaciones en el orden que pudiéramos llamar humanitario, de las que se deducen utilísimas conclusiones, cuya juiciosa realización ha de disminuir considerablemente los luctuosos efectos de los terremotos destructores, uno de los más terribles azotes de la Humanidad. Ese interés motivó la formación de una Asociación Internacional de Sismología y la de varias sociedades importantes.

La primera, que en estos momentos padece tremenda crisis, quizá de fatales resultados por la titánica lucha que empuja unas naciones contra otras y todas las arrastra a la ruina, fundóla en 1903 el veterano profesor de la Universidad de Estrasburgo, Dr. G. Gerland, quien desarrolló e hizo adoptar los planes que su temprana muerte (31 años) impidiera llevar a cabo al Dr. E. Von Rebeur-Paschwitz y que ya propuso este sabio eminente en el Congreso Geográfico de Londres de 1899. La Ofici-

na Central, sita desde sus comienzos en Estrasburgo, se hallaba a cargo del profesor Dr. O. Hecker y formaban parte de la Asociación los países siguientes, cada uno con su delegado especial: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Canadá, Chile, España, Estados Unidos, Francia, Grecia, Inglaterra, Italia, Holanda, Hungría, Japón, México, Portugal, Rumania, Rusia, Serbia y Suiza, siendo el presidente el Príncipe B. Galitzin; el vicepresidente, Mr. G. Lecoq, director del Observatorio de Uccle-Bruselas, y el secretario general inamovible (ese título, o mejor perpetuo, tenía), el profesor Dr. R. de Kövesligéthy. Después de su fundación definitiva ha tenido varias *Asambleas*, y a más de las dos primeras previas en Estrasburgo (1900 y 1903), se han celebrado en Roma (1906), el Haya (1907), Zermatt (1909) y Manchester (1911), publicándose muy notables actas (*Comptes rendus*). La última debió celebrarse en San Petersburgo (Petrograd), precisamente en el mismo mes en que estalló la conflagración europea o, mejor dicho, mundial. A la Asociación Internacional se le debe, si bien indirectamente, la fundación de más de la mitad de las 280 estaciones sismológicas hoy existentes, repartidas por todo el orbe, y a su Oficina Central algunas publicaciones notables.

Otra asociación sismológica muy poderosa y tan extendida que no cuenta con menos de 60 estaciones, que pudiéramos llamar propias, que las correspondientes son también muy numerosas, es la que creó con su pujante iniciativa el famoso profesor J. Milne, auxiliado por la Asociación Británica (Inglesa) para el Adelanto de las Ciencias, dotándola con su péndulo. Al fallecimiento de Milne, el profesor H. H. Turner de Oxford y el célebre

profesor John Perry, de Londres, en otro tiempo colega de aquel sabio en el Japón, se han puesto al frente del servicio sismológico inglés, de carácter puramente privado, pero no por eso menos floreciente, continuando, sin embargo, al frente de la información macrosísmica el Dr. C. Davison de Birmingham, quien desde hace años se dedica con gran aplauso a esos estudios, y ocupando la Dirección del Observatorio Sismológico Milne en Shide (Isla del Wight), Mr. H. H. Burgess, colaborador primero y actualmente continuador de parte de la labor del gran sismólogo inglés.

En los Estados Unidos y en el Canadá el P. Federico L. Odenbach, S. J., ha logrado se instalen 16 estaciones sismológicas en otros tantos Colegios a cargo de la Compañía de Jesús, las que, unidas a las existentes en La Habana, La Paz (Bolivia), Manila y sus sucursales El Mirador, Taal y Butuán, Riverview-Sydney (Australia), Stonyhurst (Inglaterra), Tortosa, Zi-ka-wei (China), Ksara (Siria, evacuada eventualmente por la guerra) y Cartuja (Granada), forman un total de 28 estaciones sismológicas, o sea el 10 por 100 de las existentes, a cargo de la orden religiosa más calumniada y perseguida, aun a nombre del progreso material y de la ciencia, y a la que Nuestro Señor en Su Infinita Misericordia se ha dignado incorporarnos.

Entre las Sociedades Sismológicas particulares, después de refundida en su organismo oficial la tan célebre del Japón, descuella por su antigüedad, a pesar de datar tan sólo de 1894, la Italiana, cuya importancia habrán podido apreciar algo nuestros lectores por las muchas veces que hemos citado su *Bolletino*, y aunque muchos más recientes, y tanto, que se fundaron respectivamente

en 1911 y en 1912, la Norte-Americana y la Sud-Andina prometen opimos frutos. Entre las oficiales, las publicaciones de la Comisión sísmica permanente y del Instituto Central de Física Nicolás, rusas, con trabajos de sismólogos tan notables como Levitzki, Orlov, Rosenthal, Wilip... y más aún del Príncipe B. Galitzin y las del Comité Imperial japonés no tienen hoy rival por la brillantez y solidez de las comunicaciones y también por lo espléndido de los gráficos y reproducciones, siendo las de la última citada, en particular, simplemente admirable. Muy buenas son también las publicaciones del Instituto Geológico de México y del Servicio Sísmico de Chile y las de algunos países europeos, entre los que descuella Alemania, con los *Beiträge zur Geophysik*, órgano oficial de la Estación Central de Estrasburgo, Austria con las de la Academia de Ciencias, de Viena... y en muy buen lugar nuestro vecino Portugal con sus *Communicações* y otras publicaciones nada vulgares.

En la América latina poseen una organización completa la Argentina, Chile y México. En este último, a más de la magnífica Estación Central de Tacubaya y de otras de primer orden en Mazatlan, Mérida y Oaxaca, hay varias otras secundarias y numeroso personal, hallándose esta red a cargo del distinguido Profesor D. Juan B. Aguilera, antes de los sucesos que tienen sumido en la desgracia un país que con fe y orden sería tan feliz y poderoso. En Chile, el Conde de Montessus de Ballore ha montado una excelente estación en Santiago y otras menos completas, pero muy suficientes para su objeto, en Copiapó, Osorno, Punta Arenas y Tacna, además de muchas de tercer orden. Cuba cuenta con la de la Habana; Puerto Rico con la estación de la isla de Vieques; Fran-

cia tiene dos en la Martinica, y la *British Association* una en la isla de la Trinidad y otras en Pilar (Córdoba), Lima y Arequipa. El Ecuador cuenta con la de Quito; el Brasil con la de Río Janeiro, y el Salvador y Guatemala con las de sus capitales respectivas, y lo mismo Bolivia, con la de La Paz, y Haití con la de Puerto Príncipe.

El Servicio Oficial español se halla a cargo del excellentísimo Sr. D. Eduardo Mier y Miura, Coronel de Ingenieros, de la Real Academia de Ciencias y delegado español en la Asociación Internacional. La *Red oficial* cuenta con una Central espléndidamente montada en Toledo, y seis estaciones secundarias, de las cuales las de Alicante, Almería y Málaga funcionan ya. Hay también buenas instalaciones en los Observatorios de Marina (San Fernando), y en el de Fabra (Barcelona), y en el Villa Urania, del Sr. Comas Solá, también en dicha ciudad, así como en el del Ebro (Tortosa). En Cartuja (Granada) existe una Estación Sismológica, instalada en 1902, y que desde 1908 funciona con instrumentos ideados y contruídos en sus talleres, a la vez que contribuye con su granito de arena al progreso de las Ciencias, con la publicación mensual de un *Boletín*, y la muy frecuente (pasan ya de 75) de memorias, notas y contribuciones a Congresos científicos, tanto en castellano como en francés, y sobre todo, con recoger y publicar a la mayor brevedad todo lo referente a terremotos sentidos en España, como lo ha hecho de 1909 a la fecha con 450, además de más de 75 entre canarios y marroquíes.

Al terminar aquí el tosco y brevísimo esbozo que acabamos de hacer, con algo de lo mucho relacionado con un sólo fenómeno de la Naturaleza, cual es el *terremoto*, deseamos que el lector saque algo de provecho práctico,

y más aún, un sentimiento de gratitud hacia el Autor de tantas maravillas, que a cada paso nos invita a que Le amemos, lo mismo cuando nos solaza con las encantadoras bellezas de plácida alborada, que cuando nos aterra con las espantosas convulsiones de la Tierra...

A. M. D. G.

INDICE DE MATERIAS

	Páginas.
PRÓLOGO.....	1-6
Primera parte: los Terremotos.	
CAPÍTULO I.— <i>El movimiento sísmico estudiado en sí mismo: Amplitud y período.—Máxima aceleración.—Duración y carácter.....</i>	7-24
» II.— <i>El movimiento sísmico estudiado en sus efectos: (α) Sobre el terreno (geológicos).—Áreas macrosísmica y pleitosista.—Desviaciones laterales.—Compresiones seguidas de hundimientos o de elevaciones.—Eyecciones, deslizamientos, rajadas.</i>	25-33
» III.— <i>El movimiento sísmico estudiado en sus efectos: (β) Sobre los edificios y objetos en general.—Derribado, resbalamiento, proyección, fractura y rajado, disgregación.</i>	34-47
» IV.— <i>Escalas sísmicas de Forel-Mercalli-Cancani y de Sieberg.....</i>	48-58
» V.— <i>Temblores submarinos.—Escala de Rudolph.—Fenómenos acústicos.—Escala de Knett.—Tipos de Davison.—Interrogatorio de Cancani.....</i>	59-64
» VI.— <i>Causas de los terremotos.—Isosistas.....</i>	65-70
» VII.— <i>Cálculo de algunos elementos sísmicos.—Coeficiente de absorción.—Profundidad hipocentral: procedimiento Kövesligéthy-Jánosi.—Curvas de intensidad y absorción.—El trabajo producido por un terremoto.....</i>	71-89

CAPÍTULO VIII. — <i>Periodos sísmicos.</i> — Tipos de Cancani. — Hipérbola de Omori. — La predicción de los terremotos en la actualidad.....	90-97
» IX. — <i>Algunos datos de Geografía Sísmica.</i> — Trabajos del Conde de Montessus de Ballore. — Datos macrosísmicos.....	98-101

Segunda parte: los Sismógrafos.

CAPÍTULO X. — <i>Estudio instrumental de los terremotos:</i> Teoría del Sismógrafo. — El amortiguamiento. — Registros magneto-fotográfico, fotográfico y magnético. — Señales horarias.....	103-121
» XI. — <i>Péndulos verticales.</i> — Sismógrafo Brassart. — Microsismógrafo Vicentini. — Péndulos verticales Cartuja y San Calixto. — <i>Péndulos horizontales.</i> — Omori-Bosch. — Mainka. — Cartuja. — Milne. — Milne-Saw y Milne-Burgess. — <i>Péndulos invertidos:</i> Péndulo astático de Wiechert. — <i>Registro magnético-fotográfico.</i> — Péndulo horizontal Galitzin.....	122-137
» XII. — <i>Componente vertical:</i> Generalidades. — Componentes verticales Vicentini, Wiechert y Galitzin. — Tacos Galitzin. — <i>Mareógrafo portátil de Honda</i>	138-146
» XIII. — <i>El sismograma:</i> Generalidades. — Signos internacionales. — División en fases.....	147-153
» XIV. — <i>Cálculo de la distancia epicentral:</i> Trabajos de Omori, Wiechert y sus discípulos. — Algunas fórmulas. — <i>Hora del terremoto.</i>	154-162
» XV. — <i>Determinación del epicentro:</i> (A) Con datos de tres o más estaciones: Milne y Omori. — Rosenthal y Klotz. — Rudolph y Szirtes. — (B) Con datos de una sola estación: Galitzin. — <i>Dimensiones de la falla:</i> ensayos de Rosenthal. — <i>Profundidad del foco:</i> método Comas Solá.....	163-176

CAPÍTULO XVI.—Procedimiento del Príncipe B. Galitzin para calcular el trabajo producido por un terremoto.—El coeficiente de absorción en los telesismos.....	177-182
» XVII.— <i>Estudio de las ondas sísmicas.</i> —Algunas nociones sobre la elasticidad.—Trabajos de Nagaoka, Kusakabe, Adams y Cooker y Oddone.—Velocidad de traslación de las ondas sísmicas.....	183-204

Tercera parte: los Edificios.

CAPÍTULO XVIII.— <i>Estudio de la resistencia sísmica de los materiales de construcción:</i> El Coronel Mardel-Milne-Omori.—Cálculos y reflexiones.....	205-217
» XIX.—Algunos consejos sobre la elección del sitio.—Construcciones sísmicas, penesísmicas y asísmicas.—El hormigón armado.—Otros tipos de edificios.....	218-225
» XX.— <i>Movimientos extra-sísmicos:</i> Breve idea de los principales, atendida la utilidad práctica.—Instrumentos más especialmente destinados al estudio de estos movimientos: tromómetros.—Los motores de explosión, vapor, etc., y los edificios.—Los trenes y su estabilidad en función de los puentes por donde pasan.—Efectos que producen aquéllos en los edificios cercanos a la vía.....	226-237
» XXI.—La Asociación Sismológica Internacional.—Sociedades y publicaciones sismológicas.—Las Estaciones sismológicas de la Compañía de Jesús.—La Sismología en España y en la América latina.....	238-244

Índice de láminas y figuras intercaladas.

LAMINAS

	Págs.
I.—Ruinas de Avezzano.....	Portada.
II.—Desviación lateral (<i>a</i>) y falla (<i>b</i>) (terr. de San Francisco Cal.)	29
III.—Despedazamiento del terreno (terr. de Acambay) ...	30
VI.—Desprendimientos (idem).....	31
V.—Iglesia de Aquilpa (terr. de Chilapa).....	45
VI.—Angulo de la Plaza Cavallotti (terr. Messina).....	46
VII.—Cruce de la Via Cavour con la de Istria (idem).....	46
VIII.—Mapa sísmico mundial	99
IX.—Cartuja vertical.. ..	127
X.—Cartuja bifilar.....	130
XI.—Wiechert	134
XII.—Componente vertical Cartuja (modelo de demostración)	138
XIII.—Sismograma del terremoto de Tetuán del 27-X-1910.	} 153
XIV. » » » Ibérico del 23-IV-1909 ...	
XV. » del S. del Japón 15-VI-1911.....	
XVI.—Gráfico para el cálculo de la distancia epicentral ...	160
XVII.—Mesa de experiencias de Mano (<i>a</i>) y experimentos de flexión de Omori (<i>b</i>)	206
XVIII.—Almacenes destruidos por defectos de construcción (Kagoshima 12-I-1914).....	221
XIX.—Efectos del incendio y del terremoto (S. Francisco Cal.).....	223
XX.—Edificio que resistió al sismo de Acambay, que arruinó a todos los que le rodeaban	225
XXI.—Tromómetro Cartuja.....	229

FIGURAS (esquemas).

<u>N.º</u>	<u>Págs.</u>
1.—Ángulo de emergencia	12
2.—Derribado	35
3.—Fractura	42
4.—Producción de rajás	44
5.—Isosistas del terremoto de Avezano (Dr. G. Martinelli).	86
6.—Péndulo esquemático (Wiechert)	104
7.—Principio de la masa estacionaria	106
8.—Sismógrafo Brassart	124
9.—Porción multiplicadora-inscriptora de un microsismó- grafo Vicentini	125
10.—Péndulo horizontal	128
11.—Idem id. Milne	133
12.—Tacos Galitzin	144
13.—Mareógrafo Honda	145
14.—Determinación del epicentro de un terremoto por el procedimiento estereográfico	167
15.—Idem por el del Príncipe Boris Galitzin	170
16.—Procedimiento Comas Solá para determinar la profun- didad epicentral.	174
17.—Aparato Oddone para el estudio del módulo de elasti- cidad	194

ERRATAS ADVERTIDAS

Págs.	Líneas.	Dice.	Debería decir.
12	28	α	α_0
37	19	<i>sky scraper</i>	<i>sky scrapers</i>
40	15	de los	de las
42	1	pesoes	peso es
43	20	$= \frac{4}{3} \pi_0^4$	$= \frac{4}{3} \alpha_0^4$
44	21	enun	en un
45	Nota	Earthguake	Earthquake
48	16	ultmos	ultimos
»	17	-- lento al sismo	-- lento siempre al sismo
57	24	<i>baharique</i>	<i>bahareque</i>
68	6	alcanza	alcanzan
104	13	principales <i>componentes</i>	principales, o <i>componentes</i>
107	3	mecanisco	mecanismo
118	11	$\times 1,44 \times 10_4$	$\times 1,44 \times 10^4$
119	16	también clisés	también obtener clisés
120	27	en señales	a señales
123	1	que mas nos	que cuando mas nos
124	Nota	y lo segundo el	y lo segundo de
125	»	I microsmografi	I microsismografi
126	6	-- pendidade	-- pendida de
»	13	dos (una por	dos horizontales (una por
»	16	a les	a las
127	16	mismo período	mismo período y masas de 1500 a 2000 kilogramos
131	14	e te	este
135	Nota	-- <i>nometrice</i>	-- <i>nometrische</i>

Págs.	Líneas.	Dice.	Debería decir.
139	3	exige 9	exige 9 metros
»	Nota	demonstration	démonstration
141	17	$3,5 \times 10^2$	$3,5 \times 10^{-2}$
»	25	al fin	el fin
144	2	varilla.	varilla,
149	14	, o designándose	, designándose
151	Nota	<i>Erdebenberichte</i>	<i>Erdbebenberichte</i>
»	»	<i>Göiingen</i>	Göttingen
154	20	$> 300 < 600$	$> 300 < 660$
159	Nota	cines	eines
168	8	el gráfico	(*)
178	12	Mg Δ	MgD
180	11	$\Sigma \left(\frac{x^N}{T} \right)^2 t =$	$\Sigma \left(\frac{x^N}{T} \right)^2 t =$
183	Epigrafe	Cooker	Coker
184	13	E'	E_1
186	3	$\frac{\sigma}{(1 + \sigma) 1 - 2\sigma}$	$\frac{\sigma}{(1 + \sigma) (1 - 2\sigma)}$
107	Nota	(**) (*)	(*) (**)
195	2	reformable	deformable
204	3	C. g. S.	C. G. S.
210	31	cargas ni aberturas	cargas, ni aberturas
240	27	en su	en un

(*) Se omitió la reproducción del gráfico aludido por resultar confuso, de no darle dimensiones excesivas para que figurase en esta obrita.

(**) También omitido el mapa sísmico de España, (p. 100) al ver lo endeble de los fotogramas, que el autor hubiera deseado mucho mejores, sobre todo los de dos de los sismogramas, retocados sin necesidad (ni autorización y por cierto muy mal). Se han dejado por resultar muy oneroso el encargarlos de nuevo.



