

30 de Junio de 1887.

Sr. D. Juan Martín.

Balmarte y Pedro Conde
Cadiz.

Adjunto remito a' od caso
cubierta de tres capas que trae
el vapor inglés Galicia y que
contienen Sismografos y una
linterna para que a la llega-
da de aquel las despache y
remite a este Observatorio co-
mo de costumbre.

Edita y Comercializa

Centro Nacional de
Información Geográfica

Oficina central:
Monte Esquinza, 41
28010 MADRID

Comercialización:
General Ibáñez de Ibero, 3
28003 MADRID
Teléfono: +34 91 597 94 53
Fax: +34 91 553 29 13
e-mail: consulta@cnig.es
<http://www.cnig.es>



30 de Junio de 1887.

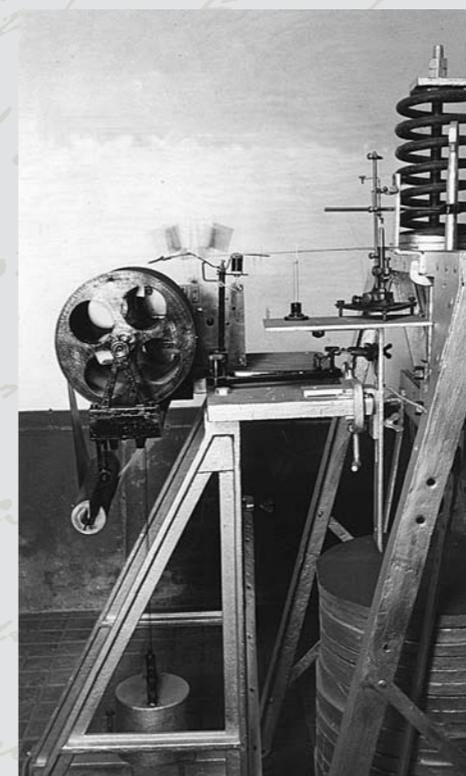
Sr. D. Juan

Balmarte y

CATÁLOGO INVENTARIO



DE SISMÓGRAFOS ANTIGUOS ESPAÑOLES



CATÁLOGO-INVENTARIO DE SISMÓGRAFOS ANTIGUOS ESPAÑOLES

CATÁLOGO
INVENTARIO
DE
SISMÓGRAFOS
ANTIGUOS
ESPAÑOLES



MINISTERIO
DE FOMENTO

DIRECCIÓN GENERAL
DEL INSTITUTO
GEOGRÁFICO
NACIONAL

© Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.

Diseño de cubierta, fotomecánica y maquetación:
Subdirección General de Producción Cartográfica
Servicio de Edición y Trazado (Preimpresión digital).

Impresión:
Taller de Litografía de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.

ISBN: 84-96363-54-6

NIPO: 162-04-011-2

Depósito legal: M-26489-2004

Desde el punto de vista sismológico, la península Ibérica y su entorno constituyen una zona geográfica de gran interés; tanto por la particular disposición y movimientos relativos de las grandes placas tectónicas (euroasiática y africana) y fallas que intervienen en la génesis de los terremotos como, por supuesto, por las derivaciones prácticas de los estudios científicos sobre la materia, especialmente en lo referente a peligrosidad e ingeniería sísmica.

Desde finales del siglo XIX, en épocas muy tempranas de la Sismología Instrumental, distintas instituciones científicas de nuestro país (Observatorio Astronómico Nacional, Observatorio de la Armada de San Fernando, ...) instalaron los primeros equipos para el registro de los movimientos sísmicos y comenzaron a trabajar en el análisis e interpretación de los datos así adquiridos. Y ya en el primer tercio del siglo XX, una institución española, el Instituto Geográfico Nacional (IGN), a través de su red de observatorios geofísicos, constituía la Red Sísmica Nacional y se responsabilizaba de los trabajos de caracterización sísmica de nuestro territorio.

En la actualidad, España, a través del IGN, dispone de una Red Sísmica Nacional (RSN) que, tecnológicamente, es una de las más avanzadas del mundo, y con la que se prestan los servicios nacionales de alerta sísmica y de zonificación y cartografía de la peligrosidad sísmica del territorio nacional. Al tiempo, otras instituciones españolas han desarrollado e instalado redes locales (Cataluña, Andalucía, zona del Estrecho, ...) más orientadas a la realización de trabajos de investigación científica, aunque la fuente principal de datos no puede ser otra que la RSN.

En este ya largo recorrido de la Sismología Experimental española, se ha ido acumulando una muy apreciable y valiosa instrumentación científica antigua que marca la historia del Instituto Geográfico Nacional y sus antecedentes. Instrumentación que, por ello, debe conservarse y darse a conocer como testimonio del esfuerzo y logros alcanzados por aquellos que sentaron las bases y construyeron lo que ha llegado a ser la magnífica Red Sísmica Nacional, un servicio público con trascendencia no sólo científica sino, muy especialmente, social. Por eso, y como primer paso, era necesario publicar este *Catálogo-Inventario de sismógrafos antiguos españoles* en el que se relacionan y describen técnicamente los equipos de este tipo utilizados por las distintas instituciones españolas, en unas u otras épocas, a lo largo de estos últimos más de cien años de servicio constante y de mejora continua.

ALBERTO SERENO ÁLVAREZ
Director General
del Instituto Geográfico Nacional

Agradecimientos

La realización de una recopilación que sirva como un inventario y a modo de catálogo de antiguos sismógrafos como el aquí presentado deviene imposible sin la colaboración de muy diversas personas e instituciones que facilitan el trabajo y el acceso a las fuentes de información en diverso grado. Es, pues, de justicia agradecer a todos su colaboración.

Primeramente, a todo el personal del IGN por su interés y continua ayuda en la realización de este trabajo. En concreto, a José Antonio Canas, ex-Director del IGN por facilitar el acceso a toda la información en manos de esta institución. A Francisco Vidal, que desde su cargo de Subdirector General de Geofísica y Geodesia siguió muy de cerca la realización de este trabajo, exigió la máxima calidad y puso los medios para que pudiera obtenerse. También al personal del IGN que colaboró directamente en al búsqueda de la información. Muy especialmente a Juan Rueda, Emilio Carreño y José Manuel Martínez-Solares que colaboraron en esta búsqueda en la Subdirección General de Geodesia y Geofísica. A Juan Galán en el Observatorio Astronómico de Madrid. A Eliseo Ruiz y Ana María Gómez Menor, del Observatorio de Toledo. A Ricardo Pastor, del Observatorio de Alicante. A Francisco Céspedes, Santiago Jiménez y Felipe Díaz en el Observatorio de Almería, a M. José Blanco y Benito Casas del Centro Geofísico de Canarias y a Antonio Henares del Observatorio de Málaga.

También, al personal de los demás observatorios y estaciones sísmicas históricas de España. En especial a Gerardo Alguacil y José Morales del Observatorio de Cartuja. A José Martín Dávila, José Prian, Antonio Pazos y Francisco José González del Observatorio de San Fernando. A Luis Felipe Alberca y María Genescà del Observatorio del Ebro. Y a Teresa Susagna y Marta González del Observatorio Fabra.

Finalmente a Joan Mirò de la Universitat de Girona por su ayuda en la investigación sobre los sismógrafos que funcionaron en Girona y Olot. A Agustín Udías de la Universidad Complutense de Madrid, que localizó fotografías de sismógrafos de Cartuja. A Fernando Rodríguez de la Torre por la información sobre sismoscopios y a Carme Hervada de la Universidad Politécnica de Cataluña en Terrassa, que localizó información.

La parte principal de este trabajo se realizó a través de la concesión de una asistencia técnica al autor siendo este profesor de la Escola de Ciències Empresarials de la Fundació Universitaria Dr. Manyà. Por eso debo también agradecer a Joan Josep Malràs, Josep Costa (*in memoriam*) y M. José Cantò su colaboración en la gestión administrativa del proyecto.

Por último queremos dedicar este libro a todos los que en España dedicaron su esfuerzo en el desarrollo de estos equipos o en el mantenimiento de los mismos.

JOSEP BATLLÓ

Observatori de l'Ebre, 15 de abril de 2004

Summary

The main objective of this publication is to perform a census (as complete as possible) of seismographs formerly operated in Spain. To fulfil this goal, a new and exhaustive catalogue of old seismographs operated at Spanish observatory sites has been elaborated and is presented here. It has been intended to be useful mainly for researchers dealing with old data and seismograms recorded by such kind of instruments and, also, for scholars and historians. The presented catalogue summarises more than one hundred and seventy instruments and includes recording sites up to now forgotten. As a result, the beginning of instrumental seismology in Spain shows now a much more lively and complex process than expected before.

Catalogue elaboration

The first step in the elaboration of a catalogue of seismic instruments is to define the objectives and contents. We limited ourselves both in the time period and the kind of instruments and parameters covered by this catalogue. It contains only instruments that record some kind of graphic representation of the ground motion. This means that no *seismic warning devices* have been included. With respect to time it describes any located seismograph operating in Spain up to the seventies of the 20th century and previous to the deployment of the National Seismic Network in the eighties. The main reason for this choice has been the dramatic change this network introduced in the daily operational procedure. Up to that moment, the seismic network was operated mainly from the seismic observatories, with their own staff and a great degree of independence. Since the eighties the new seismic network was operated in a centralized manner; with a central recording site and autonomous field seismographs.

The research aimed at the elaboration of this catalogue has been organised in three steps:

1. A throughout search covering the known and still existing old observatory sites and consulting all related available bibliographic sources. This work allowed to identify many instruments, the sites and periods of their operation, their technical characteristics as well as their later modification or recalibration.
2. Elaboration of a cataloguing card for every seismograph, which summarizes the data collected under (1). Its structure will be described below.
3. Drawing some general criteria and conclusions about the evolution of seismometry in Spain.

For its publication as a book, the results have been divided and presented in two parts:

- Part I: Presents some introductory remarks, a detailed description of the methodology and the background criteria used to elaborate the cataloguing cards. Also included is a short attempt to classify the described instruments following three

key criteria: the type of transducer (§1.3.1), the recording system (§1.3.2) and the mechanical constitution (see Fig. 1.3) of the instrument (§1.3.3). This part concludes with an extended bibliography.

- Part II: Presents the collection of cataloguing cards for each instrument. The described seismographs have been grouped according by seismic observatories. Every cataloguing card is accompanied by a plot of the magnification curve and phase response for that instrument, and by some photographs, layouts, etc. of the described instrument, when available. As a quick guide, Table 1.1 (§1.3) lists all the catalogued instruments and directs the reader to its corresponding page.

Catalogue description of seismographs

As stated, a special effort has been made to provide useful information for seismologists dealing with old records of the catalogued instruments.

A cataloguing card has been elaborated for every seismograph. This type of presentation will ease the access to the data. For clarity, the information has been distributed in four blocks (See Table 1):

- The first block contains four items: name of the instrument, location of the instrument, origin (bought, designed at the station, etc.) and the operational period. When known, the latter is given up to the month.
- The second block contains the physical characteristics of the instrument. They are described with the following items: *Component* (direction of ground motion recording); *Mass* of the mechanical sensor (i. e. of its moving/oscillating mass); *Free period* of the mechanical sensor (the period of the undamped oscillations of the sensor); *Damping* (viscous damping); *Friction* (dry friction); *Magnification* (the static magnification in case of mechanical seismographs); *Type of record* (smoked paper, ink paper or photographic paper); *Record speed* and *Pen radius* (the distance from the inscribing point to the turning axis in the case of writing devices describing circular motion). These last two parameters are important when processing of the old records is necessary.
- When dealing with electromagnetic seismographs with a galvanometric recording system, the *Magnification* item refers to the maximum of the frequency dependent displacement amplitude magnification curve. Also, some slight changes are introduced in the cataloguing card: the *Friction* and *Pen radius* items are removed and a new *Galvanometer free period* item is introduced.
- The third block contains the actual normalized magnification (response characteristic/transfer function) expressed in poles and zeroes. The poles and zeroes have been calculated through the use of the theoretical motion equations of mechanical and electromagnetic transducers (§1.5). They have been introduced because many of the standard record analysis software use them and we expect they will be useful for the users of the catalogue.
- Finally, the fourth block summarizes the actual status of the instrument (preserved, or not preserved), any other comment of interest not included in previous blocks and the bibliography (general and specific) for the instrument (it is presented with keys related to a general bibliography, inserted at the end of Part I of the catalogue).

As already stated, every cataloguing card is accompanied with a plot of the instrument's frequency dependent displacement amplitude magnification and its phase-shift curve.

Instrument	
Site: Origin: Operational Period:	
Characteristics:	Component: Mass: Free Period: Damping: Friction: Magnification: Type of record: Record speed: Pen radius:
System calibration in terms of poles and zeroes:	
Zeroes:	Poles:
State of the instrument:	
Comments:	
References:	

Scheme of cataloguing cards developed for old Spanish seismographs consisting of four main constitutive blocks. See the previous text for explanation of items.

PRIMERA PARTE
Descripción del Catálogo

1.1. *Introducción*

A principios del año 1898 se instaló en el Real Observatorio de la Armada en San Fernando (Cádiz) un sismógrafo Milne para el registro de una componente horizontal del movimiento del suelo. Siempre se ha considerado este evento como el inicio de la sismología instrumental en España, habiéndose celebrado ya su centenario [Mar99]. Esta instalación no era un hecho aislado en su época y sería seguida por otras instalaciones en otros observatorios en España y, de hecho, se inscribía dentro de la corriente mundial del momento, tendente a la instalación generalizada de las primeras y primitivas estaciones sísmicas.

Se entiende por sismología instrumental la que basa el estudio del interior de la Tierra, de los terremotos y de los movimientos de origen sísmico del suelo en el análisis de los registros conseguidos mediante instrumentos y sus orígenes se sitúan en tiempos no muy anteriores al año citado. Es bien conocida la existencia de sismoscopios en China ya en los primeros siglos de nuestra Era y que en la Italia del siglo XVIII se realizaron bastantes experiencias tendentes a obtener un registro instrumental del movimiento del suelo; pero no se puede hablar de unos primeros resultados concluyentes y de una generalización de sus principios físicos hasta, por lo menos, la mitad del siglo XIX. En ese momento los conocimientos científicos y técnicos alcanzan un nivel suficiente para abordar con ciertas garantías de éxito el desarrollo de instrumentos de registro sísmico no solo tendentes, como sus predecesores, a detectar o comprobar la ocurrencia de fuertes terremotos si no a poder estimar su tamaño, su tiempo origen, su localización y empezar a analizar toda la información contenida en los registros. Es entonces cuando empieza la sismología instrumental, tal como se entiende hoy en día.

En España, desde 1898 podemos empezar a contabilizar muchos instrumentos de registro sísmico (sismógrafos) en un conjunto de observatorios que han ido formando la antigua red sísmica española. De hecho, y este es uno de los resultados del presente trabajo, incluso antes de 1898 ya encontramos algunos instrumentos en España y los puntos de observación instrumental (estaciones sísmicas) han sido bastantes más de los que en principio se suponía.

Tras la instalación pionera del Milne en el Observatorio de San Fernando, siguen en los primeros años del siglo XX las que se hacen en los observatorios que empiezan una ambiciosa aventura científica: Cartuja (1902) y Ebro (1904), de la Compañía de Jesús, Fabra (1906) de la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, Toledo (1909), Almería (1911), Málaga (1913) y Alicante (1914) del Instituto Geográfico y Catastral (IGC) (hoy el Instituto Geográfico Nacional, IGN). Estos, y algunos otros que operaron esporádicamente, junto con los que luego iría instalando el IGC en otros lugares de España (Tenerife, Logroño, Santiago, ...) conformaron la primera red sísmica española. Hay que hacer constar que el concepto de las antiguas redes sísmicas era muy diferente al actual ya que aquellas no disponían de registro centralizado, ni centro de análisis común y sus sistemas de tiempo necesitaban de grandes correcciones obtenidas a través de observaciones astronómicas y, más tarde, de estaciones horarias internacionales.

En los años ochenta el Instituto Geográfico Nacional (IGN) desplegó una nueva red básica, llamada Red Sísmica Nacional (RSN), que ha venido funcionando hasta el presente, en que ha ido siendo gradualmente sustituida por otra nueva. La RSN de los años ochenta

difería de las anteriores por su instrumentación, por su configuración y por su *modus operandi* [Mez95]. Esta era ya una red sísmica en el sentido moderno: registro centralizado en tiempo real que permitía hacer una evaluación inmediata de cada terremoto ocurrido en España y áreas adyacentes.

Las estaciones que componían esta RSN funcionaban automáticamente, necesitando pocas operaciones de mantenimiento. Los datos de todas las estaciones se envían en tiempo real, vía telefónica, hasta el centro de registro sísmico en Madrid. Es allí donde un mismo personal técnico y científico es el encargado de analizar constantemente los registros, localizar y dar las alertas pertinentes en caso de terremotos, confeccionar los boletines y bases de datos con la información recogida, siguiendo, en todos estos métodos, unas tendencias de carácter mundial. Ya la red sísmica del archipiélago canario, instalada unos años antes, se diseñó con este criterio y fue la antecesora directa y banco de pruebas de la red sísmica nacional. También las redes regionales que nacieron paralelamente con la RSN (Xarxa Sísmica de Catalunya, Red Sísmica de Andalucía, Red Sísmica del Estrecho, etc.) siguieron el mismo criterio operativo.

Este sistema de trabajo, supuso, en el momento de su instalación, un cambio radical en la forma de la observación, el control y el análisis de la sismicidad de España, rompiendo con un sistema que se había utilizado en el mundo durante casi cien años, sistema que se basaba en la existencia de observatorios con personal suficiente para, de forma autónoma, mantener los aparatos de que disponían, analizar sus registros, etc. Por lo tanto, los años ochenta suponen, en España, un antes y un después en la sismología instrumental. Representan el cierre de una época y el inicio de otra. Así, la llegada de nuevos instrumentos no supuso solamente una superación técnica de los anteriores, cosa habitual, si no que introdujo un concepto de red sísmica y una metodología de trabajo totalmente nuevas (y que recientemente se ha visto nuevamente ampliado con el cambio a estaciones sísmicas digitales de banda ancha, telemetría digital y proceso de datos de última generación combinando estaciones estándar, «arrays» sísmicos y estaciones virtuales).

Esta ha sido la principal razón para que en el presente libro, *Catálogo-inventario de sismógrafos antiguos españoles*, se hayan estudiado los sismógrafos utilizados en España anteriores al despliegue de la RSN en los años ochenta. De una forma que pretende ser exhaustiva, se han inventariado y descrito los sismógrafos antiguos que han funcionado en España y en sus antiguas colonias, por tanto, hemos incluido todos aquellos sismógrafos en activo antes de la instalación de las nuevas redes sísmicas desplegadas en el territorio español en los ochenta. Asimismo, se observará que algunos de los sismómetros incluidos en este catálogo todavía se encuentran en uso (es el caso, por ejemplo, de los Sprengnether de período largo en San Fernando) y, sin embargo, la presente obra les asigna una fecha ya pretérita para el fin de su servicio. Corresponde ésta al fin del registro galvanométrico con el instrumento en cuestión. Hemos adoptado este criterio porque el registro en papel fotográfico mediante el uso de galvanómetros es un procedimiento clásico en sismometría, de tipo pasivo, y casi tan antiguo como el registro mediante dispositivos totalmente mecánicos. Por lo tanto, el fin de este tipo de registro puede incluirse también entre los cambios radicales que marcan el inicio de las nuevas redes sísmicas de registro centralizado en tiempo real.

Anteriormente no se había procedido nunca a un trabajo de catalogación e inventario general de los instrumentos utilizados en España. Existen algunos interesantes trabajos recientes sobre observatorios específicos como, por ejemplo, el de Payo y Gómez-Menor [Pay98] sobre el Observatorio de Toledo o trabajos con objetivos más específicos como, por ejemplo, el de López Arroyo *et al.* [Lop90], que es un primer intento moderno de censo de los antiguos sismógrafos, o el de Susagna *et al.* [Sus97], que se circunscribe a Cataluña;

pero ninguno de ellos con la intención de abarcar y resumir la totalidad de los instrumentos utilizados para el registro de la sismicidad global, regional y local en España, que es el propósito aquí perseguido.

Por otra parte, no se pretende con esta obra, escribir una historia de la sismología en España, ni siquiera de la sismología instrumental, objetivo que queda muy lejos del planteamiento, más modesto, del presente trabajo que aborda desde un punto de vista técnico la descripción y catalogación de los instrumentos sísmicos en España.

Para la realización del objetivo propuesto, la presente obra se divide en dos partes principales. En la primera se introducen los elementos históricos y técnicos necesarios para situar el problema y se propone una catalogación de los sismógrafos utilizados en los observatorios siguiendo varios criterios, previamente razonados y establecidos, sobre sus características de registro y de construcción. También se describe lo contenido en las fichas elaboradas para cada instrumento (base de la segunda parte del trabajo), apartado por apartado, su significado, y las bases teóricas que hemos utilizado para calcular la respuesta de los diferentes instrumentos, en términos actuales de polos y ceros. A continuación se da cuenta de la localización de los diversos observatorios en donde funcionaron los aparatos descritos. Finalmente, se cierra esta primera parte con la bibliografía general de la obra.

En la segunda parte, el inventario de sismógrafos propiamente dicho, se presentan los instrumentos, uno a uno, mediante una ficha de catalogación individualizada para cada aparato. Se ha seguido el criterio de agruparlos por observatorios, utilizando como base los ya conocidos ocho observatorios principales que conformaban la antigua red sísmica española (Toledo, Málaga, Almería y Alicante, pertenecientes al IGN y San Fernando, Cartuja, Ebro y Fabra, pertenecientes a otras instituciones). Cada observatorio ocupa una sección donde, además de las fichas propiamente dichas, hay una introducción con una sucinta descripción del observatorio en cuestión y una gran cantidad de material gráfico. Además, hemos añadido el Observatorio de Manila, cuyos inicios tuvieron lugar durante el régimen colonial español en las islas Filipinas, fundado (como tantos otros alrededor del planeta) por la Compañía de Jesús, y en el que el gobierno español tuvo un papel importante en su desarrollo posterior. La importancia y valor intrínseco del trabajo realizado en dicha estación la sitúan, sin ninguna duda, entre las principales de su época.

Una última sección contiene aquellos instrumentos que han funcionado en España durante ese periodo fuera de los observatorios mencionados. Se incluye también en esta última sección un apartado con los instrumentos instalados en los observatorios del IGN fundados en épocas posteriores y, entre ellos, el Observatorio de Moca, en la actual República de Guinea Ecuatorial.

Para cada sismógrafo catalogado se ha elaborado una ficha. En ella se consignan sus características físicas principales y aquellos datos relevantes referentes a la utilización del instrumento. Así mismo se incluyen aquellos datos que son de interés para los estudiosos que deseen utilizar en trabajos de investigación los registros obtenidos en estos aparatos de terremotos anteriores al despliegue de las nuevas redes sísmicas. Cada ficha, presenta, siempre que es posible, la curva de respuesta del sismógrafo descrito. Aunque este método resulte, en algunos casos, repetitivo y redundante, dada la similitud de respuestas existentes entre diversas familias de instrumentos, lo hemos preferido para que cada ficha sea autocontenida y pueda utilizarse independientemente de las demás. También se han intercalado fotografías de los instrumentos siempre que se ha podido disponer de las mismas, siendo la parte gráfica de esta obra realmente importante. Algunas de las antiguas fotografías utilizadas han sido encontradas en los archivos de los distintos observatorios investigados, siendo la primera vez que se reproducen para su publicación y otras se han realizado ex profeso

para la ilustración del trabajo. En otros casos, que se han considerado de interés e ilustrativos, y ante la ausencia de buenas fotografías originales del instrumento catalogado, se ha recurrido a fotografías del mismo modelo de instrumento, pero obtenidas de otras referencias, así como gráficos y esquemas de los mismos u otras imágenes ilustrativas del funcionamiento de los observatorios.

Los instrumentos para la detección y el registro de la sismicidad no se redujeron solo a sismógrafos, también existieron en España otros tipos de aparatos como sismoscopios, tromómetros y hasta un micrófono sísmico, pero solo hemos elaborado fichas para los sismógrafos *sensu stricto*. Por otra parte, al existir equipos de transición, no siempre es absolutamente nítida la delimitación entre sismógrafo y sismoscopio. Para decidir la inclusión de uno de estos instrumentos en el catálogo hemos seguido el criterio de hacerlo en el caso de que pueda obtenerse un registro gráfico y no incluirlo en caso contrario. La idea que hay detrás del criterio aplicado es que, siempre que exista un registro, podremos intentar algún tipo de medida, cosa que no sucede en caso contrario. Sin embargo, para que quede constancia de todos los instrumentos existentes y pueda servir este trabajo para posteriores estudios, en las respectivas introducciones a cada una de las distintas estaciones, se ha incluido una mención a cualquier sismoscopio, u otro tipo de instrumento localizado en ellas.

Por último, notaremos que el modo de citación bibliográfica que aquí se utiliza es una clave compuesta por las tres primeras letras del nombre del autor y los dos últimos dígitos del año de publicación del trabajo citado. En caso de existir más de un trabajo recurrimos al conocido sistema de añadir una letra más (*a, b, c, etc.*) a continuación de los dígitos. La razón de este modo, un poco artificioso, de citación es que resulta extremadamente útil para introducirlo en las fichas de instrumentos que componen la segunda parte del trabajo.

1.2. *Estaciones sísmicas y sismógrafos en España*

Presentamos, a continuación, unas notas históricas sobre la evolución de la sismometría en España, sin pretender estudiar a fondo la evolución histórica de la sismología instrumental, sino simplemente apuntar unos elementos de referencia que enmarquen el catálogo elaborado.

Los albores de la sismología instrumental en España se remontan al siglo XIX. El gran terremoto de Andalucía de 1884 (véase, por ejemplo, [Lop80] o [Fer85]) fue un hito importante que actuó como catalizador de iniciativas tendentes a la instalación de sismógrafos en España. En ese momento, Mario Jona, ingeniero de las obras del puerto de Málaga, improvisó un aparato que daba indicación de los terremotos que estaban ocurriendo. En él se registraron algunas réplicas del gran terremoto acaecido y pueden considerarse estos los primeros registros instrumentales en la península.

Estos primeros aparatos sísmicos de los que se tiene constancia pueden catalogarse como sismoscopios, es decir, aparatos que nos dan indicación de la ocurrencia de un movimiento telúrico; pero no el registro temporal del mismo (llamado desde hace muchos años sismograma, pero no siempre en aquellos tiempos, ya que incluso el vocabulario técnico de la sismología estaba en formación) y algunos de los aparatos catalogados en el presente trabajo podrían considerarse como tales (este es el caso, como se verá, del péndulo doble Ewing de San Fernando, de los péndulos ordinarios de Manila y de los sismoscopios Vicentini de Girona y Olot).

Realmente (y no deja de resultar paradójico), los primeros sismógrafos españoles se instalaron a más de 10.000 kilómetros de la península Ibérica y en una fecha algo anterior a la apuntada. El observatorio de Manila, en las islas Filipinas, fundado por la Compañía de Jesús en 1865, desde un principio estuvo dotado con simples péndulos para el registro de la sismicidad regional. Los registros y posterior análisis que con estos péndulos se hizo de los terremotos que asolaron Manila en Julio de 1880 le valieron al observatorio el reconocimiento internacional empezando por el del propio Milne, considerado uno de los padres de la sismometría, y en aquel entonces en los inicios de su etapa japonesa. Siguiendo en su evolución, ya desde 1882 dispuso este observatorio de un sismógrafo analizador Secchi y más adelante de otros aparatos como veremos en el capítulo dedicado al mismo (véase §2.9).

En la España peninsular, aparece el primer sismógrafo mínimamente digno de este nombre en 1887, lo hace a bordo de un vapor inglés a finales de junio o principios de julio de dicho año. En la figura 1.1 reproducimos, por cortesía del Real Observatorio de la Armada, la copia del despacho que Cecilio Pujazón, entonces director del Observatorio de San Fernando, envía al puerto de Cádiz para que le sean remitidas las cajas conteniendo los instrumentos (la documentación original se conserva en el archivo de dicho observatorio). Se trataba de un conjunto formado por unos péndulos horizontales y verticales Ewing (véase la fig. 2.7.2). No se trataba de un sismógrafo de registro continuo, sino que funcionaba accionado por un sismoscopio disparador. Por la misma época, también hemos detectado la presencia de varios sismoscopios y un micrófono sísmico en el Observatorio Astronómico de Madrid [Mer05], y otra estación sismoscópica en el Instituto de Málaga [Mar89], pero no pueden considerarse estos aparatos como sismógrafos.

Hay que destacar, por su alto valor histórico, la instalación en Tenerife del péndulo horizontal de Rebur-Paschwitz en 1890 (el mismo aparato al que se le atribuye el registro

1887-184-C

30 de Junio de 1887.

Sr. D. Juan Martín,

Baluarte y Pedro Conde
Cádiz.

Adjunto remito a' ud caso
circunstas de tres cajas que trae
el vapor inglés Galicia y que
contienen Sismógrafo y una
linterna para que a' la llega-
da de aquel las despache y
remita a' este Observatorio ca-
mo de costumbre.

Es de ud s.

C. Pujazón

Figura 1.1.—Reproducción del despacho que el director del Observatorio de la Marina en San Fernando, D. Cecilio Pujazón, envió en fecha 30 de junio de 1887 al Puerto de Cádiz solicitando le fuesen remitidas las cajas conteniendo «sismógrafos» que llegaban en un vapor inglés. Podemos considerar este como el momento de la llegada del primer sismógrafo a España. El original de este documento se encuentra en el archivo del Observatorio de San Fernando.

del primer telesismo), que a pesar de su fugaz período de funcionamiento, no deja de ser un hito reseñable en los albores de la sismología instrumental mundial. Pero, como se indicó al principio, no es hasta 1898 con el primer sismógrafo horizontal Milne de registro continuo que se instaló en la España peninsular, en el Observatorio de San Fernando (y como consecuencia, donde se publica, a partir de ese mismo año, el primer *boletín* regular español de observaciones sísmicas instrumentales) cuando verdaderamente se inicia en nuestro país la sismología instrumental.

Pero es al comienzo del siglo XX cuando la instalación de sismógrafos se generaliza y se construyen verdaderas estaciones de registro sísmico. Primeramente encontramos las iniciativas de la Compañía de Jesús en los Observatorios de Cartuja (1902-Granada) y Ebro (1904-Roquetes, Tarragona), seguidas por la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona con su Observatorio Fabra (1906-Barcelona). Y, a partir de 1909, el despliegue de una primera red sísmica española, por parte del IGC, con la puesta en marcha de los observatorios de Toledo (1909), Almería (1911), Málaga (1913) y Alicante (1914).

La historia de la sismología instrumental española, por todos conocida, es la de las estaciones anteriormente citadas, y reflejada en citas clásicas como, por ejemplo, el catálogo de Galbis [Gal32]. Pero, como también se refleja en este trabajo, existieron otras importantes iniciativas coetáneas de instituciones y particulares como son los sismógrafos instalados en Olot (1907), Girona (1909), Tivissa (1909) o Riotinto (1909). También sorprende que la presencia de aparatos registradores sísmicos en Madrid (iniciada en 1910), casi continua durante el primer tercio del siglo XX, haya pasado casi totalmente desapercibida hasta el momento. El análisis de las fichas de los sismógrafos inventariados también pone de manifiesto el interés siempre existente por instrumentar las islas Canarias, puesto de manifiesto por las desconocidas hasta ahora instalaciones de un sismógrafo en el Puerto de la Orotava (hoy Puerto de la Cruz) en 1890-91, de otro en el Observatorio Meteorológico de Izaña, ya en 1912, y los posteriores intentos del propio IGC, en los años veinte, hasta la cristalización posterior del proyecto de las nuevas instalaciones canarias en los años cincuenta.

De otro lado, y todavía dentro de los límites del presente trabajo, encontramos los intentos posteriores a la guerra civil, por parte de la Compañía de Jesús, de crear una estación sísmica en Villafranca de los Barros (y aún proyectos de otra en Vigo) y los inicios de la expansión de la Red Sísmica Nacional por parte del IGC con la aparición de las estaciones de Tenerife y Logroño en los años cincuenta. Finalmente destacar que, como contribución española al Año Geofísico Internacional de 1956-57, el IGC realizó la instalación de un observatorio geofísico en latitudes ecuatoriales, en la isla de Bioko, por entonces colonia española. En la figura 1.2 puede observarse la localización de los diferentes observatorios consignados en el presente trabajo.

Respecto a las líneas de evolución de los instrumentos utilizados en las diversas estaciones se hace difícil determinar si existieron unas pautas generales. Sin embargo, para las estaciones pertenecientes a la Red Sísmica Nacional del IGC, dada la uniformidad de criterios existente para todas ellas, podemos dar algunas pautas. La instrumentación de dichas estaciones en el momento de su fundación se basa en sismógrafos Vicentini y Bosch-Omori, más los diversos aparatos de la estación de Toledo, considerada de primer orden (frente a la categoría de «segundo orden» de las demás) en la terminología de aquella época. Todos los aparatos fueron adquiridos a constructores extranjeros y su selección se realizó previo estudio detallado por parte de E. Mier [Mie10b], encargado del diseño e instalación de la red. En los años veinte se produjo una modernización (programada con bastante anterioridad; pero que se retrasó por causa del conflicto bélico europeo de 1914-18) de los aparatos existentes en todos los observatorios mediante la adquisición de instrumentos Mainka y Wiechert, continuando en Toledo la adquisición de otros aparatos que dotasen con amplitud la «estación central» [Tor24].

En los primeros años treinta detectamos, a través del estudio de los instrumentos aquí catalogados, el interés del IGC por convertirse también en diseñador-constructor de sismógrafos (es el momento del diseño y construcción de los Galbis de Alicante o de los Wiechert de componentes separadas, a imagen del prototipo construido en Toledo). Es en este momento cuando se inicia con fuerza la dotación un «Laboratorio Central Sismológico» uno de cuyos objetivos era, precisamente, el diseño y construcción de instrumentos. La guerra civil rompe dramáticamente estas expectativas de importante desarrollo de la Red Sísmica Nacional. Esta época merece un estudio a fondo ya que, debido a que los resultados posteriores de este proceso de desarrollo fueron prácticamente nulos a causa de su brusca interrupción, ha sido totalmente olvidada.

La guerra civil no afecta muy acusadamente a los observatorios sismológicos, aunque su personal debe lamentar algunas bajas y las acostumbradas depuraciones políticas. Sí



Figura 1.2.—Localización de los observatorios y otros emplazamientos en los que se realizaron observaciones instrumentales de la sismicidad en España y cuyas coordenadas geográficas se consignan en la sección 1.6. No aparecen en este mapa los observatorios de Manila y Moca.

afecta, combinada con la guerra mundial posterior, a las expectativas existentes de renovación del instrumental, totalmente frustradas en ese momento. El resultado es una mínima puesta al día del registro obtenida mediante la reforma de los equipos existentes, consistente mayormente en una modificación y optimización de los sistemas de inscripción de todos los equipos (cabe decir que se utilizaban elementos de desecho con manos excepcionalmente hábiles). En los años cincuenta, la Red Sísmica Nacional comienza nuevamente a expandirse, primero con la construcción de varios sismógrafos Victoria, después con las nuevas estaciones de Logroño, Tenerife y Moca, con la reanudación del registro sísmico en el Observatorio de San Fernando (interrumpido en 1945 por problemas de estabilidad del terreno en donde se asentaban los sismógrafos) y con la adquisición de nuevos equipos Hiller-Stuttgart que dotarán la casi totalidad de las estaciones españolas.

En los primeros años sesenta, las estaciones sísmicas de Toledo y Málaga se integran en la nueva Red Sísmica Global de Estaciones Estándar (*World Wide Seismic Station Network, WWSSN*) patrocinada por los Estados Unidos de América a través del proyecto Vela

Uniform [Bat82]. A partir de este momento, la evolución de los estudios sismológicos en España adquiere un nuevo dinamismo, que ya no es objetivo del presente estudio.

Respecto a las otras estaciones, no pertenecientes a la red del Instituto Geográfico y Catastral, encontramos una gran variedad de aparatos correspondiéndose con las iniciativas diversas de sus diferentes propietarios. Hay sismógrafos adquiridos y otros construidos en las mismas estaciones. Es mejor referirse directamente a las fichas de catalogación que entrar en una descripción de características generales.

Mención aparte merece el Observatorio de Cartuja. En esta institución, debido en parte a problemas de financiación y también (más de lo que se ha dicho) al propio convencimiento e interés de su personal director, se entró en una dinámica de diseño y experimentación continua de los aparatos de registro sísmico. El presente estudio contribuye notablemente a iluminar la «jungla-paraiso» del diseño instrumental que fue esta estación sísmica, en donde se experimentó con todos los principios de construcción de aparatos de registro sísmico en boga en cada momento. La publicación conmemorativa del reciente centenario de este Observatorio [Esp03] aporta mucha información al respecto. No obstante, no deja de ser un objetivo futuro, fuera de los límites del presente trabajo, continuar el estudio de la contribución del Observatorio de Cartuja a la evolución de la sismometría en general y también al nacimiento de estaciones sísmicas por toda Sudamérica.

1.3. *Catalogación de los sismógrafos*

Ya ha quedado dicho que la catalogación e inventario de todos los sismógrafos que han funcionado en las estaciones españolas para el registro de la sismicidad es el objetivo declarado de este trabajo. En total, han sido identificados 172 aparatos independientes de muy diversos tipos, según los criterios constructivos empleados y las características de su registro. Presentamos en esta sección el resumen del esfuerzo de catalogación realizado. Por una parte proponemos tres criterios de clasificación de los aparatos inventariados: por el tipo de transductor, por el tipo de registro usado y, finalmente, por el principio mecánico empleado en su construcción (figura 1.3). Para dar una visión de conjunto de estos instrumentos, los resultados de la investigación se sintetizan en la tabla 1.

Esta tabla contiene, en la primera columna, un número de registro convencional asignado a cada instrumento. Hay algunos números repetidos correspondiéndose con aparatos que han cambiado de emplazamiento o a reformas de los mismos que no consideramos suficientemente significativas para considerar al aparato resultante como distinto del anterior.

La segunda columna (*Est.*) consigna el observatorio o estación en donde se encontraba el instrumento. La tercera columna (*Instrumento*) consigna el nombre del instrumento. La cuarta columna indica la (o las) *componente del movimiento del suelo* registrada (Z, E-W, N-S, etc.). Cuando se usa la palabra «horizontal» ello corresponde a instrumentos que registraban ambas componentes horizontales con la misma plumilla. La quinta columna (*Periodo*) se refiere a los años en que el instrumento estuvo en activo. Se encuentra en blanco en unos pocos casos en los que no se sabe con certeza si llegó a funcionar o en que períodos lo hizo. La sexta columna (*Tipo*) da información sobre el tipo de sensor utilizado por el sismógrafo (electromagnético –E– o mecánico –M–) y a su principio constructivo, identificado por un número, como se explica en el apartado 1.3.3. La séptima columna (*Masa*) consigna la masa del instrumento en kilogramos. Se da este dato sólo para ayudar a su identificación y evitar confusiones entre instrumentos similares. Finalmente, la octava columna (*Pag.*) refiere al lector a la página de la segunda parte del trabajo en donde se encuentra la ficha de catalogación del aparato.

1.3.1. **Por el tipo de transductor**

El tipo de transductor empleado en la construcción de los sismógrafos, y que permite convertir el movimiento del suelo en una gráfica analizable (sismograma), es, quizás, el criterio más simple de clasificación que se puede adoptar. Clásicamente solo distinguimos dos tipos, los transductores mecánicos (M), que convierten el movimiento del suelo en otro movimiento registrable mediante procedimientos totalmente mecánicos y, a veces, también ópticos y los transductores electromagnéticos (E), que convierten el movimiento del suelo en una corriente eléctrica que permite el registro por medio de galvanómetros (en este caso también hay otras posibilidades de registro, pero en España solo se utilizó esta).

El manejo mucho más engorroso de los sensores electromagnéticos hizo que, en un principio, en España se utilizaran muy pocos. Antes de la guerra civil sólo las estaciones de Toledo y Granada se permitieron el uso de estos aparatos (y en Toledo no funcionaron nunca con regularidad). Inmediatamente después de la guerra civil, de la mano del inge-

niero Gómez Guillamón que construye el sismógrafo Victoria y reforma el Wiechert vertical, el observatorio de Málaga se suma a estas estaciones y más tarde, al principio de los años cincuenta, una corta serie de tres nuevos sismógrafos Victoria, construidos también en Málaga, se incorpora al servicio en los Observatorios de Almería, Tenerife y Logroño. Sin embargo, a partir de los últimos años cincuenta, con la entrada en servicio de los sismógrafos Hiller-Stuttgart y otros, el registro electromagnético se generaliza y pasa a ser mayoritario en España.

Los restantes sensores utilizados en las estaciones españolas pertenecen al tipo mecánico, siendo los mecanismos de amplificación también de tipo totalmente mecánico para la gran mayoría, utilizando registros de tinta o de papel ahumado, aunque algunos pocos utilizaban procedimientos ópticos y papel fotográfico como veremos en el siguiente apartado.

1.3.2. Por el tipo de registro

Si clasificamos los sismógrafos españoles por el tipo de soporte en que se inscribía el sismograma, nos encontramos con tres únicos tipos de registro. El registro sobre banda de papel ahumado, es el preferido y utilizado en la gran mayoría de instrumentos mecánicos instalados, tanto por su alta resolución como por su comodidad de uso. El registro con tinta sobre banda de papel blanco, que tenían muy pocos aparatos en España (solo el microsismométrógrafo Agamennone del observatorio Fabra y el pequeño péndulo vertical de 86 kg de Cartuja) y también los péndulos Gray-Milne en Manila. Y, finalmente, el registro sobre banda de papel fotográfico, que era el utilizado por todos los sismógrafos electromagnéticos y por algunos de los mecánicos (todos los Milne en San Fernando, Toledo y Riotinto, los Rebeur-Ehlerst de Toledo, los Alfani de San Fernando y los Wood-Anderson de Toledo y Málaga). En el observatorio de Manila nos encontramos con un caso muy especial, como es el registro sobre arena, y que comentaremos en su momento.

1.3.3. Por su estructura mecánica

Es bien sabido que los transductores de los antiguos sismógrafos se basaban indefectiblemente en el principio pendular, es decir, la capacidad de detección del movimiento del suelo se basa en el criterio de medir los movimientos diferenciales entre una masa, que actúa de péndulo de un oscilador armónico forzado, y su soporte. Las características físicas de un instrumento mecánico de este tipo quedan unívocamente determinadas por tres parámetros: el período propio del instrumento, su amortiguamiento y su amplificación estática. En el caso de los instrumentos con sensores electromagnéticos necesitaremos el período propio y amortiguamiento del sensor y del galvanómetro de registro, la amplificación máxima, y la constante de acoplamiento entre el sensor y el galvanómetro. En el apartado 1.5 se describirá el modelado de la respuesta instrumental.

Criterios técnicos como el tipo de movimiento a registrar (horizontal o vertical), el rango de frecuencias de interés, etc., y otros externos como las disponibilidades económicas y de personal de los observatorios, o ideas en boga en cada momento, fueron los que condicionaron la elección del tipo de instrumento a utilizar y del tipo de oscilador armónico inherentemente a él ligado.

Siguiendo de cerca los criterios tradicionales establecidos, por ejemplo, en los trabajos del director de Cartuja Sánchez-Navarro Neumann —[SNa19a], [SNa20]— o de A. Sieberg

Parte I: Descripción del Catálogo

TABLA 1
Instrumentos catalogados*

Núm.	Est.	Instrumento	Comp.	Período	Tipo	Masa	Pág.
1	ALI	Vicentini vertical	Z	1914-1924	M 7	50	62
2	ALI	Microsismógrafo Vicentini	N-S; E-W	1914-1924	M 4	100	64
3	ALI	Bosch-Omori	N-S	1914-1924	M 1	25	66
4	ALI	Bosch-Omori	E-W	1914-1924	M 1	25	66
5	ALI	Wiechert vertical	Z	1924-1947	M 9	80	68
6	ALI	Mainka	N-S	1924-1940	M 1	750	70
7	ALI	Mainka	E-W	1924-1941	M 1	750	70
8	ALI	Galbis	N-S	1940-1953	M 4	1000	72
9	ALI	Galbis	E-W	1940-1953	M 4	1000	72
6	ALI	Mainka modificado	N-S	1941-1975	M 1	1000	74
7	ALI	Mainka modificado	E-W	1941-1975	M 1	1000	74
10	ALI	Alicante vertical	Z	1951?	M 8	800	76
11	ALI	Hiller-Stuttgart vertical	Z	1962-1985	E 9	-0.5	78
12	ALI	Hiller-Stuttgart horizontal	N-S	1962-1985	E 2	-0.5	80
13	ALI	Hiller-Stuttgart horizontal	E-W	1962-1985	E 2	-0.5	80
14	ALI	Sprengnether S-5000V	Z	1975-1985	E 9	11.2	82
15	ALM	Bosch-Omori	N-S	1911-1928	M 1	25	88
16	ALM	Bosch-Omori	E-W	1911-1928	M 1	25	88
17	ALM	Vicentini vertical	Z	1911-1937	M 7	50	90
18	ALM	Microsismógrafo Vicentini	N-S; E-W	1911-1937	M 4	100	92
19	ALM	Mainka vertical	Z	1926-1972	M 9	500	94
20	ALM	Mainka	N-S	1928-1944	M 1	750	96
21	ALM	Mainka	E-W	1928-1944	M 1	750	96
22	ALM	Almería vertical	E-W	1936-1949	M 4	800	98
20	ALM	Mainka reformado	N-S	1945-1982	M 1	750	100
21	ALM	Mainka reformado	E-W	1945-1982	M 1	750	100
23	ALM	Victoria	Z	1953-1959	E 8	100	102
24	ALM	Hiller-Stuttgart vertical	Z	1959-1990	E 9	-0.5	104
25	ALM	Hiller-Stuttgart horizontal	N-S	1959-1990	E 2	-0.5	106
26	ALM	Hiller-Stuttgart horizontal	E-W	1959-1990	E 2	-0.5	106
27	CRT	Stiattesi	N-S	1903-1908	M 2	208	112
28	CRT	Stiattesi	E-W	1903-1908	M 2	208	112
29	CRT	Vicentini Pacher	Horizontales	1903-1908	M 4	308	114
30	CRT	Vicentini vertical	Z	1903-1907	M 7	48	115
30	CRT	Vicentini vertical	Z	1907-1908	M 7	48	116
31	CRT	Omori modificado	NNW-SSE	1907-1913	M 1	106	118
32	CRT	Vicentini Cartuja		1908-1909	M 4	125	120
33	CRT	Wiechert	E-W; N-S	1908-1912	M 6	200	122
34	CRT	Cartuja bifilar	NNW-SSE	1908-1916	M 1	305	124
35	CRT	Cartuja bifilar	ENE-WSW	1909-1916	M 1	425	126
36	CRT	Cartuja bifilar	N-S	1919-1960	M 1	340	128
37	CRT	Cartuja bifilar	E-W	1919-1960	M 1	340	128

* Primera columna (*Núm.*): número de registro asignado a cada instrumento.

Segunda columna (*Est.*): observatorio o estación en donde se encontraba el instrumento.

Tercera columna (*Instrumento*): nombre de este instrumento.

Cuarta columna (*Comp.*): componente del movimiento del suelo registrada.

Quinta columna (*Período*): años en que el instrumento estuvo en activo.

Sexta columna (*Tipo*): tipo de sensor utilizado por el sismógrafo (electromagnético –E– o mecánico –M–) y su principio constructivo, identificado por un número, como se explica en el apartado 1.3.3.

Séptima columna (*Masa*): masa del instrumento en kilogramos.

Octava columna (*Pág.*): página de la segunda parte del trabajo en donde se encuentra la ficha de catalogación del aparato.

Véase el texto para más información.

Parte I: Descripción del Catálogo

TABLA 1 (continuación)

Núm.	Est.	Instrumento	Comp.	Período	Tipo	Masa	Pág.
38	CRT	Grupo macrosísmico Alhambra	NE-SW	1920-?	M 4	5	130
39	CRT	Cartuja bifilar	NNW-SSE	1910-1911	M 1	46	132
40	CRT	Péndulo vertical Cartuja	NNW-SSE	1909-1924	M 4	280	134
40	CRT	Péndulo vertical Cartuja	N-S	1924-1933	M 4	280	136
40	CRT	Péndulo vertical Cartuja	E-W	1934-1960	M 4	370	138
41	CRT	Péndulo vertical Cartuja	ENE-WSW	1911-1923	M 4	87	140
42	CRT	Berchmans	N-S; E-W	1920-1933	M 6	3060	142
42	CRT	Berchmans	N-S; E-W	1934-1948	M 6	4260	144
43	CRT	Javier	ENE-WSW	1924	E 3	7.5	146
43	CRT	Javier	E-W	1924-1928	E 3	7.5	148
44	CRT	Belarmino	Z	1924-1960	E 9	3.5	150
45	CRT	Canisio	E-W	1929-1960	E 2	1.5	154
46	CRT	Canisio	N-S	1931-1960	E 2	1.5	154
47	CRT	Cartuja Máximo	E-W	1949-1960	M 1	4500	156
48	CRT	Macrosismógrafo Cartuja		1949-?	M 1	15	158
49	CRT	Hiller-Stuttgart vertical	Z	1966-1985	E 9	-0.5	160
50	CRT	Hiller-Stuttgart horizontal	N-S	1966-1985	E 2	-0.5	162
51	CRT	Hiller-Stuttgart horizontal	E-W	1966-1985	E 2	-0.5	162
52	EBR	Grablovitz	NE-SW	1904-1918	M 1	12	168
53	EBR	Grablovitz	NW-SE	1904-1918	M 1	12	168
54	EBR	Vicentini vertical	Z	1904-1936	M 7	50	170
55	EBR	Microsismógrafo Vicentini	N-S	1904-1916	M 4	100	172
55	EBR	Microsismógrafo Vicentini	E-W	1904-1928	M 4	100	172
56	EBR	Mainka Ebro	N-S	1914-1941	M 1	1501	174
57	EBR	Mainka Ebro	E-W	1914-1938	M 1	157	176
58	EBR	Péndulo vertical Ebro	NE-SW, NW-SE	1914-1915	M 4	316	178
58	EBR	Péndulo vertical Ebro	N-S	1915-1941	M 4	316	179
56	EBR	Mainka Ebro	N-S	1942-1966	M 1	1500	180
59	EBR	Mainka Ebro	E-W	1942-1966	M 1	1500	180
60	EBR	Péndulo vertical	N-S	1943-1961	M 4	635	182
61	EBR	Péndulo cenital	Z	1961-1966	M 8	635	184
62	EBR	Geotech 4681A	Z	1966-1974	E 8	15	186
63	EBR	Geotech 6102A	N-S	1966-1974	E 8	14.7	188
64	EBR	Geotech 6102A	E-W	1966-1974	E 8	14.7	188
14	EBR	Sprengnether S-5000V	Z	1969-1974	E 9	11.2	190
65	EBR	Sprengnether S-5000H	N-S	1968-2000	E 1	10.7	192
66	EBR	Sprengnether S-5000H	E-W	1968-2000	E 1	10.7	192
67	EBR	Sprengnether S-5000V	Z	1974-2000	E 9	11.2	194
68	FBR	Sismómetrografo Cancani	NE-SW; SE-NW	1907-1910	M 4	220	198
69	FBR	Sismómetrografo Agamennone	NE-SW; SE-NW	1906-1908	M 4	200	200
69	FBR	Sismómetrografo Agamennone	NE-SW; SE-NW	1909	M 4	520	206
70	FBR	Vicentini vertical	Z	1906-1998	M 7	56	202
71	FBR	Microsismógrafo Vicentini	N-S; E-W	1906-1998	M 4	106	204
72	FBR	Péndulo cónico	N-S	1910-1913	M 1	220	207
73	FBR	Péndulo vertical	NE-SW	1911-1913	M 4	520	208
74	FBR	Mainka	N-S	1914-1998	M 1	141	210
75	FBR	Mainka	E-W	1914-1998	M 1	144	210
76	FBR	Hiller-Stuttgart vertical	Z	1967-1985	E 9	-0.5	212
77	FBR	Hiller-Stuttgart horizontal	N-S	1967-1985	E 2	-0.5	214
78	FBR	Hiller-Stuttgart horizontal	E-W	1967-1985	E 2	-0.5	214
79	MAL	Bosch-Omori	N-S	1914-1924	M 1	25	220
80	MAL	Bosch-Omori	E-W	1914-1924	M 1	25	220
81	MAL	Vicentini vertical	Z	1915-1927	M 7	50	222
82	MAL	Microsismógrafo Vicentini	N-S	1915-1926	M 4	100	224
82	MAL	Microsismógrafo Vicentini	E-W	1915-1935	M 4	100	224
83	MAL	Wiechert vertical	Z	1923-1938	M 9	80	226

Parte I: Descripción del Catálogo

TABLA 1 (continuación)

Núm.	Est.	Instrumento	Comp.	Período	Tipo	Masa	Pág.
84	MAL	Mainka	N-S	1924-1941	M 1	750	228
85	MAL	Mainka	E-W	1924-1941	M 1	750	228
86	MAL	Wiechert	NE-SW	1935	M 6	1000	230
87	MAL	Péndulo vertical Cadarso	NE-SW; NW-SE	1935-1954	M 4	1800	232
85	MAL	Mainka	E-W	1945-1953	M 1	750	233
84	MAL	Mainka	N-S	1942-1953	M 1	750	234
88	MAL	Victoria	Z	1939-1959	E 8	100	236
83	MAL	Wiechert Guillamón	Z	1939-1959	E 9	80	238
89	MAL	Wood-Anderson		(1969)	M 5	~0.02	240
49	MAL	Hiller-Stuttgart vertical	Z	1959-1966	E 9	-0.5	242
50	MAL	Hiller-Stuttgart horizontal	N-S	1959-1966	E 2	-0.5	243
51	MAL	Hiller-Stuttgart horizontal	E-W	1959-1966	E 2	-0.5	243
90	MAL	Benioff 1051	Z	1962-1992	E 8	107.5	244
91	MAL	Benioff 1101	N-S	1962-1992	E 8	107.5	246
92	MAL	Benioff 1101	E-W	1962-1992	E 8	107.5	246
93	MAL	Sprengnether S-5000V	Z	1962-1992	E 9	11.2	248
94	MAL	Sprengnether S-5000H	N-S	1962-1992	E 1	10.7	250
95	MAL	Sprengnether S-5000H	E-W	1962-1992	E 1	10.7	250
96	SFS	Péndulo horizontal Ewing	N-S; E-W	1887-?	M 2		254
97	SFS	Sismógrafo vertical Ewing	Z	1887-?	M 9		256
98	SFS	Péndulo doble Ewing	Horizontales	1887-?	M 1		258
99	SFS	Milne	E-W	1898-1925	M 1	0.43	260
99	SFS	Milne	E-W	1925-1935	M 1	0.43	262
100	SFS	Milne	N-S	1909-1935	M 1	0.43	264
101	SFS	Péndulo bifilar Graíño	E-W	1912-1934	M 1	60	265
101	SFS	Péndulo bifilar Graíño	N-S	1934	M 1	60	266
102	SFS	Péndulo vertical Graíño	E-W	1921-1945	M 4	700	268
103	SFS	Péndulo bifilar Graíño	N-S	1922-1934	M 1	1100	270
103	SFS	Péndulo bifilar Graíño	E-W	1934-1945	M 1	1100	272
104	SFS	Péndulo bifilar Graíño	N-S	1912-1919	M 1	600	273
105	SFS	Péndulo bifilar Graíño	N-S	1935-1945	M 1	700	274
105	SFS	Fotosismómetro Alfani	Z	1934-1945	M 9	3	276
106	SFS	Fotosismómetro Alfani	N-S	1934-1945	M 2	3	278
107	SFS	Fotosismómetro Alfani	E-W	1934-1945	M 2	3	280
108	SFS	Sprengnether vertical	Z	1966-1970	E 9	0.425	282
109	SFS	Sprengnether horizontal	N-S	1966-1975	E 2	0.878	284
110	SFS	Sprengnether horizontal	E-W	1966-1975	E 2	0.878	284
111	SFS	Benioff 1051	Z	1971-1984	E 8	108	286
112	SFS	Sprengnether S-5100V	Z	1975-1981	E 9	10.9	288
113	SFS	Sprengnether S-5100H	N-S	1976-1981	E 1	11.13	290
114	SFS	Sprengnether S-5100H	E-W	1976-1981	E 1	11.13	290
115	TOL	Vicentini vertical	Z	1909-1923	M 7	50	296
116	TOL	Microsismógrafo Vicentini	N-S; E-W	1909-1923	M 4	100	298
117	TOL	Microsismométrógrafo Agamenzone	N-S; E-W	1909-1924	M 4	2000	300
118	TOL	Bosch-Omori	N-S	1909-1922	M 1	25	302
119	TOL	Bosch-Omori	E-W	1909-1922	M 1	25	302
6	TOL	Mainka	N-S	1922-1923	M 1	750	304
7	TOL	Mainka	E-W	1922-1923	M 1	750	304
120	TOL	Péndulo vertical Toledo	N-S	1922-1931	M 4	1000	306
121	TOL	Péndulo vertical Toledo	E-W	1922-1931	M 4	1000	306
122	TOL	Rebeur-Ehlert	N-S	1909-1921	M 2	0.2	308
123	TOL	Rebeur-Ehlert	E-W	1909-1921	M 2	0.2	308
124	TOL	Milne	E-W	1909-1922	M 1	0.43	310
125	TOL	Wiechert astático	NW-SE; NE-SW	1910-1918	M 6	1000	312
125	TOL	Wiechert astático reformado	NW-SE; NE-SW	1920-1993	M 6	1000	314

Parte I: Descripción del Catálogo

TABLA 1 (continuación)

Núm.	Est.	Instrumento	Comp.	Período	Tipo	Masa	Pág.
126	TOL	Wiechert vertical	Z	1924-1940	M 8	1200	316
127	TOL	Wiechert Toledo	N-S	1931-1987	M 6	1000	318
128	TOL	Wiechert Toledo	E-W	1931-1987	M 6	1000	318
126	TOL	Wiechert vertical reformado	Z	1940-1993	M 8	1200	320
129	TOL	Galitzin vertical	Z	(1928)	E 9	24	322
130	TOL	Galitzin horizontal	N-S	(1928)	E 3	7.2	324
131	TOL	Galitzin horizontal	E-W	(1928)	E 3	7.2	324
89	TOL	Wood-Anderson		(1958)	M 5	~0.02	326
108	TOL	Sprengnether vertical	Z	1958-1966	E 9	0.425	328
109	TOL	Sprengnether horizontal	N-S	1958-1966	E 2	0.878	330
110	TOL	Sprengnether horizontal	E-W	1958-1966	E 2	0.878	330
132	TOL	Sprengnether S-5000V	Z	1962-1992	E 9	11.2	332
133	TOL	Sprengnether S-5000H	N-S	1962-1992	E 1	10.7	334
134	TOL	Sprengnether S-5000H	E-W	1962-1992	E 1	10.7	334
135	TOL	Benioff 1051	Z	1962-1992	E 8	107.5	336
136	TOL	Benioff 1101	N-S	1962-1992	E 8	107.5	338
137	TOL	Benioff 1101	E-W	1962-1992	E 8	107.5	338
138	MAN	Péndulo ordinario	Horizontales	1867-1901	M 4		346
139	MAN	Péndulo ordinario	Horizontales	1881-1901	M 4		348
140	MAN	Sismógrafo analizador Secchi	Horizontales; Z	1882-1901	M 4		350
141	MAN	Protosismógrafo de Rossi	Horizontales; Z	1882-1901	M		352
142	MAN	Microsismógrafo eléctrico Secchi	Horizontales; Z	1889-1901	M		354
143	MAN	Gray-Milne	NE-SW; NW-SE	1889-1901	M 1	1.5	356
144	MAN	Gray-Milne	N-S; E-W; Z	1889-1901	M 1	1.5	358
145	MAN	Sismógrafo eléctrico Ewing			M		360
146	OLT	Sismoscopio Vicentini	Horizontales	1907-1922	M 4	10	368
147	GER	Sismoscopio Vicentini	Horizontales	1909-1913	M 4	10	370
148	GER	Mainka	NW-SE	1916-1936	M 1	150	372
149	RIO	Milne	E-W	1909-1928	M 1	0.43	374
150	BAR	Mainka	N-S	1913-1915	M 1	150	376
151	BAR	Mainka	E-W	1913-1914	M 1	150	376
150	PAL	Mainka	N-S?		M 1	150	378
151	PAL	Mainka	E-W?		M 1	150	378
152	TIV	Péndulo vertical	N-S, E-W	1909-1910	M 4	120	380
153	VIL	Mainka-Ebro			M 1	300	382
154	VIL	Péndulo vertical Ebro			M 4		383
155	MDD	Bosch-Omori	E-W?	1910-1919?	M 1	25	384
156	MDD	Wiechert	N-S ?	1933-1934?	M 6	1000	386
157	MDD	Wiechert	E-W ?	1933-1934?	M 6	1000	386
158	MDD	Péndulo vertical			M 4		387
159	MDD	Omori-Navarro			M 1	2000	388
160	ORO	Rebeur-Paschwitz	E-W	1890-1891	M 2	0.042	390
161	IZA	Mainka	¿?	1912	M 1		392
118	TEN	Bosch-Omori reformado	N-S		M 1	100	394
119	TEN	Bosch-Omori reformado	E-W		M 1	100	394
162	TEN	Victoria	Z	1952-1958	E 8	100	396
163	TEN	Hiller-Stuttgart vertical	Z	1958-1977	E 9	-0.5	398
164	TEN	Hiller-Stuttgart horizontal	N-S	1958-1977	E 2	-0.5	400
165	TEN	Hiller-Stuttgart horizontal	E-W	1958-1977	E 2	-0.5	400
166	LOG	Victoria	Z		E 8	100	401
167	LOG	Hiller-Stuttgart vertical	Z	1959-1988	E 9	-0.5	402
168	LOG	Hiller-Stuttgart horizontal	N-S	1959-1988	E 2	-0.5	404
169	LOG	Hiller-Stuttgart horizontal	E-W	1959-1988	E 2	-0.5	404
170	MOC	Hiller-Stuttgart vertical	Z	1960-1971	E 9	-0.5	406
171	MOC	Hiller-Stuttgart horizontal	N-S	1960-1971	E 2	-0.5	408
172	MOC	Hiller-Stuttgart horizontal	E-W	1960-1971	E 2	-0.5	408

[Sie23], y los criterios de catalogación de sismógrafos establecidos por la antigua Asociación Internacional de Sismología [Rot40] y frustrados por la guerra mundial, hemos distinguido, según sus criterios constructivos, nueve tipos diferentes de aparatos que han prestado servicio en España (hay más tipos, pero no se han encontrado ejemplos en España, por lo que no los hemos incluido). A continuación describimos sucintamente dichos tipos y gráficamente se resumen en la figura 1.3.

1. *Péndulos cónicos*. También llamados bifilares u horizontales. Es el tipo de péndulo más utilizado en España. Se trata de un péndulo que oscila en un plano cuasihorizontal sostenido por dos puntos de un soporte vertical, que determinan su eje de oscilación. La fuerza recuperadora se obtiene inclinando ligeramente el eje de rotación o colocando el centro de masas ligeramente inferior al punto de soporte inferior.
2. *Péndulos rígidos*. Se basan en el mismo principio que los péndulos cónicos, pero su estructura es totalmente rígida. Tuvieron una cierta popularidad en los principios de la sismometría en España; pero los puntos de suspensión de este tipo de aparatos sufren mucho desgaste haciendo que pierdan pronto sus características y prestaciones de diseño, y con ellas su popularidad. En España encontramos este diseño en los péndulos horizontales Ewing de San Fernando, en los Stiattesi de Cartuja, ambos con registro mecánico y en los Rebeur-Ehlert de Toledo, con registro óptico. En los años treinta encontramos (con una nueva solución para los puntos de suspensión que evita su desgaste prematuro) los Canisio de Cartuja y los Alfani horizontales de San Fernando. Ya al final del período considerado en el presente trabajo, encontramos una generalización del uso de aparatos de este tipo, dado que los Hiller-Stuttgart y los Sprengnether de período medio (todos con puntos de suspensión mejorados) se inscriben en el mismo.
3. *Péndulo Zöllner*. La fuerza recuperadora se consigue como en los péndulos anteriores, pero la suspensión de la masa presenta una estructura diferente como puede apreciarse en el dibujo. No era un tipo muy frecuente de sismógrafo, pero se hizo popular y digno de una plaza fija en los libros de la época por ser el sistema empleado por los Galitzin horizontales. En España encontramos este principio constructivo solamente en los mismos Galitzin de Toledo y en el Javier de Cartuja.
4. *Péndulo vertical*. Es, evidentemente, el principio constructivo más simple para un sismógrafo que registre el movimiento horizontal del suelo (aunque tiene limitaciones insalvables en cuanto a su período propio, que viene determinado exclusivamente por la longitud de la plomada). Por este motivo, fue un tipo de sismógrafo muy popular. El microsismógrafo Vicentini (presente en siete estaciones sísmicas españolas) fue el instrumento más generalizado de esta familia de sismógrafos. A la misma familia pertenecen todos los péndulos verticales que figuran en el catálogo y también los Galbis, Agamennone, Cancani, vertical Almería y Vicentini Pacher.
5. *Péndulo de torsión*. Se utiliza para el registro de las componentes horizontales y la fuerza recuperadora se obtiene de la torsión del hilo que sostiene la masa. El modelo paradigmático de este instrumento es el sismógrafo Wood-Anderson. También es el único instrumento de este tipo utilizado en España aunque existe una referencia a la construcción de un sismógrafo de este tipo en el observatorio de Cartuja [Due53], pero debido a que no se ha podido confirmar ni su presencia ni la existencia de algún registro, este último no ha sido incluido en el catálogo.

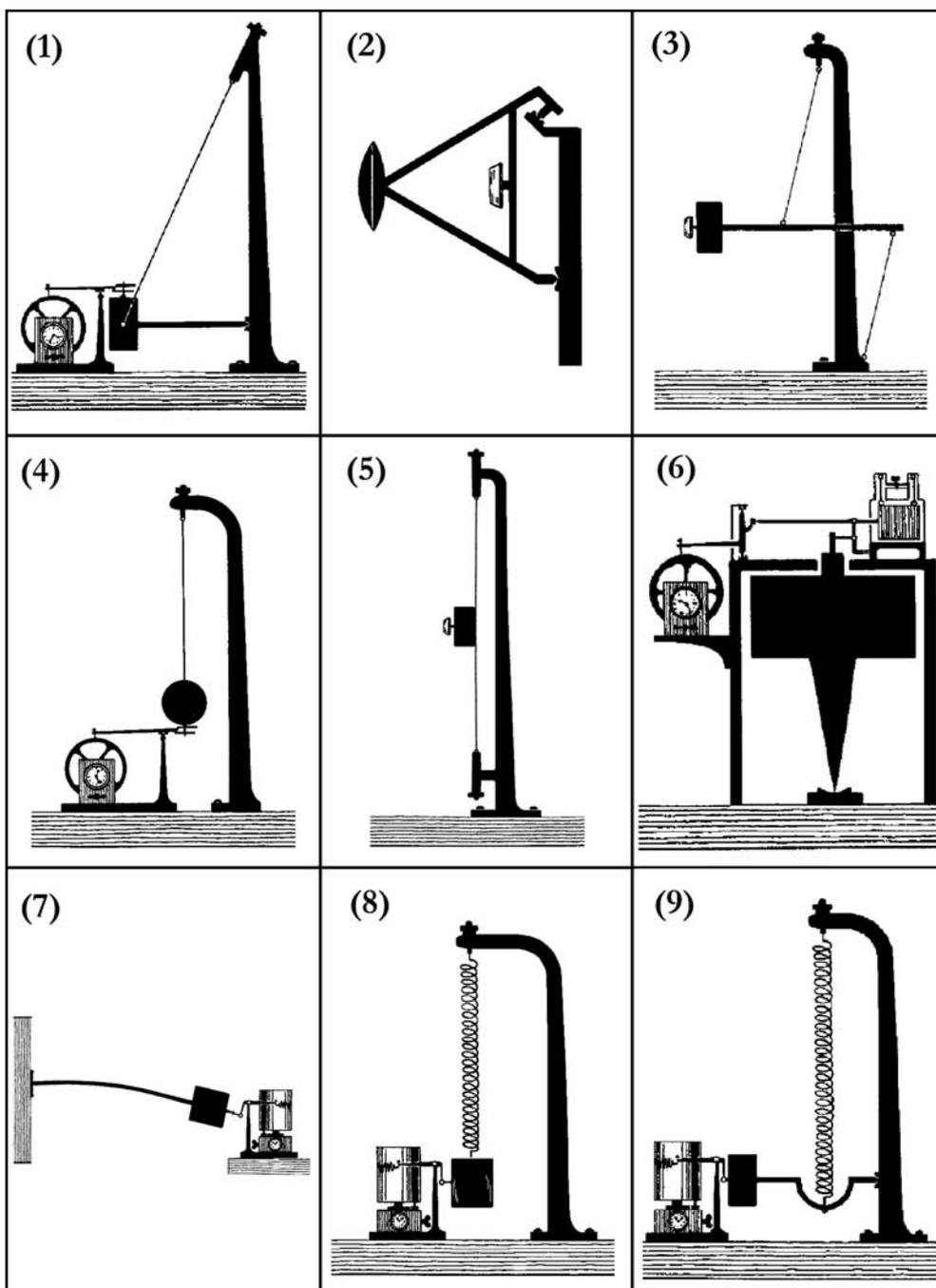


Figura 1.3.—Clasificación de los diferentes tipos de sismógrafos utilizados en España según los principios de construcción de su transductor: (1) Péndulo cónico, (2) péndulo rígido, (3) péndulo Zöllner, (4) péndulo vertical, (5) péndulo de torsión, (6) péndulo invertido, (7) péndulo de barra flexible, (8) péndulo cenital translacional, (9) péndulo vertical rotacional. Véase explicación en el texto.

6. *Péndulo invertido*. También existe un instrumento paradigmático de este tipo que es el sismógrafo Wiechert astático [Wie04] y que en España lo encontramos todavía en condiciones de uso en Toledo. Cartuja realizó una versión muy personal de este instrumento en su Berchmans y el IGC ofreció una versión nacional muy sobresaliente en el Wiechert Toledo que, en algún momento, se pensó que dotase (mediante la construcción de una serie) todas las estaciones de la red sísmica nacional. Sirve este aparato para el registro de los desplazamientos horizontales del suelo y su fuerza recuperadora reside en los muelles que impiden que su masa vuelque.
7. *Péndulo de barra flexible*. Sirve para el registro de los movimientos verticales (o también horizontales, aunque en España nunca se utilizó en sismógrafos de Observatorios) y su fuerza recuperadora reside en la flexión de la barra que sostiene la masa. Solo se utilizó en los péndulos Vicentini verticales muy extendidos, por otra parte, en España ya que funcionaron en siete observatorios.
8. *Péndulo cenital translacional*. Su fuerza recuperadora reside en su muelle y está diseñado para moverse únicamente en un eje estrictamente vertical (u horizontal). El único sismógrafo adquirido en España de este tipo, y en épocas tempranas, es el Wiechert vertical de Toledo. También existen las construcciones nacionales de los sismógrafos Victoria, el Alicante vertical y el fracasado péndulo cenital de Ebro. Todos ellos destinados al registro de la componente vertical. Al final del período estudiado encontramos los sismógrafos del tipo Benioff de la WWSSN, que aplican este tipo de solución a las componentes verticales y a las horizontales. A modo de anécdota comentar que este es el único tipo de sismógrafo del que no tenemos noticia que el Observatorio de Cartuja construyese o reformase.
9. *Péndulo cenital rotacional*. Es un modelo muy parecido al anterior pero la masa no se mueve verticalmente sino que gira alrededor de un punto de apoyo. Sus ventajas respecto al tipo anterior residen en que se hace mucho más fácil controlar el plano de oscilación de la masa y variar su período. Encontramos ejemplos en España en los Wiechert verticales de Alicante y Málaga, en el Mainka vertical de Almería, en el Belarmino de Cartuja y el Galitzin vertical de Toledo y, finalmente, en el sismógrafo vertical Ewing y en el fotosismógrafo Alfani vertical de San Fernando. Ya en la última hornada de sismógrafos llegados a España encontramos que tanto los Hiller-Stuttgart como los Sprengnether verticales utilizaban este principio.

1.4. Descripción de la ficha

Para documentar con precisión cada instrumento analizado se ha elaborado una ficha. Estas, como ya hemos comentado, constituyen la parte fundamental de esta obra. Para su realización nos hemos basado en el criterio de que cada una sea autosuficiente, de forma que no sea necesaria ninguna consulta adicional (salvo las claves bibliográficas) en cuanto al aparato descrito se refiere. Por tanto, hemos diseñado la ficha de forma que incluya los datos que hemos pensado que son necesarios tanto para identificar con precisión los aparatos, como para la utilización de sus registros en análisis cuantitativos. También nos hemos basado, para su diseño, en trabajos anteriores de Rothé [Rot40], Tejedor y García [Téj93] y Ferrari [Fer97]. Describiremos a continuación su estructura.

Cada ficha (fig. 1.4) consta de cuatro campos principales, cada uno de ellos con varios subapartados en donde se consignan los datos e informaciones. En algunos casos, cuando no se dispone de un dato, se ha dejado el apartado o subapartado en blanco. Un guión en el lugar que debería ocupar el dato significa que éste no ha lugar. Es el caso, por ejemplo, de un instrumento que no tiene amortiguamiento o que, en el caso del registro fotográfico, no existe plumilla inscriptora y, por ende, el dato de la longitud de plumilla no debe consignarse. Algunos datos llevan, a continuación, consignada (entre corchetes) la referencia de donde han sido extraídos. Se trata de datos que no han podido encontrarse en los *boletines* o directamente por el autor de este trabajo. Todos los datos consignados y que no llevan referencia alguna a la fuente de donde han sido obtenidos se encuentran en los *boletines* de las estaciones en donde se encontraba el aparato catalogado o han sido obtenidos directamente sobre los aparatos estudiados. Un dato entre paréntesis significa que su fiabilidad es escasa. También, en algunos casos, nos encontramos con que se han producido variaciones de algunos de los parámetros característicos de los instrumentos a lo largo de su período activo (son muy típicas las variaciones de la magnificación o de los períodos propios). En estos casos, se consignan las fechas en que se introdujeron las modificaciones a continuación de los parámetros alterados y entre paréntesis. Dado que estos paréntesis sólo contienen fechas no hay motivo posible para la confusión con los otros paréntesis mencionados en el apartado anterior. Resumimos a continuación el significado de los campos que componen cada ficha.

El primer campo incluye la *localización* del instrumento analizado (dónde se encontraba físicamente), su *origen* (si fue adquirido o construido en el observatorio en donde se encontraba o cualquier otra opción) y el *período de funcionamiento* (cuando es posible se da el año y mes, sino, sólo el año y cuando este dato es dudoso y no ha podido corroborarse fidedignamente la referencia que se ha utilizado o un signo de interrogación).

El segundo campo describe las características físicas del aparato que son de relevancia para obtener su respuesta instrumental, o aquellas que históricamente aparecen en los *boletines* para su descripción (observará el lector que, en cambio, se ha prescindido de consignar las dimensiones del instrumento, dato omnipresente en los *catálogos*; pero que no nos aporta ninguna información en cuanto a respuesta instrumental). Así, y por orden de aparición en la ficha instrumental, bajo el epígrafe *componente* se consigna la dirección o direcciones (en el caso de que un solo instrumento o masa registrase más de una) del movimiento del suelo registradas por el instrumento. *Masa* consigna, evidentemente, la masa oscilante (nunca su masa total con armadura) del instrumento en kilogramos. *Período pro-*

Instrumento	
Localización: Origen: Período de funcionamiento:	
Características:	
Componente: Masa: Período propio: Amortiguamiento: Rozamiento: Magnificación: Tipo de registro: Velocidad de registro: Longitud de la plumilla:	
Respuesta en polos y ceros:	
Ceros:	Polos:
Estado actual:	
Comentarios:	
Referencias:	

Figura 1.4.—Esquema de ficha de catalogación de sismógrafos utilizada en la segunda parte. Véase el texto para una explicación.

pio es el período de oscilación no amortiguado de la masa dado en segundos. *Período galvanómetro* es un epígrafe que sólo se consigna en el caso de que el instrumento inventariado sea del tipo de sensor electromagnético con registro galvanométrico. Consigna, evidentemente, el período propio del galvanómetro utilizado para el registro.

Amortiguamiento consigna la constante de amortiguamiento $\varepsilon : 1$ del sensor tal y como se daba en los antiguos boletines de las estaciones sísmicas. Esta constante se encuentra relacionada con el decremento logarítmico de las oscilaciones amortiguadas de un péndulo mecánico tal como se explica en [Lacxx]. A su vez, la constante ε se encuentra relacionada con el coeficiente de amortiguamiento h (véase §1.5.) por la relación [Kan87].

$$h = \frac{\ln \varepsilon}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 \varepsilon}}$$

La equivalencia entre los valores de la constante de amortiguamiento ε consignados en los *boletines* y la bibliografía de la época y el coeficiente de amortiguamiento h común-

mente utilizado hoy en día, y que expresa el valor del amortiguamiento aplicado a un oscilador armónico respecto a su amortiguamiento crítico, se encuentra en la tabla 2.

TABLA 2
Correspondencia entre la relación de amortiguamiento ε
y el coeficiente de amortiguamiento crítico b

$\varepsilon:1$	b	$\varepsilon:1$	b	$\varepsilon:1$	b	$\varepsilon:1$	b
1.0	0.00	14.5	0.65	28.0	0.73	43.0	0.77
1.5	0.13	15.0	0.65	28.5	0.73	44.0	0.77
2.0	0.22	15.5	0.66	29.0	0.73	45.0	0.77
2.5	0.28	16.0	0.66	29.5	0.73	46.0	0.77
3.0	0.33	16.5	0.67	30.0	0.73	47.0	0.77
3.5	0.37	17.0	0.67	30.5	0.73	48.0	0.78
4.0	0.40	17.5	0.67	31.0	0.74	49.0	0.78
4.5	0.43	18.0	0.68	31.5	0.74	50.0	0.78
5.0	0.46	18.5	0.68	32.0	0.74	52.0	0.78
5.5	0.48	19.0	0.68	32.5	0.74	54.0	0.79
6.0	0.50	19.5	0.69	33.0	0.74	55.0	0.79
6.5	0.51	20.0	0.69	33.5	0.74	56.0	0.79
7.0	0.53	20.5	0.69	34.0	0.74	58.0	0.79
7.5	0.54	21.0	0.70	34.5	0.75	60.0	0.79
8.0	0.56	21.5	0.70	35.0	0.75	62.0	0.80
8.5	0.56	22.0	0.70	35.5	0.75	64.0	0.80
9.0	0.57	22.5	0.70	36.0	0.75	65.0	0.80
9.5	0.58	23.0	0.71	36.5	0.75	66.0	0.80
10.0	0.59	23.5	0.71	37.0	0.75	68.0	0.80
10.5	0.60	24.0	0.71	37.5	0.75	70.0	0.80
11.0	0.61	24.5	0.71	38.0	0.76	75.0	0.81
11.5	0.61	25.0	0.72	38.5	0.76	80.0	0.81
12.0	0.62	25.5	0.72	39.0	0.76	85.0	0.82
12.5	0.63	26.0	0.72	39.5	0.76	90.0	0.82
13.0	0.63	26.5	0.72	40.0	0.76	95.0	0.82
13.5	0.64	27.0	0.72	41.0	0.76	100.0	0.83
14.0	0.64	27.5	0.72	42.0	0.77		

$\varepsilon:1$ Relación de amortiguamiento consignada en los antiguos boletines de las estaciones sismológicas.

b : Coeficiente de amortiguamiento crítico, que representa el cociente del amortiguamiento de un oscilador armónico amortiguado respecto a su amortiguamiento crítico.

Dado que la inmensa mayoría de los instrumentos electromagnéticos descritos en este catálogo utilizaban el amortiguamiento crítico para sus galvanómetros no hemos introducido ningún apartado para consignarlo.

Rozamiento consigna el valor r/T_0^2 que también aparece en los antiguos boletines de las estaciones sismológicas y da cuenta del rozamiento estático (o fricción) de las plumillas con el papel registrador. Así pues, este término no se consigna en el caso de sismógrafos con registro en papel fotográfico.

Magnificación es el valor de la amplificación estática del instrumento analizado. En el caso de instrumentos de registro galvanométrico es el valor de amplificación máxima del instrumento en cuestión.

A continuación, y dentro del mismo campo, se consignan otros parámetros o elementos que nos han parecido de interés que constasen en este *catálogo* puesto que son importantes en el análisis de los sismogramas provenientes de un instrumento. Estos son el *tipo de registro*, sobre papel fotográfico, ahumado o con tinta. La *velocidad de registro* que se consigna en milímetros por minuto y la *longitud de la plumilla* inscriptora (también expresada en milímetros), desde su eje de rotación hasta la punta que realizaba la inscripción (este dato es de importancia para corregir los sismogramas antes de su análisis [Sam97]).

El tercer campo consigna la *respuesta en polos y ceros* calculada según se explica en el apartado siguiente. Éste (§1.5) explica cómo se ha realizado el cálculo de los coeficientes aquí consignados. Este campo es de una utilidad manifiesta para todos aquellos investigadores interesados en el procesado de sismogramas de estos aparatos, puesto que ofrece de una forma actualizada la función de transferencia de cada sismógrafo.

El cuarto y último campo contiene un comentario referente a su *estado actual*, si el instrumento se conserva. El epígrafe *comentarios* contiene, muy sucintamente, cuanto nos han parecido de interés para completar la ficha del instrumento y no tiene cabida en ninguno de los apartados anteriores. Finalmente, en *referencias* se consignan las claves de la bibliografía, que se encuentra referenciada en el apartado §1.6, para el instrumento en estudio. Ésta comprende las referencias generales al modelo de instrumento en cuestión así como al instrumento concreto catalogado (cuando es el caso).

La ficha se cierra, siempre que los datos disponibles lo permiten, con una gráfica con las curvas de respuesta del instrumento, en amplitud y en fase.

1.5. *La respuesta instrumental*

Es sabido que era una antigua práctica de los observatorios consignar en los boletines las características de los instrumentos utilizados para el registro de la sismicidad en términos de masa, amplificación, período propio, amortiguamiento y rozamiento, para los sensores del tipo mecánico y, para el caso de sensores electromagnéticos con registro galvanométrico, en términos de masa, amplificación, período propio del sensor, período del galvanómetro y constante de acoplamiento. Cabe decir que en este último caso existe una mayor variedad en las maneras de expresar las constantes de los instrumentos utilizados que en el caso de los sensores mecánicos, muy estandarizadas ya en los años veinte. Estos parámetros son suficientes para el análisis analógico de los sismogramas, que, evidentemente, era el procedimiento utilizado en el momento de la confección de los boletines.

Actualmente existen formatos estándar (SEED, GSE, etc.) para el intercambio de las formas de onda en forma digital entre las diferentes instituciones e investigadores. La práctica totalidad de los formatos existentes consignan la función de transferencia (respuesta) del aparato registrador del sismograma en forma de polos y ceros. Esta es la razón que nos ha decidido a dar la respuesta de los aparatos catalogados en el presente trabajo, siempre que ha sido posible, con una función de transferencia dada en polos y ceros. Así esperamos contribuir a simplificar el análisis de antiguos sismogramas digitalizados por parte de futuros investigadores. A continuación se dan los detalles de cómo se han calculado los polos y ceros de cada instrumento catalogado.

1.5.1. Sensor mecánico

La ecuación diferencial que gobierna el movimiento de un oscilador armónico lineal amortiguado de masa M , con constante recuperadora k y constante de amortiguamiento viscoso c , sujeto al movimiento del marco en el que se encuentra fijado puede escribirse como [Kis67].

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + 2h\omega_0 \frac{\partial x}{\partial t} + \omega_0^2 x = \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$$

En donde $x(t)$ representa el movimiento del oscilador respecto a su punto de apoyo y $z(t)$ el movimiento del marco que sostiene el oscilador; ω_0 es la frecuencia propia del oscilador no amortiguado y definida como

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

y h representa el coeficiente de amortiguamiento definido como

$$h = \frac{c}{2\sqrt{kM}}$$

Como vemos, los parámetros w_0 y h son suficientes para describir las características físicas del sistema. En el caso que el oscilador armónico amortiguado no sea lineal, sino que gire alrededor de un punto determinado, que es el caso de todos los diseños de construcción presentados en la sección 1.3, salvo para el péndulo cenital translacional que se ajusta al caso anterior (véase la viñeta núm. 8 en la figura 1.3) la ecuación anterior puede escribirse en función del ángulo de rotación como

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + 2h\omega_0 \frac{\partial \theta}{\partial t} + \omega_0^2 \theta = \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$$

En donde w_0 se define como

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{ka^2}{K}}$$

siendo K el momento de inercia de la masa respecto al eje de giro, a la distancia a la que se aplica la fuerza recuperadora y h el coeficiente de amortiguamiento, que se define como

$$h = \frac{cb^2}{2\sqrt{ka^2K}}$$

siendo b la distancia del eje de giro a la que se aplica el amortiguamiento viscoso.

Recordemos ahora que un sensor (o geófono) mecánico puede modelarse como un oscilador armónico amortiguado. Si el movimiento del soporte es sinusoidal, las ecuaciones del movimiento planteadas tienen solución analítica. Puede entonces demostrarse que la función de transferencia de este sistema, en el espacio de la transformada de Laplace, puede escribirse, a partir de las ecuaciones anteriores y siguiendo [Sch96], como

$$T(s) = A_m \frac{s^2}{s^2 + 2\omega_0 h \cdot s + \omega_0^2}$$

en donde A_m representa la amplificación estática del aparato (recordemos que para pasar del espacio de la transformada de Laplace al espacio de frecuencias bastará substituir en la primera ecuación la variable s por $j\omega$). Esta amplificación A_m es un parámetro que dependerá de la construcción del sistema multiplicador e inscriptor del instrumento y que se consigna en los *boletines* de las estaciones.

El denominador de la primera ecuación puede descomponerse en dos polos p_1 y p_2 que tendrán la forma

$$p_{1,2} = -\left(h \pm j\sqrt{1 - h^2} \right) \omega_0$$

y, a su vez, la función de transferencia del sensor mecánico puede reescribirse como

$$T(s) = A_m \frac{s^2}{(s - p_1) \cdot (s - p_2)}$$

Así, vemos que la respuesta de un sensor mecánico al movimiento del suelo puede modelarse, en el espacio de la transformada de Laplace, como una función con dos ceros (realmente se trata de un valor repetido $s_1 = s_2 = 0$) y dos polos, p_1 y p_2 . Estos valores reales e imaginarios de p_1 y p_2 son los que aparecen consignados en el apartado polos de la ficha correspondiente a cada sismógrafo mecánico. La constante A_m que multiplica la ecuación corresponde al valor de magnificación consignado en el apartado de características del instrumento.

A manera de ejemplo, si disponemos de un sismógrafo con un período propio de 16.0 s y de amortiguamiento $\varepsilon:1 = 3.5$ (que corresponde a un valor de $h = 0.37$), los dos polos de la respuesta instrumental tendrán los valores $p_1 = -0.1455 - j 0.3648$ y $p_2 = -0.1455 + j 0.3648$, respectivamente.

1.5.2. Sensor electromagnético con registro galvanométrico

En este caso existen dos ecuaciones del movimiento similares a las correspondientes a las del sensor mecánico. Una corresponde al sensor propiamente dicho y la otra al galvanómetro. Además, estas ecuaciones no son independientes, existiendo un llamado término de acoplamiento entre las dos. La solución del problema se hace más dificultosa en este caso y puede consultarse en Hagiwara [Hag58].

Puede demostrarse [Aki80] que la función de transferencia de un sismógrafo (sensor) electromagnético con registro galvanométrico puede expresarse, en el espacio de la transformada de Laplace, como

$$T(s) = \frac{A_m \cdot s^3}{(s^2 - 2\omega_g h_g \cdot s + \omega_g^2)(s^2 - 2\omega_s h_s \cdot s + \omega_s^2)}$$

en donde w_s representa el periodo propio del sensor y w_g el del galvanómetro; h_s y h_g representan los coeficientes de amortiguamiento del sensor y del galvanómetro, respectivamente.

Esta función representa una aproximación de la función exacta de transferencia, mucho más compleja, y que es válida siempre que el acoplamiento entre el sensor y el galvanómetro sea inexistente. En el caso en que haya acoplamiento entre el sensor y el galvanómetro, esta función da valores aproximados siempre que dicho acoplamiento no sea muy grande. Según [Hag58] si el término de acoplamiento σ^2 es menor que 0.25, la desviación que obtenemos con la fórmula aproximada es menor del 20% en amplitud y del 15% en fase.

Esta función aproximada tiene cuatro polos fácilmente calculables

$$p_{1,2} = \left(h_s \pm j\sqrt{1 - h_s^2} \right) \omega_s$$

$$p_{3,4} = \left(h_g \pm j\sqrt{1 - h_g^2} \right) \omega_g$$

y tres ceros nulos ($s_1 = s_2 = s_3 = 0$). La función de transferencia puede entonces expresarse como

$$T(s) = A_m \frac{s^3}{(s - p_1) \cdot (s - p_2) \cdot (s - p_3) \cdot (s - p_4)}$$

donde p_1 , p_2 , p_3 y p_4 son los cuatro polos correspondientes que aparecen en las respuestas de sensores electromagnéticos. También en este caso el factor A_m , presente en la ecuación que soluciona nuestro problema, corresponde al valor de magnificación consignado en la ficha del instrumento analizado.

1.6. *Coordenadas de las estaciones*

Consignamos en este apartado las coordenadas geográficas de los emplazamientos de las diferentes estaciones sismológicas a las que se hace referencia en el *Catálogo-inventario de instrumentos* que compone la segunda parte de este trabajo. También consignamos el nombre usual que recibía, su código internacional (cuando existe), su nombre oficial y la institución de quién dependían. La figura 1.2. muestra la localización de las estaciones aquí presentadas.

Estación: **Manila**
Código: **MAN**
Institución: Observatorio Meteorológico de Manila.
Coordenadas: 14° 34' 41" N - 120° 58' 33" E (Estas coordenadas son válidas a partir de 1884).
Altitud: 2 m

Estación: **San Fernando**
Código: **SFS**
Institución: Real Observatorio de la Armada
Coordenadas: 36° 27' 42" N - 06° 12' 20" W
Altitud: 28 m

Estación: **Cartuja**
Código: **CRT**
Institución: Observatorio de Cartuja
Coordenadas: 37° 11' 24" N - 03° 35' 53" W - (*Observatorio astronómico*)
Altitud: 774 m
Coordenadas: 37° 11' 37" N - 03° 35' 44" W - (*Colegio Máximo, entre 1908 y 1934*)
Altitud: 768 m

Estación: **Ebro**
Código: **EBR**
Institución: Observatorio del Ebro
Coordenadas: 40° 49' 14" N - 0° 29' 36" E
Altitud: 40 m

Estación: **Fabra**
Código: **FBR**
Institución: Observatorio Fabra - (Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona)
Coordenadas: 41° 24' 59" N - 02° 08' 00" E
Altitud: 415 m

- Estación:* **Toledo**
Código: **TOL**
Institución: Observatorio Geofísico de Toledo - (Instituto Geográfico y Catastral)
Coordenadas: 39° 51' 39" N - 04° 01' 41" W - (*Palacio de la Diputación Provincial, hasta 1935*)
Altitud: 519 m
- Coordenadas:* 39° 52' 53" N - 04° 02' 55" W - (*Buenavista, desde 1935*)
Altitud: 481 m
- Estación:* **Almería**
Código: **ALM**
Institución: Observatorio Geofísico de Almería - (Instituto Geográfico y Catastral)
Coordenadas: 36° 51' 09" N - 02° 27' 35" W
Altitud: 65 m
- Estación:* **Málaga**
Código: **MAL**
Institución: Observatorio Sismológico de Málaga - (Instituto Geográfico y Catastral)
Coordenadas: 36° 43' 39" N - 04° 24' 40" W
Altitud: 60 m
- Estación:* **Alicante**
Código: **ALI**
Institución: Observatorio Sismológico de Alicante (Instituto Geográfico y Catastral)
Coordenadas: 38° 21' 19" N - 0° 29' 14" W
Altitud: 35 m
- Estación:* **Olot**
Código:
Institución: Estación Sismológica - (Ayuntamiento de Olot)
Coordenadas: 42° 10' 58" N - 02° 29' 26" E
Altitud: 436 m
- Estación:* **Girona**
Código:
Institución: Estación sismológica - (Instituto General y Técnico de Gerona)
Coordenadas: 41° 59' 15" N - 02° 49' 00" E
Altitud: 75 m
- Estación:* **Barcelona**
Código:
Institución: Observatorio Urania - (Sociedad Astronómica de España y América)
Coordenadas: 41° 23' 51" N - 02° 09' 02" E
Altitud: 69 m

Estación: **Tivissa***Código:**Institución:* Estación sismológica - (Propiedad particular del Dr. Jardí)*Coordenadas:* 41° 02' 35" N - 0° 44' 03" E*Altitud:* 305 m*Estación:* **Riotinto***Código:**Institución:* Estación sismológica - (Rio Tinto Company Limited)*Coordenadas:* 37° 46' N - 06° 38' W*Altitud:* ¿ ? m*Estación:* **Izaña***Código:**Institución:* Observatorio Aerológico*Coordenadas:* 28° 17' 56" N - 15° 29' 18" W*Altitud:* 2.387 m*Estación:* **Madrid***Código:* **MDD***Institución:* Laboratorio de sismología - (Instituto Geográfico y Catastral)*Coordenadas:* 40° 24' 30" N - 03° 41' 15" W*Altitud:* 643 m*Estación:* **Villafranca de los Barros***Código:**Institución:* Observatorio Geofísico - (Colegio de San José, Compañía de Jesús)*Coordenadas:* 38° 36' N (aprox.) - 06° 19' W (aprox.)*Altitud:* ¿ ? m*Estación:* **Tenerife***Código:* **TEN***Institución:* Observatorio Geofísico de Toledo - (Instituto Geográfico y Catastral)*Coordenadas:* 28° 27' 14" N - 16° 14' 23" W*Altitud:* 1 m*Estación:* **Logroño***Código:* **LOG***Institución:* Observatorio Geofísico de Logroño - (Instituto Geográfico y Catastral)*Coordenadas:* 42° 27' 28" N - 02° 30' 12" W*Altitud:* 446 m

Parte I: Descripción del Catálogo

Estación: **Moca**
Código: **MFP**
Institución: Observatorio Geofísico de Moca - (Instituto Geográfico y Catastral)
Coordenadas: 03° 20' 31" N - 08° 39' 39" E
Altitud: 1.338 m

Estación: **Puerto de la Orotava**
Código:
Institución: Estación Sismológica
Coordenadas: 28° 25' N - 16° 31" W
Altitud: ¿ ? m

Estación: **Palma de Mallorca**
Código:
Institución: Laboratorio Oceanográfico
Coordenadas: 39° 35' N - 02° 39' E
Altitud: ¿ ? m

1.7. Bibliografía

- [ADM59] Ingeniero Jefe de Servicio (1959): *Avance de Memoria de los Trabajos realizados por este Servicio durante el año 1969*. Archivo de la Subdirección General de Geodesia y Geofísica, 5 pp.
- [ADM69] Ingeniero Jefe de Servicio (1959): *Avance de Memoria de los Trabajos realizados por este Servicio durante el año 1959*. Archivo de la Subdirección General de Geodesia y Geofísica, 7 pp.
- [Aga35] Agamennone, G. (1935): «Il microsismometrografo a pendolo verticale e sospensione cardanica», *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, 33, 173-189.
- [Aga95] Agamennone, G. (1895): «Sopra un nuovo tipo di sismometrografo». *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, 1, 160-168.
- [Aki80] Aki, K. and Richards, P. G. (1980): *Quantitative Seismology. Theory and Methods*. W. H. Freeman and Company, New York, Cap. 10, 477-524.
- [Alf30] Alfani, G. (1930): «Un nouveau type de sismographe photographique». *Ciel et Terre*, 35, 147-153.
- [And25] Anderson, J. A. and Wood, H. O. (1925): «Description and theory of the torsion seismometer». *Bull. Seism. Soc. Am.*, 15, 1-72.
- [Ano92] Anónimo (1892): «Neue Beobachtungen am Horizontalpendel». *Jahrbuch der Astronomie und Geophysik*, 3, 131-133.
- [Ano03] Anónimo (1903): «Los sismógrafos del Observatorio de Granada», *El Mundo Científico*, V, 501-502.
- [Ask55] Askania (1955): *Seismograph, Model «Stuttgart» for galvanometric-photographic recording of local earthquakes*. Report 1525 GE, Askania Werke A. G., Berlin, 19 pp.
- [BAA08] BAAS (1908): «Thirteenth Report on Seismological Investigations». *British Association for the Advancement of Science*. London, 60-62.
- [BAA10] BAAS (1910): «Fifteenth Report on Seismological Investigations». *British Association for the Advancement of Science*. London, 44-47.
- [BAA11] BAAS (1911): «Sixteenth Report on Seismological Investigations». *British Association for the Advancement of Science*. London, 30-32.
- [Bat82] Bates, C. C.; Gaskell, T. F. and Rice, R. B. (1982): *Geophysics in the Affairs of Man*. Pergamon Press. Oxford, 492 pp.
- [Bat93] Batlló, Josep y Cardús, Josep Oriol (1993): «Historic seismograms and materials preserved at the seismic station of the Observatori de l'Ebre». *Proceedings of the XXIII General Assembly of the European Seismological Commission*. Praha, 232-235.
- [Bat95] Batlló, Josep (1995): «L'Observatori de l'Ebre». *Revista de Física*, núm. 8, 41-46.

- [Bat97] Batlló, J. (1997): «Els antics sismògrafs de l'Institut de Girona», en: Blanes, G. i Garrigós, L. (Ed.): *Actes de les IV Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*. IEC. Barcelona, 479-486.
- [Bat99] Batlló, J. (1999): *Revision of the catalogue of historical seismic stations in Spain*. I Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. CD-ROM.
- [Bat00] Batlló, Josep i Ugalde, Arantza (2000): «Els sismògrafs de l'Observatori de l'Ebre», en: Batlló, J.; de la Fuente, P. y Puig, R. (eds.): *Actes de les V Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*. IEC. Barcelona, 161-165.
- [Bat01] Batlló, Josep (2001): «Els antics sismògrafs de l'Institut de Girona». *Revista de Girona* [en prensa].
- [Bat02] Batlló, Josep (2002): «Sismologia colonial: la introducció de la sismologia instrumental a les illes Filipines (1865-1901)», en: Bernat, P.; Puig, R. I. y Batlló, R. (eds.): *Actes de les VI Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*. IEC. Barcelona, 215-224.
- [Bat03] Batlló, J. (2003): «Los sismógrafos del Observatorio de Cartuja», en Espinar, M., Esquivel, J. A. y Peña, J. A. (eds.): *Historia del Observatorio de Cartuja 1902-2002. Nuevas investigaciones*. CD-ROM, Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, Granada, 61 pp.
- [Ben32] Benioff, H. (1932): «The variable reluctance transducer». *Bull. Seis. Soc. Am.*, 22, 155-169.
- [Ber32] Berlage, H. P. (1932): «Seismometer», en: Gutenberg, B. (Ed.): *Handbuch der Geophysik, Band IV*. Verlag von Gebrüder Borntraeger. Berlín, 299-528.
- [Bos10] Bosch, J. and Bosch, A. (1910): «Seismische Apparate-Instrumente. Katalog, Nr. 22». *Elsass-Lothringische Druckerei*. Strassburg, 35 pp.
- [Bou27] Bouasse, H. (1927): *Séismes et sismographes* (chapitre III). Librairie Delagrave. París, 390 pp.
- [Cam49] Campos-Guereta, F. (1949): «Actividad sismológica en España durante el decenio 1939 a 1948». En Rothé, J. P. (ed.): *Séances de la huitième conférence. Association de Séismologie*. UGGI (Comptes Rendus núm. 9). Strasbourg, 119-127.
- [Can00] Cancani, A. (1900): «Sismometrografo a registrazione veloce-continua». *Bollettino della Società Sismologica Italiana*, 6, 139-145.
- [Car83] Cardús, J. O. (1983): «El Observatorio del Ebro», en Cardús, J. O. (ed.). «Contribuciones científicas para conmemorar el 75 aniversario del Observatorio del Ebro». Publicaciones del Observatorio del Ebro. Tortosa. *Memoria núm. 14*, 9-19.
- [Car90] Cara, Michel (1990): «The development of instrumental seismology at Strasbourg and in France», en: Ferrari, G. (ed.): *Gli strumenti Sismici Storici*. SGA, Storia-Geofisica-Ambiente. Bologna, Italia, 183-192.
- [Cat69] Catalán, Manuel y Torres, José (1969): *Calibración de la estación sismológica*. Instituto y Observatorio de Marina. San Fernando, 42 pp.

- [Cha53] Charlier, Ch. y Van Gils, J. M. (1953): *Liste des Stations Seismologiques Mondiales*. Observatoire Royal de Belgique. Uccle.
- [CNG54] CNGG (1954): «Rapport National. Commission Nationale de Géodésie et de Géophysique». Association de Sismologie et de Physique de l'intérieur de la Terre. Instituto Geográfico Nacional. Madrid, 8 pp.
- [CNG58] CNGG (1958): «Rapport sur les Travaux Seismologiques executes par l'Institut Geographique et Cadastral d'Espagne de 1954 a 1957». En Bath, M. (ed.): «Comtes Rendus des Séances de la onzième conférence». Association de Séismologie et de Physique de l'Interieur de la Terre. UGGI (*Comptes Rendus*, núm. 12). Strasbourg, 270-275.
- [CNG64] CNGG (1964): Asociación Internacional de Sismología y de Física del Interior de la Tierra. «Informe Nacional 1960-63». Presentado por el Instituto Geográfico y Catastral. En Rothé, J. P. (ed.): «Comtes Rendus des Séances de la treizième conférence». Association de Séismologie et de Physique de l'Interieur de la Terre. UGGI (*Comptes Rendus*, núm. 14). Strasbourg, 13 pp.
- [CNG79] Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica (1979): *Memoria de las actividades en el año 1978*, Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 156 pp.
- [Cod02] Codina, J. (2002): «En el centenari de l'Observatori Fabra: arrels, realitzacions, previsió de futur», *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 60, núm. 3, 67-101.
- [Com05] Comas Solà, J. (1905): «Juicio Crítico de los Observatorios Modernos». *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 5, 83-97.
- [Com08] Comas Solà, J. (1908): «Estadística Sismológica de 1907 en Barcelona». *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 5, 505-509.
- [Com11a] Comas Solà, J. (1911): «Estadística Sismológica de 1910. Observatorio Fabra (Barcelona)». *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 10, 231-234.
- [Com11b] Comas Solà, J. (1911): «El terremoto Pirenaico del 24 de Julio de 1911». *Revista de la Sociedad Astronómica de España*, 1, 81-83.
- [Com12] Comas Solà, J. (1912): «Estadística Sismológica de 1911 (Observatorio Fabra)». *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 5, 505-509.
- [Com13] Comas Solà, J. (1913): «Servicio sismológico de la Sociedad Astronómica de España y América». *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, 3, 101-102.
- [Cor80] Cortés, M. (1880): *Los terremotos, sus efectos en las edificaciones, y medios prácticos para evitarlos en lo posible*. Est. Tipográfica de Ramírez y Girandier. Manila.
- [Dav21] Davison, Charles (1921): *A manual of seismology*. Cambridge Academic Press. Cambridge, 256 pp.
- [DdG07] *Diario de Gerona* (1907): «El sismógrafo de Olot», 13 de septiembre de 1907. 3-4.
- [deC02] de la Cierva, E. (1902): «Observatorio de Marina, de San Fernando, II», *El Mundo Científico*, IV, 817-818.
- [deM61] de Miguel, Luis (1961): *Observatorio Central Geofísico «Alfonso Rey Pastor»*, Toledo. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid, 19 pp., + figuras.

- [deO97] de Ory Ajamil, Fernando (1997): *Ciencia y diplomacia Hispano-Alemana en Canarias (1907-1916)*. Edirca. Las Palmas de Gran Canaria, 240 pp.
- [Dew69] Dewey, J. and Byerly, P. (1969): «The early history of seismometry (to 1900)». *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59, 183-227.
- [Due40] Due Rojo, A. (1940): «Contribución de la estación sismológica del Observatorio de Cartuja al Estudio de los seísmos españoles». *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, XVI Congreso (de Zaragoza)*, 140-145.
- [Due49a] Due Rojo, A. (1949a): «El nuevo sismógrafo de la estación sismológica de Cartuja». *Rev. de Geofísica*, 8, 470-474
- [Due49b] Due Rojo, A. (1949b): «Dos nuevos aparatos registradores del Observatorio de Cartuja». *Las Ciencias*, 14, 205-213.
- [Due53] Due Rojo, A. (1953): «Actividad de los observatorios españoles durante el año 1952». *Urania*, 38, 167-168.
- [Dut04] Dutton, C. E. (1904): *Earthquakes in the light of the new seismology* (chapter 5). John Murray. London, XVII, + 320 p.
- [Esp03] Espinar, M., Esquivel, J. A., y Peña, J. A. (Ed.) (2003): *Historia del Observatorio de Cartuja 1902-2002. Nuevas investigaciones*. CDRom, Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, Granada.
- [Ewi83] Ewing, J. A. (1883): «Earthquake measurement». *Memoires of the Science*. Dept., Univ. of Tokio, núm. 9.
- [Ewi86] Ewing, J. A. (1886): «Earthquake-recorders for use in observatories». *Nature*, 34, 343-344.
- [Fer85] Fernández de Castro, M.; Lasala, J. P.; Cortázar, D. and Gonzalo y Tarín, J. (1885): *Terremoto de Andalucía: Informe de la Comisión nombrada para su estudio dando cuenta del estado de los trabajos en 7 de marzo de 1885*. Imp. de M. Tello. Madrid, 107 pp.
- [Fer90] Ferrari, G. (1990): *Gli strumenti sismici storici. Italia e contesto Europeo*. SGA Storia-Geofisica-Ambiente. Bologna, 198 pp.
- [Fer92a] Ferrari, G. (1992): Vicentini microseismograph for the vertical component 1897, en: Ferrari, G. (Ed.): *Two Hundred years of seismic instruments in Italy 1731-1940*. SGA Storia-Geofisica-Ambiente. Bologna, 132-133.
- [Fer92b] Ferrari, G. (1992): Vicentini recording seismoscope 1905, en: Ferrari, G. (Ed.): *Two Hundred years of seismic instruments in Italy 1731-1940*. SGA Storia-Geofisica-Ambiente. Bologna, 149-151.
- [Fer92c] Ferrari, G. (1992): «Wiechert astatic horizontal seismograph 1903», en: Ferrari, G. (Ed.): *Two Hundred years of seismic instruments in Italy 1731-1940*. SGA Storia-Geofisica-Ambiente. Bologna, 136-141.
- [Fer92d] Ferrari, G. (1992): «Galitzin seismographs with galvanometric recording for the vertical and horizontal components 1905», en Ferrari, G. (Ed.): *Two Hundred years of seismic instruments in Italy 1731-1940*. SGA Storia-Geofisica-Ambiente. Bologna, 142-149.

- [Fer97] Ferrari, G. (1997): *Presentation of the Workshop, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 13, 1-30.
- [Gal21] Galitzin, B. (1921): *Conferencias sobre sismometría*. Instituto Geográfico y Estadístico. Madrid. XII, + 560 pp.
- [Gal31] Galbis, J. (1931): «État de la séismologie en Espagne», en Rothé, E. (Ed.): *Comptes Rendus des Séances de la quatrième conférence, Section de Séismologie*. UGGI. Toulouse, 170-171.
- [Gal32] Galbis, J. (1932): *Catálogo Sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5° E. y 20° W. de Greenwich y los paralelos 45° y 25° N.* Tomo I. Instituto Geográfico, Catastral y de Estadística. Madrid, 165-175.
- [Gal40] Galbis, J. (1940): *Catálogo Sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5° E. y 20° W. de Greenwich y los paralelos 45° y 25° N.* Tomo II. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid, 51-54.
- [Gar15] García de Lomas, J. (1915): Trabajos meteorológicos en Tenerife. *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. Congreso de Madrid*. Tomo III, Sección 2.ª, 53-74.
- [Gar61] García Cogollor, Ángel (1961): *Observatorio Geofísico de Moca. Geomagnetismo. Año 1958-1959*. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid.
- [Geo64] Geotechnical Corporation (1964): *Operation and maintenance manual. Benioff portable seismometers models 4681A, 4681B, 6102A and 6102B*. The Geotechnical Corporation, Garland, Texas, 44 + 21 pp.
- [God09] Godeaux, L. (1909): «Le sismoscope enregistreur de M. Giuseppe Vicentini». *Ciel et Terre*, XIV, 151-155.
- [Gom42] Gómez Guillamón, F. (1942): «Nuevo sismógrafo “Victoria”, proyectado y construido en la estación sismológica de Málaga del Instituto Geográfico y Catastral». *Las Ciencias*, 7, 23-37.
- [Gon92] González, Francisco José (1992): *El Observatorio de San Fernando (1831-1924)*. Instituto de Historia y Cultura Naval. Ministerio de Defensa. Madrid, 386 pp.
- [Gon95] González, Francisco José (1995): *Instrumentos Científicos del Observatorio de San Fernando (siglos XVIII, XIX y XX)*. Instituto de Historia y Cultura Naval. Ministerio de Defensa. Madrid, XXIV, + 286 pp.
- [Gon00] González, Marta; Susagna, Teresa i Codina, Josep M. (2000): «Collecció d'instruments científics a l'Observatori Fabra», en: Batlló, J. de la Fuente, P. i Puig, R. (Ed.): *Actes de les V Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*. IEC. Barcelona. 197-202.
- [Gra96] Grablovitz, G. (1896): «Pendoli orizzontali a registrazione meccanica continua». *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, 2, 171-179.
- [Hag58] Hagiwara, T. (1958): «A note on the theory of the electromagnetic seismograph». *Earthquake Research Institute Bulletin of Tokyo University*, 36, 139-164.
- [Her88] Herrera, M. (1888): «¿Qué es un terremoto?». *Crónica Científica*, 11, 97-103.
- [Hob10] Hobbs, W. H. und Ruska, J. (1910): *Erdbeben*. Verlag von Quelle & Meyer. Leipzig, 274 pp., + 30 lám.

- [Ing20] Inglada, V. (1920): «Estación Sismológica de Toledo». Instituto Geográfico y Estadístico. Folleto divulgativo, 4 pp.
- [Ing43] Inglada, V. (1943): «Contribución al estudio del batisismo sudamericano de 17 de enero de 1922». *Memorias del Instituto Geográfico y Catastral*. Tomo XVI, VIII, 37-44.
- [Ingxx] Inglada, V. (19xx): «Proyecto de reforma de la componente vertical del sismógrafo Vicentini». Manuscrito. Archivo de la Subdirección General de Geodesia y Geofísica. Instituto Geográfico Nacional. Madrid, 5 pp.
- [Jar10a] Jardí, R. (1910): «Un sismógrafo al alcance de los aficionados». *Boletín de la Sociedad Astronómica de Barcelona*, 1, 3-9.
- [Jar10b] Jardí, R. (1910): «Notas sismológicas». *Boletín de la Sociedad Astronómica de Barcelona*, 1, 45-47.
- [Kan87] Kanamori, H. (1987): «Importance of Historical Seismograms for Geophysical Research». En Lee, W., Meyers, H. and Shimazaki, K. (Ed.): *Historical Seismograms and Earthquakes of the World*. Academic Press, Inc. San Diego, 16-33.
- [Kis67] Kisslinger, Karl (1967). *Lecture Notes on Seismological Instrumentation*. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. Tokio, 103 pp.
- [Lacxx] Lacoste, J. (19xx). «Détermination des constantes», en Rothé, E.: (Ed.): *Notice relative au montage et au réglage du séismographe Mainka*. Institut de Physique du Globe. Strasbourg. 16-29.
- [Lop80] López Arroyo, A.; Martín, A. J.; Mezcuca, J.; Muñoz, D. and Udías, A. (1980): *El Terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1884*. Instituto Geográfico Nacional. Madrid, 139 pp.
- [Lop90] López Arroyo, A.; Cruz, J.; Roca, A. and Olivera, C. (1990): «Early seismographic instruments in Spain», en Ferrari, G. (Ed.): *Gli strumenti Sismici Storici*. SGA Storia-Geofisica-Ambiente. Bologna. Italia, 161-164.
- [Mac47] Macelwane, James B. (1947): *When the Earth Quakes*. The Bruce Publishing Company. Milwaukee, XII, + 288 pp.
- [Mar52] Martín, Juan (1952): *Descripción del sismógrafo Mainka de componente horizontal del Observatorio Sismológico de Alicante*. Archivo del Observatorio de Alicante, 8 pp.
- [Mar54a] Martín, Juan (1954a): *Memoria sobre el Observatorio Sismológico «Vicente Inglada» de Alicante*. Archivo del Observatorio de Alicante, 26 pp.
- [Mar54b] Martín, Juan (1954b): *Memoria anual del Observatorio Sismológico de Alicante*. Archivo de la Subdirección General de Geodesia y Geofísica, 4 pp.
- [Mar89] Marcolain, P. (1889): «Una estación sismológica». *Crónica Científica*, 12, 129-131.
- [Mar99] Martín Dávila, J. y Pazos, A. (1999): «100 años de observaciones sismológicas en San Fernando», *Boletín ROA*, núm. 5/99, Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando, XII + 289 pp.

- [McC44] McComb, H. E.; Gebhardt, R. E. and Wark D. (1944): «The seismological installation at the South Dakota State School of Mines and Technology». Rapid City. South Dakota. *Transactions of the American Geophysical Union*, 309-313.
- [Mer05] Merino, M. (1905): «Los terremotos experimentados en la Liguria y alta Italia, Suiza, y occidente y mediodía de Francia». *Revista de los Progresos de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 22, 196-204.
- [Mez95] Mezcua, J. (1995): «Fundamentos de la Red Sísmica de España». In: Mezcua, J. (ed.): *Redes Sísmicas Regionales*, Monografía núm. 11, IGN. Madrid, 63-86.
- [Mie10a] Mier Miura, E. (1910a): «Note sur les stations sismologiques de l'Espagne». En de Kövesligethy, R. (Ed.): *Comptes-Rendus des séances de la Troisième Réunion de la Commission Permanente de l'Association Internationale de Sismologie Réunie a Zermatt*. Budapest, 98-100.
- [Mie10b] Mier Miura, Eduardo (1910b): *Memoria acerca de la organización del Servicio sismológico en España*. Imprenta del «Memorial de Ingenieros del Ejército». Madrid, 60 pp.
- [MIG09] MIGyTG (1909): *Memoria del Instituto General y Técnico de Gerona. Curso 1908-09*. Girona, p. 13.
- [Mig64] Miguel Lafuente, Tomás (1964): *Observatorio Geofísico de Logroño. Geomagnetismo (1957-1958-1959)*. Instituto Geográfico y Catastral, Madrid, 102 pp., + figuras.
- [Mor69] Morencos, J. (1969): *Memoria sobre el Observatorio Sismológico «Vicente Inglada» de Alicante, 1969*. Archivo del Observatorio de Alicante, 9 pp.
- [Nut61] Nuttli, O. y McEvelly, T. V. (1961): «The response characteristics of the Long Period seismographs of the Saint Louis University Network», *Earthquake Notes*, 32, 27-36.
- [Pac97] Pacher, G. (1897): «I Microsismografi dell'Istituto di Fisica della R. Università di Padova». *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, 3, 65-131.
- [Pay87] Payo, G. (1987): «Contribution of the Toledo Observatory (IGN, Spain) to the catalogue of historical seismograms». *Gerlands Beitr. Geophysik*, 96, 395-411.
- [Pay98] Payo, G. y Gómez-Menor, R. (1998): *Historia del Observatorio Geofísico de Toledo*. Instituto Geográfico Nacional. Madrid. XVIII, + 221 pp.
- [Pri92] Prían, J.; Quijano, J; y Catalán, M. (1992): La sismología en le Real Observatorio de la Armada. «Desde los inicios de la sismología instrumental en España hasta la Red Sísmica del Estrecho (1897-1992)». *Rev. de Geofísica*, 48, 115-127.
- [Pui27] Puig, I. (1927): *El Observatorio del Ebro: Idea general sobre el mismo*. Imprenta Moderna de Algueró y Baiges, VIII, + 188 pp.
- [Pui31] Puig, I. (1931): «Un nou sismògraf fotogràfic». *Ciència*, V, 149-153.
- [Reb93] Rebeur-Paschwitz, E. (1893): «Account of Observations made with the Horizontal Pendulum». *British Association for the Advancement of Science*. London, 309-334.

- [Rep46] Repetti, William C. (1946): «Catalogue of Philippine Earthquakes, 1589-1899». *Bulletin of the Seismological Society of America*, 36, 133-322.
- [Rey29] Rey Pastor, A. (1929): Estudio crítico de los aparatos de la Estación Sismológica de Toledo, *Asociación española para el progreso de las ciencias. Congreso de Barcelona*. Tomo III, Sección 2.^a - Ciencias Astronómicas, 145-169.
- [Rey32a] Rey Pastor, A. (1932): «El sismo de la Sierra de Lúcar (Granada-Almería)». *Ibérica*, XXXVIII, 232-299.
- [Rey32b] Rey Pastor, A. (1932): «El Servicio Sismológico Español». *A Terra*, I, núm. 2, 36-40.
- [Rey41] Rey Pastor, A. (1941): *Sismógrafo «Mainka-Alicante»*. Archivo del Observatorio de Alicante, 10 pp., + figuras.
- [Rey42] Rey Pastor, A. (1942): «Estación Sismológica de Alicante». *Memoria correspondiente a los trabajos desarrollados en la misma en el año 1942*. Archivo del Observatorio de Alicante, 5 pp.
- [Rod55] Rodríguez-Navarro de las Fuentes, J. (1955): «El Observatorio Geofísico de Almería». *Las Ciencias*, 20, 19-38.
- [Rot40] Rothé, E. (1940): «Modèle de questionnaire envoyé aux stations pour préparer la "liste des stations du monde entier" dont la publication a été décidée par la conférence d'Édimbourg», en: Neumann, F et Rothé, E. (eds.): *Comptes Rendus des Séances de la septième conférence, Association de Séismologie*. UGGI. Toulouse, 285-314.
- [Sad95] Saderra Masó, Miguel (1895): *La seismología en Filipinas*. Observatorio de Manila. Manila, 125 pp., + figuras.
- [Sad15] Saderra Masó, Miguel (1915): *Historia del Observatorio de Manila*. E. C. McCullough & Co., Inc.. Manila, 210 pp., + figuras.
- [Sag20] Sagristá, José (1920): «El sismógrafo Galitzin, para el registro de la componente vertical». *Revista de la Soc. Astronómica de España y América*, X, 94-96.
- [Sam97] Samarjieva, E., Payo, G. y Badal, J. (1997): *Catalogue of Digital Historical Seismograms (1912-1962)*. Instituto Geográfico Nacional. Madrid, 60, + 244 p.
- [Sav72] Savino, J. M.; Murphy, A. J.; Rynn, J. M. W.; Tatham, R.; Sykes, L. R.; Choy, G. L. and McCamy, K. (1972): «Results from the High-Gain Long-Period Seismograph Experiment». *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 31, 179-203.
- [Sch96] Scherbaum, F. (1996): «Of poles and zeros: Fundamentals of digital seismology». *Modern Approaches in Geophysics*. V. 15. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, XII, + 256 pp.
- [Sie23] Sieberg, August (1923): *Erdbebenkunde*. Verlag von Gustav Fischer. Jena, XIII, + 572 pp.
- [SNa07] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1907): «Les pendules Stiattesi à l'Observatoire de Cartuja (Granada)». *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, 12, 409-416.

- [SNa08a] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1908a): «Les sismographes construits a Cartuja (Grenade)». *Cosmos*, LIX, 87-90.
- [SNa08b] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1908b): «Le nouveau pendule horizontal de Cartuja». *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, 13, 207-218.
- [SNa09] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1909): «Aperçu des instruments les plus usités en seismologie». *Ciel et Terre*, XIV, 295-326.
- [SNa10] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1910): «La composante verticale Vicentini de la station sismologique de Cartuja (Grenade)». *Beiträge zur Geophysik. Kleine Mitteilungen*, 10, 79-85.
- [SNa11] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1911): «Tromomètre Cartuja». *Cosmos*, LXIV, 289-291.
- [SNa12] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1912): «Algunas indicaciones sobre la construcción de un sismógrafo para los terremotos locales y cercanos, y el estudio de los sismogramas». *Revista de la Soc. Astronómica de España y América*, II, 54-58.
- [SNa15] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1915): 1903-1912. «Diez años de actividad de la estación sismológica de Cartuja». *Asociación española para el progreso de las ciencias. Congreso de Madrid*. Tomo III, Sección 2.^a, Astronomía y Física del Globo, 245-264.
- [SNa16a] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1916a): «Tromómetro Cartuja (pequeño modelo)». *Asociación española para el progreso de las ciencias. Congreso de Madrid*. Tomo IX, Sección 8.^a, Ciencias de aplicación, 183-196.
- [SNa16b] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1916b): *Terremotos, Sismógrafos y Edificios*. Imprenta de Gabriel López del Horno. Madrid, 252 pp.
- [SNa19a] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1919): «Ensayo crítico de los sismógrafos más en uso. Generalidades y péndulos verticales de registro mecánico». *Asociación española para el progreso de las ciencias. Congreso de Sevilla*. Tomo IV, Sección 2.^a, Astronomía y Física del Globo, 33-69.
- [SNa19b] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1919b): «Trerómetro Granero». *Asociación española para el progreso de las ciencias. Congreso de Sevilla*. Tomo X, Sección 8.^a, Ciencias aplicadas, 119-122.
- [SNa20] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1920): «Ensayo crítico de los sismógrafos más en uso (péndulos horizontales e invertidos de registro mecánico)». *Asociación española para el progreso de las ciencias. Congreso de Bilbao*. Tomo IV, Sección 2.^a, Astronomía y Física del Globo, 51-89.
- [SNa21a] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1921a): «Una estación sismológica española». *Revista de la Soc. Astronómica de España y América*, XI, 92-102.
- [SNa21b] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1921b): «Un appareil pratique de seismologie appliqué». *Ciel et Terre*, XXVI, 14-20.
- [SNa22a] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1922a): «The Berchmans Seismograph». *Bull. Seis. Soc. Am.*, 12, 24-27.

- [SNa22b] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1922b): «Le sismographe inversi “Berch-mans” de la Station sismologique de Cartuja (Grenade)». *Ciel et Terre*, XXXVIII, 277-281.
- [SNa24] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1924): «El sismógrafo “Javier” de la estación sismológica de Cartuja». *Ibérica*, XXI, 391-395.
- [SNa25] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1925): «La componente vertical “Belarmino” de la estación sismológica de Cartuja (Granada)». *Ibérica*, XXIII, 217-222.
- [SNa27] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1927): «Les Séismographes de la Station Séismologique de Cartuja (Granada)». *Publ. du Bureau Central Séismologique International*. Série A. Travaux Scientifiques, Fasc. 4, 119-131.
- [SNa28a] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1928): «Un quart de siècle d’activité sismologique a Grenade (1903-1928)». *Ciel et Terre*, XLIV, 53-59.
- [SNa28b] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1928): «Actual cooperación de la Compañía de Jesús a los estudios sismológicos». *Ibérica*, XXIX, 90-93.
- [SNa29] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1929): «La exposición Iberoamericana de Sevilla». *Ibérica*, XXXII, 354-368.
- [SNa33] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1933): «L’enregistrement des plésioséismes». *Bolletino della Società Sismologica Italiana*, 31, 7-22.
- [SNa34] Sánchez-Navarro Neumann, M. M. (1934): «La sismología. Ojeada retrospectiva. Recientes progresos». *Ibérica*, XLII, 317-319.
- [Su88] Su, S. S. (1988): «Historical Seismograms of the Manila Observatory», en: Lee, W. H. K. *et al.* (Ed.). *Historical Seismograms and Earthquakes of the World*. Academic Press, Inc. San Diego, 490-496.
- [Sus97] Susagna, T.; Batlló, J. and Roca, A. (1997): «Seismographs, seismograms and related materials preserved in Catalonia (NE Spain)». *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 13, 37-48.
- [Tej93] Tejedor, J. M. y García, O. (1993): *Funciones de transferencia de las estaciones de la red sísmica nacional*. Instituto Geográfico Nacional. Madrid, 82 pp.
- [Tor24] Torallas Tondo, Eduardo (1961): *Rapport sur l’Organisation du Service Sismologique en Espagne*. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid, 67 pp.
- [Udi03] Udías, A. (2003): *Searching the Heavens and the Heart: The history of Jesuit Observatories*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, XIV + 369 pp.
- [URA49] Urania (1949): Sección de información y revistas. «Observatorio geofísico de Villafranca de los Barros». *Urania*, 34, 197-198.
- [Uga03] Ugalde, A. (2003): «The Ebre Observatory Seismological Station: Past and Present Instrumentation and Noise Conditions», *Annals of Geophysics*, 46, 609-624.
- [URA61] Urania (1961): Sección de información y revistas. «Cincuentenario de la fundación de la Sociedad Astronómica de España y América». *Urania*, 46, 255-270.
- [Wie04] Wiechert, E. (1904): «Ein astatishes Pendel hoher Empfindlichkeit zur mechanischen Registrierung von Erdbeben». *Beiträge zur Geophysik*, 6, 437-450.

SEGUNDA PARTE

Instrumentos

2.1. *Observatorio Sismológico de Alicante*

La estación sismológica de Alicante se encuentra situada en el Paseo de Campoamor, al Noroeste de la parte antigua de la ciudad del mismo nombre. En el momento de la construcción del observatorio este lugar se encontraba en la periferia de la ciudad, y actualmente queda situado dentro de la trama urbana. El subsuelo de la estación está formado por terrenos pertenecientes al cretácico superior.

La estación se puso en funcionamiento en 1914; en un primer momento todas las dependencias se centralizaban en un único edificio, destinado a observatorio sísmico y meteorológico, todavía existente. Este se componía de una planta baja, un primer piso, una terraza y una torre. En la planta baja se encuentra la sala de aparatos y otras dependencias que, al principio, estaban destinadas a despacho, oficina meteorológica, almacén y habitación para el ahumado y fijado de bandas. En años posteriores, el observatorio creció físicamente con la adquisición de nuevos terrenos colindantes y la construcción de nuevos edificios.

En los años treinta, la estación meteorológica abandonó los terrenos del observatorio sismológico para trasladarse a un nuevo observatorio independiente. En la figura 2.1.1 reproducimos una fotografía que muestra el edificio original al poco tiempo de ser inaugurado.



Figura 2.1.1.—Edificio del Observatorio sismológico y meteorológico de Alicante al poco tiempo de su inauguración en una vista desde el Este. Obsérvese la presencia de la caseta meteorológica en el jardín y de diversos instrumentos meteorológicos en la torre. Fotografía conservada en el Observatorio de Alicante.

A lo largo de los años, la sala de aparatos sísmicos también se reformó en diversas ocasiones. En 1923, con ocasión de la sustitución de los sismógrafos Vicentini y Bosch-Omori, por un sismógrafo Wiechert vertical y unos péndulos horizontales Mainka, se reconstruyeron totalmente los pilares sobre los que se sustentaban (figura 2.1.2).

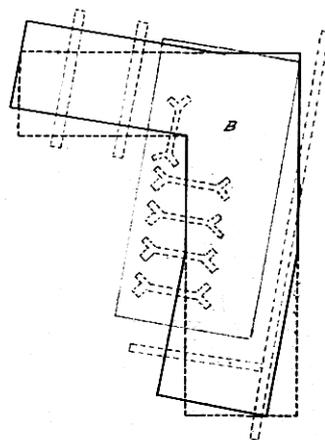
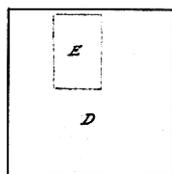
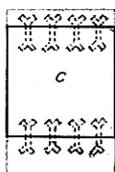
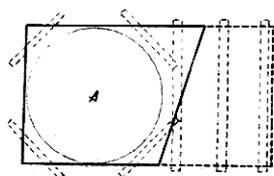
En 1939 se subdividió la sala en dos, aisladas físicamente de los muros exteriores por dobles tabiques rellenos de aserrín de corcho para mejorar su aislamiento térmico (esta estructura se conserva todavía). En junio de 1941 se amplió el taller mecánico y, en la fachada norte del edificio, se adosó una pequeña sala para el ahumado de las bandas. En los años cincuenta se procedió a nuevas reformas para acondicionar una de las dos salas de registro a los nuevos sismógrafos Hiller-Stuttgart de registro fotográfico.

Cabe también mencionar que, desde su fundación, este observatorio ha tenido adscrito a sus funciones el cuidado del mareógrafo existente en el puerto de la ciudad.

Finalmente, citar que en los años cincuenta se registró un cambio del nombre oficial del observatorio, que pasó a llamarse Observatorio Sismológico «Vicente Inglada», en honor del eminente sismólogo alicantino, aunque él nunca fue director de este observatorio.

Plano esquemático de los pilares

- 1- Parte punteada de negro, forma de los primitivos pilares.
- 2- Trazo continuo negro, modificación anterior para la orientación de los sismógrafos "Vicentini", "Bosch" y "Wiechert".
- 3- Trazo continuo rojo, forma actual.
- 4- Líneas de trazos rojos, vigas y gomas de hierro empleadas en la reforma.



- A- Antes, componentes horizontales del Vicentini; hoy, Galbis.
 B- Antes, sismógrafo Bosch; hoy, Mainka.
 C- Antes, componente vertical Vicentini; hoy Wiechert.
 D- Antes, Wiechert; hoy, debajo del piso.
 E- Pilar para el barógrafo de pesos.

Figura 2.1.2.—Croquis de los pilares en donde se asentaban los sismógrafos del Observatorio de Alicante después de la reforma del año 1924. Podemos observar la nueva distribución adoptada en gris y la antigua en negro. El norte se encuentra an la parte inferior de la figura. Imagen conservada en el Observatorio de Alicante [Mar54].

Instrumento: Vicentini vertical

Localización: Observatorio Sismológico de Alicante (Alicante).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1914-1924.

Características:

Componente: Z
 Masa: 50 kg
 Período propio: 0.9 s
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: (0.01)
 Magnificación: 115
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 10 mm/min.
 Longitud de la plumilla: (135 mm)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 6.9813$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 6.9813$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Su registro se inscribía en la misma banda de papel que el del microsismógrafo Vicentini, compartiendo el tambor de registro.

Referencias: [Gal32], [Fer92a].

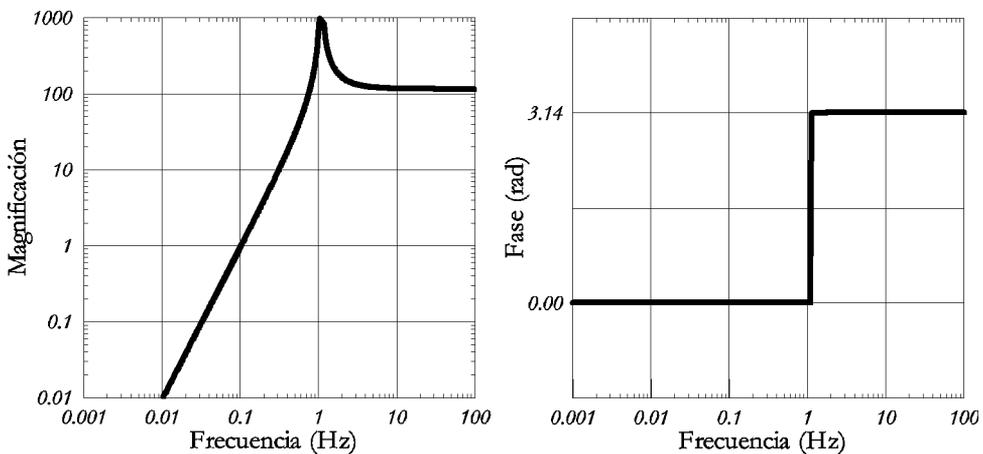


Figura 2.1.3.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Vicentini vertical con las constantes instrumentales $A_m = 115$, $T_0 = 0.9$ y $\varepsilon = 1.0$.

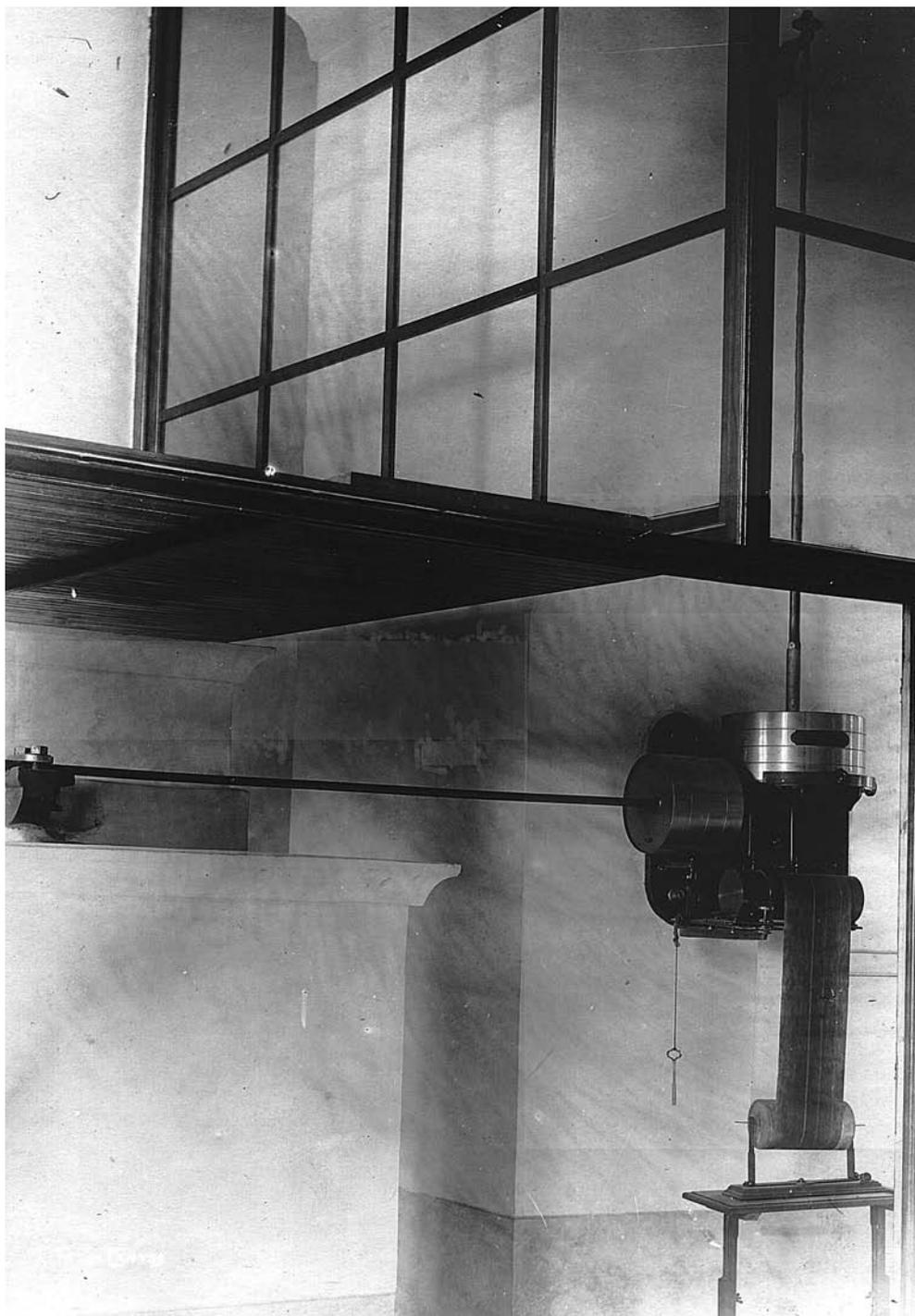


Figura 2.1.4.—Sismógrafo Vicentini vertical (izquierda) y microsismógrafo Vicentini para las componentes horizontales (derecha) instalados en el Observatorio de Alicante. La vitrina de vidrio servía para proteger al instrumento de las corrientes de aire y de las variaciones rápidas de temperatura. Fotografía conservada en el Observatorio de Alicante. Véase también la figura 2.1.6.

Instrumento: Microsismógrafo Vicentini

Localización: Observatorio Sismológico de Alicante (Alicante).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1914-1924.

Características:

Componente: N-S, E-W
 Masa: 100
 Período propio: 2.5
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: (0.01)
 Magnificación: 110
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 10
 Longitud de la plumilla: (150)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 2.5133$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 2.5133$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: El sistema inscriptor acoplado a la masa registraba dos componentes perpendiculares del movimiento del suelo.

Referencias: [Gal32], [Pac97].

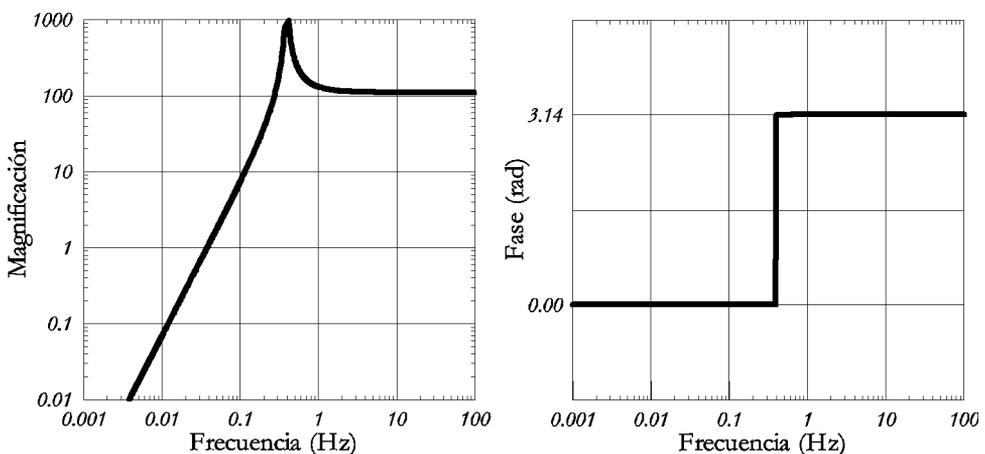


Figura 2.1.5.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el microsismógrafo Vicentini con las constantes instrumentales $A_m = 110$, $T_0 = 2.5$ y $\varepsilon = 1.0$.

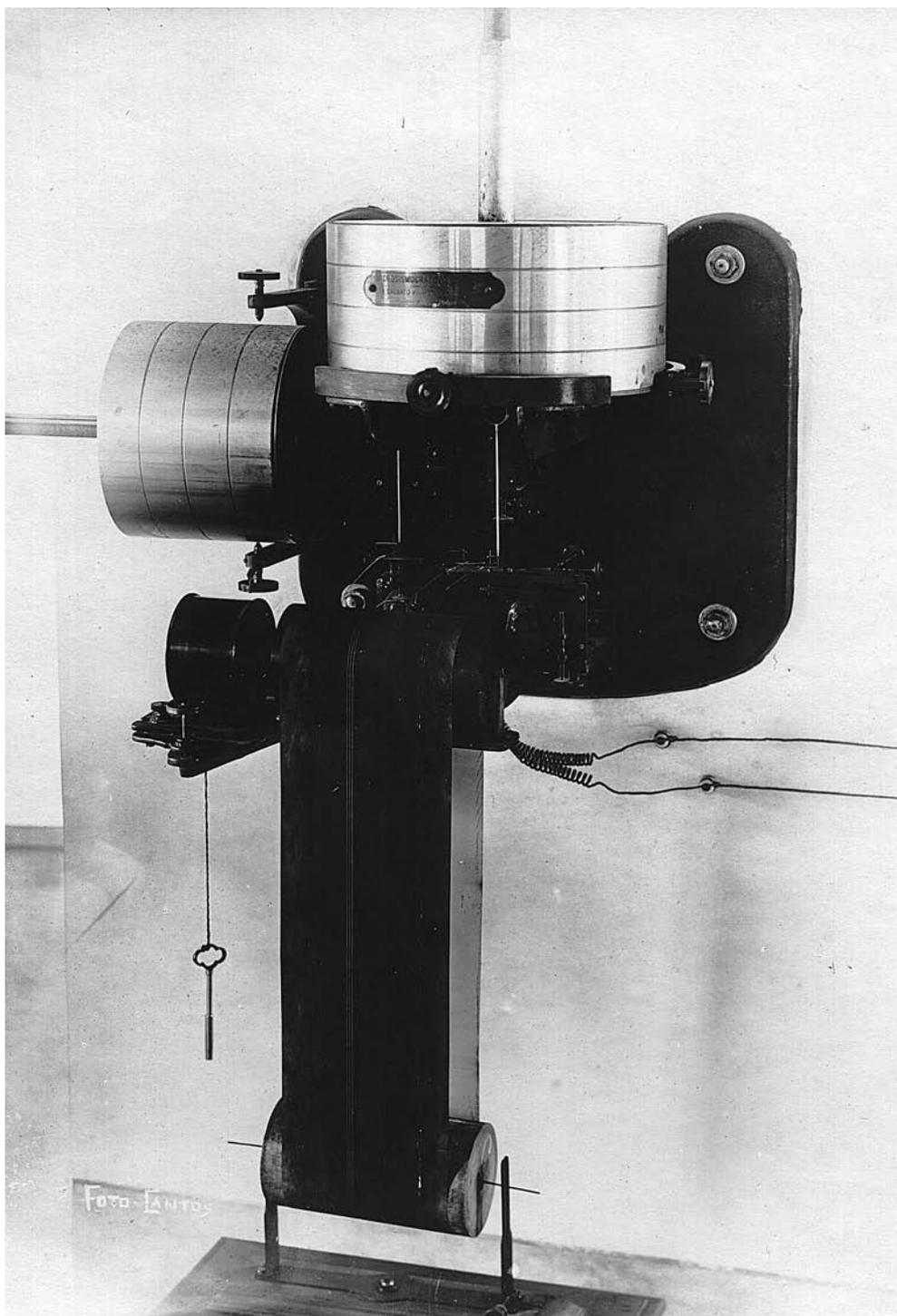


Figura 2.1.6.—Detalle del microsismógrafo Vicentini (derecha) y sismógrafo Vicentini vertical (izquierda) instalados en el Observatorio de Alicante. Obsérvese la llave, para dar cuerda al mecanismo de relojería que mueve el tambor de registro. Fotografía conservada en el Observatorio de Alicante. Véanse también las figuras 2.1.4 y 2.6.10.

Instrumento: Bosch-Omori (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Sismológico de Alicante (Alicante).

Origen: Adquiridos (J. & A. Bosch, Strassburg).

Período de funcionamiento: 1914 Jul.-1924.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 27 [Mor69]	27
Período propio: (~15-20) [Gal32]	(~15-20) [Gal32]
Amortiguamiento: –	–
Rozamiento:	
Magnificación: (13)	(13)
Tipo de registro: Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro: 15	15
Longitud de la plumilla: (250)	(250)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.0000 - j 0.3696$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $0.0000 + j 0.3696$

Estado actual: Desaparecidos.

Comentarios: Remitidos a la Dirección General el 8 de julio de 1924 [Mar54a].

Referencias: [Bos10], [Gal32], [Cha53].

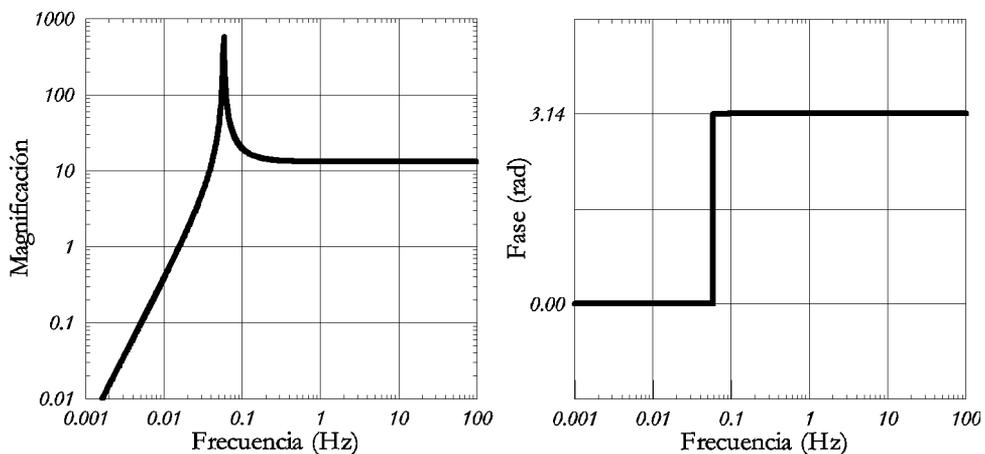


Figura 2.1.7.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Bosch-Omori con las constantes instrumentales $A_m = 13$, $T_0 = 17.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

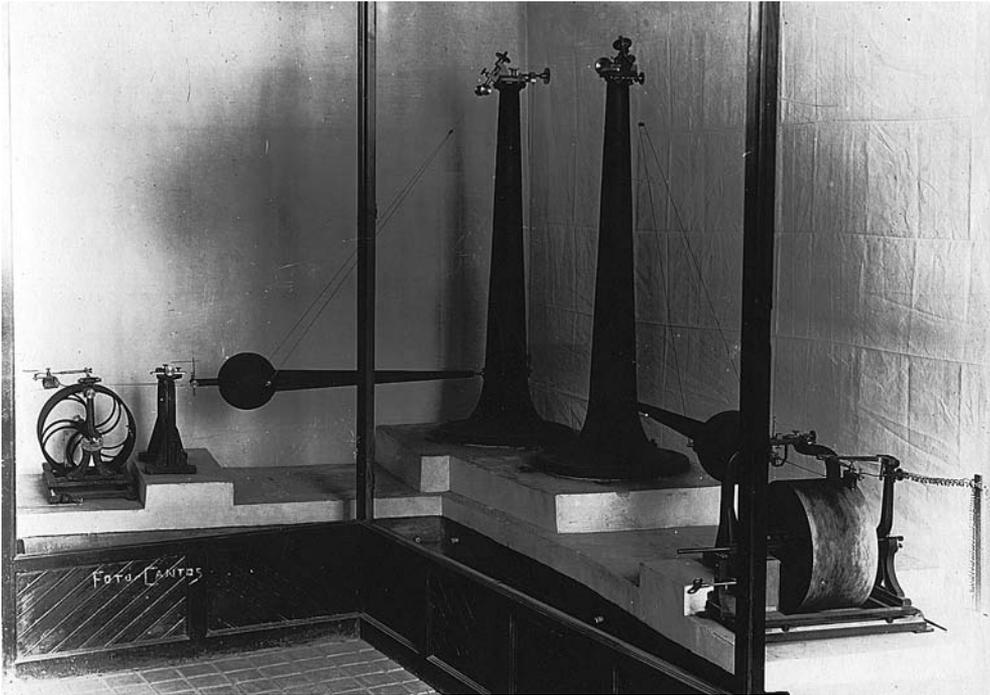


Figura 2.1.8.—Sismógrafos Bosch-Omori en el Observatorio de Alicante. De frente, la componente E-W (fotografía conservada en el Observatorio de Alicante).

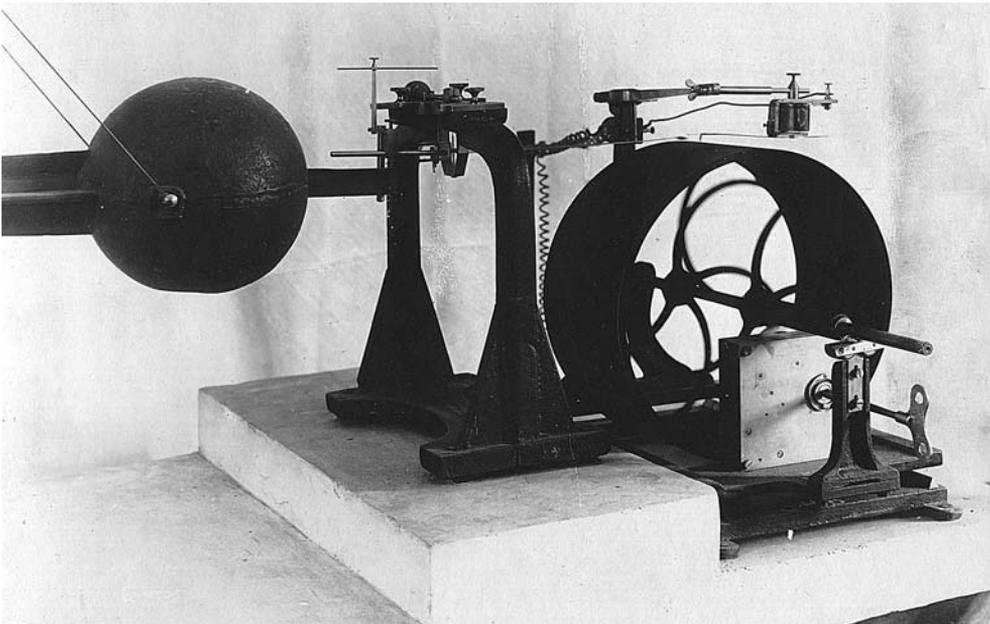


Figura 2.1.9.—Detalle del mecanismo inscriptor de la componente E-W del sismógrafo Bosch-Omori del Observatorio de Alicante (Fotografía conservada en el Observatorio de Alicante).

Instrumento: Wiechert vertical

Localización: Observatorio Sismológico de Alicante (Alicante).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1923-1947 Dic.

Características:

Componente: Z
 Masa: 80
 Período propio: 6.0 [Gal32], 3.0 [Cha53]
 Amortiguamiento: 4.3 [Cha53]
 Rozamiento: 0.007 [Gal32]
 Magnificación: 50-70, 100-240 (desde 1942 [Rey42])
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15 [Cha53]
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.4228 - j 0.9581$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.4228 + j 0.9581$

Estado actual: Desaparecido

Comentarios: No funcionó con regularidad hasta 1924. Hasta los años cuarenta funcionó con períodos propios alrededor de los 5 s preferentemente. En 1942 se modificó su sistema inscriptor [Rey42]. Su tambor de registro y mecanismo de relojería se aprovechó en el aparato llamado Alicante vertical.

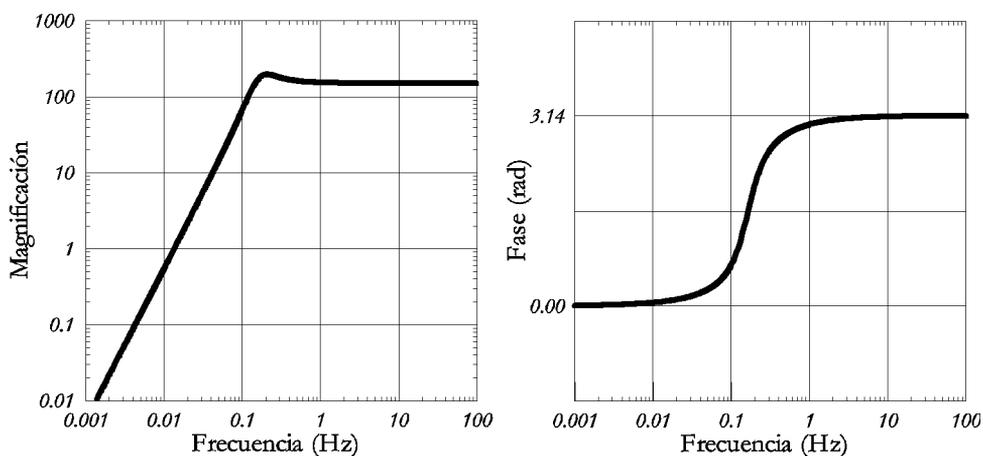
Referencias: [Gal32], [Cha53].

Figura 2.1.10.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Wiechert vertical con las constantes instrumentales $A_m = 150$, $T_0 = 6.0$ y $\varepsilon = 4.0$.

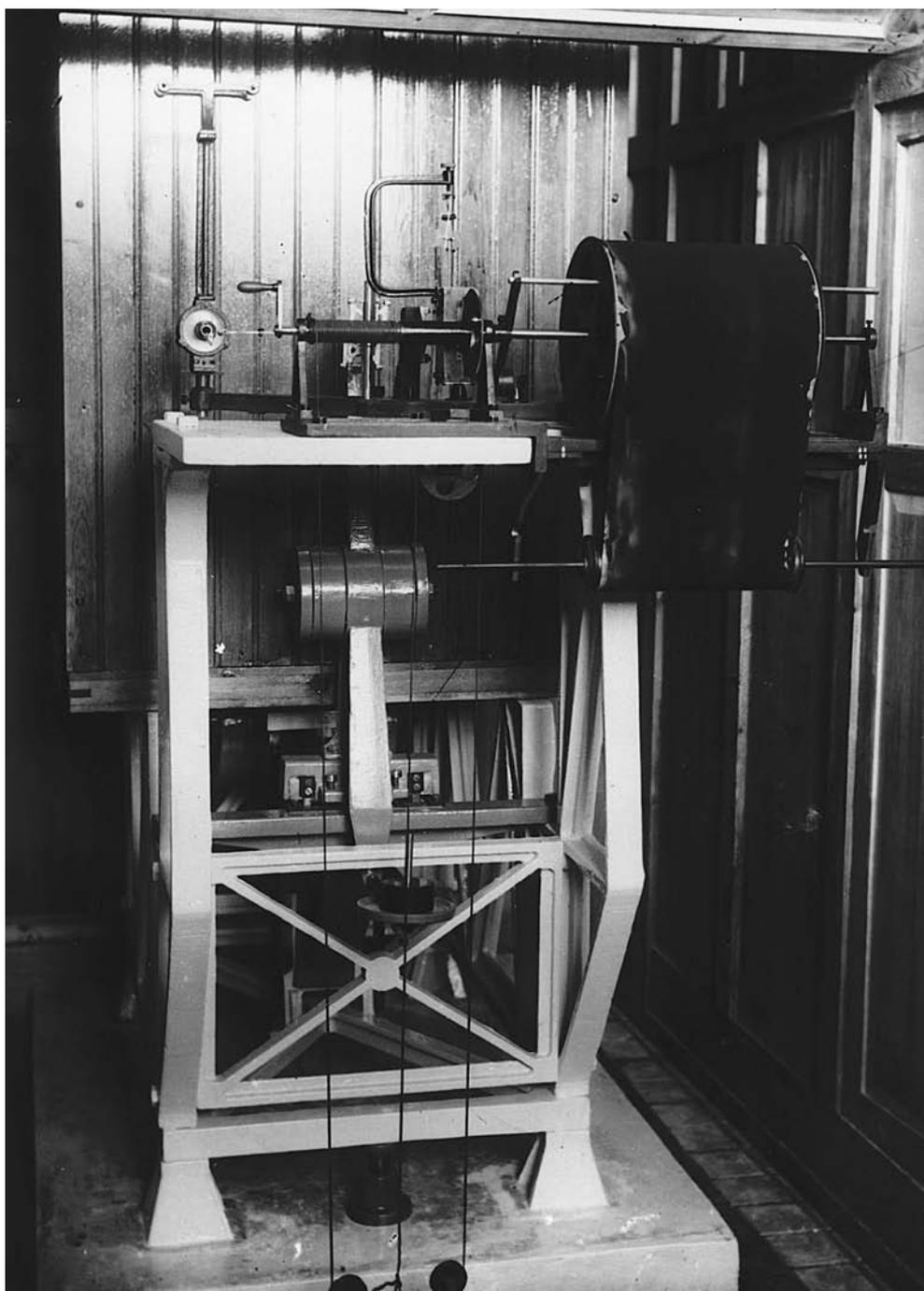


Figura 2.1.11.—Sismógrafo Wiechert vertical. La caja de madera situada detrás del mecanismo actuaba como aislador térmico del muelle del instrumento, situado en su interior (fotografía conservada en el Observatorio de Alicante). Véase también la figura 2.6.12.

Instrumento: Mainka (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Sismológico de Alicante (Alicante).

Origen: Proveniente de otro Observatorio (Toledo).

Período de funcionamiento: 1924-1940 Dic.; 1924-1941 Mar.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	750	750
Período propio:	10	10
Amortiguamiento:	1.3 [Gal32]	1.3 [Gal32]
Rozamiento:	0.0015 [Gal32]	0.0015 [Gal32]
Magnificación:	80-100	80-100
Tipo de registro:	Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro:	(15)	(15)
Longitud de la plumilla:		

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0804 - j 0.6232$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0804 + j 0.6232$

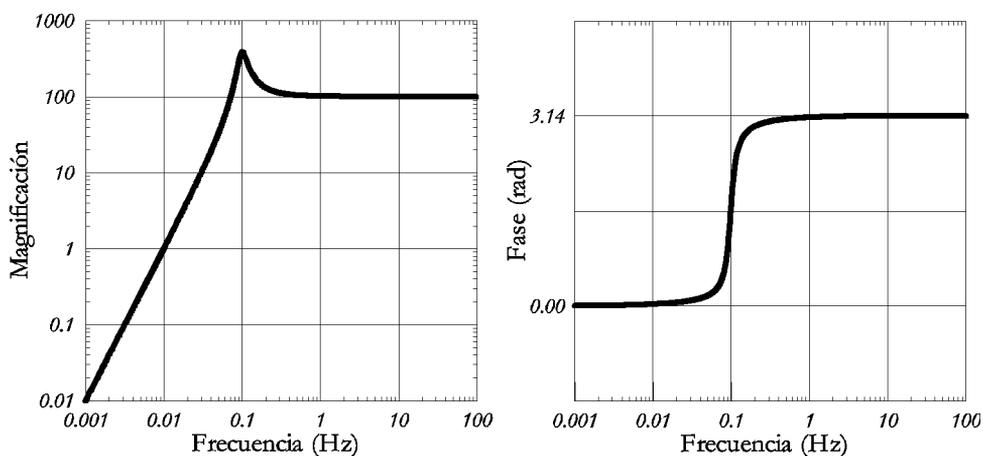
Estado actual: Estos aparatos se reformaron convirtiéndose en los Mainkas reformados.**Comentarios:** Previamente estuvieron instalados en el Observatorio de Toledo.**Referencias:** [Gal32], [Cha53].

Figura 2.1.12.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka con las constantes instrumentales $A_m = 100$, $T_0 = 10.0$ y $\varepsilon = 1.3$.



Figura 2.1.13.—Sismógrafos Mainka. La componente E-W se halla a la derecha. El pilar situado al frente, a la izquierda, sostiene un barógrafo (fotografía conservada en el Observatorio de Alicante). Véase también la figura 2.1.17.

Instrumento: Galbis

Localización: Observatorio Sismológico de Alicante (Alicante).

Origen: Construido en España.

Período de funcionamiento: 1936 May.-1953.

Características:

Componente: N-S - E-W
 Masa: 1000
 Período propio: 3.4
 Amortiguamiento: (no se conoce su valor)
 Rozamiento: 0.04
 Magnificación: 650
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 30
 Longitud de la plumilla: (~510) (medida sobre planos)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.7392 - j 1.6937$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.7392 + j 1.6937$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Aparato muy mal documentado, sólo aparece en los *boletines* de la estación de 1940 Mar. a 1940 Ago. (y con una masa de 1000 kg).

Su funcionamiento fue intermitente.

Hay confusión respecto a la masa de este aparato [Mar54], afirma que se ins-

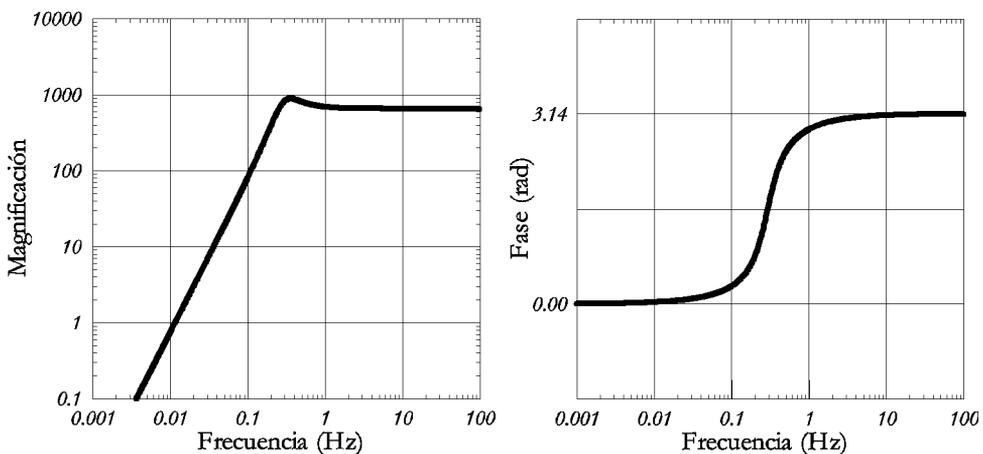


Figura 2.1.14.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Galbis con las constantes instrumentales $A_m = 650$, $T_0 = 3.4$ y amortiguamiento (supuesto) de $\varepsilon = 4.0$.

taló con una masa de 500 kg por componente; pero parece que se trata de un error y siempre funcionó con masas de 1000 kg.

Este aparato estaba dotado de amortiguamiento como puede apreciarse en la fotografía adjunta, aunque no ha podido averiguarse su valor hasta el momento.

Su sistema inscriptor se reformó en el año 1942 (Informes de los Observatorios conservados en la Subdirección General de Geodesia y Geofísica del IGN).

Se conservan algunos planos de este instrumento en el mismo Observatorio.

Referencias: [Mar54], [Mor69].



Figura 2.1.15.—Sismógrafos Galbis instalados en el Observatorio Sismológico de Alicante. Las cajas negras que se hallan al pie del instrumento son los amortiguadores (de [Mar54]).

Instrumento: Mainka modificado (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Sismológico de Alicante (Alicante).

Origen: Construidos en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1941 Ene.-1975 (N-S); 1941 Abr.-1975 (E-W).

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	1.000	1.000
Período propio:	12.1	12.0
Amortiguamiento:	5.1	5.0
Rozamiento:	0.008	0.008
Magnificación:	410	400
Tipo de registro:	Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro:	15 [Cha53], 30 (a partir de los años 50)	Idem
Longitud de la plumilla:	~320 (medida sobre planos)	~320

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.2368 - j 0.4621$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.2368 + j 0.4621$

Estado actual: Su estructura y masas se conservan en el propio Observatorio. Los mecanismos inscriptores fueron enviados al Observatorio de Almería.

Comentarios: Es una modificación de los anteriores Mainka N-S y E-W obtenida cambiando las masas de hierro por otras de plomo y modificando el sistema inscriptor [Cam49].

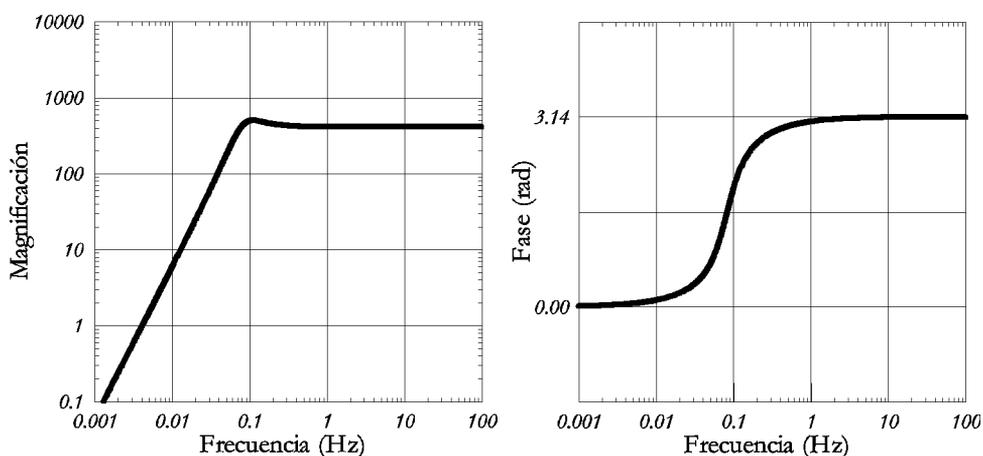


Figura 2.1.16.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka modificado, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 410$, $T_0 = 12.1$ y $\varepsilon = 5.1$.

La última anotación que aparece en las fichas del Observatorio es del 5 de abril de 1975.

Existen descripciones detalladas de la reforma que sufrieron ([*Rey41*], [*Mar52*]).

Referencias: [*Cha53*], [*Mar54*].

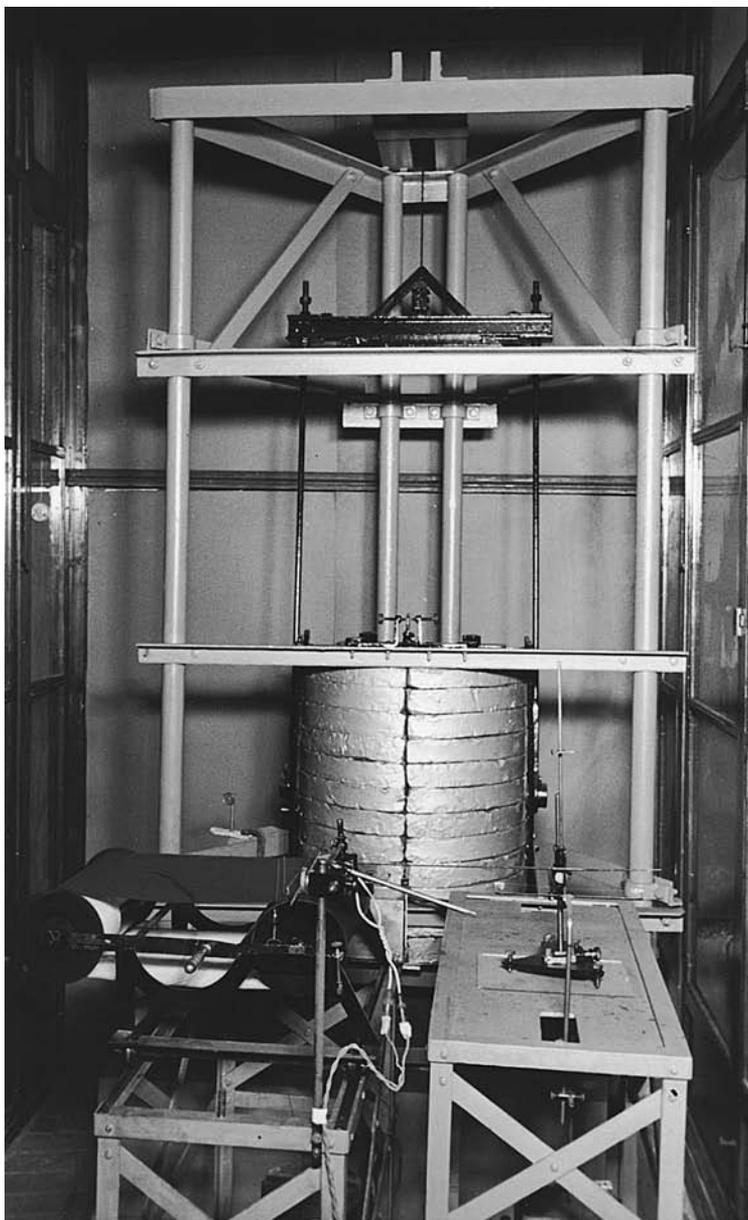


Figura 2.1.17.—Sismógrafo Mainka reformado. Componente E-W (de [*Mar54*]).

Instrumento: Alicante vertical

Localización: Observatorio Sismológico de Alicante (Alicante).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1951-

Características:

Componente: Z
 Masa: 800
 Período propio: 0.5
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.005
 Magnificación: 200
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 30
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 12.5663$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 12.5663$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Este aparato se diseñó con la intención de substituir al antiguo Wiechert vertical. Desde el año 1951 hasta 1954 se hicieron muy diversas pruebas; pero parece ser que nunca funcionó con regularidad.

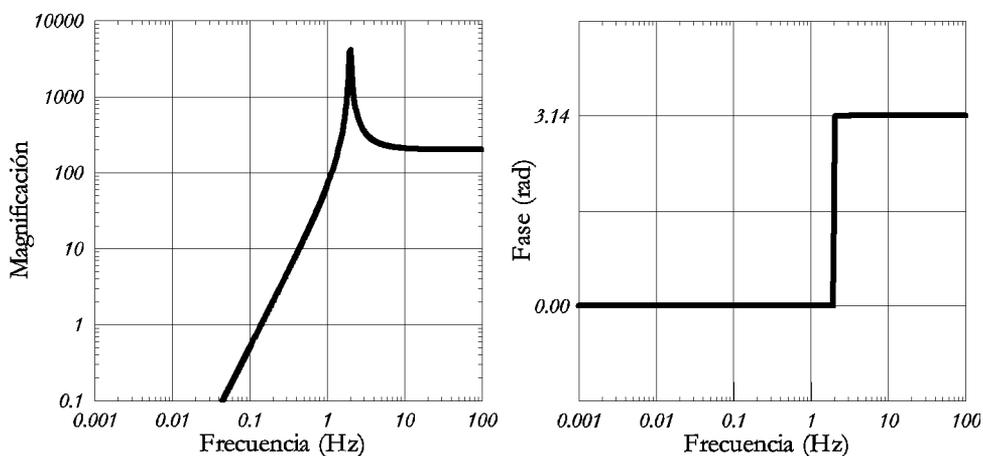


Figura 2.1.18.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Alicante vertical con las constantes instrumentales $A_m = 200$, $T_0 = 0.5$ y $\varepsilon = 1.0$.

El tambor y mecanismo de relojería (ver fotografía) eran los del antiguo Wiechert vertical.

Parece ser que se desmanteló en 1958.

Referencias: [Mar54a], [Mar54b].

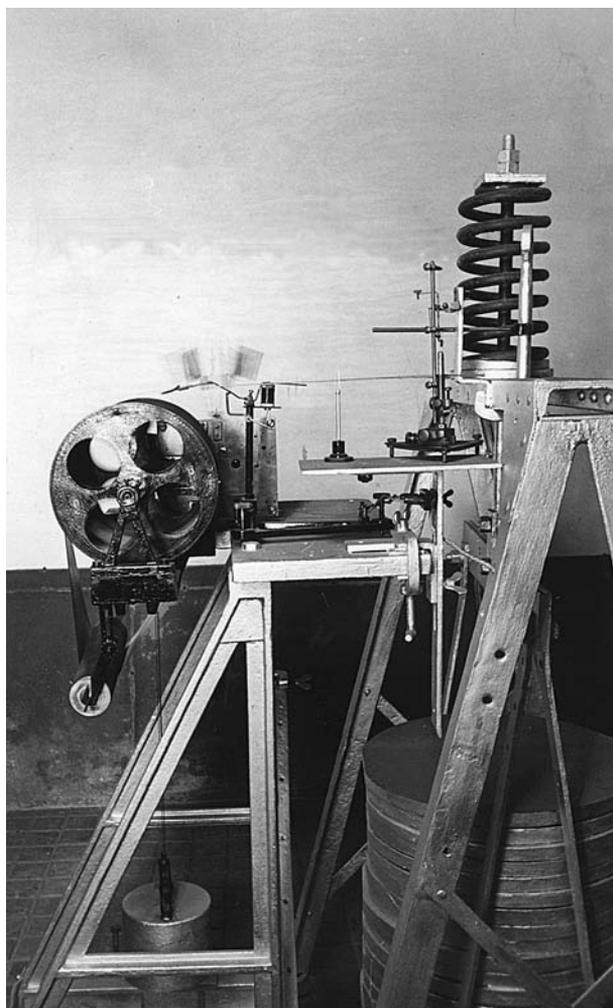


Figura 2.1.19.—Sismógrafo Alicante vertical. El tambor de registro procede del sismógrafo Wiechert vertical del mismo observatorio (de [Mar54]).

Instrumento: Hiller-Stuttgart vertical

Localización: Observatorio Sismológico de Alicante (Alicante).

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1962 Jul.-1985.

Características:

Componente: Z
 Masa: ~0.5
 Período propio: 1.5
 Período galvanómetro: 1.5
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: 8900
 Velocidad de registro: 60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.1889 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.1889 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.1889 - j 0.0000$
		4.	$4.1889 + j 0.0000$

Estado actual: Se conserva en el mismo Observatorio.

Comentarios: En los *boletines* de los años setenta encontramos magnificaciones para este instrumento mucho menores, del orden de 5100.
 Su número de serie es el 551164.

Referencias: [Ask55].

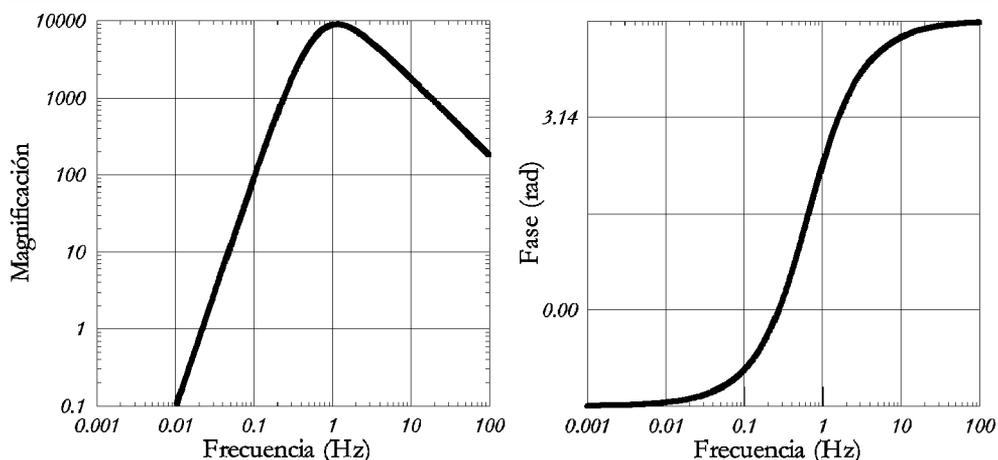


Figura 2.1.20.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart vertical con las constantes instrumentales $A_m = 8900$, $T_s = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

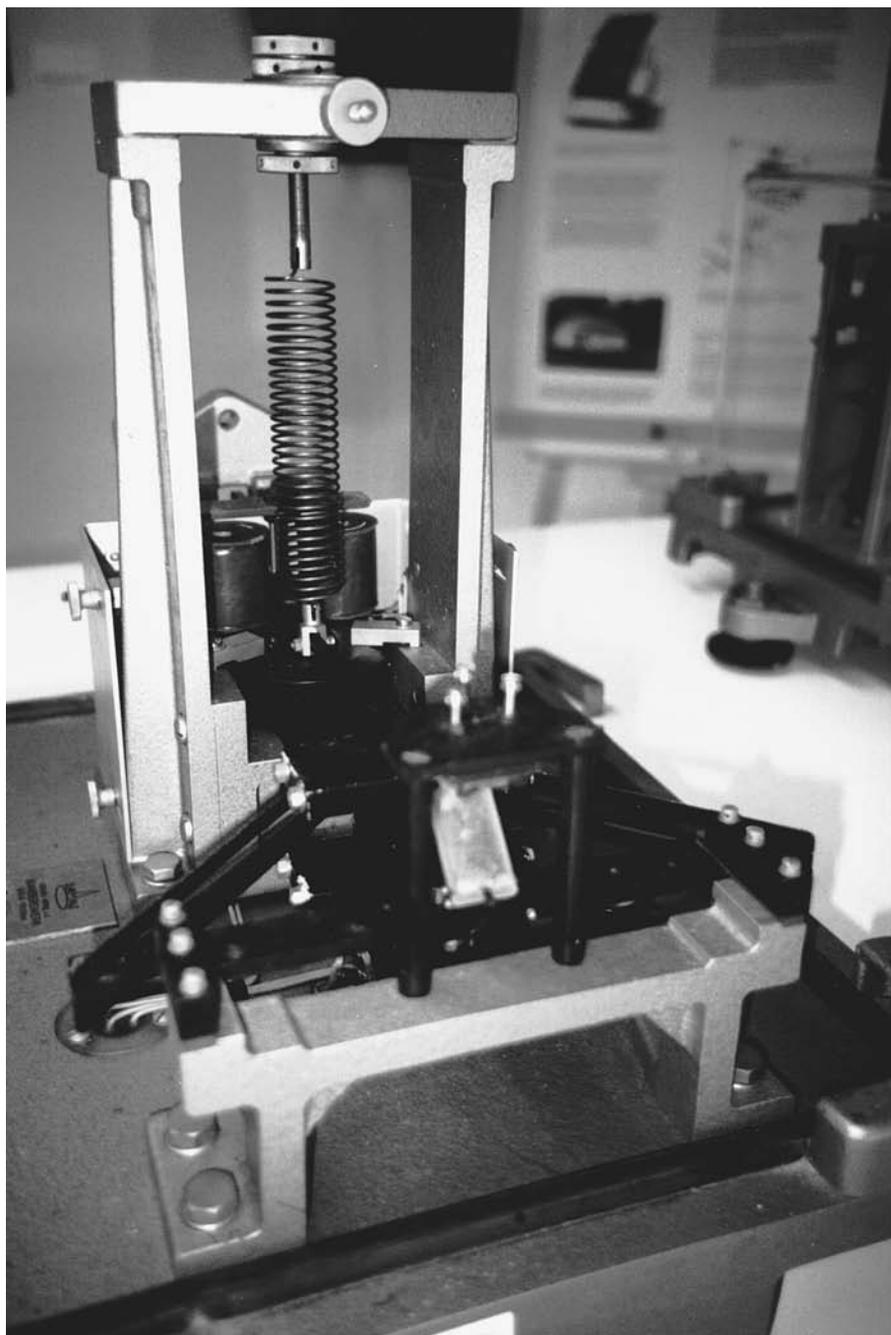


Figura 2.1.21.—Detalle del sismómetro Hiller-Stuttgart vertical del Observatorio de Alicante (fotografía de J. Batlló).

Instrumento: Hiller-Stuttgart horizontal (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Sismológico de Alicante (Alicante).

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1962 Jul.-1985.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	~0.5	~0.5
Período propio:	1.5	1.5
Período galvanómetro:	1.5	1.5
Amortiguamiento:	∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación:	8500	8400
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	60	60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.1889 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.1889 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.1889 - j 0.0000$
		4.	$4.1889 + j 0.0000$

Estado actual: Se conservan en el mismo Observatorio.

Comentarios: En los *boletines* de los años setenta encontramos magnificaciones para estos instrumentos mucho más pequeñas, del orden de 4500.
Sus números de serie son 551173 y 551174.

Referencias: [Ask55].

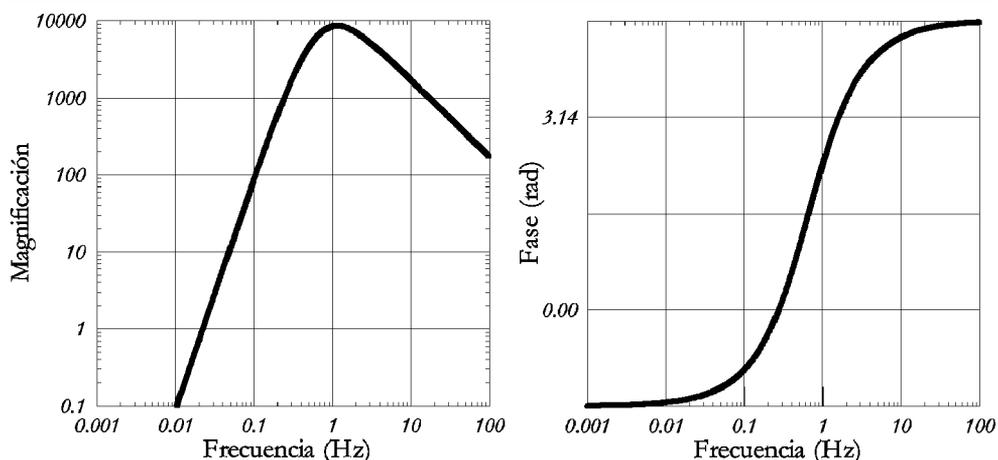


Figura 2.1.22.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 8500$, $T_i = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).



Figura 2.1.23.—Sismógrafos Hiller-Stuttgart horizontal (izquierda) y vertical (derecha) conservados actualmente en el Observatorio de Alicante. Esta fotografía se tomó durante una exposición de estos aparatos en Valencia, en 2002 (fotografía de J. Batlló).

Instrumento: Sprengnether S-5000 V

Localización: Observatorio Sismológico de Alicante (Alicante).
 Origen: Procedente del Observatorio del Ebro.
 Período de funcionamiento: 1975 Sep.-1985.

Características:

Componente: Z
 Masa: 11.2
 Período propio: 15.0
 Período galvanómetro: 100.0
 Amortiguamiento: $b = 0.75$
 Magnificación: 1700
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.3142 - j 0.2771$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.3142 + j 0.2771$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.0471 - j 0.0416$
		4.	$0.0471 + j 0.0416$

Estado actual: Se conserva en el mismo Observatorio.

Comentarios: En algunos momentos el amortiguamiento de este aparato llegó a ser crítico ($b = 1.0$). En este caso, el valor de los polos se vería ligeramente alterado. Su número de serie es el 2067.

Referencias: [Nut61].

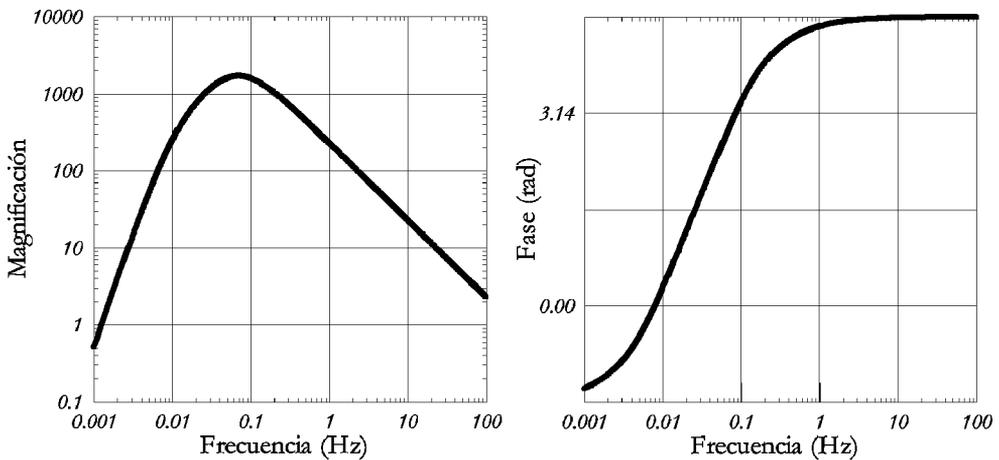


Figura 2.1.24.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether S-5000 V, vertical, con las constantes instrumentales $A_m = 1700$, $T_s = 15.0$, $T_g = 100.0$ y amortiguamiento $b = 0.75$.



Figura 2.1.25.—Sismómetro Sprengnether S-5000 V vertical de período largo del Observatorio de Alicante, con su caja de resistencias y galvanómetro, durante una exposición de instrumentos celebrada en Valencia. El sensor se encuentra desprovisto de su cubierta externa (fotografía de J. Batlló). Véase también la figura 2.4.30.

2.2. *Observatorio Geofísico de Almería*

El lugar elegido para ubicar la estación sismológica de Almería se hallaba, en el momento de su edificación, en las afueras de la ciudad, situado a unos dos kilómetros al NW de la misma, en un lugar conocido como «La Molineta». Situada en la vertiente de una de las bajas colinas que limitan con suaves pendientes el fértil valle de Almería, la estación dispone de un vasto horizonte. Se halla ésta edificada sobre terrenos terciarios, del período miocénico, compuestos principalmente de rocas calizas travertinas y ocre muy duros.

El Observatorio entró en servicio en 1911 y el edificio que lo aloja se dispone en forma de rectángulo con su lado más corto netamente orientado en la dirección N-S. En 1920, en el lado de levante del mismo se adosó un segundo cuerpo del edificio, transversal al anterior. Las instalaciones destinadas a los sismógrafos se encontraban, desde un primer momento, en una sala cuadrada de ocho metros de lado situada en el subsuelo del edificio, en una instalación semisubterránea, excavada unos tres metros por debajo del terreno natural. En el mismo nivel se encontraban también una sala para el ahumado y fijado de las bandas de los aparatos mecánicos y un laboratorio fotográfico (aunque no se dispuso de aparatos con este tipo de registro hasta los años cincuenta). En los pisos superiores se encontraban los despachos y demás dependencias administrativas de la estación que, además, formaba parte de la red mundial meteorológica, con todo lo que esto conlleva respecto a su instrumentación meteorológica.



Figura 2.2.1.—Fotografía del edificio principal del Observatorio Geofísico de Almería visto desde el Sur. Los sismógrafos se encontraban en un semisótano de este edificio (fotografía de J. Batlló).

En los años treinta se proyectó construir para este observatorio un sismógrafo de gran masa y corto período y se hicieron las instalaciones y los pilares necesarios para sostener un péndulo de 18.000 kg por medio de dos armaduras metálicas, embebidas en hormigón, coronadas por una doble viga [Rod55]. Aunque este instrumento no llegó nunca a construirse, la instalación todavía existe. Véase la figura 2.2.16.

En los años cincuenta, el nombre del Observatorio cambió de Sismológico a Geofísico debido a la incorporación al mismo de una Sección Magnética. Para albergarla, se construyó un nuevo pabellón. En esta época también se reformó nuevamente la sala de sismógrafos, preparándola para la instalación de nuevos sismógrafos electromagnéticos. En la figura 2.2.2(b) presentamos un plano de la distribución de los aparatos de registro en los años cincuenta.

Para finalizar, debemos añadir que durante los primeros años de su existencia, y aparte de los sismógrafos descritos a continuación, esta estación dispuso también de un sismoscopio Agamennone entre su instrumental (véase su emplazamiento en la figura 2.2.2(a)). Actualmente, la única evidencia física que nos queda de su existencia es un disco de las masas de sus péndulos horizontales todavía existente en el Observatorio.

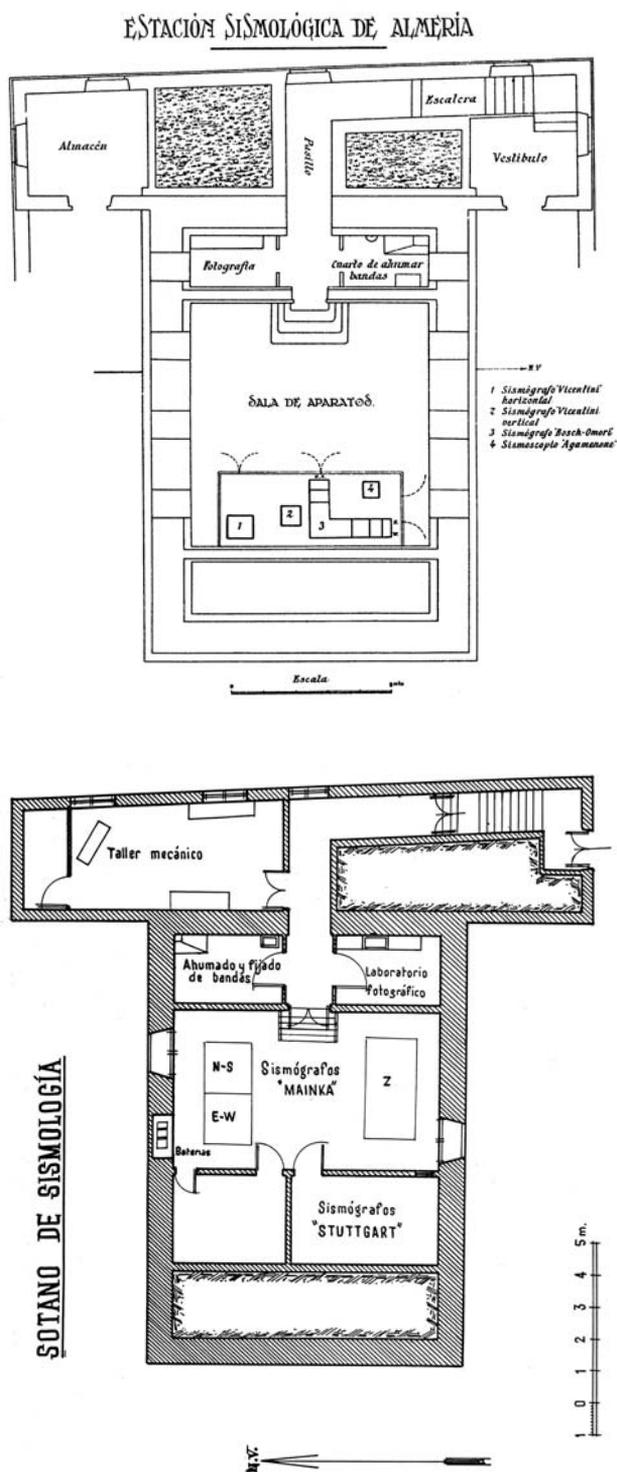


Figura 2.2.2.—Plano de las salas semisubterráneas destinadas al registro sísmico en el Observatorio de Almería. a) En 1923 (de [Tor24]) y b) hacia finales de los años cincuenta (de [Rod55]).

Instrumento: Bosch-Omori (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Sismológico de Almería (Almería).

Origen: Adquirido (J. & A. Bosch, Strassburg).

Período de funcionamiento: 1911 Ago.-1928 Sep.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 25 kg	25
Período propio: 17.0 s	17.0
Amortiguamiento: —	—
Rozamiento: 0.06	0.06
Magnificación: 13 [Tor24]	13.
Tipo de registro: Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro: 15 mm/s [Bos10]	15
Longitud de la plumilla: (250 mm)	(250)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.0000 - j 0.3696$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $0.0000 + j 0.3696$

Estado actual: Las piezas principales de hierro fundido se conservan (aunque faltan los mecanismos de las plumillas) desmontadas en el mismo Observatorio.

Comentarios: Recientemente se ha procedido a la restauración de uno de estos instrumentos. Véase un registro de este aparato en la figura 2.2.8.

Referencias: [Tor24], [Gal32].

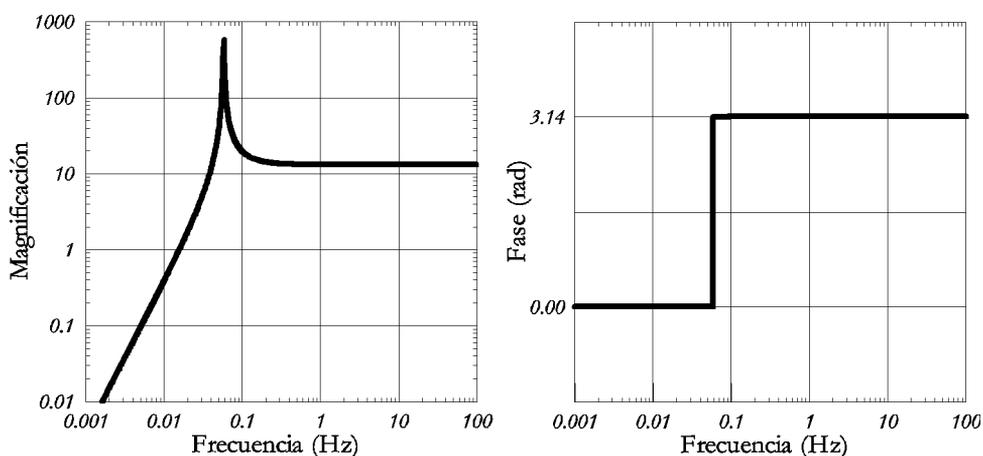


Figura 2.2.3.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Bosch-Omori con las constantes instrumentales $A_m = 15$, $T_0 = 17.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

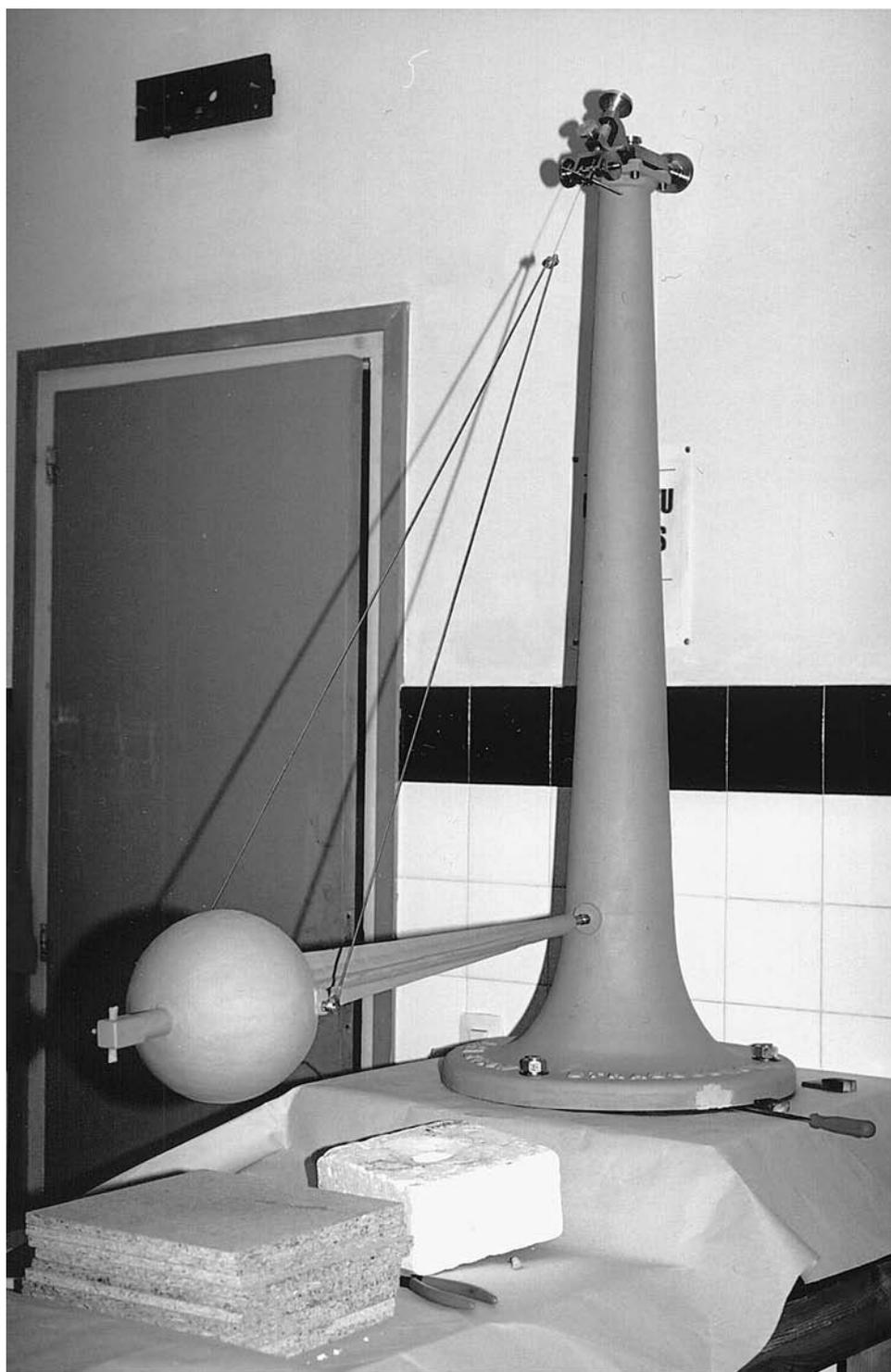


Figura 2.2.4.—Sismógrafo Bosch-Omori del Observatorio de Almería fotografiado durante su proceso de restauración en la Escuela de Arte y Diseño de Tortosa (fotografía de C. Clemente).

Instrumento: Vicentini vertical

Localización: Observatorio Sismológico de Almería (Almería).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1911-1937 Dic.

Características:

Componente: Z
 Masa: 50
 Período propio: 0.84
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.005
 Magnificación: 85 - 100
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 10
 Longitud de la plumilla: (135)

Respuesta en polos y cero:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 7.4800$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 7.4800$

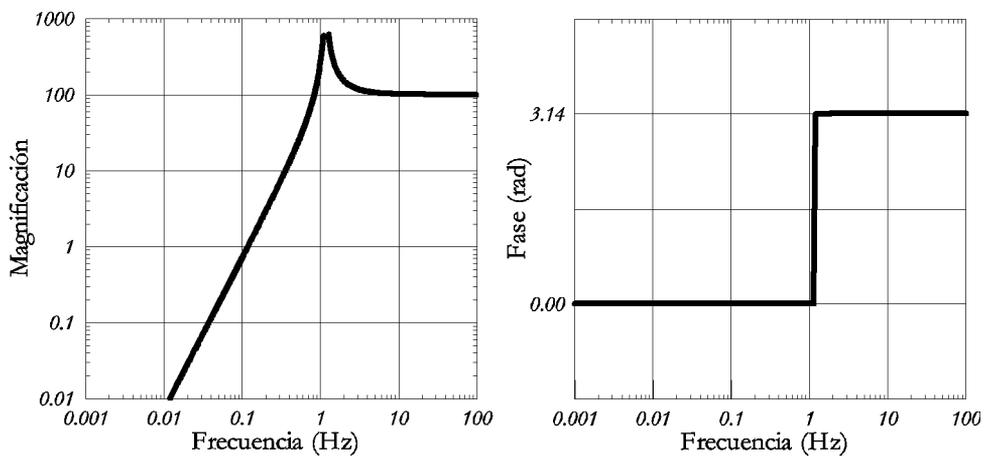
Estado actual: Algunas de sus partes se conservan en el mismo Observatorio.**Comentarios:** El registrador de este instrumento era común al péndulo Vicentini vertical y al péndulo horizontal del mismo nombre, inscribiéndose las tres componentes del movimiento del suelo en una única banda de papel ahumado.**Referencias:** [Tor24], [Gal32].

Figura 2.2.5.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Vicentini vertical con las constantes instrumentales $A_m = 100$, $T_0 = 0.84$ y $\varepsilon = 1.0$.

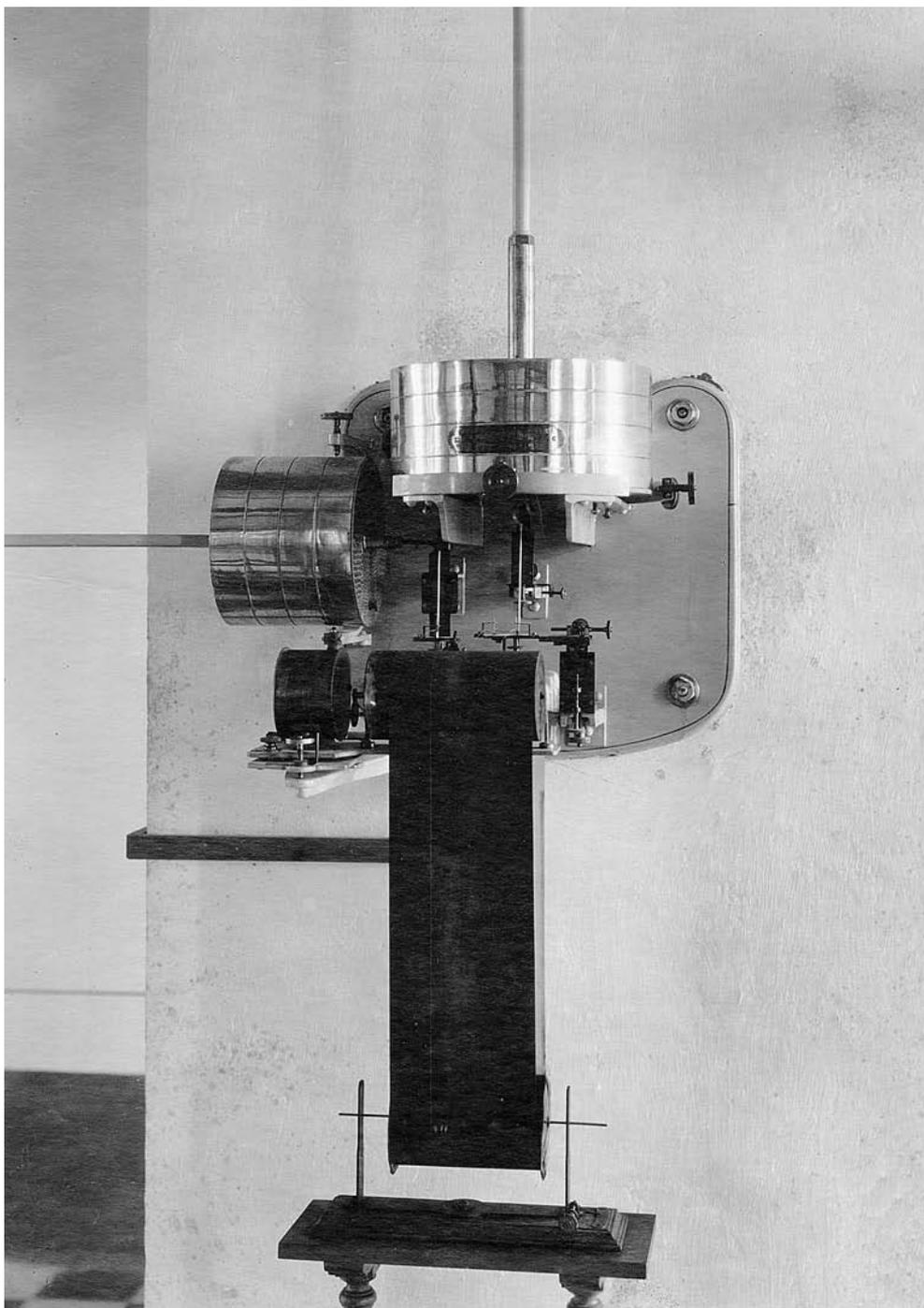


Figura 2.2.6.—Microsismógrafo Vicentini (derecha) y sismógrafo Vicentini vertical (izquierda) instalados en el Observatorio de Almería (fotografía conservada en el Observatorio de Almería). Véase también la figura 2.6.10.

Instrumento: Microsismógrafo Vicentini

Localización: Observatorio Sismológico de Almería (Almería).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1911-1937 Dic.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	109	109
Período propio:	2.4	2.4
Amortiguamiento:	–	–
Rozamiento:	0.02	0.02
Magnificación:	90-100	90-100
Tipo de registro:	Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro:	10	10
Longitud de la plumilla:	(150)	(150)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 2.6180$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 2.6180$

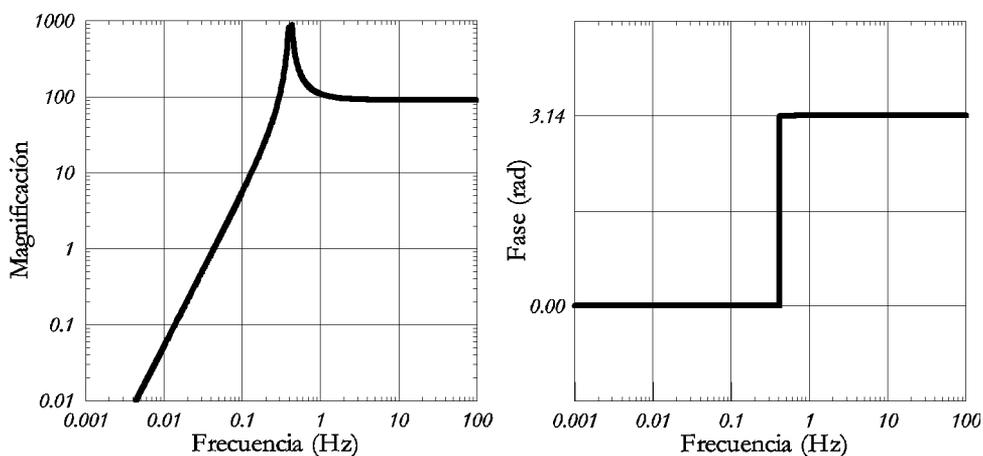
Estado actual: Algunas de sus partes se conservan en el mismo Observatorio.**Comentarios:** El sistema inscriptor acoplado a la masa registraba dos componentes perpendiculares del movimiento del suelo.**Referencias:** [Tor24], [Gal32].

Figura 2.2.7.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el microsismógrafo Vicentini con las constantes instrumentales $A_m = 90$, $T_0 = 2.4$ y $\varepsilon = 1.0$.

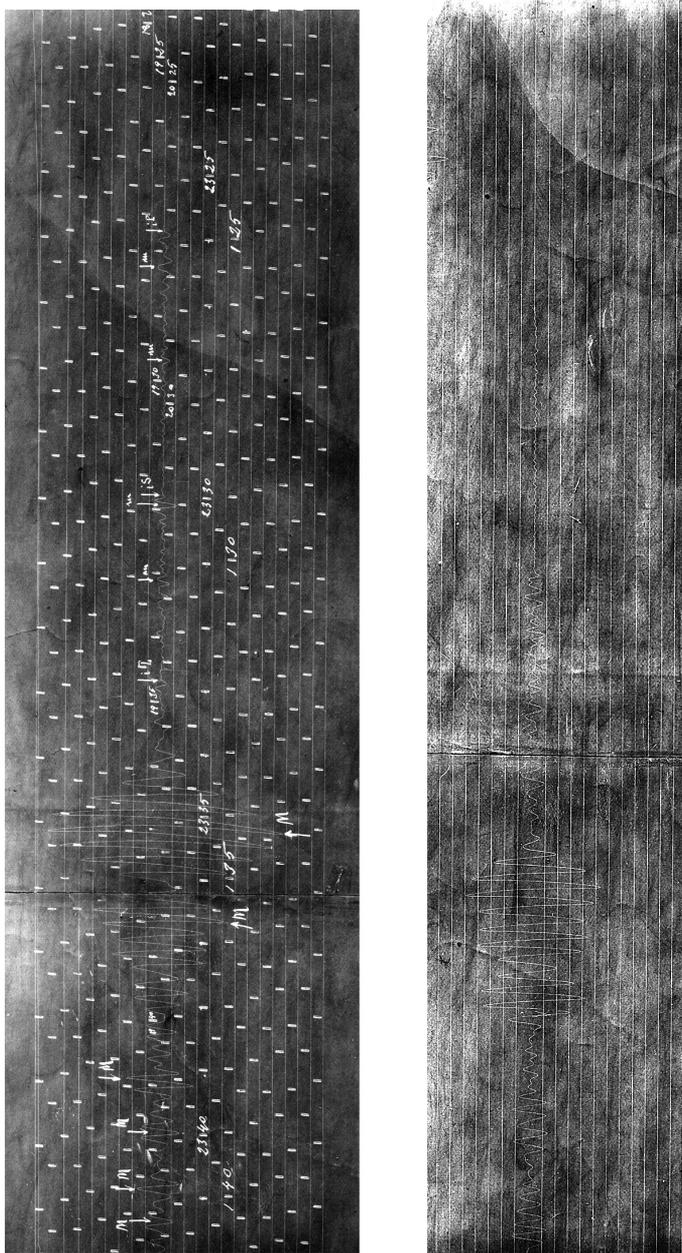


Figura 2.2.8.—La figura 2.2.6 muestra este instrumento. Aprovechamos la oportunidad para reproducir un fragmento de un sismograma correspondiente a un terremoto en los Balcanes, el 18 de abril de 1928, registrado por los sismógrafos Bosch-Omori del Observatorio de Almería. Vemos que sólo la componente E-W disponía de cronógrafo.

Instrumento: Mainka vertical

Localización: Observatorio Sismológico de Almería (Almería).

Origen: Adquirido a la casa Erda (Göttingen).

Período de funcionamiento: 1926 Oct.-1972 Ene.

Características:

Componente: Z
 Masa: 500
 Período propio: 6-7.5
 Amortiguamiento: 1.3
 Rozamiento: 0.01
 Magnificación: 200
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla: (340)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.1340 - j 1.0386$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.1340 + j 1.0386$

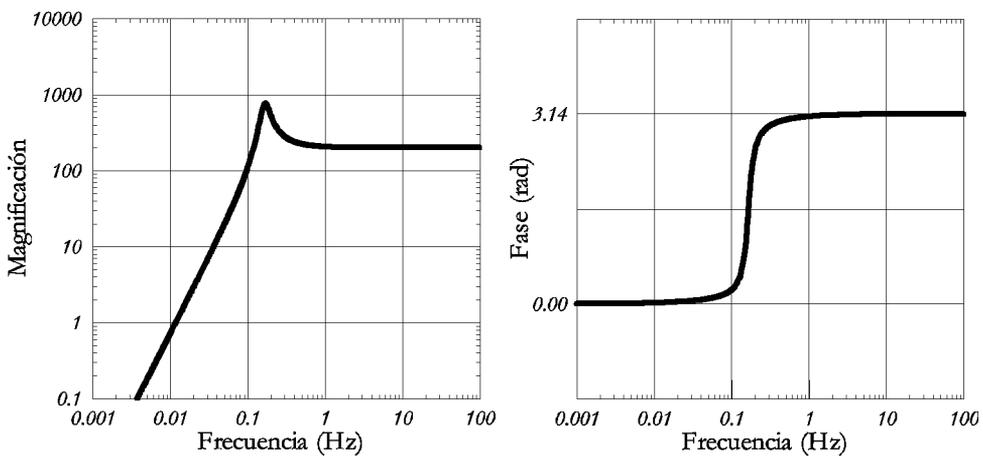
Estado actual: Se conserva desmontado en el mismo Observatorio.**Comentarios:** Parece ser que se trata del único instrumento de este tipo que jamás se construyó y funcionó de forma regular.**Referencias:** [Gal32].

Figura 2.2.9.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka vertical con las constantes instrumentales $A_m = 200$, $T_0 = 6.0$ y $\varepsilon = 1.5$.

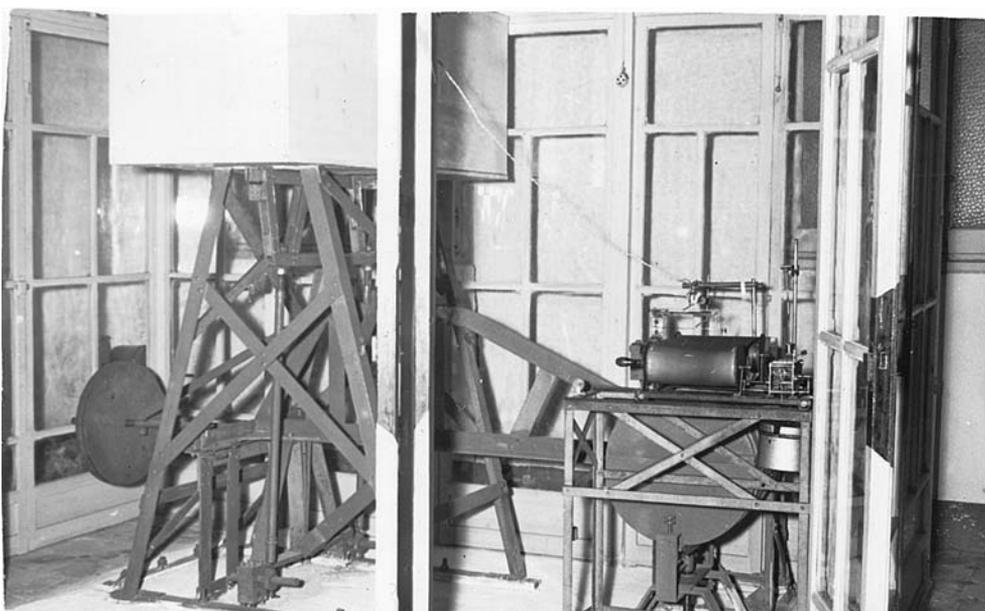


Figura 2.2.10.—Sismógrafo Mainka vertical instalado en el Observatorio de Almería (fotografía conservada en el Observatorio de Almería).

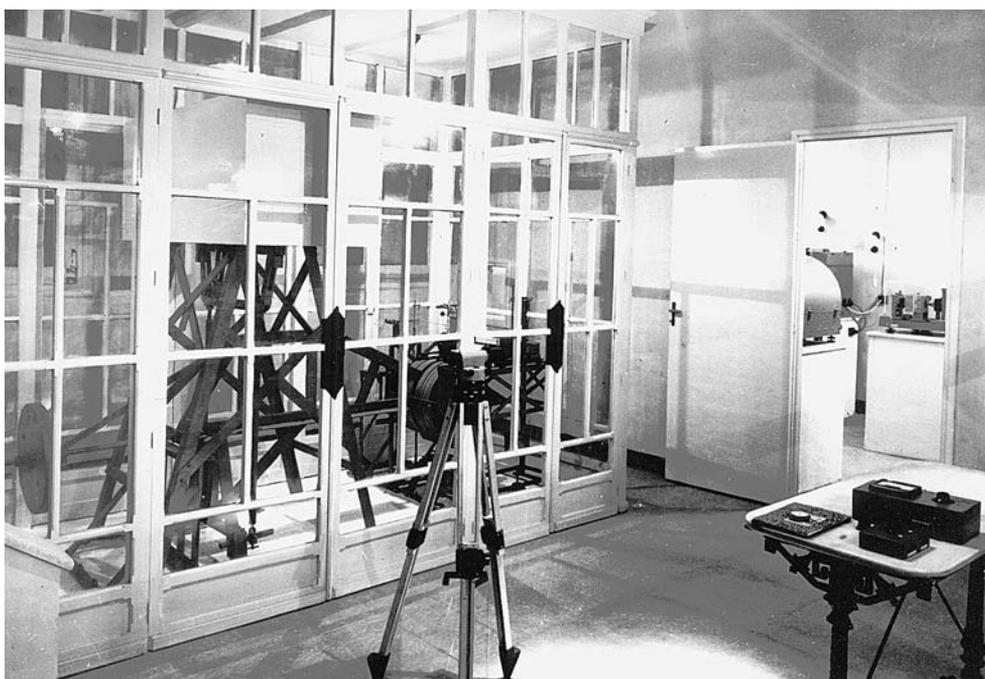


Figura 2.2.11.—Sismógrafo Mainka vertical instalado en el Observatorio de Almería visto desde otro ángulo. Al fondo puede verse la sala de los sismógrafos Hiller-Stuttgart (Fotografía conservada en el Observatorio de Almería).

Instrumento: Mainka (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Sismológico de Almería (Almería).

Origen: Adquiridos a la casa Erda (Göttingen).

Período de funcionamiento: 1928 May.-1944 Dic.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	750	750
Período propio:	7.5-8.0	7.5-8.0
Amortiguamiento:	1.1-1.5	1.1-1.5
Rozamiento:	0.03	0.03.
Magnificación:	175, 310 (1936)	125, 220 (en 1936)
Tipo de registro:	Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro:	15	15
Longitud de la plumilla:	(350)	(340)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.1072 - j 0.8309$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.1072 + j 0.8309$

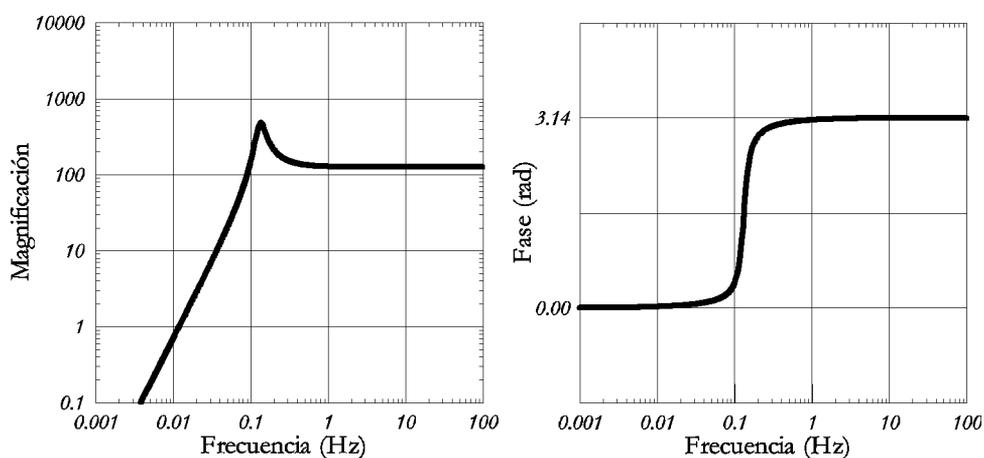
Estado actual: Véase Mainka reformado N-S y E-W.**Comentarios:** Se reformaron en 1945 (el cambio consistió, principalmente, en una mejora del mecanismo inscriptor) y se convirtieron en los sismógrafos Mainka reformados.**Referencias:** [Gal32].

Figura 2.2.12.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 175$, $T_0 = 7.5$ y $\epsilon = 1.5$.

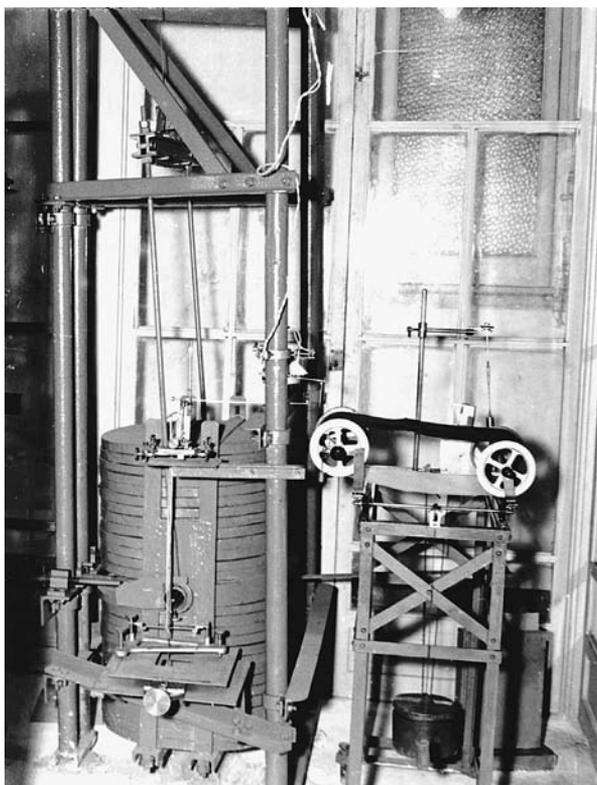


Figura 2.2.13.—Sismógrafo Mainka, componente N-S, instalado en el Observatorio de Almería. Esta fotografía puede datarse por los años cincuenta y el sistema inscriptor del aparato ya está reformado respecto al original como se especificará en la ficha correspondiente al instrumento Mainka reformado (fotografía conservada en el Observatorio de Almería).

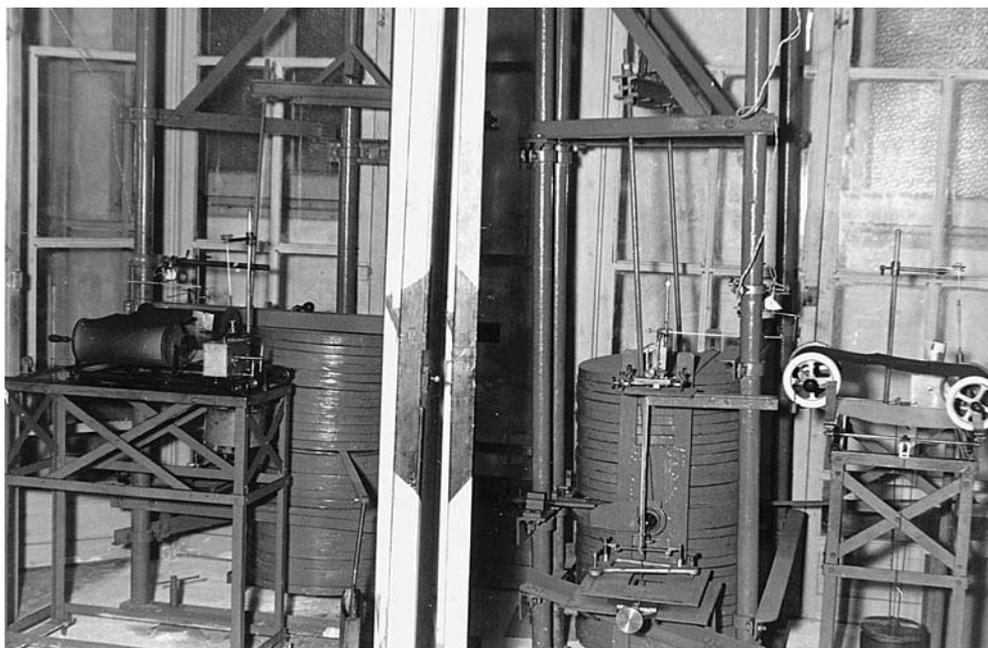


Figura 2.2.14.—Sismógrafos Mainka (componente N-S a la derecha) instalados en el Observatorio de Almería. Se supone se realizó simultáneamente con la anterior (fotografía conservada en el Observatorio de Almería).

Instrumento: Almería vertical

Localización: Observatorio Sismológico de Almería (Almería).

Origen:

Período de funcionamiento: 1936 Jul.-1949 Ago.

Características:

Componente: E-W
 Masa: 800
 Período propio: 2.0-2.2
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.01
 Magnificación: 200-400
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 2.8560$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 2.8560$

Estado actual: Desaparecido.**Comentarios:** En los años cincuenta se pensó en convertirlo a registro fotográfico mediante amplificación por célula fotoeléctrica [Rod55].

No disponemos de ninguna fotografía de este aparato. Por la época de su construcción y la presencia de Gómez Guillamón en ambos Observatorios se supone que era una copia de los péndulos verticales Cartuja.

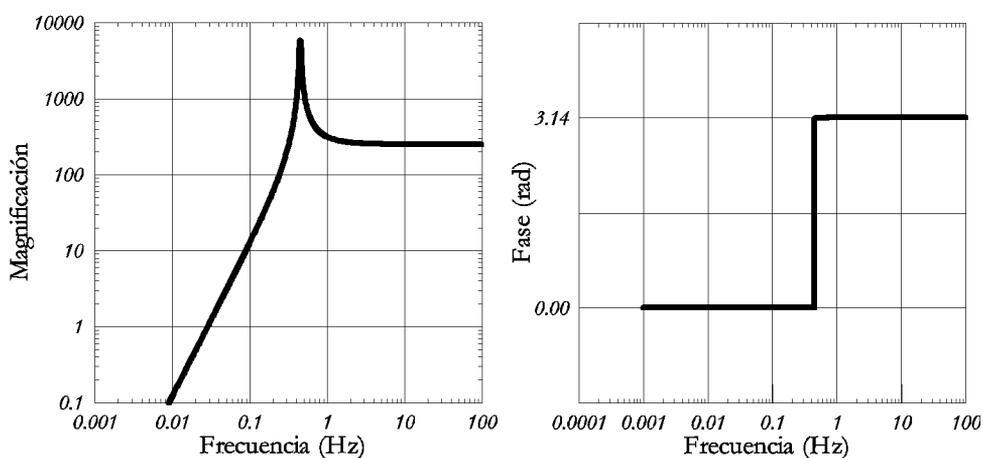
Referencias:

Figura 2.2.15.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Almería vertical con las constantes instrumentales $A_m = 250$, $T_0 = 2.2$ y $\varepsilon = 1.0$.



Figura 2.2.16.—No disponemos de ninguna fotografía del sismógrafo Almería vertical. En su lugar, aprovechamos esta oportunidad para reproducir una imagen tomada durante la construcción del soporte para el proyectado sismógrafo de 18.000 kg, coetáneo de éste y que nunca llegó a construirse (fotografía conservada en el Observatorio de Almería).

Instrumento: Mainka reformado (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico de Almería (Almería).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1945 Ene.-1985 Nov.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	750	750
Período propio:	9.0	9.0
Amortiguamiento:	2.5-3	2.5-3
Rozamiento:	0.02	0.02
Magnificación:	350-450	350-450
Tipo de registro:	Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro:	15	15
Longitud de la plumilla:	~480	~440

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.2305 - j 0.6590$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.2305 + j 0.6590$

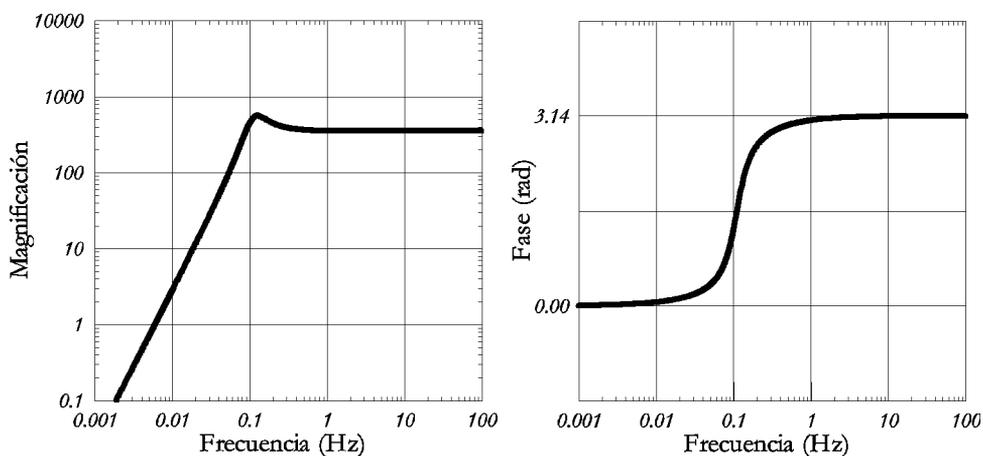
Estado actual: Se conservan expuestos en su mismo emplazamiento original.**Comentarios:** Reforma de los anteriores Mainka N-S y E-W obtenida mediante la modificación de sus sistemas inscriptores [Cam49].**Referencias:**

Figura 2.2.17.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka reformado con las constantes instrumentales $A_m = 350$, $T_0 = 9.0$ y $\varepsilon = 3.0$.

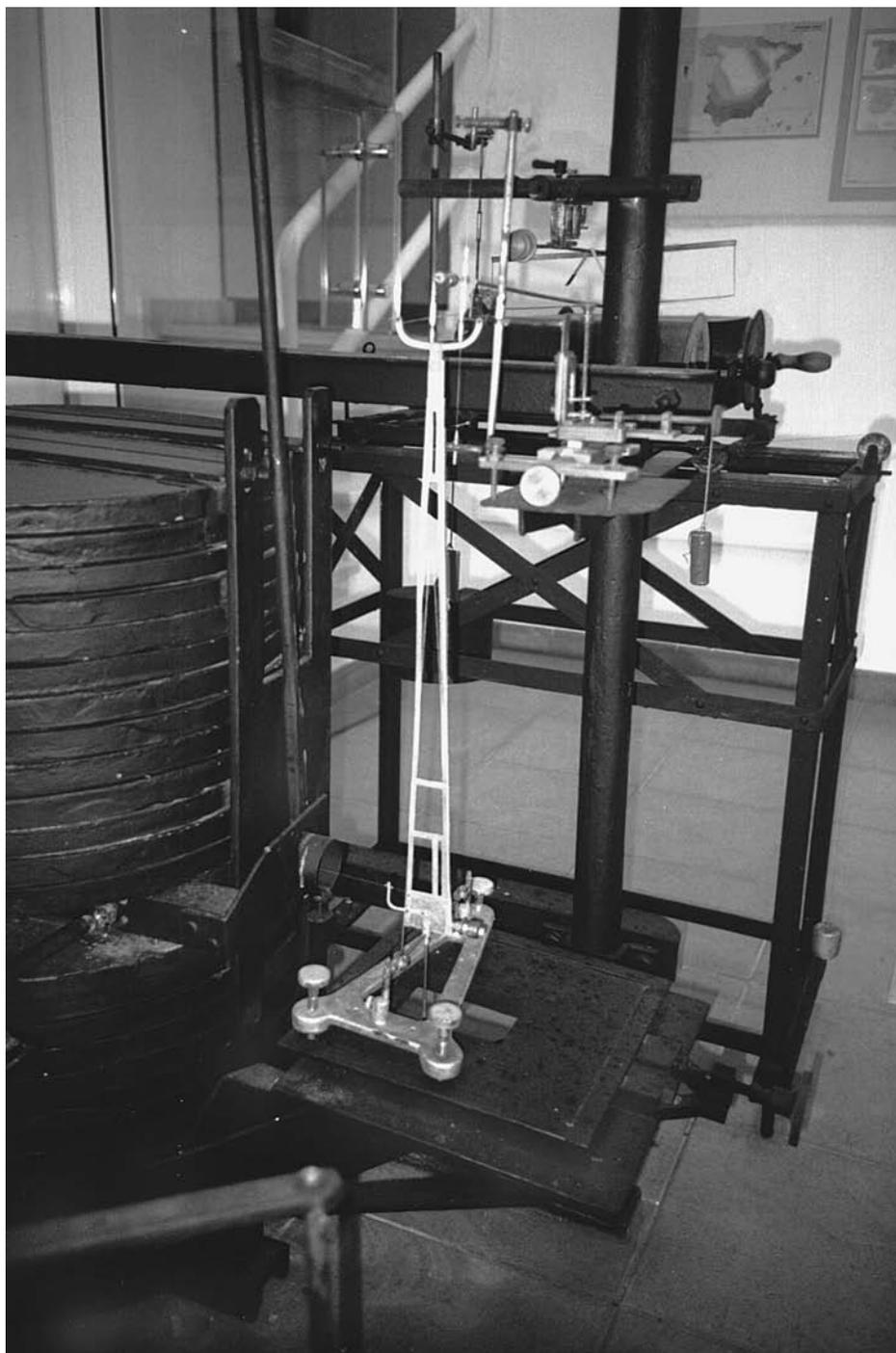


Figura 2.2.18.—Sismógrafo Mainka reformado (componente N-S), detalle del mecanismo amplificador-inscriptor del sistema tal y como se encuentra instalado actualmente en el Observatorio de Almería (fotografía de J. Batlló). Véase también las figuras 2.2.13 y 2.2.14.

Instrumento: Victoria

Localización: Observatorio Sismológico de Almería (Almería).
 Origen: Construido en el Observatorio de Málaga.
 Período de funcionamiento: 1953-1959 May.

Características:

Componente: Z
 Masa: 100
 Período propio: ~ 0.5 [Rod55]
 Período galvanómetro: (7.0)
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: hasta 1500 [Rod55]
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$12.5664 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$12.5664 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$(0.8976 - j 0.0000)$
		4.	$(0.8976 + j 0.0000)$

Estado actual: Se conserva en condiciones de uso en el mismo Observatorio. También se conserva su galvanómetro.

Comentarios: Instrumento muy mal documentado.

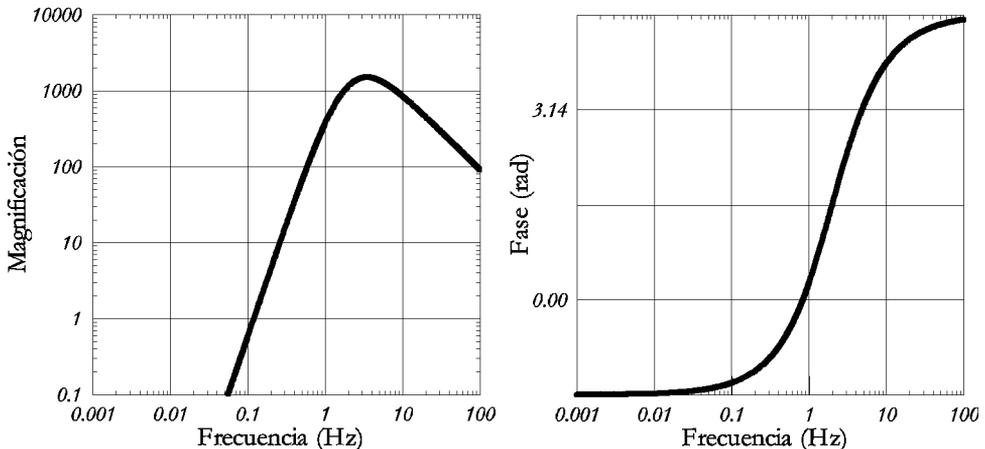


Figura 2.2.19.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Victoria vertical, con las constantes instrumentales $A_m = 1500$, $T_s = 0.5$, $T_g = 7.0$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

Su respuesta en polos y ceros se da de forma aproximada por no conocerse el período del galvanómetro que hemos supuesto igual al de Málaga. Fue construido por A. Sola, mecánico del Observatorio de Málaga, bajo la dirección de F. Gómez Guillamón. Se desmontó de su emplazamiento el día 8 de mayo de 1959.

Referencias: [Rod55], [Lop90], [Gom42].

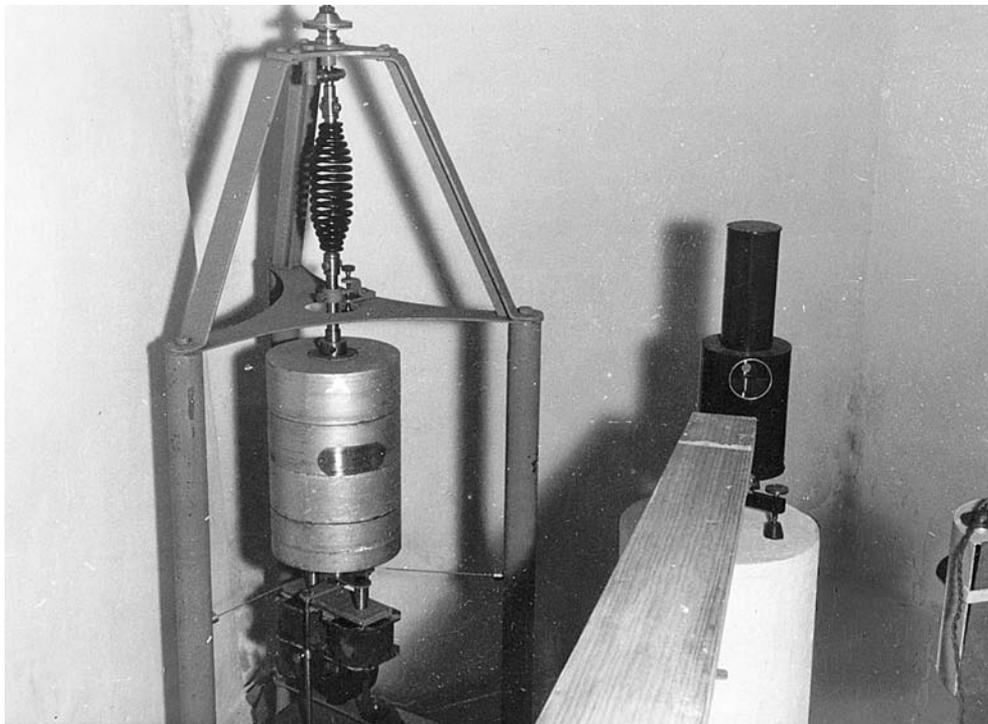


Figura 2.2.20.—Sismógrafo Victoria vertical instalado en el Observatorio de Almería junto con su galvanómetro (fotografía conservada en el Observatorio de Almería).

Instrumento: Hiller-Stuttgart vertical

Localización: Observatorio Geofísico de Almería (Almería).

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1959-1990.

Características:

Componente: Z
 Masa: ~0.5
 Período propio: 1.5
 Período galvanómetro: 1.5
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: 8900
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.1889 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.1889 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.1889 - j 0.0000$
		4.	$4.1889 + j 0.0000$

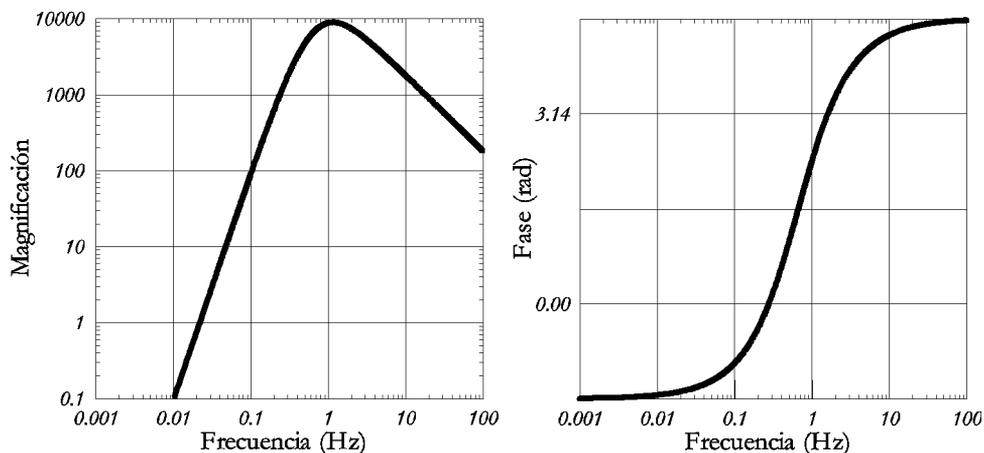
Estado actual: Se conserva en el mismo Observatorio.**Comentarios:** Este sensor todavía está en funcionamiento acoplado a un sistema de registro electrónico inscribiendo sobre papel térmico. Su número de serie es el 551165.**Referencias:** [Ask55].

Figura 2.2.21.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart vertical con las constantes instrumentales $A_m = 8900$, $T_s = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).



Figura 2.2.22.—Sismómetro Hiller-Stuttgart vertical instalado en el Observatorio de Almería (derecha) y dos tambores originales (construidos por Askania) de registro fotográfico de estos instrumentos (izquierda). Esta fotografía puede datarse en los primeros años sesenta (fotografía conservada en el Observatorio de Almería). Véase también la figura 2.3.59.

Instrumento: Hiller-Stuttgart horizontal (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico de Almería (Almería).

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1959-1990.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	~0.5	~0.5
Período propio:	1.5	1.5
Período galvanómetro:	1.5	1.5
Amortiguamiento:	∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación:	8500	8400
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	60	60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.1889 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.1889 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.1889 - j 0.0000$
		4.	$4.1889 + j 0.0000$

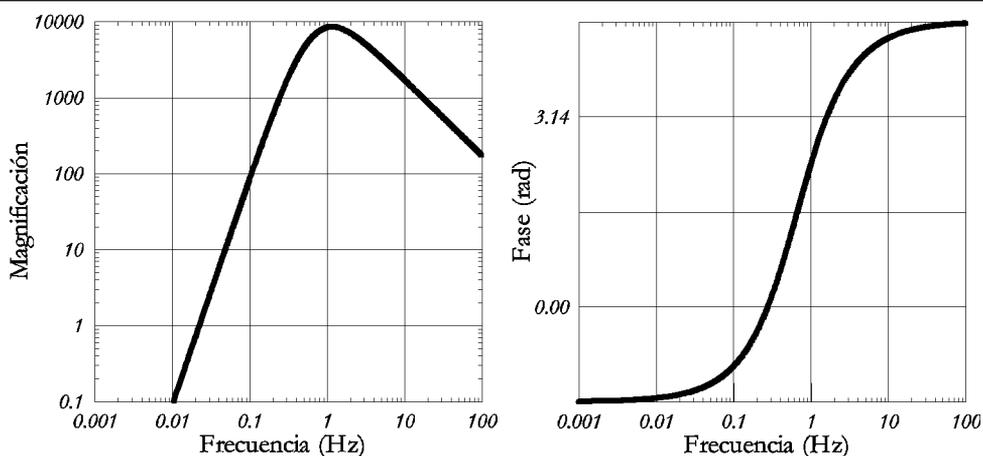
Estado actual: Ambos instrumentos se conservan en el mismo Observatorio.**Comentarios:** Los números de serie son el 551175 para la componente E-W y el 551176 para la N-S.**Referencias:** [Ask55].

Figura 2.2.23.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 8500$, $T_s = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

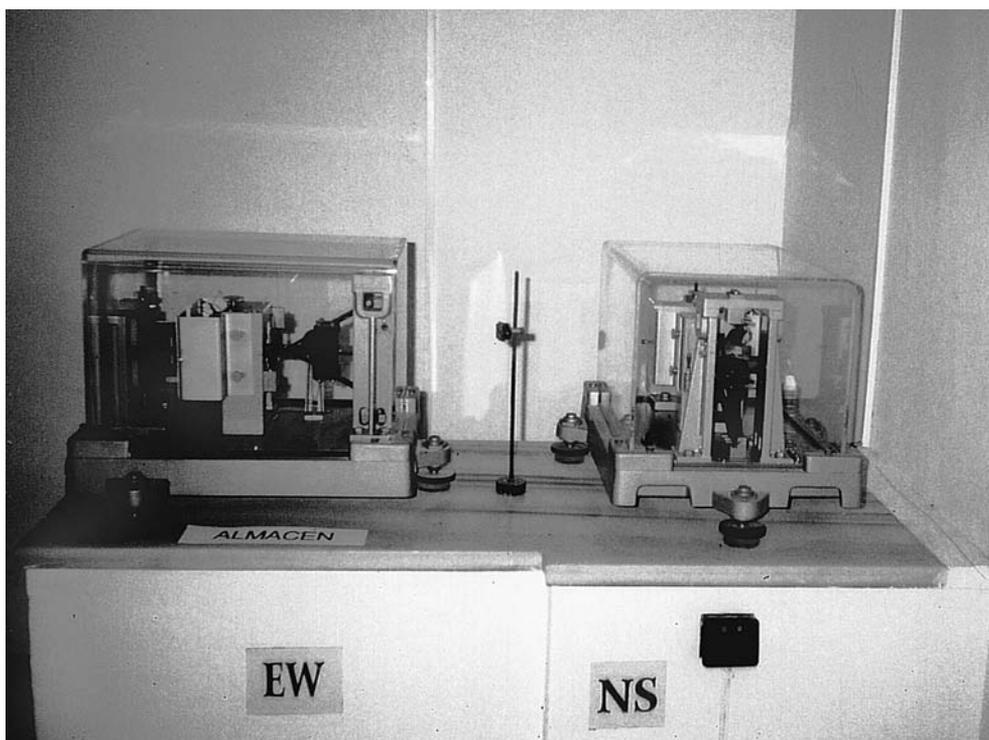


Figura 2.2.24.—Sismómetros Hiller-Stuttgart horizontales en su instalación actual en el Observatorio de Almería (fotografía de J. Batlló).

2.3. *Observatorio Sismológico de Cartuja*

En 1902 se inauguró en Granada un observatorio astronómico de nueva planta. Su nombre oficial fue, en un primer momento, Observatorio Astronómico, Meteorológico y Geodinámico de Granada. Fue fundado por la Compañía de Jesús y se encontraba adscrito al Colegio del noviciado que poseía la Compañía en dicha ciudad. Se hallan, el Observatorio y el Colegio, no muy lejos el uno del otro y construidos en una colina en las inmediaciones del lugar llamado Cartuja, por la presencia del monumento del mismo nombre. Ambas construcciones se hallan situadas a una corta distancia al N-NE de la ciudad histórica de Granada. Los terrenos subyacentes corresponden al calcáreo tortoniense.

Su primer Director, el jesuita Juan de la Cruz Granero incluyó en su estructura una sección meteorológica y otra sísmica. Éste es el origen de la estación sismológica de Cartuja que, con el paso del tiempo, fue adquiriendo importancia hasta convertirse el estudio de la sismología en la actividad principal del Observatorio.

Aparte de los sismógrafos catalogados a continuación, también disponía esta estación, en un primer momento, de un sismoscopio, construido en el mismo Observatorio por el primer Director de la Sección Sísmica, Ramón Martínez, del cual no hemos encontrado documentación; pero que por la única referencia que de él tenemos [Tor24] parece que era de diseño muy ingenioso.

Asimismo, el interés del, por muchos años, director de la estación sismológica, Manuel María Sánchez-Navarro Neumann, por las técnicas de prospección sísmica y la apli-

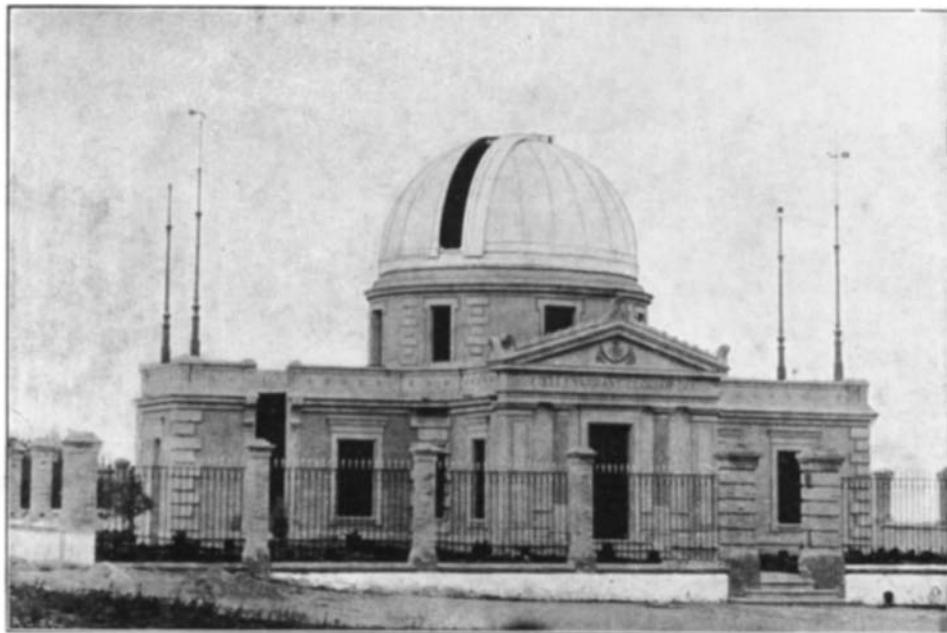
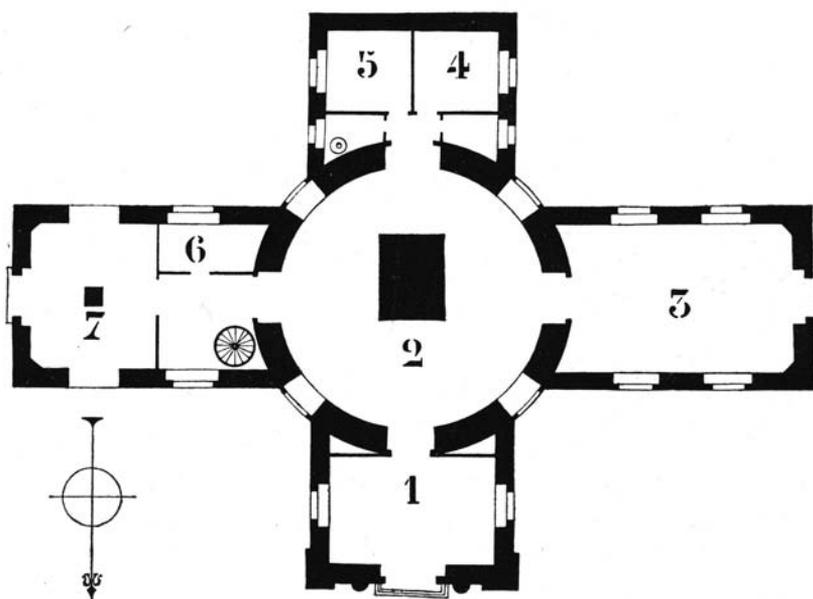


Figura 2.3.1a.—Imagen del Observatorio Astronómico, Meteorológico y Geodinámico de Granada, luego llamado Observatorio de Cartuja, al poco de su inauguración, fotografía tomada del *Boletín Mensual del Observatorio de Granada*, 1903.

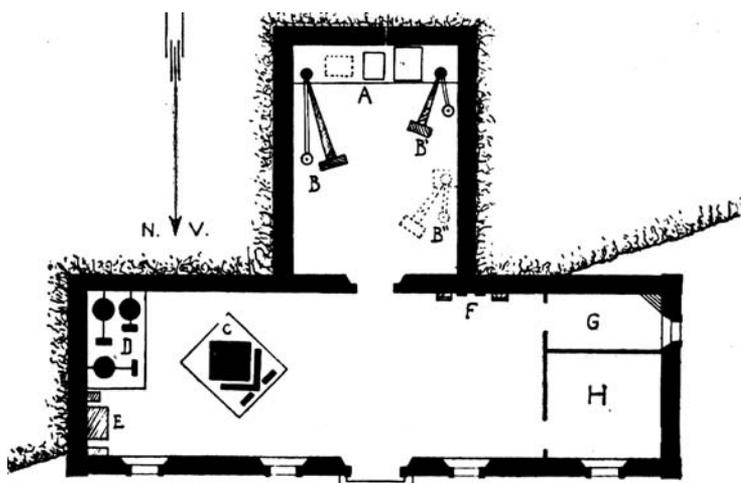
cación de la sismología al estudio de las vibraciones de edificios, motores, etc., llevó al mismo al diseño y construcción de diversos aparatos específicamente destinados a este fin (véase, por ejemplo, [SNa11], [SNa16a], [SNa19b] y [SNa21b]). A este respecto cabe mencionar que el grupo macrosísmico Alhambra no era más que la adaptación de uno de estos aparatos para el registro de sismos regionales.

Respecto a la localización exacta de los instrumentos, diremos que, en un primer momento, se hallaban suspendidos de la columna que sostenía (y sigue sosteniendo) el telescopio ecuatorial del Observatorio. En 1908 se adaptó una de las dependencias del Colegio Máximo de la Compañía de Jesús en Granada para acoger los instrumentos sísmicos. Esta situación duró hasta los años veinte, momento en el que, nuevamente, se instalan aparatos sísmicos en la columna del telescopio, aunque no todos. Así, una parte de los instrumentos se hallaba en el recinto del Observatorio propiamente dicho y otra en el Colegio Máximo. Esta segunda situación se mantuvo hasta que en los años treinta se inauguró un nuevo edificio destinado a contener los sismógrafos y inmediatamente adyacente al Observatorio. Desde ese momento todos los instrumentos se hallaron dispuestos en las inmediaciones del Observatorio. Encontrará el lector las coordenadas de las dos localizaciones principales en el apartado §1.6. Recientemente Batlló [Bat03] ha realizado un estudio de los sismógrafos utilizados y diseñados en este Observatorio y su significado e importancia. El lector interesado en profundizar en la historia de este Observatorio encontrará abundante información en el trabajo de Espinar *et al.* [Esp03] publicado con motivo del centenario de este Observatorio y también en [Udi03].



PLANO DEL EDIFICIO.

Figura 2.3.1b.—Plano del Observatorio de Cartuja, los sismógrafos se encontraban suspendidos del pilar marcado con un 2 (*Boletín Mensual del Observatorio de Granada*, 1903).



Plano de la nueva Estación sismológica del Colegio Máximo de Granada. — A. Pilar para los sismógrafos de registro magneto-fotográfico. B, B' y B''. Receptores para los mismos (cilindros registradores, lámparas, etc.). C. Péndulo invertido Berchmans. D. Cartuja vertical y bifilares. E. Estación receptora de T. S. H., y relojes-cronógrafos. F. Interruptores y reductores de voltaje. G. Cuarto para el ahumado y fijado de las bandas de registro mecánico. H. Taller fotográfico

Figura 2.3.2.—Plano del nuevo pabellón sísmico del Observatorio de Cartuja hacia 1930. La disposición final de los instrumentos no fue exactamente la reproducida en este plano, de [SNa286].

Instrumento: Stiattesi (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1903-1908 May.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 208 kg	208
Período propio: 15-22 s	15-22
Amortiguamiento: –	–
Rozamiento: 0.4	0.4
Magnificación: 15-30	15-30
Tipo de registro: Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro: 8.2 mm/min.	8.2
Longitud de la plumilla: (170 mm)	(170)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.0000 - j 0.3491$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $0.0000 + j 0.3491$

Estado actual:Desaparecido.

Comentarios: Sus masas se utilizaron para construir el sismógrafo Cartuja Bifilar ENE. Durante la reforma de 1908 se llegó a reinstalar este sismógrafo en un nuevo emplazamiento al lado del Cartuja bifilar (véase la figura 2.3.18.). Pero no llegó a funcionar nuevamente.

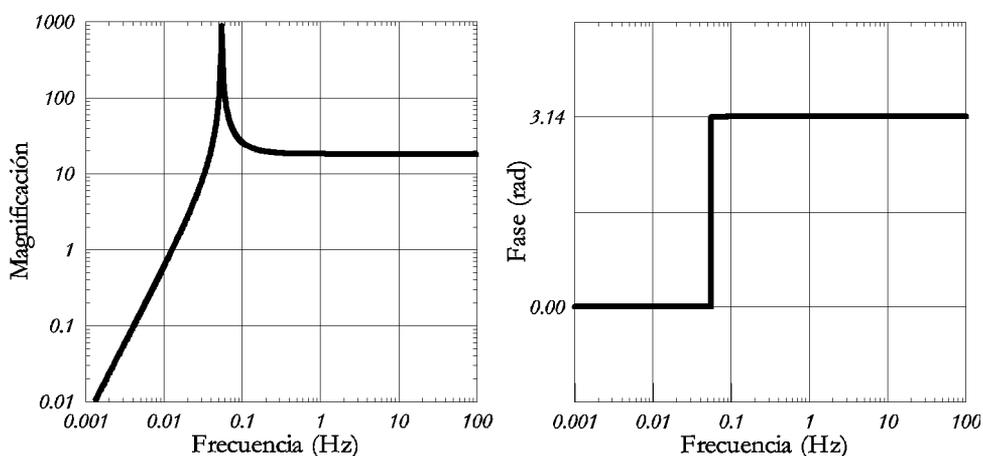
Referencias: [SNa07], [Bat03], [Año03].

Figura 2.3.3.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Stiattesi con las constantes instrumentales $A_m = 18$, $T_0 = 18.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

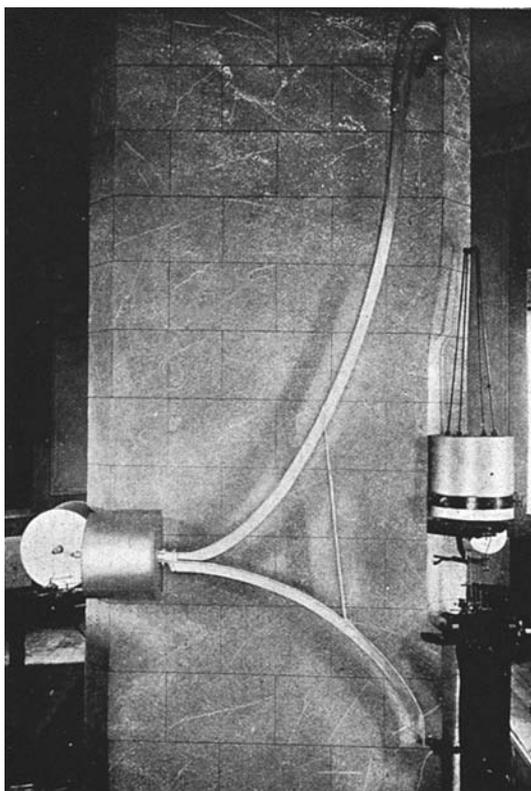


Figura 2.3.4.—Péndulos horizontales Stiattesi (izquierda) y microsismógrafo Vicentini-Pacher (derecha). Del *Boletín Mensual del Observatorio de Granada*, 1903.

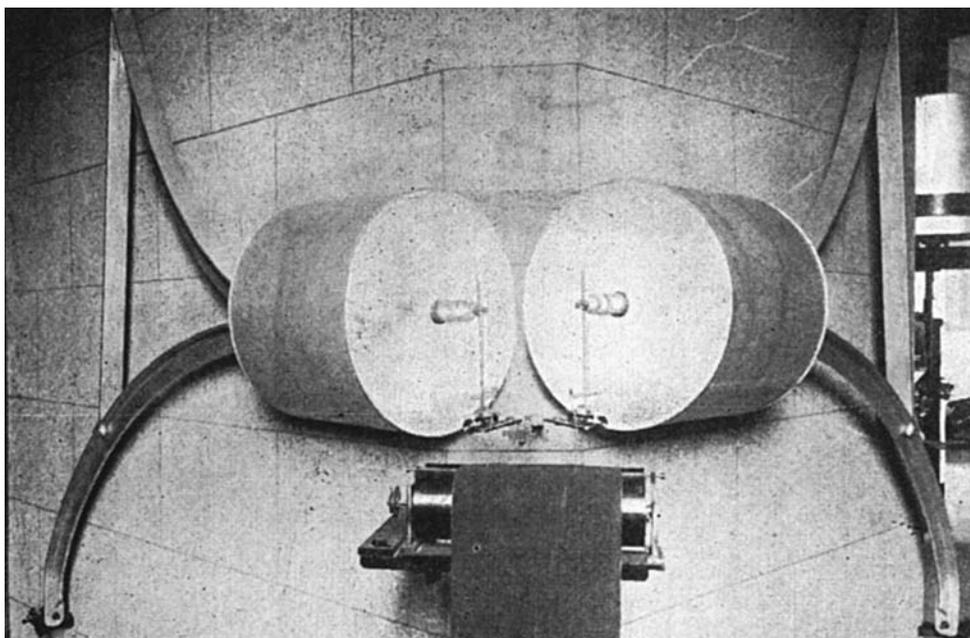


Figura 2.3.5.—Detalle de las masas y mecanismo inscriptor de los péndulos horizontales Stiattesi (del *Boletín Mensual del Observatorio de Granada*, 1903).

Instrumento: Vicentini Pacher

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1903-1908.

Características:

Componente: Horizontales
Masa: 308
Período propio: 2.2
Amortiguamiento: –
Rozamiento:
Magnificación: 155
Tipo de registro: Banda de papel ahumado
Velocidad de registro: 15
Longitud de la plumilla: –

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ **Polos:** 1. $0.0000 - j 2.8560$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 2.8560$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Su masa se utilizó para construir el sismógrafo Cartuja bifilar NNW. El sistema inscriptor, por su diseño, no introducía curvatura en el registro. Este instrumento fue construido en el taller del Observatorio de Quarto Castello bajo la dirección de R. Stiattesi. Parece ser que disponía de un mecanismo de doble velocidad de registro. Véase un registro de este instrumento en la figura 2.3.26.

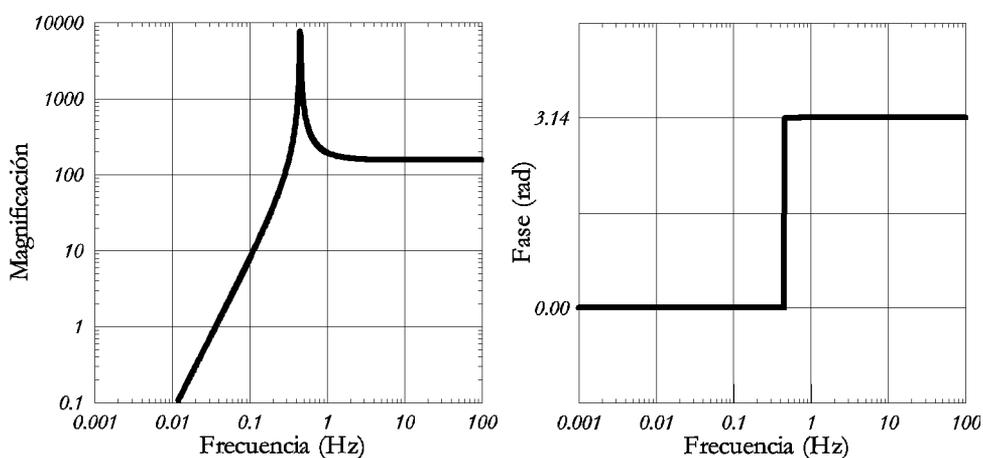
Referencias: [Pac97], [Bat03], [Ano03].

Figura 2.3.6.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Vicentini Pacher con las constantes instrumentales $A_m = 155$, $T_0 = 2.2$ y $\varepsilon = 1.0$.

Instrumento: Vicentini vertical

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1903-1907.

Características:

Componente: Z
 Masa: 48
 Período propio: 0.85
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: 115
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 7.3920$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 7.3920$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Este instrumento fue totalmente reconstruido en 1907. Véase la ficha siguiente. Este instrumento fue construido en el taller del Observatorio de Quarto Castello bajo la dirección de R. Stiattesi.

Referencias: [Fer92a], [Pac97], [Bat03].

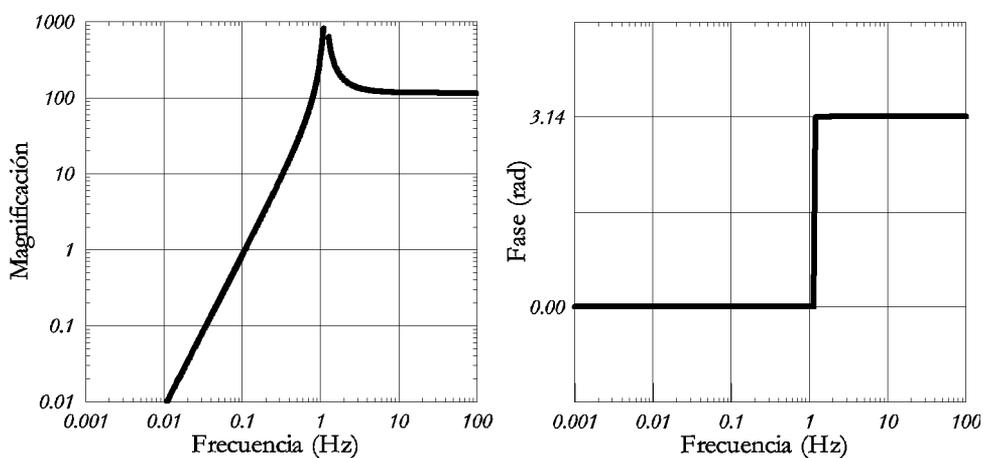


Figura 2.3.7.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Vicentini vertical con las constantes instrumentales $A_m = 115$, $T_0 = 0.85$ y $\varepsilon = 1.0$.

Instrumento: Vicentini vertical

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1907-1908 May.

Características:

Componente: Z
 Masa: 48
 Período propio: 1.22
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: 80-90
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 14-15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 5.1502$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 5.1502$

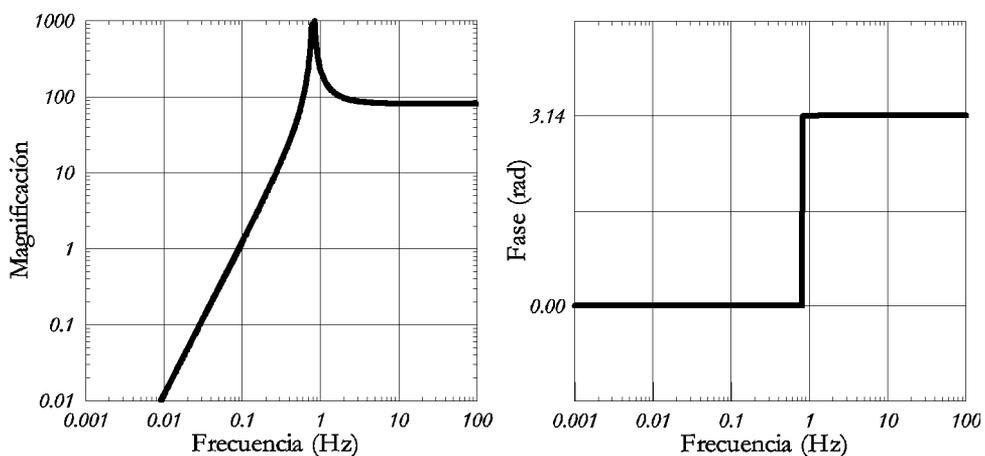
Estado actual: Desaparecido.**Comentarios:** Se supone que para instalar este sismógrafo Vicentini vertical se desmontó el original adquirido y se utilizaron sus piezas para el nuevo sismógrafo.**Referencias:** [SNa10], [Bat03].

Figura 2.3.8.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Vicentini vertical con las constantes instrumentales $A_m = 85$, $T_0 = 1.22$ y $\varepsilon = 1.0$.

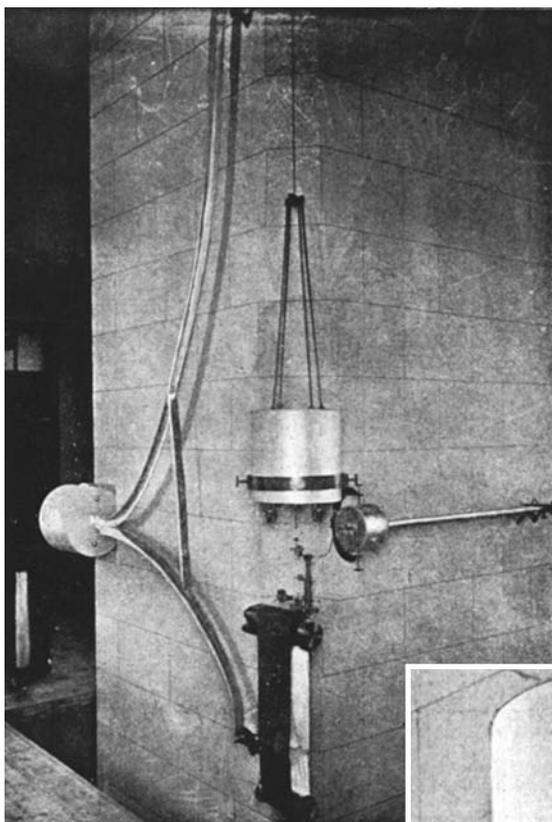


Figura 2.3.9.—Microsismógrafo Vicentini Pacher (centro) y Vicentini vertical (derecha). A la izquierda aparece el péndulo horizontal Stiattesi (fotografía del *Boletín Mensual del Observatorio de Granada*, 1903). Véase también la figura 2.3.26.

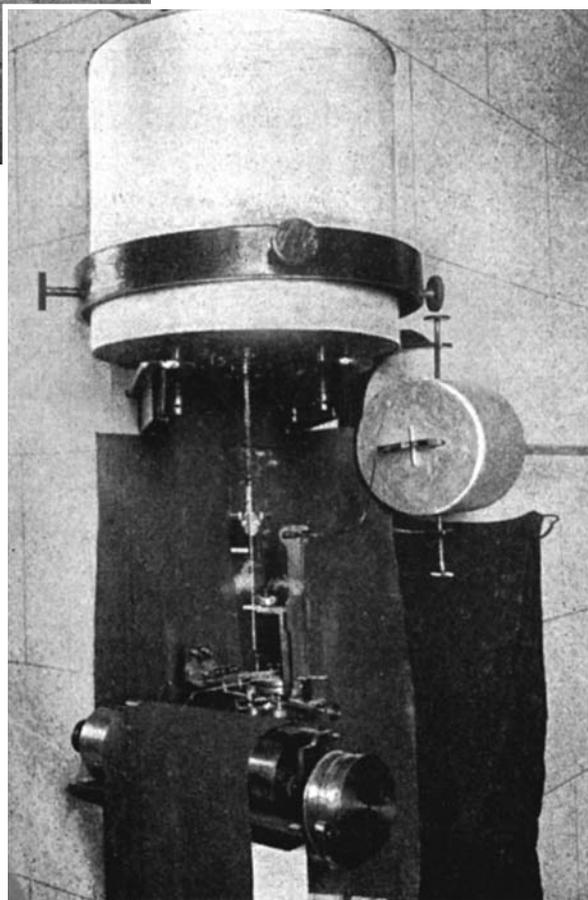


Figura 2.3.10.—Detalle del mecanismo inscriptor y masas de los sismógrafos Vicentini Pacher y Vicentini vertical (fotografía del *Boletín Mensual del Observatorio de Granada*, 1903).

Instrumento: Omori modificado

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).
 Origen: Construido en el propio Observatorio.
 Período de funcionamiento: 1907 Ago.-1913.

Características:

Componente: NNW-SSE (N20W)
 Masa: 106
 Período propio: 14-17
 Amortiguamiento: 3-4
 Rozamiento:
 Magnificación: 30
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 5.5
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.1455 - j 0.3648$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.1455 + j 0.3648$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: En [SNa15] se describen muy bien las diferencias de este sismógrafo respecto a los Omori originales.

Referencias: [SNa08a], [SNa15], [Bat03].

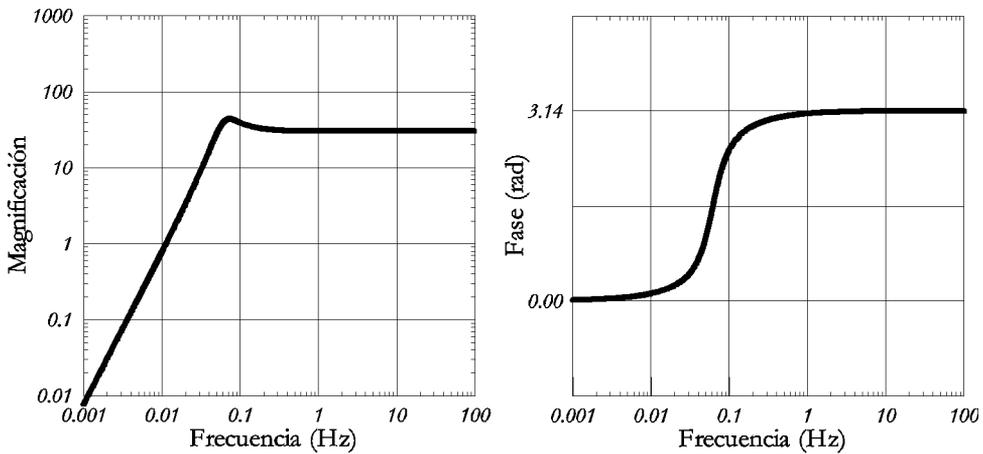


Figura 2.3.11.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Omori modificado con las constantes instrumentales $A_m = 30$, $T_0 = 16.0$ y $\epsilon = 3.5$.

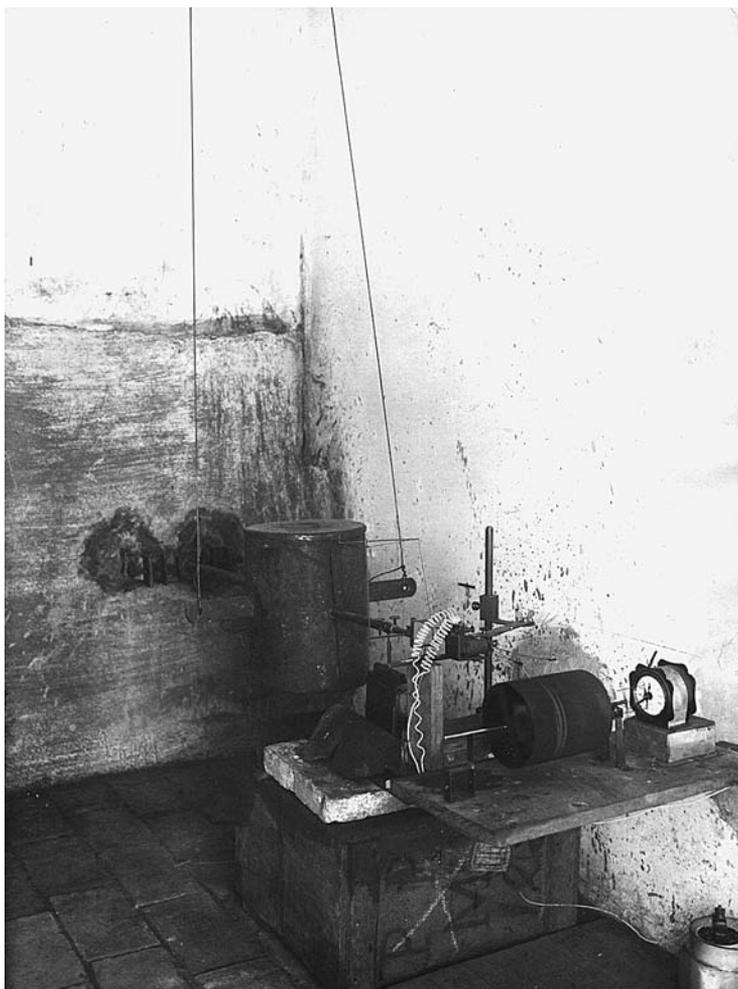


Figura 2.3.12.—Péndulo Omori modificado del Observatorio de Cartuja (fotografía conservada en el archivo del Observatorio del Ebro).

Instrumento: Vicentini Cartuja

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).
 Origen: Construido en el propio Observatorio.
 Período de funcionamiento: 1908 Jun.-1909.

Características:

Componente:
 Masa: 125
 Período propio: 2.6
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: 85-120
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 2.4166$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 2.4166$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Parece ser que registraba dos componentes perpendiculares del movimiento del suelo sobre la misma banda. Parte de sus piezas se utilizaron posteriormente para la construcción del péndulo vertical Cartuja de 280 kg.

Referencias: [SNa08a], [Bat03].

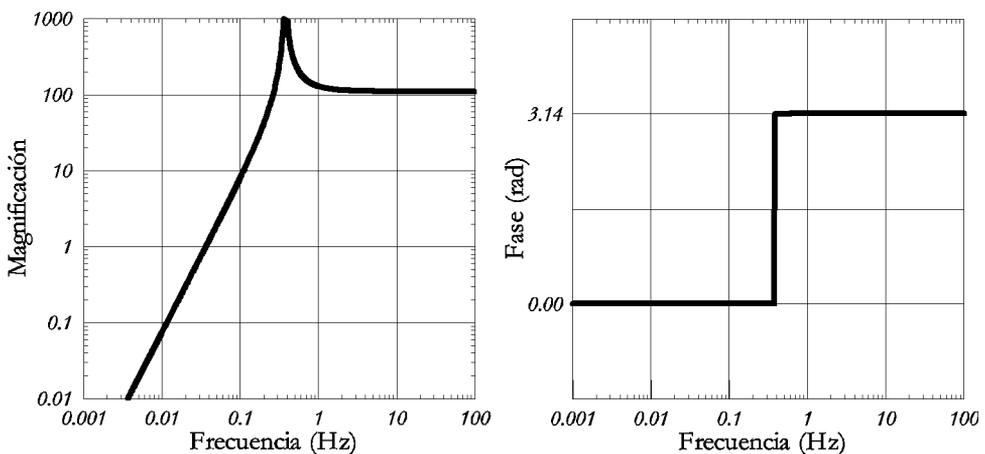


Figura 2.3.13.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Vicentini Cartuja con las constantes instrumentales $A_m = 110$, $T_0 = 2.6$ y $\varepsilon = 1.0$.

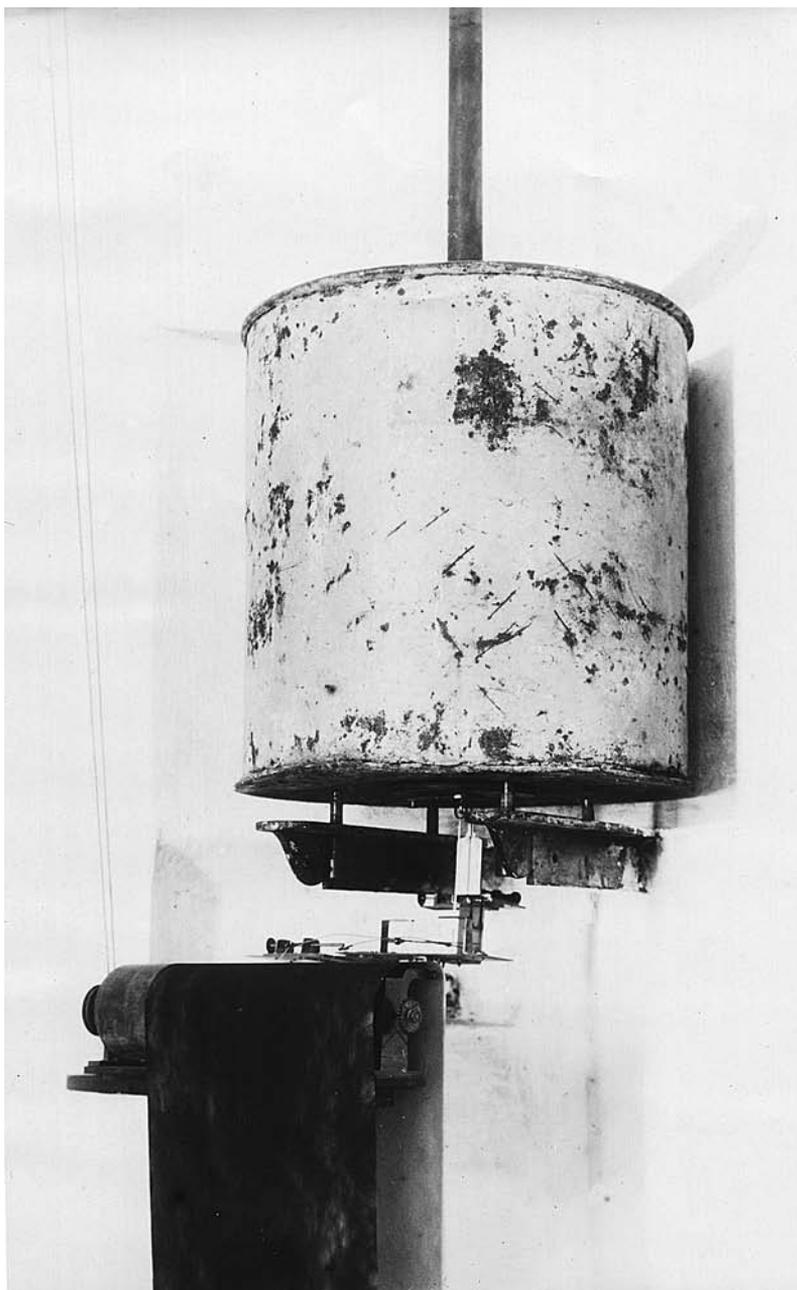


Figura 2.3.14.—Microsismógrafo Vicentini Cartuja (fotografía conservada en el archivo del Observatorio del Ebro). Véase también la figura 2.3.18.

Instrumento: Wiechert

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1908 Oct.-1912.

Características:

Componente: E-W; ESE-WNW (1910)
 Masa: 200
 Período propio: 6.8
 Amortiguamiento: 4.5
 Rozamiento: 0.7
 Magnificación: 126
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 10
 Longitud de la plumilla: (180)

Respuesta en polos y ceros

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.3973 - j 0.7532$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.3973 + j 0.7532$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Construido por Spindler & Hoyer (Gottingen). Fue el prototipo de los modelos de 200 kg. Quizás por esto presentó siempre muchos problemas de funcionamiento y sus períodos de registro son muy discontinuos. Por muy poco tiempo funcionaron las dos componentes (E-W y N-S) de este aparato.

Referencias: [Ber32], [Bat03].

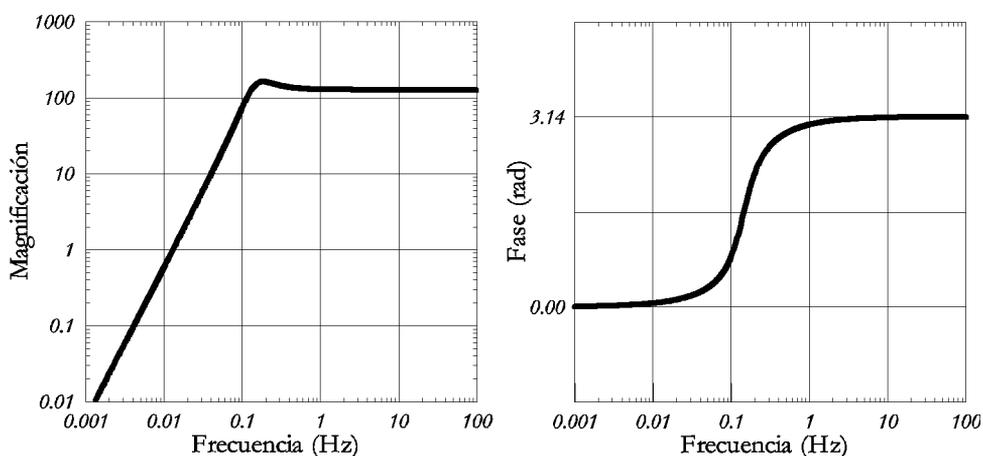


Figura 2.3.15.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para la componente E-W del sismógrafo Wiechert con las constantes instrumentales $A_m = 126$, $T_0 = 6.8$ y $\epsilon = 4.5$.

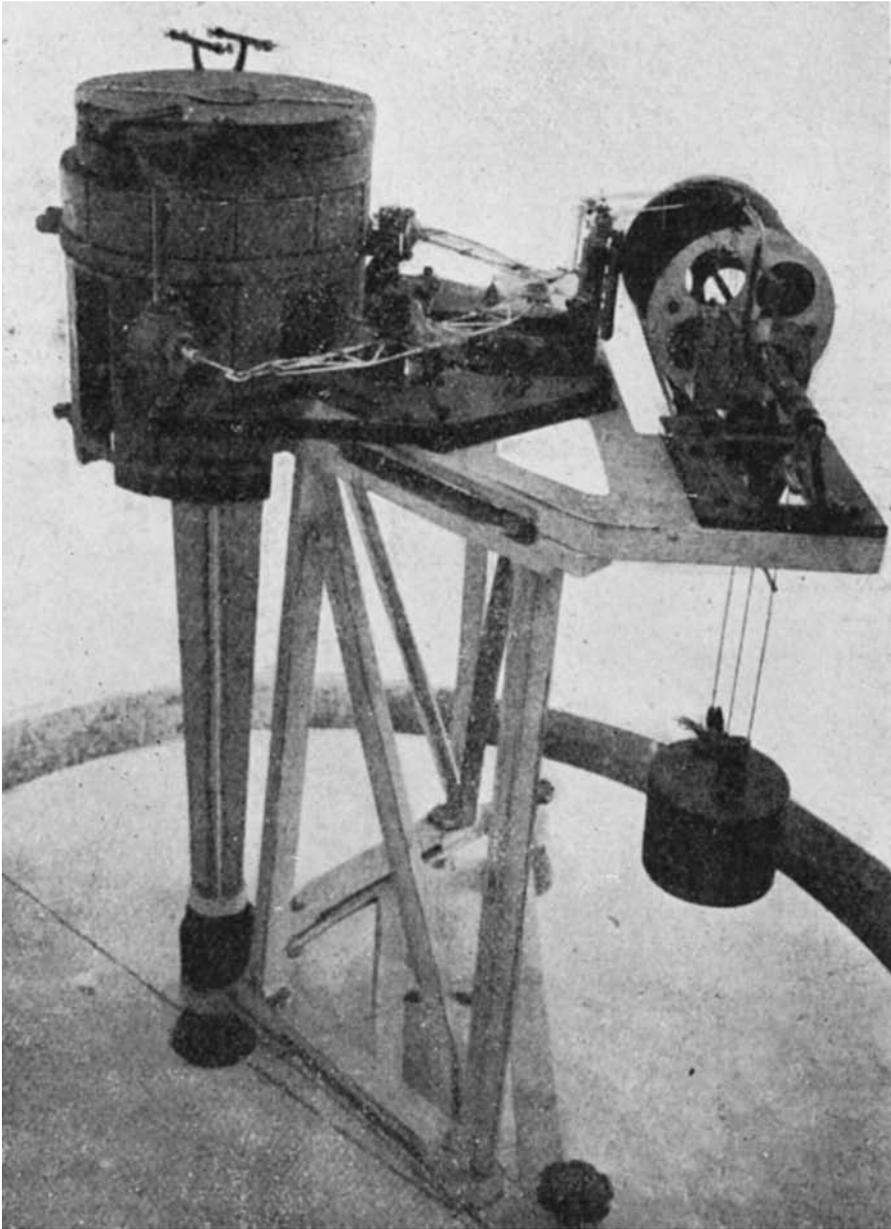


Figura 2.3.16.—Fotografía del sismógrafo Wiechert, de 200 kg de masa, del Observatorio de Cartuja, publicada en [SNa16b].

Instrumento: Cartuja bifilar	
Localización: Observatorio de Cartuja (Granada). Origen: Construido en el propio Observatorio. Período de funcionamiento: 1908 Jun.-1916.	
Características:	
Componente: NNW-SSE (N20W) Masa: 305 Período propio: 5-10 Amortiguamiento: 3-5 Rozamiento: Magnificación: 50-100 Tipo de registro: Banda de papel ahumado Velocidad de registro: (5)-10 Longitud de la plumilla:	
Respuesta en polos y ceros:	
Ceros: 1. 0.0000 + j 0.0000 2. 0.0000 + j 0.0000	Polos: 1. 0.2074 - j 0.5931 2. 0.2074 + j 0.5931
Estado actual: Desaparecido.	
Comentarios: Construido con la masa del sismógrafo Vicentini de pantógrafo (Vicentini Pacher).	
Referencias: [SNa08a], [SNa08b], [Bat03].	

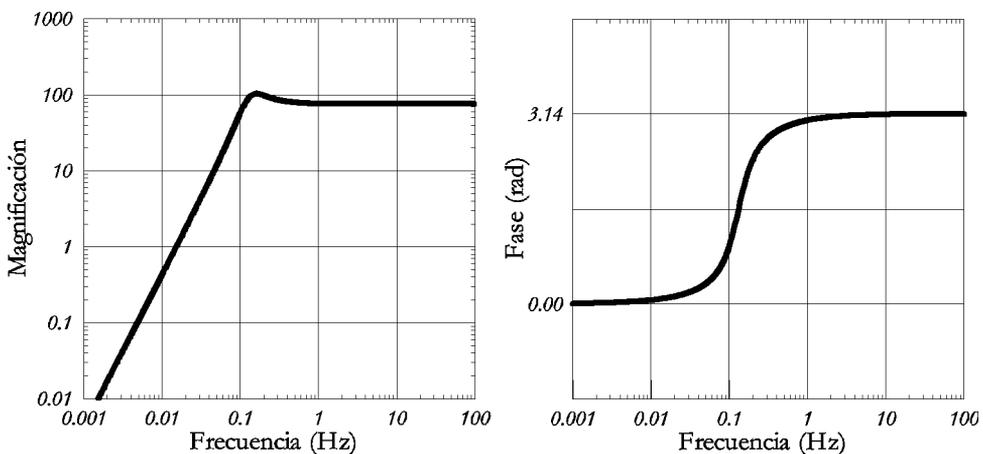


Figura 2.3.17.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Cartuja bifilar con las constantes instrumentales $A_m = 85$, $T_0 = 7.5$ y $\varepsilon = 4.0$.

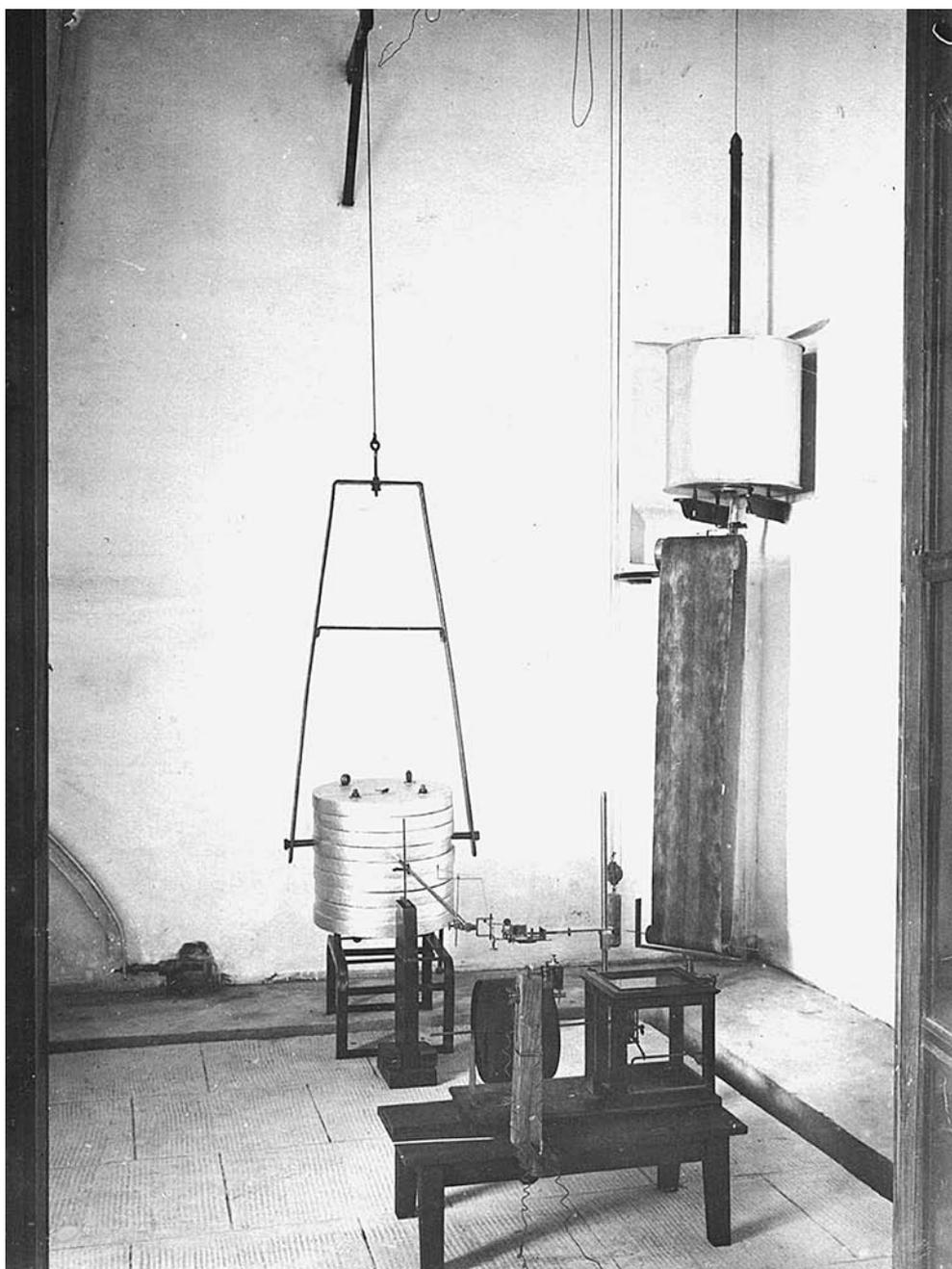


Figura 2.3.18.—Sismógrafo Cartuja bifilar de 305 kg (en el centro). A la izquierda se ve la pata inferior del sismógrafo Striattesi reinstalado. A la derecha puede apreciarse también el sismógrafo Cartuja vertical (fotografía conservada en el archivo del Observatorio del Ebro).

Instrumento: Cartuja bifilar

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1909 Jun.-1916.

Características:

Componente: ENE-WSW (E20N)
Masa: 425
Período propio: 10
Amortiguamiento: 4-5
Rozamiento:
Magnificación: 85-105
Tipo de registro: Banda de papel ahumado
Velocidad de registro: 10
Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.2537 - j 0.5748$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.2537 + j 0.5748$

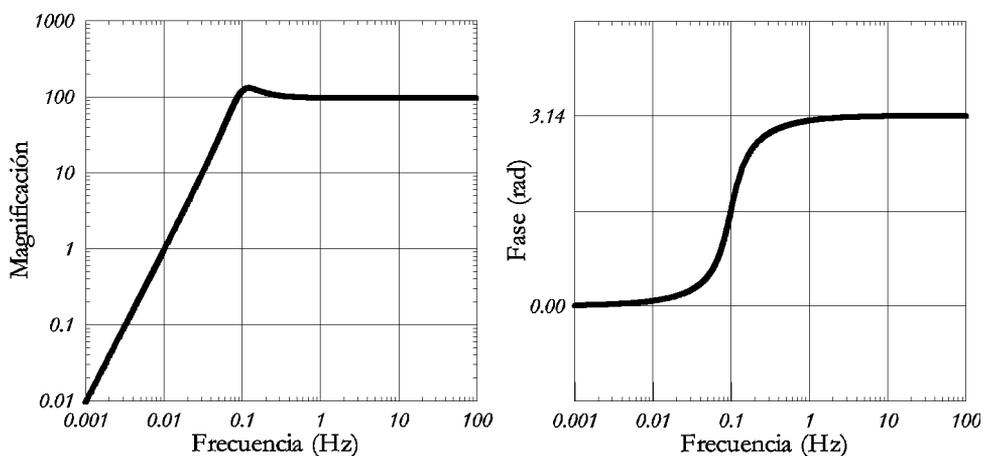
Estado actual: Desaparecido.**Comentarios:** Construido con las masas de los dos sismógrafos Stiattesi.**Referencias:** [SNa27], [Bat03].

Figura 2.3.19.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Cartuja bifilar de 425 kg con las constantes instrumentales $A_m = 95$, $T_0 = 10.0$ y $\varepsilon = 4.0$.



Figura 2.3.20.—Sismógrafo Cartuja bifilar de 425 kg de masa. A la derecha un hermano jesuita (creemos que Antonio Parra, artífice mecánico de algunos de los aparatos construidos y modificados en esos años). Fotografía conservada en el archivo del Observatorio del Ebro.

Instrumento: Cartuja bifilar (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1919-1960.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	340	340
Período propio:	12-15	12-15
Amortiguamiento:	4	4
Rozamiento:	0.004	0.004
Magnificación:	60	60
Tipo de registro:	Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro:	10 [Cha53]	10
Longitud de la plumilla:		

Respuesta en polos y ceros

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.1812 - j 0.4106$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.1812 + j 0.4106$

Estado actual: Desaparecidos.**Comentarios:** Construidos a partir de los elementos de los anteriores Cartuja bifilares NNW y NNE.

En 1934 fueron trasladados del Observatorio Astronómico al nuevo pabellón de sismógrafos.

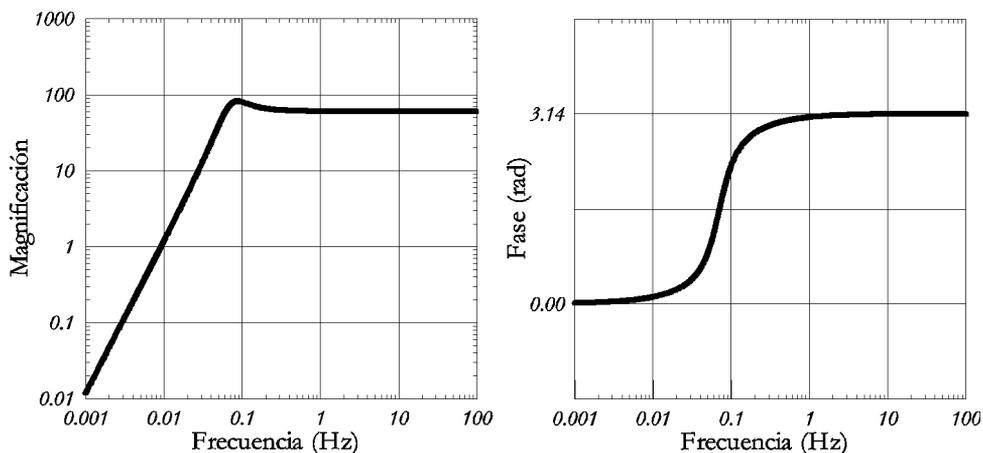
Referencias: [Cha53], [Ber32], [SNa21a], [Bat03].

Figura 2.3.21.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Cartuja bifilar de 340 kg con las constantes instrumentales $A_m = 60$, $T_0 = 14.0$ y $\varepsilon = 4.0$.

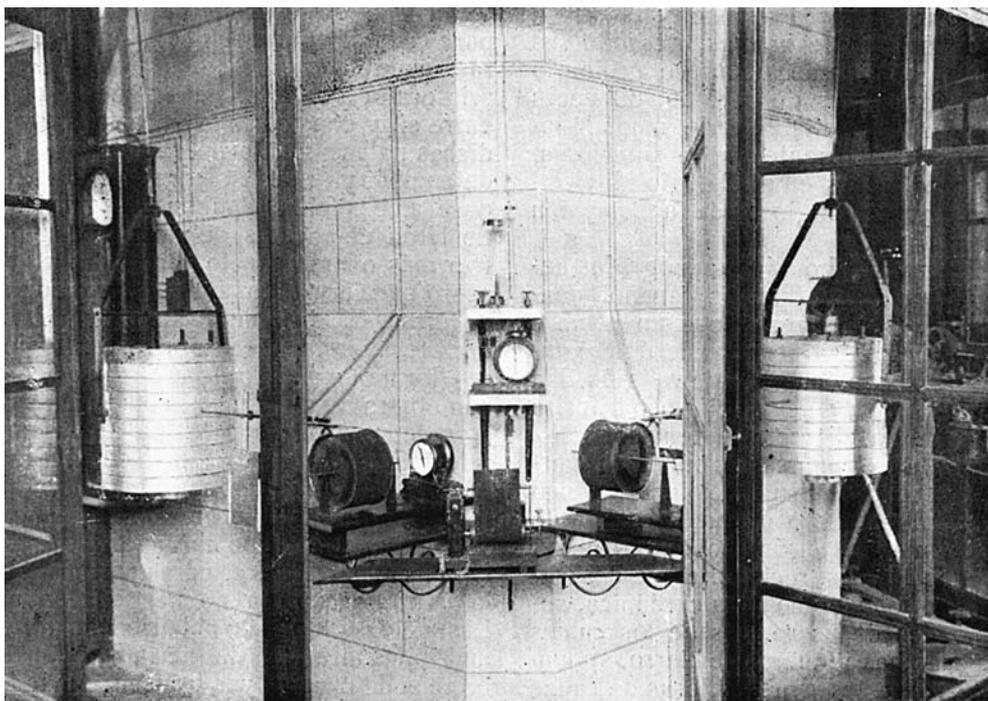


Figura 2.3.22.—Sismógrafos Cartuja bifilares de 340 kg de masa y el llamado Grupo Alhambra en el centro (*Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, XI, p. 95).

Instrumento: Grupo macrosísmico Alhambra

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1920?

Características:

Componente: (NE-SW)
Masa: 5
Período propio: 0.52
Amortiguamiento: (4)
Rozamiento:
Magnificación: 50
Tipo de registro: Banda de papel ahumado
Velocidad de registro: 300
Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.8332 - j 11.0743$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.8332 + j 11.0743$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Instrumento mal documentado. Estaba constituido, básicamente, por un tromómetro Cartuja «pequeño modelo» [*SNa16a*] construido en el mismo Observatorio y que funcionaba discrecionalmente accionado por un mecanismo de disparo mediante un sismoscopio.
 No queda claro que siempre funcionase con amortiguamiento.

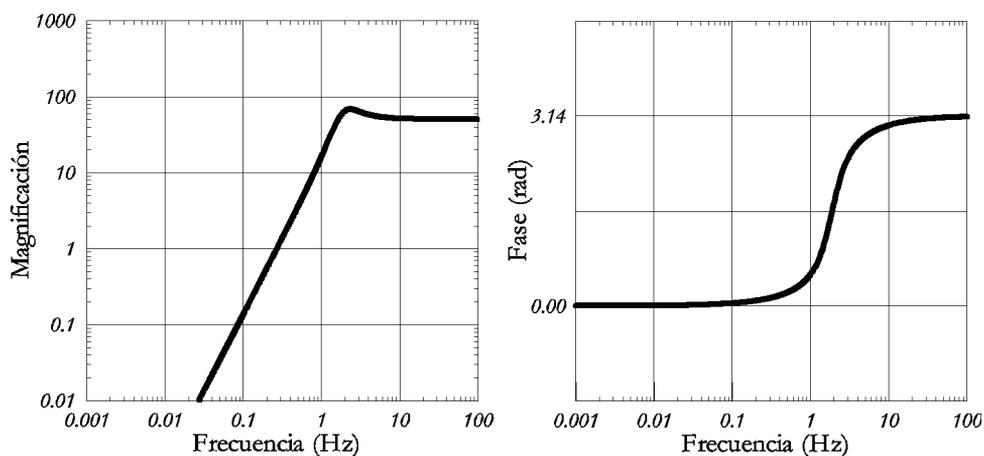
Referencias: [*SNa21a*], [*Bat03*].

Figura 2.3.23.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Alhambra con las constantes instrumentales $A_m = 50$, $T_0 = 0.52$ y $\varepsilon = 4.0$.

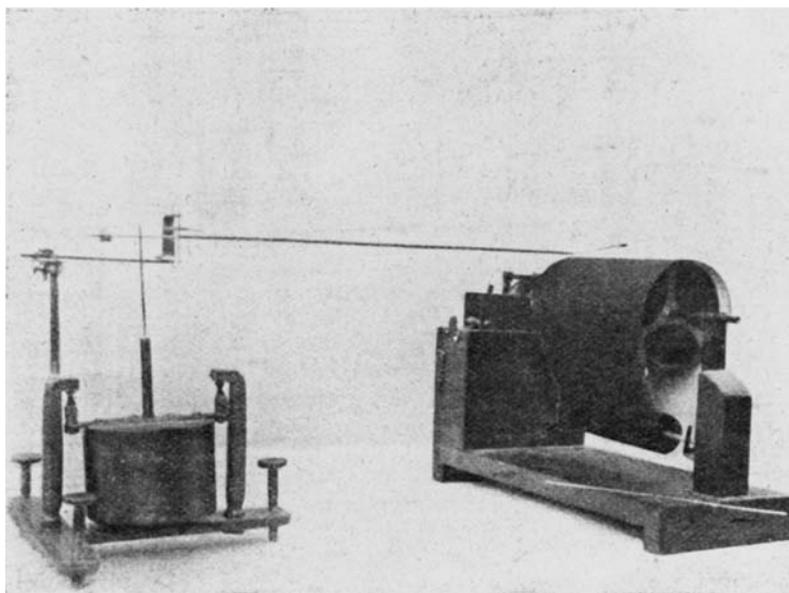


Figura 2.3.24.—Tromómetro Cartuja «pequeño modelo» (de [SNa16a]). Este instrumento, con su registrador, formaba el elemento principal de registro del llamado «grupo Alhambra», destinado a registrar los movimientos fuertes. Véase la figura 2.3.22.

Instrumento: Cartuja bifilar

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1910-1911.

Características:

Componente: NNW-SSE
 Masa: 46
 Período propio: 7
 Amortiguamiento: 6
 Rozamiento:
 Magnificación: 25
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro:
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.4447 - j 0.7797$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.4447 + j 1.7797$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Instrumento muy mal documentado. Sólo aparece en los *boletines* de la época.

Referencias: [Bar03].

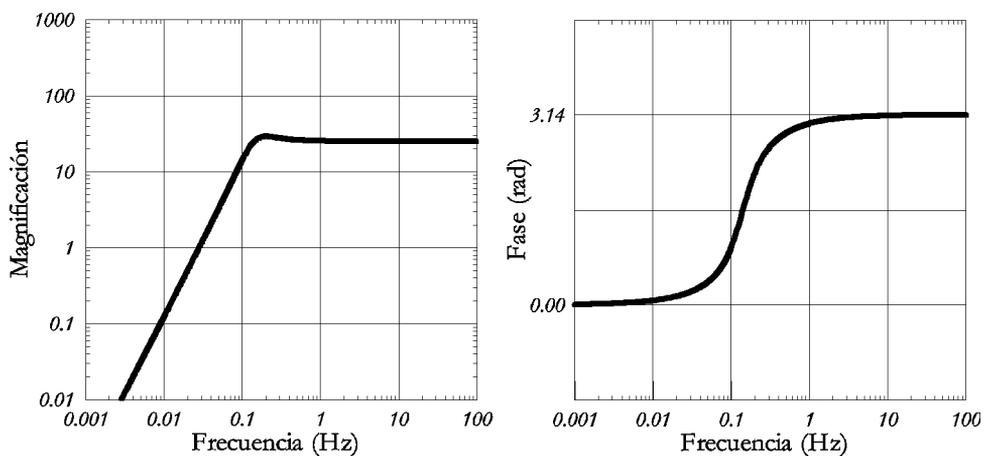


Figura 2.3.25.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Cartuja bifilar de 46 kg con las constantes instrumentales $A_m = 25$, $T_0 = 7.0$ y $\varepsilon = 6.0$.



Figura 2.3.26.—No disponemos de ninguna fotografía de este instrumento. En su lugar, mostramos el curioso aspecto que ofrecían los registros del microsismógrafo Vicentini-Pacher, aquí para terremotos del año 1903. Las dos componentes del movimiento horizontal se registraban con una única traza (del *Boletín Mensual del Observatorio de Granada*, 1904-enero).

Instrumento: Péndulo vertical Cartuja

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1909 Jul.-1924.

Características:

Componente: NNW-SSE
 Masa: 280
 Período propio: 2.0-2.2
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.08
 Magnificación: 500
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 2.8560$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 2.8560$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Construido a partir de elementos del Vicentini Cartuja.

En 1924 se desmontó para cambiar su orientación y construir una nueva versión a partir de sus elementos.

Estuvo instalado en el Colegio Noviciado.

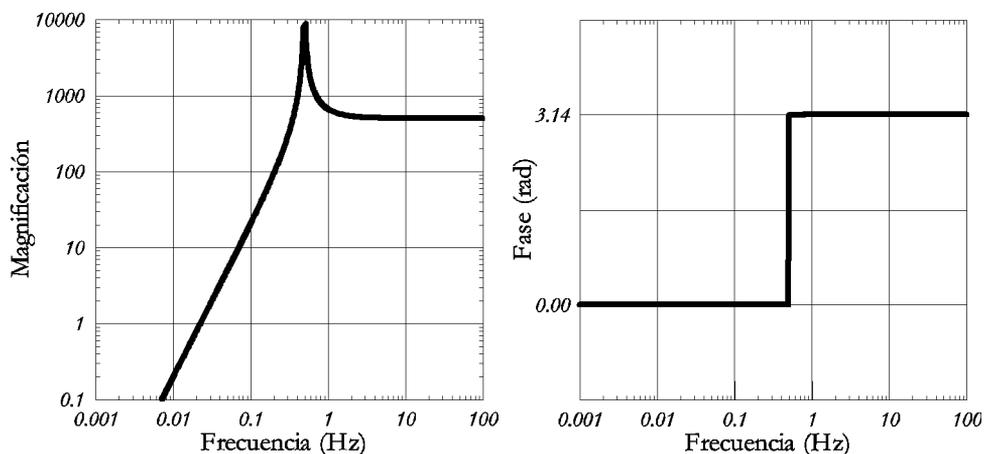
Referencias: [SNa27], [SNa21a], [Bat03].

Figura 2.3.27.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo vertical Cartuja de 280 kg con las constantes instrumentales $A_m = 500$, $T_0 = 2.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

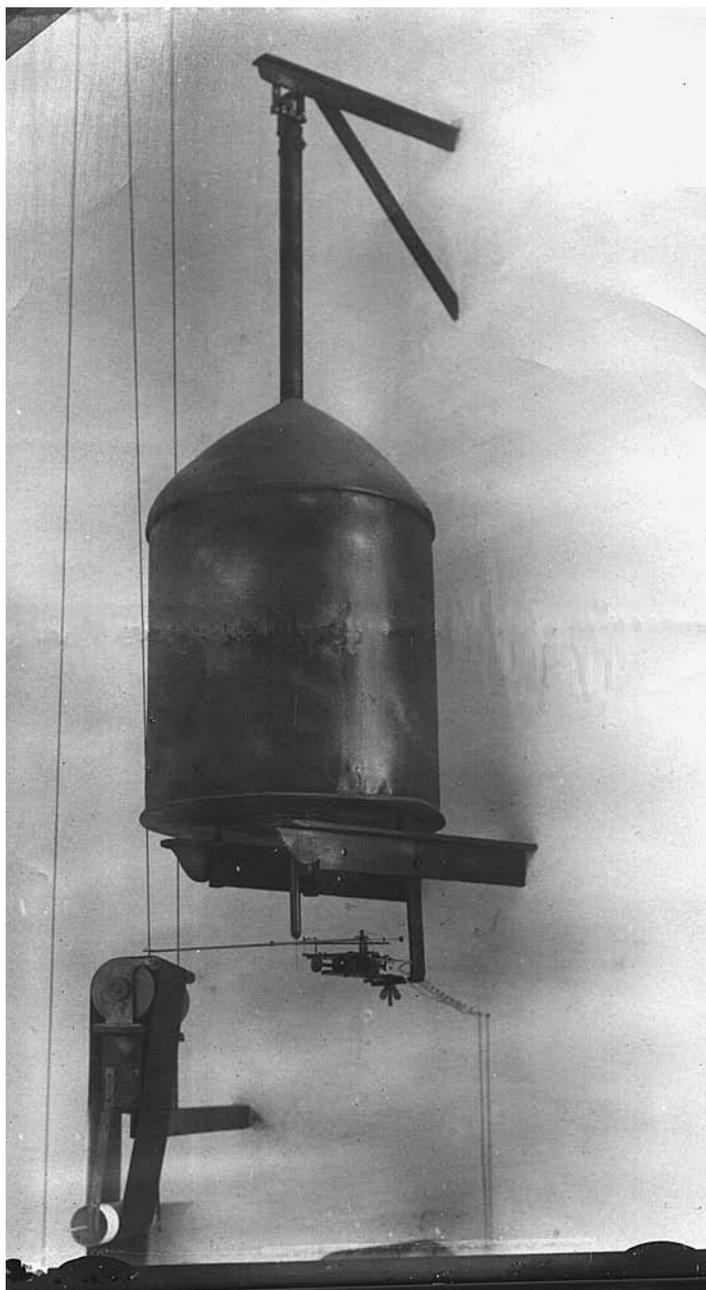


Figura 2.3.28.—Péndulo vertical Cartuja de 280 kg (fotografía conservada en el archivo del Observatorio del Ebro). Véase también la figura 2.3.30.

Instrumento: Péndulo vertical Cartuja

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).
 Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.
 Período de funcionamiento: 1924-1933 Sep.

Características:

Componente: N-S
 Masa: 280
 Período propio: 2.5
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.02
 Magnificación: 370
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: (15)
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 2.5133$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 2.5133$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Reforma (y reinstalación) del anterior péndulo vertical Cartuja de 280 kg. En 1934 fue objeto de una nueva reforma y reinstalación en el nuevo pabellón de sismógrafos.

Referencias: [Bar03].

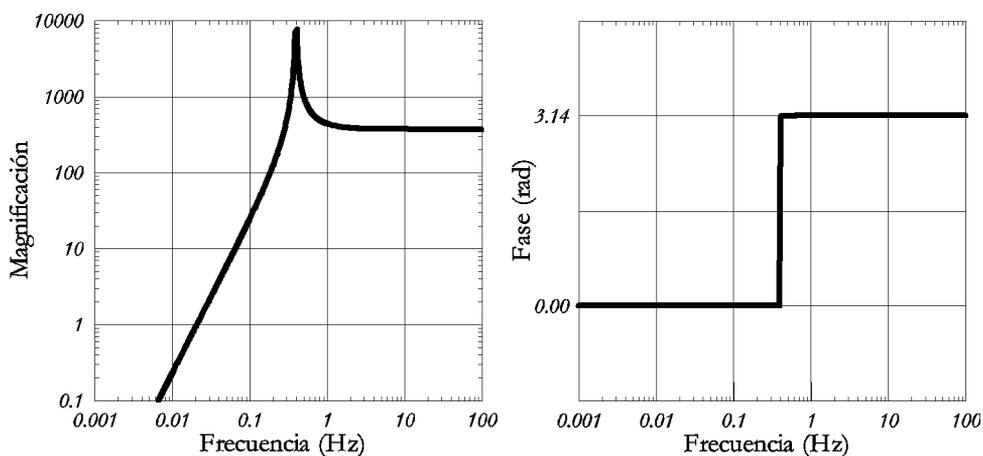
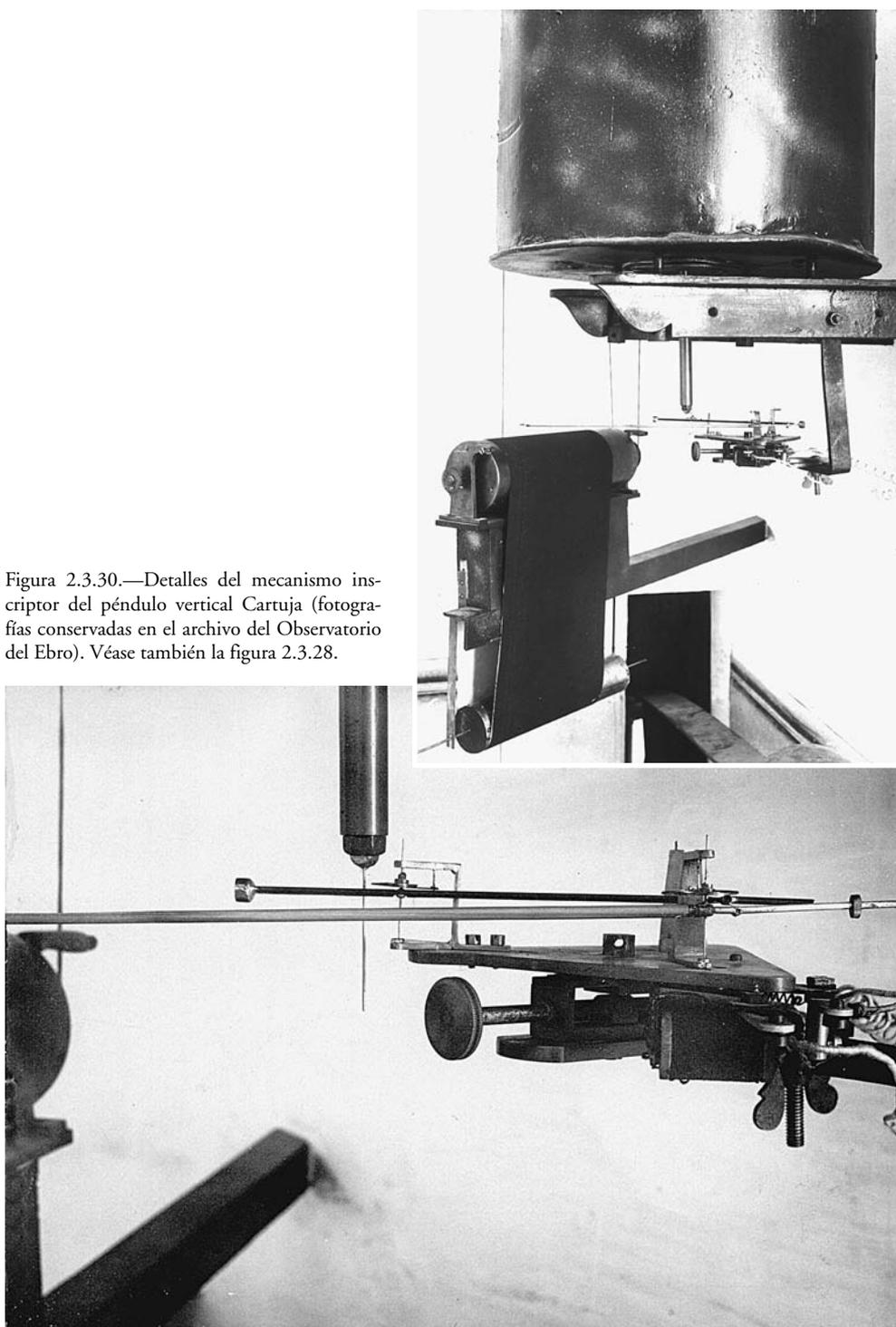


Figura 2.3.29.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo vertical Cartuja de 280 kg con las constantes instrumentales $A_m = 370$, $T_0 = 2.5$ y $\epsilon = 1.0$.

Figura 2.3.30.—Detalles del mecanismo inscriptor del péndulo vertical Cartuja (fotografías conservadas en el archivo del Observatorio del Ebro). Véase también la figura 2.3.28.



Instrumento: Péndulo vertical Cartuja

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1934 Ene.-1960.

Características:

Componente: E-W
 Masa: 370
 Período propio: 2.5
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.02
 Magnificación: 370 (150 en 1935)
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro:
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 2.5133$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 2.5133$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Modificación del anterior péndulo vertical (280 kg).

Referencias: [Bar03].

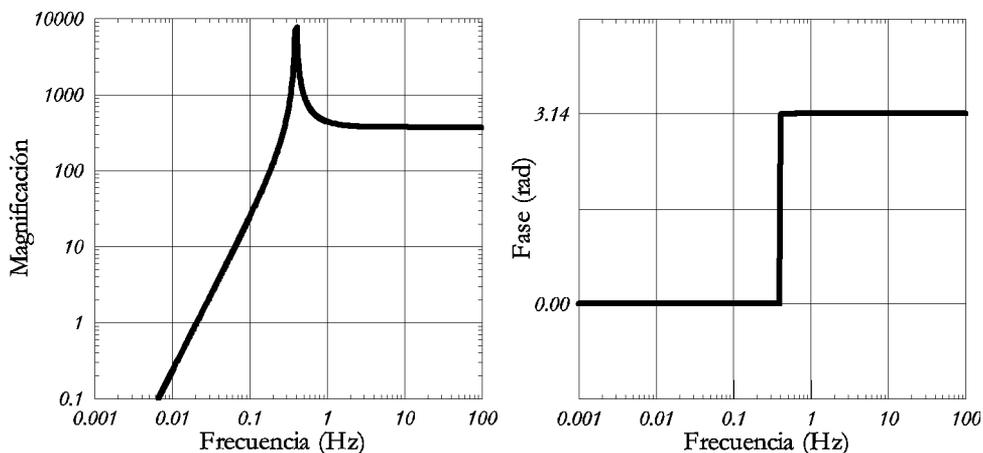


Figura 2.3.31.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo vertical Cartuja de 370 kg con las constantes instrumentales $A_m = 370$, $T_0 = 2.5$ y $\varepsilon = 1.0$.

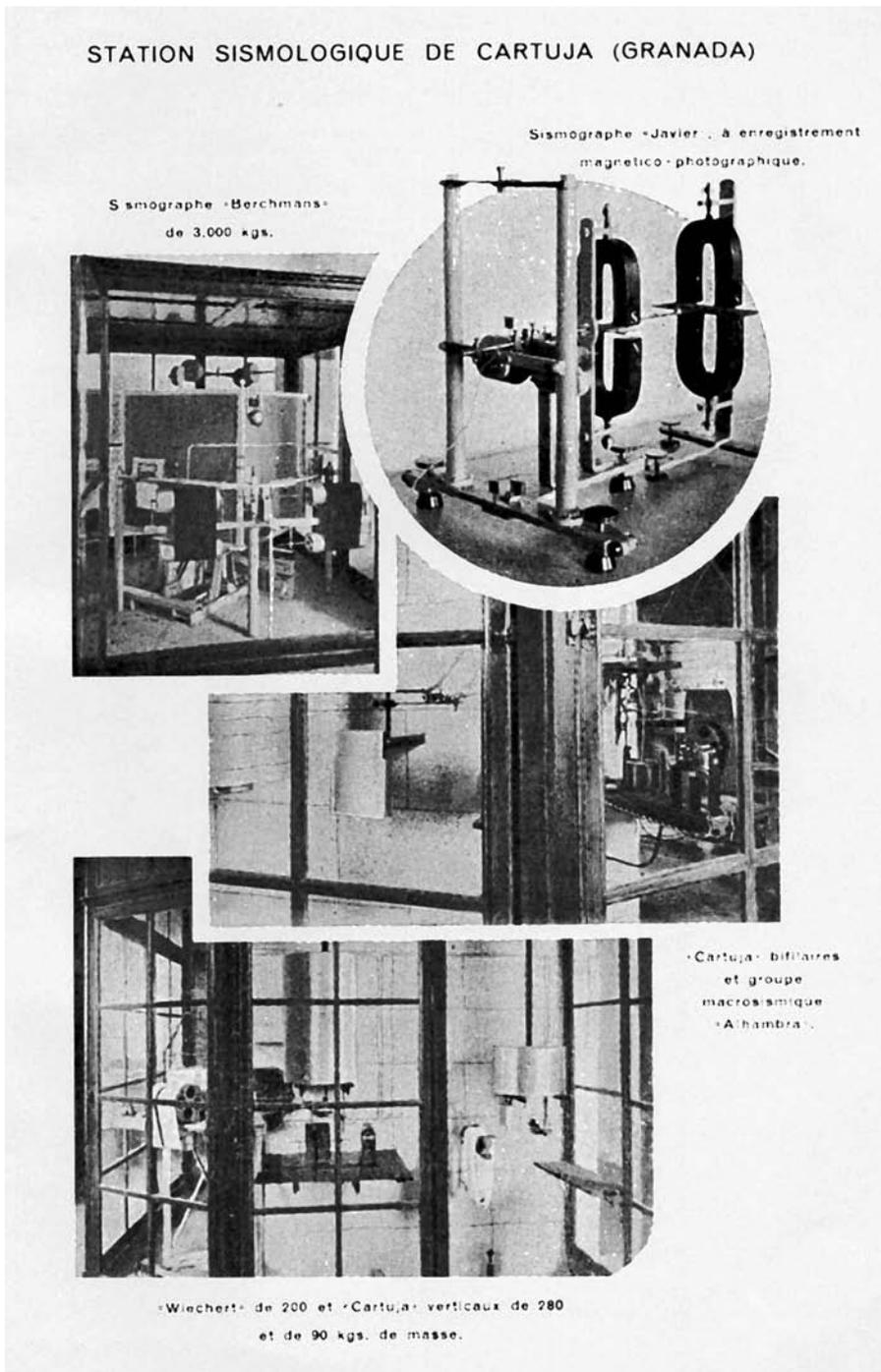


Figura 2.3.32.—Composición publicada en [Tor24] en donde pueden apreciarse diferentes instrumentos del Observatorio de Cartuja. En la fotografía inferior puede verse como estaban instalados los péndulos verticales de 280 kg y 87 kg.

Instrumento: Péndulo vertical Cartuja

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1911-1923.

Características:

Componente: ENE-WSW
Masa: 87
Período propio: 2.8
Amortiguamiento: –
Rozamiento:
Magnificación: 115
Tipo de registro: Tinta sobre banda de papel blanco
Velocidad de registro:
Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ **Polos:** 1. $0.0000 - j 2.2440$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 2.2440$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Versión reducida de los péndulos verticales anteriores construida para experimentar su sensibilidad con masas más pequeñas.
 Parece que también funcionó algún tiempo con registro en banda de papel ahumado.

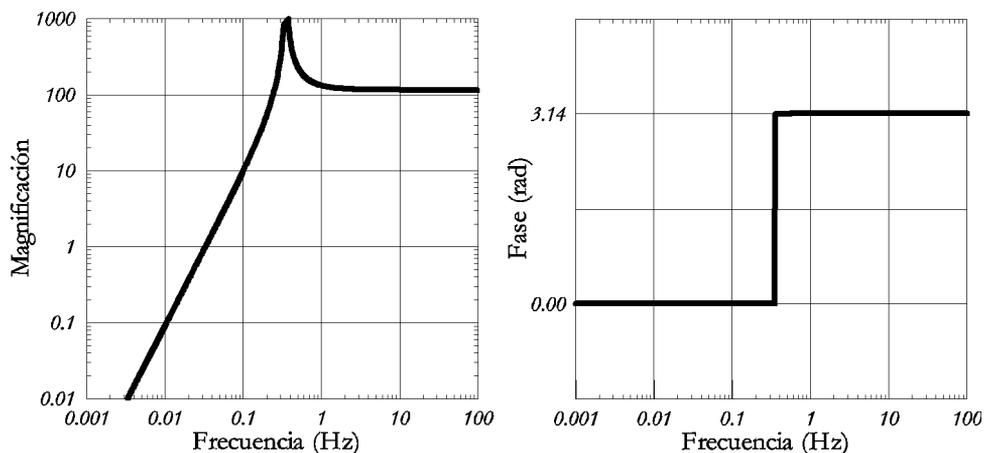
Referencias: [SNa12], [Bat03].

Figura 2.3.33.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo vertical Cartuja de 87 kg con las constantes instrumentales $A_m = 115$, $T_0 = 2.8$ y $\varepsilon = 1.0$.

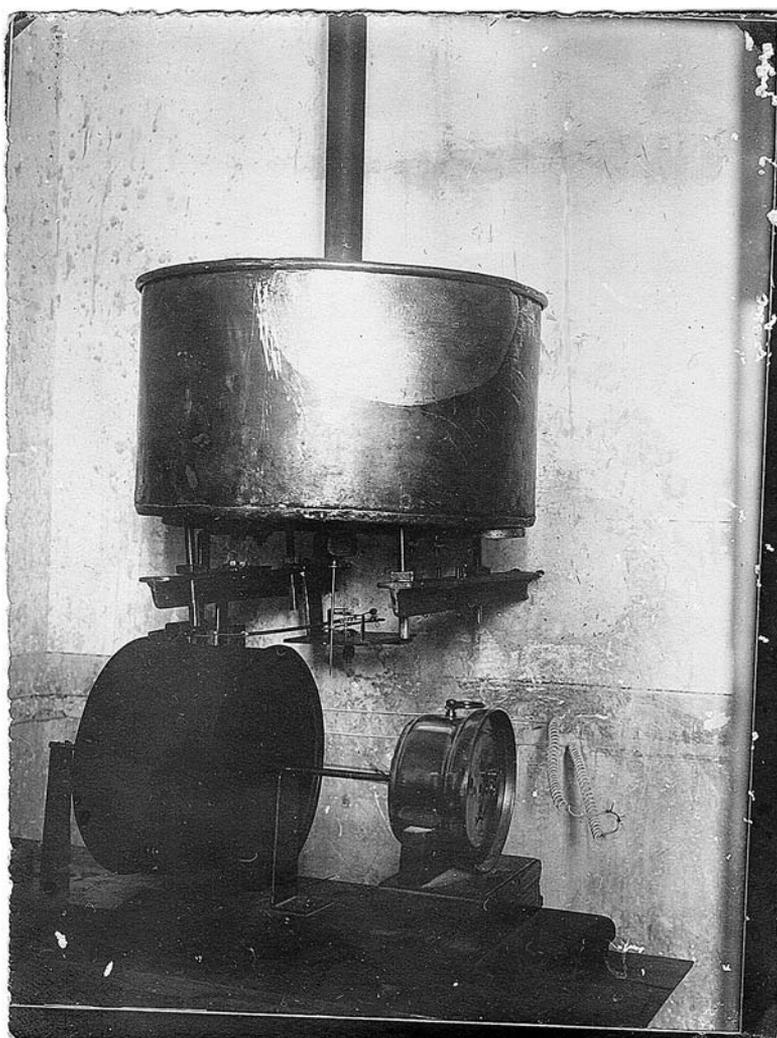


Figura 2.3.34.—Péndulo vertical Cartuja de 87 kg (fotografía conservada en la Subdirección General de Geodesia y Geofísica del IGN y publicada también en la *Revista de la Sociedad Astronómica de España y América*, II, p. 57). Véase también la figura 2.3.32.

Instrumento: Berchmans

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1920-1933 Sep.

Características:

Componente: N-S, E-W

Masa: 3060

Período propio: 5-6

Amortiguamiento: 4-5

Rozamiento: 0.03

Magnificación: 600-700

Tipo de registro: Banda de papel ahumado

Velocidad de registro: 15, 25[*SNa28a*]

Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$

2. $0.0000 + j 0.0000$

Polos: 1. $0.5730 - j 1.1184$

2. $0.5730 + j 1.1184$

Estado actual: Se conserva la caja del aparato en el jardín del mismo Observatorio.

Comentarios: Este instrumento fue reformado en 1933-34 y se cambió su instalación desde el Colegio Noviciado al nuevo pabellón de sismógrafos.

Referencias: [*SNa21a*], [*SNa22a*], [*SNa22b*], [*SNa27*], [*Ber32*], [*Bat03*].

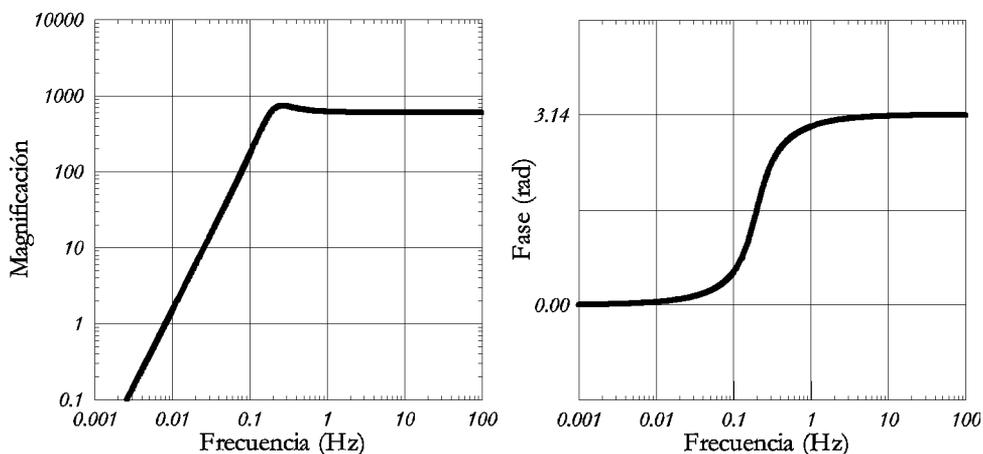


Figura 2.3.35.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Berchmans con las constantes instrumentales $A_m = 600$, $T_0 = 5.0$ y $\varepsilon = 5.0$.

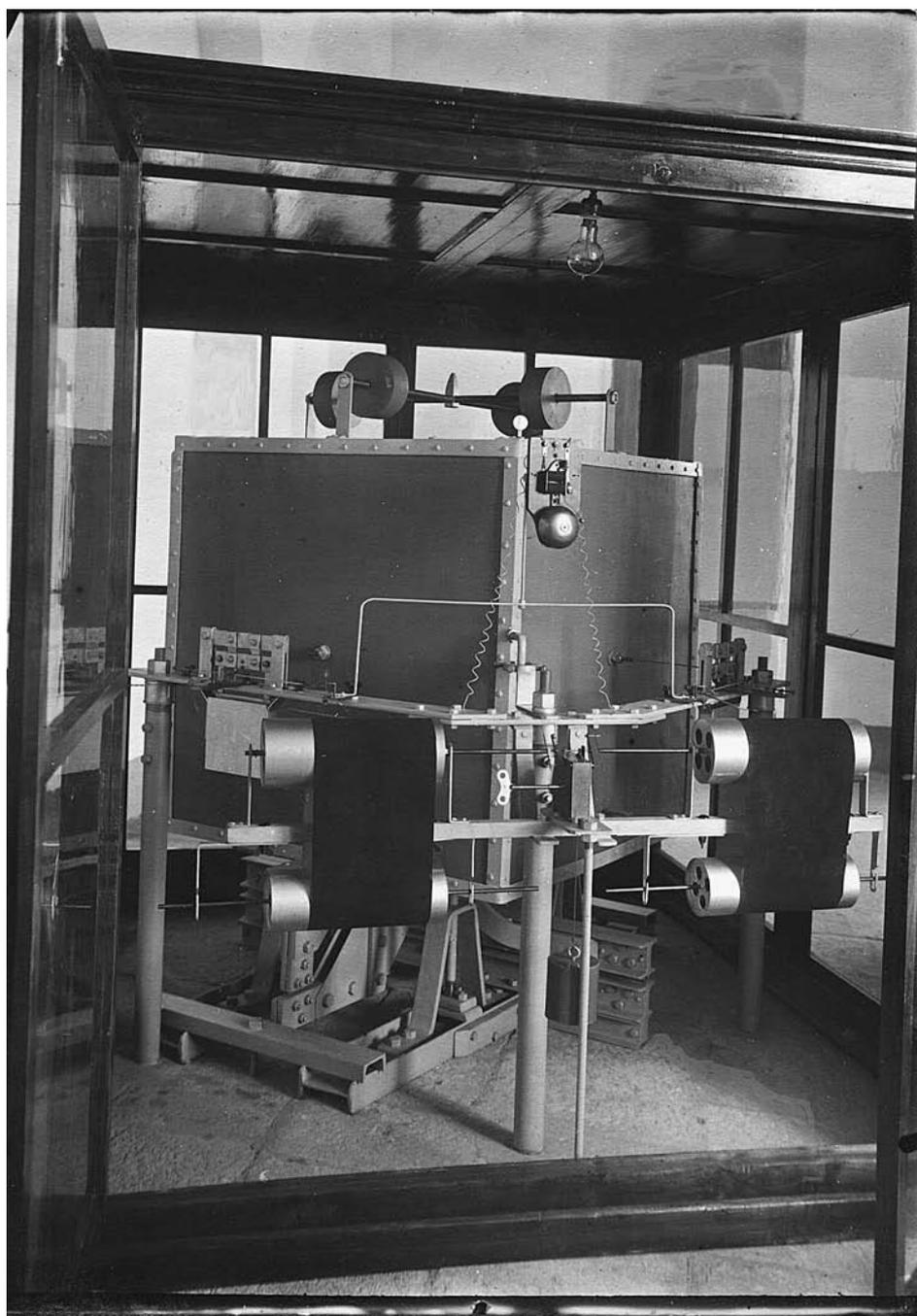


Figura 2.3.36.—Sismógrafo Berchmans del Observatorio de Cartuja. Se trata de un péndulo invertido al estilo de los sismógrafos Wiechert. El timbre de la parte superior de la caja actuaba de cronógrafo (fotografía conservada en el archivo del Observatorio del Ebro).

Instrumento: Berchmans

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1934 Ene.-1948.

Características:

Componente: N-S, E-W
 Masa: 4260
 Período propio: 6.2
 Amortiguamiento: 4-5
 Rozamiento: 0.04
 Magnificación: 700
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15, 30 (a partir de mediados de 1940 [Due40])
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.4621 - j 0.9019$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.4621 + j 0.9019$

Estado actual: Se utilizó para construir el sismógrafo Cartuja Máximo. Su caja se conserva en el jardín del mismo Observatorio.

Comentarios: Reforma del sismógrafo Berchmans anterior (1920-1933). Se encontraba instalado en el pabellón de sismógrafos.

Referencias: [Bar03].

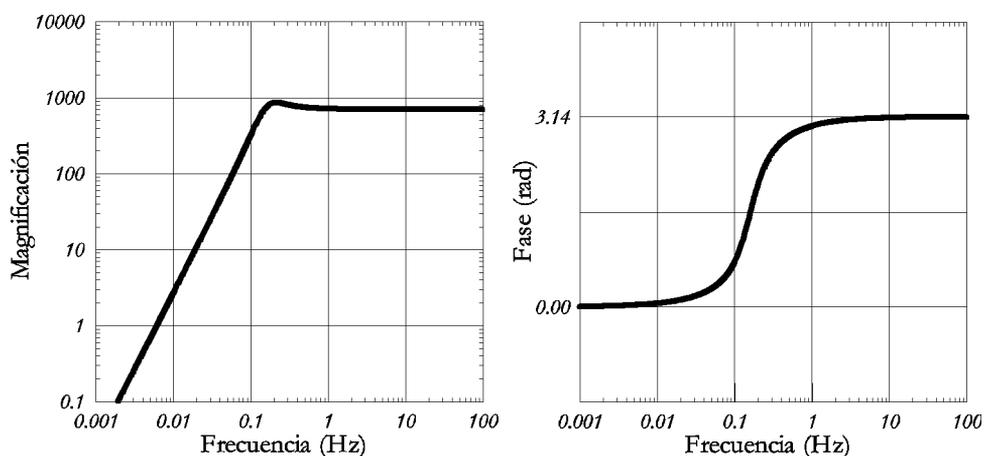


Figura 2.3.37.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Berchmans con las constantes instrumentales $A_m = 700$, $T_0 = 6.2$ y $\varepsilon = 5.0$.



Figura 2.3.38.—Otra imagen del sismógrafo Berchmans del Observatorio de Cartuja (fotografía conservada en el archivo del Observatorio del Ebro).

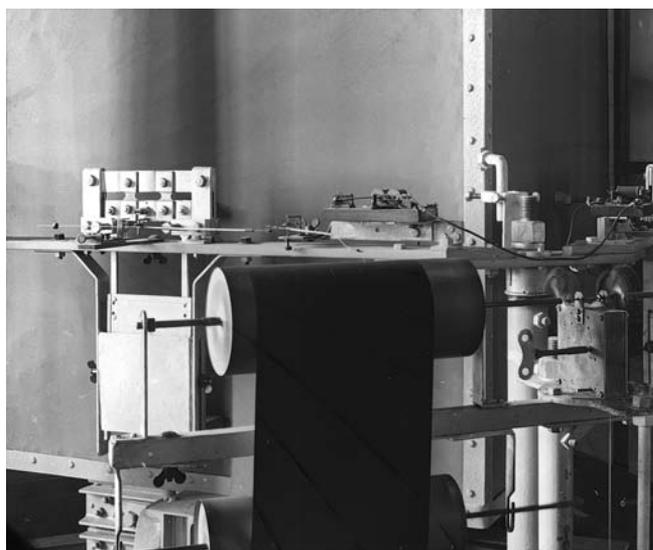


Figura 2.3.39.—Detalle del mecanismo inscriptor del sismógrafo Berchmans. Reconstrucción de una diapositiva conservada en el Observatorio de Cartuja.

Instrumento: Javier

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).
 Origen: Construido en los propios talleres del Observatorio.
 Período de funcionamiento: 1924 Ene.-1924 May.

Características:

Componente: ENE-WSW
 Masa: 7.5
 Período propio: 15
 Período galvanómetro: 19 [SNa24]
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: (700 o más)
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 10

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.4189 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.4189 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.3307 - j 0.0000$
		4.	$0.3307 + j 0.0000$

Estado actual: Desaparecido

Comentarios: Los primeros meses funcionó sin cronógrafo.

Referencias: [SNa24], [SNa27], [Ber32], [Bat03].

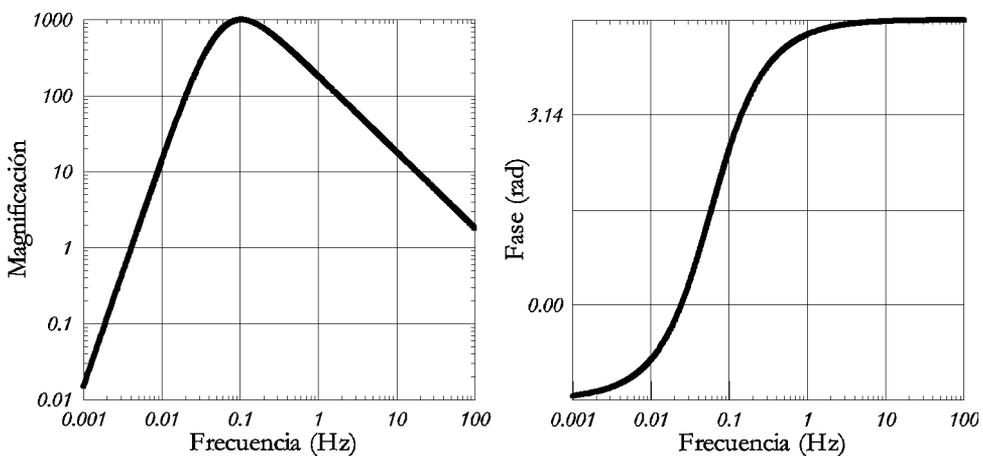


Figura 2.3.40.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Javier vertical con las constantes instrumentales $A_m = 700$, $T_j = 15.0$ y $T_g = 19.0$.

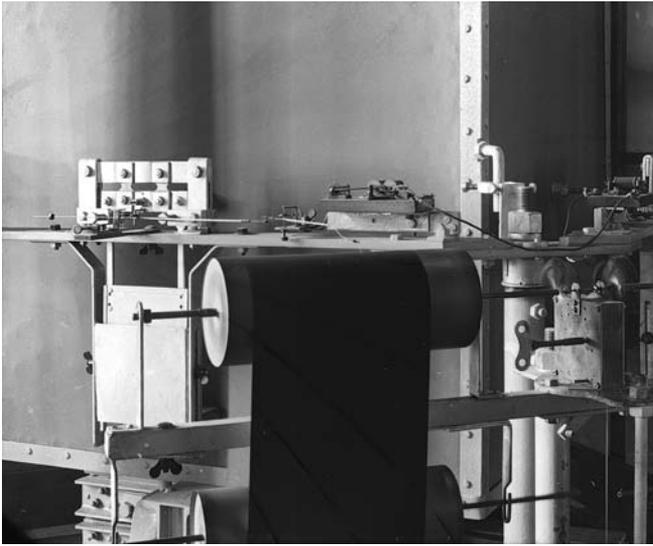


Figura 2.3.41.—Sismómetro Javier. Nótese su suspensión tipo Zöllner. Fotografía publicada en *Ibérica*, volumen XXI, p. 391 (1924).

Instrumento: Javier

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en los propios talleres del Observatorio.

Período de funcionamiento: 1924 Jun.-1928.

Características:

Componente: E-W
 Masa: 7.5
 Período propio: 15, 19 (sólo 1928 Jun.)
 Período galvanómetro: 19 [SNa24]
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: Entre 700 y 1500
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 10

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.4189 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.4189 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.3307 - j 0.0000$
		4.	$0.3307 + j 0.0000$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Reinstalación del sismógrafo Javier.

Referencias: [SNa24], [SNa27], [Ber32], [Bat03].

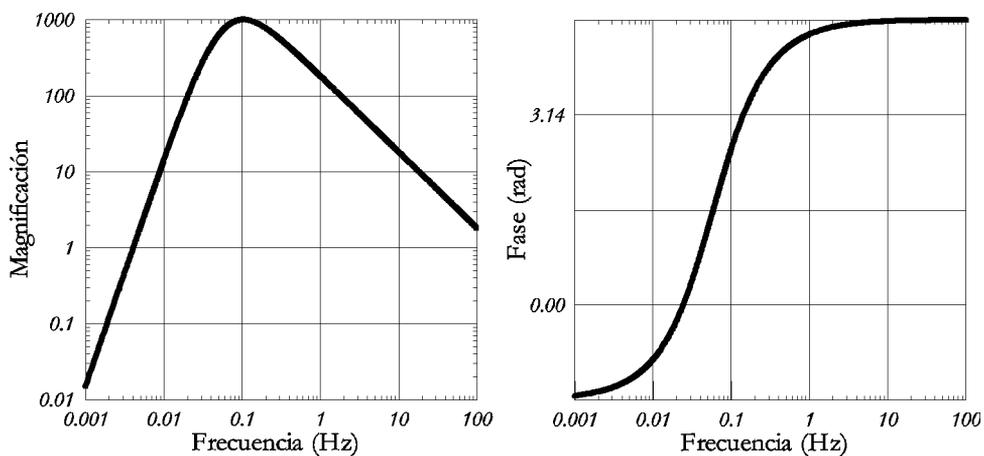


Figura 2.3.42.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Javier vertical con las constantes instrumentales $A_m = 700$, $T_j = 15.0$ y $T_g = 19.0$.

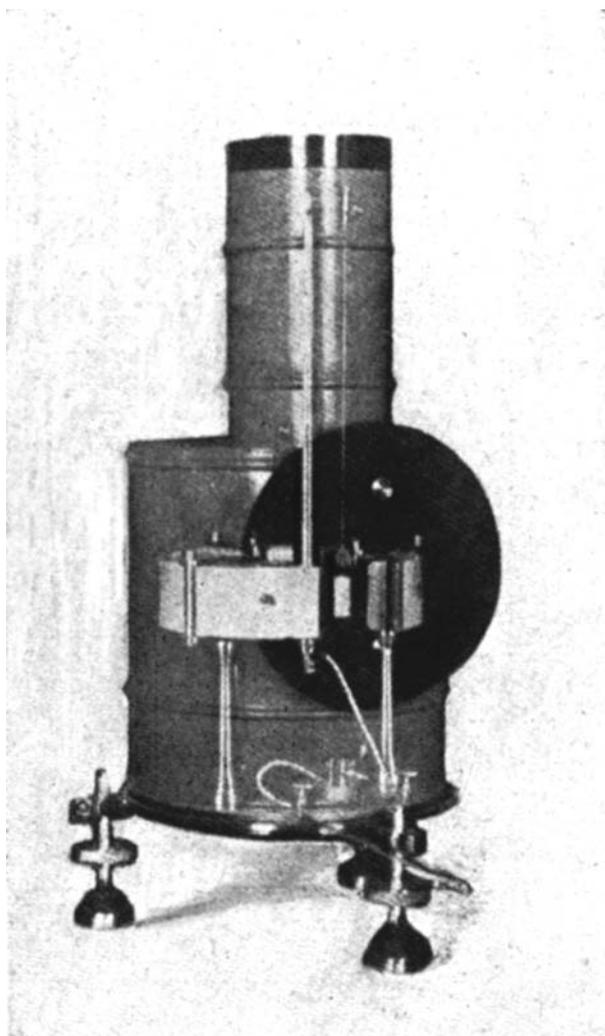


Figura 2.3.43.—Galvanómetro del sismógrafo Javier. Como el resto del instrumento, también se construyó en el Observatorio de Cartuja. El disco negro y demás elementos situados en el frente del instrumento constituían el cronógrafo. Conectados a un sistema horario eléctrico, interrumpían el haz de luz incidente en el galvanómetro para, mediante estas interrupciones, registrar las marcas horarias en el sismógrafo (de *Ibérica*, XXIX, p. 91).

Instrumento: Belarmino

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en los propios talleres del Observatorio.

Período de funcionamiento: 1924 Oct.-1960.

Características:

Componente: Z
 Masa: 3,5
 Período propio: 7 (1924), 12 (1925-1928 Jun.), 6 (desde 1928 Jul.)
 Período galvanómetro: 18-20 [SNa33]; 2 (desde 1943)
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: 700; (1000 [CNG64])
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 10
 Longitud de la plumilla: -

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$1.0470 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$1.0470 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$1.0470 - j 0.0000$
		4.	$1.0470 + j 0.0000$

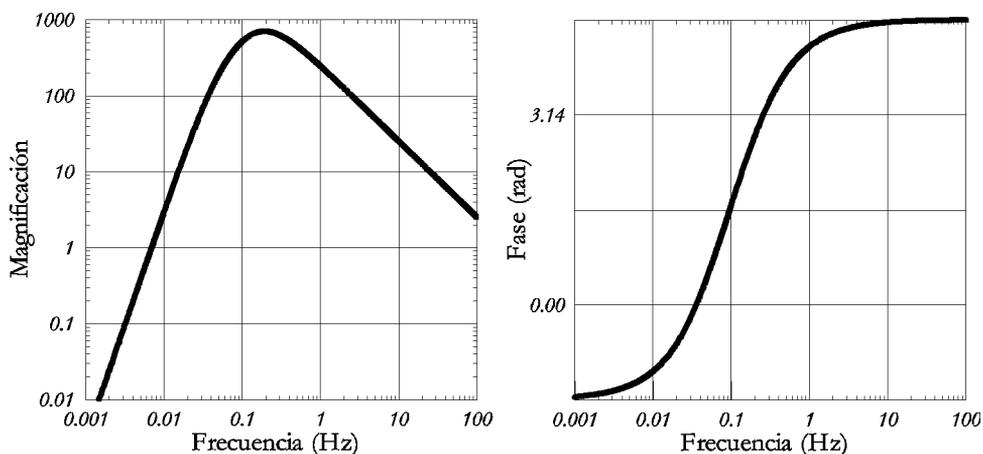
Estado actual: Desaparecido.**Comentarios:** Se construyó un segundo sismómetro Belarmino, presentado en la Exposición Iberoamericana de Sevilla [SNa29].**Referencias:** [Cha53], [SNa25], [SNa27], [Ber32], [Bat03].

Figura 2.3.44.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Belarmino vertical con las constantes instrumentales $A_m = 700$ y $T_s = T_g = 6.0$.

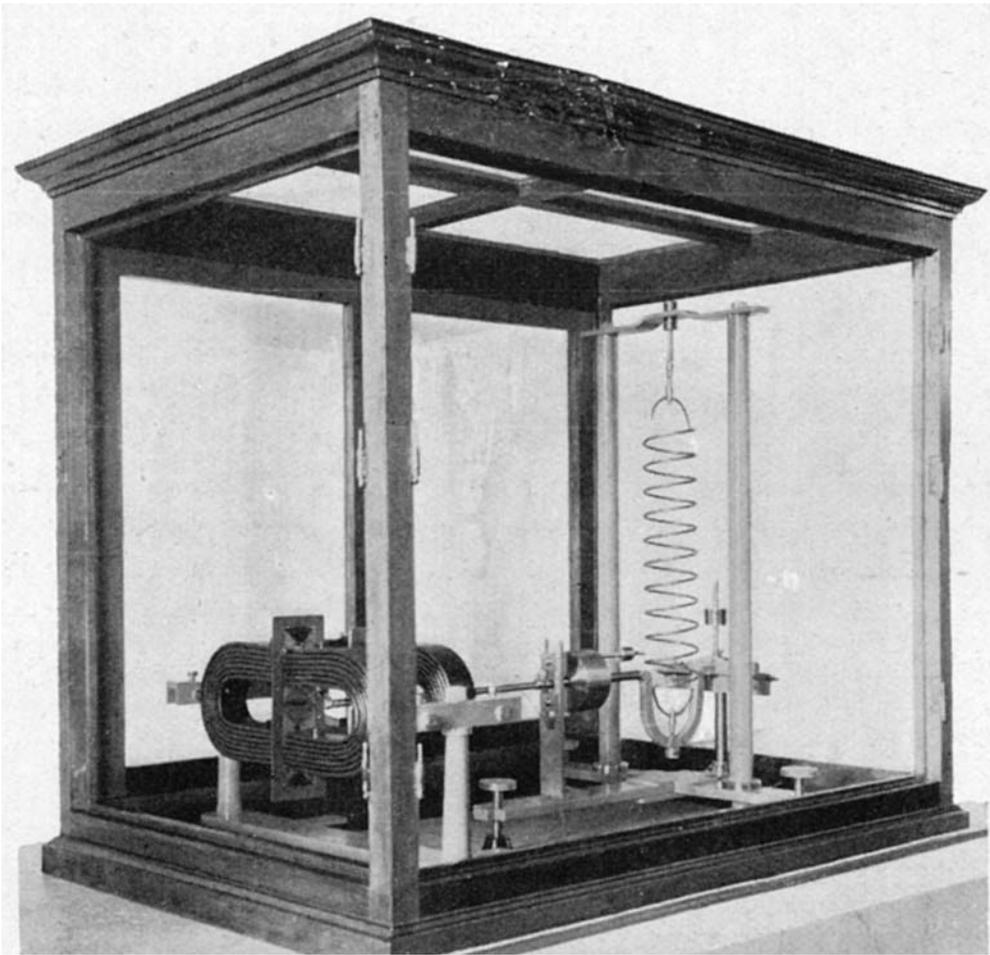


Figura 2.3.45.—Sismómetro Belarmino (de *Ibérica*, 1925, XXIII, p. 220).

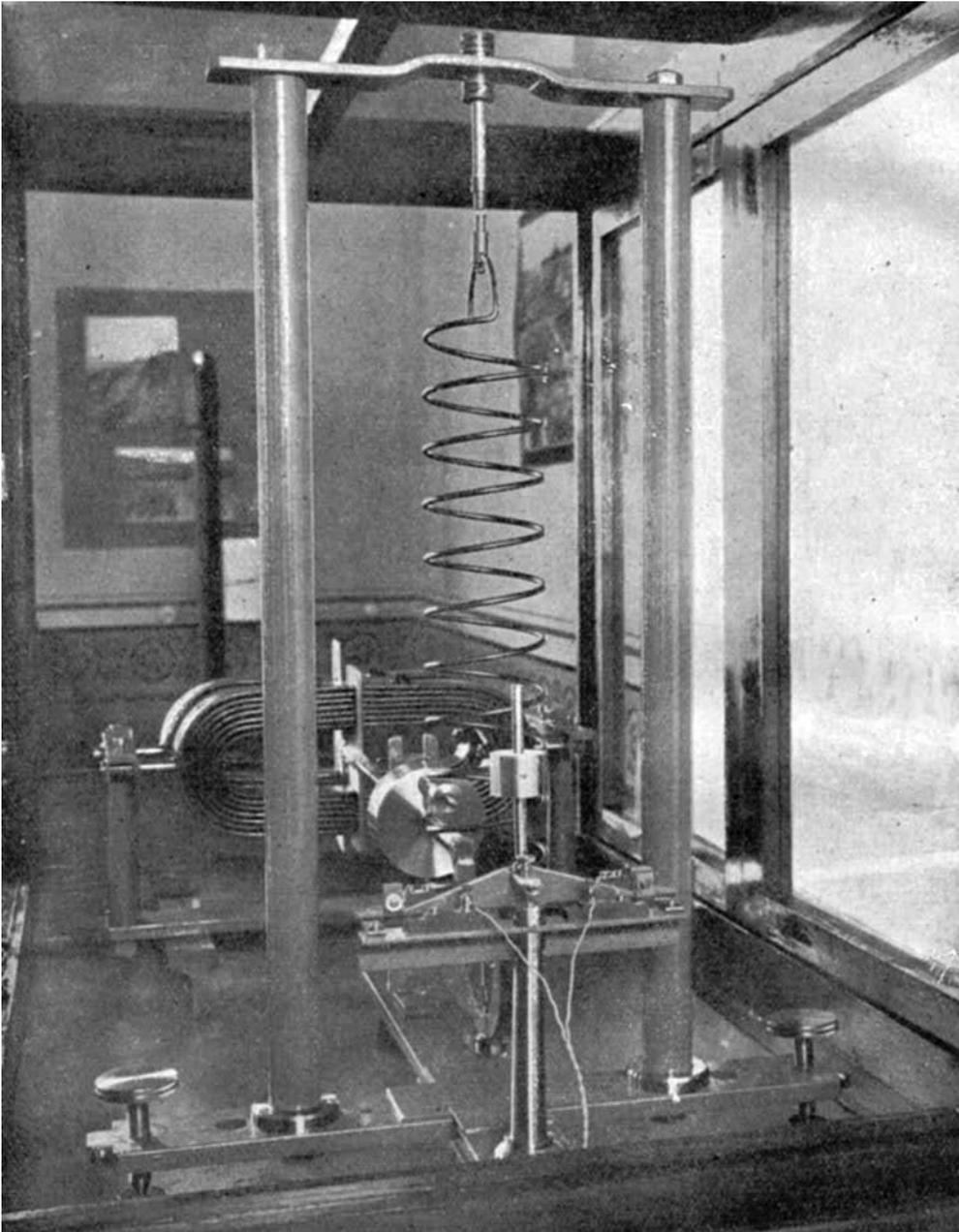


Figura 2.3.46.—Sismómetro Belarmino. Vista de lado (de *Ibérica*, 1925, *XXIII*).

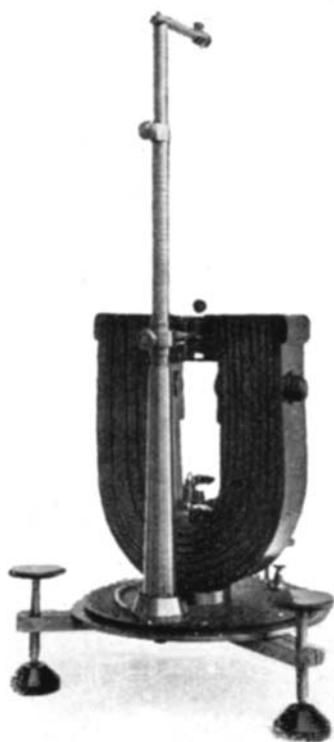


Figura 2.3.47.—Galvanómetro del sismógrafo Belarmino (de *Ibérica*, 1925, *XXIII*, pág. 221).

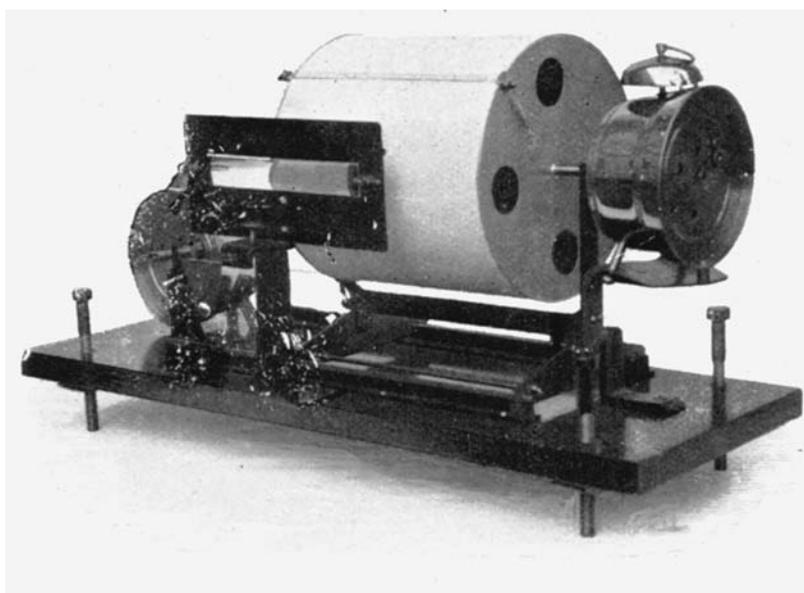


Figura 2.3.48.—Tambor inscriptor del sismógrafo Belarmino (de *Ibérica*, 1925, *XXIII*, pág. 221).

Instrumento: Canisio (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construidos en los propios talleres del Observatorio.

Período de funcionamiento: 1929 Ene.-1960 (E-W); 1931-1960 (N-S).

Características:

Componente:	E-W	N-S
Masa:	1.5	1.5
Período propio:	18 (1929-1931 Ago.), 12	12
Período galvanómetro:	12 [SNa33]; 2 (desde 1943)	12; 2 (desde 1943)
Amortiguamiento:	∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación:	500 [CNG64]	500
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	10	10
Longitud de la plumilla:	–	

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.5236 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.5236 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.5236 - j 0.0000$
		4.	$0.5236 + j 0.0000$

Estado actual: Desaparecidos.

Comentarios: En 1934 fueron reinstalados en el nuevo pabellón de sismógrafos.

Referencias: [Cha53], [Bat03].

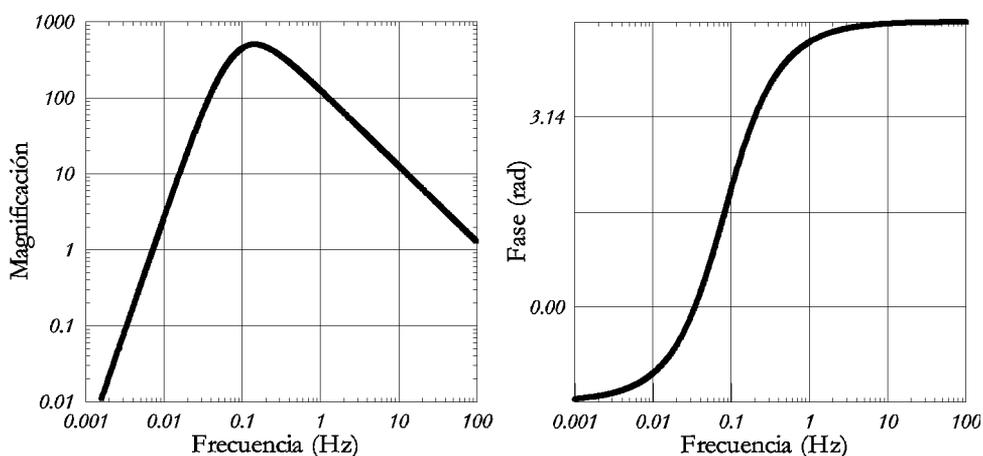


Figura 2.3.49.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Canisio con las constantes instrumentales $A_m = 500$ y $T_s = T_g = 12.0$.



Figura 2.3.50.—Sismómetro Canisio. Parece que esta es la única fotografía conservada de este instrumento (fotografía conservada en el archivo del Observatorio del Ebro).

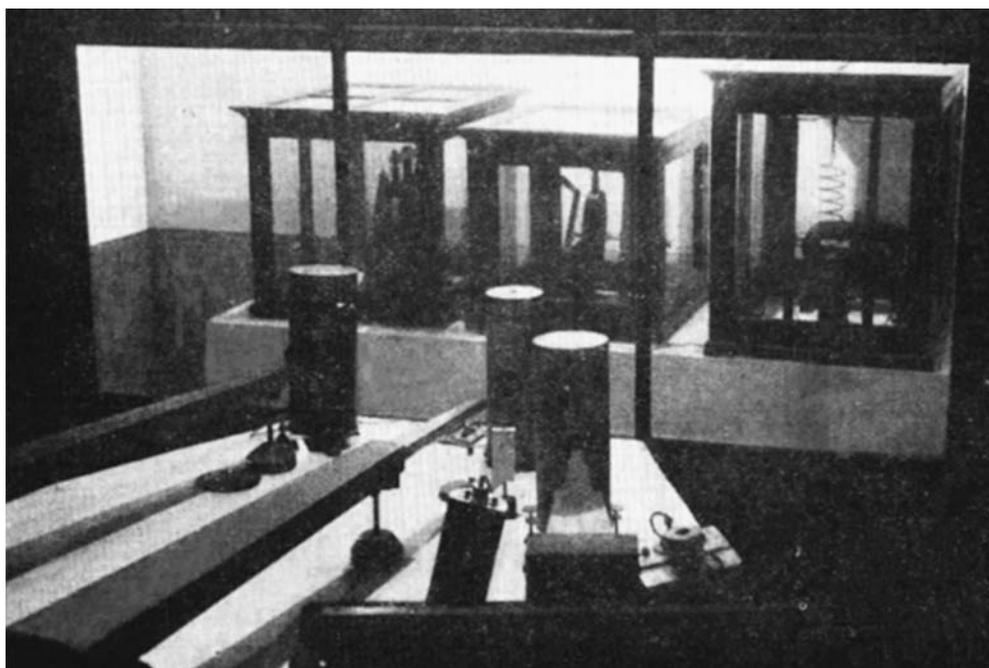


Figura 2.3.51.—Instalación del grupo de sismógrafos electromagnéticos del Observatorio de Cartuja formado por el vertical Belarmino (derecha) y dos Canisio horizontales (de *Urania*, vol. 38, p. 75).

Instrumento: Cartuja máximo

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).
 Origen: Construido en los propios talleres del Observatorio.
 Período de funcionamiento: 1949-1960.

Características:

Componente: E-W
 Masa: 4500
 Período propio: 10
 Amortiguamiento: 7.5 [Cha53]
 Rozamiento: 0.0001 [Due49a]
 Magnificación: 700
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 10 [Cha53]
 Longitud de la plumilla: –

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.3392 - j 0.5289$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.3392 + j 0.5289$

Estado actual: Se encuentra en exposición en el jardín del Observatorio (no se halla en condiciones de funcionamiento).

Comentarios: Construido a partir de la caja y otros elementos del Berchmans.

Referencias: [Cha53], [Due49a], [Bat03].

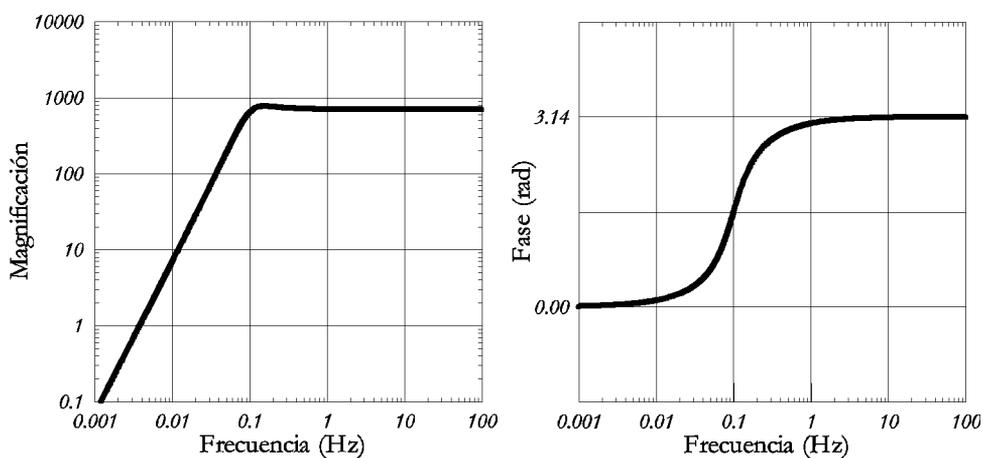


Figura 2.3.52.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Cartuja máximo con las constantes instrumentales $A_m = 700$, $T_0 = 10.0$ y $\varepsilon = 7.5$.

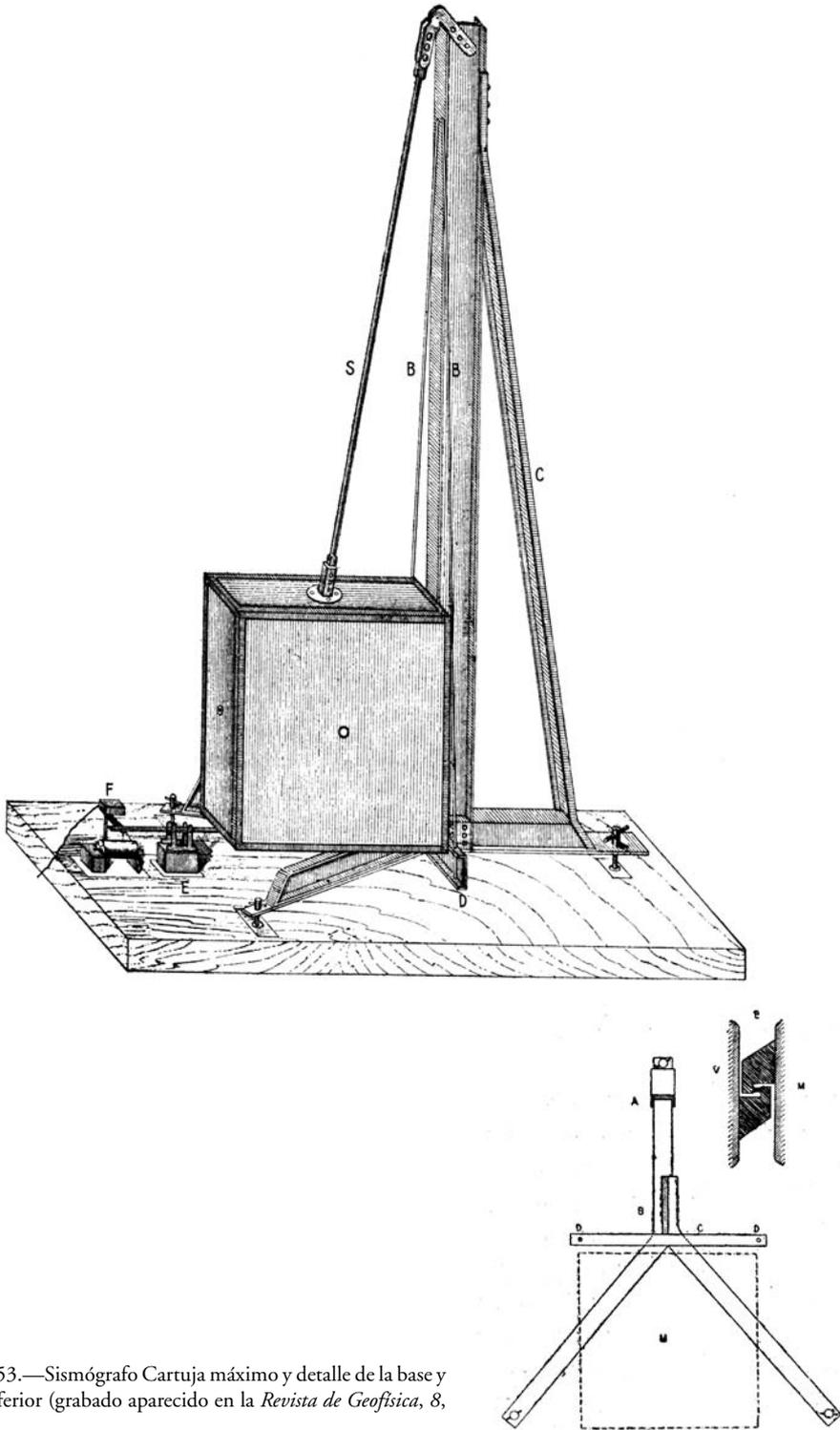


Figura 2.3.53.—Sismógrafo Cartuja máximo y detalle de la base y sujeción inferior (grabado aparecido en la *Revista de Geofísica*, 8, p. 472).

Instrumento: Macrosismógrafo Cartuja

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Construido en los propios talleres del Observatorio.

Período de funcionamiento: 1949-.

Características:

Componente:
 Masa: 15
 Período propio: 10
 Amortiguamiento:
 Rozamiento:
 Magnificación: 20
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 60
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $(0.3393 - j 0.5328)$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $(0.3393 + j 0.5328)$

Estado actual: Desaparecido.**Comentarios:** Este aparato no era de registro continuo. Funcionaba por disparo.

Este sismógrafo estaba amortiguado, aunque este dato no nos es conocido.

Su respuesta en polos y ceros no es fiable por no disponerse de los datos necesarios para su cálculo.

Se supone que registraba la misma componente que el péndulo vertical Cartuja (E-W) puesto que estaba conectado a él.

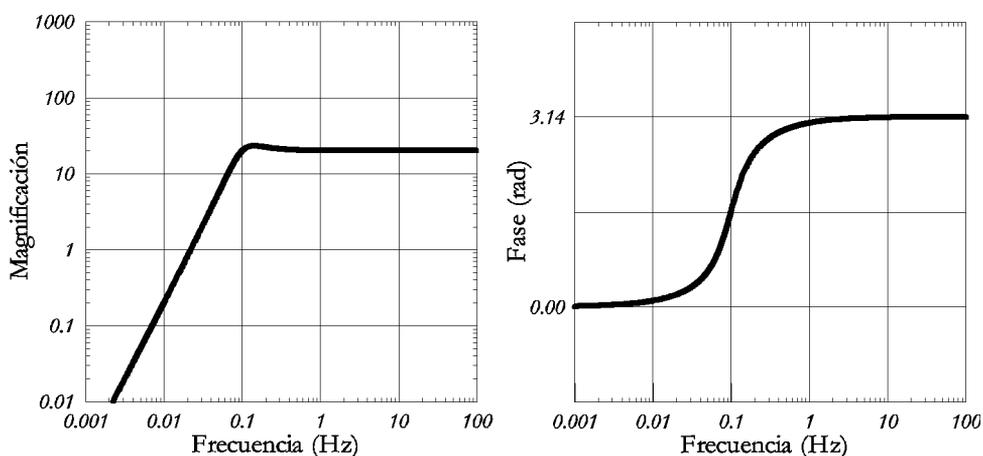
Referencias: [Due49b], [Bat03].

Figura 2.3.54.—Curva aproximada de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el macrosismógrafo Cartuja con las constantes instrumentales $A_m = 20$, $T_0 = 10.0$ y valor supuesto de $\varepsilon = 7.5$.

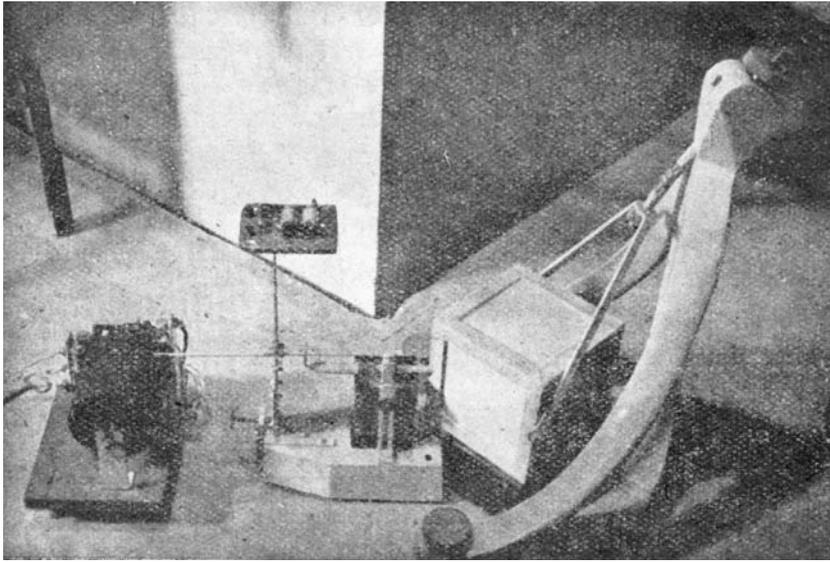


Figura 2.3.55.—Macrosismógrafo Cartuja (de [Due49b]). La calidad de la fotografía es muy baja; pero no disponemos de otra fotografía del instrumento.

Instrumento: Hiller-Stuttgart vertical

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Proveniente del Observatorio de Málaga.

Período de funcionamiento: 1966 Nov.-1985.

Características:

Componente: Z
 Masa: ~0.5
 Período propio: 1.5
 Período galvanómetro: 1.5
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: 8500
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.1888 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.1888 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.1888 - j 0.0000$
		4.	$4.1888 + j 0.0000$

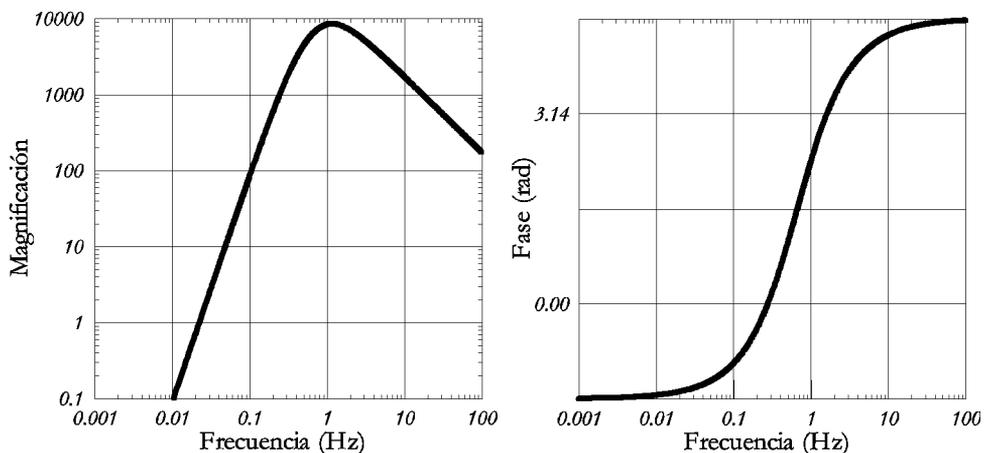
Estado actual: Se conserva en el mismo Observatorio.**Comentarios:** El número de serie del sismómetro es el 551166.**Referencias:** [Ask55], [Bat03].

Figura 2.3.56.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart vertical con las constantes instrumentales $A_m = 8500$, $T_s = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

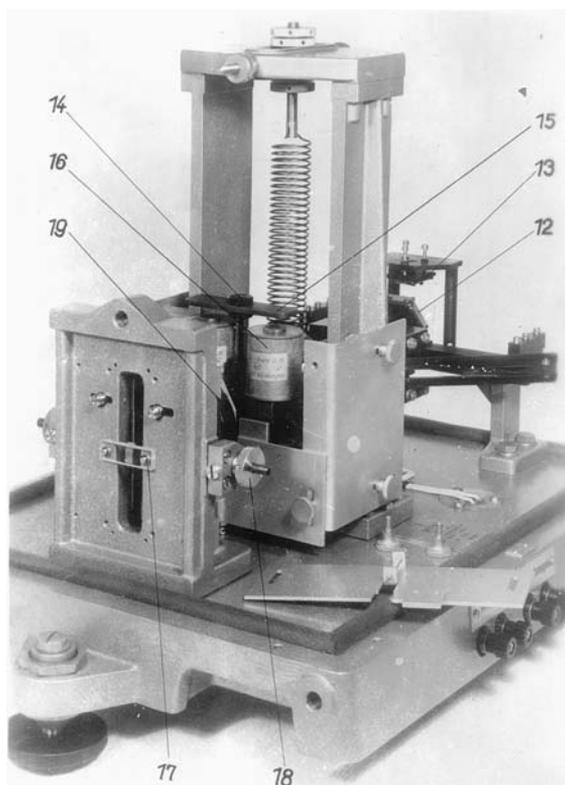


Figura 2.3.57.—Sismómetro Hiller-Stuttgart vertical, como el que disponía el Observatorio de Cartuja. Puede apreciarse la disposición del muelle y de las bobinas de registro (fotografía del fabricante conservada en el Observatorio de Cartuja).

Instrumento: Hiller-Stuttgart horizontal (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio de Cartuja (Granada).

Origen: Proveniente del Observatorio de Málaga.

Período de funcionamiento: 1966 Nov.-1985.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	~0.5	~0.5
Período propio:	1.5	1.5
Período galvanómetro:	1.5	1.5
Amortiguamiento:	∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación:	7200	6400
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	60	60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.1889 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.1889 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.1889 - j 0.0000$
		4.	$4.1889 + j 0.0000$

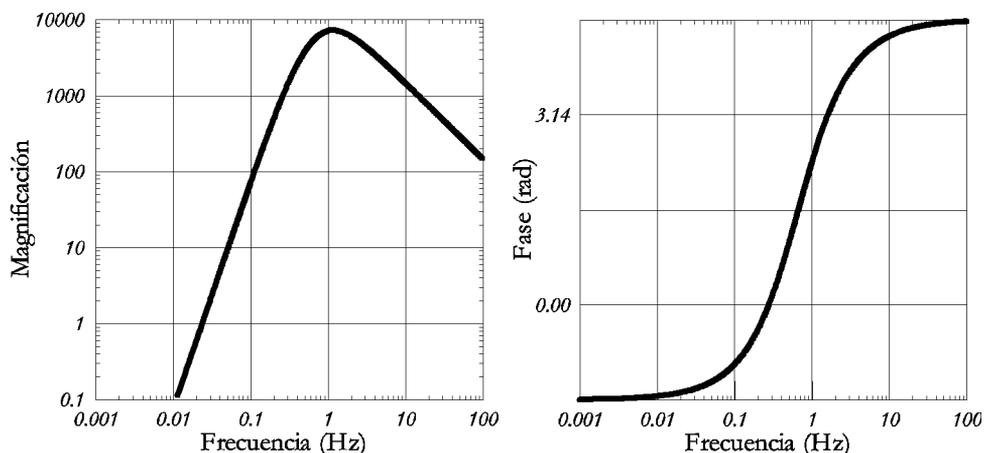
Estado actual: Se conservan en el mismo Observatorio.**Comentarios:** El número de serie de los sismómetros son el 551177 (N-S) y el 551178 (E-W).**Referencias:** [Ask55], [Bat03].

Figura 2.3.58.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 7200$, $T_s = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

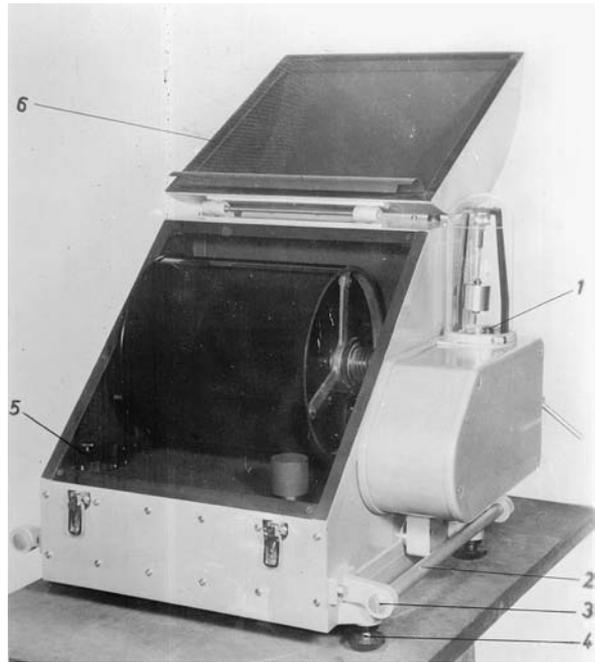
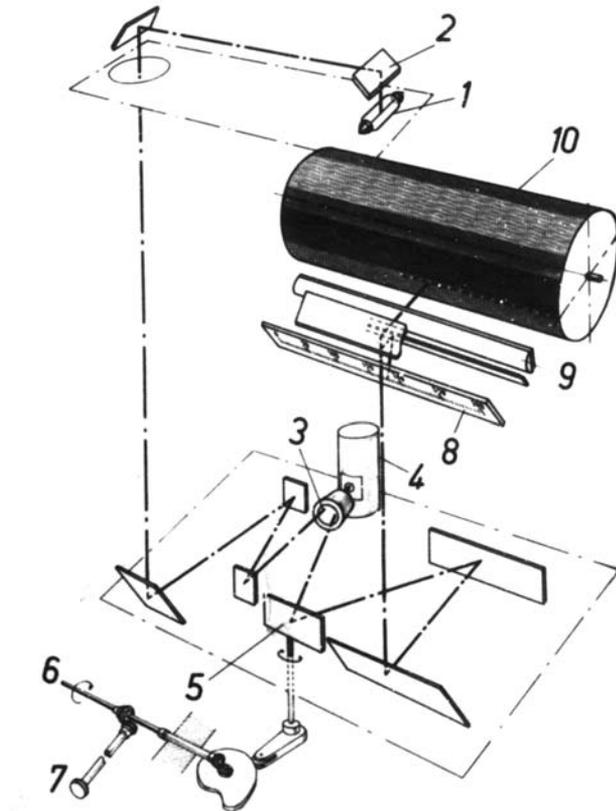


Figura 2.3.59.—Tambor de registro Askania, para el registro fotográfico, como los que se suministraban con los sismómetros Hiller-Stuttgart. Puede apreciarse la complicada trayectoria del rayo de luz (fotografía del fabricante conservada en el Observatorio de Cartuja).



2.4. *Observatorio Sismológico del Ebro*

El Observatorio Sismológico del Ebro se encuentra situado a unos 600 m al oeste del núcleo antiguo de la ciudad de Roquetes, provincia de Tarragona, sobre la vertiente y la parte superior de una de las primeras colinas que dominan el valle del Ebro en esta zona. Al pie de la misma colina se halla el edificio correspondiente al Colegio Máximo que la Compañía de Jesús tenía en este lugar.

Desde su fundación, el objetivo principal del Observatorio Sismológico del Ebro era el estudio de la relación existente entre la actividad solar y los fenómenos eléctricos y magnéticos terrestres. Sin embargo, dispuso desde el primer momento (1904) de una sección sísmica. Breves resúmenes de la historia del observatorio pueden encontrarse en [Bat95] y [Car83].

El pabellón sísmico se encuentra aproximadamente a media altura de la vertiente de la colina, inmediatamente al norte del edificio principal de oficinas y servicios del Observatorio y edificado sobre terrenos de origen aluvial que reposan sobre sedimentos cretácicos. El primer edificio era rectangular, de gruesas paredes, orientado su lado mayor en dirección N-S, con ventanas y puertas dobles. La planta se encuentra parcialmente excavada en la roca y disponía, en su parte oeste, de una pequeña dependencia adosada, destinada a las manipulaciones anejas al servicio de los aparatos (véase la figura 2.4.2).

Después de la guerra civil este edificio fue ampliado. Para sostener las masas de los aparatos, hasta entonces suspendidos de las paredes, se construyó una sólida columna cimentada a siete metros de profundidad. Se añadió al edificio un laboratorio fotográfico y un despacho. También se construyó, en su lado oeste, una cava subterránea, situada también a unos siete metros de profundidad, para albergar en un futuro aparatos de registro fotográfico.

Referimos al lector interesado en más información sobre la evolución del Observatorio Sismológico del Ebro y su sección sísmica a otras publicaciones existentes [Pui27], [Bat93], [Bat00] y también el trabajo más general de [Udi03].



Figura 2.4.1.—Pabellón sísmico del Observatorio del Ebro, vista desde el Este (arriba) y desde el Oeste (abajo), fotografías de J. Batlló.

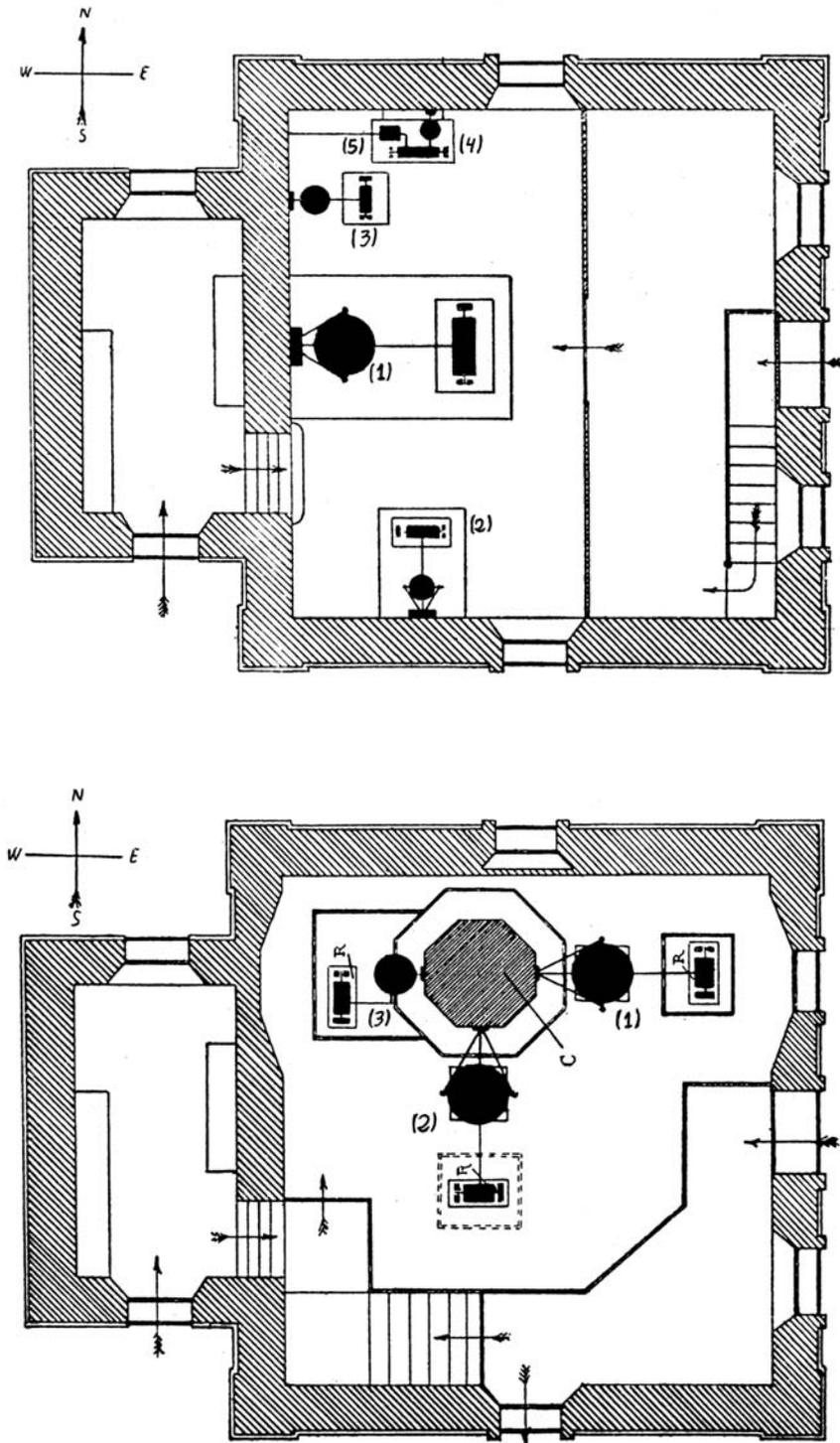


Figura 2.4.2.—Plano (extraído del *boletín del Observatorio del Ebro*) mostrando la instalación de los sismógrafos en el pabellón sísmico a partir de 1918 (arriba) y de 1945 (abajo).

Instrumento: Grablovitz (dos péndulos independientes)

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1904-1918.

Características:

Componente: NE-SW	NW-SE
Masa: 12 kg	12
Período propio: 13.0 s	13.0
Amortiguamiento: –	–
Rozamiento:	
Magnificación: 8	8
Tipo de registro: Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro: 5 mm/min.	5
Longitud de la plumilla: 800 mm [Gra96]	800

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.0000 + j 0.4833$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $0.0000 + j 0.4833$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Los dos péndulos independientes se hallaban suspendidos de los mismos soportes y registraban ambas componentes en una única banda.
Véase un ejemplo de su registro en la figura 2.4.8.

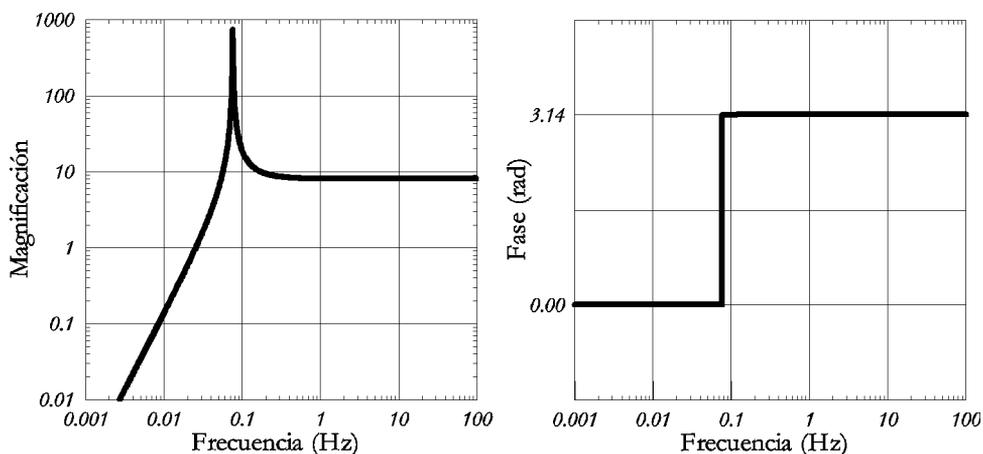
Referencias: [Sus97], [Bat00].

Figura 2.4.3.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para los sismógrafos Grablovitz con las constantes $A_m = 8$, $T_0 = 13$, y $\varepsilon = 1.0$.



Figura 2.4.4.—Sismógrafos Grablowitz (derecha) y Mainka E-W (izquierda). Circa 1915 (fotografía conservada en el archivo del Observatorio del Ebro).

Instrumento: Vicentini vertical

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1904-1936 Jul.

Características:

Componente: Z
 Masa: 50
 Período propio: 0.85
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.008 [Rey32b]
 Magnificación: 150
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15-16, 12 (desde 1916 Jun.)
 Longitud de la plumilla: (135)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 7.3920$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 7.3920$

Estado actual: Quedan algunas piezas del mecanismo de las plumillas.**Comentarios:** Se modificó su mecanismo inscriptor en 1916 Jun.

Véase un ejemplo de su registro en la figura 2.4.8.

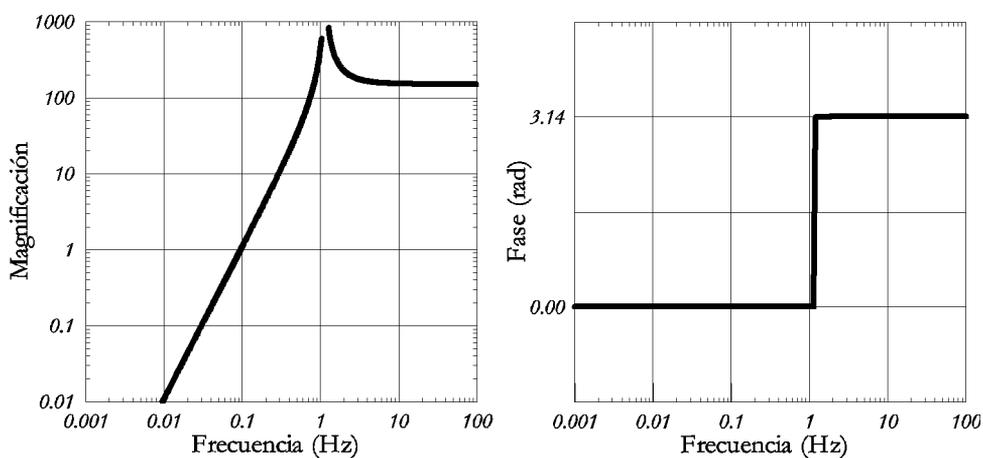
Referencias: [Sus97], [Fer92a], [Bat00].

Figura 2.4.5.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Vicentini vertical con las constantes $A_m = 150$, $T_0 = 0.85$ y $\varepsilon = 1.0$.

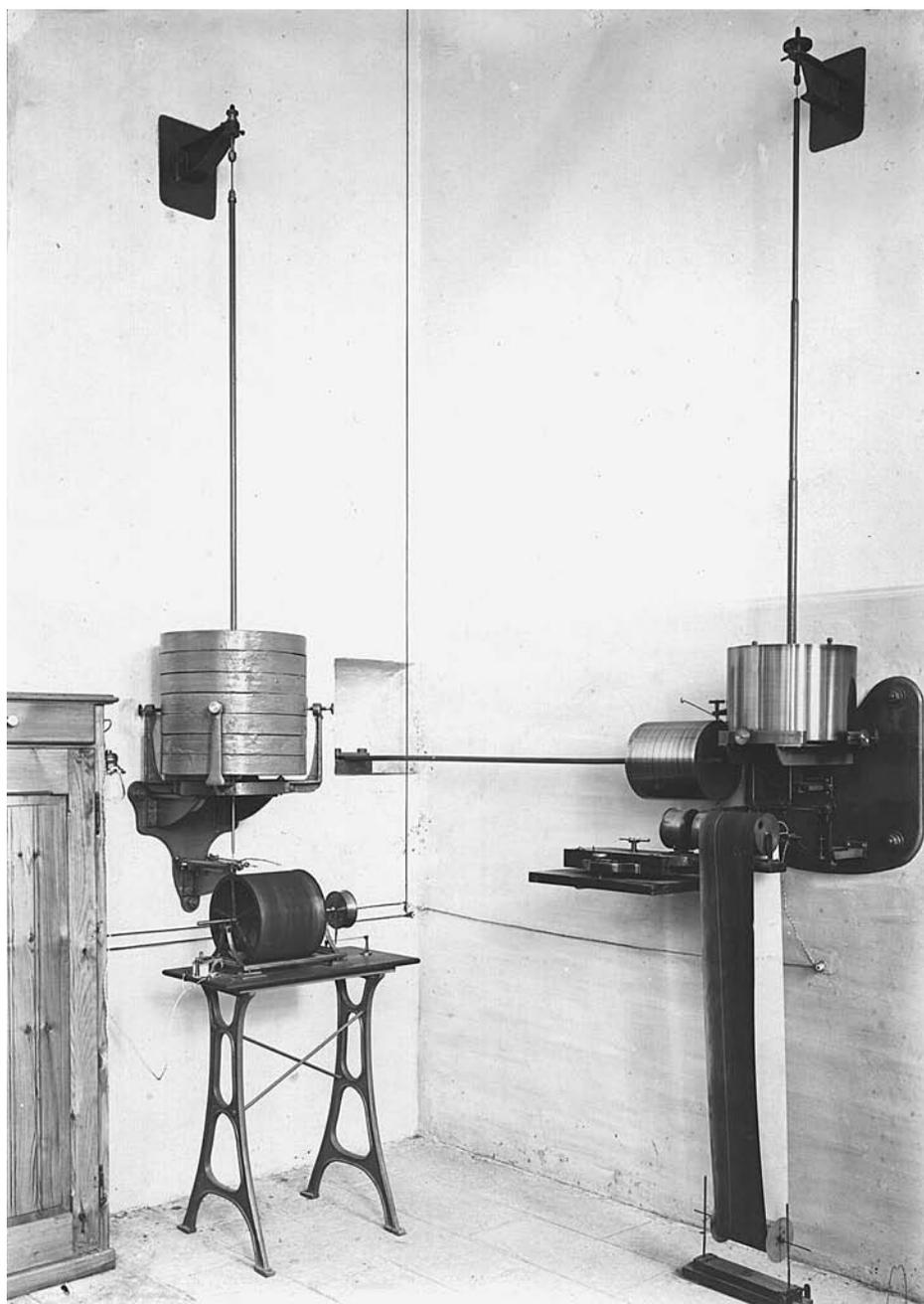


Figura 2.4.6.—Péndulo vertical de 300 kg (izquierda) y microsismógrafo Vicentini, y Vicentini vertical (derecha). Circa 1915 (fotografía conservada en el Observatorio del Ebro).

Instrumento: Microsismógrafo Vicentini

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1904-1916 May. (N-S); 1904-1928 Nov. (E-W).

Características:

Componente: N-S (hasta 1916), E-W
 Masa: 100
 Período propio: 2.3
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.02
 Magnificación: 90
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15-16, 12 (desde 1916 Jun.)
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 2.7318$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 2.7318$

Estado actual: Se conservan piezas del mecanismo de plumillas y de la suspensión de la masa.

Comentarios: Hasta 1916 la misma masa se utilizaba, como en todos los microsismógrafos Vicentini, para registrar también las dos componentes, N-S y E-W. En Junio de 1916 se eliminó el registro de la componente N-S y se modificó su mecanismo inscriptor.

Referencias: [Sus97], [Bat00].

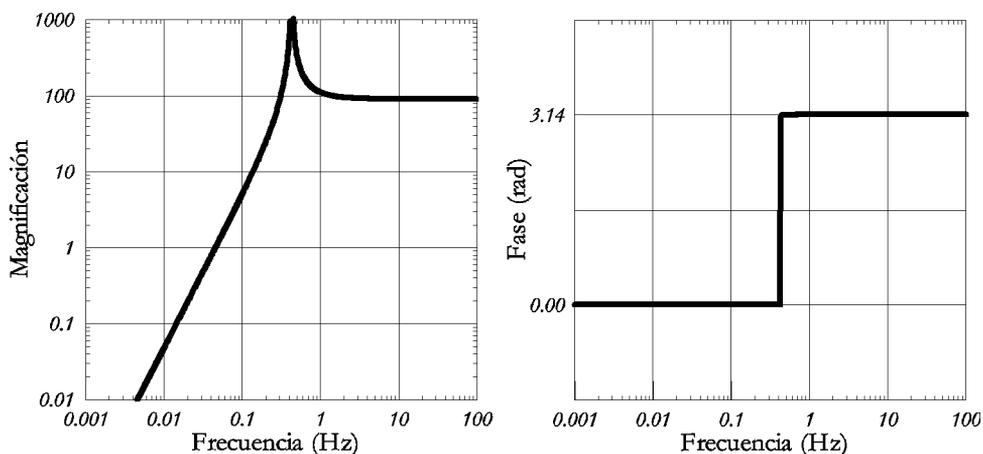


Figura 2.4.7.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el microsismógrafo Vicentini con las constantes $A_m = 90$, $T_0 = 2.3$ y $\varepsilon = 1.0$.

Terremoto registrado el 16-VI-1910

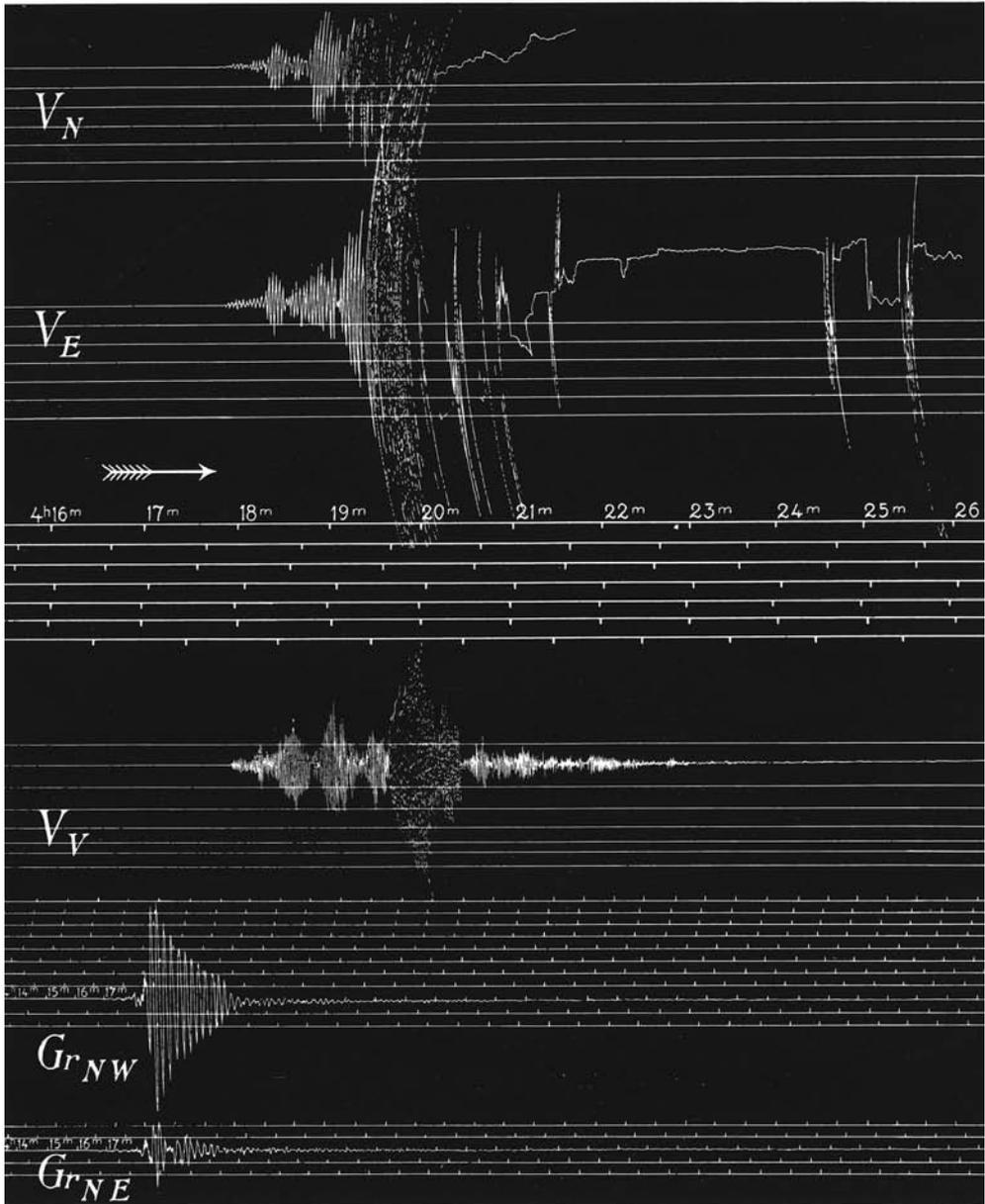


Figura 2.4.8.—Sismogramas correspondientes al terremoto del 16 de junio de 1910, cerca de Adra, registrados por el microsismógrafo Vicentini y el sismógrafo Vicentini vertical (V_N , V_E y V_V) y los péndulos Grablovitz (Gr_{NW} y Gr_{NE}). *Boletín del Observatorio del Ebro*, junio de 1910.

Instrumento: Mainka Ebro

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).

Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1914-1941.

Características:

Componente: N-S
 Masa: 501
 Período propio: 14.8
 Amortiguamiento: 2.5-4.5
 Rozamiento: 0.005
 Magnificación: 200
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 12
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros.

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.1714 - j 0.3884$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.1714 + j 0.3884$

Estado actual: Véase las fichas correspondientes al péndulo Mainka reformado.

Comentarios: Se desmontó y se utilizaron sus piezas en la construcción de los nuevos sismógrafos Mainka-Ebro en los años cuarenta.
El mecanismo inscriptor original fue radicalmente transformado en 1916.

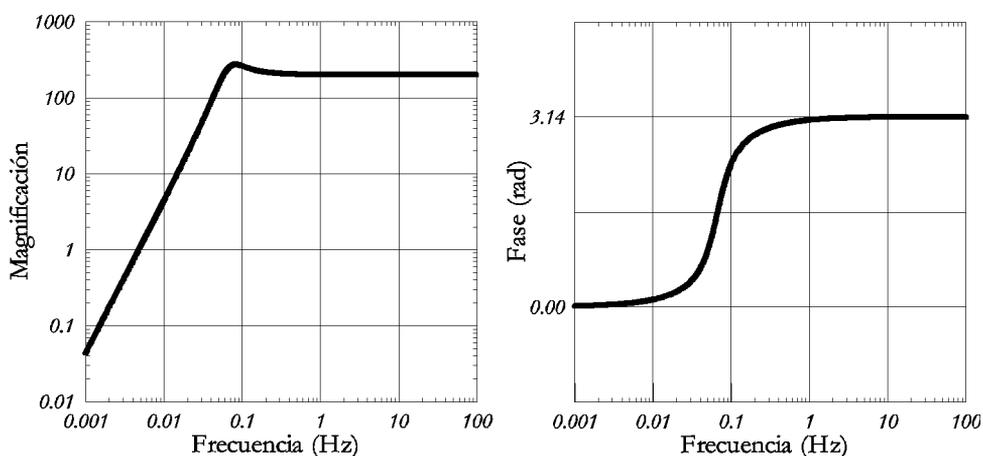
Referencias: [Sus97], [Bat93].

Figura 2.4.9.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka N-S con las constantes instrumentales $A_m = 175$, $T_0 = 14.8$ y $\varepsilon = 4.5$.

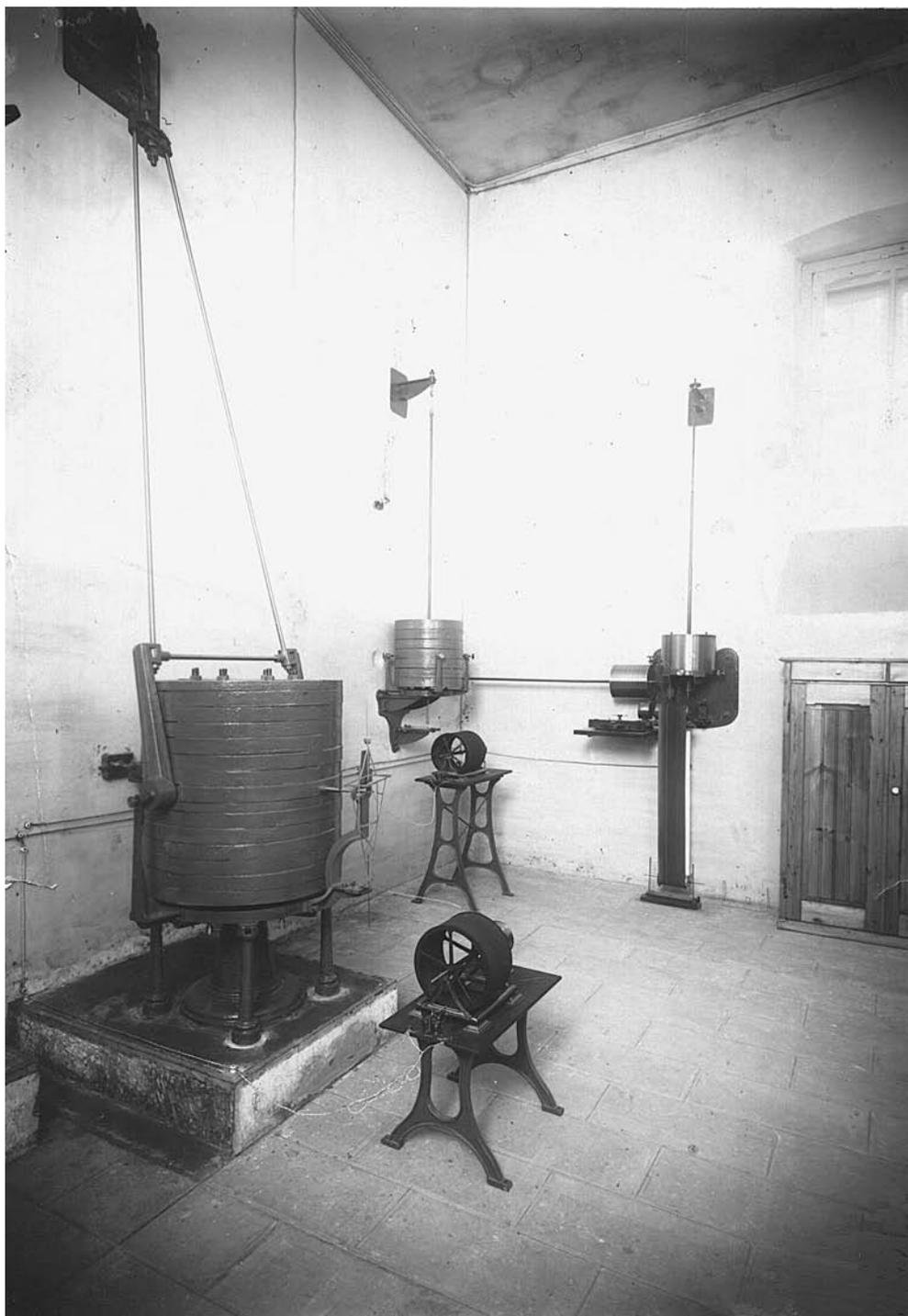


Figura 2.4.10.—Sismógrafos Mainka N-S (izquierda), péndulo vertical (centro al fondo) y Vicentini (derecha). Circa 1915 (fotografía conservada en el Observatorio del Ebro).

Instrumento: Mainka Ebro

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).

Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1914-1938 Feb.

Características:

Componente: E-W
 Masa: 157
 Período propio: 7.8
 Amortiguamiento: 2-3 (desde 1929)
 Rozamiento: 0.005
 Magnificación: 110
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 12
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.1736 - j 0.7866$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.1736 + j 0.7866$

Estado actual: Desaparecido.**Comentarios:** Hasta 1929 funcionó sin amortiguamiento.

El mecanismo inscriptor original fue radicalmente transformado en 1916.

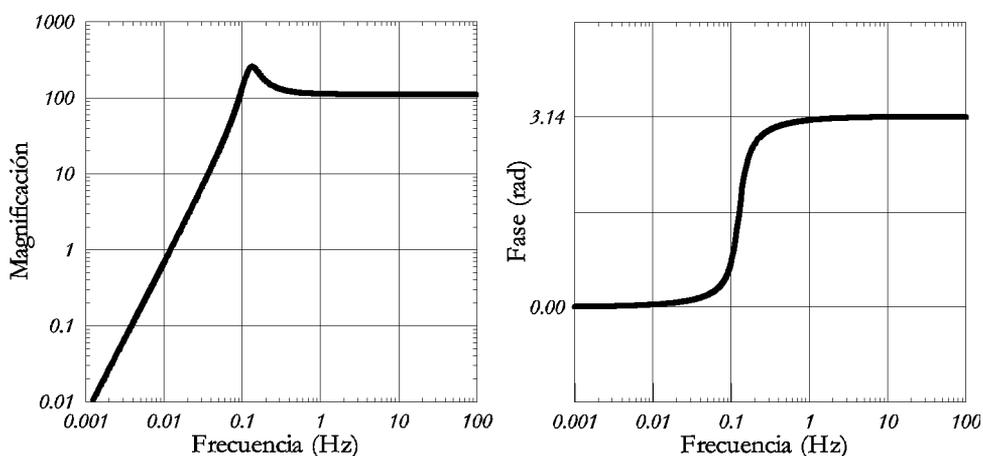
Referencias: [Sus97], [Bat93].

Figura 2.4.11.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka-Ebro E-W con las constantes instrumentales $A_m = 110$, $T_0 = 7.8$ y $\varepsilon = 2.0$.

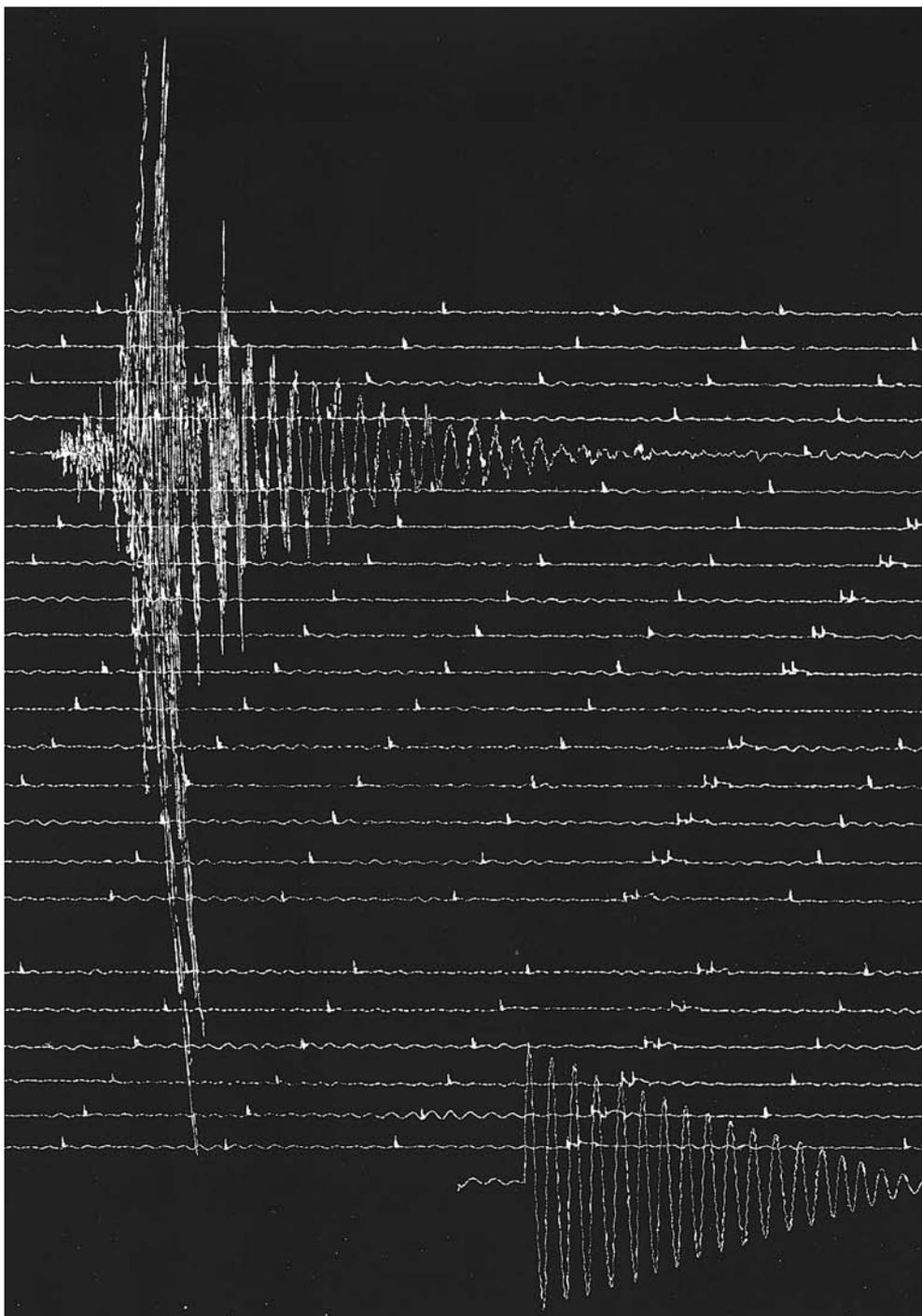


Figura 2.4.12.—Fragmento de sismograma correspondiente al terremoto del 19 de noviembre de 1923, en el Valle de Arán registrada por el sismógrafo Mainka, componente E-W. Vemos que el amortiguamiento del instrumento es muy bajo y, además, la plumilla vibra transversalmente.

Instrumento: Péndulo vertical Ebro

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).

Origen: Construido en los talleres del propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1914 Ene.-1915 May.

Características

Componente: NE-SW, NW-SE
 Masa: 316
 Período propio: (2.5)
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación:
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 12
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros.

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 2.5133$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 2.5133$

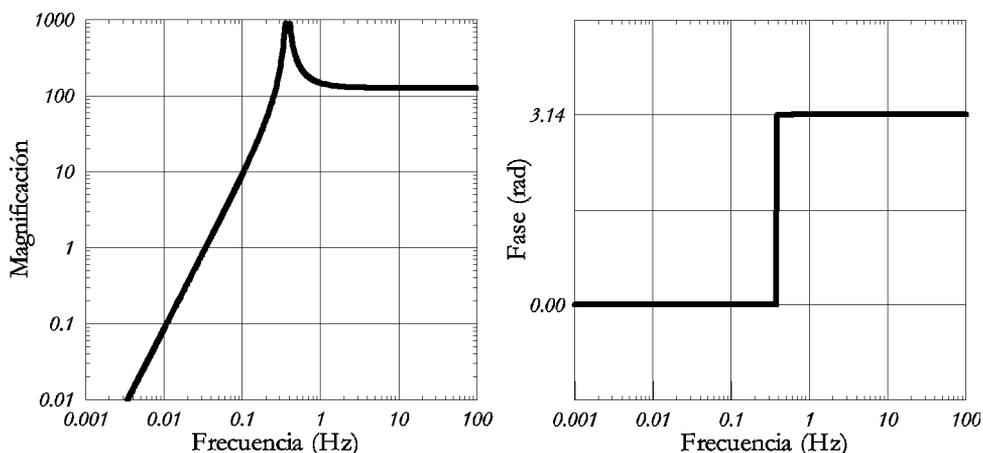
Estado actual: Desaparecido.**Comentarios:** Un único péndulo registraba las dos componentes; pero se reformó como nuevo péndulo vertical N-S en 1915-May.**Referencias:** [Sus97], [Bat00].

Figura 2.4.13.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo vertical Ebro con las constantes instrumentales $A_m = 110$, $T_0 = 2.5$ y $\varepsilon = 1.0$. No conocemos a ciencia cierta la magnificación de este instrumento; pero no debería ser muy diferente que la de su sucesor.

Instrumento: Péndulo vertical Ebro

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).

Origen: Reconstruido a partir de otro aparato.

Período de funcionamiento: 1915 May.-1941.

Características:

Componente: N-S
 Masa: 316
 Período propio: 2.6
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.002
 Magnificación: 125
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 12
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 2.4166$.
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 2.4166$.

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Se construyó como una reforma del péndulo vertical NE-SW, NW-SE.
 Se desmontó y algunas de sus piezas se utilizaron para construir un nuevo péndulo vertical.

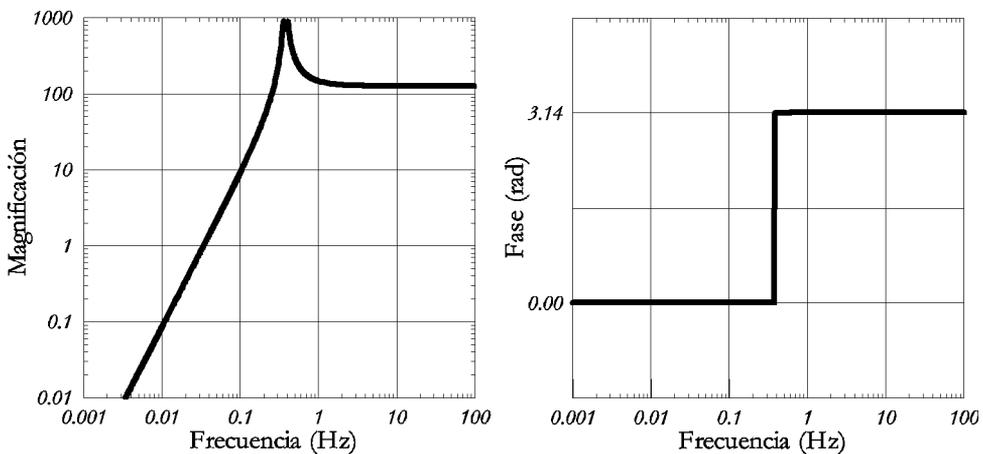
Referencias: [Sus97], [Bat00].

Figura 2.4.14.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo vertical Ebro con las constantes instrumentales $A_m = 125$, $T_0 = 2.5$ y $\varepsilon = 1.0$.

Instrumento: Mainka-Ebro (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).

Origen: Reconstruido a partir de otro aparato.

Período de funcionamiento: 1942-1966 May.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	1500	1500
Período propio:	15.4	10.8
Amortiguamiento:	3-4	4-5
Rozamiento:	0.004	0.003
Magnificación:	275	150
Tipo de registro:	Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro:	12	12
Longitud de la plumilla:	950	950

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.1647 - j 0.3733$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.1647 + j 0.3733$

Estado actual: Conservados en el propio observatorio. Los mecanismos de las plumillas se encuentran algo deteriorados.

Comentarios: A pesar de tratarse de sismógrafos idénticos sus constantes instrumentales eran premeditadamente diferentes.

Referencias: [Sus97], [Cha53], [Bat00].

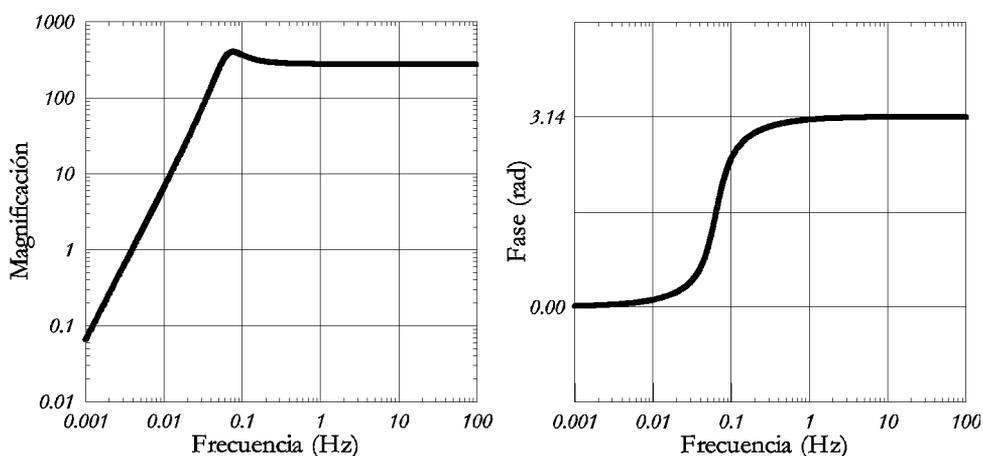


Figura 2.4.15.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka-Ebro N-S con las constantes $A_m = 275$, $T_0 = 15.4$ y $\varepsilon = 4.0$.



Figura 2.4.16.—Sismógrafo Mainka-Ebro E-W (fotografía conservada en el archivo del Observatorio del Ebro).



Figura 2.4.17.—Detalle de la figura anterior en donde se aprecia en detalle el mecanismo de la plumilla inscriptora. Véase también la figura 2.4.19.

Instrumento: Péndulo vertical

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1943-1961 Jul.

Características.

Componente: N-S
 Masa: 635
 Período propio: 2.5
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.004
 Magnificación: 230
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 12
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 2.5133$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.5133$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: En su construcción se utilizó la masa y otras piezas del anterior péndulo vertical. Posteriormente se utilizó casi totalmente para construir el sismógrafo cenital.

Referencias: [Sus97], [Cha53], [Bat93].

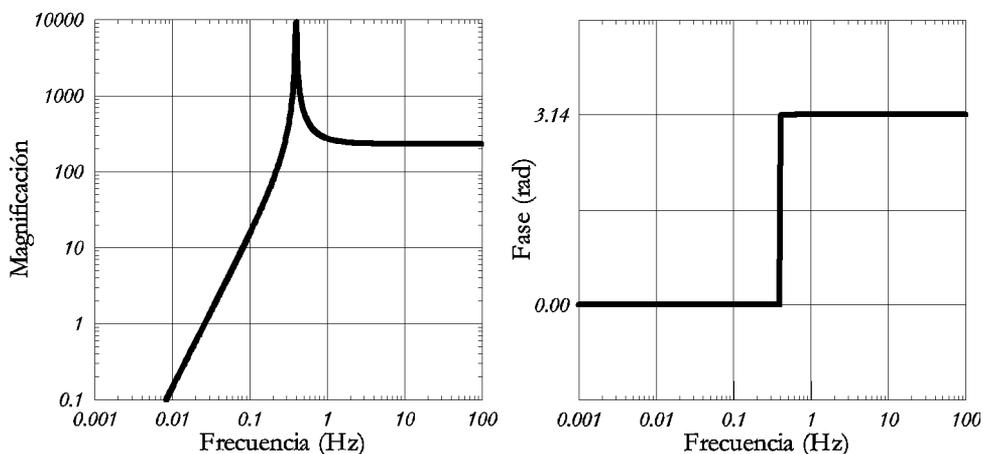


Figura 2.4.18.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo vertical de 635 kg con las constantes $A_m = 230$, $T_0 = 2.5$ y $\varepsilon = 1.0$.

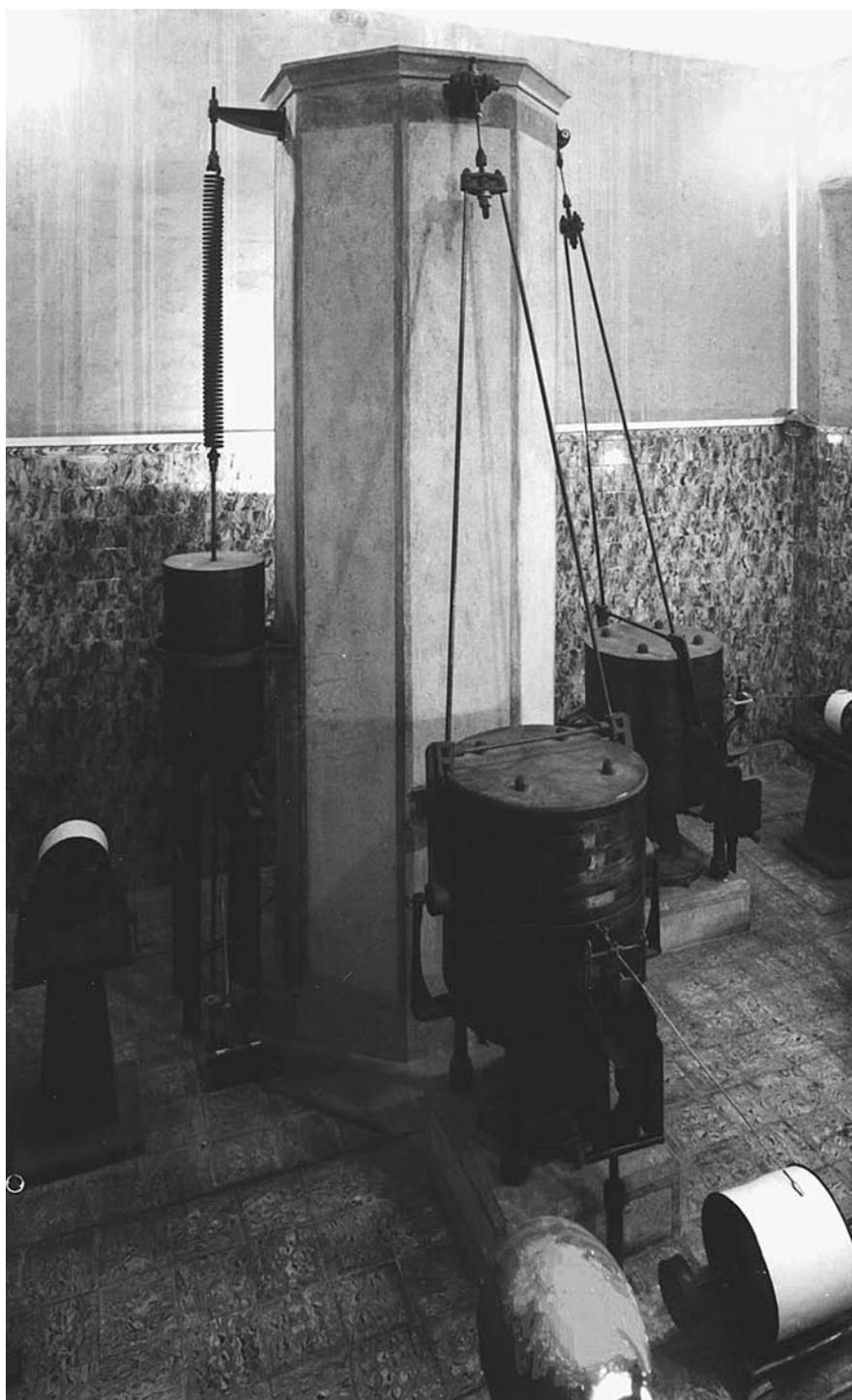


Figura 2.4.19.—Estado de conservación actual de la sala de sismógrafos mecánicos con la columna que sostiene los tres sismógrafos Ebro cenital (izquierda, en el lugar que anteriormente ocupaba el péndulo vertical), Mainka- Ebro E-W (centro) y Mainka-Ebro N-S (derecha). Fotografía de J. Batlló.



Figura 2.4.20.—Sismógrafo Ebro cenital. Estado de conservación actual (fotografía de J. Batlló).

Instrumento: Geotech 4681A

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1966-1974.

Características:

Componente: Z
 Masa: 15.0
 Período propio: 1.0
 Período galvanómetro: 0.75
 Amortiguamiento: $b = 0.67$
 Magnificación: 12500
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.2097 - j 4.6644$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.2097 + j 4.6644$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$5.6130 - j 6.2192$
		4.	$5.6130 + j 6.2192$

Estado actual: Se conserva en el mismo Observatorio.

Comentarios: En 1974 se adquirió un nuevo registrador visual de tinta y se abandonó el registro fotográfico. Todavía hoy se encuentra en funcionamiento. Estaba conectado a un galvanómetro Lehner-Griffith, modelo GS-250 y el número de serie del sismómetro es el 152.

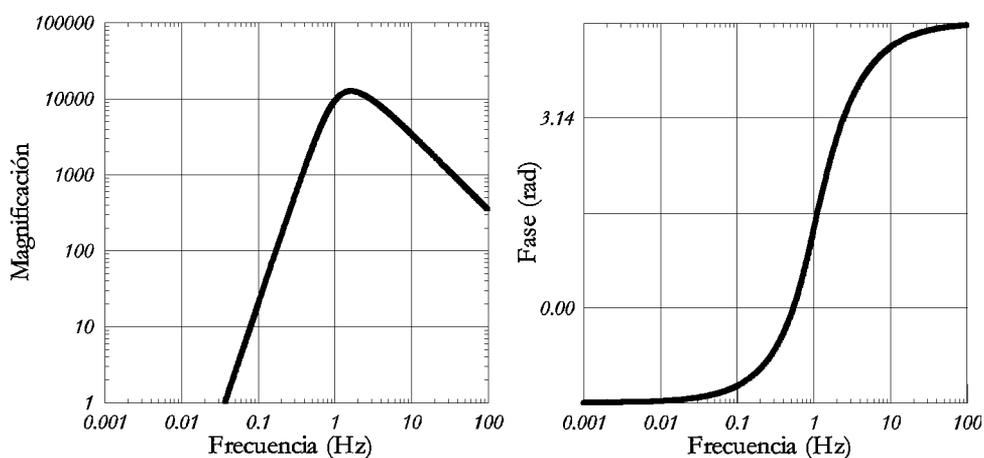
Referencias: [Ben32], [Bat00], [Geo64], [Uga03].

Figura 2.4.21.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Geotech 4681A con las constantes instrumentales $A_m = 12500$, $T_s = 1.0$, $T_g = 0.75$ y amortiguamiento $b = 0.67$.

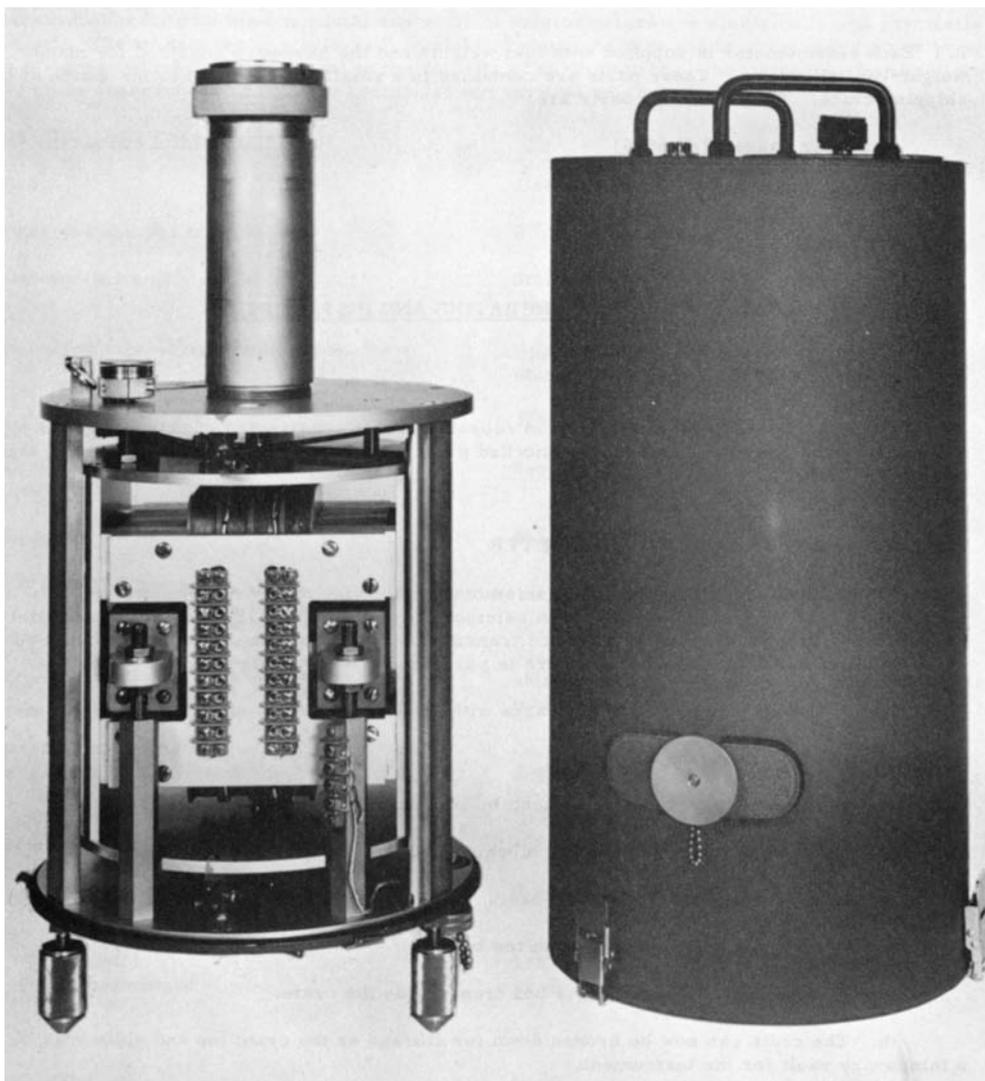


Figura 2.4.22.—Sensor Geotech 4681A con la cubierta externa retirada (fotografía del fabricante).

Instrumento: Geotech 6102A (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).
 Origen: Adquirido (The Geotechnical Corporation, Texas).
 Período de funcionamiento: 1966-1974.

Características:

Componente: N-S	E-W.
Masa: 14.7	14.7
Período propio: 1.0	1.0
Período galvanómetro: 0.75	0.75
Amortiguamiento: $h = 0.67$	$h = 0.67$
Magnificación: 12500	12500
Tipo de registro: Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro: 30	30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $4.2097 - j 4.6644$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $4.2097 + j 4.6644$
3. $0.0000 + j 0.0000$	3. $5.6130 - j 6.2192$
	4. $5.6130 + j 6.2192$

Estado actual: Se conserva en el mismo observatorio.

Comentarios: Se completaba el equipo con galvanómetros Lehner-Griffith, modelo GS-250. En 1974 se adquirió un nuevo registrador visual de tinta y se abandonó el registro fotográfico. Todavía hoy se encuentra en funcionamiento. Los números de serie de los instrumentos son el 145 (N-S) y el 149 (E-W).

Referencias: [Bat00], [Geo64], [Uga03].

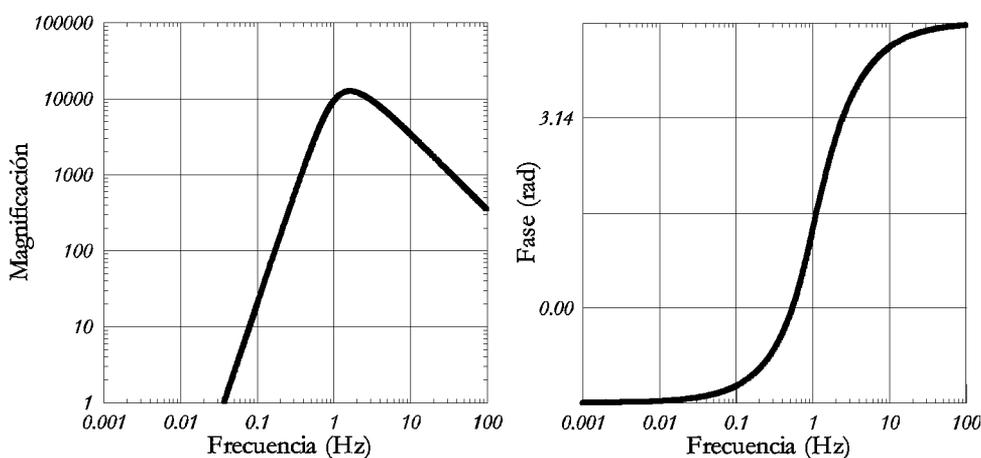


Figura 2.4.23.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Geotech 6102A con las constantes instrumentales $A_m = 12500$, $T_s = 1.0$, $T_g = 0.75$ y amortiguamiento $h = 0.67$.

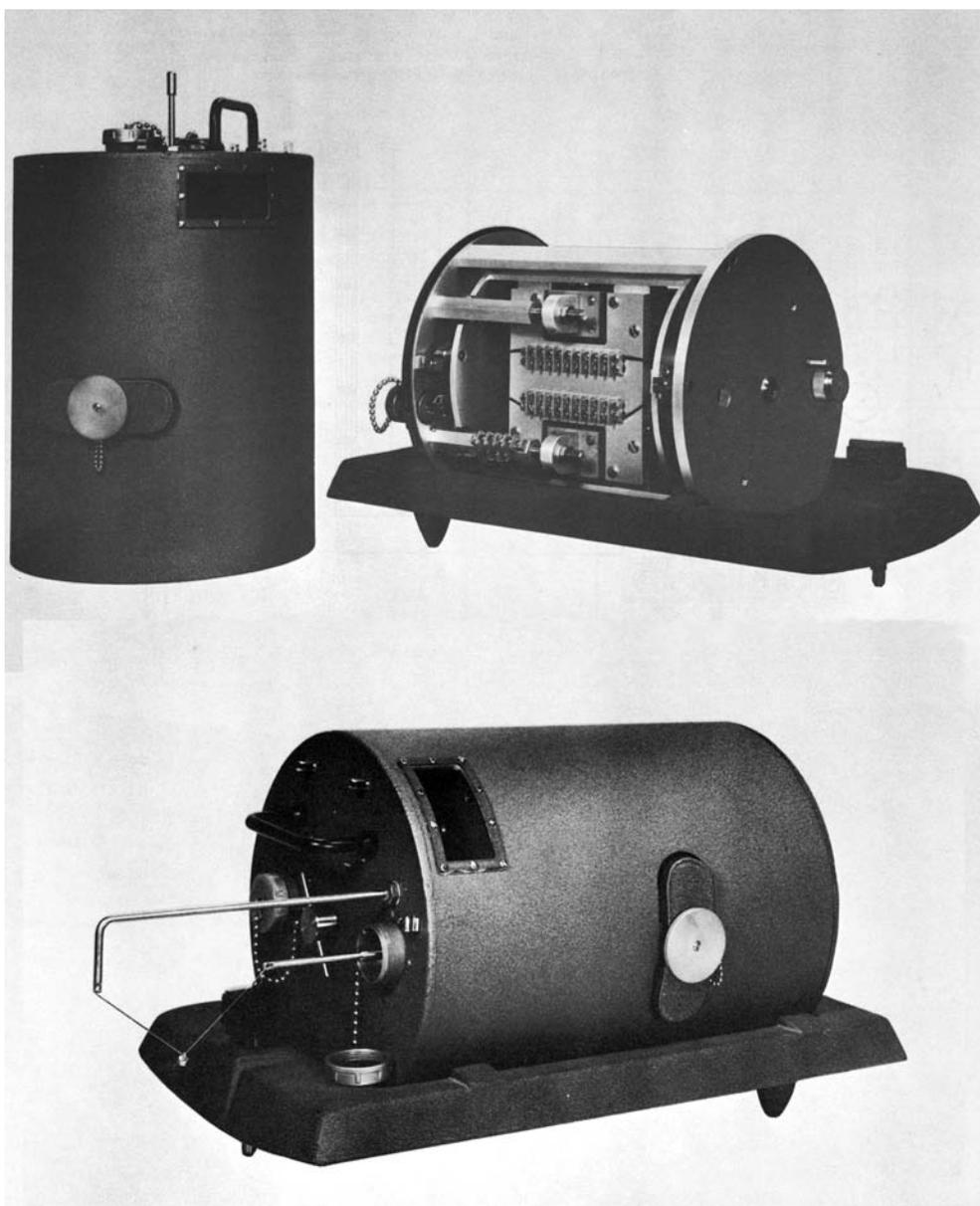


Figura 2.4.24.—Sensor Geotech 6102A con la cubierta externa retirada (arriba) e instalada y listo para su calibración (abajo). Las varillas horizontales instaladas a su izquierda sirven para suspender pequeñas masas durante el calibrado (fotografía del fabricante).

Instrumento: Sprengnether S-5000 V

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).

Origen: Cedido por el IGC.

Período de funcionamiento: 1969-1974.

Características:

Componente: Z
 Masa: 11.2
 Período propio: 15.0
 Período galvanómetro: 90.0
 Amortiguamiento: $b = 0.75$
 Magnificación: 1500
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 15

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.3142 - j 0.2771$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.3142 + j 0.2771$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.0524 - j 0.0462$
		4.	$0.0524 + j 0.0462$

Estado actual: Se conserva actualmente en el Observatorio Sismológico de Alicante.

Comentarios: La cesión de este instrumento se realizó para completar el equipo de sismógrafos de período largo del Observatorio del Ebro.
 El número de serie de este sismómetro es el 2067.

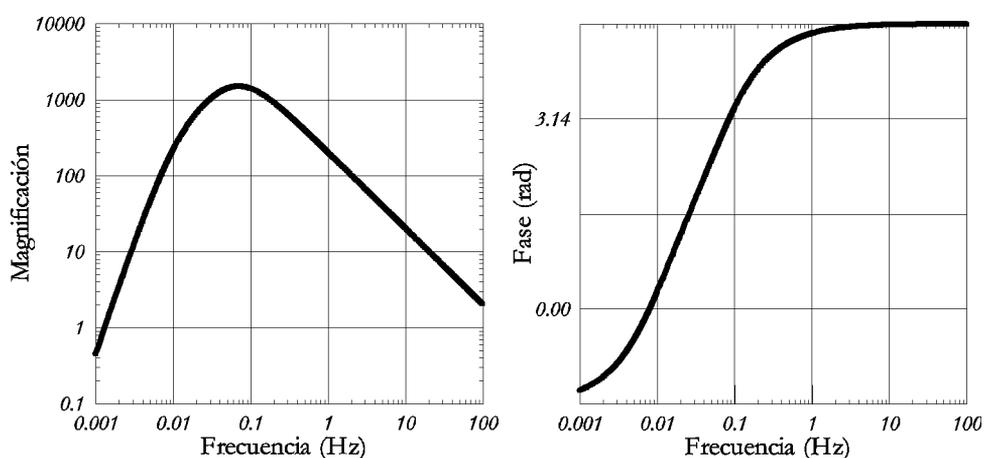
Referencias: [Bat00], [Nut61].

Figura 2.4.25.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether S-5000 V vertical con las constantes instrumentales $A_m = 1500$, $T_j = 15.0$, $T_g = 90.0$ y amortiguamiento $b = 0.75$.

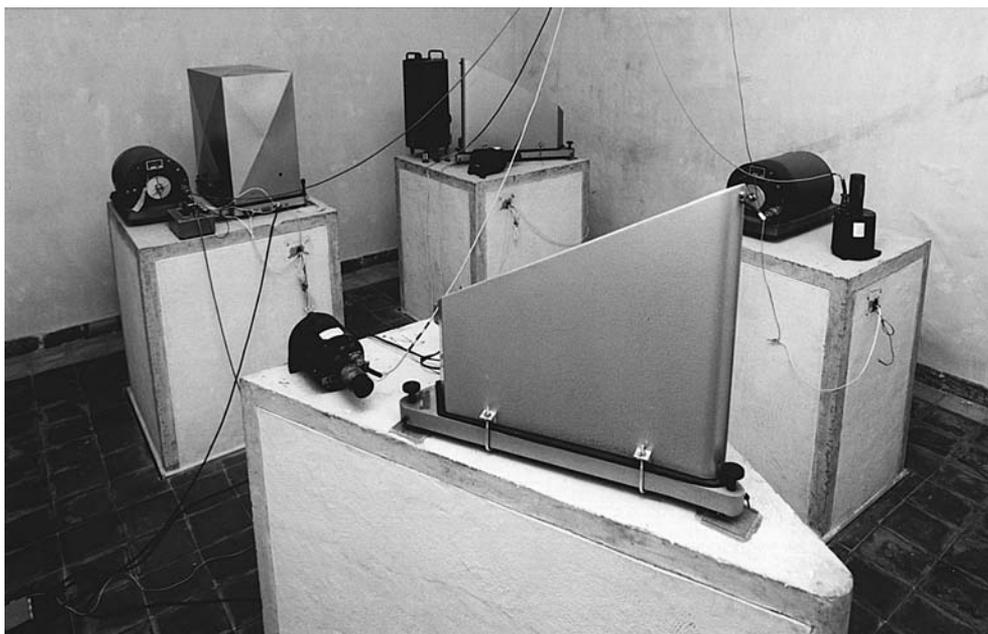


Figura 2.4.26.—Vista de la habitación subterránea para los sismógrafos electromagnéticos. Estado de conservación actual. Las cajas color gris claro corresponden a los sismómetros Sprengnether (al fondo a la izquierda el sensor vertical), los cilindros mayores, color gris oscuro, a los sismómetros Geotech y también puede apreciarse la presencia de sensores Ranger SS-1 (cilindros pequeños y negros) que se hallaban en pruebas en el momento de tomarse esta imagen (fotografía de J. Nieva). Véase también la figura 2.4.30.

Instrumento: Sprengnether S-5000 H (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).
 Origen: Adquirido (Sprengnether, Saint Louis, USA).
 Período de funcionamiento: 1968-2000 Abr.

Características:

Componente	N-S	E-W
Masa:	10.7	10.7
Período propio:	15.0	15.0
Período galvanómetro:	90.0	90.0
Amortiguamiento:	$h = 0.75$	$h = 0.75$
Magnificación:	1500	1500
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	15	15

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.3142 - j 0.2771$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.3142 + j 0.2771$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.0524 - j 0.0462$
		4.	$0.0524 + j 0.0462$

Estado actual: Se conserva en el mismo observatorio.

Comentarios: Los galvanómetros utilizados para el registro fotográfico eran Lehner-Griffith, modelo GL-261, construidos por United Electro Dynamics, Inc. (Pasadena, California).
 Los números de serie de los sensores son el 3373 (N-S) y el 3353 (E-W).

Referencias: [Bat00], [Nut61], [Uga03].

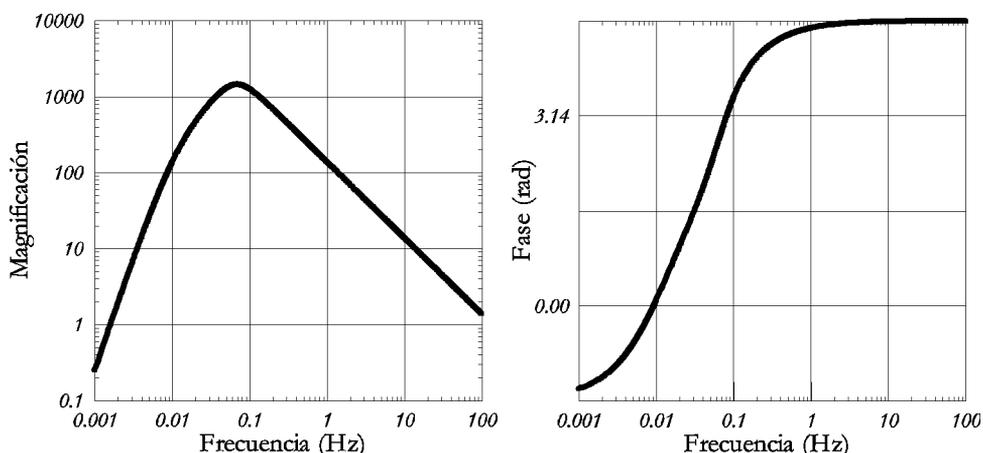


Figura 2.4.27.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether S-5000 H horizontal con las constantes instrumentales $A_m = 1500$, $T_s = 15.0$, $T_g = 90.0$ y amortiguamiento $h = 0.75$.



Figura 2.4.28.—Sismógrafo Sprengnether S-5000 H, componente N-S, instalado en el Observatorio del Ebro. A la derecha, un sensor Ranger SS-1. En primer plano, la caja de resistencias, que sirve para variar el amortiguamiento del sismómetro y el galvanómetro (fotografía J. Nieva). Véase también la figura 2.8.44.

Instrumento: Sprengnether S-5000 V

Localización: Observatorio del Ebro (Roquetes).
 Origen: Adquirido (Sprengnether Co., Saint Louis, USA).
 Período de funcionamiento: 1974-2000 Abr.

Características:

Componente: Z
 Masa: 11.2
 Período propio: 15.0
 Período galvanómetro: 90.0
 Amortiguamiento: $b = 0.75$
 Magnificación: 1500
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 15

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.3142 - j 0.2771$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.3142 + j 0.2771$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.0524 - j 0.0462$
		4.	$0.0524 + j 0.0462$

Estado actual: Se conserva en el mismo observatorio.

Comentarios: El galvanómetro utilizado para el registro fotográfico era un Lehner-Griffith, modelo GL-261, construido por United Electro Dynamics, Inc. (Pasadena, California).
 El número de serie del sismómetro es el 3729.

Referencias: [Bat00], [Nut61], [Uga03].

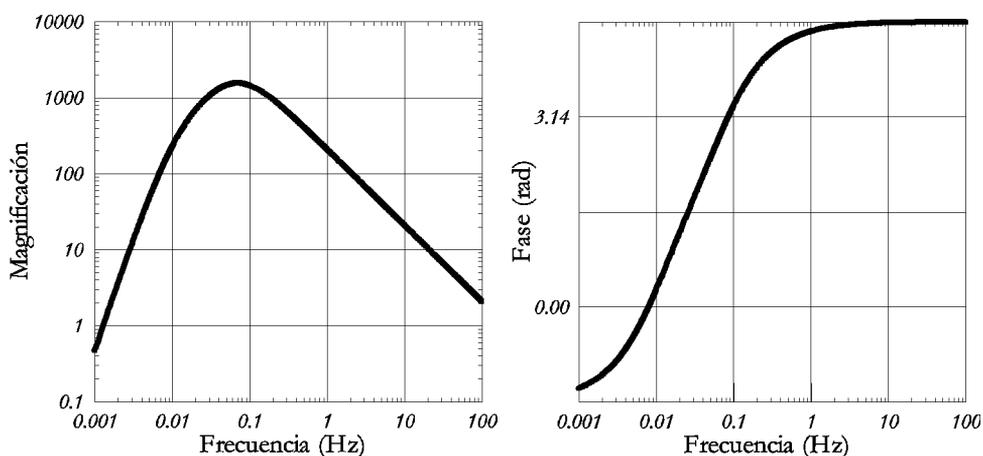


Figura 2.4.29.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether S-5000 V vertical con las constantes instrumentales $A_m = 1500$, $T_s = 15.0$, $T_g = 90.0$ y amortiguamiento $b = 0.75$.

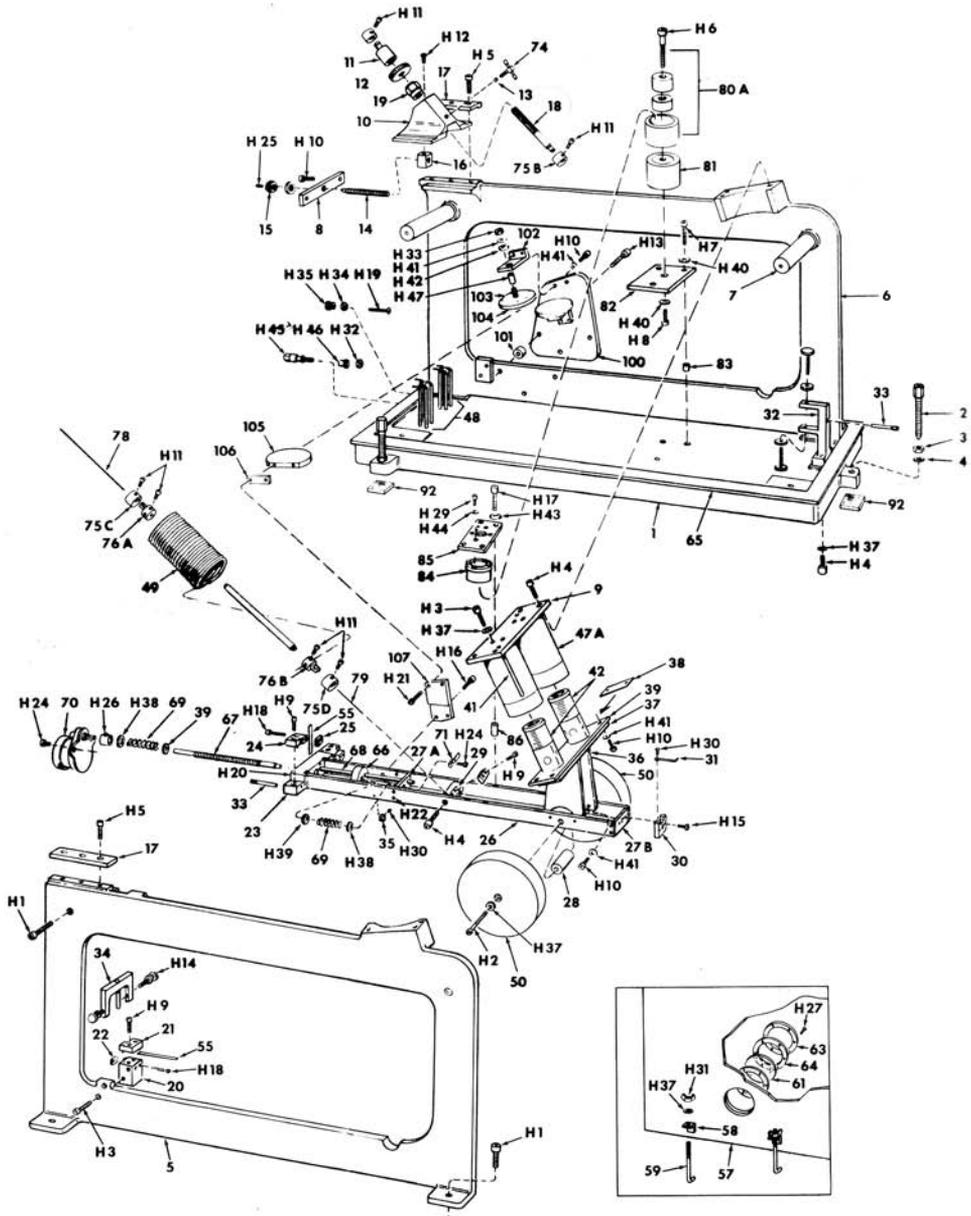


Figura 2.6.30.—Gráfico mostrando el despiece del sismómetro Sprengnether S-5000 V. Extraído del manual de instalación.

2.5. *Observatorio Fabra*

El Observatorio Fabra fue fundado por la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona a quien todavía pertenece. Se encuentra situado en el término municipal de Barcelona, en la montaña del Tibidabo y cerca de su cima, fuera ya del núcleo urbano de la ciudad.

El Observatorio se estructura en tres secciones: Astronómica, Meteorológica y Sísmica. Comenzó sus trabajos astronómicos en 1904; pero no fue hasta 1906 en que principiaron las observaciones sísmicas en el mismo. El lector encontrará más detalles sobre su historia centenaria en [Cod02].

El edificio del Observatorio es de planta rectangular, orientada en dirección Este-Oeste. Se encuentra edificado sobre pizarras paleozoicas. En su extremo oriental adopta una forma circular siguiendo la circunferencia de su cúpula astronómica. El local destinado a los sismógrafos ocupa una parte del subsuelo del edificio, en su extremidad occidental. Tiene un acceso directamente desde el exterior situado en la fachada sur, a través de una doble puerta. Dos ventanas situadas en la parte alta permiten la entrada de la luz natural. Los sismógrafos se hallan protegidos por vitrinas acristaladas.

Además de los sismógrafos descritos a continuación, este Observatorio también dispuso, durante los primeros años de su existencia, de un sismoscopio Agamennone que todavía se conserva.



Figura 2.5.1.—Fotografía actual del edificio del Observatorio Fabra visto desde el norte. La sala de sismógrafos se encuentra situada en un semisótano cerca del extremo occidental (fotografía cedida por el Observatorio Fabra).

Instrumento: Sismométrgrafo Cancani

Localización: Observatorio Fabra (Barcelona).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1907 Ago.-1910 Jun.

Características:

Componente: NE-SW; SE-NW
 Masa: 220 kg
 Período propio: 3.6 s [SNa09]
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: 17.5
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 36.7 mm/min
 Longitud de la plumilla: 470 mm

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 1.7453$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 1.7453$

Estado actual: Se conservan algunas partes en el mismo observatorio.

Comentarios: Construido por L. Fascianelli. El sistema de inscripción de señales horarias fue modificado respecto al original por el Sr. Besses [Com08].
 Longitud de la plomada (o péndulo): 3.6 m.

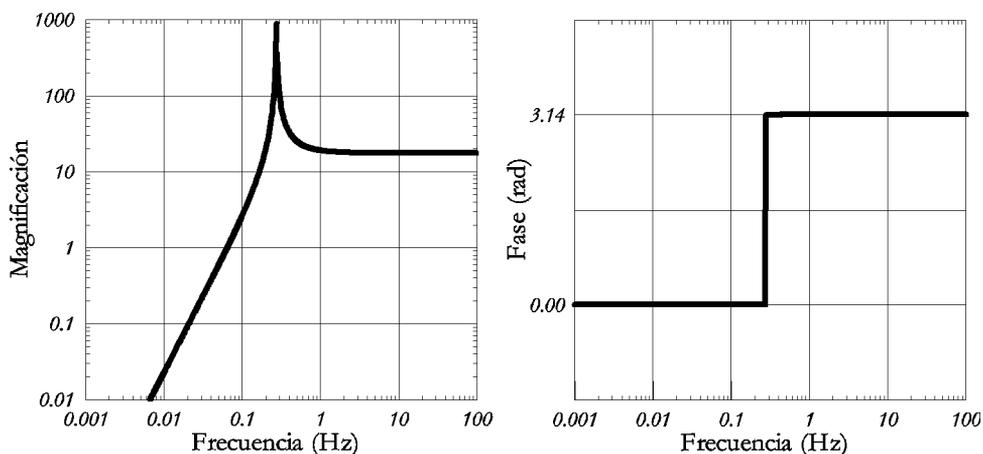
Referencias: [Sus97], [Mie10a], [Can00].

Figura 2.5.2.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismométrgrafo Cancani con las constantes instrumentales $A_m = 17.5$, $T_0 = 3.6$ y $\varepsilon = 1.0$.

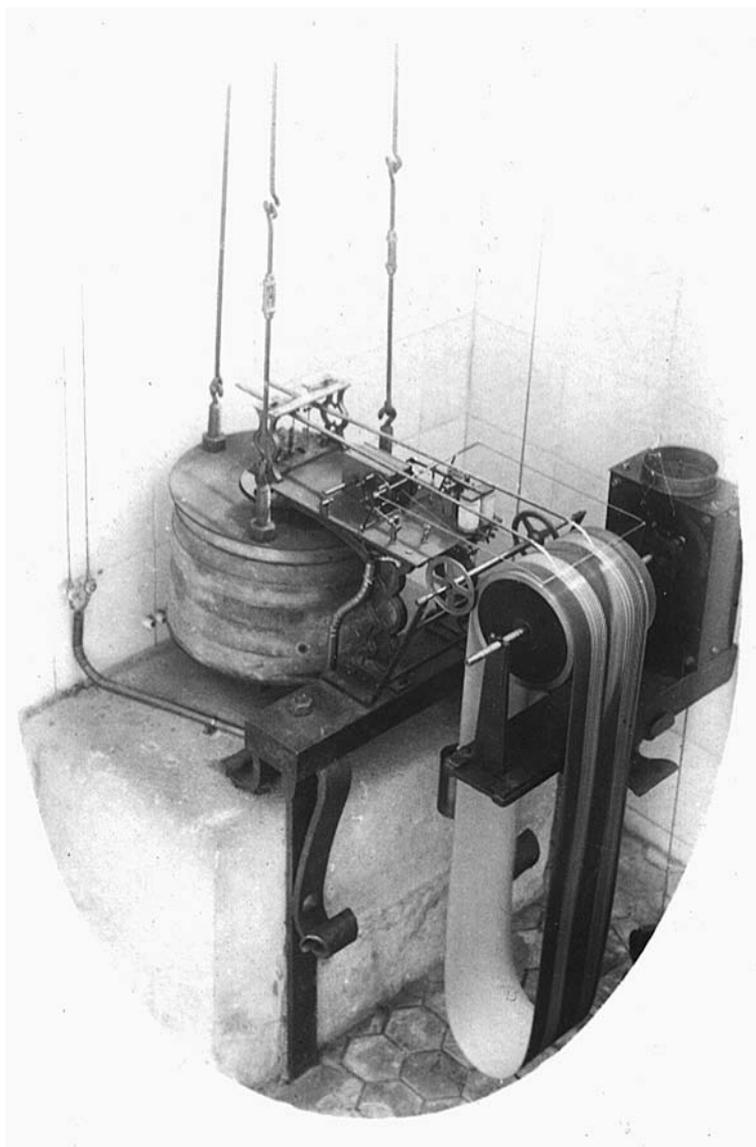


Figura 2.5.3.—Sismómetrografo Cancani del Observatorio Fabra (fotografía conservada en el archivo del Observatorio del Ebro).

Instrumento: Sismométrógrafo Agamennone

Localización: Observatorio Fabra (Barcelona).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1906-1908 Dic.

Características:

Componente: NE-SW; SE-NW
 Masa: 200
 Período propio: 3.7 (calculado a partir de la longitud de la plomada)
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: –
 Magnificación: 10.3
 Tipo de registro: Banda de papel en tinta de anilina
 Velocidad de registro: 5
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 1.7950$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 1.7950$

Estado actual: Se conservan algunas de sus partes.**Comentarios:** Construido por L. Fascianelli.

Longitud de la plomada (o péndulo): 3.44 m.

En 1909 fue totalmente reconstruido por Comas Solá.

Parece que este instrumento, al contrario de muchos italianos de este tipo, no disponía de doble velocidad de registro.

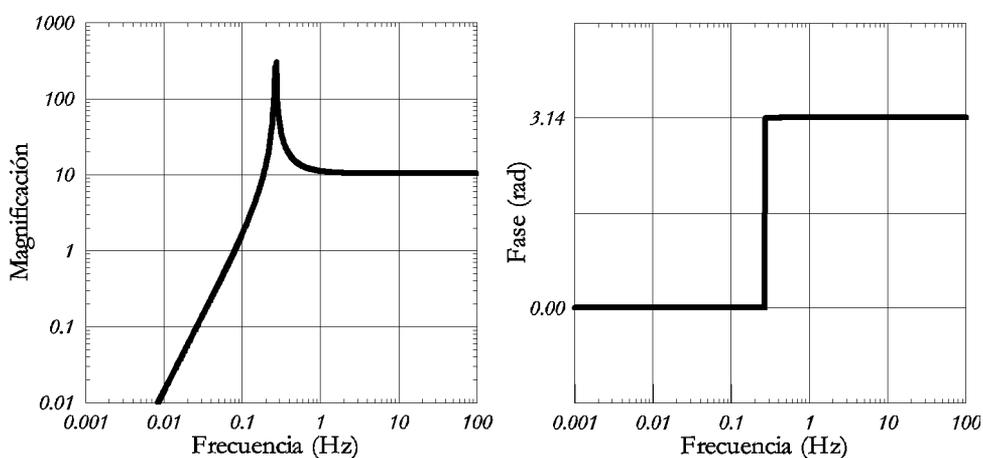
Referencias: [Sus97], [Mie10a], [Aga95].

Figura 2.5.4.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismométrógrafo Agamennone con las constantes instrumentales $A_m = 10.3$, $T_0 = 3.7$ y $\varepsilon = 1.0$.

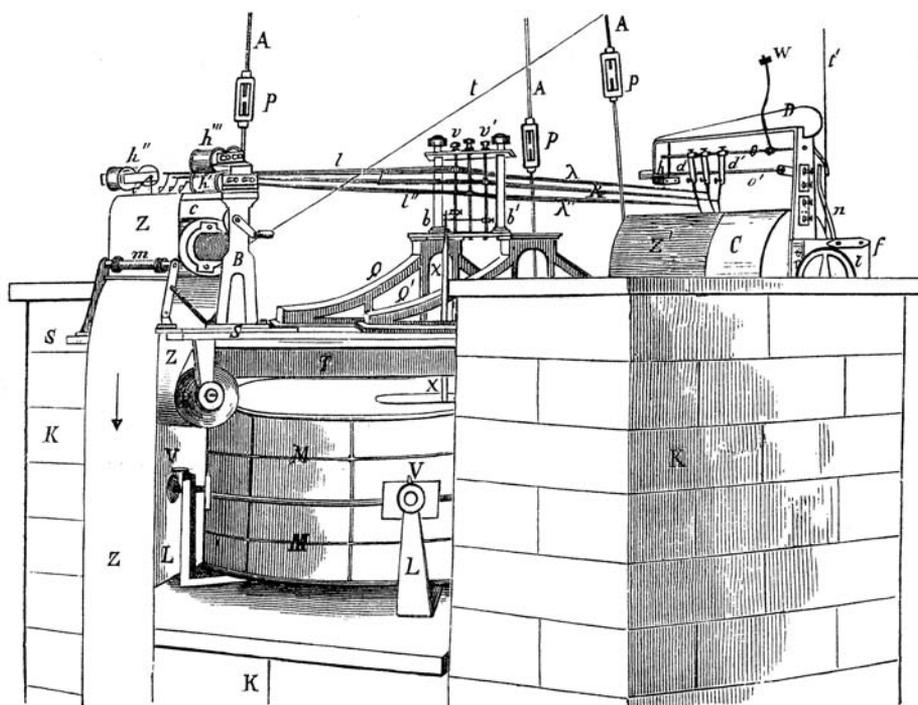


Figura 2.5.5.—No disponemos de ninguna fotografía de este instrumento. Reproducimos aquí un grabado de un péndulo Agamennone de 500 kg (de [Fer90]) que dispone de doble velocidad, por eso hay dos cilindros registradores (Z y Z').

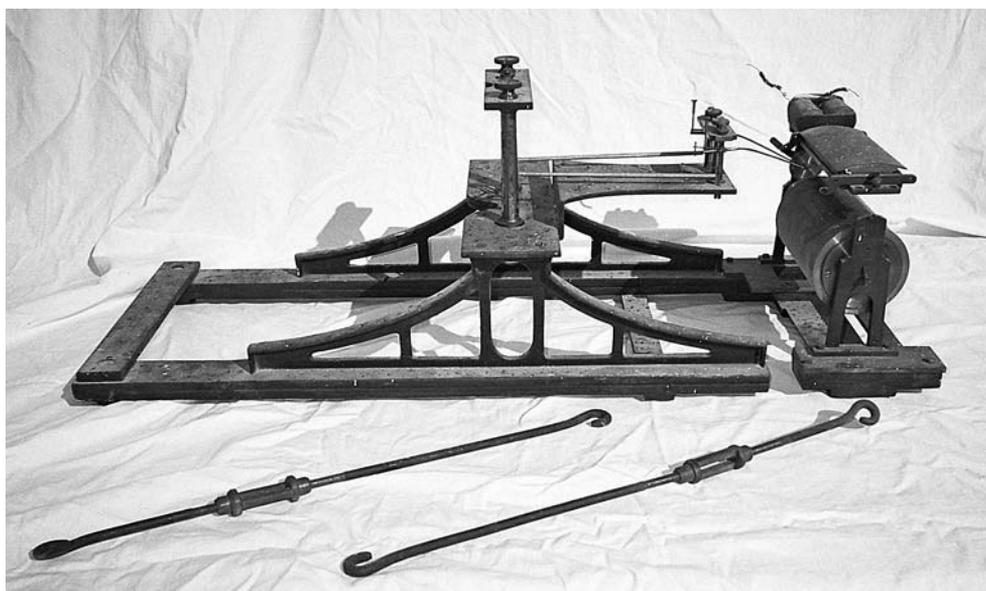


Figura 2.5.6.—Soporte del sistema amplificador inscriptor del sismómetrografo Agamennone del Observatorio Fabra en una fotografía reciente (fotografía de J. Batlló).

Instrumento: Vicentini vertical

Localización: Observatorio Fabra (Barcelona).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1906-1998.

Características:

Componente: Z
 Masa: 56
 Período propio: 0.9
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: Ningún *boletín* lo consigna
 Magnificación: 158 - ~125 (desde 1914)
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 5
 Longitud de la plumilla: 135

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 6.9813$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 6.9813$

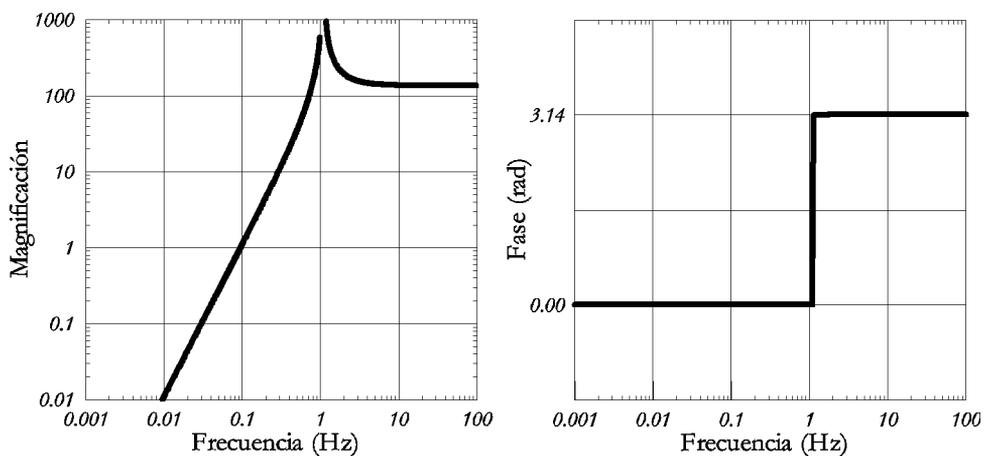
Estado actual: Se conserva en estado de funcionamiento en el propio observatorio.**Comentarios:** Se trata del instrumento todavía existente y con el período de actividad más largo de la península puesto que ha funcionado casi ininterrumpidamente por más de 90 años.**Referencias:** [Sus97], [Mie10a].

Figura 2.5.7.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Vicentini vertical con las constantes instrumentales $A_m = 120$, $T_0 = 0.9$ y $\varepsilon = 1.0$.

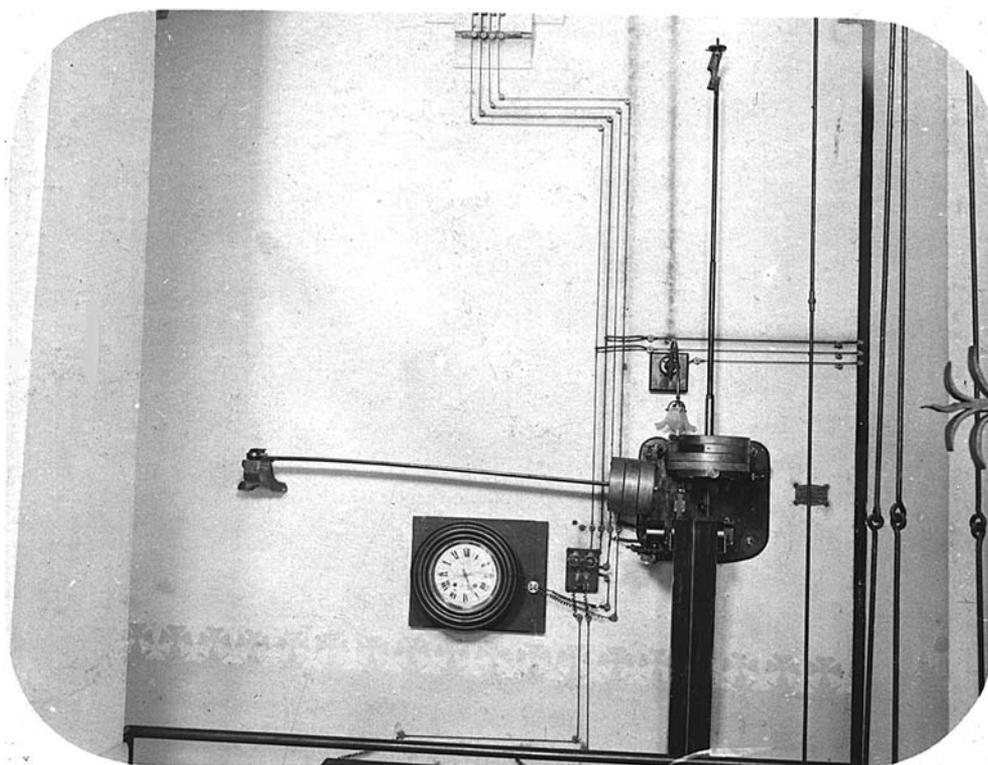


Figura 2.5.8.— Microsismógrafo Vicentini (derecha) y Vicentini vertical (izquierda) del Observatorio Fabra al poco tiempo de su instalación. Fotografía conservada en el Observatorio del Ebro. Véase también la figura 2.6.10.

Instrumento: Microsismógrafo Vicentini

Localización: Observatorio Fabra (Barcelona).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1906-1998.

Características:

Componente: N-S, E-W
 Masa: 106
 Período propio: 2.4
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: Ningún *boletín* lo consigna
 Magnificación: 82 (N-S), 75 (E-W)
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 5
 Longitud de la plumilla: 150

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 2.6180$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 2.6180$

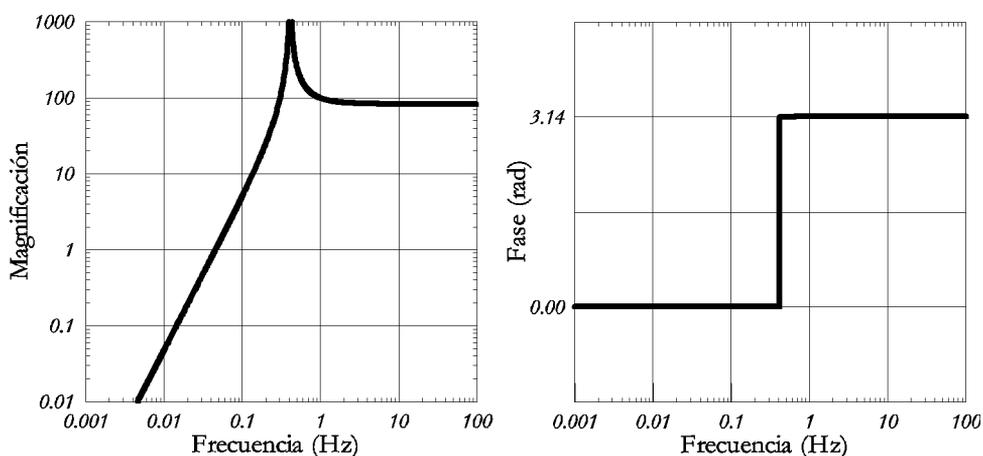
Estado actual: Se conserva (en uso) en el propio Observatorio.**Comentarios:** El mecanismo inscriptor registra dos direcciones perpendiculares del movimiento de una única masa. En la misma banda de papel también se inscribe el registro de la componente vertical Vicentini.**Referencias:** [Sus97], [Mie10a].

Figura 2.5.9.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el microsismógrafo Vicentini con las constantes instrumentales $A_m = 80$, $T_0 = 2.4$ y $\varepsilon = 1.0$.

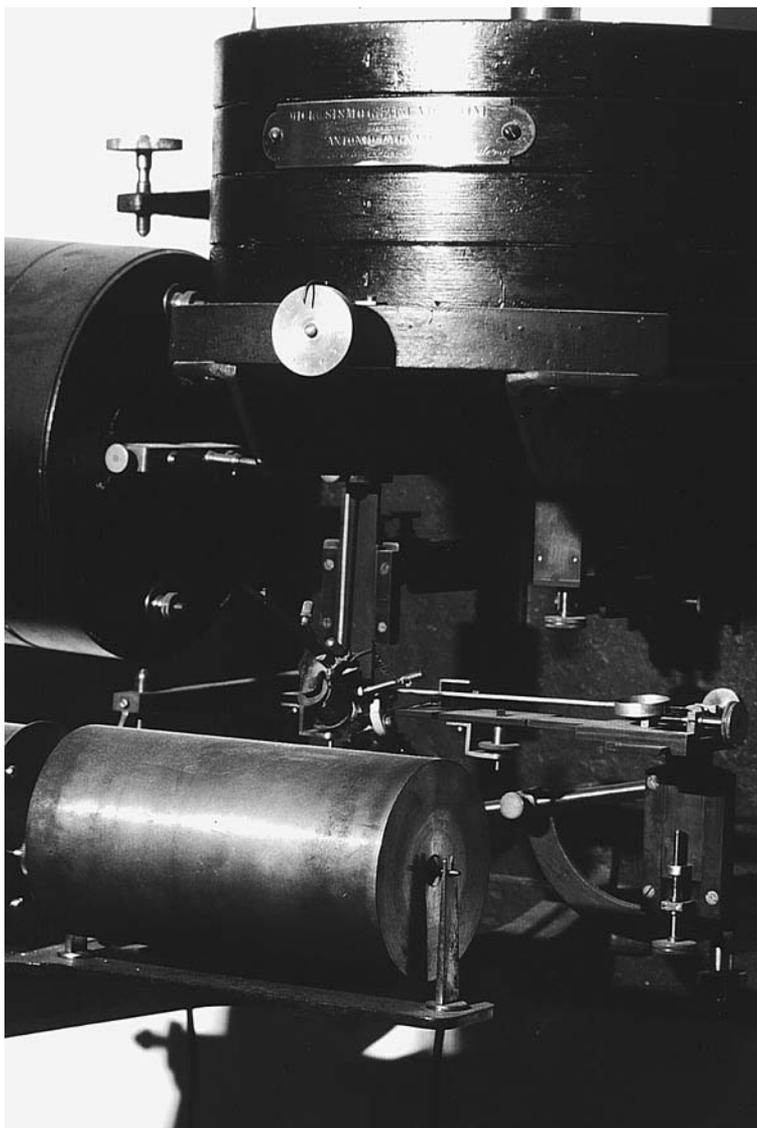


Figura 2.5.10.—Microsismógrafo Vicentini. Detalle del mecanismo inscriptor en una fotografía actual (fotografía de J. E. Buxeda).

Instrumento: Microsismómetrografo Agamennone

Localización: Observatorio Fabra (Barcelona).
 Origen: Reformado en el propio Observatorio.
 Período de funcionamiento: 1909 Ene.-1909 Dic.

Características:

Componente: NE-SW; SE-NW
 Masa: 520
 Período propio: 3.7
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: 100
 Tipo de registro: Banda de papel de tinta de anilina
 Velocidad de registro:
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 1.6982$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 1.6982$

Estado actual: Se conservan algunas de sus piezas.

Comentarios: Reforma del sismómetrografo Agamennone realizada por J. Comas Solà.

Referencias: [Com11a], [Sus97], [Mie10a].

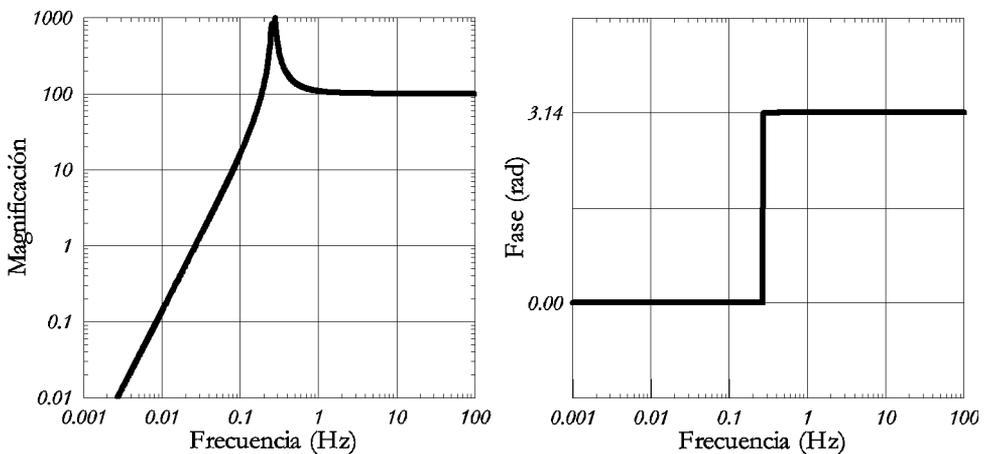


Figura 2.5.11.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el microsismómetrografo Agamennone con las constantes instrumentales $A_m = 100$, $T_0 = 3.7$ y $\epsilon = 1.0$.

Instrumento: Péndulo cónico

Localización: Observatorio Fabra (Barcelona).
 Origen: Construido en el propio Observatorio.
 Período de funcionamiento: 1910 Jun.-1913.

Características:

Componente: N-S
 Masa: 220
 Período propio: 8.6
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: 30
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 5
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 0.7306$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.7306$

Estado actual: Se conservan algunas de sus partes.

Comentarios: Reforma del sismómetrografo Cancani realizada por J. Comas Solà.
 No disponemos de ninguna fotografía de este instrumento.

Referencias: [Com12].

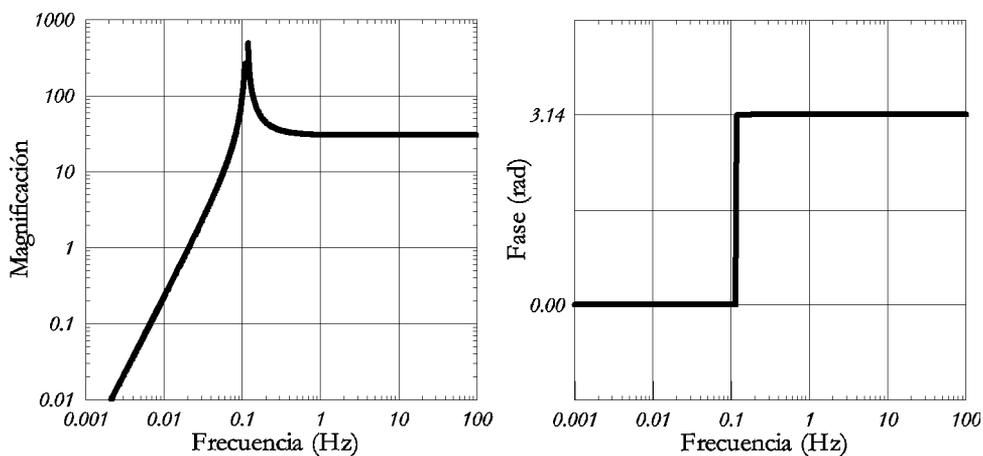


Figura 2.5.12.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo cónico con las constantes instrumentales $A_m = 30$, $T_0 = 8.6$ y $\varepsilon = 1.0$.

Instrumento: Péndulo vertical

Localización: Observatorio Fabra (Barcelona).
 Origen: Construido en el propio Observatorio.
 Período de funcionamiento: 1911 May.-1913.

Características:

Componente: NE-SW
 Masa: 520
 Período propio: 4.4
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: 72
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 4.7
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 1.4280$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 1.4280$

Estado actual: Sus restos se confunden con los del microsismómetrografo Agamennone.

Comentarios: Reforma del microsismómetrografo Agamennone realizada por J. Comas Solà.
 No disponemos de ninguna fotografía de este instrumento.

Referencias: [Com12].

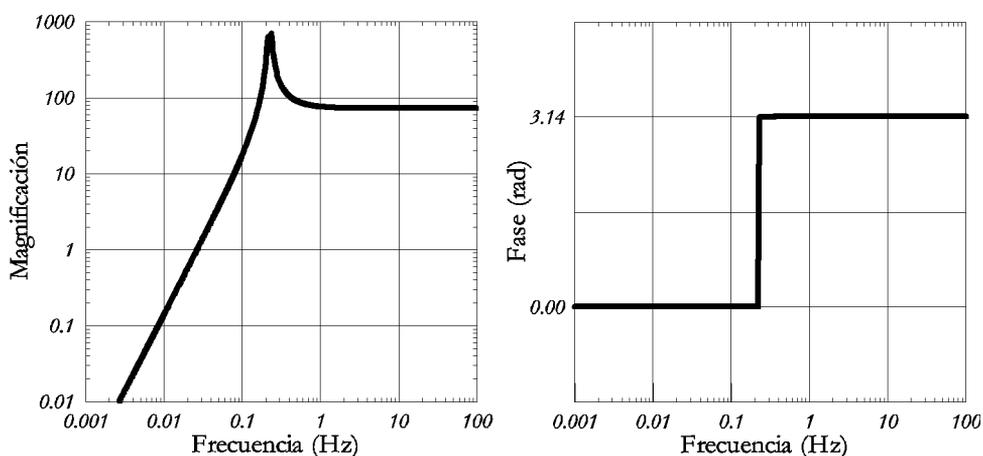


Figura 2.5.13.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo vertical con las constantes instrumentales $A_m = 72$, $T_0 = 4.4$ y $\varepsilon = 1.0$.

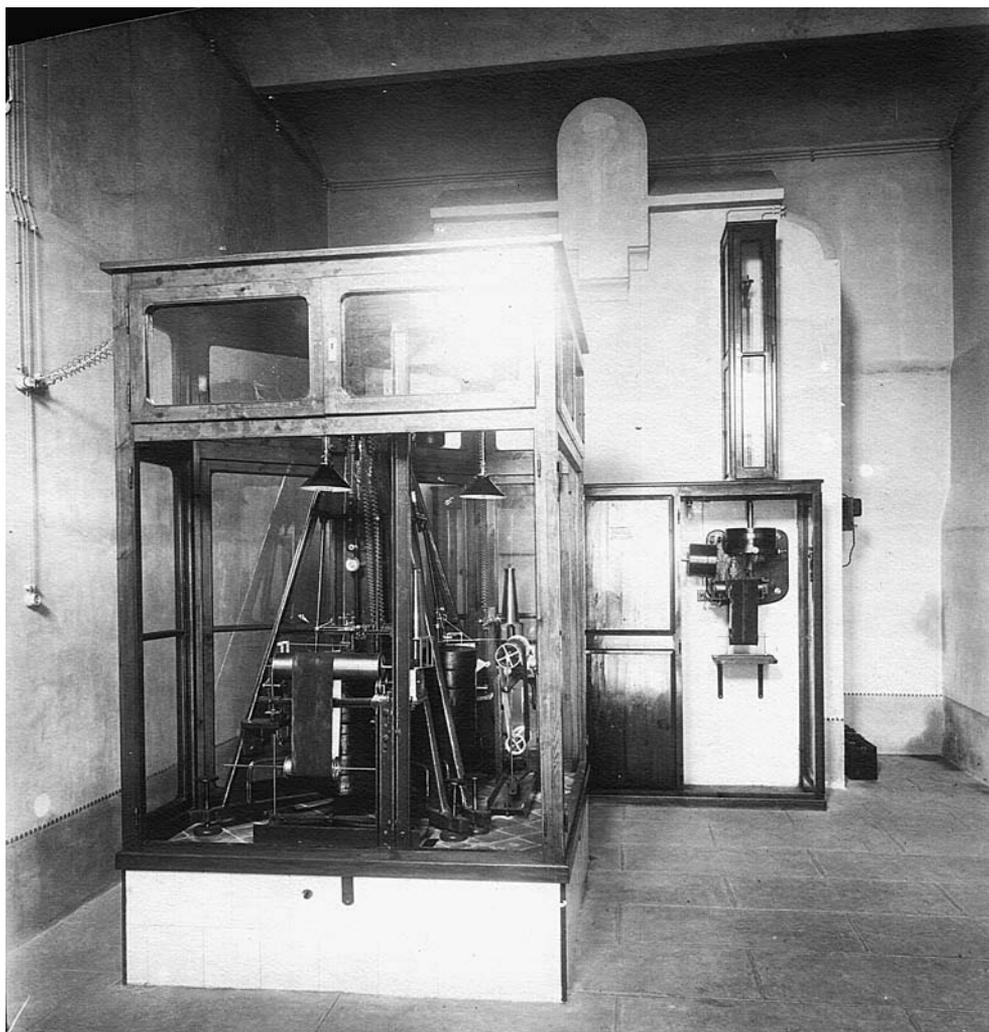


Figura 2.5.14.—No disponemos de ninguna fotografía de este instrumento. En su lugar reproducimos una fotografía que muestra la sala de sismógrafos del Observatorio Fabra poco después de la importante reforma realizada en 1913. Sismógrafos Mainka en primer plano y Vicentini al fondo. Fotografía cedida por el Observatorio Fabra.

Instrumento: Mainka (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Fabra (Barcelona).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1914-1998.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 141	144
Período propio: 9	9
Amortiguamiento: 3-4	3-4
Rozamiento: 0.01	0.01
Magnificación: 50	60
Tipo de registro: Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro: 16	16
Longitud de la plumilla: 280	280

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.2818 - j 0.6387$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $0.2818 + j 0.6387$

Estado actual: Se encuentra en el Observatorio Fabra en funcionamiento.

Comentarios: Adquirido a J. & A. Bosch (Strassburg).

Referencias: [Sus97], [Gon00].

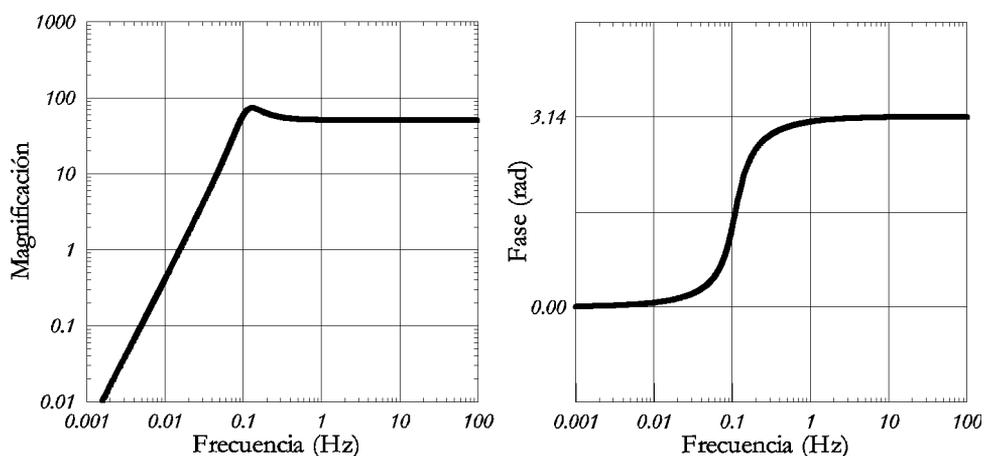


Figura 2.5.15.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka con las constantes instrumentales $A_m = 60$, $T_0 = 9.0$ y $\varepsilon = 4.0$.

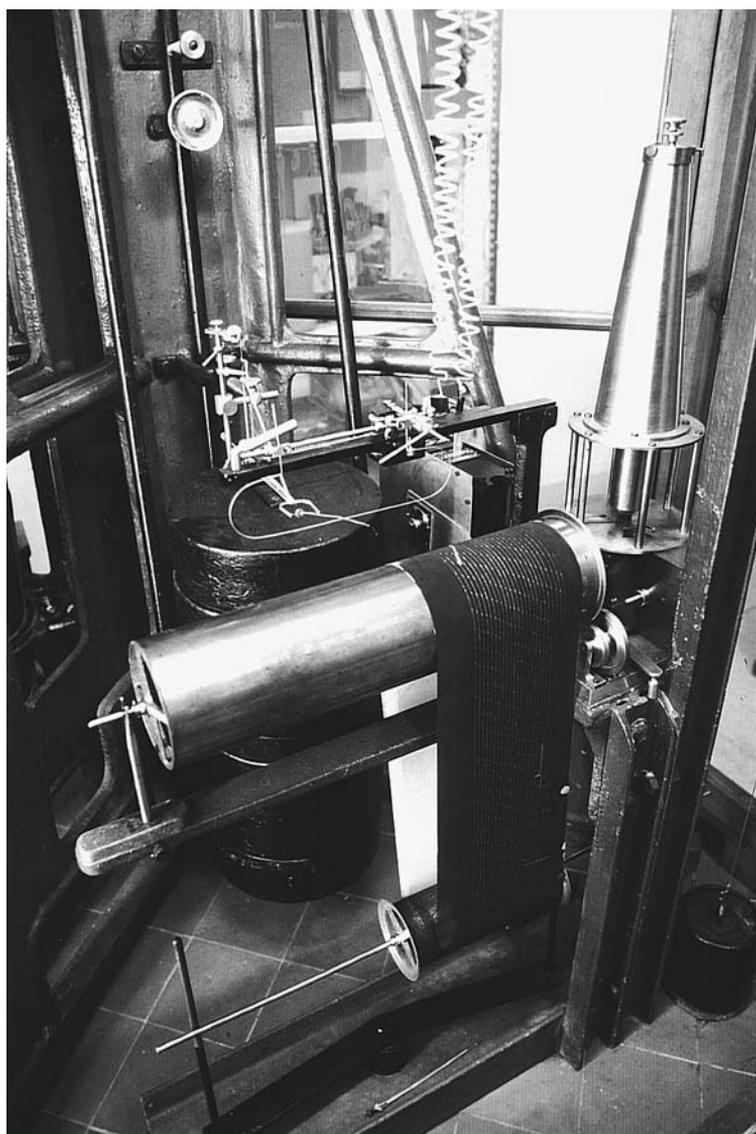


Figura 2.5.16.—Sismógrafo Mainka, estado de conservación actual (fotografía de J. E. Buxeda).

Instrumento: Hiller-Stuttgart vertical

Localización: Observatorio Fabra (Barcelona).

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1967 Ene.-1985 Dic.

Características:

Componente: Z
 Masa: ~0.5
 Período propio: 1.6
 Período galvanómetro: 1.3
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: 7325
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$3.9270 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$3.9270 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.8332 - j 0.0000$
		4.	$4.8332 + j 0.0000$

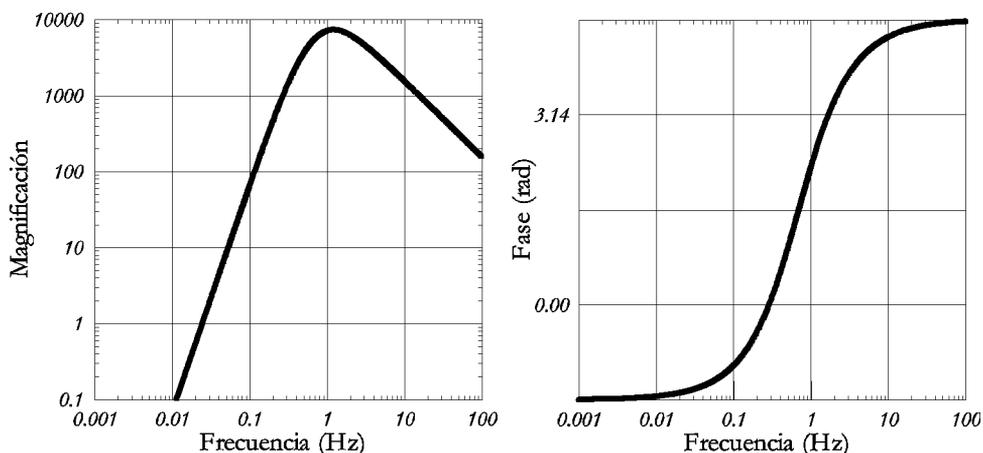
Estado actual: Se conserva en el mismo observatorio.**Comentarios:** Instrumento muy mal documentado.**Referencias:** [Gon00], [Ask55].

Figura 2.5.17.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart vertical con las constantes instrumentales $A_m = 7325$, $T_s = 1.6$, $T_g = 1.3$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

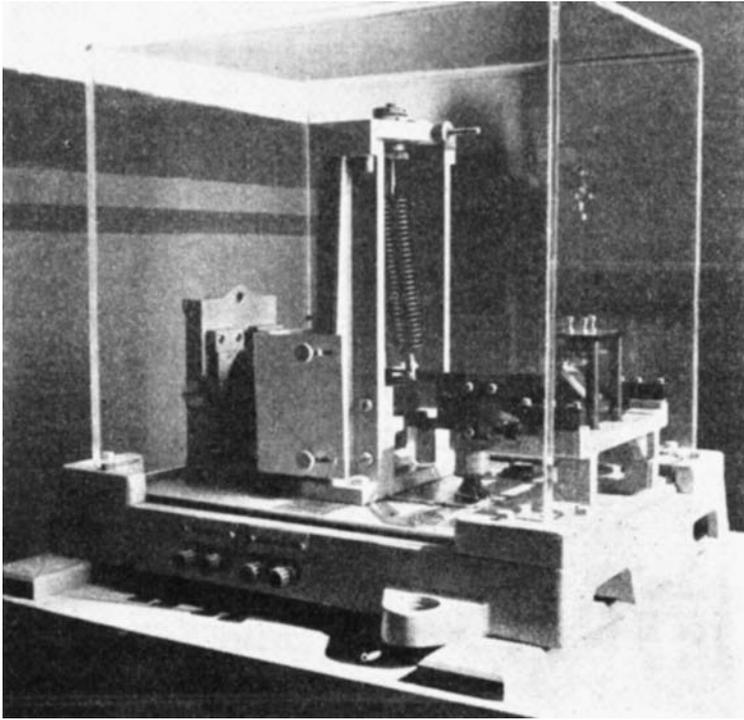


Figura 2.5.18.—Sismómetro Hiller-Stuttgart vertical del Observatorio Fabra en una fotografía realizada poco después de su instalación (fotografía cedida por el Observatorio Fabra).

Instrumento: Hiller-Stuttgart horizontal (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Fabra (Barcelona).
 Origen: Adquirido (Askania Werke).
 Período de funcionamiento: 1967 Ene.-1985 Dic.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	~0.5	~0.5
Período propio:	1.3	1.1
Período galvanómetro:	1.1	1.3
Amortiguamiento:	∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación:	7220	6540
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	30	30

Respuesta en polos y ceros (componente N-S):

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.8332 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.8332 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$5.7120 - j 0.0000$
		4.	$5.7120 + j 0.0000$

Estado actual: Se conservan en el mismo observatorio.

Comentarios: Instrumentos muy mal documentados.

Referencias: [Gon00], [Ask55].

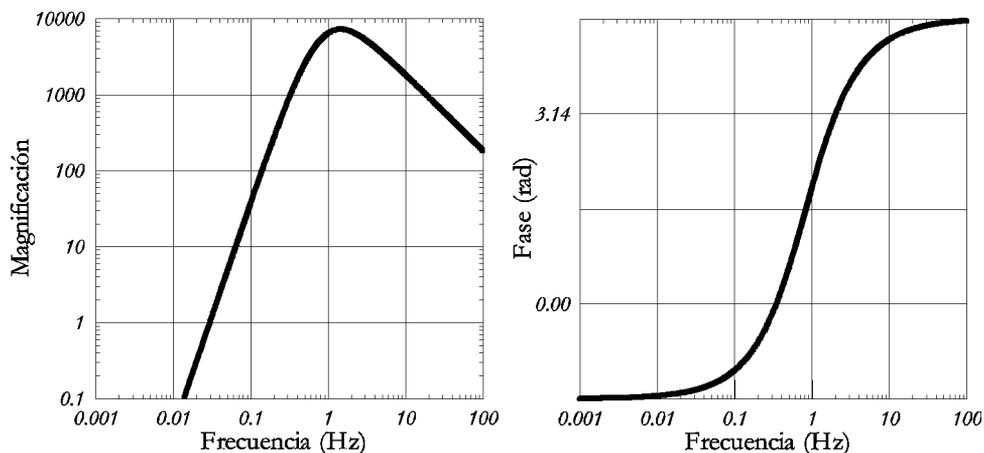


Figura 2.5.19.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 7220$, $T_s = 1.3$, $T_g = 1.1$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).



Figura 2.5.20.—Sala de registro del Observatorio Fabra en una fotografía actual. A la derecha pueden verse los tambores de registro de los instrumentos Teledyne-Geotech actuales y, detrás suyo, los registradores Askania correspondientes a los sismómetros Hiller-Stuttgart (fotografía de J. E. Buxeda).

2.6. Observatorio Sismológico de Málaga

La estación sismológica de Málaga se hallaba situada, en un primer momento, a unos tres kilómetros al este de la ciudad, en la cima de uno de los últimos escalones que forman los montes de Málaga, en un paraje llamado Miramar, sobre la línea de partición de aguas de los barrancos de «La Caleta» y «El Café». Se halla a unos 500 m del mar y edificada sobre terrenos terciarios formados por calizas triásicas. Actualmente, la ciudad ha crecido hasta englobarla en su trama urbana.

El edificio, que comenzó a prestar servicio en 1913, es de base rectangular de 13,5 m por 9,5 m y consta de dos plantas y una pequeña torre. La planta baja se compone de un salón central cuadrado de 8 m de lado en donde se encuentran instalados los sismógrafos y de tres pequeñas habitaciones más, una utilizada para el ahumado y fijado de bandas y las otras dos para despacho. La figura 2.6.1 muestra la distribución de la planta baja en 1924. Posteriormente, el edificio sufrió una ampliación como puede verse en la figura 2.6.2.

En los años sesenta se eligió esta estación para equiparla con instrumentos de la nueva WWSSN (véase la figura 2.6.3).

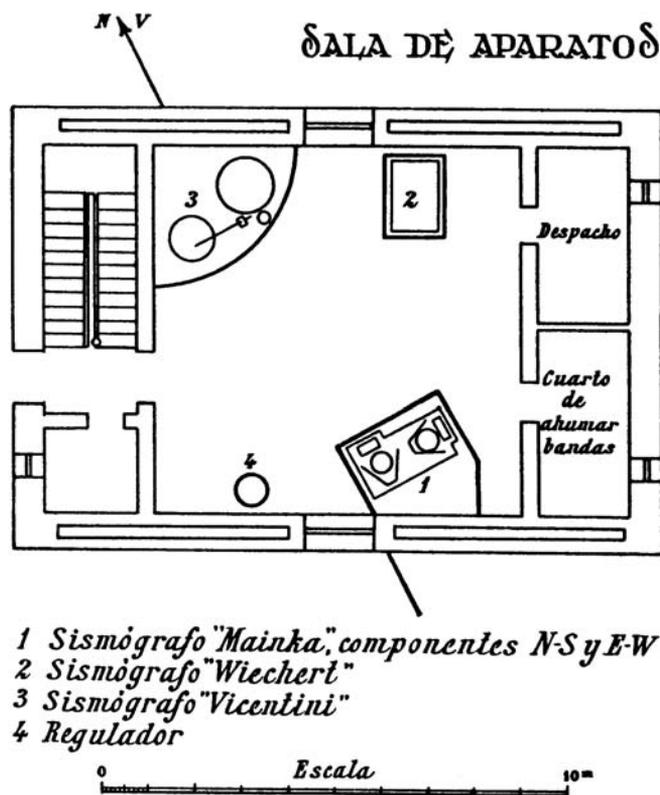


Figura 2.6.1.—Planta del Observatorio Sismológico de Málaga y distribución de los sismógrafos en la planta baja en el año 1924 (de [Tor24]).



Figura 2.6.2.—Fotografía del Observatorio Sísmico de Málaga tomada en los años inmediatamente posteriores a la guerra civil española (fotografía conservada en el archivo del Observatorio de Cartuja).

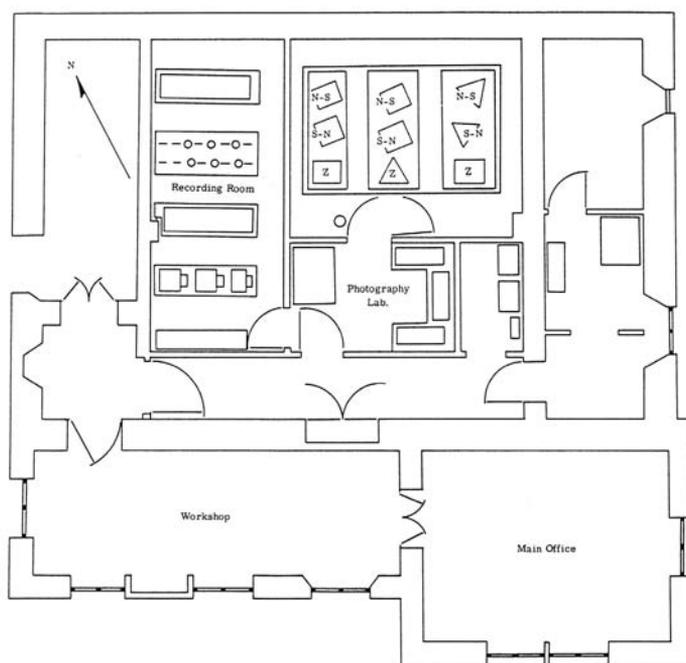


Figura 2.6.3.—Planta del Observatorio Sismológico de Málaga mostrando la instalación de los sensores Hiller-Stuttgart y los pertenecientes a la WWSSN, así como sus registradores.

MÁLAGA



Jardin de la Station
et installations
de Météorologie.

Sismographe
«Wiechert»
(Composante Z)



Station Sismologique
et
Météorologique.

Figura 2.6.4.—Composición publicada en [Tor24] en donde puede apreciarse el sismógrafo Wiechert vertical y el edificio en su estado original.

Instrumento: Bosch-Omori (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga)

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1914-1924 [Lop90].

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 25 kg	25
Período propio: (~15-20 s) [Gal32]	(~15-20) [Gal32]
Amortiguamiento: –	–
Rozamiento:	
Magnificación: (13)	(13)
Tipo de registro: Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro: 15 mm/min. [Bos10]	15 [Bos10]
Longitud de la plumilla: 250	250

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.0000 - j 0.3696$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $0.0000 + j 0.3696$

Estado actual: Desaparecidos.

Comentarios: Suponemos que, una vez desmontados, estos sismógrafos se trasladaron al Observatorio de Almería donde hemos encontrado partes de cuatro instrumentos diferentes de este modelo en vez del par de aparatos esperado.

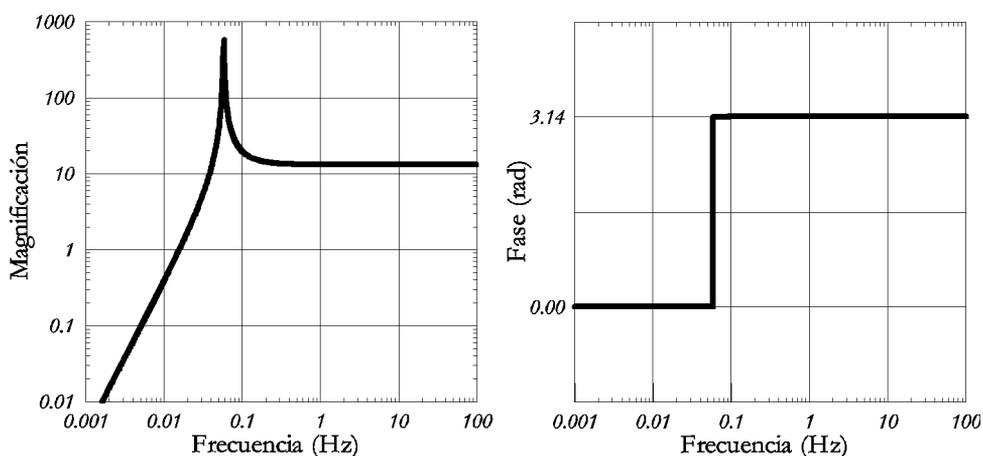
Referencias: [Gal32].

Figura 2.6.5.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Bosch-Omori con las constantes instrumentales $A_m = 13$, $T_0 = 17.0$ y $\varepsilon = 1.0$.



Figura 2.6.6.—Sismógrafos Bosch-Omori E-W (centro) y N-S (derecha) instalados en el Observatorio de Málaga (fotografía conservada en el archivo de la Subdirección General de Geofísica y Geodesia, IGN. Madrid).

Instrumento: Vicentini vertical

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1915-1927 [Lop90].

Características:

Componente: Z
 Masa: 50
 Período propio: (0.9)
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: (115)
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 10
 Longitud de la plumilla: (135)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1	$0.0000 - j 6.9813$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2	$0.0000 + j 6.9813$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Su registro se inscribía en una única banda de papel ahumado en donde también se registraban las componentes del microsismógrafo Vicentini.

Referencias: [Gal32].

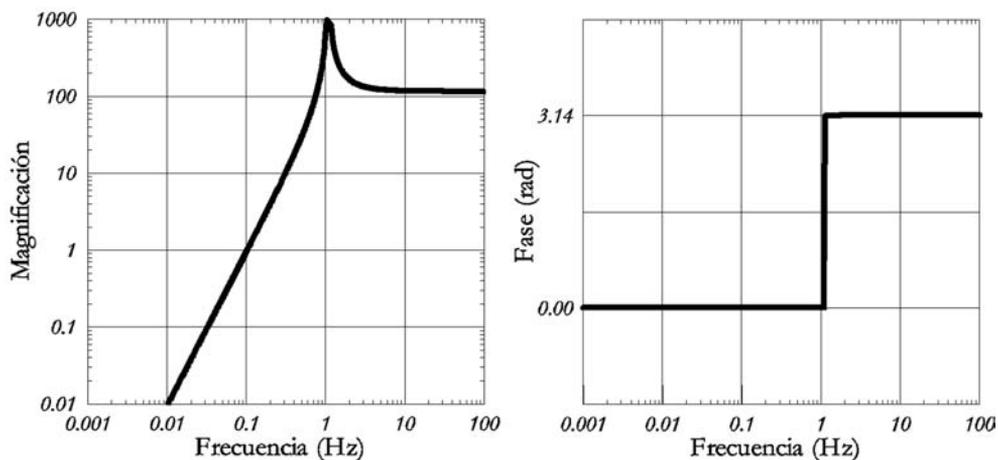


Figura 2.6.7.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Vicentini vertical con las constantes instrumentales $A_m = 115$, $T_0 = 0.9$ y $\varepsilon = 1.0$.

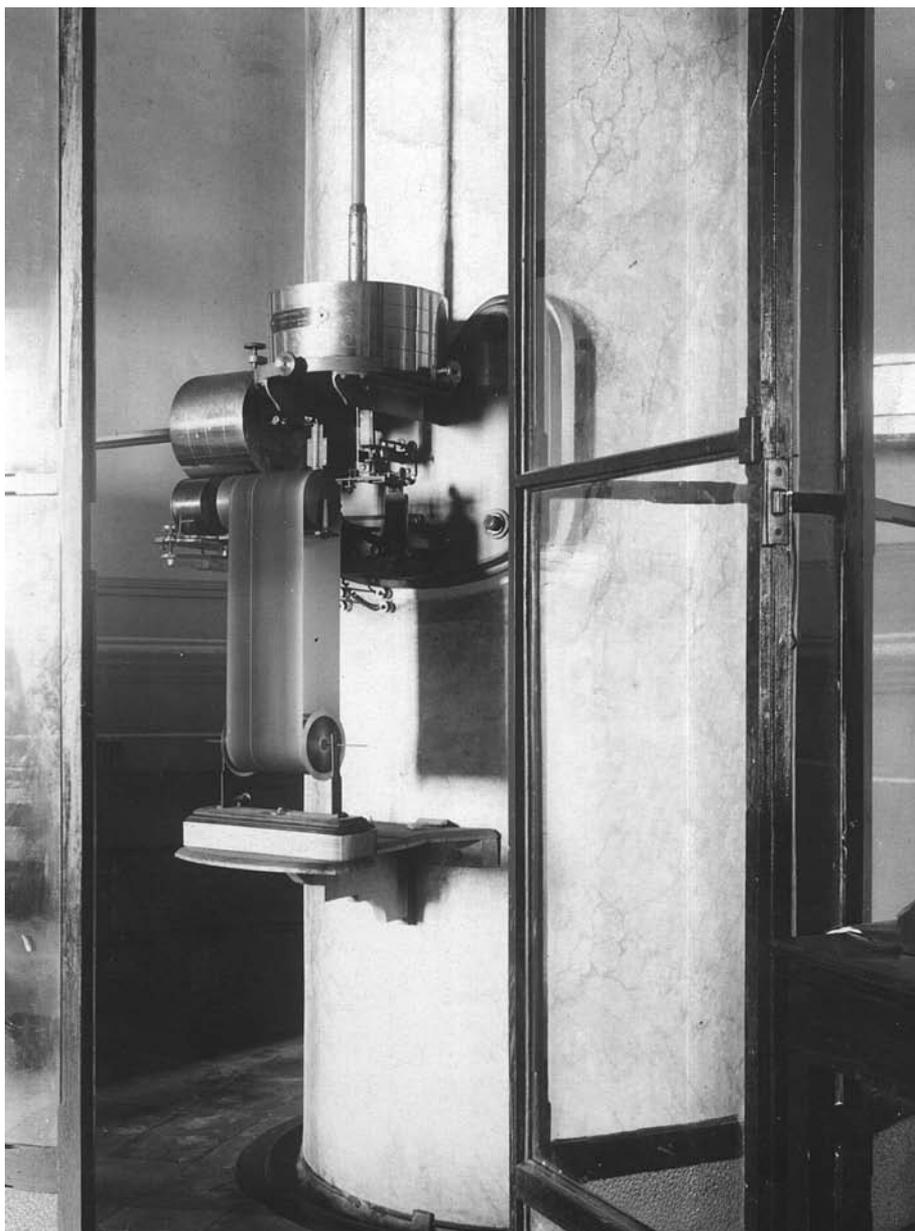


Figura 2.6.8.—Microsismógrafo Vicentini (derecha) y sismógrafo Vicentini vertical (izquierda) instalados en el Observatorio de Málaga. Obsérvese la columna redonda que los sostiene y su separación del suelo del pabellón (fotografía conservada en el Observatorio de Cartuja).

Instrumento: Microsismógrafo Vicentini

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1915-1926 (N-S); 1915-1927; 1929-1935 (E-W) [Lop90].

Características:

Componente: N-S; E-W
 Masa: 100
 Período propio: 2.4
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.005
 Magnificación: 70 (N-S); 80 (E-W)
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 10
 Longitud de la plumilla: (150)

Respuesta en polos y ceros.

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 2.6180$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 2.6180$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Su registro se inscribía en una única banda de papel ahumado en donde también se registraba la componente vertical Vicentini.

Referencias: [Gal32].

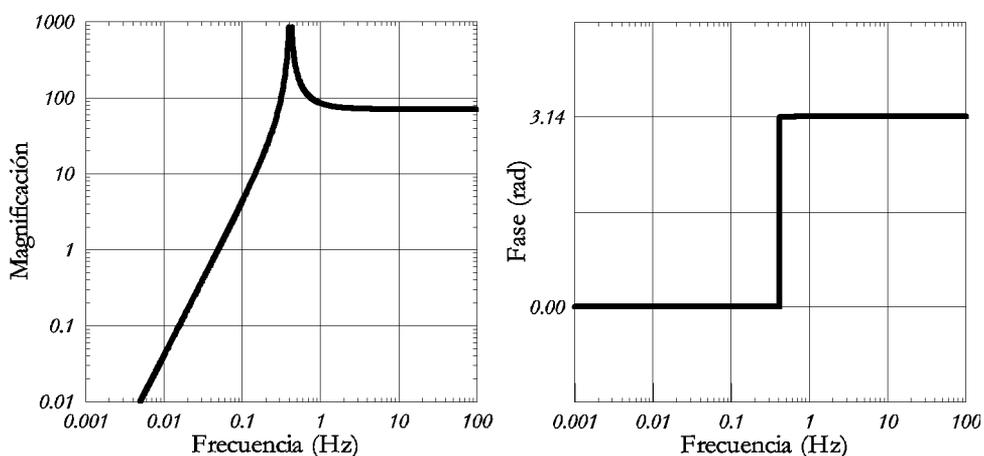


Figura 2.6.9.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el microsismógrafo Vicentini con las constantes instrumentales $A_m = 70$, $T_0 = 2.4$ y $\varepsilon = 1.0$.

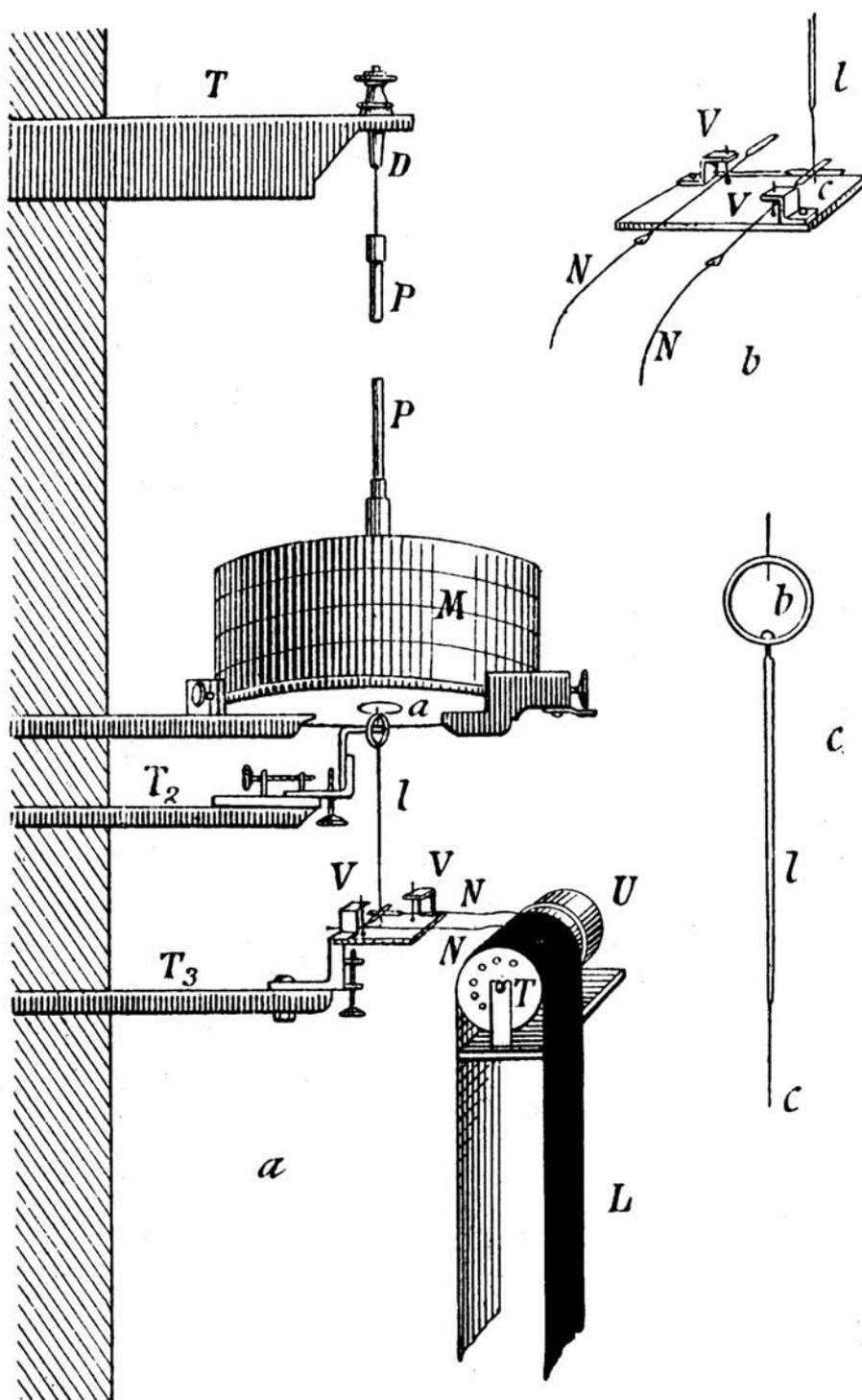


Figura 2.6.10.—Vista esquemática del microsismógrafo Vicentini en donde puede apreciarse la disposición de las plumillas inscriptoras (de [Gal21]). Véase una fotografía de este instrumento en la figura 2.6.8.

Instrumento: Wiechert vertical

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1923- 1938 [Lop90].

Características:

Componente: Z
 Masa: 80
 Período propio: 6.5-8
 Amortiguamiento: 3.5-4.5
 Rozamiento: 0.005
 Magnificación: 85-280 (desde 1936 Ene.)
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.3902 - j 0.8844$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 2. $0.3902 + j 0.8844$

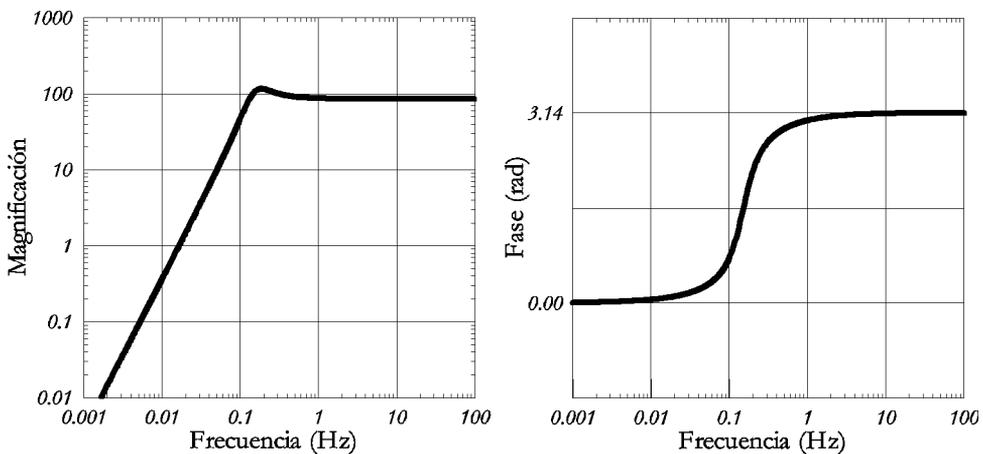
Estado actual: Se conservan las partes principales del mismo.**Comentarios:** Los primeros meses funcionó con período 5.8 s. y magnificación 31 [Tor24].**Referencias:** [Tor24], [Gal32].

Figura 2.6.11.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Wiechert vertical con las constantes instrumentales $A_m = 85$, $T_0 = 6.5$ y $\varepsilon = 4.0$.

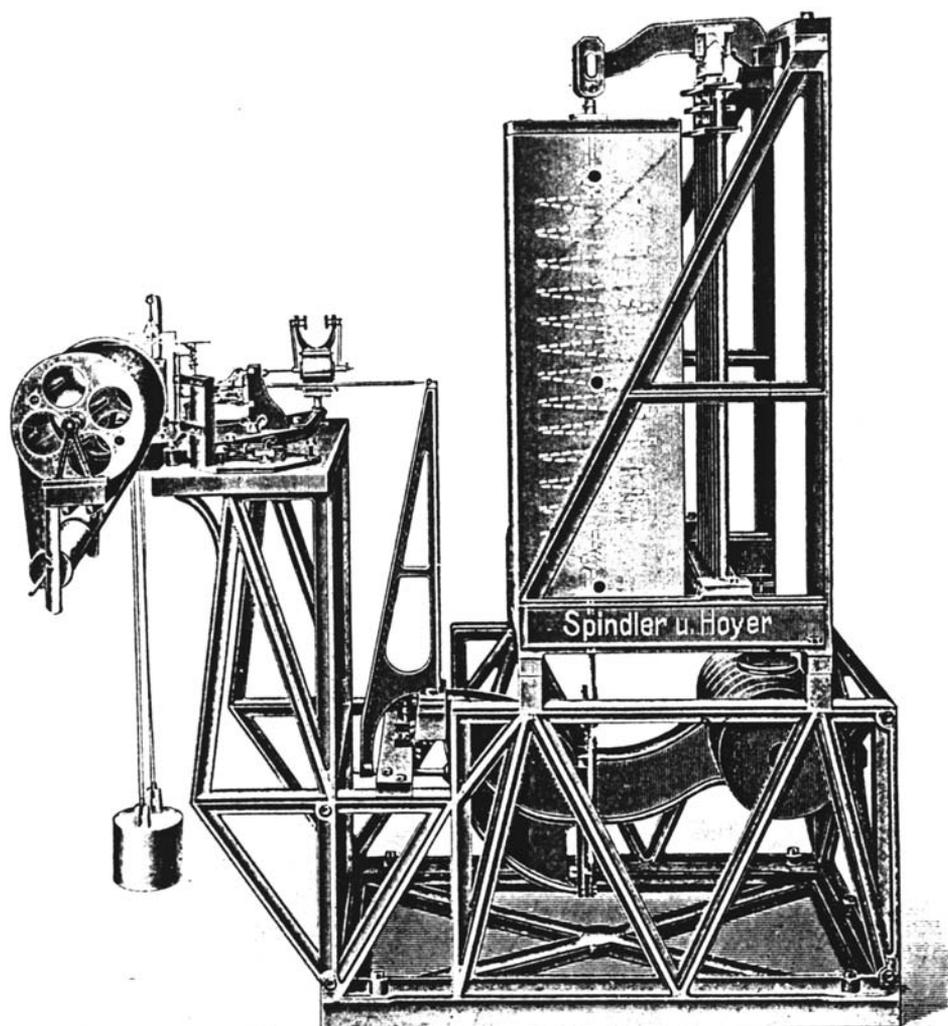


Figura 2.6.12.—No disponemos de ninguna fotografía de este instrumento (sólo la vista de la figura 2.6.4), en su lugar reproducimos un grabado del mismo (de [Ber32]).

Instrumento: Mainka (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Adquirido a la casa Erda (Göttingen).

Período de funcionamiento: 1924-1941.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	750	750
Período propio:	12	10-12
Amortiguamiento:	2- 3.5 (1936 Ene.)	2.5-3.5
Rozamiento:	0.007-0.003 (1936 Ene.)	~0.005
Magnificación:	130 -280 (1936 Ene.)	90-120
Tipo de registro:	Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro:	15	15
Longitud de la plumilla:		

Respuesta en polos y ceros:

Ceros:	1. 0.0000 + j 0.0000	Polos:	1. 0.1128 - j 0.5113
	2. 0.0000 + j 0.0000		2. 0.1128 + j 0.5113

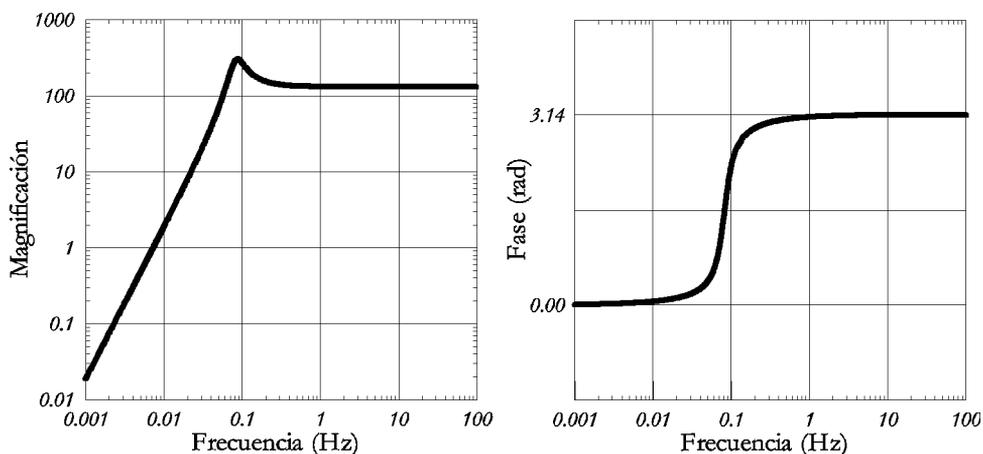
Estado actual: Desconocido.**Comentarios:** Los primeros meses funcionaron con período 10 s. y amplificación 62 (N-S) y 54 (E-W) [Tor24].**Referencias:** [Tor24], [Gal32].

Figura 2.6.13.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 130$, $T_0 = 12.0$ y $\varepsilon = 2.0$.

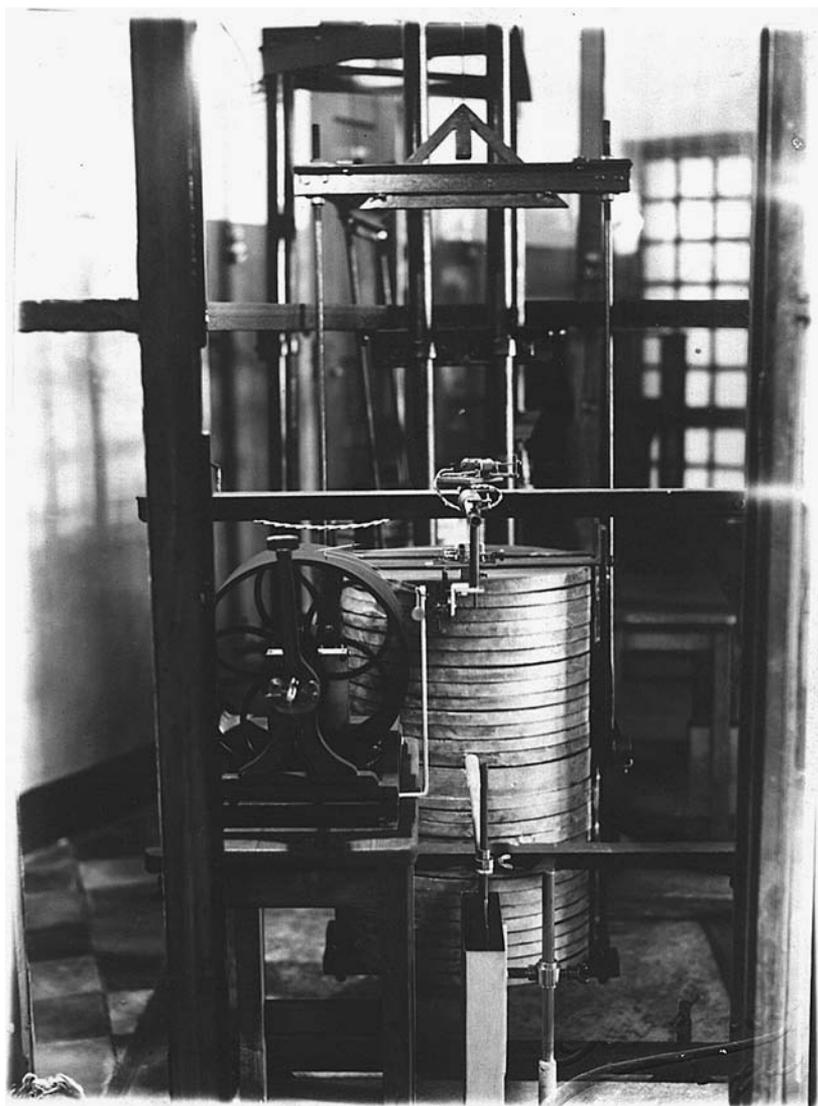


Figura 2.6.14.—Sismógrafos Mainka N-S (frontal) y E-W (segundo plano) del Observatorio de Málaga. Obsérvese que los tambores de registro son aún los pertenecientes a los sismógrafos Bosch-Omori (fotografía conservada en el Observatorio del Ebro).

Instrumento: Wiechert	
Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga). Origen: Período de funcionamiento: 1935 Ene.-1935 Sep.	
Características:	
Componente: NE-SW Masa: 1000 Período propio: 4.8 Amortiguamiento: 3.5 Rozamiento: 0.005 Magnificación: 160 Tipo de registro: Banda de papel ahumado Velocidad de registro: Longitud de la plumilla:	
Respuesta en polos y ceros:	
Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.4848 - j 1.2159$ 2. $0.4848 + j 1.2159$
Estado actual: Desaparecido.	
Comentarios: Este instrumento aparece en los <i>boletines</i> del período citado. Se trata de un instrumento del tipo Wiechert Toledo. En la estación sismológica de Alicante se conserva un plano del mismo. No se conoce su constructor; pero no hay duda que es de construcción nacional.	
Referencias:	

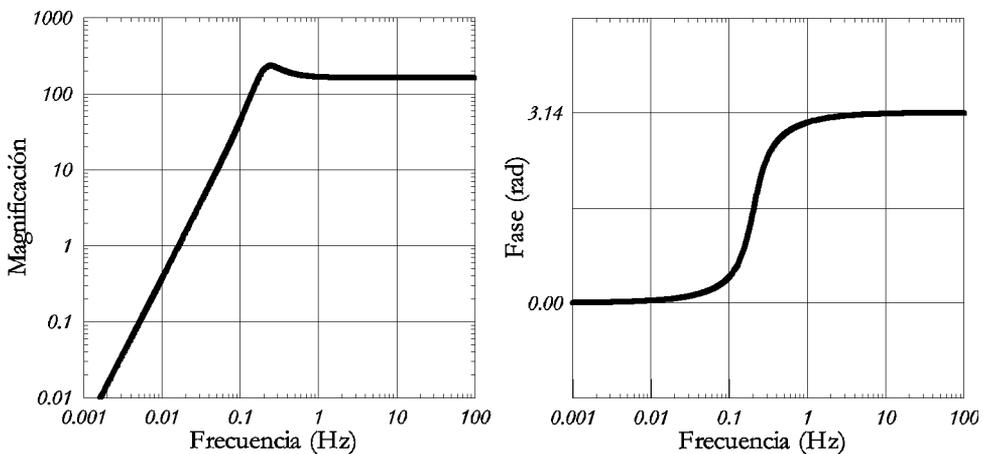


Figura 2.6.15.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Wiechert con las constantes instrumentales $A_m = 160$, $T_0 = 4.8$ y $\varepsilon = 3.5$.

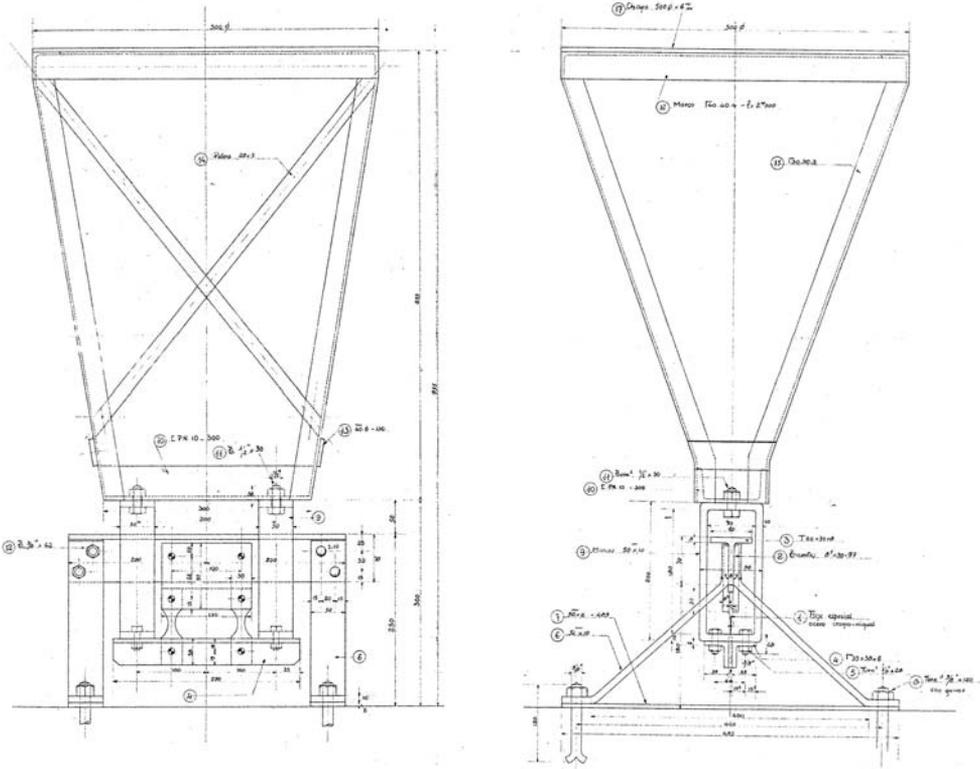


Figura 2.6.16.—Plano de construcción del sismógrafo Wiechert. No disponemos de ninguna fotografía de este aparato (documento conservado en el archivo del Observatorio de Alicante).

Instrumento: Péndulo vertical Cadarso

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1935 Jul.-1954 [Lop90].

Características:

Componente: NE-SW, NW-SE
 Masa: 1800
 Período propio: 2.2
 Amortiguamiento: 5
 Rozamiento: 0.005
 Magnificación: 1000-600 (desde 1942 Ene.)
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $1.3023 - j 2.5418$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $1.3023 + j 2.5418$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Instrumento muy mal documentado.
 No disponemos de ninguna fotografía del mismo.

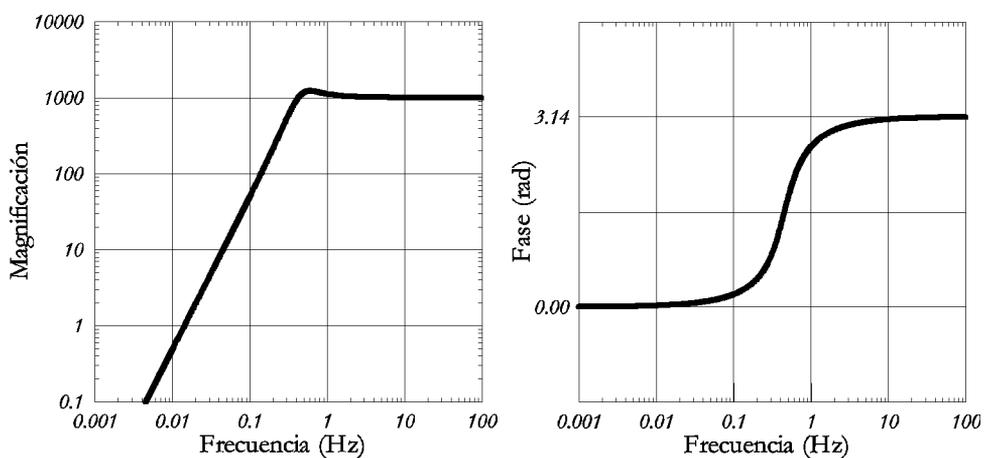
Referencias:

Figura 2.6.17.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo vertical Cadarso con las constantes instrumentales $A_m = 1000$, $T_0 = 2.2$ y $\varepsilon = 5.0$.

Instrumento: Mainka

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1945 Mar.-1953 Dic.

Características:

Componente: E-W
 Masa: 750
 Período propio: 3.5
 Amortiguamiento: 1.5
 Rozamiento: 0.005
 Magnificación: 50
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.2298 - j 1.7804$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.2298 + j 1.7108$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Reforma del anterior Mainka E-W consistente en un cambio del sistema inscriptor [Cam49].
La baja amplificación y período para este aparato es premeditado.

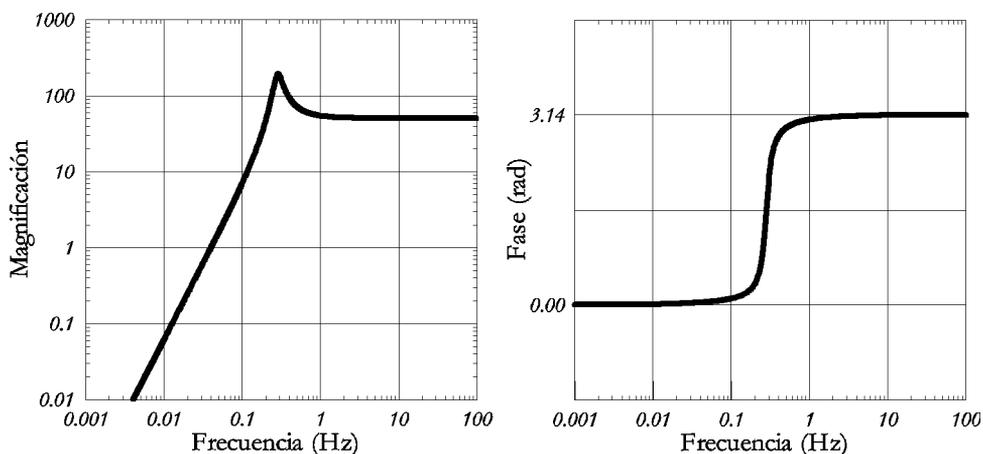
Referencias: [Cam49].

Figura 2.6.18.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka reformado con las constantes instrumentales $A_m = 50$, $T_0 = 3.5$ y $\varepsilon = 1.5$.

Instrumento: Mainka

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1942? Mar.-1953 Dic.

Características:

Componente: N-S
 Masa: 750
 Período propio: 9.5
 Amortiguamiento: 3-4.5
 Rozamiento: 0.01
 Magnificación: 300-350
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.2670 - j 0.6051$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.2670 + j 0.6051$

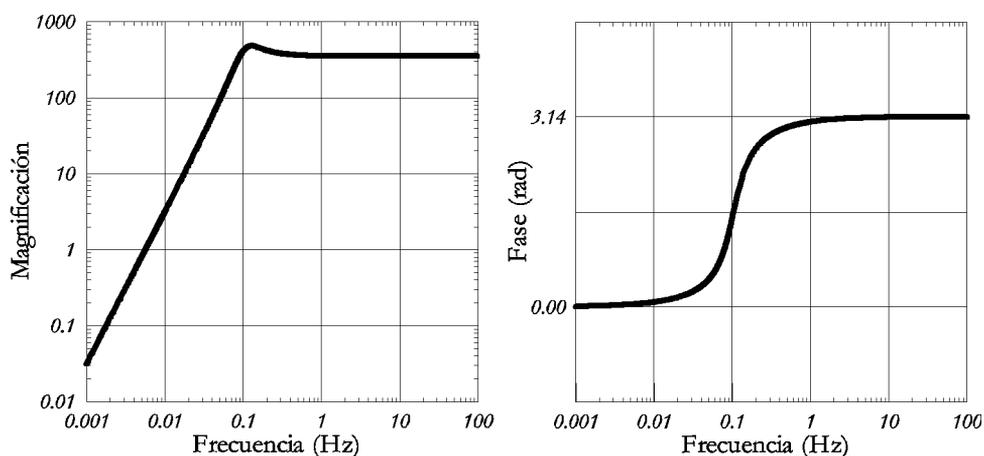
Estado actual: Desaparecido.**Comentarios:** Reforma del anterior Mainka N-S consistente en un cambio del sistema inscriptor [Cam49].**Referencias:** [Cam49].

Figura 2.6.19.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka reformado con las constantes instrumentales $A_m = 350$, $T_0 = 9.5$ y $\varepsilon = 4.5$.



Figura 2.6.20.—No disponemos de ninguna fotografía de este instrumento. En su lugar, reproducimos un fragmento del sismograma obtenido por el mismo en ocasión del terremoto regional del 23 de junio de 1948.

Instrumento: Victoria

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1939 Sep.-1959 May.

Características:

Componente: Z
 Masa: 100, 125 (1947 Mar.-1949 Dic.)
 Período propio: 0.3
 Período galvanómetro: 7.2 – 12 (desde 1942 Dic. a 1943 Ago.)
 Amortiguamiento: 30
 Magnificación: 1600
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 15

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$15.3456 - j 14.2534$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$15.3456 + j 14.2534$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$15.3456 - j 14.2534$
		4.	$15.3456 + j 14.2534$

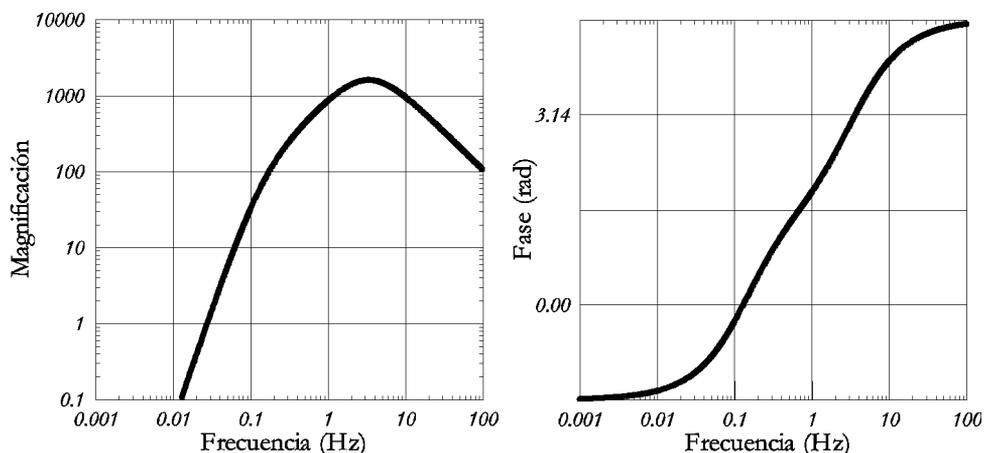
Estado actual: Se conservan algunas partes del mismo.**Comentarios:** Desde 1942 Dic. el galvanómetro de este instrumento actuaba acoplado simultáneamente al Victoria y al Wiechert-Guillamón. Por este motivo, y debido al acoplamiento entre los dos sismógrafos, el valor de los polos y ceros debe tomarse como indicativo.**Referencias:** [Gom42].

Figura 2.6.21.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Victoria vertical con las constantes instrumentales $A_m = 1600$, $T_s = 0.3$, $T_g = 7.2$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

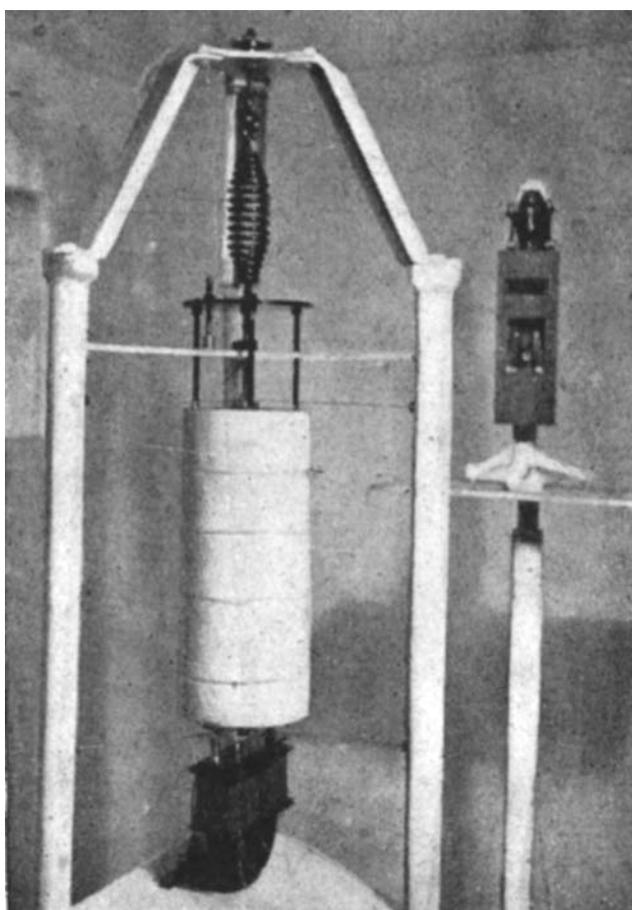
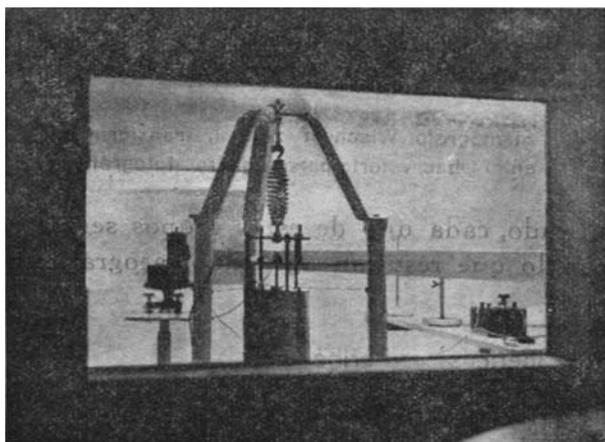


Figura 2.6.22.—Sismómetro Victoria con su galvanómetro instalados en el Observatorio de Málaga (de Gómez-Guillamón, 1942, *Las Ciencias*, 7, p. 24).

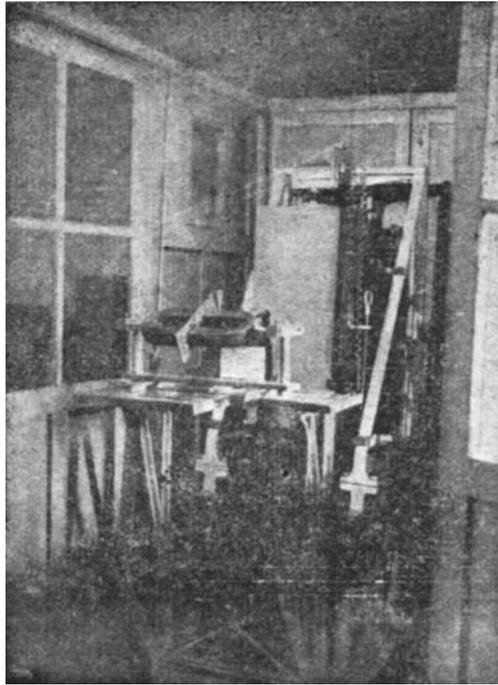


Figura 2.6.23.—Sismógrafo Wiechert Guillamón. La fotografía es de muy mala calidad; pero, hasta el momento, no se ha localizado otra (*Memoria del Observatorio Sismológico de Málaga, 1944*).



Figura 2.6.24.—En los talleres del Observatorio de Málaga se construyó una copia del mismo sistema electromagnético para el Wiechert vertical del Observatorio de Oporto y aquí reproducimos una imagen de esta parte del equipo (fotografía de J. Batlló).

Instrumento: Wood-Anderson

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Adquirido a Bendix International (USA).

Período de funcionamiento: –

Características:

Componente:

Masa: ~ 0.016 [Ber32]

Período propio: 0.8

Amortiguamiento: $b = 0.8$

Rozamiento: –

Magnificación: 2800

Tipo de registro: Banda de papel fotográfico

Velocidad de registro: 60

Longitud de la plumilla: –

Respuesta en polos y ceros:Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $6.2832 - j 3.7699$ 2. $6.2832 + j 3.7699$ **Estado actual:** Desaparecido.**Comentarios:** Probablemente se trata del mismo aparato que anteriormente estuvo en el Observatorio de Toledo.

No sabemos si llegó a funcionar. Es muy posible que no lo hiciese nunca.

Se sabe que llegó al Observatorio de Málaga en 1969.

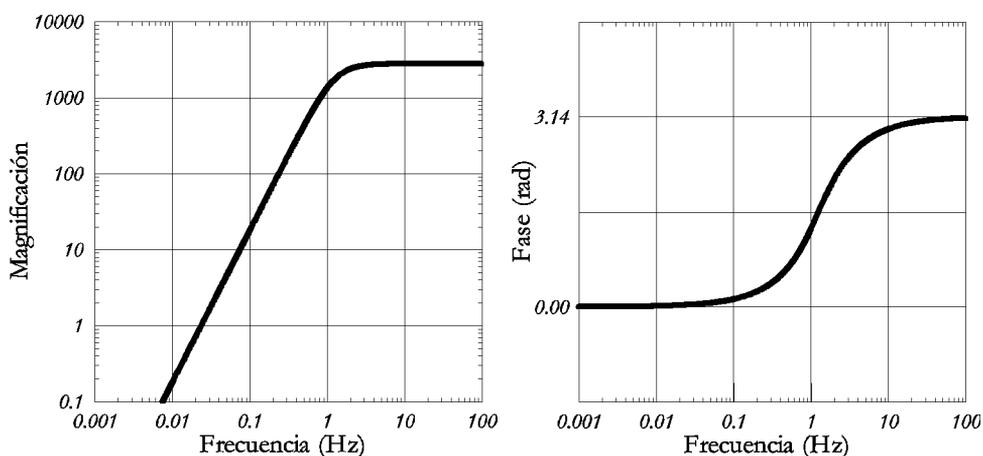
Referencias: [And25], [Ber32], [ADM69].

Figura 2.6.25.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Wood-Anderson con las constantes instrumentales $A_m = 2800$, $T_0 = 0.8$ y $b = 0.8$.

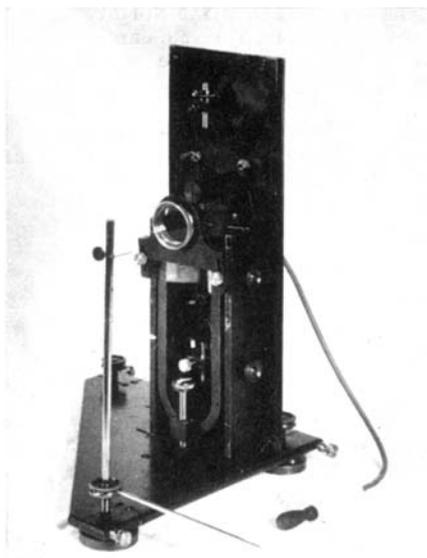


Figura 2.6.26.—No disponemos de ninguna fotografía del sismógrafo Wood-Anderson en el Observatorio de Málaga. Reproducimos aquí una fotografía de otro instrumento del mismo tipo (de [McC44]). Véase también la figura 2.8.37.

Instrumento Hiller-Stuttgart vertical

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga.

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1960-1966.

Características:

Componente: Z
 Masa: ~0,5
 Período propio: 1,5
 Período galvanómetro: 1,5
 Magnificación: 8500
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.1888 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.1888 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.1888 - j 0.0000$
		4.	$4.1888 + j 0.0000$

Estado actual: Se conserva en el Observatorio de Cartuja.**Comentarios:** El número de serie del sismómetro es el 551166.

Este instrumento se desmontó en 1966 y se envió al Observatorio de Cartuja.

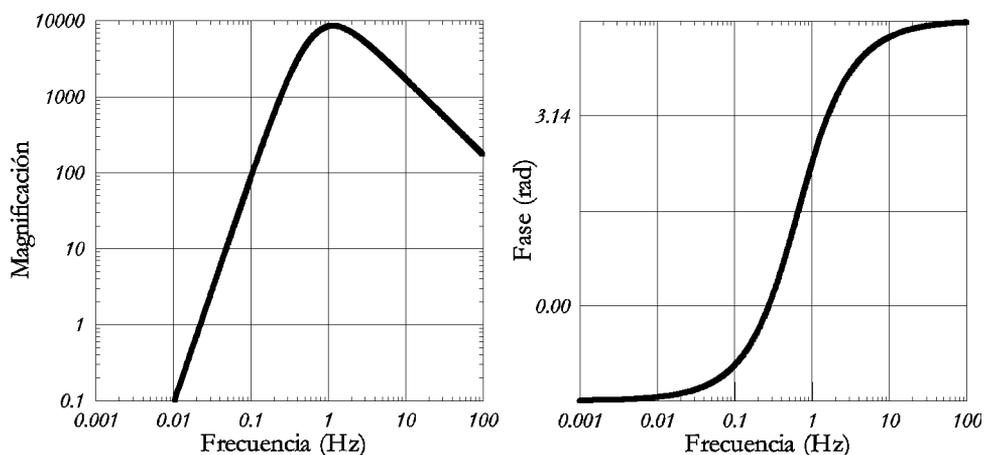
Referencias: [Ask55].

Figura 2.6.27.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart vertical con las constantes instrumentales $A_m = 8500$, $T_s = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

Instrumento: Hiller-Stuttgart horizontal (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga.

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1960-1966.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	~0.5	~0.5
Período propio:	1.5	1.5
Período galvanómetro:	1.5	1.5
Amortiguamiento:	∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación:	7300	7100
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	60	60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.1888 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.1888 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.1888 - j 0.0000$
		4.	$4.1888 + j 0.0000$

Estado actual: Se conservan en el Observatorio de Cartuja.

Comentarios: Los números de serie de estos aparatos son el 551177 y el 551178. Estos instrumentos se desmontaron en 1966 y se enviaron al Observatorio de Cartuja.

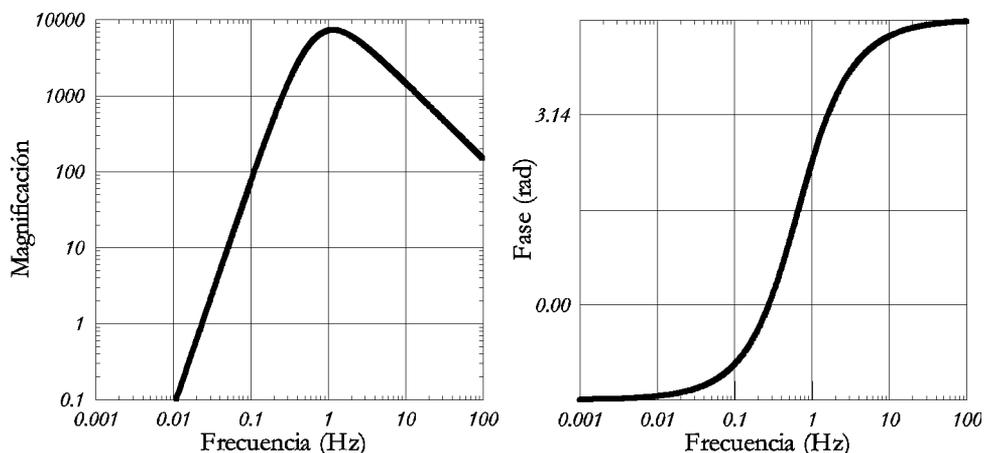
Referencias: [Ask55].

Figura 2.6.28.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 7200$, $T_s = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

Instrumento: Benioff, model 1051

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Cedido por el USCGS.

Período de funcionamiento: 1962 Mar.-1992.

Características:

Componente: Z
 Masa: 107.5
 Período propio: 1.0
 Período galvanómetro: 0.75
 Amortiguamiento: $b = 0.67$
 Magnificación: 76000
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.2097 - j 4.6644$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.2097 + j 4.6644$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$8.3776 - j 0.0000$
		4.	$8.3776 + j 0.0000$

Estado actual: Se conserva en el mismo observatorio.

Comentarios: La magnificación de este aparato varió entre 25000 y 76000 según las épocas.
 El número de serie del sismómetro es el 256.

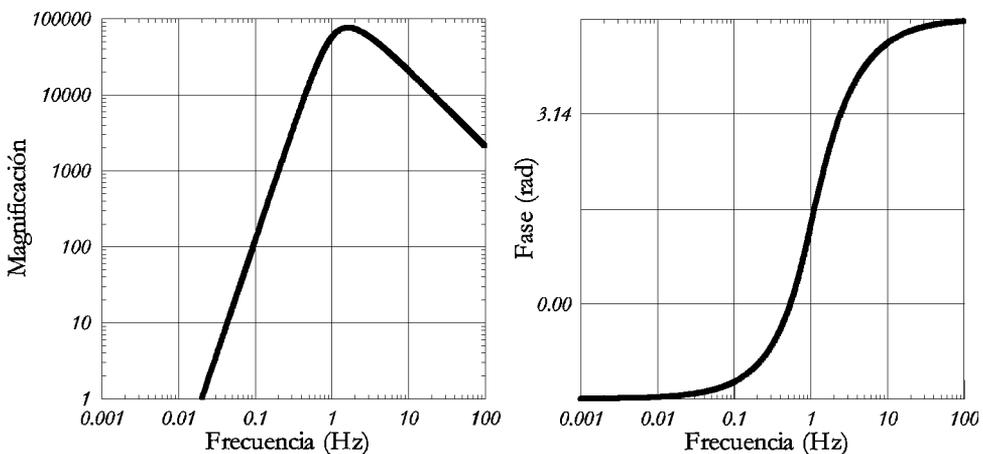
Referencias: [Ben32].

Figura 2.6.29.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Benioff, model 1051, vertical con las constantes instrumentales $A_m = 76000$, $T_s = 1.0$, $T_g = 0.75$ y amortiguamiento $b = 0.67$.



Figura 2.6.30.—En primer plano, conjunto de sensores Benioff, horizontales y vertical, instalados en el Observatorio de Málaga (fotografía de A. Henares).

Instrumento: Benioff, model 1101 (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Cedido por el USCGS.

Período de funcionamiento: 1962 Mar.-1992.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 107.5	107.5
Período propio: 1.0	1.0
Período galvanómetro: 0.75	0.75
Amortiguamiento: $b = 0.67$	$b = 0.67$
Magnificación: 37000	37000
Tipo de registro: Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro: 60	60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. 0.0000 + j 0.0000	Polos: 1. 4.2097 - j 4.6644
2. 0.0000 + j 0.0000	2. 4.2097 + j 4.6644
3. 0.0000 + j 0.0000	3. 8.3776 - j 0.0000
	4. 8.3776 + j 0.0000

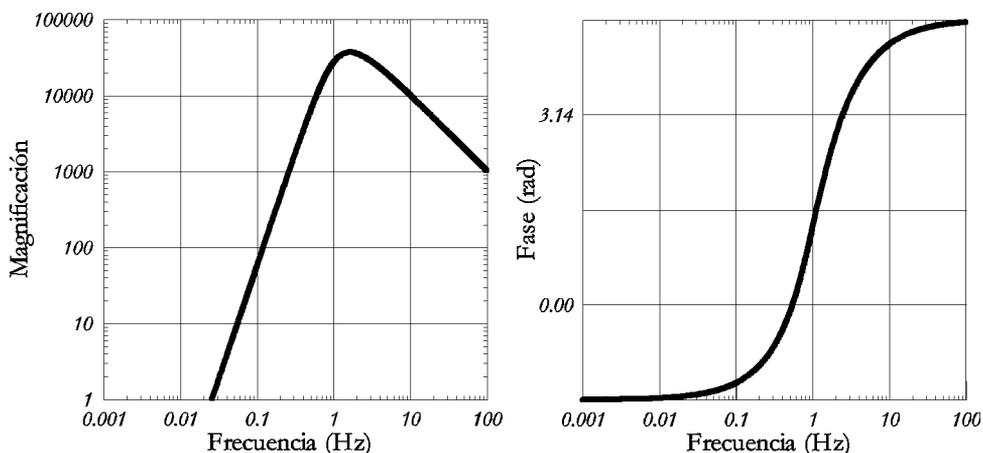
Estado actual: Se conservan en el mismo observatorio.**Comentarios:** La magnificación de estos aparatos varió entre 25000 y 37000 según las épocas. Los números de serie de los sismómetros son los 226 y 268.**Referencias:**

Figura 2.6.31.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Benioff, model 1101, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 37000$, $T_s = 1.0$, $T_g = 0.75$ y amortiguamiento $b = 0.67$.



Figura 2.6.32.—Tambor de registro fotográfico para tres componentes. Estos tambores se utilizaron tanto para los sensores Benioff como para los Sprengnether que conformaban las estaciones de la WWSSN. El tambor de la imagen se encuentra en el Observatorio de Toledo (fotografía del archivo del IGN).

Instrumento: Sprengnether S-5000 V

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Cedido por el USCGS.

Período de funcionamiento: 1962 Mar.-1992.

Características:

Componente: Z
 Masa: 11.2
 Período propio: 15.0 (30.0 hasta 1965)
 Período galvanómetro: 100.0
 Amortiguamiento: $h = 1.0$
 Magnificación: 1500 (750 hasta 1962 Dic.)
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 15

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.4188 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.4188 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.0628 - j 0.0000$
		4.	$0.0628 + j 0.0000$

Estado actual: Se conserva en el mismo observatorio.

Comentarios: En algunas épocas este instrumento funcionó con amortiguamiento $h = 0.75$.
 El número de serie del sismómetro es el 2226.

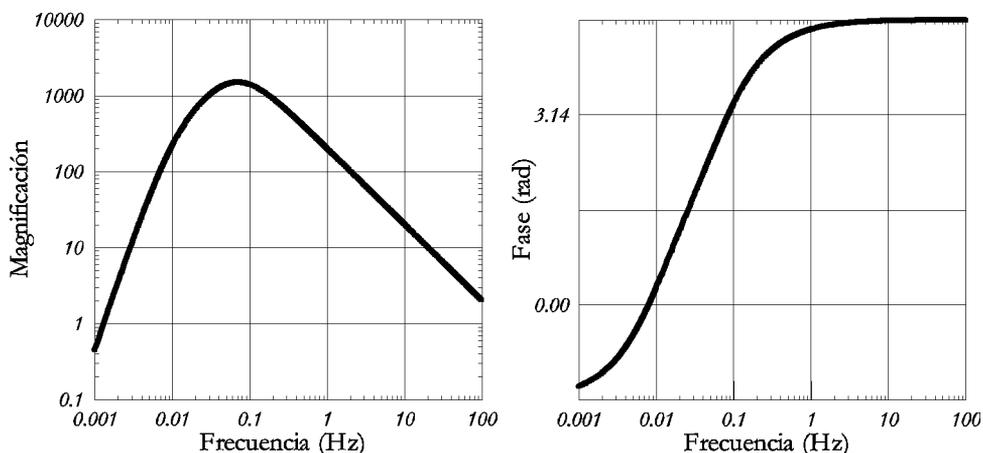
Referencias: [Nut61].

Figura 2.6.33.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether S-5000 V, componente vertical, con las constantes instrumentales $A_m = 1500$, $T_s = 15.0$, $T_g = 100.0$ y amortiguamiento $h = 1.0$.

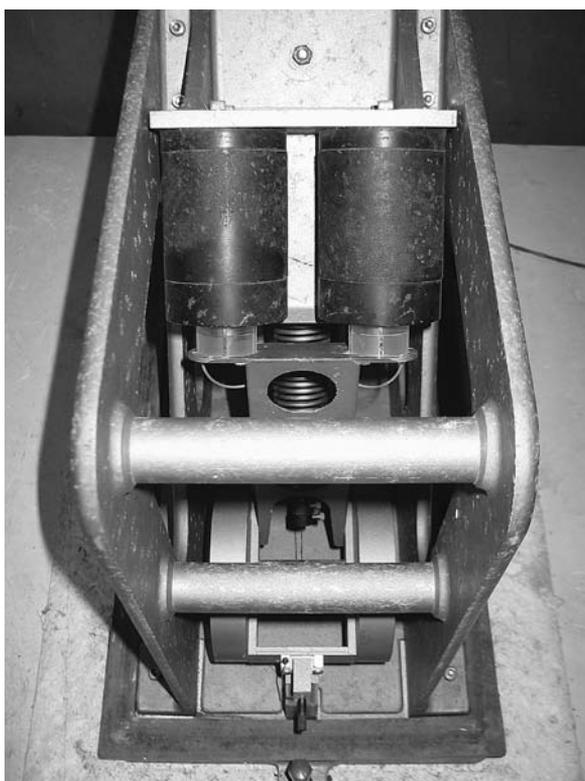
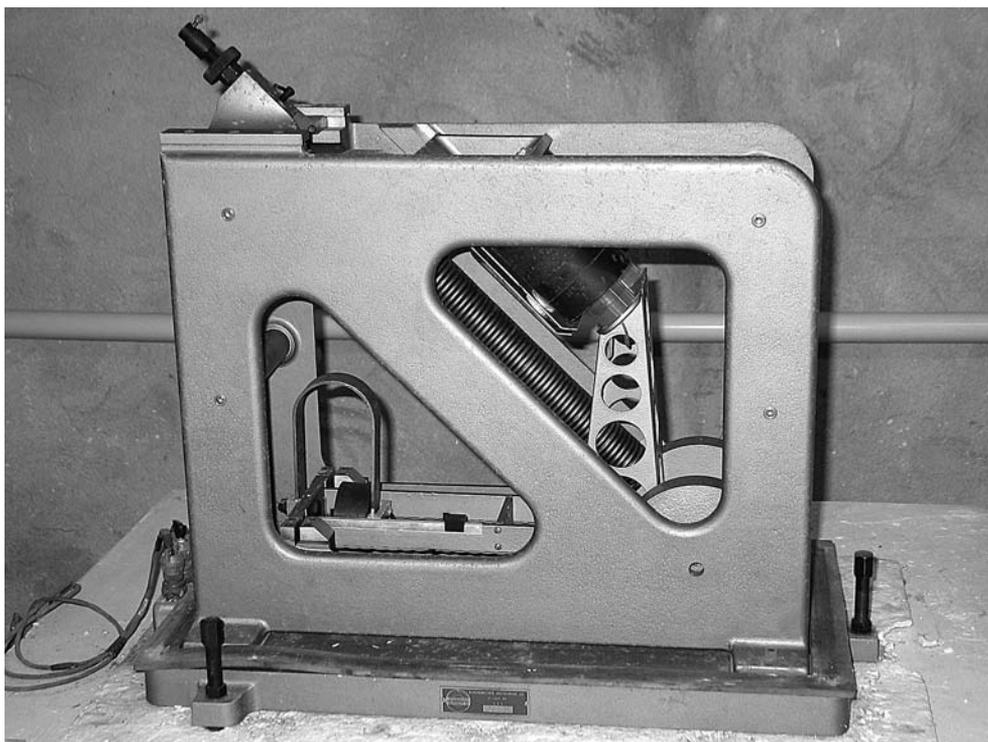


Figura 2.6.34.—Dos imágenes del sensor Sprengnether S-5000V del Observatorio de Málaga (fotografía de A. Henares). Véase también la figura 2.4.30.

Instrumento: Sprengnether S-5000 H (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Sismológico de Málaga (Málaga).

Origen: Cedido por el USCGS.

Período de funcionamiento: 1962 Mar.-1992.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 10.7	10.7
Período propio: 15.0 (30.0 hasta 1965)	15.0 (30.0 hasta 1965)
Período galvanómetro: 100.0	100.0
Amortiguamiento: $h = 1.0$	$h = 1.0$
Magnificación: 1550 (750 hasta 1962 Dic.)	1550 (750 hasta 1962 Dic.)
Tipo de registro: Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro: 15	15

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.4188 - j 0.0000$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $0.4188 + j 0.0000$
3. $0.0000 + j 0.0000$	3. $0.0628 - j 0.0000$
	4. $0.0628 + j 0.0000$

Estado actual: Se conservan en el mismo Observatorio.**Comentarios:** En algunas épocas estos instrumentos funcionaron con amortiguamiento $h = 0.75$.

Los números de serie de los instrumentos son los 2145 y 2201.

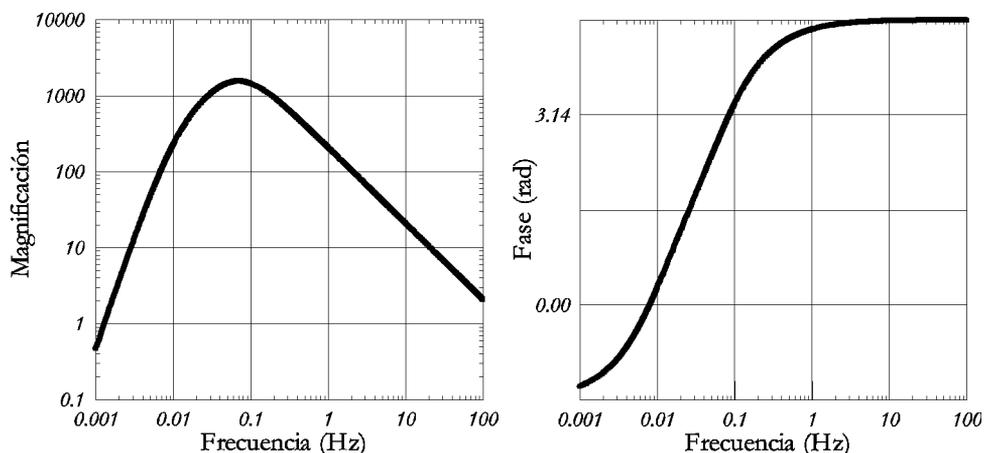
Referencias: [Nut61].

Figura 2.6.33.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether S-5000 H, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 1500$, $T_s = 15.0$, $T_g = 100.0$ y amortiguamiento $h = 1.0$.

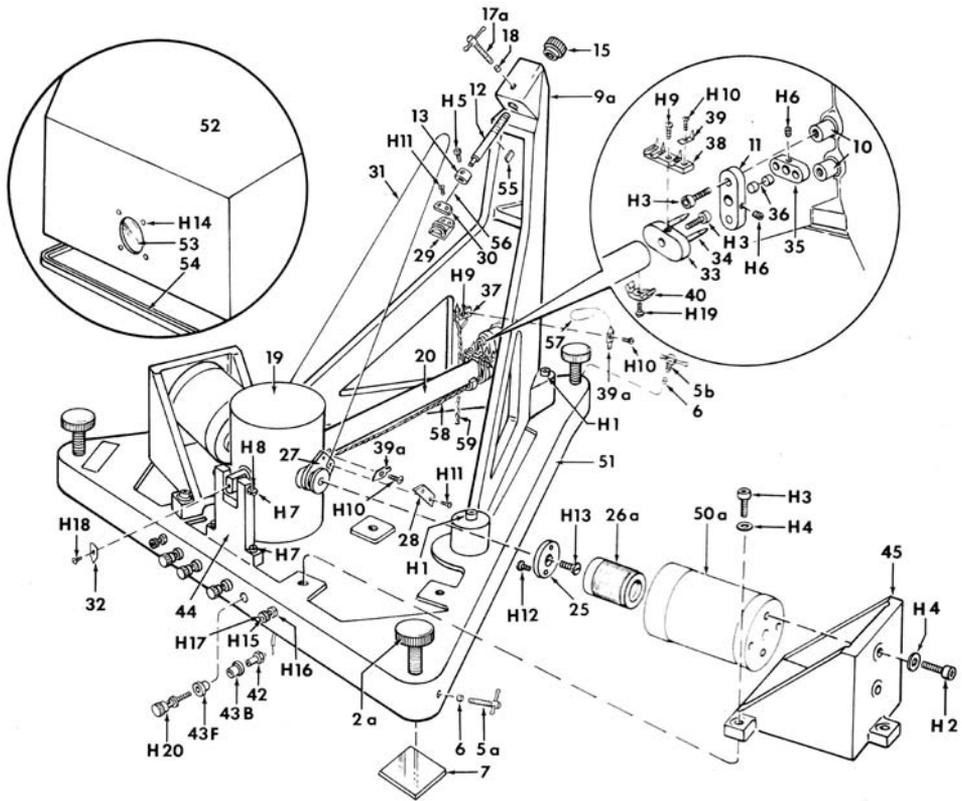


Figura 2.6.36.—Gráfico mostrando el despiece del sismómetro Sprengnether S-5000 H. Extraído del manual de instalación.

2.7. *Observatorio de San Fernando*

El Observatorio de la Marina en San Fernando es una institución que data de 1754 y, en lo que concierne a su relación con la sismología, siempre ha sido considerado como la primera estación sismológica peninsular, ya que dispone de un sismógrafo Milne desde 1898 (cabe recordar que en 1998 se celebró un congreso conmemorativo de dicho evento [Mar99]). El presente trabajo nos ha servido para obtener nuevos resultados al respecto. Por una parte, resulta ahora evidente que el Observatorio de San Fernando disponía ya de aparatos de registro sísmico desde 1887, como veremos (véase la figura 1.1). Así pues, podemos avanzar los comienzos del registro sísmico instrumental en España. Por otra parte, este trabajo pionero en el campo de la sismología no es exclusivo del Observatorio de San Fernando, sino que debe ser compartido con el Observatorio Astronómico de Madrid que por las mismas fechas disponía de varios sismoscopios y un micrófono sísmico.

El edificio principal del Observatorio de San Fernando, en donde se hallaban instalados los sismógrafos hasta 1945, se encuentra situado en una pequeña altura de 28,8 m sobre el nivel del mar, sobre un subsuelo de roca calcárea. Los dos sismógrafos Milne se hallaban situados en el salón meridiano Oeste del mismo. Los péndulos Grañó y Alfani se hallaban en el subterráneo del salón meridiano Este, con sus masas sostenidas de los robustos pilares que sirven de cimiento al gran círculo meridiano y encerrados en vitrinas de cristal. En 1934, en ocasión de la instalación de los sismógrafos Alfani, se reacondicionó totalmente la instalación de los sismógrafos en el ala Este.

En 1945 se hizo necesario desalojar rápidamente el ala del edificio en donde se encontraban los sismógrafos debido a un corrimiento del terreno. Esta parte del edificio fue derruida y el registro sísmico en San Fernando quedó interrumpido desde ese momento hasta 1966, año en que el IGC cedió al Observatorio de San Fernando los sismógrafos Sprengnether de período intermedio que se hallaban hasta ese momento en Toledo y se instalaron provisionalmente en el primero. Desde ese momento no ha cesado el desarrollo de los estudios sismológicos en el Observatorio, disponiendo en la actualidad de una completa red sísmica. El lector interesado en un mayor conocimiento de los avatares de este Observatorio en la época en que se iniciaron los estudios sismológicos encontrará abundante información en el trabajo de González [Gon92] y ciñéndonos estrictamente al desarrollo de la sismología en este observatorio, en el de Prían *et al.* [Pri92].



Figura 2.7.1.—Edificio principal del Observatorio de San Fernando, visto desde el Sur, en una fotografía antigua. La mayor parte de los sismógrafos se encuentran en el ala derecha del edificio. Obsérvese la presencia del pabellón magnético a la derecha del edificio principal (fotografía cedida por el Observatorio de San Fernando).

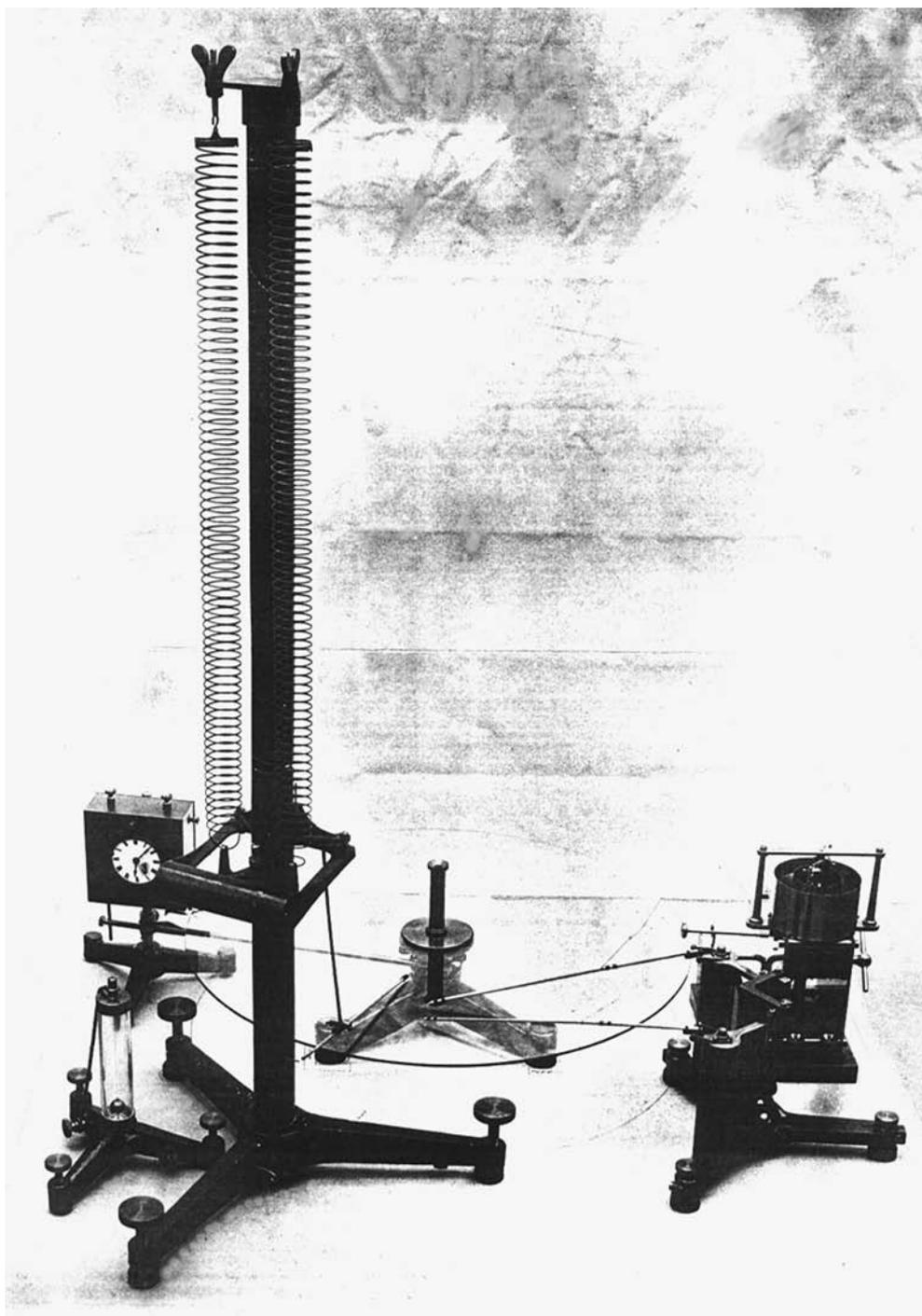


Figura 2.7.2.—Sismógrafo Ewing de tres componentes. A la derecha se observan las dos componentes horizontales del péndulo doble Ewing y la columna con muelles sostiene la componente vertical. En la parte baja a la izquierda se observa el sismoscopio que provocaba el disparo del instrumento. Fotografía del fabricante conservada en el archivo del Observatorio de San Fernando.

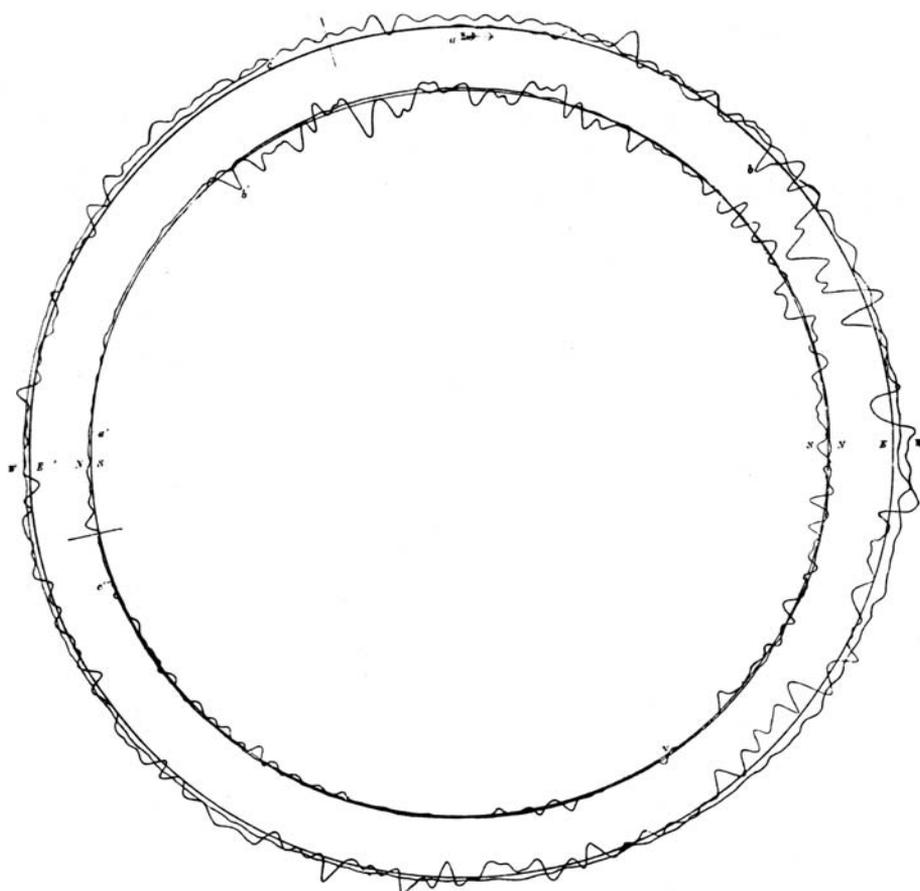


Figura 2.7.3.—Ejemplo de un registro obtenido con un sismógrafo Ewing de dos componentes (sin componente vertical). Cada componente se inscribía en círculos concéntricos. No tenemos constancia de que se obtuviese ningún registro con este instrumento en el Observatorio de San Fernando. El registro aquí reproducido es adaptado de *Nature*, 30, 1884, p. 174).

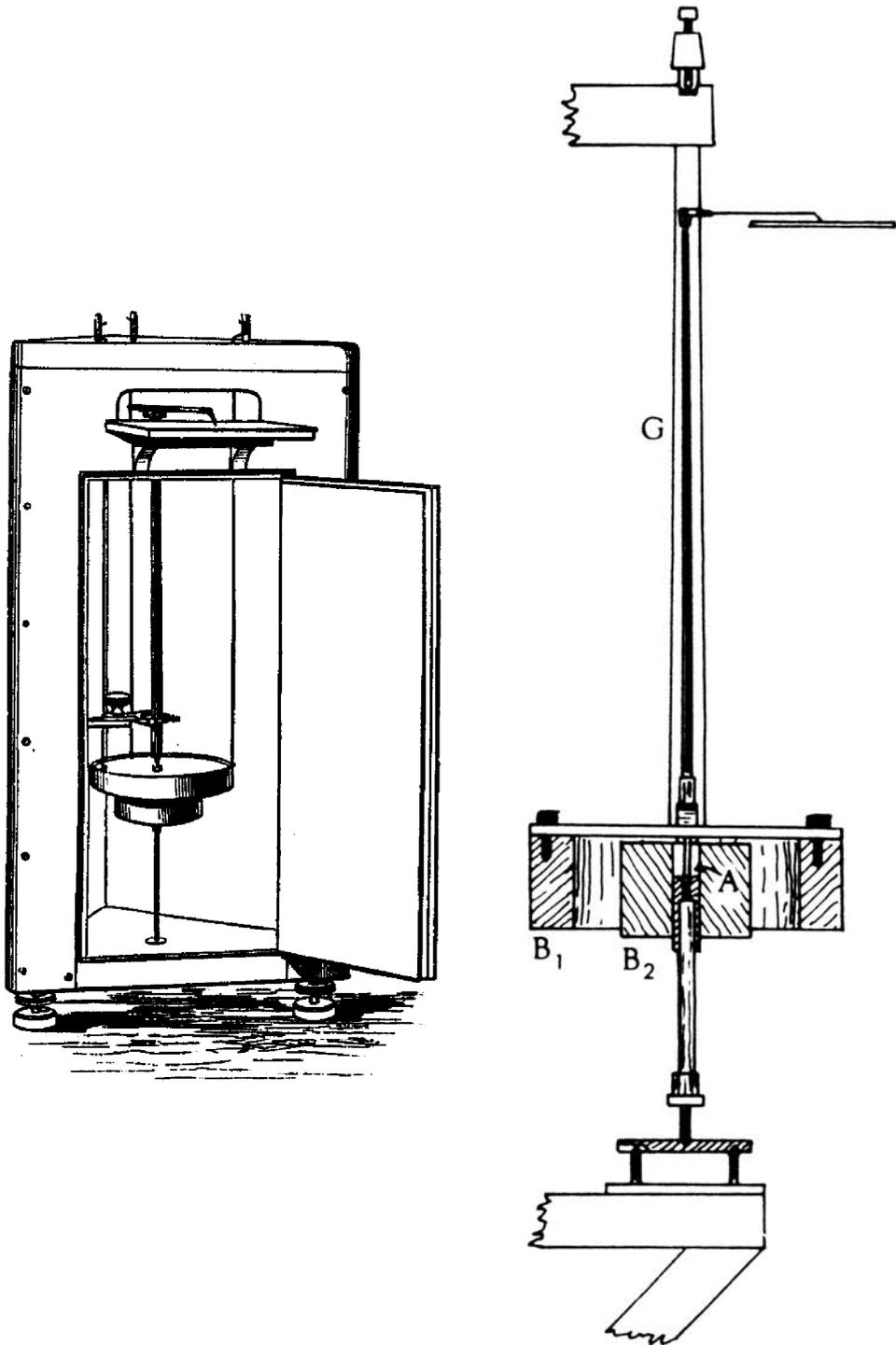


Figura 2.7.4.—Péndulo doble Ewing. No disponemos de ninguna fotografía de este instrumento y los grabados que presentamos están extraídos de [Ewi83] y [Ewi86].

Instrumento: Milne	
Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando). Origen: Donación de Robert K. Gray a la BAAS [BA11]. Período de funcionamiento: 1898 Ene.-1925 Mar.	
Características:	
Componente: E-W Masa: 0.43 Período propio: 18 (16 de 1909 Nov. a 1911 Mar.) Amortiguamiento: – Rozamiento: – Magnificación: 8-9 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico Velocidad de registro: 1 Longitud de la plumilla: (990)	
Respuesta en polos y ceros:	
Ceros: 1. 0.0000 + j 0.0000 2. 0.0000 + j 0.0000	Polos: 1. 0.0000 – j 0.3491 2. 0.0000 + j 0.3491
Estado actual: Desaparecido.	
Comentarios: Sismógrafo Milne núm. 6. Véase un ejemplo de sus registros en la figura 2.7.8.	
Referencias: [Dav21], [Gal32].	

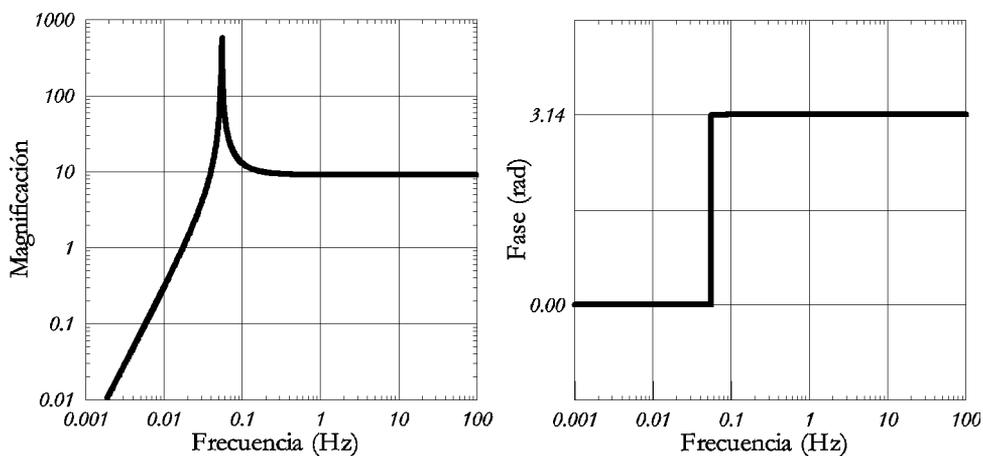


Figura 2.7.5.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Milne con las constantes instrumentales $A_m = 9$, $T_0 = 18$ y $\varepsilon = 1.0$.

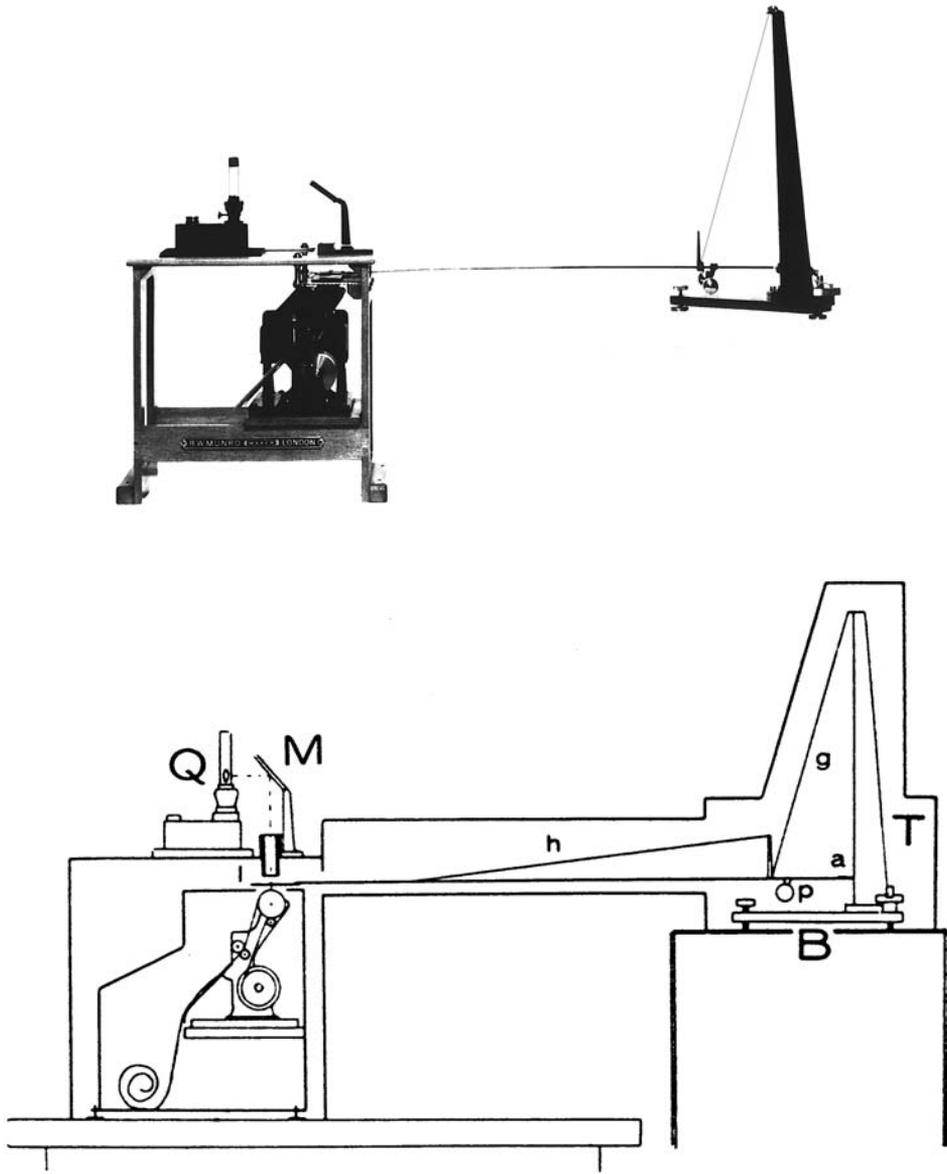


Figura 2.7.6.—Sismógrafo Milne de modelo antiguo, como el instalado en el Observatorio de San Fernando y esquema del mismo. Puede apreciarse la disposición del papel fotográfico y como incidía el haz de luz. La imagen que aquí reproducimos corresponde a un instrumento que se encuentra en el Reino Unido.

Instrumento: Milne	
Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando). Origen: Reforma del Milne E-W. Período de funcionamiento: 1925 Mar.-1934 May.; 1935 Ene.	
Características:	
Componente: E-W Masa: 0.43 Período propio: 19 Amortiguamiento: – Rozamiento: – Magnificación: 7 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico Longitud de la plumilla: (990)	
Respuesta en polos y ceros:	
Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.0000 - j 0.3307$ 2. $0.0000 + j 0.3307$
Estado actual: Desaparecido.	
Comentarios: Reforma del sismógrafo Milne núm. 6.	
Referencias: [Dav21], [Gal32].	

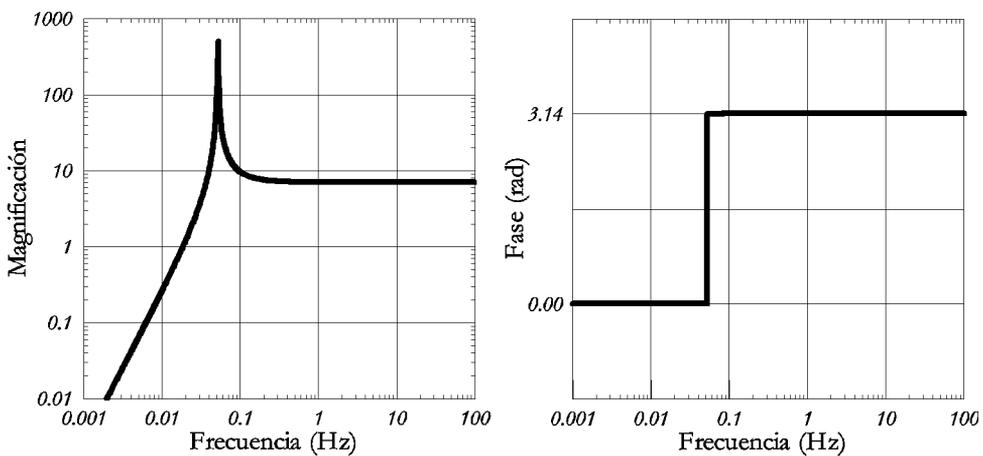


Figura 2.7.7.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Milne con las constantes instrumentales $A_m = 7$, $T_0 = 19$ y $\varepsilon = 1.0$.

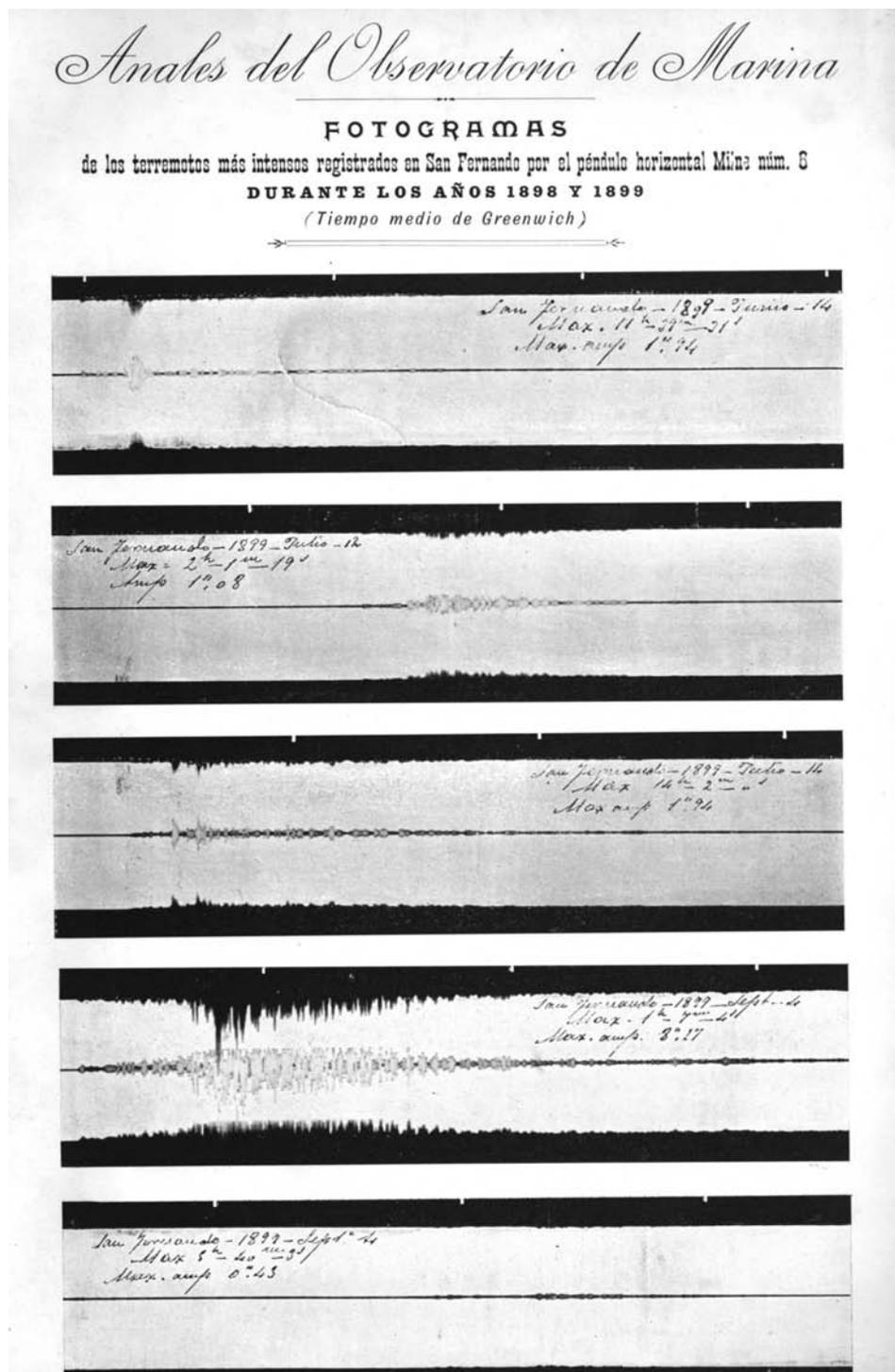


Figura 2.7.8.—Última página de las «observaciones sísmicas» publicadas anualmente en los *Anales del Observatorio de San Fernando* en donde se reproducen algunos de los principales registros del sismógrafo Milne para los años 1898 y 1899.

Instrumento: Milne	
Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando). Origen: Adquirido. Período de funcionamiento: 1909 Sep.-1934 May.; 1935 Ene.	
Características:	
Componente: N-S Masa: (0.43) Período propio: 20 Amortiguamiento: – Rozamiento: – Magnificación: 7 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico Velocidad de registro: 4 Longitud de la plumilla: (990)	
Respuesta en polos y ceros:	
Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.0000 - j 0.3142$ 2. $0.0000 + j 0.3142$
Estado actual: Desaparecido.	
Comentarios: Este instrumento corresponde a la segunda versión de este tipo de aparatos.	
Referencias: [Dav21], [Gal32], [Pri92].	

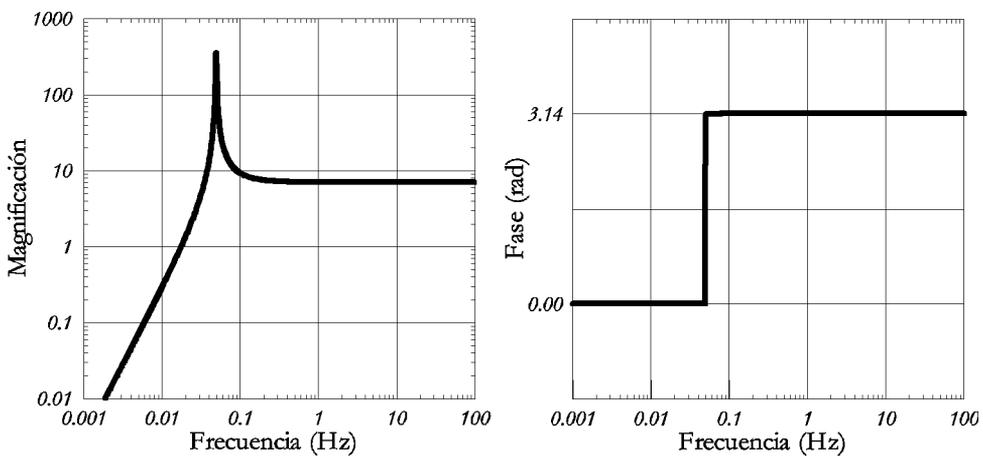


Figura 2.7.9.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Milne con las constantes instrumentales $A_m = 7$, $T_0 = 20$ y $\varepsilon = 1.0$.

Instrumento: Péndulo bifilar Graíño

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1912 May.-1934 Feb.

Características:

Componente: E-W
 Masa: 60
 Período propio: 24
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.001
 Magnificación: 12
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 6
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 0.2618$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.2618$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: En 1934 se reformó y reinstaló.

Referencias: [Gal32], [Pri92].

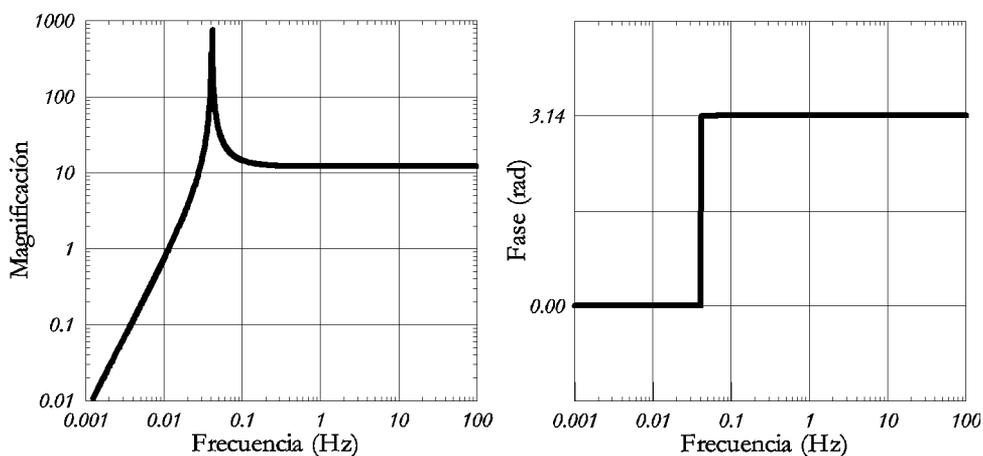


Figura 2.7.10.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo bifilar Graíño de 60 kg con las constantes instrumentales $A_m = 12$, $T_0 = 24.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

Instrumento: Péndulo bifilar Graño

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).
 Origen: Construido en el propio Observatorio.
 Período de funcionamiento: 1934 Mar.-1934 Dic.

Características:

Componente: N-S
 Masa: 60
 Período propio: 17
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.006
 Magnificación: 22
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 0.3696$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.3696$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Reforma del péndulo bifilar Graño efectuada al cambiar su emplazamiento.

Referencias: [Gal32], [Pri92].

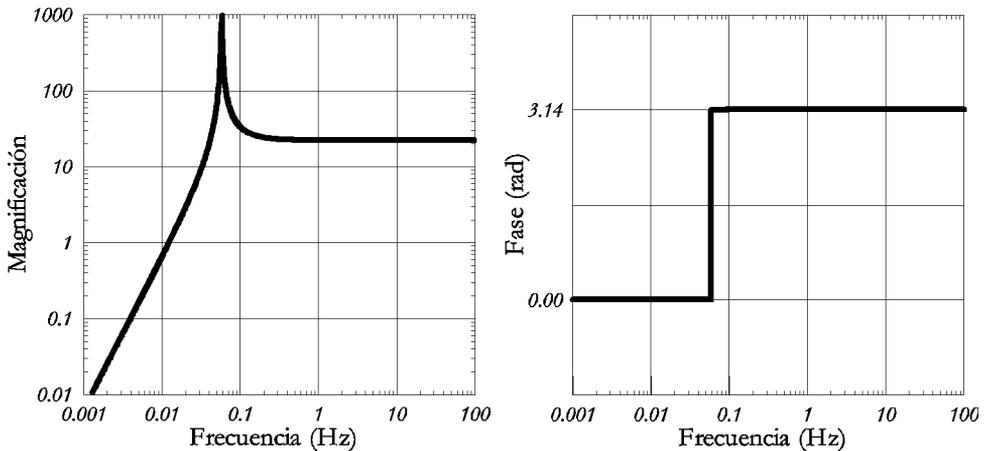


Figura 2.7.11.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo bifilar Graño de 60 kg con las constantes instrumentales $A_m = 22$, $T_0 = 17.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

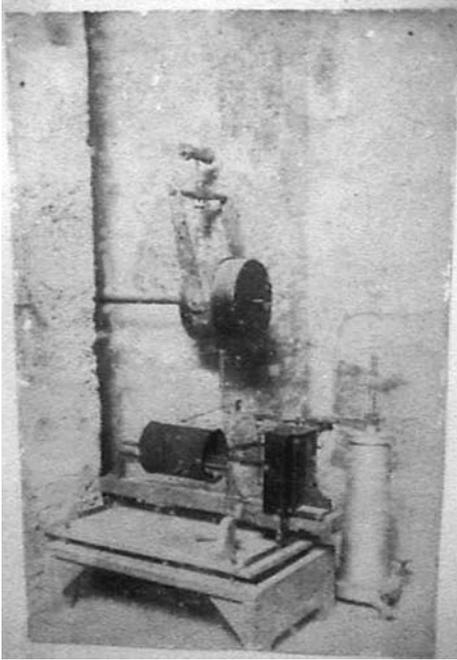


Figura 2.7.12.—Péndulo bifilar Graíño de 60 kg de masa. Fotografía conservada en el Observatorio de San Fernando (es la única existente de este instrumento).

Instrumento: Péndulo vertical Graíño

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).
 Origen: Construido en el propio Observatorio.
 Período de funcionamiento: 1921 Mar.-1945 Nov.

Características:

Componente: E-W
 Masa: 700
 Período propio: 2.0
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.06
 Magnificación: 270
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 0.2094$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 0.2094$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Entre 1939 Ene. y 1941 Jun. aparece en los *boletines* con magnificación 100 y rozamiento 0.06.

Referencias: [Gal32].

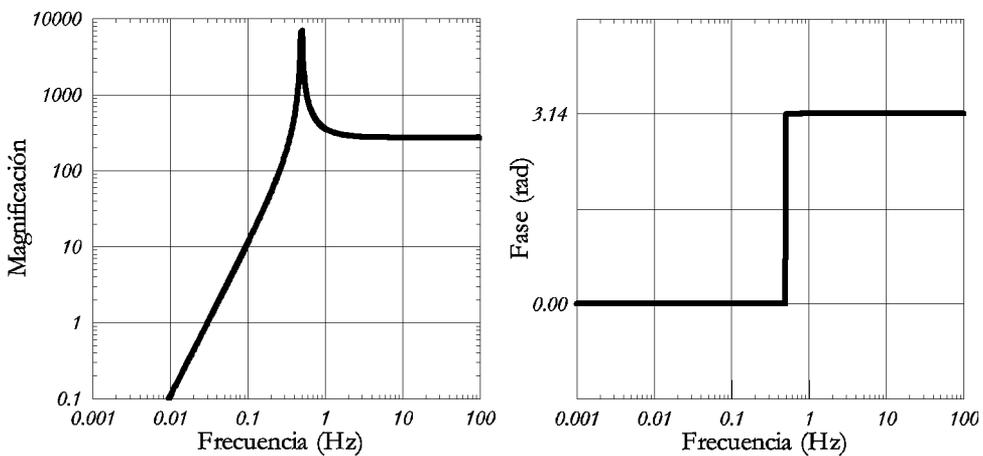


Figura 2.7.13.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo vertical Graíño con las constantes instrumentales $A_m = 270$, $T_0 = 2.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

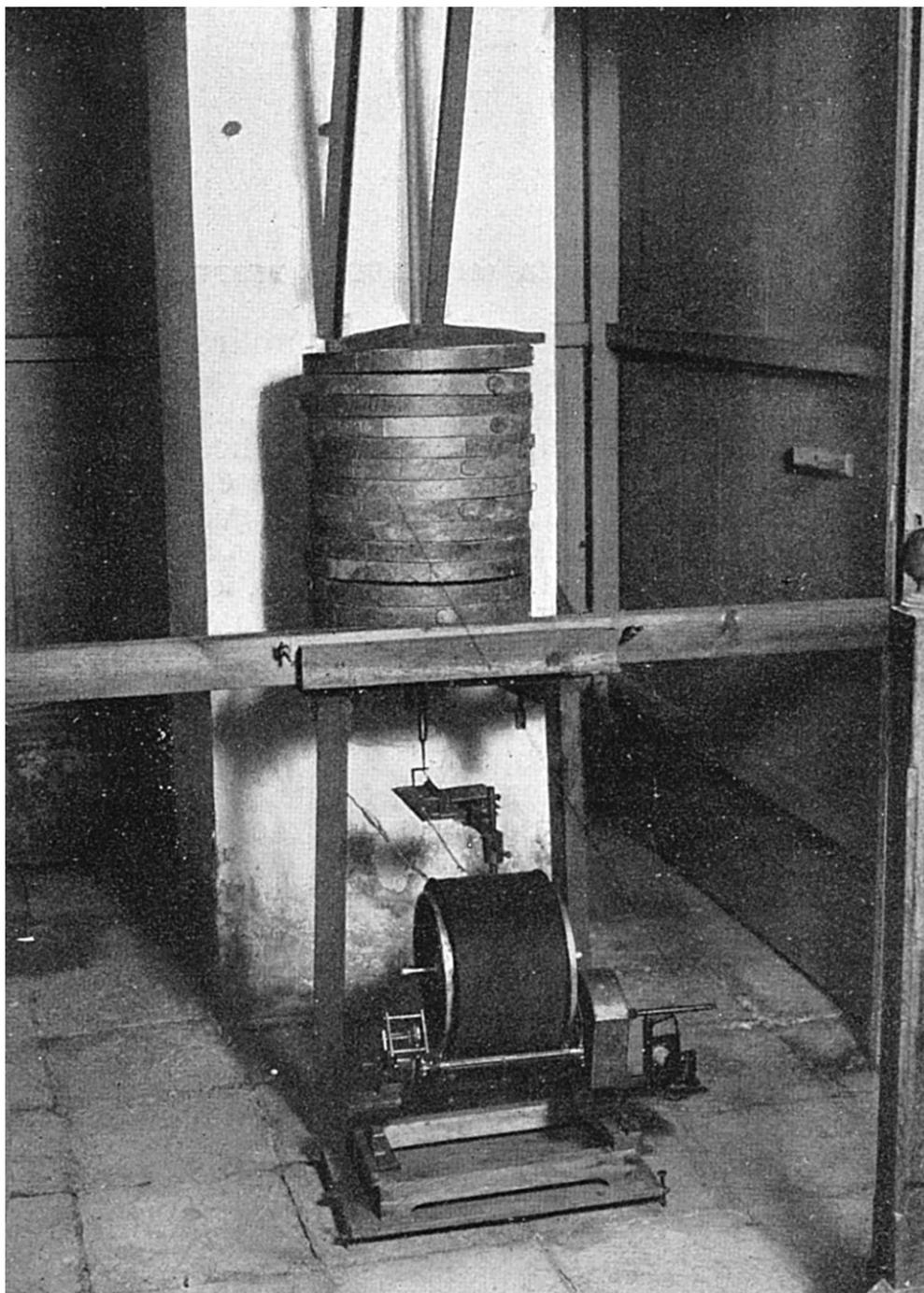


Figura 2.7.14.—Péndulo vertical Grañó de 700 kg de masa. Fotografía conservada en el archivo del Observatorio de San Fernando.

Instrumento: Péndulo bifilar Graíño

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

período de funcionamiento: 1922 Jul.-1934 Mar.

Características:

Componente: N-S
 Masa: 1100
 Período propio: 30.0
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.001
 Magnificación: 16
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 0.2094$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.2094$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Se desmanteló en la reforma general de 1934 y se instaló nuevamente.

Referencias: [Gal32].

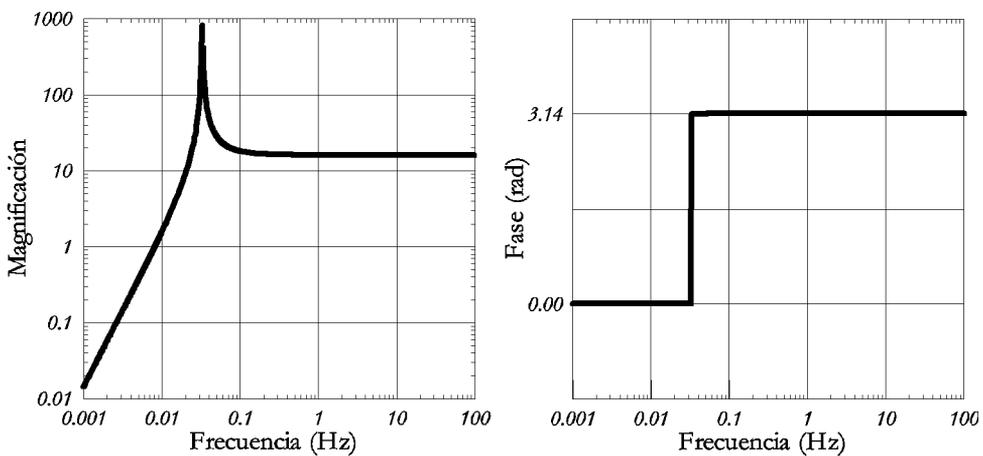


Figura 2.7.15.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo bifilar Graíño de 1100 kg con las constantes instrumentales $A_m = 16$, $T_0 = 30.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

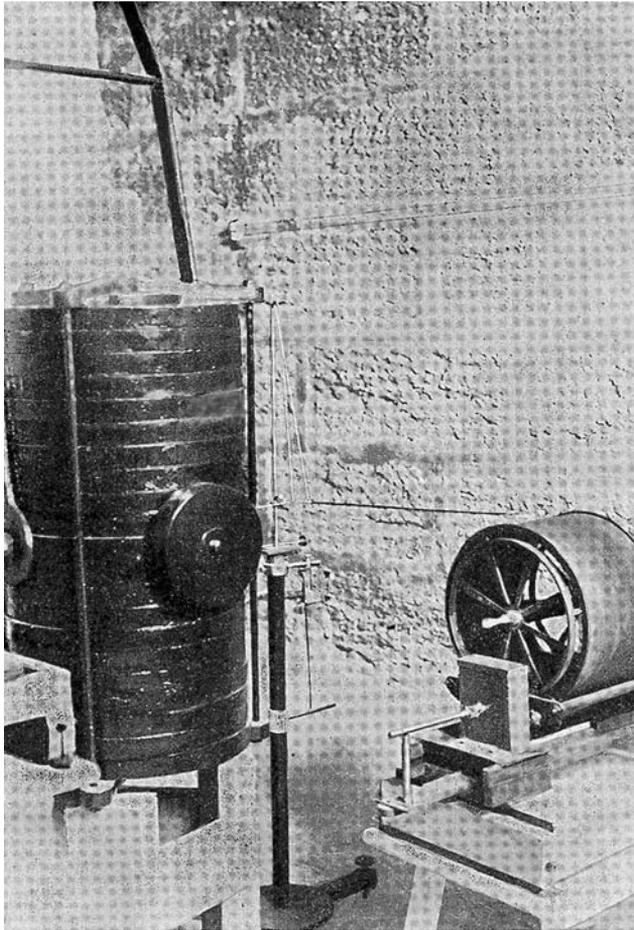


Figura 2.7.16.—Péndulo bifilar Grañó de 1100 kg de masa [Tor24].

Instrumento: Péndulo bifilar Graño

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).
 Origen: Construido en el propio Observatorio.
 Período de funcionamiento: 1934 May.-1945 Nov.

Características:

Componente: E-W
 Masa: 1100
 Período propio: 20
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.005
 Magnificación: 200
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 0.3142$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 0.3142$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Reforma del péndulo bifilar Graño (1100 kg) realizada al cambiar su emplazamiento.

Referencias: [Gal32].

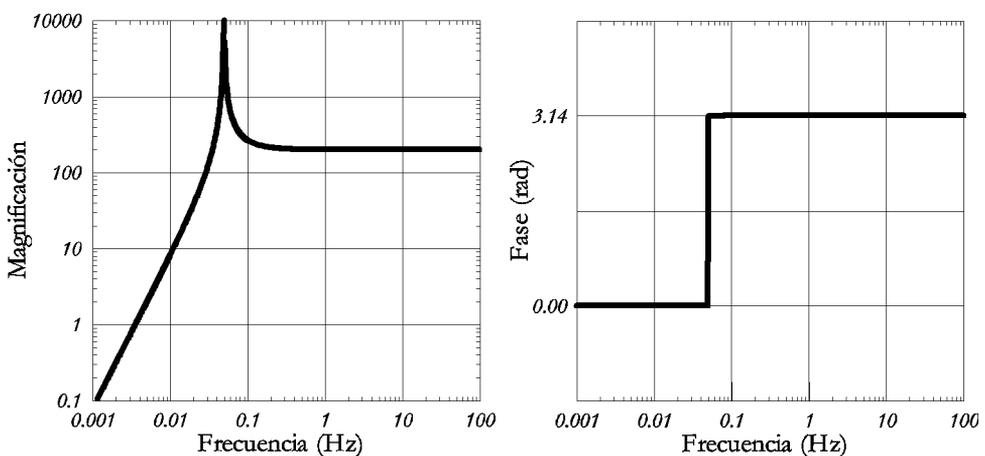


Figura 2.7.17.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo bifilar Graño de 1100 kg con las constantes instrumentales $A_m = 200$, $T_0 = 20.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

Instrumento: Péndulo bifilar Graíño

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1912 May.-1919 Dic.; 1922 Oct.-1934 Mar.

Características:

Componente: N-S
 Masa: 600
 Período propio: 13
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.005
 Magnificación: 90-110
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 0.4833$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.4833$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: En los años veinte se construyó un amortiguador para este péndulo [Tor24]; pero no se tienen noticias de que funcionase con él regularmente.

Referencias: [Gal32].

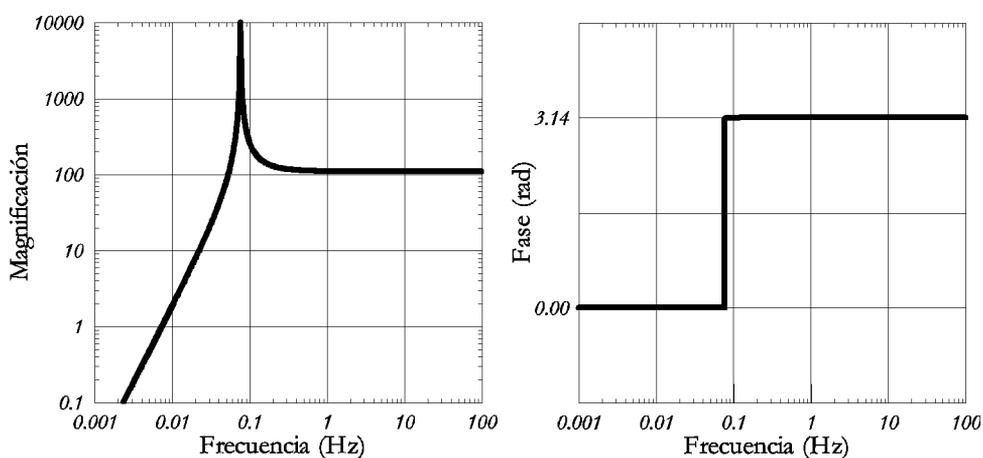


Figura 2.7.18.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo bifilar Graíño de 600 kg con las constantes instrumentales $A_m = 90$, $T_0 = 13.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

Instrumento: Péndulo bifilar Graíño

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1935 Sep.-1945 Nov.

Características:

Componente: N-S
 Masa: 700
 Período propio: 15
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.006
 Magnificación: 150
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros.

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 0.4189$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.4189$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Reforma del péndulo bifilar Graíño (600 kg) realizada con motivo de su cambio de emplazamiento.

Referencias: [Gal32].

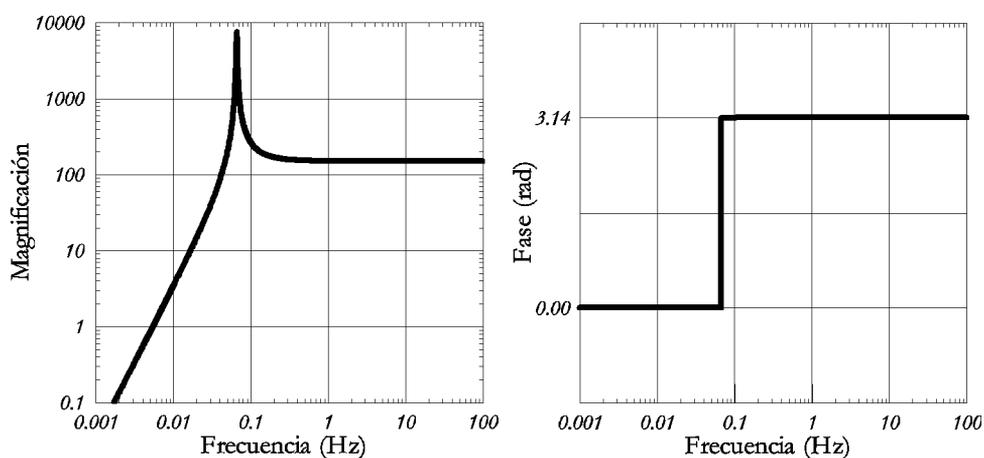


Figura 2.7.19.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo bifilar Graíño con las constantes instrumentales $A_m = 150$, $T_0 = 15.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

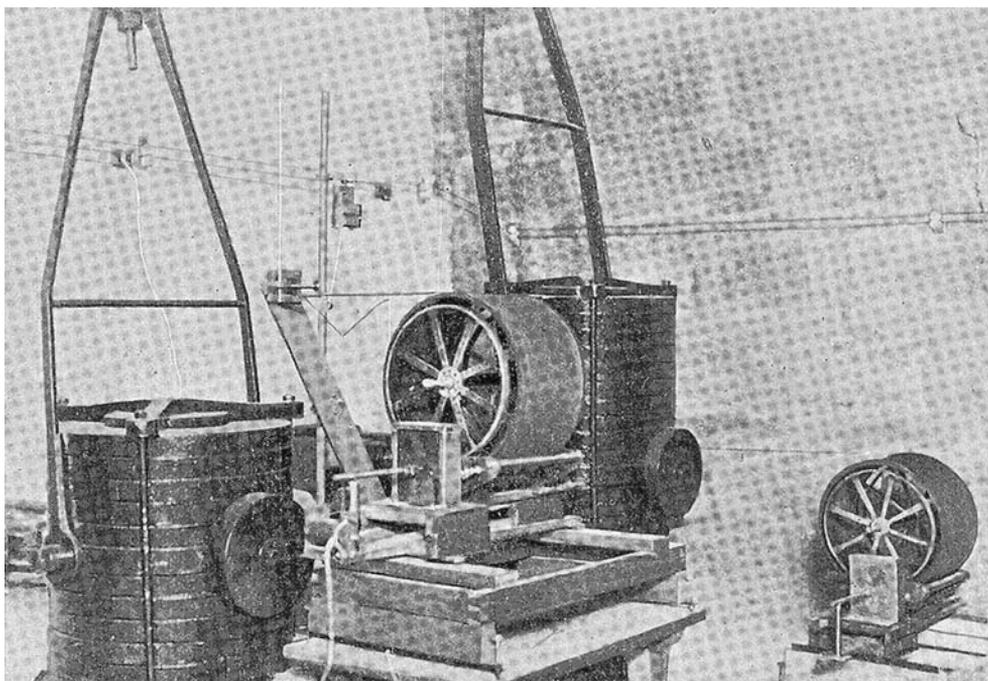


Figura 2.7.20.—Péndulo bifilar Graño de 600 kg de masa. En segundo plano el péndulo bifilar Graño de 1100 kg (de Torallas, 1924 [Tor24]).

Instrumento: Fotosismógrafo Alfani

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1934 Nov.-1936 Sep.; 1942 Ene.-1945 Nov.

Características:

Componente: Z
 Masa: 3
 Período propio: 3 (5 desde 1935-Sep.); 4 (desde 1942-Ene.)
 Amortiguamiento: 1.81
 Rozamiento: –
 Magnificación: 600
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 17
 Longitud de la plumilla: –

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.2262 - j 1.2361$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.2262 + j 1.2361$

Estado actual: Se conserva una parte, aunque deteriorada, en el propio observatorio.

Comentarios:

Referencias: [Pri92].

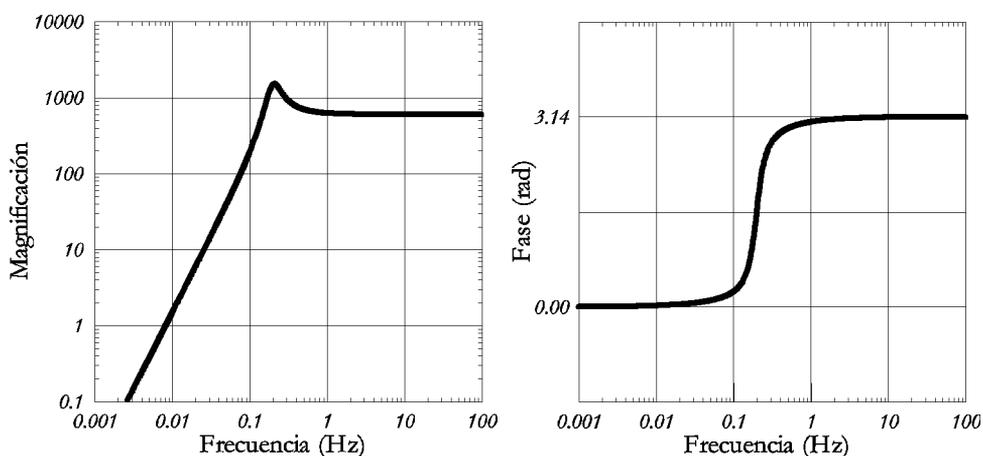


Figura 2.7.21.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el fotosismógrafo Alfani vertical con las constantes instrumentales $A_m = 600$, $T_0 = 5.0$ y $\varepsilon = 1.81$.



Figura 2.7.22.—Elementos del fotosismógrafo Alfani vertical conservados actualmente en el Observatorio de San Fernando. Fotografía cedida por el Observatorio de San Fernando.

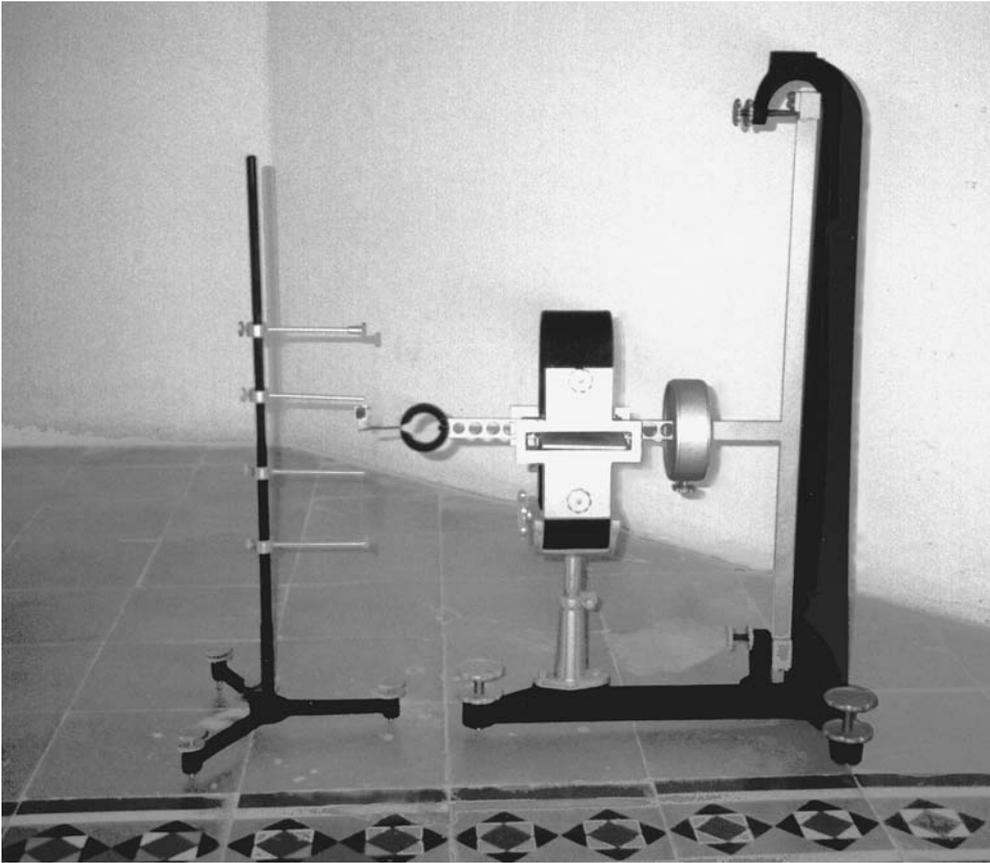


Figura 2.7.23.—Fotosismógrafo Alfani horizontal restaurado y expuesto actualmente en el Observatorio de San Fernando (fotografía de J. Batlló).

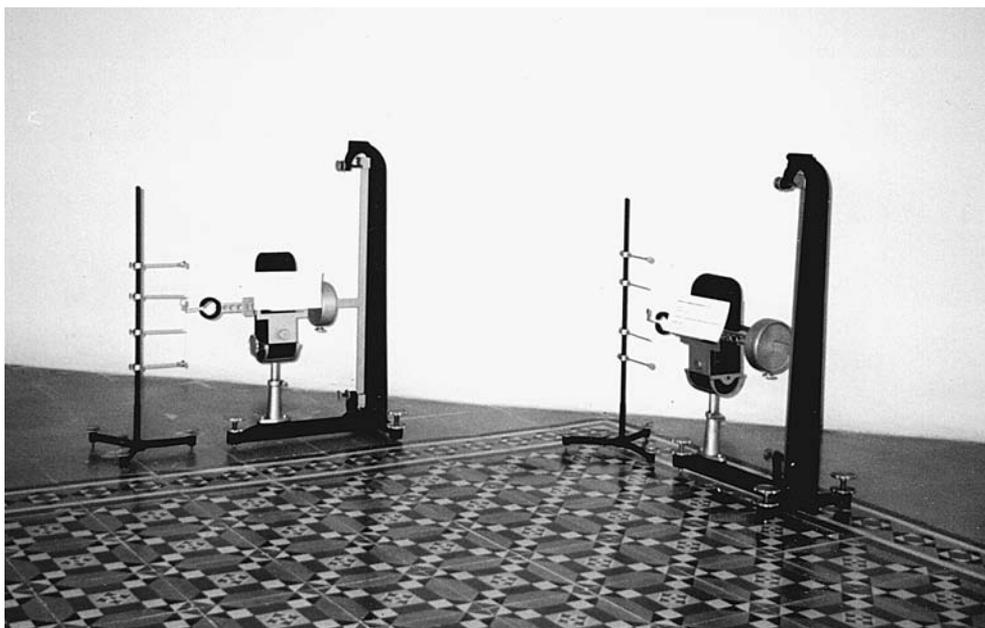


Figura 2.7.24.—Otra imagen de la pareja de sismómetros horizontales Alfani restaurados y en exposición en el Observatorio de San Fernando (fotografía de J. Batlló).

Instrumento: Sprengnether vertical

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).
 Origen: Proviene del Observatorio Geofísico de Toledo.
 Período de funcionamiento: 1966 Dic.-1970.

Características:

Componente: Z
 Masa: 0.425
 Período propio: 1.7
 Período galvanómetro: 1.7
 Amortiguamiento: crítico
 Magnificación:
 Velocidad de registro: 30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$3.6970 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$3.6970 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$3.6970 - j 0.0000$
		4.	$3.6970 + j 0.0000$

Estado actual: Se conserva en los despachos de la Subdirección de Geodesia y Geofísica del Instituto Geográfico Nacional.

Comentarios: El número de serie del sismómetro es el 1359. La magnificación de este instrumento varió bastante.

Referencias: [Cat69], [Pri92].

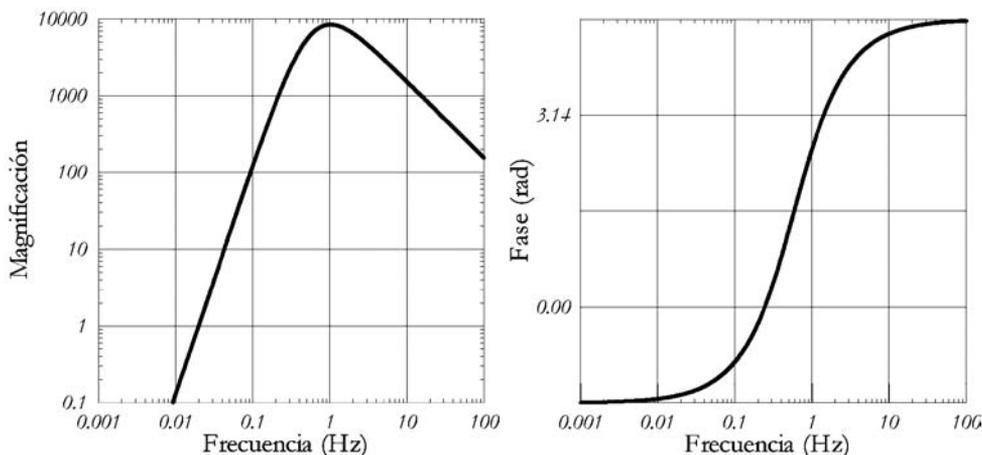


Figura 2.7.25.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether vertical con las constantes instrumentales $A_m = 8500$, $T_s = T_g = 1.7$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

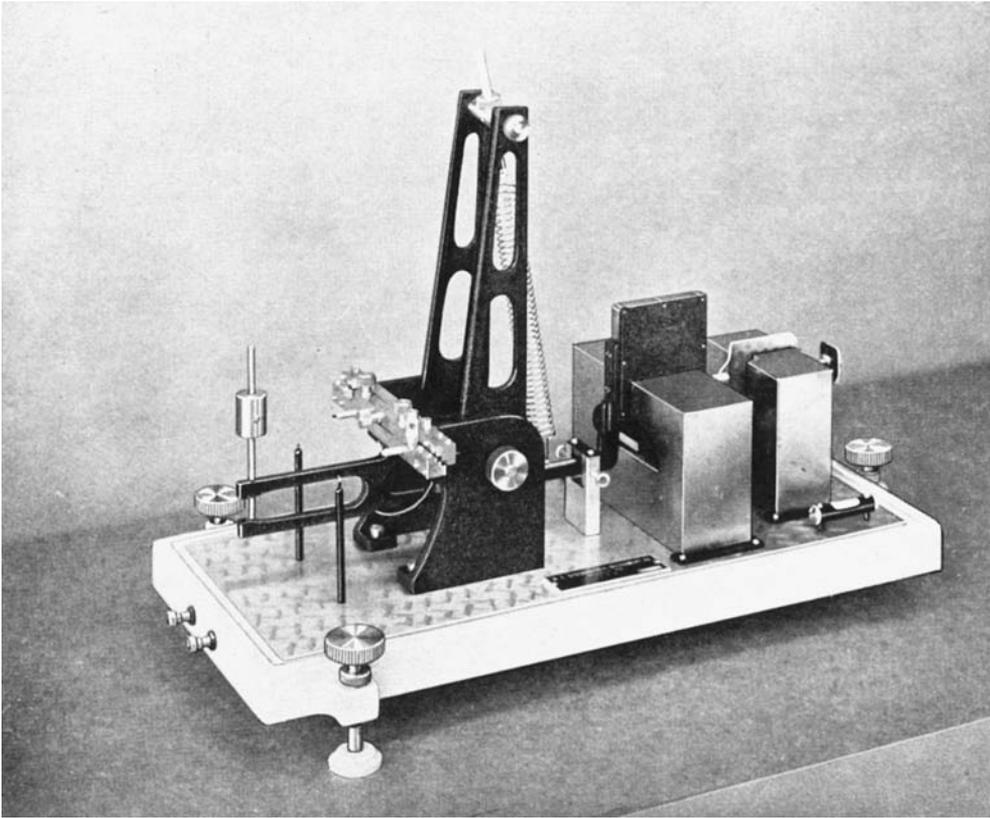


Figura 2.7.26.—Sismómetro vertical Sprengnether, serie D-H, del mismo modelo que el instalado en el Observatorio de San Fernando (de [Rob48]).

Instrumento: Sprengnether horizontal (dos aparatos independientes)

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).

Origen: Proviene del Observatorio Geofísico de Toledo.

Período de funcionamiento: 1966 Dic.-1975.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	0.878	0.878
Período propio:	13.4	13.9
Período galvanómetro:	55.3	13.4
Amortiguamiento:	∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación:	700	1550
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	30	30

Respuesta en polos y ceros (componente N-S)

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.4689 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.4689 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.1136 - j 0.0000$
		4.	$0.1136 + j 0.0000$

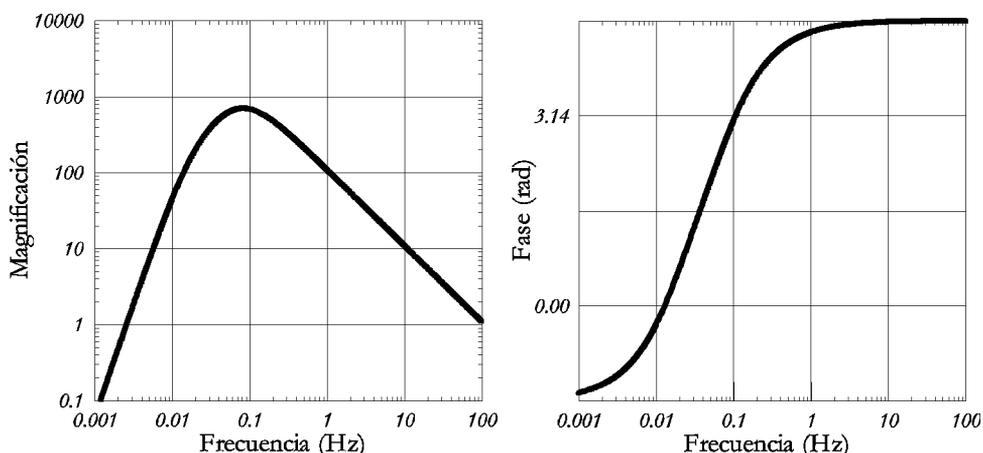
Estado actual: Ambos se conservan en los despachos de la Subdirección de Geodesia y Geofísica del Instituto Geográfico Nacional**Comentarios:** Los números de serie de los sismómetros son el 1334 (N-S) y el 1332 (E-W). Desde 1972 se les acopló un registrador visual de tinta.**Referencias:** [Cat69], [Pri92].

Figura 2.7.27.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 700$, $T_s = 13.4$, $T_g = 55.3$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

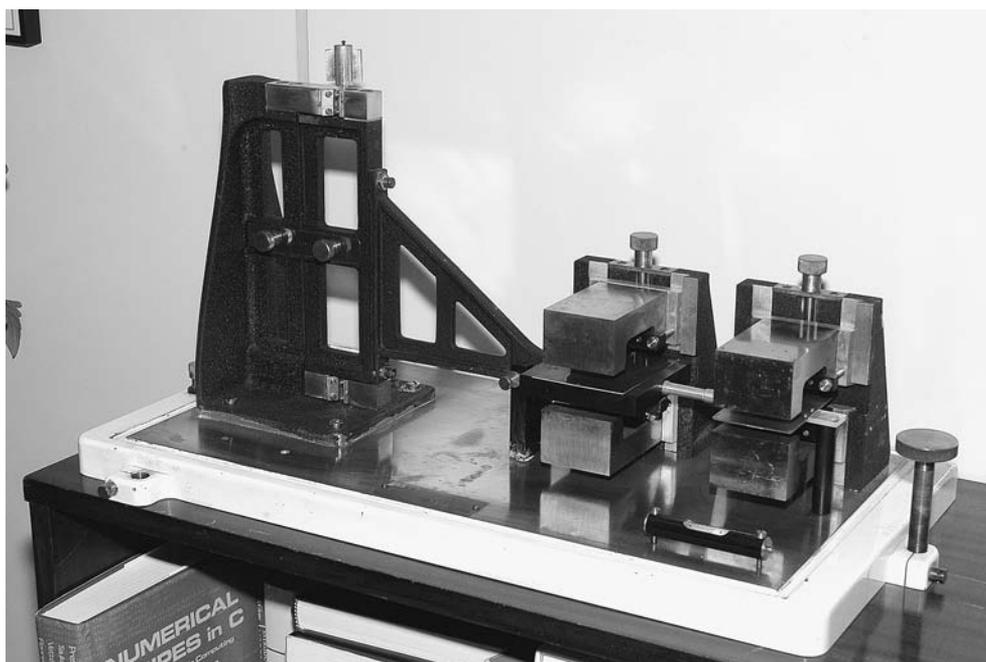


Figura 2.7.28.—Fotografía reciente del sismómetro horizontal Sprengnether, serie H, núm. 1334, que estuvo instalado en el Observatorio de San Fernando (fotografía del archivo del IGN).

Instrumento: Benioff modelo 1051

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).

Origen: Cedido por el U. S. Coast and Geodetic Survey.

Período de funcionamiento: 1970 Ene.-1984.

Características:

Componente: Z
 Masa: ~100
 Período propio: 1.0
 Período galvanómetro: 1.0
 Amortiguamiento: crítico
 Magnificación: 18000
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$3.1416 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$3.1416 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$3.1416 - j 0.0000$
		4.	$3.1416 + j 0.0000$

Estado actual: Se conserva en exposición en el mismo Observatorio.

Comentarios: En número de serie del instrumento es el 27. Funcionaba acoplado a un galvanómetro 4100-184, número de serie 3403. Desde 1971 funcionaba con un registrador visual de tinta.
 En 1979 se reinstaló el equipo.

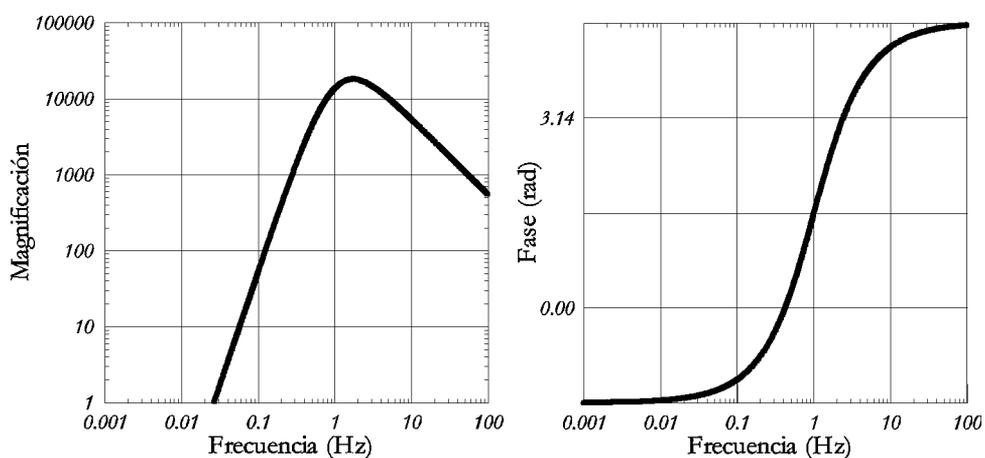
Referencias: [Ben32].

Figura 2.7.29.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Benioff vertical con las constantes instrumentales $A_m = 18000$, $T_s = T_g = 1.0$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

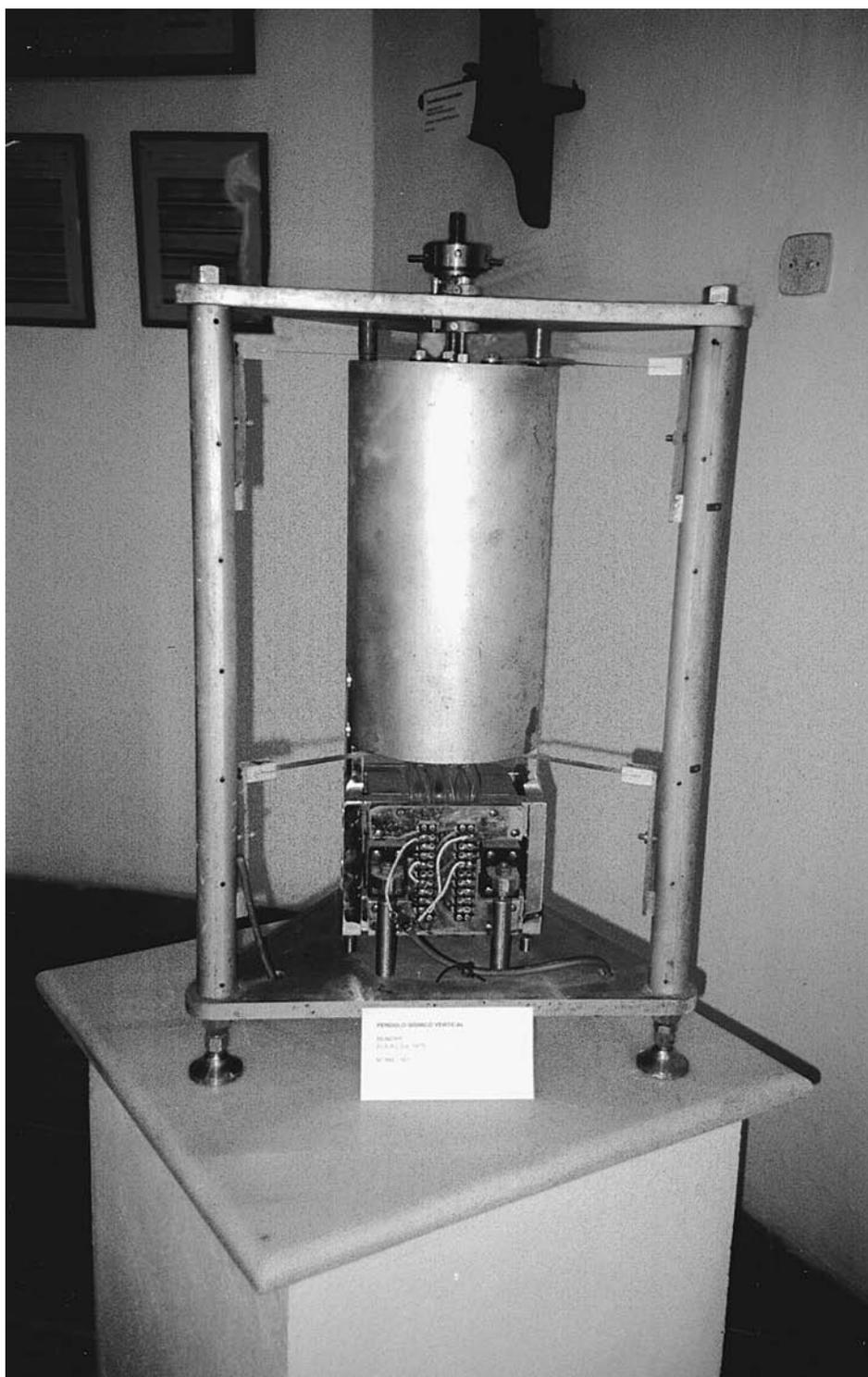


Figura 2.7.30.—Sismómetro Benioff vertical expuesto en el Observatorio de San Fernando (fotografía de J. Batlló).

Instrumento: Sprengnether S-5100 V

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).

Origen: Adquirido (Sprengnether Co., Saint Louis, Missouri).

Período de funcionamiento: 1975 Jul.-(1981 Oct).

Características:

Componente: Z
 Masa: 10.9
 Período propio: 15.0
 Período galvanómetro: 100.0
 Amortiguamiento: $b = 0.75$
 Magnificación: 300
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.3142 - j 0.2771$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.3142 + j 0.2771$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.0628 - j 0.0000$
		4.	$0.0628 + j 0.0000$

Estado actual: Se conserva en el mismo Observatorio en funcionamiento.

Comentarios: Este equipo se completaba con un galvanómetro Kinematics, modelo LG-1, número de serie 274. El número de serie del sismómetro es el 5110. Desde 1978 se registraba también en tinta y en 1981 se eliminó el registro galvanométrico. En 1990 se digitalizó su registro.

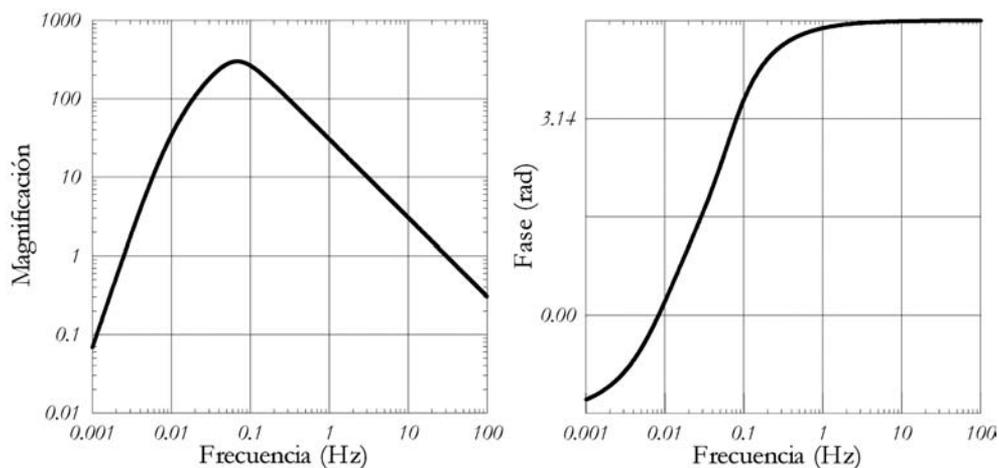
Referencias: [Pri92].

Figura 2.7.31.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether vertical S-5100 V con las constantes instrumentales $A_m = 300$, $T_i = 15.0$ $T_g = 100.0$ y amortiguamiento $b = 0.75$.

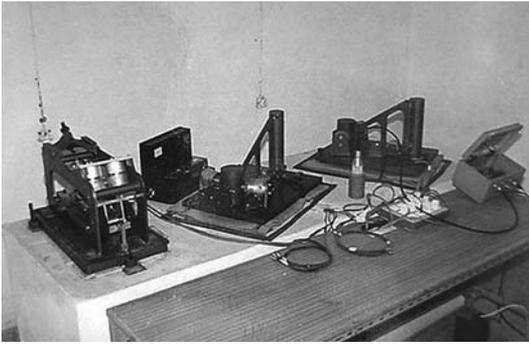


Figura 2.7.32.—Sismómetros Sprengnether S-5100 horizontales (derecha) y vertical (izquierda), actualmente en funcionamiento (aunque con registro digitalizado) en el Observatorio de San Fernando (fotografía cedida por el Observatorio de San Fernando).

Instrumento: Sprengnether S-5100 H (dos aparatos independientes)

Localización: Real Observatorio de la Armada (San Fernando).

Origen: Adquiridos (Sprengnether Co., Saint Louis, Missouri).

Período de funcionamiento: 1976 Oct.-(1981 Mar).

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 11.13	11.13
Período propio: 15.0	15.0
Período galvanómetro: 100.0	100.0
Amortiguamiento: $b = 0.75$	$b = 0.75$
Magnificación: 300	300
Velocidad de registro: 15	15

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.3142 - j 0.2771$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $0.3142 + j 0.2771$
3. $0.0000 + j 0.0000$	3. $0.0628 - j 0.0000$
	4. $0.0628 + j 0.0000$

Estado actual: Ambos se conservan en el mismo Observatorio en funcionamiento.

Comentarios: Este equipo se completaba con galvanómetros Kinometrics, modelo LG-1. Los números de serie de los sismómetros son el 5139 (N-S) y el 5140 (E-W). Desde octubre de 1978 se registraban también en tinta [CNG79]. En 1981 se eliminó el registro galvanométrico y en 1990 se digitalizó su registro.

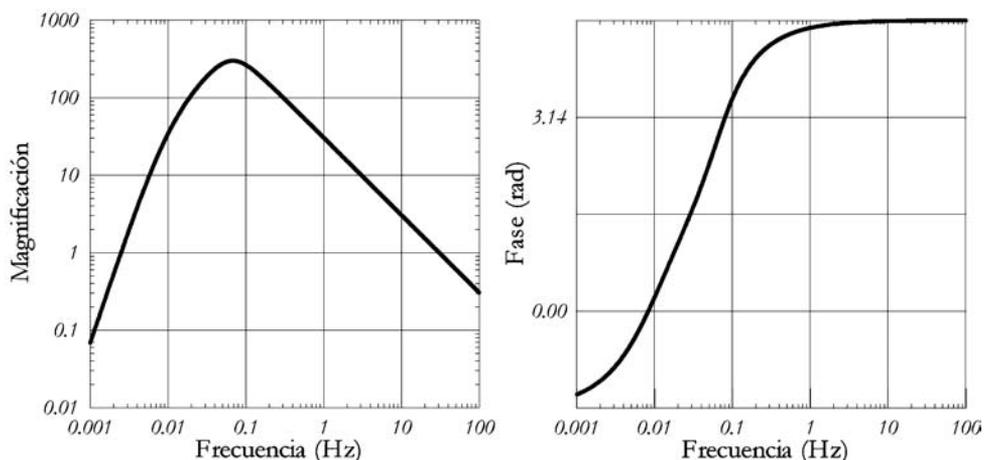
Referencias: [Pri92].

Figura 2.7.33.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether horizontal S-5100 H, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 300$, $T_s = 15.0$, $T_g = 100.0$ y amortiguamiento $b = 0.75$.

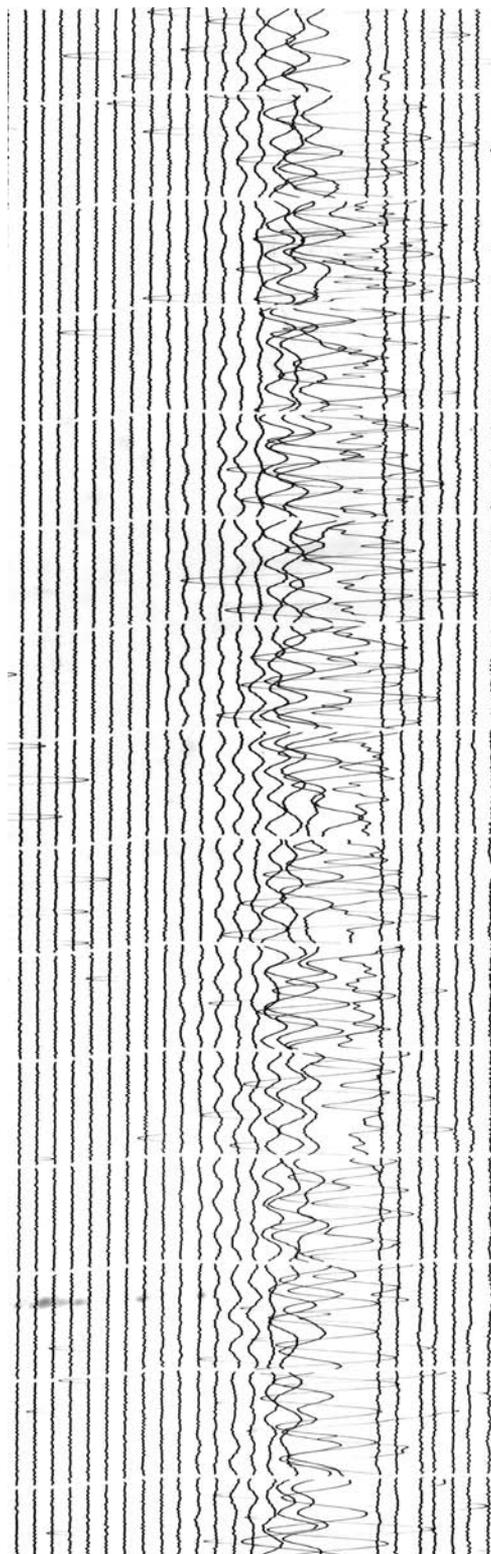


Figura 7.2.34.—Reproducimos aquí un fragmento de sismograma registrado fotográficamente. Corresponde al registro obtenido con el sismógrafo Sprengnether horizontal, componente N-S, del Observatorio de San Fernando del terremoto ocurrido en Irán el día 2 de Agosto de 1968 a las 13 horas, 30 minutos y 23 segundos. Su magnitud fue de 5.7. En el registro se aprecia claramente la llegada de las ondas S alrededor de las 13 horas y 52 minutos.

2.8. Observatorio Geofísico de Toledo

La estación sismológica de Toledo, posteriormente llamada Observatorio Geofísico Central, fue pensada, desde su concepción, para actuar como estación central de la red sismológica española [Mie10b].

A pesar de estos designios, su primera instalación fue provisional y se encontraba en los bajos del palacio de la Diputación Provincial de la misma ciudad, en unos locales cedidos provisionalmente por ésta, a la espera de que el Instituto Geográfico dispusiera de una instalación propia. El acondicionamiento de dichos locales se realizó bajo la dirección de José Galbis y Juan López Lezcano, su primer director, y estuvo listo a mediados de 1909.

El palacio de la Diputación se halla situado en el límite norte de la ciudad antigua, construido sobre los gneiss graníticos que constituyen el promontorio sobre el que se halla construida la capital histórica, en un lugar donde, en aquella época, el tránsito era muy moderado.

Aunque provisional en su instalación, la estación fue dotada generosamente de aparatos. Los sismógrafos se encontraban distribuidos en dos salas, una para sismógrafos mecánicos y otra para los de registro fotográfico. También se dispuso de un despacho para el director de la estación, dos salas para oficinas, otra para archivo, un laboratorio fotográfico, alojamiento para un conserje, servicios y un pabellón para almacén. La figura 2.8.1 presenta los planos con la distribución de las instalaciones y aparatos y da una idea clara de la disposición del centro.

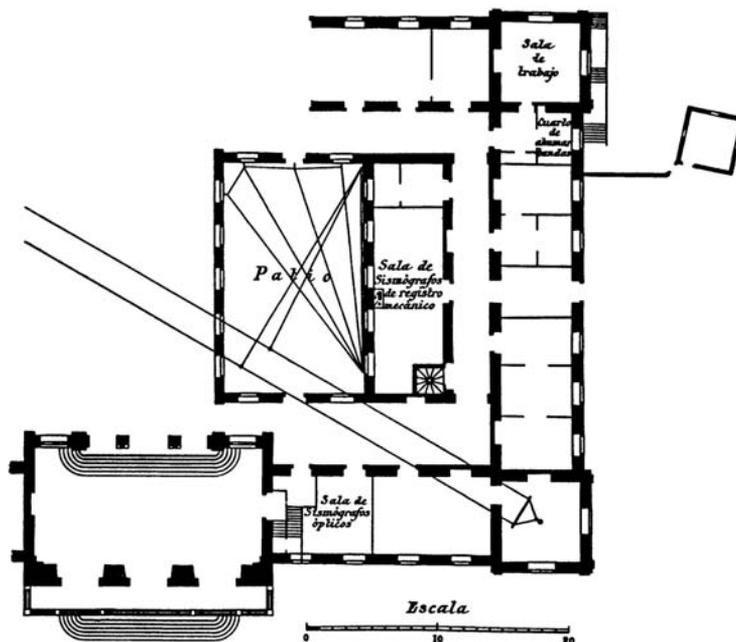
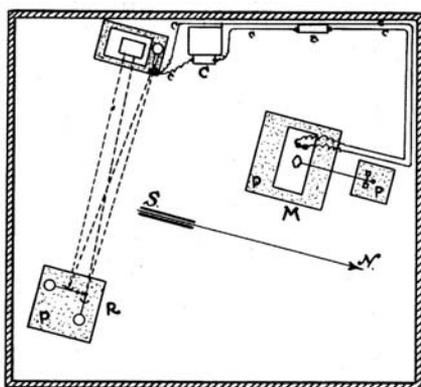


Figura 2.8.1.—Planta del Observatorio de Toledo, palacio de la Diputación (de[Tor24]) y distribución de sus sismógrafos en la planta baja, archivo del Observatorio de Toledo.



Esquema de la instalación cronográfica en la sala de sismógrafos fotográficos de la Estn de Toledo.

R: Sismógrafo "Rebeur"
M: Id. "Mitne"
P: Dilatador.
C: Cronómetro.
a: Acumulador.
c: Circuito cronográfico.

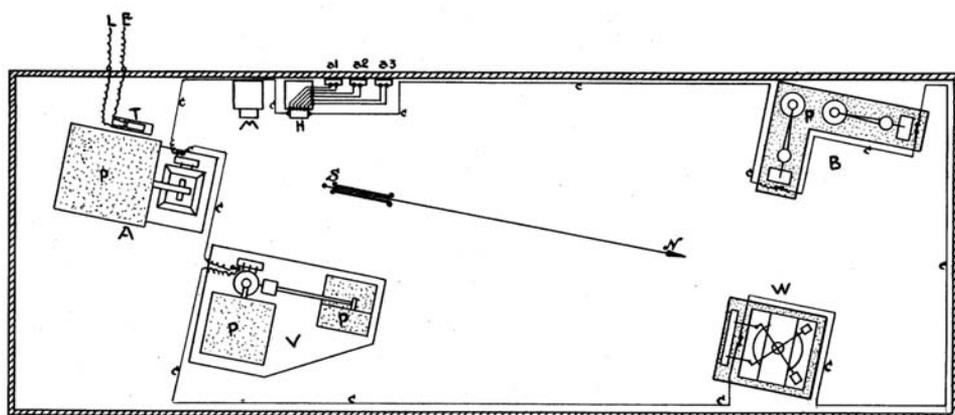
Debemos mencionar que durante los primeros años de su existencia, y aparte de los sismógrafos catalogados a continuación, este observatorio dispuso también de un sismoscopio Agamennone del que todavía se conservan algunas de sus partes en las oficinas de la Subdirección General de Geodesia y Geofísica del Instituto Geográfico Nacional.

El Instituto Geográfico no cejó en la idea de construir una nueva estación y, ya por 1924, el Ayuntamiento de Toledo había cedido unos terrenos para la instalación definitiva de la estación sismológica central y se elaboró un proyecto de obra como puede verse en Torallas [Tor24]; pero estos planes no se llevaron nunca a cabo. Hubo de esperarse hasta los años treinta para ver realizado el proyecto de nueva estación.

En 1932, y tras diversas gestiones, el Conde de Romanones cedió una parcela de su finca de Buenavista, en las proximidades de Toledo, para la edificación de la nueva estación central, proyecto que llegó a buen fin. Así, el llamado Observatorio Geofísico Central (pues también incluía una sección de magnetismo y otras dependencias y servicios) se hallaba situado a la altura del kilómetro 4 de la carretera de Toledo a Ávila. Para la instalación de la estación sísmica se construyó, inmediatamente, un pabellón semisubterráneo independiente y los sismógrafos fueron trasladados durante el año 1933, y de forma progresiva para no interrumpir el registro, desde el palacio de la Diputación al nuevo emplazamiento. El subsuelo de la nueva estación se hallaba formado por arcillas muy compactas del Mioceno superior.

En los años cincuenta el nombre oficial del Observatorio pasó a ser Observatorio Central Geofísico «Alfonso Rey Pastor» en honor a este eminente sismólogo español y durante años director de este observatorio.

En los primeros años sesenta esta estación fue elegida para dotarla con aparatos de la nueva WWSSN. Estos aparatos fueron actualizados mediante la digitalización de sus registros en 1985, pasando a formar parte de la DWWSSN. En 1971 también se eligió Toledo para la instalación de una estación de largo período y alta sensibilidad (HGLP) de la red



Esquema de la instalación cronográfica en la sala de sismógrafos mecánicos de la Est^{ca} de Toledo.

A = Sismógrafo "Agamenonne."
 V = Id "Vicentini."
 W = Id "Wiechert."
 B = Id "Borch."
 P = Pilares de los mismos.
 T = Receptor de T.S.H.
 L = Antena.

E = Contra-antena.
 M = Cronómetro Magistral.
 H = Id Hipp.
 a₁ = Acumulador para el movimiento del péndulo.
 ae = Id id la marcha del cuadrante.
 aa = Id id el circuito de los cronógrafos.
 c = Circuito cronográfico.

coordinada por el Lamont-Doherty Observatory (Columbia, USA) [Sav72], que funcionó hasta 1985. Esta estación, que se instaló fuera del recinto del observatorio, fue denominada internacionalmente con el código TLO y no describiremos aquí sus aparatos por considerarlo fuera de los objetivos del trabajo.

En 1992 cesó el registro sísmico en el observatorio, trasladándose parte de sus equipos al nuevo Observatorio de San Pablo de los Montes. Actualmente, aquél se está viendo engullido por el crecimiento de la trama urbana de la ciudad de Toledo. Para más información sobre este observatorio referimos al lector a la detallada historia existente sobre el mismo [Pay98].

Instrumento: Vicentini vertical

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1909 Sept.-1923 Oct.

Características:

Componente: Z
 Masa: 50 kg
 Período propio: 0.86 s
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.05
 Magnificación: 230
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 10 [Mie10a]
 Longitud de la plumilla: (135 mm)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 7.3060$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 7.3060$

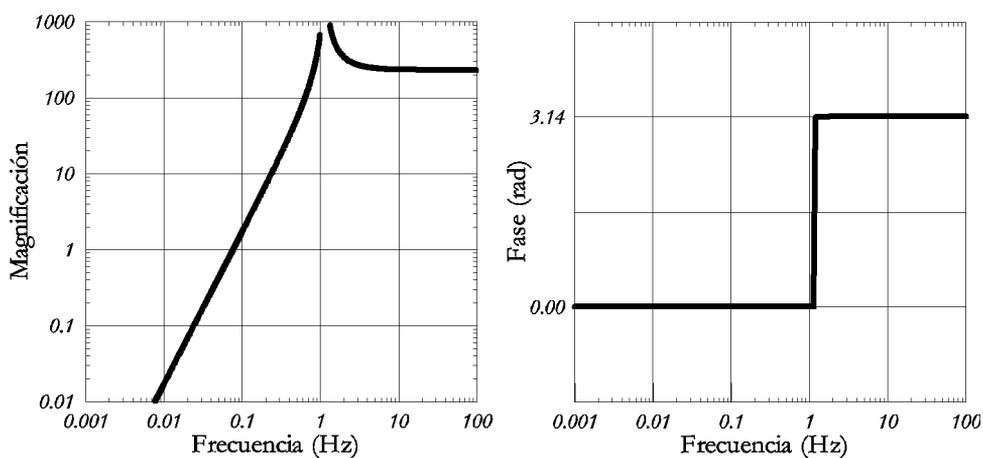
Estado actual: Desaparecido.**Comentarios:** En los años veinte se propuso una reforma del mecanismo inscriptor de este instrumento que no se llevo a cabo [Ingxx].**Referencias:** [Pay87], [Pay98].

Figura 2.8.2.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Vicentini vertical con las constantes instrumentales $A_m = 230$, $T_0 = 0.86$ y $\varepsilon = 1.0$.

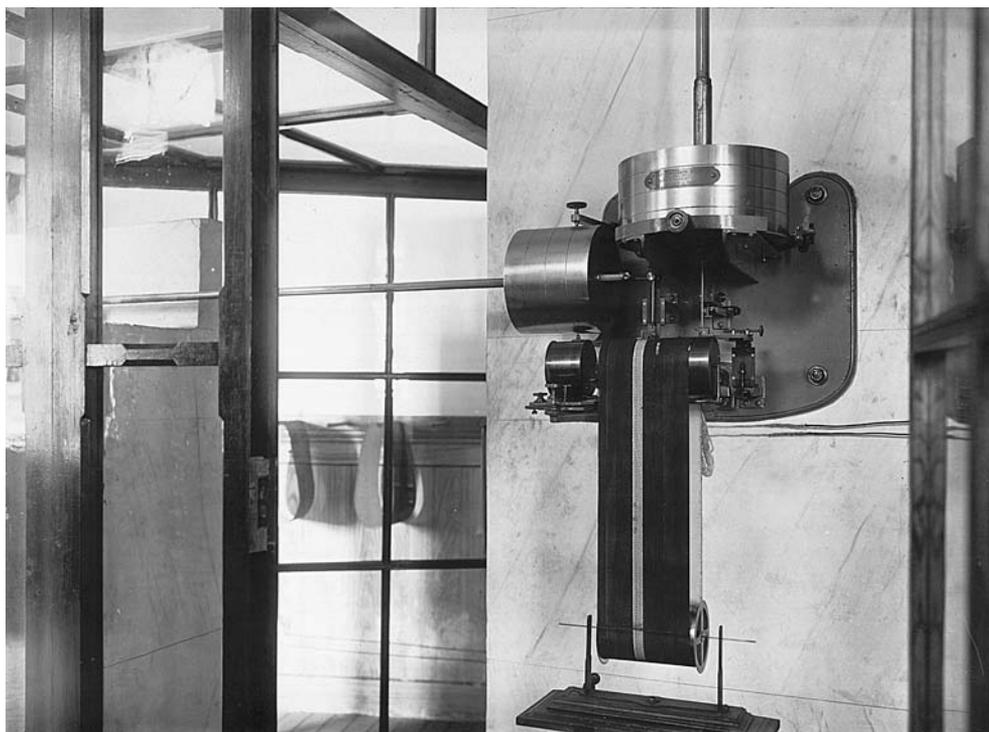


Figura 2.8.3.—Microsismógrafo Vicentini para las componentes horizontales y sismógrafo Vicentini vertical (izquierda). Una buena lupa permite, en la fotografía original, leer la fecha en el sismograma, que corresponde al 18 de marzo de 1923 (fotografía conservada en el Observatorio de Toledo).

Instrumento: Microsismógrafo Vicentini

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1909 Sept.-1923 Oct.

Características:

Componente: N-S, E-W
 Masa: 100
 Período propio: 2.5
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento: 0.0012
 Magnificación: 137
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 10 [Mie10a]
 Longitud de la plumilla: (150)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 2.5133$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 2.5133$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Es muy posible que este instrumento se trasladase a Tenerife para una posterior instalación en el Observatorio de Izaña que nunca tuvo lugar.

Referencias: [Pay87], [Pay98].

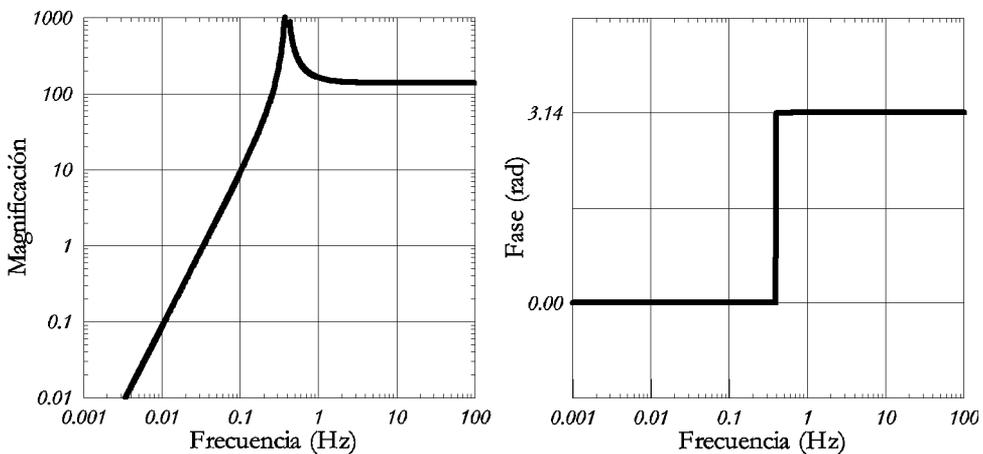


Figura 2.8.4.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el microsismógrafo Vicentini con las constantes instrumentales $A_m = 137$, $T_0 = 2.5$ y $\varepsilon = 1.0$.

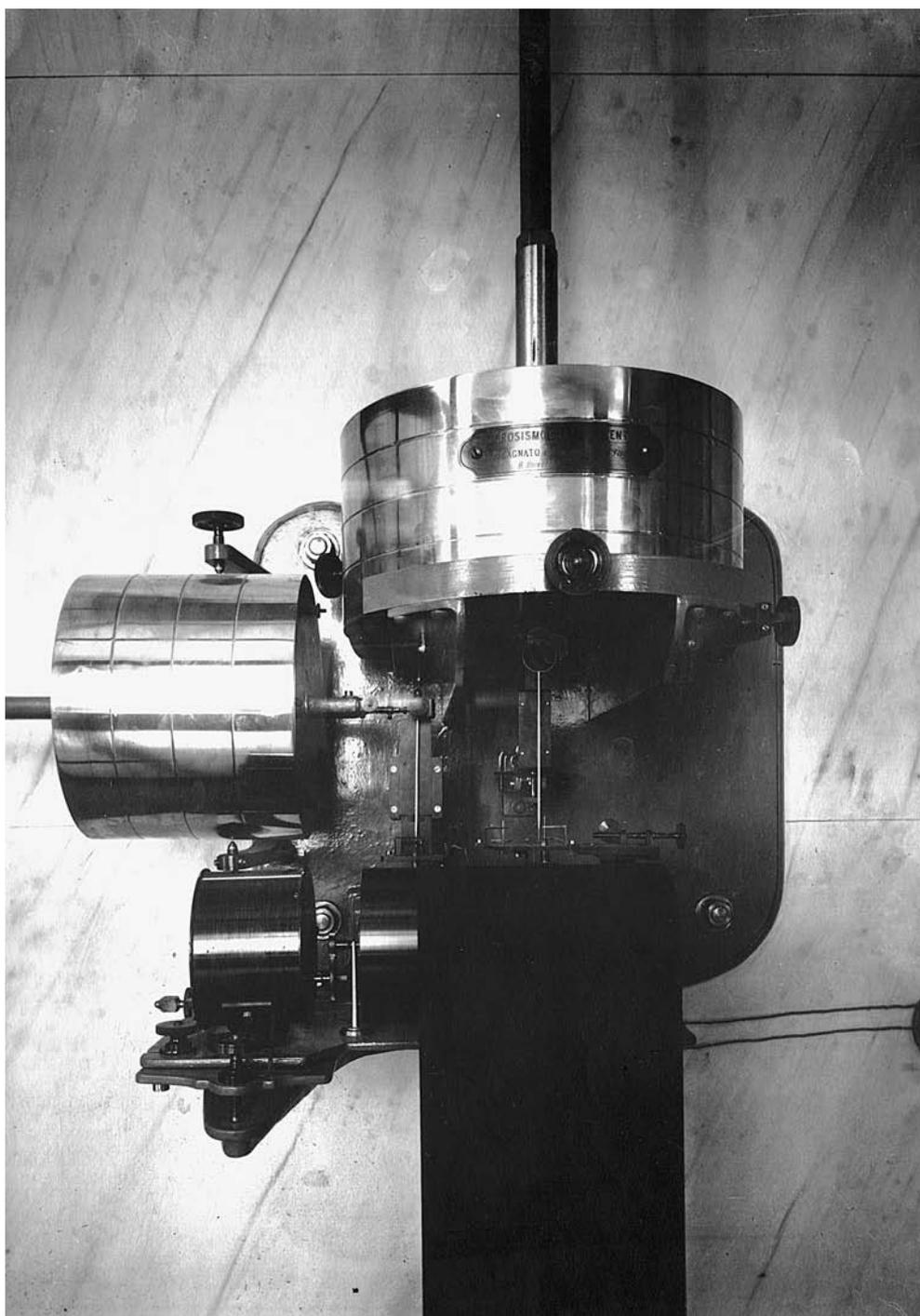


Figura 2.8.5.—Microsismógrafo Vicentini para las componentes horizontales (centro) y sismógrafo Vicentini vertical (izquierda). Detalle del mecanismo inscriptor. Fotografía conservada en el Observatorio de Toledo. Véase también la figura 2.6.10.

Instrumento: Microsismométrgrafo Agamennone

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1909 Nov.-1924.

Características:

Componente: N-S, E-W
 Masa: 2000
 Período propio: ~ 2.5
 Amortiguamiento: ~ 2.5
 Rozamiento: 0.008
 Magnificación: 525
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 10 [Mie10a]
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 2.5133$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 2.5133$

Estado actual: No existe.

Comentarios: Desmontado y utilizado para construir el péndulo vertical Toledo.
 Este instrumento disponía de doble velocidad de registro (la velocidad rápida era de 21.7 mm/min [Mie10a]) que se disparaba a través de un sismoscopio integrado en el mismo instrumento.
 En los años veinte se prescindió de la doble velocidad.

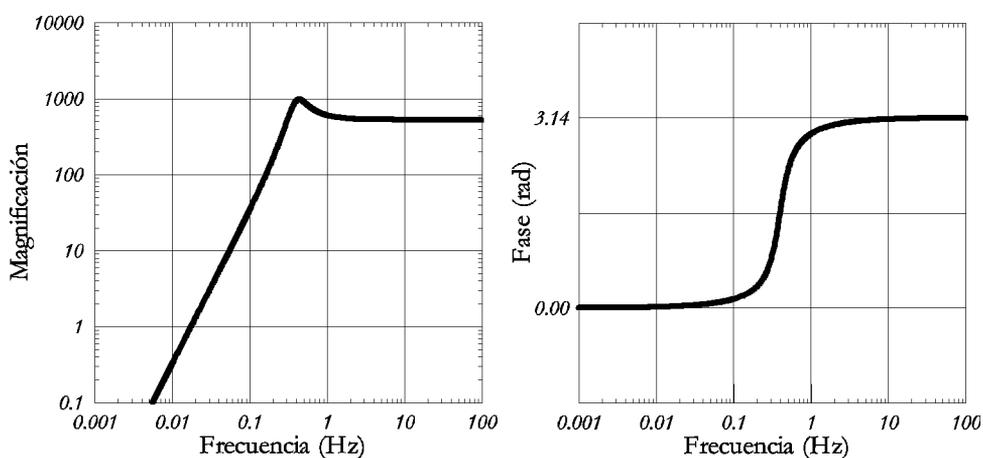
Referencias: [Rey29], [Pay87], [Pay98], [Aga35].

Figura 2.8.6.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el microsismométrgrafo Agamennone con las constantes instrumentales $A_m = 525$, $T_0 = 2.5$ y $\varepsilon = 2.5$.



Figura 2.8.7.—Microsismométrógrafo Agamennone de 2000 kg de masa. A la izquierda, la vitrina para el microsismógrafo Vicentini (fotografía conservada en el Observatorio de Toledo).

Instrumento: Bosch-Omori (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1909 Oct.-1922 May.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 25	25
Período propio: ~12.0	~12.0
Amortiguamiento: -	-
Rozamiento: 0.04	0.04
Magnificación: 15	15
Tipo de registro: Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro: 15 [Mie10a]	15
Longitud de la plumilla: 250	250

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. 0.0000 + j 0.0000	Polos: 1. 0.0000 - j 0.5236
2. 0.0000 + j 0.0000	2. 0.0000 + j 0.5236

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: En 1922 se reformó colocando una masa de 100 kg y se trasladó al Observatorio de Tenerife.

Referencias: [Pay87], [Pay98], [Rey29].

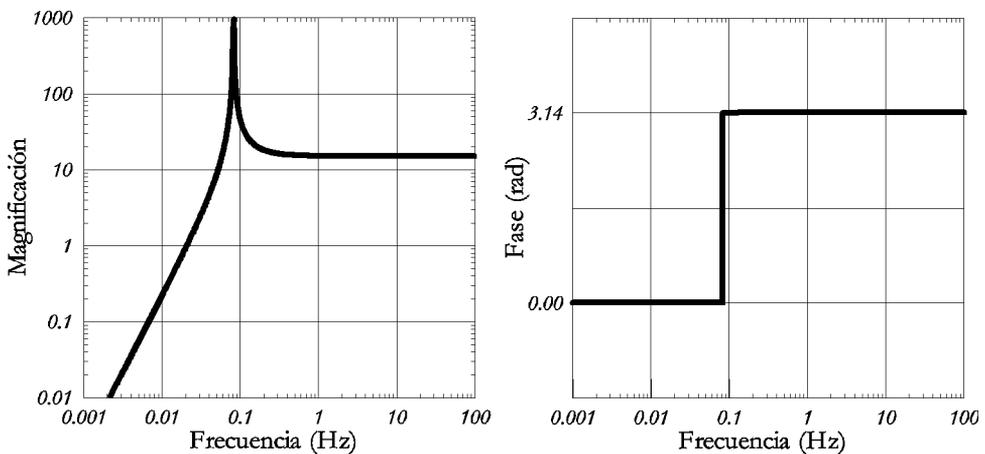


Figura 2.8.8.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Bosch-Omori con las constantes instrumentales $A_m = 15$, $T_0 = 12.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

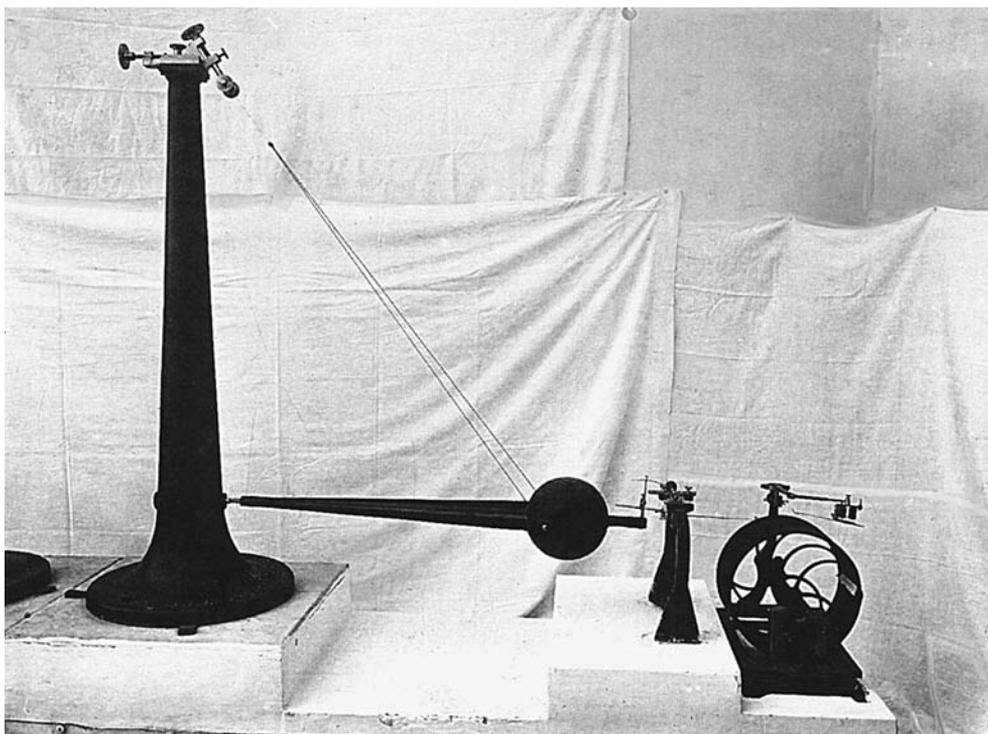


Figura 2.8.9.—Sismógrafo Bosch-Omori del Observatorio de Toledo, componente N-S (de [Pay98]).

Instrumento: Mainka (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo).

Origen: Adquirido a la casa Erda (Göttingen).

Período de funcionamiento: 1922 (junio)-1923.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 750	750
Período propio: 9-10	9-10
Amortiguamiento: 3	3
Rozamiento: 0.0015	0.0015
Magnificación: 85 [<i>Tor24</i>]	80 [<i>Tor24</i>]
Tipo de registro: Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro: (15)	(15)
Longitud de la plumilla:	

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.2305 - j 0.6590$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $0.2305 + j 0.6590$

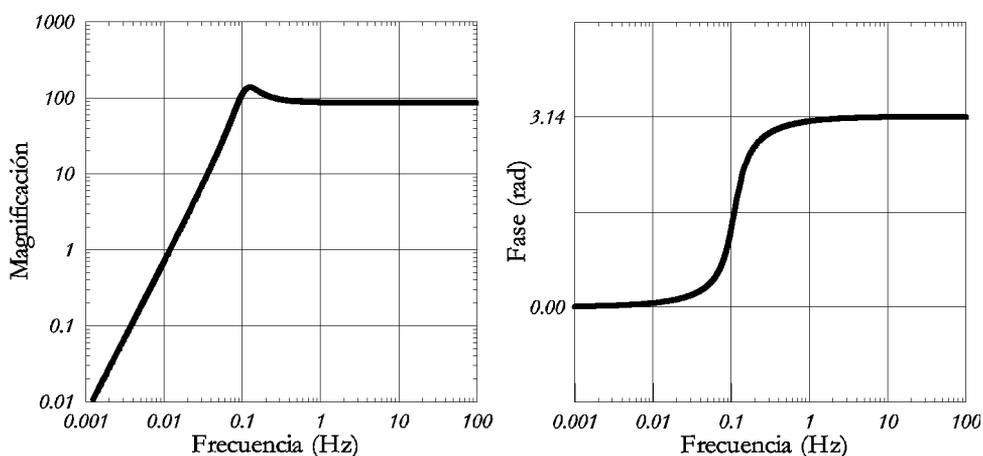
Estado actual: Sus elementos principales se encuentran en el Observatorio de Alicante.**Comentarios:** Después de un año de funcionamiento se desmontaron y enviaron al Observatorio Sismológico de Alicante.**Referencias:** [*Tor24*], [*Pay98*], [*Rey29*].

Figura 2.8.10.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 85$, $T_0 = 10.0$ y $\varepsilon = 3.0$.

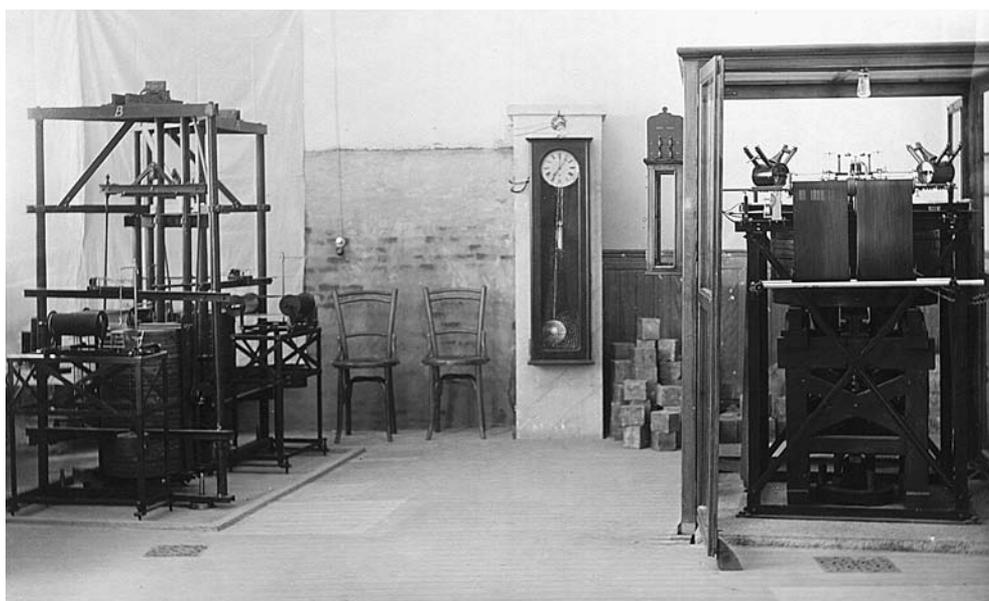
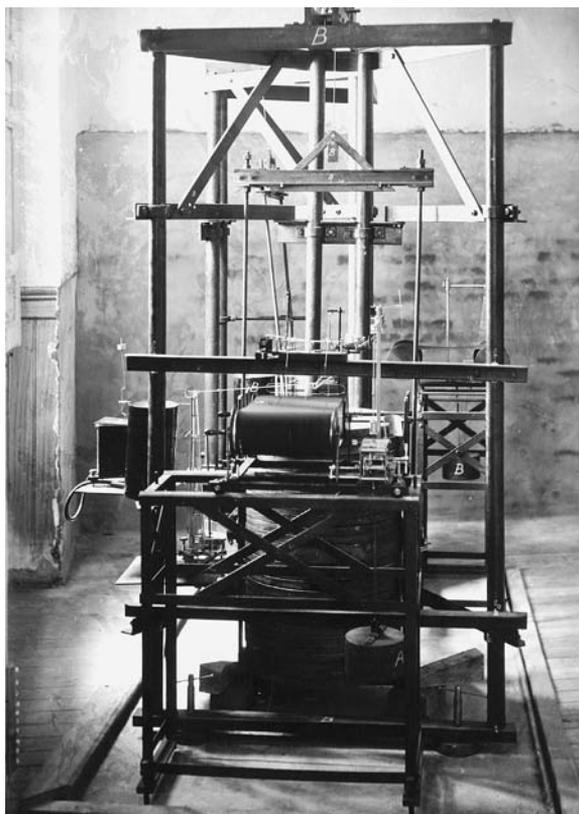


Figura 2.8.11.—Sismógrafos Mainka horizontales instalados en el Observatorio de Toledo (fotografía superior) y una imagen más general de la sala de registro (foto inferior) en donde se ven los sismógrafos Mainka (izquierda) y Wiechert astático (derecha). Fotografías conservadas en el archivo del Observatorio de Toledo.

Instrumento: Péndulo vertical Toledo (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo).

Origen: Construido en el propio Observatorio.

Período de funcionamiento: 1922-1931.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 1.000	1.000
Período propio: 3	3
Amortiguamiento: –	–
Rozamiento:	
Magnificación: 100	100
Tipo de registro: Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro:	
Longitud de la plumilla:	

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 2.0940$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 2.0940$

Estado actual: No existen al reutilizarse para la construcción de nuevos instrumentos.**Comentarios:** Construido a partir de la masa y otros elementos del sismométrgrafo Agamennone. Se desmontaron y utilizaron sus partes para construir los Wiechert Toledo. No disponemos de ninguna imagen del mismo.

El período de actividad de este aparato es un poco confuso. Payo [Pay98] afirma que funcionó hasta 1924 Ene.; pero los escritos de Rey Pastor ([Rey29], [Rey32b]) nos permiten afirmar que funcionó hasta 1931.

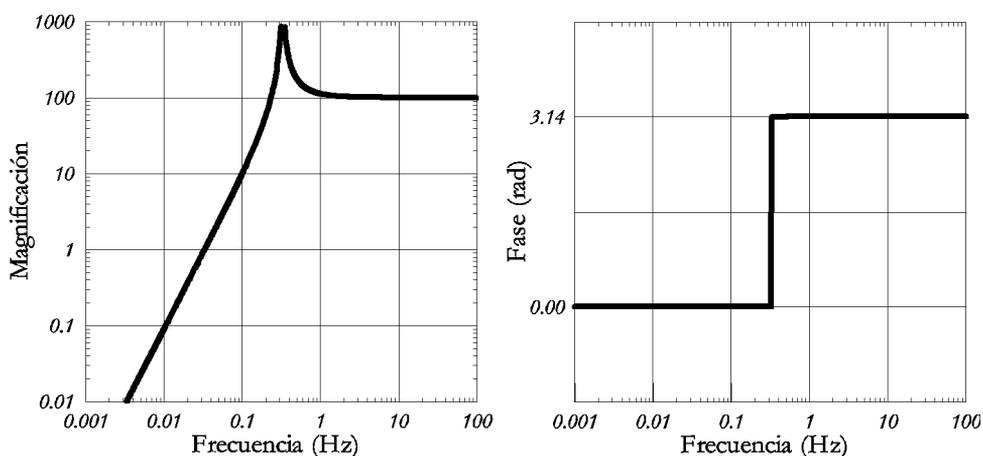
Referencias: [Tor24], [Pay98], [Rey29].

Figura 2.8.12.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo vertical Toledo, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 100$, $T_0 = 3.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

Mes de abril de 1928.

Núm. 45.

INSTITUTO GEOGRÁFICO

Estación Sismológica de Toledo.

$\varphi = 39^{\circ}51'38'',50$ N.

$\lambda = 4^{\circ}01'41'',01$ W. Gr.

Z = 519,316 metros.

Subsuelo = Gneis granítico.

Componente.	Masa. Kgs.	Período. T_0	Amplificación. V.	Rozamiento. $\frac{r}{T_0^2}$	Amortiguamiento. ϵ
Wiechert (reformado) NE	1.000	12	500	0,057	5,0
NW		11,6	550	0,055	5,0
Wiechert. Z	1.200	5	120	0,016	4,0

NOTAS. 1.^a } Amplitud + NE-SW o NW-SE o «Dilatación».
 Id. - SW-NE o SE-NW o «Condensación».
 2.^a Los valores en μ corresponden a las semiamplitudes de las gráficas.

Núm.	Fecha.	Fase.	TIEMPO MEDIO DE GREENWICH			Período. S.	AMPLITUD μ			Δ Kms.	OBSERVACIONES
			h.	m.	s.		A _{NE}	A _{NW}	A _Z		
26	3	eL _{NE}	17	5	20	»	»	»	»	9000	Ep. 69°, 6' W.-12°, 4' S (J. S. A.) Perú.
		M _{NE}	17	8	53	18	- 5	»	»		
		M _{NW}	17	9	8	18	»	+ 5	»		
		F _{NE}	17	27	0	»	»	»	»		
27	9	P _{NE}	17	46	29	»	»	»	»		
		iS _{NE}	17	56	39	»	»	»	»		
		eL _{NW}	18	10	21	»	»	»	»		
		M _{NW}	18	12	44	24	»	+ 23	»		
		M _{NE}	18	12	56	27	+ 27	»	»		
		M _{NW}	18	20	18	20	»	- 17	»		
		M _Z	18	21	44	21	»	»	- 1		
		M _{NE}	18	21	53	18	+ 27	»	»		
		M _{NE}	18	23	38	18	+ 27	»	»		
F _{NE}	19	10	0	»	»	»	»				

Figura 2.8.13.—No disponemos de ninguna fotografía de los péndulos verticales Toledo. En su lugar, reproducimos aquí una página del *boletín sismológico* de la estación de Toledo, publicado conjuntamente con los de las otras estaciones sismológicas del IGC desde agosto de 1924. Obsérvese la manera de presentar las constantes instrumentales y que no consignaba todos los instrumentos entonces en el observatorio.

Instrumento: Rebeur-Ehlert (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo).

Origen: Adquirido

Período de funcionamiento: 1909 Jun.-1914 Nov.; 1921.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	0.2	0.2
Período propio:	7.0	7.0
Amortiguamiento:	1.35	1.35
Rozamiento:	–	–
Magnificación:	123	123
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	15 [SNa09]	15
Longitud de la plumilla:	–	–

Respuesta en polos y ceros

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.1148 - j 0.8902$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.1148 + j 0.8902$

Estado actual: Desaparecidos.

Comentarios: Construidos por J. & A. Bosch (Strassburg).
Algunas veces aparecen citados como Rebeur-Bosch.

Referencias: [Pay87], [Pay98], [Mie10a], [Rey29], [Bos10].

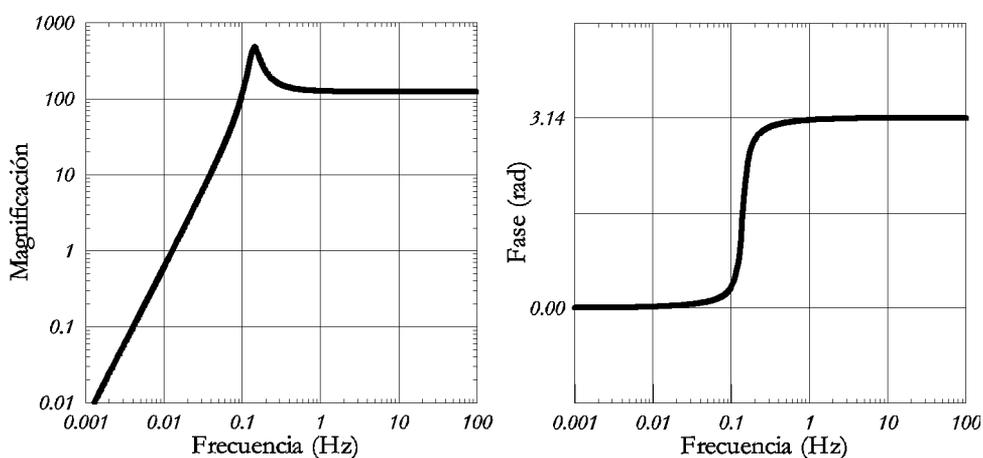


Figura 2.8.14.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Rebeur-Ehlert con las constantes instrumentales $A_m = 123$, $T_0 = 7.0$ y $\varepsilon = 1.35$.

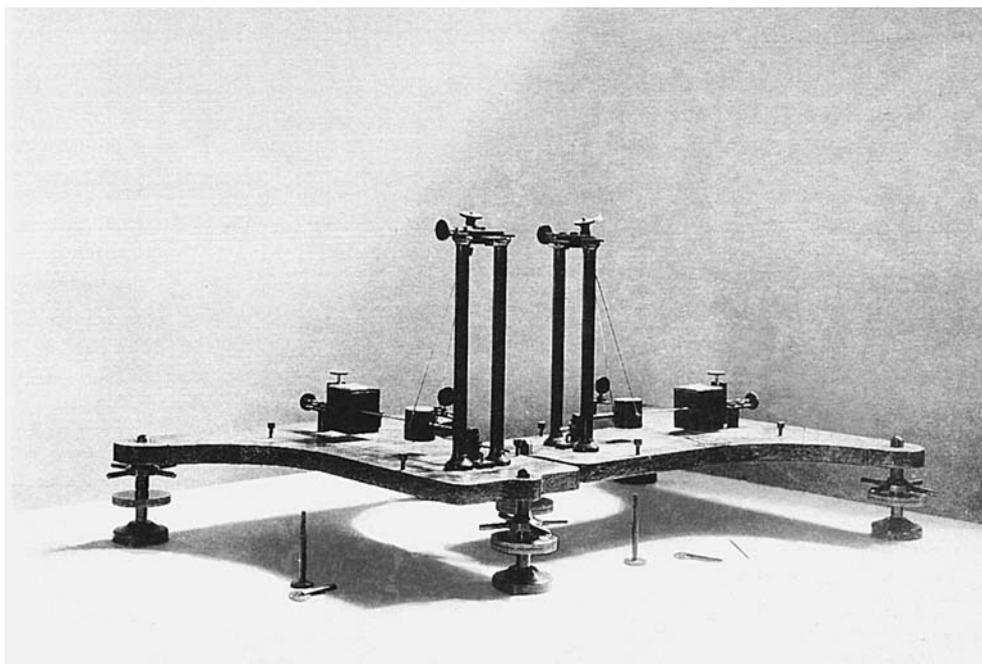


Figura 2.8.15: Sismógrafos Rebeur-Ehlerth del Observatorio de Toledo (de [Pay98]).



Figura 2.8.16.—Habitación de registro fotográfico del Observatorio de Toledo con los sismógrafos Rebeur-Ehlerth (izquierda) y el tambor de registro (derecha). Siguiendo la costumbre de la época, las paredes estaban pintadas de rojo oscuro (fotografía conservada en el archivo del Observatorio de Toledo).

Instrumento: Milne	
Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo). Origen: Adquirido [BAA08]. Período de funcionamiento: 1909-1922 Dic.	
Características:	
Componente: E-W Masa: 0.43 Período propio: 15.0 Amortiguamiento: – Rozamiento: – Magnificación: 8.78 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico Velocidad de registro: 4 Longitud de la plumilla: 948	
Respuesta en polos y ceros:	
Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.0000 - j 0.4189$ 2. $0.0000 + j 0.4189$
Estado actual: Desaparecido.	
Comentarios: Se trataba de un sismógrafo Milne del segundo modelo.	
Referencias: [Tor24], [Pay87], [Pay98], [Rey29].	

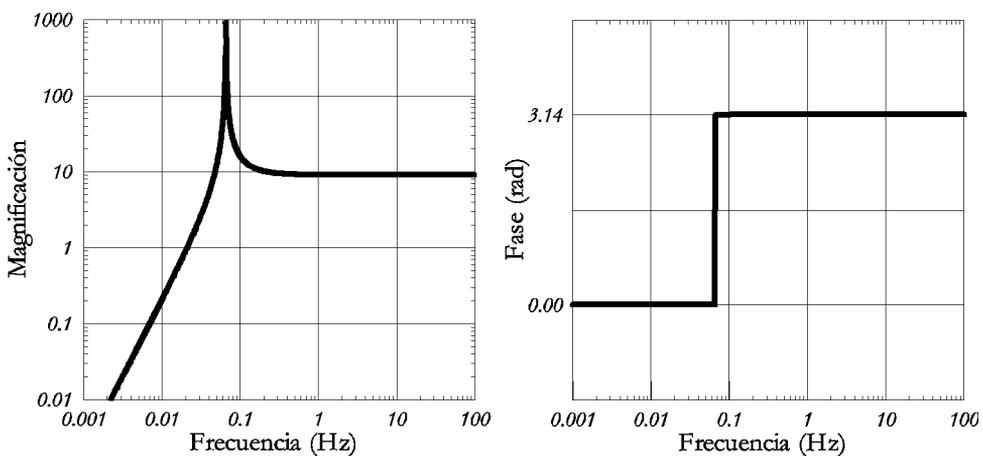


Figura 2.8.17.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Milne con las constantes instrumentales $A_m = 8.78$, $T_0 = 15.0$ y $\epsilon = 1.0$.

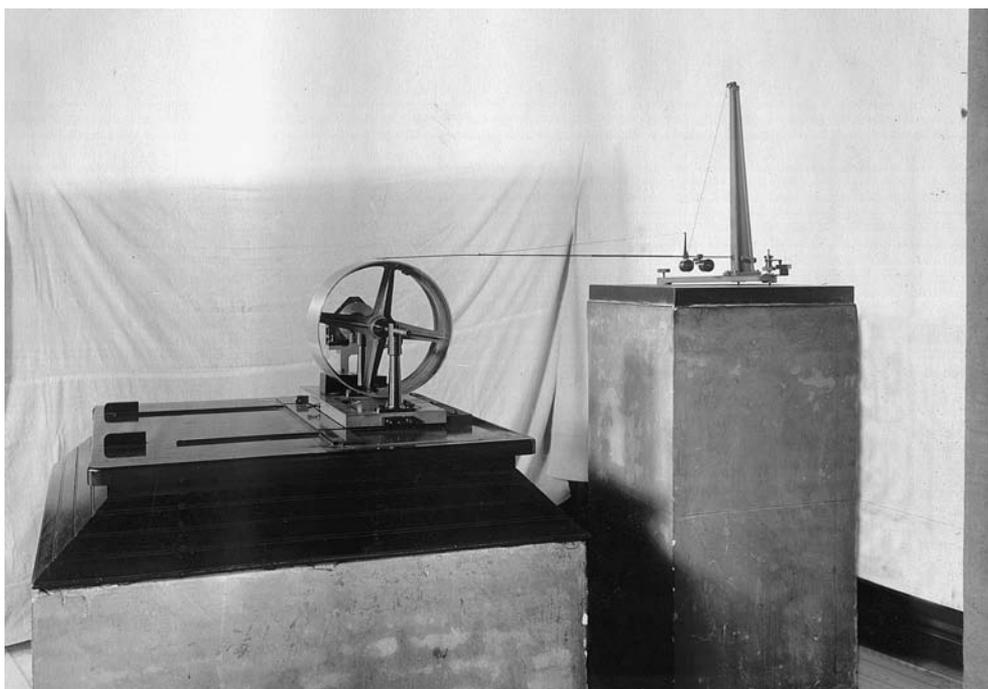


Figura 2.8.18.—Sismógrafo Milne del Observatorio de Toledo (de [Tor24]). En posición de funcionamiento (fotografía superior) y mostrando el tambor de registro fotográfico (fotografía inferior), fotografías del archivo del Observatorio de Toledo.

Instrumento: Wiechert astático

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1910 Abr.-1918 Nov.

Características:

Componente: NW-SE, NE-SW
 Masa: 1000
 Período propio: 10-13
 Amortiguamiento: 3-4
 Rozamiento: 0.005 [Ing43]
 Magnificación: 200
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 14-15
 Longitud de la plumilla: 445

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.2114 - j 0.4790$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.2114 + j 0.4790$

Estado actual: Conservado con reformas.

Comentarios: Su sistema inscriptor fue reformado en 1920.

Referencias: [Pay87], [Pay98], [Wie04], [Fer92c].

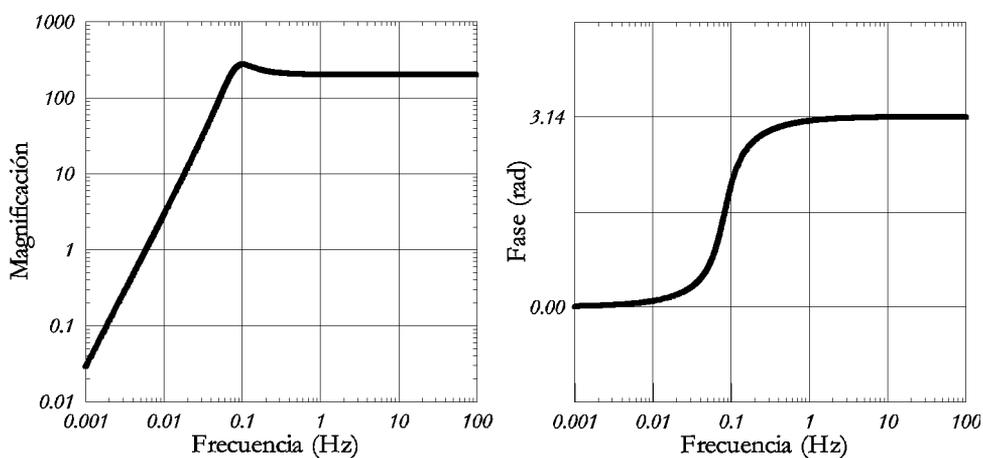


Figura 2.8.18.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Wiechert astático con las constantes instrumentales $A_m = 200$, $T_0 = 12.0$ y $\varepsilon = 4.0$.

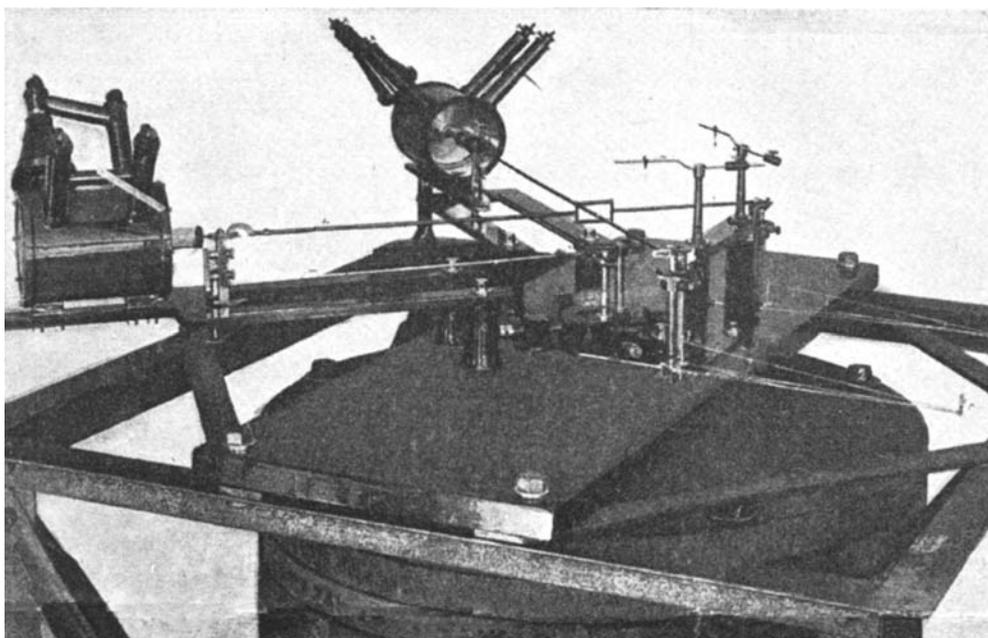


Figura 2.8.19.—Amortiguadores y mecanismo inscriptor de sismógrafo Wiechert astático antes de su reforma (de [Ing20]). Véase también la figura 2.8.21.

Instrumento: Wiechert astático reformado

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo)

Origen: Reforma del Wiechert astático ya existente

Período de funcionamiento: 1920 Oct.-1993 May.

Características:

Componente: NE-SW, NW-SE
 Masa: 1000
 Amortiguamiento: ~ 5
 Rozamiento: 0.004
 Magnificación: 400-700
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15 (hasta 1927 Dic.), 20, 40 (sólo en 1940)
 [Sam97]
 Longitud de la plumilla: 478

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.2605 - j 0.5084$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.2605 + j 0.5084$

Estado actual: Conservado en el mismo Observatorio en condiciones de funcionamiento.

Comentarios: Este aparato es el mismo Wiechert astático de la ficha anterior con una reforma de su sistema inscriptor explicada en [Ing43].

Referencias: [Rey32], [Pay87], [Pay98], [Cha53], [Ing43], [Rey29].

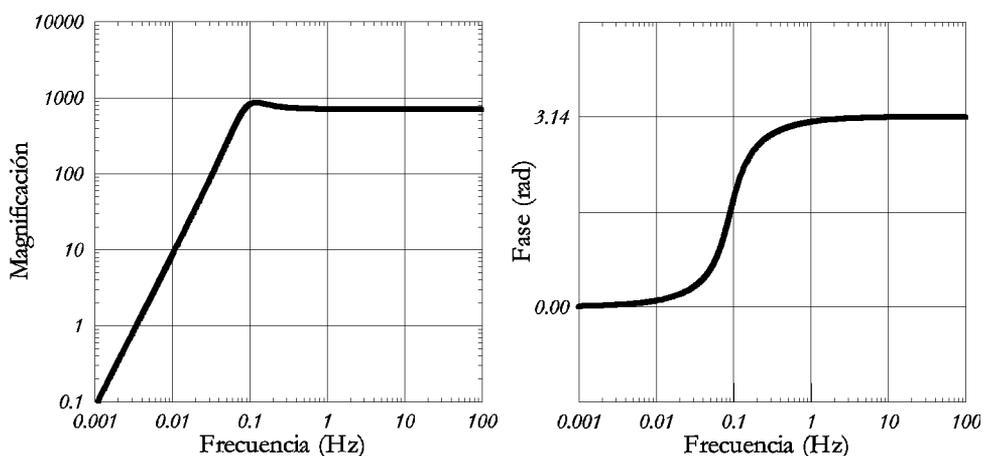


Figura 2.8.20.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Wiechert astático reformado con las constantes instrumentales $A_m = 700$, $T_0 = 11.0$ y $\varepsilon = 5.0$.



Figura 2.8.21.—Sismógrafo Wiechert astático reformado del Observatorio de Toledo (de [Rey32a]).

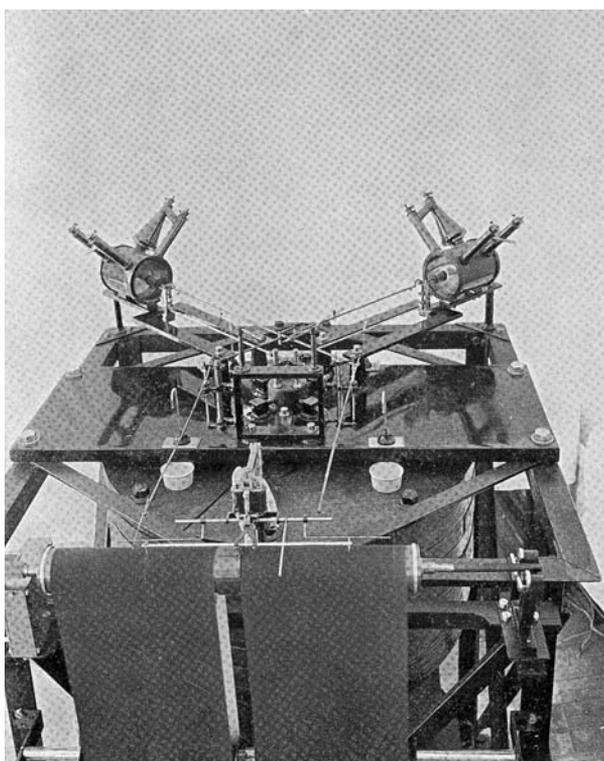


Figura 2.8.22.—Mecanismo inscriptor del sismógrafo Wiechert astático reformado (de [Tor24]).

Instrumento: Wiechert vertical

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1924 Ene.-1940 Ene.

Características:

Componente: Z
 Masa: 1200
 Período propio: 4-5
 Amortiguamiento: 4-5
 Rozamiento: ~ 0.01
 Magnificación: 120-200
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 20 [Cha53]
 Longitud de la plumilla: (200)

Respuesta en polos y ceros

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.5073 - j 1.1497$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.5073 + j 1.1497$

Estado actual: Se encuentra en el mismo Observatorio.

Comentarios: Durante muchos años se consignó su masa como 1300 kg.
 Su sistema inscriptor fue modificado en los años cuarenta [Ing43].

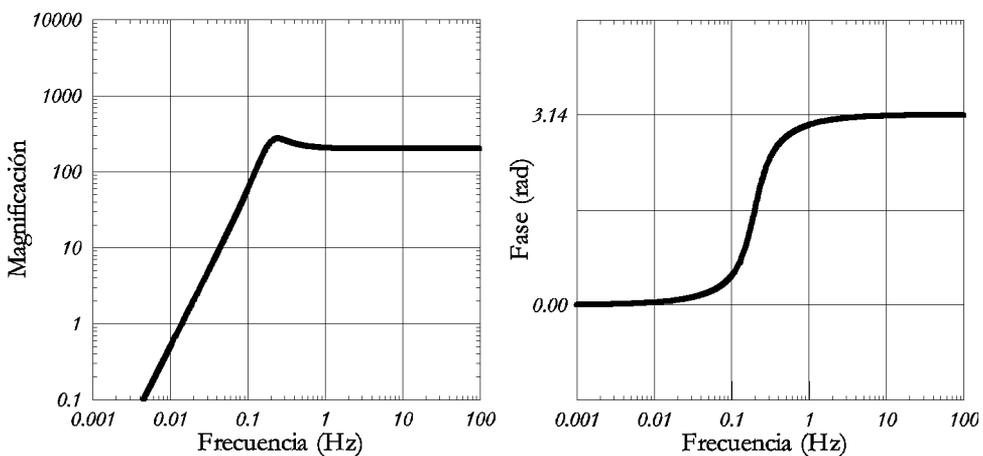
Referencias: [Rey32b], [Pay87], [Pay98], [Cha53], [Rey29].


Figura 2.8.23.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Wiechert vertical con las constantes instrumentales $A_m = 200$, $T_0 = 5.0$ y $\varepsilon = 4.0$.

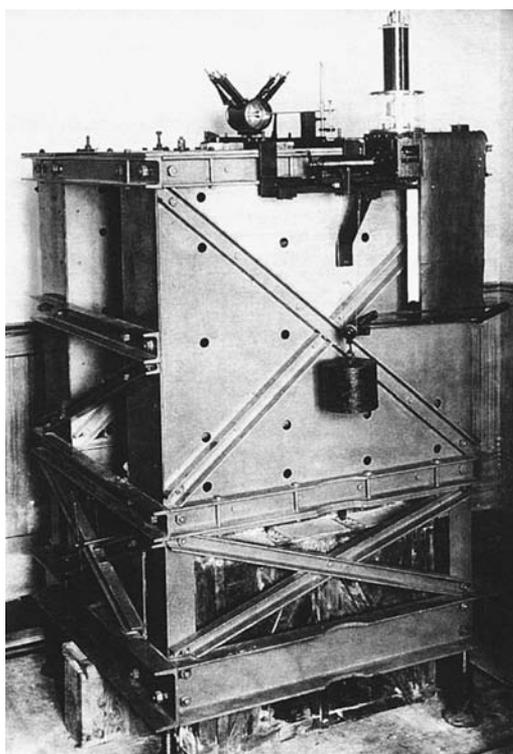


Figura 2.8.24.—Sismógrafo Wiechert vertical del Observatorio de Toledo. Vista frontal (de [Pay98]).

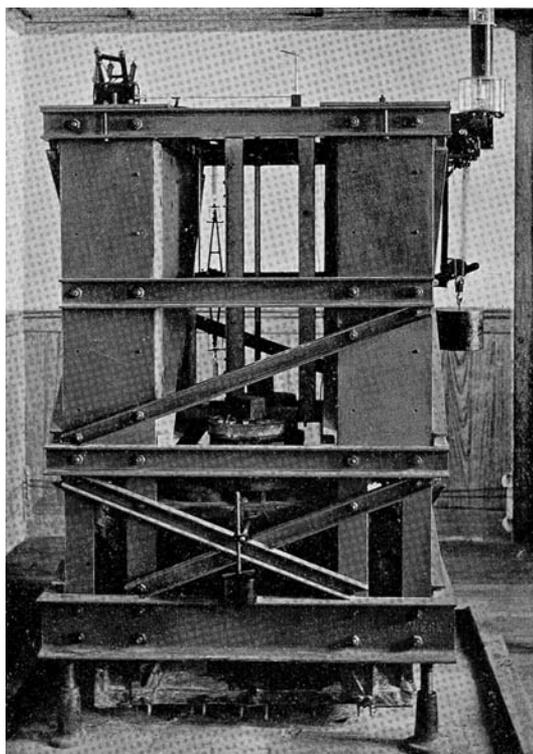


Figura 2.8.25.—Sismógrafo Wiechert vertical (vista de lado) (de [Tor24]).

Instrumento: Wiechert Toledo (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo).

Origen: Construido en el propio observatorio.

Período de funcionamiento: 1931-1987 Dic.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 1000	1000
Período propio: 10-12	10-12
Amortiguamiento: 4-5	4-5
Rozamiento: 0.004	0.004
Magnificación: 400-600	400-600
Tipo de registro: Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro: 20	20
Longitud de la plumilla:	

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.2114 - j 0.4790$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $0.2114 + j 0.4790$

Estado actual: Se conservan en estado operativo en el mismo Observatorio.**Comentarios:** Construidos a partir del péndulo vertical Toledo.

El período de actividad de estos aparatos es un poco confuso. Payo [Pay98] afirma que funcionaron ya desde 1924 Ene.; pero los escritos de Rey Pastor ([Rey29], [Rey32b]) nos permiten afirmar que funcionaron desde 1931.

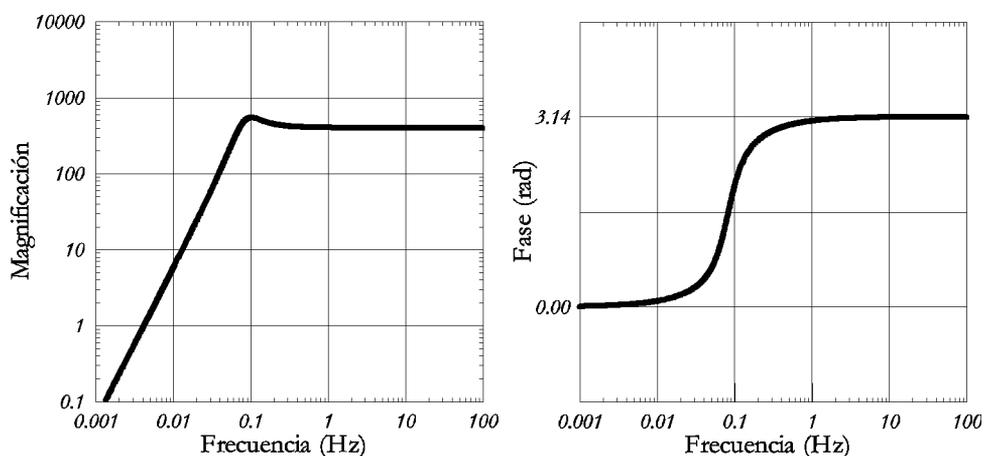
Referencias: [Rey32a], [Pay98], [Rey29].

Figura 2.8.26.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Wiechert Toledo, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 400$, $T_0 = 12.0$ y $\varepsilon = 4.0$.

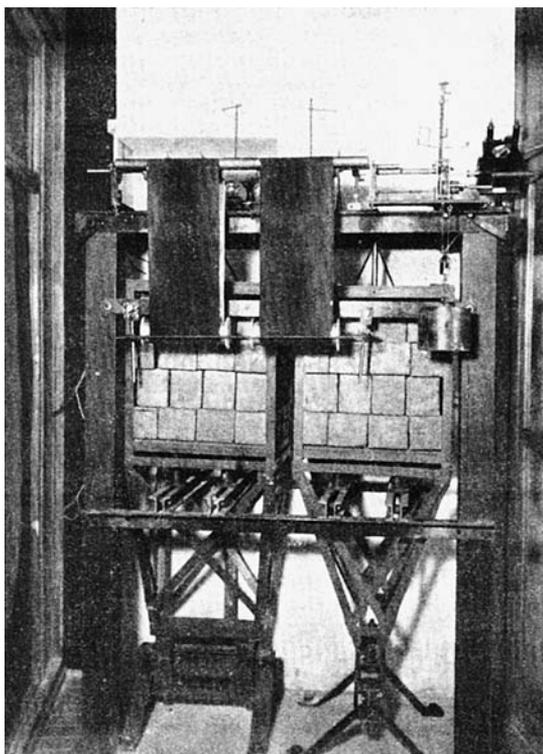


Figura 2.8.27.—Sismógrafos Wiechert Toledo en una fotografía antigua (de [Pay98]).

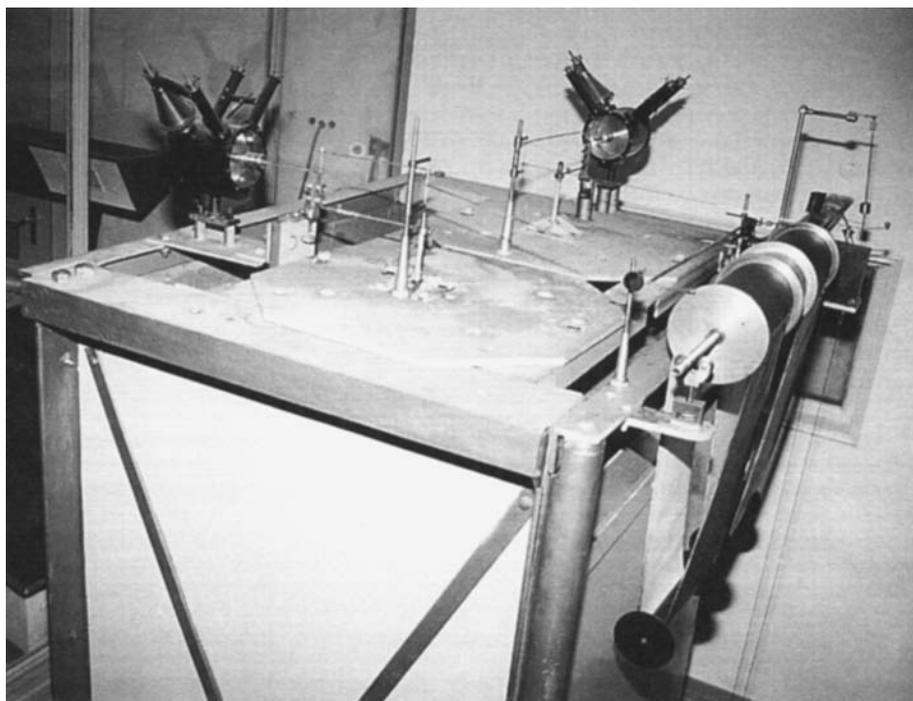


Figura 2.8.28.—Sismógrafos Wiechert Toledo. Mecanismos inscriptores en la actualidad (de [Pay98]).

Instrumento: Wiechert vertical reformado

Localización: Observatorio Geofísico de Toledo (Toledo).

Origen: Construido en el propio observatorio.

Período de funcionamiento: 1940 Ene.-1993 May.

Características:

Componente: Z
 Masa: 1200
 Período propio: 2.5-3
 Amortiguamiento: 4-5
 Rozamiento: ~ 0.02
 Magnificación: 1100-2100
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 20 [Cha53]
 Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.9550 - j 1.8640$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.9550 + j 1.8640$

Estado actual: Se encuentra en el mismo Observatorio.

Comentarios: Se trata del Wiechert zenital cuyo sistema inscriptor fue modificado en los años cuarenta [Ing43].

Referencias: [Rey32a], [Pay87], [Pay98], [Cha53].

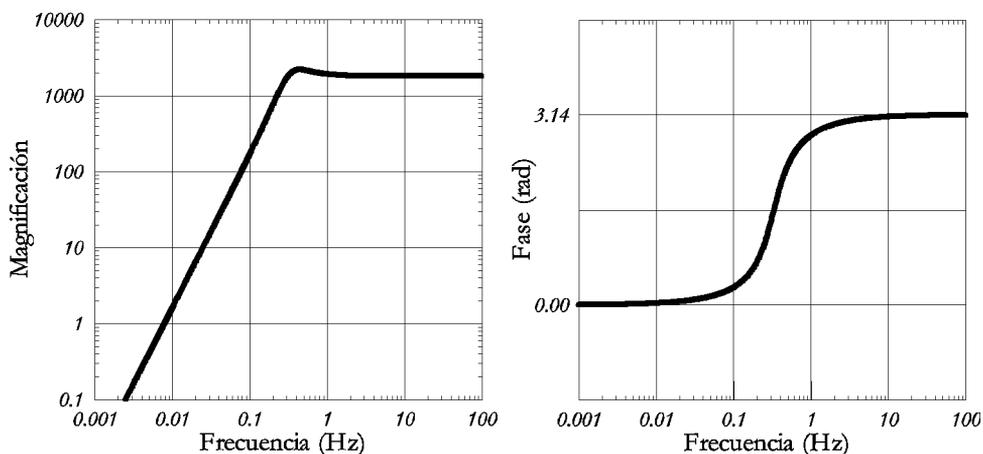


Figura 2.8.29.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Wiechert vertical reformado con las constantes instrumentales $A_m = 1800$, $T_0 = 3.0$ y $\varepsilon = 5.0$.

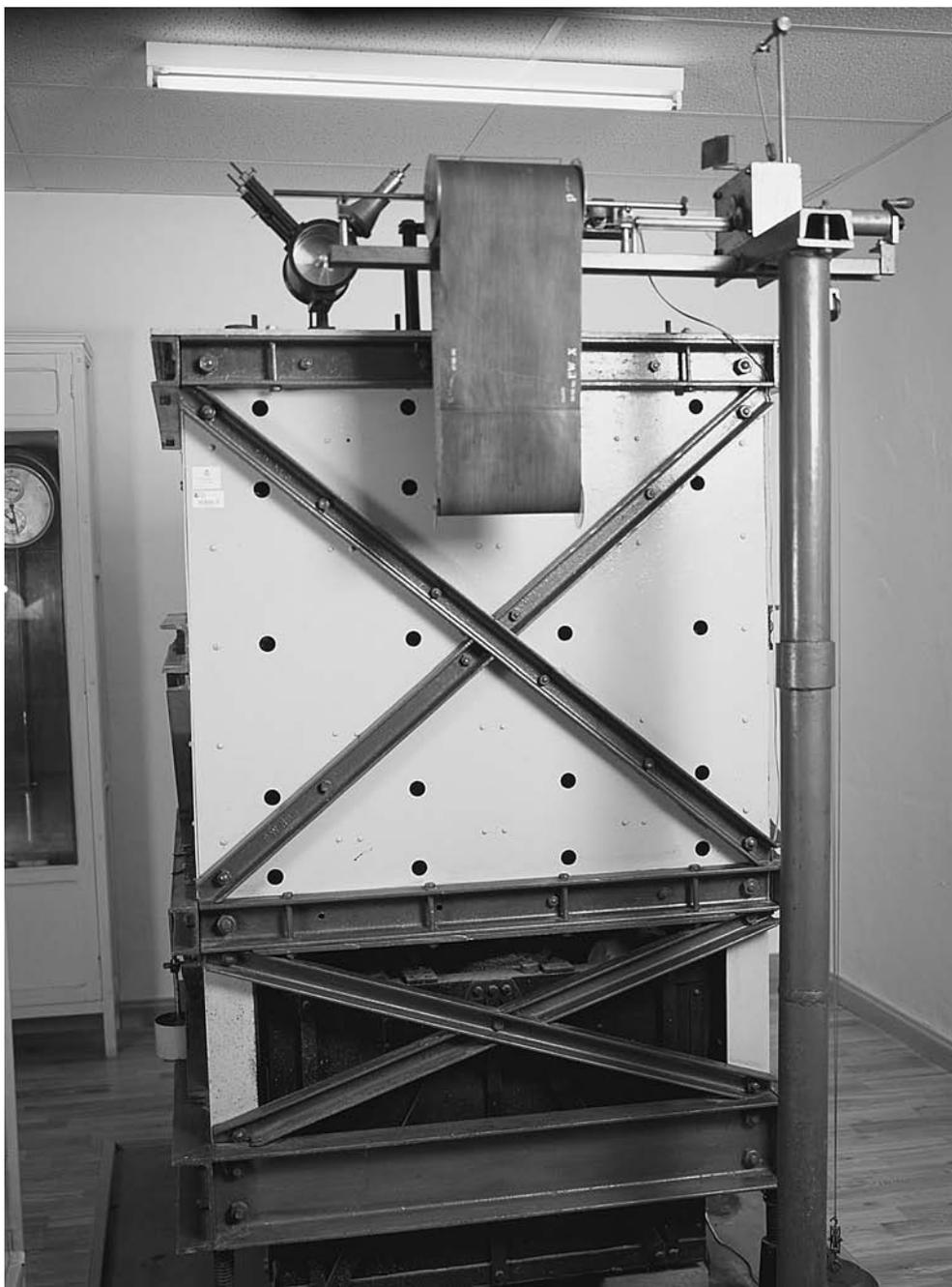


Figura 2.8.30.—Sismógrafo Wiechert vertical en su instalación actual en el Observatorio de Toledo (fotografía del Instituto Geográfico Nacional).

Instrumento: Galitzin vertical

Localización: Observatorio Geofísico Central (Toledo).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: –

Características:

Componente: Z
 Masa: ~24
 Período propio: 13 [Rey29]
 Período galvanómetro: 13 [Rey29]
 Amortiguamiento: Crítico
 Magnificación:
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 30

Respuesta en polos y ceros

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.4833 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.4833 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.4833 - j 0.0000$
		4.	$0.4833 + j 0.0000$

Estado actual: Se encuentra en el Observatorio Geofísico de Almería en restauración**Comentarios:** Construido por Cambridge Instruments. Número de serie L-15694. Fue primeramente instalado en los pilares de los sismógrafos Milne y Rebur-Elhert. Todavía estaba instalado en el observatorio en los años cuarenta y cincuenta [CNG58].

En el año 1958 fue llevado al Observatorio de Logroño; pero nunca entró en funcionamiento.

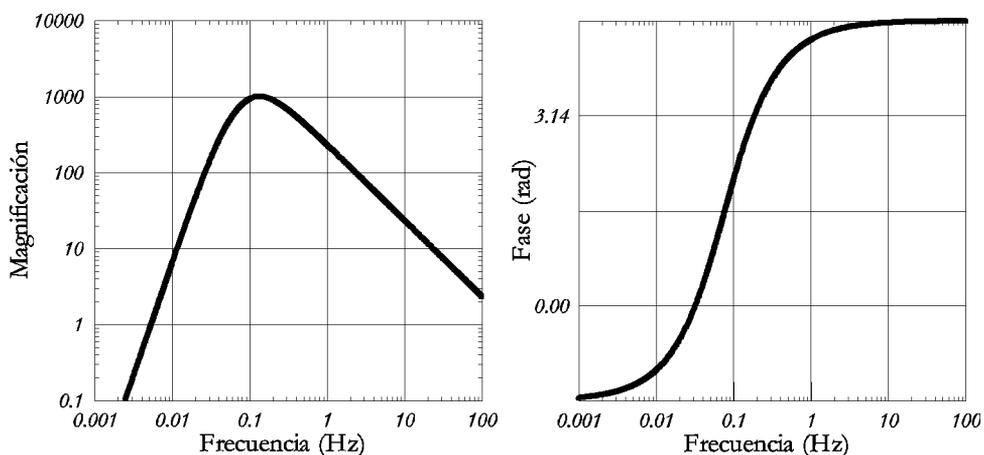
Referencias: [Bou27], [Cha53], [Gal40], [Rey29], [Ber32], [Sag20], [Fer92d].

Figura 2.8.31.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Galitzin vertical con las constantes instrumentales $A_m = 600$ (valor estimado a partir de otros aparatos del mismo tipo utilizados en otros observatorios), $T_s = T_g = 13.0$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

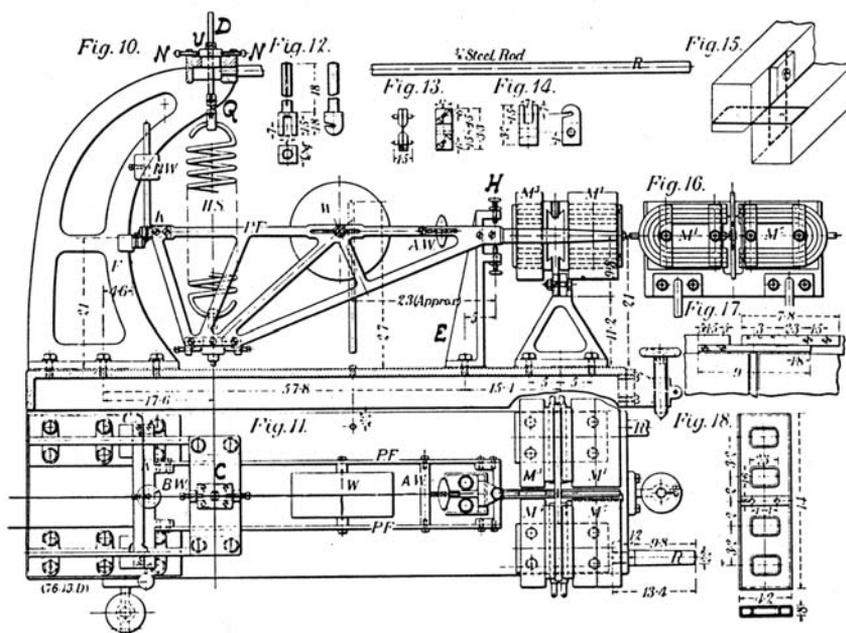
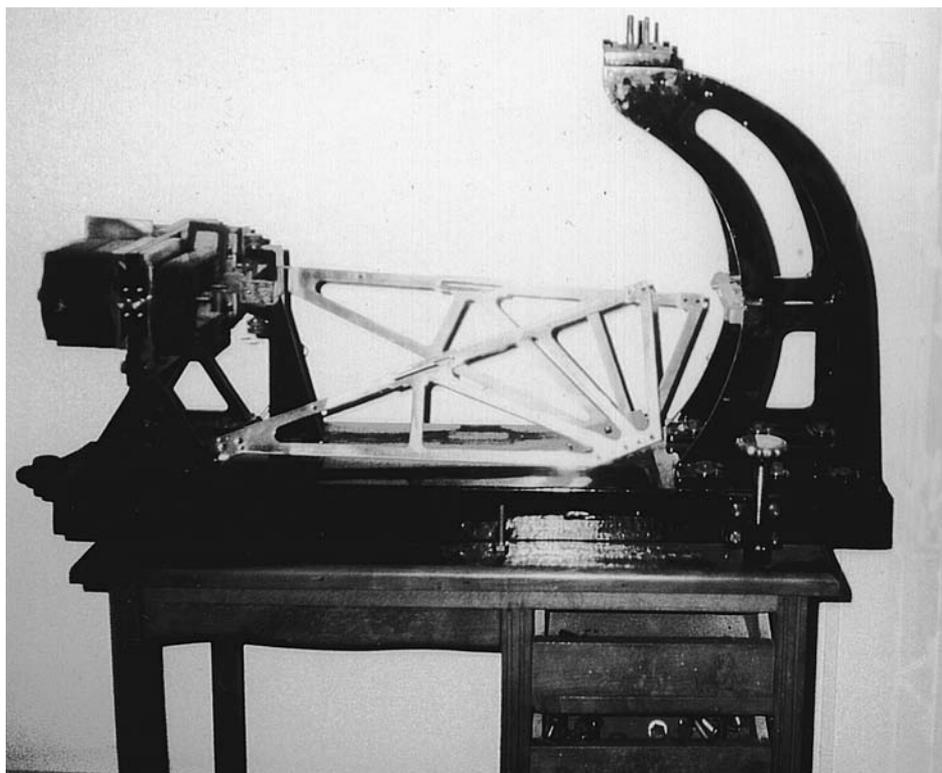


Figura 2.8.32.—Sismómetro Galitzin vertical (imagen superior) del Observatorio de Toledo en proceso de restauración en el Observatorio de Almería (fotografía de J. Batlló). En la imagen inferior, planta y alzado del sismómetro Galitzin vertical (de [Ber32]).

Instrumento: Galitzin horizontal (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico Central (Toledo).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: –

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	7.2 [Ber32]	7.2 [Ber32]
Período propio:	23.5 [Gal40]	23.8
Período galvanómetro:	23.5 [Rey29]	23.8
Amortiguamiento:	Crítico	Crítico
Magnificación:		
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	30	30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.2640 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.2640 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.2640 - j 0.0000$
		4.	$0.2640 + j 0.0000$

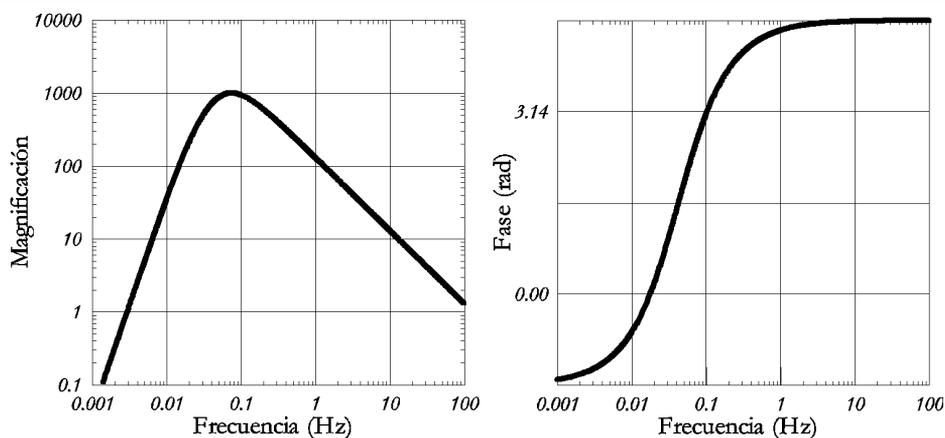
Estado actual: Ambos se encuentran en los locales de la Subdirección General de Geofísica y Geodesia del Instituto Geográfico Nacional (Madrid).**Comentarios:** Construidos por Cambridge Instruments. Fueron primeramente instalados en los pilares del Milne y Rebeur-Elhert. En los años cuarenta y cincuenta se intentó de nuevo utilizarlos [CNG58]. En el año 1958 fueron llevados al Observatorio de Logroño; pero nunca entraron en funcionamiento.**Referencias:** [Bou27], [Cha53], [Gal40], [Rey29], [Fer92d].

Figura 2.8.33.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Galitzin horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 600$ (valor estimado a partir de otros aparatos del mismo tipo utilizados en otros observatorios), $T_s = T_g = 23.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

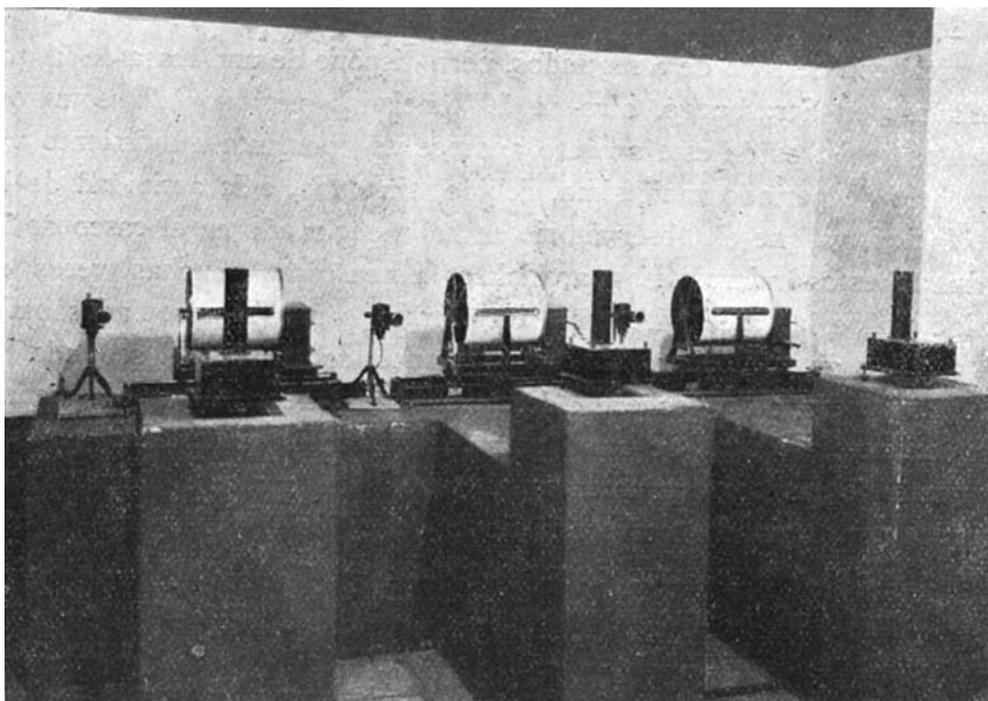


Figura 2.8.35.—Registadores y galvanómetros de los sismógrafos Galitzin (de [Rey29]).

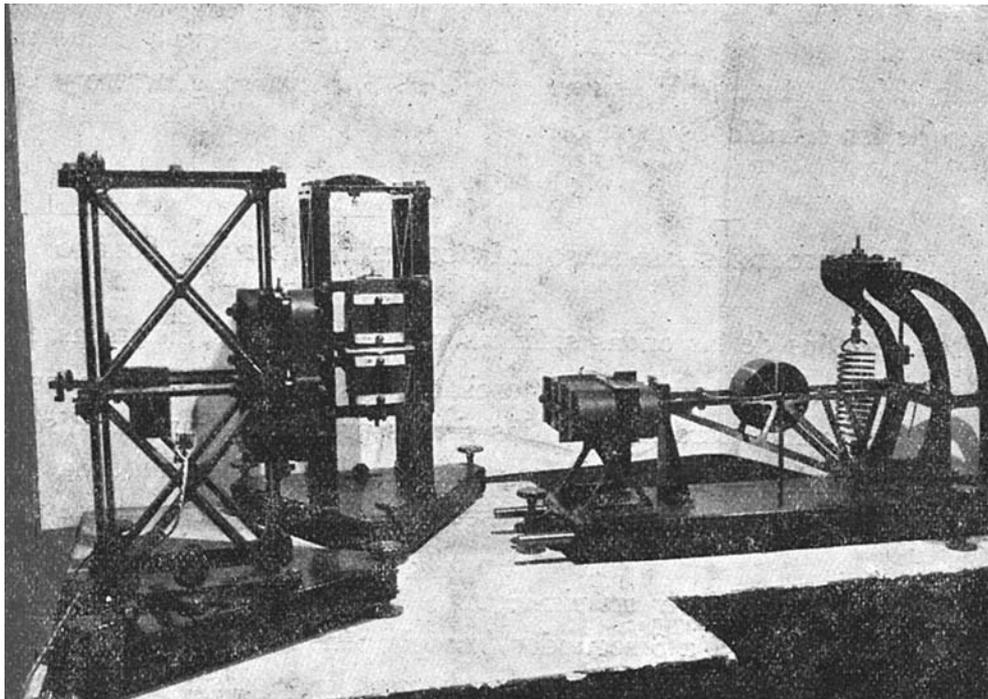


Figura 2.8.34.—Sismógrafos Galitzin instalados en el palacio de la Diputación, en Toledo (de [Rey29]).

Instrumento: Wood-Anderson

Localización: Observatorio Geofísico Central (Toledo).

Origen: Adquirido a Bendix International (USA).

Período de funcionamiento: –

Características:

Componente:
 Masa: ~ 0.016 [Ber32]
 Período propio: 0.8
 Amortiguamiento: 65 ($b = 0.8$)
 Rozamiento: –
 Magnificación: 2800
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 60
 Longitud de la plumilla: –

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$6.2832 - j 3.7699$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$6.2832 + j 3.7699$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Se adquirió en el año 1958; pero no funcionó por problemas en el registrador. Sin embargo, en el año 1961 se da como activo [deM61]. En 1969 se envió al Observatorio de Málaga.

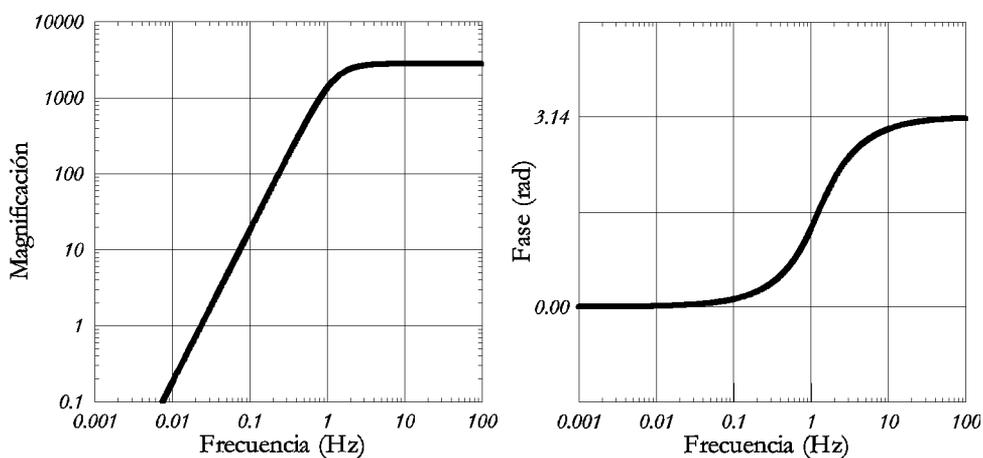
Referencias: [And25], [Ber32], [ADM59].

Figura 2.8.36.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Wood-Anderson con las constantes instrumentales $A_m = 2800$, $T_0 = 0.8$ y $b = 0.8$.

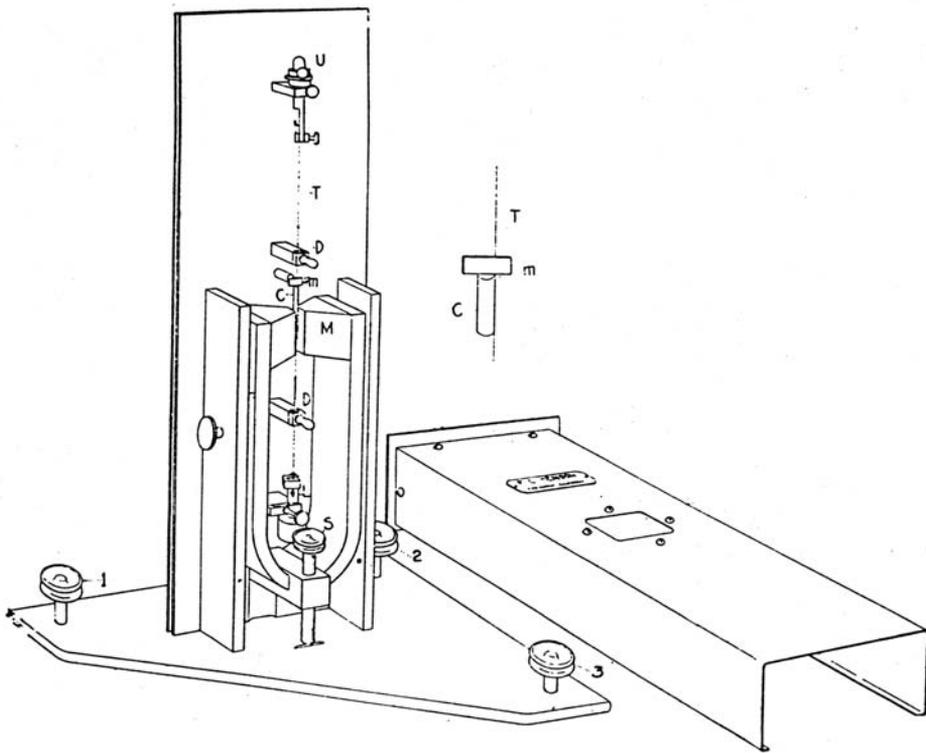


Figura 2.8.37.—No disponemos de ninguna fotografía de este aparato en el Observatorio de Toledo. Reproducimos aquí el clásico croquis de un sismómetro Wood-Anderson aparecido en [And24]. Véase también la figura 2.6.26.

Instrumento: Sprengnether vertical, serie D-H

Localización: Observatorio Geofísico Central (Toledo).
 Origen: Adquirido (Sprengnether, Saint Louis, Missouri).
 Período de funcionamiento: 1958 Oct.-1966 Oct.

Características:

Componente: Z
 Masa: 0.425
 Período propio: 1.7
 Período galvanómetro: 1.7
 Amortiguamiento: crítico
 Magnificación: 8000
 Velocidad de registro: 30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$3.6960 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$3.6960 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$3.6960 - j 0.0000$
		4.	$3.6960 + j 0.0000$

Estado actual: Se conserva en los despachos de la Subdirección de Geodesia y Geofísica del Instituto Geográfico Nacional.

Comentarios: El número de serie del sismómetro es el 1359.
 En 1966 se transfirió al Observatorio de San Fernando.

Referencias: [deM61], [Pay98].

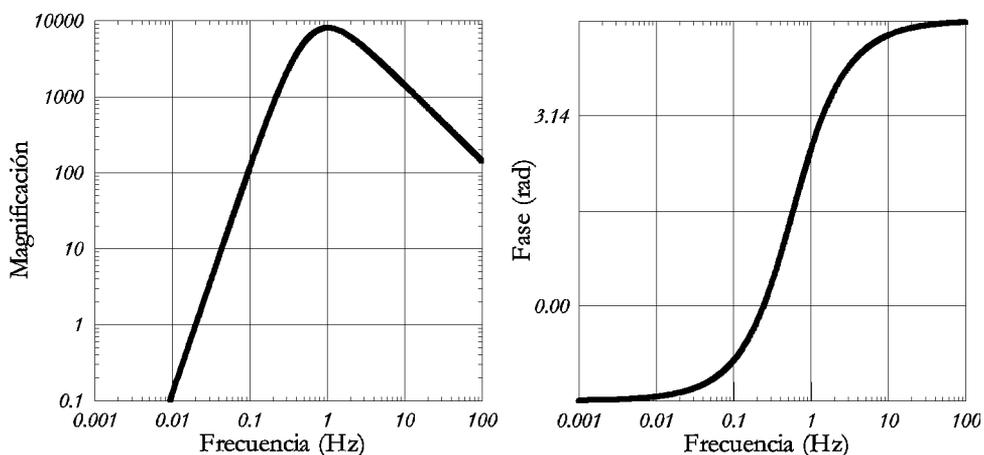


Figura 2.8.38.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether vertical, serie D-H, con las constantes instrumentales $A_m = 8000$ $T_s = T_g = 1.7$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

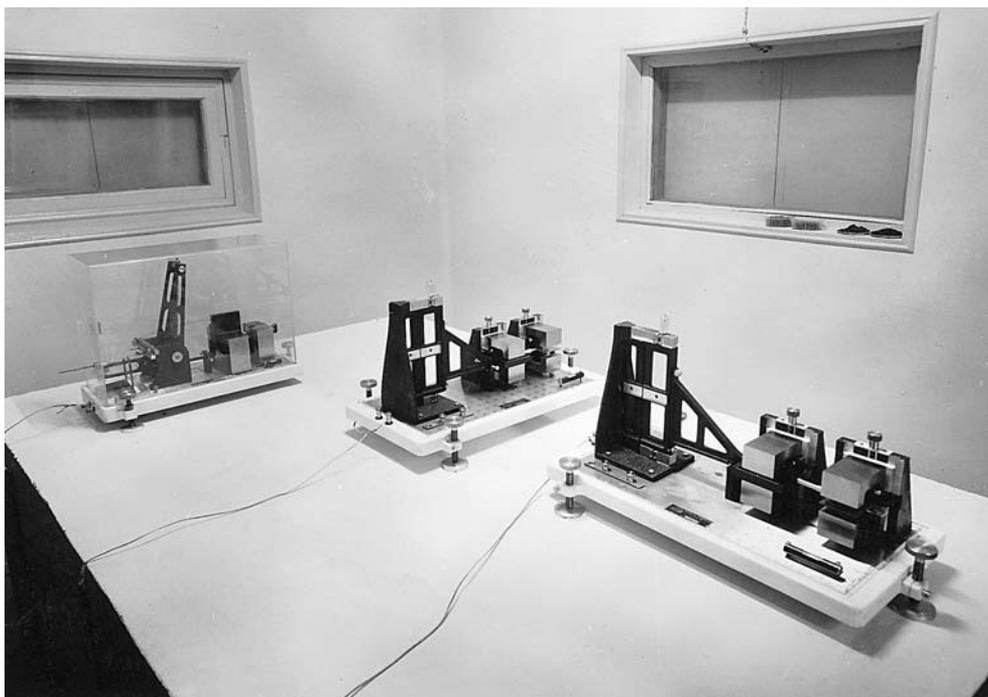


Figura 2.8.38a.—Equipo de sismógrafos Sprengnether de período medio y con amortiguación por láminas de cobre instalados en el Observatorio de Toledo (fotografía conservada en el mismo Observatorio). El sismómetro vertical se halla al fondo a la izquierda..

Instrumento: Sprengnether horizontal (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico Central (Toledo).

Origen: Adquiridos (Sprengnether, Saint Louis, USA).

Período de funcionamiento: 1958 Oct.-1966 Oct.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	0.878	0.878
Período propio:	13.0	14.3
Período galvanómetro:	13.0	14.3
Amortiguamiento:	∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación:	1780	1730
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	30	30

Respuesta en polos y ceros (componente N-S):

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.4833 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.4833 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.4833 - j 0.0000$
		4.	$0.4833 + j 0.0000$

Estado actual: Ambos se conservan en los despachos de la Subdirección de Geodesia y Geofísica del Instituto Geográfico Nacional.

Comentarios: Los números de serie de los sismómetros son el 1332 y el 1334. En 1966 se transfirieron al Observatorio de San Fernando.

Referencias: [deM61], [Pay98].

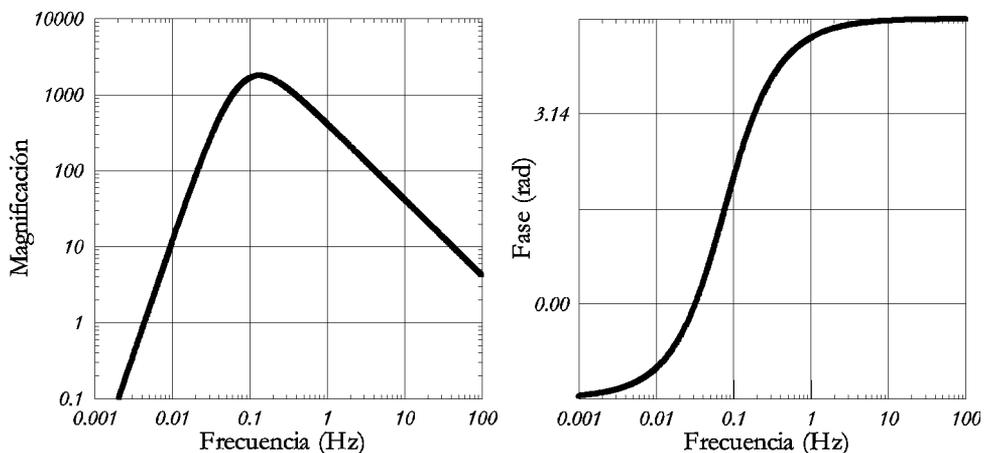


Figura 2.8.39.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether horizontal, serie H, componente N-S con las constantes instrumentales $A_m = 1780$, $T_s = T_g = 13.0$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

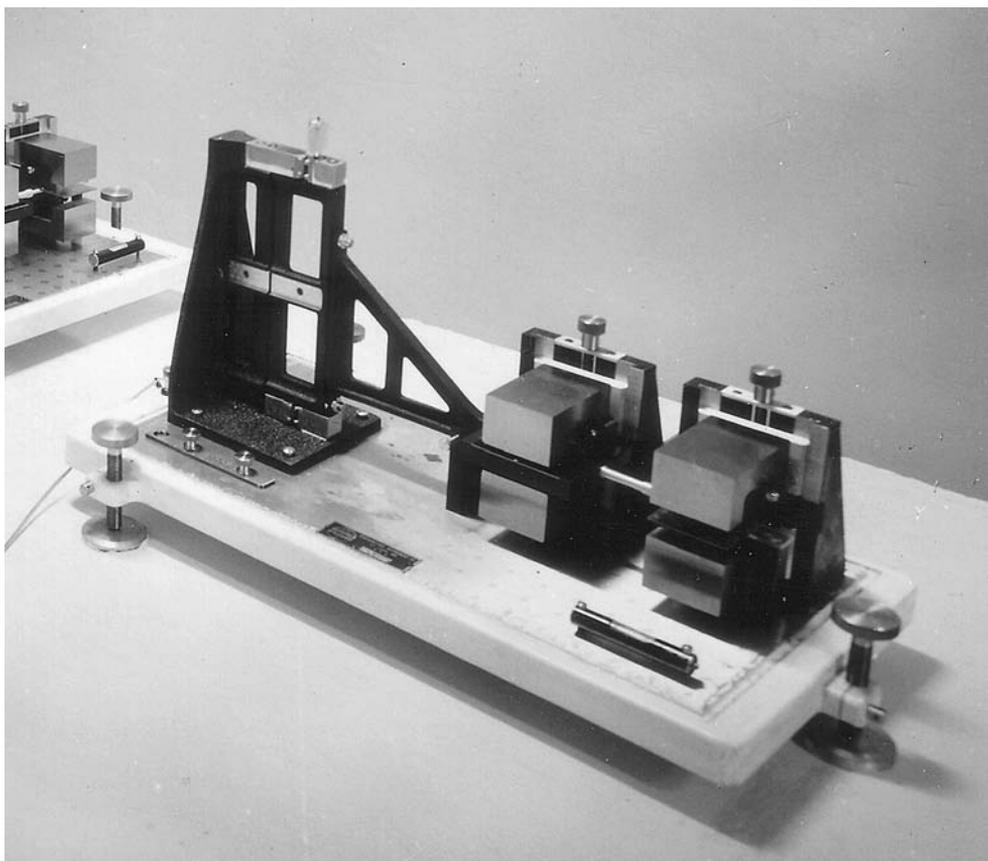


Figura 2.8.40.—Detalle del sismómetro horizontal Sprengnether de período intermedio en su instalación en el Observatorio de Toledo (fotografía conservada en el mismo Observatorio).

Instrumento: Sprengnether S-5000 V

Localización: Observatorio Geofísico Central (Toledo).

Origen: Cedido por el USCGS.

Período de funcionamiento: 1962 Abr.-1992 Oct.

Características:

Componente: Z
 Masa: 11.2
 Período propio: 15.0 (30.0 hasta septiembre de 1965)
 Período galvanómetro: 100.0
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: 1500
 Velocidad de registro: 15

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.4188 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.4188 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.0628 - j 0.0000$
		4.	$0.0628 + j 0.0000$

Estado actual: Se conserva en el mismo Observatorio.**Comentarios:** Este equipo formaba parte de la WWSSN. Se completaba con un galvanómetro Lehner-Griffith, modelo GL-261 de United ElectroDynamics, Inc. (Pasadena, California).

En 1985 se digitalizó su registro.

Véase el esquema de este aparato en la figura 2.4.30.

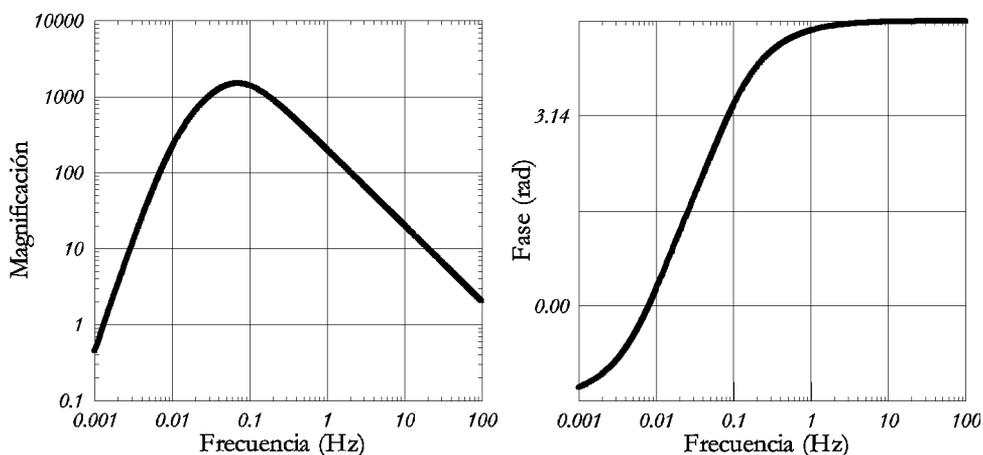
Referencias: [Pay98].

Figura 2.8.41.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether S-5000 V vertical con las constantes instrumentales $A_m = 1500$, $T_s = 15.0$, $T_g = 100.0$ y amortiguamiento $b = 1.0$.

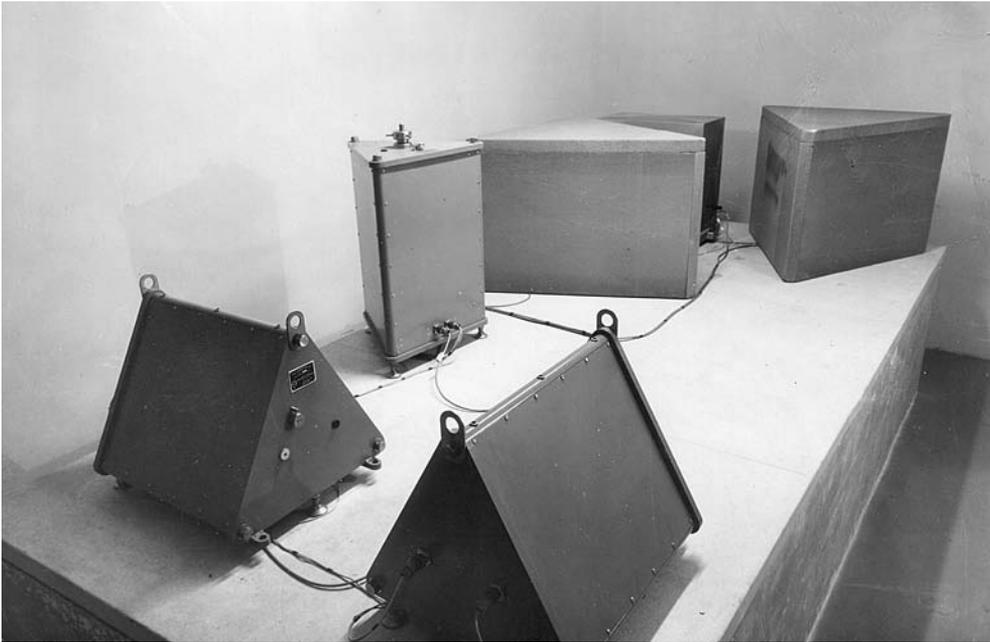


Figura 2.8.42: Sismómetros Benioff modelo 1051 y 1101 (en primer plano) y sismómetros Sprengnether S-5000 de período largo instalados en el Observatorio de Toledo. Estos últimos se encuentran protegidos de las variaciones bruscas de temperatura por una cubierta aislante (fotografía del archivo del IGN).

Instrumento: Sprengnether S-5000 H (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico Central (Toledo).

Origen: Cedidos por el USCGS.

Período de funcionamiento: 1962 Abr.-1992 Oct.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: 10.7	10.7
Período propio: 15.0 (30.0 hasta 1965 Sep.)	15.0 (30.0 hasta 1965 Sep.)
Período galvanómetro: 100.0	100.0
Amortiguamiento: ∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación: 1500	1500
Tipo de registro: Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro: 15	15

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $0.4188 - j 0.0000$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $0.4188 + j 0.0000$
3. $0.0000 + j 0.0000$	3. $0.0628 - j 0.0000$
	4. $0.0628 + j 0.0000$

Estado actual: Ambos se conservan en el mismo Observatorio.**Comentarios:** Este equipo formaba parte de la WWSSN. Se completaba con galvanómetros Lehner-Griffith, modelo GL-261 de United ElectroDynamics, Inc. (Pasadena, California).

En 1985 se digitalizó su registro.

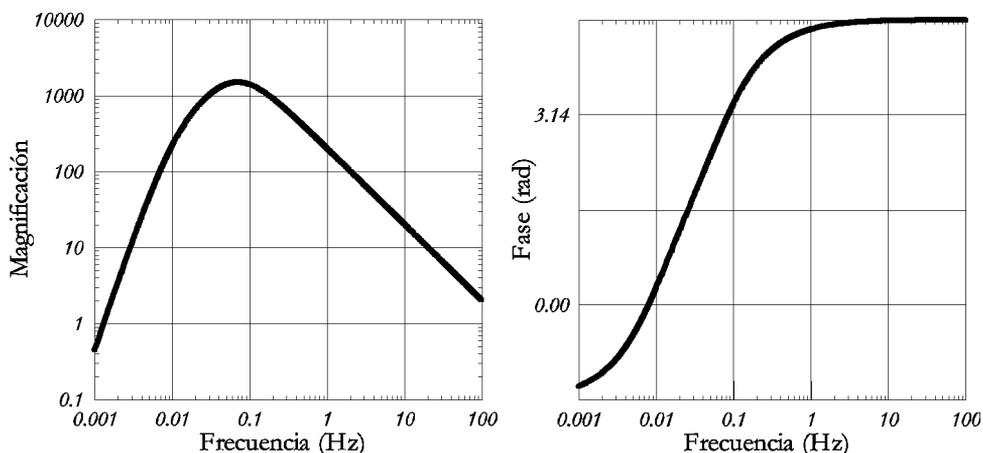
Referencias: [Pay98].

Figura 2.8.43.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Sprengnether S-5000 H horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 1500$, $T_s = 15.0$, $T_g = 100.0$ y amortiguamiento $h = 1.0$.

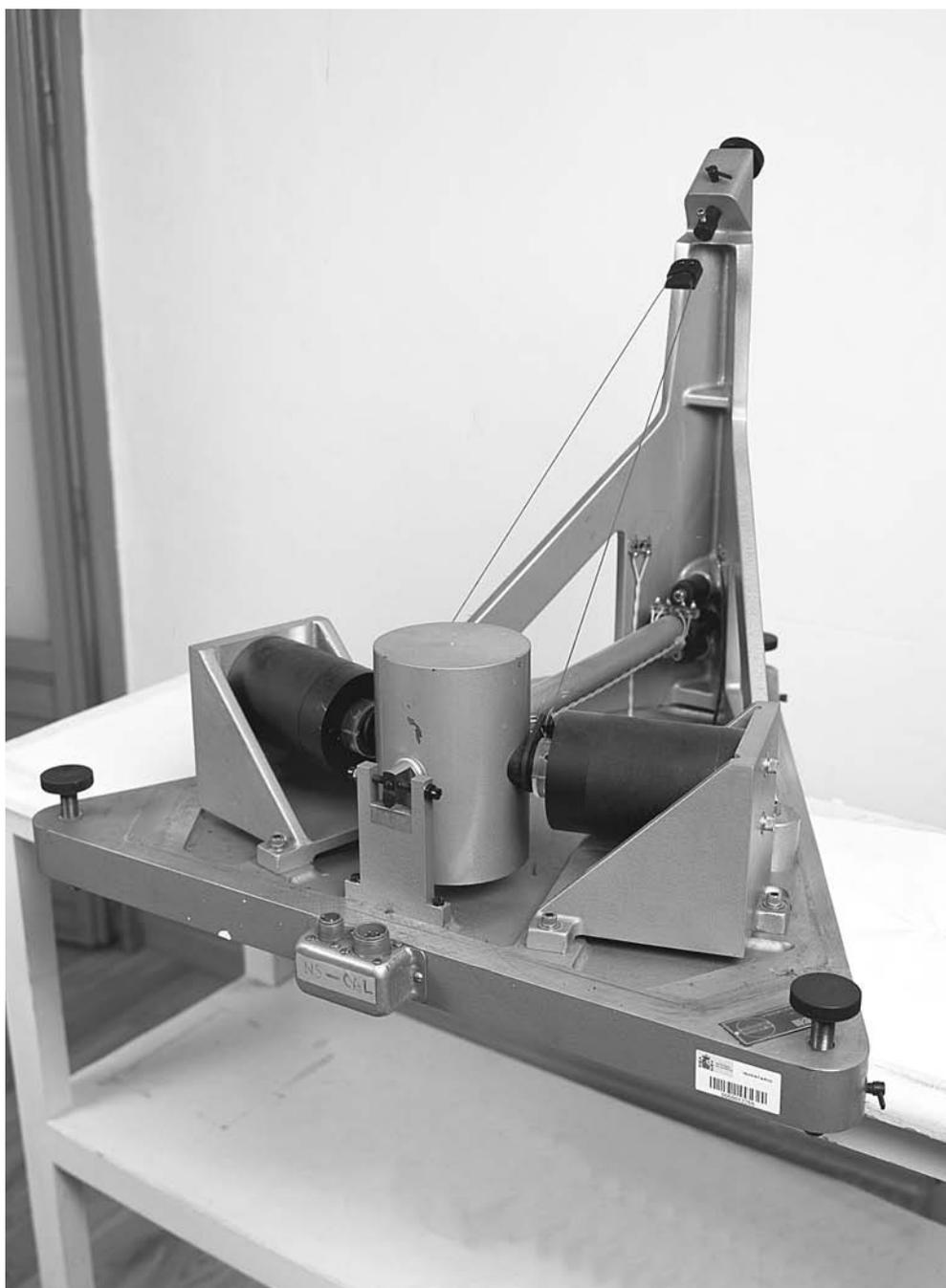


Figura 2.8.44.—Sismómetro horizontal Sprengnether S-5000 H de período largo del Observatorio de Toledo en una fotografía actual (archivo del Instituto Geográfico Nacional). Véase también la figura 2.6.36.

Instrumento: Benioff, model 1051

Localización: Observatorio Geofísico Central (Toledo).

Origen: Cedido por el USCGS.

Período de funcionamiento: 1962 Abr.-1992 Oct.

Características:

Componente: Z
 Masa: 107.5
 Período propio: 1.0 (2.0 hasta Julio de 1962)
 Período galvanómetro: 0.75
 Amortiguamiento: $b = 0.67$
 Magnificación: 50000
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.2097 - j 4.6644$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.2097 + j 4.6644$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$8.3776 - j 0.0000$
		4.	$8.3776 + j 0.0000$

Estado actual: Se conserva en el mismo Observatorio.**Comentarios:** Formaba parte de la WWSSN.

La magnificación de este aparato varía entre 25000 y 50000.

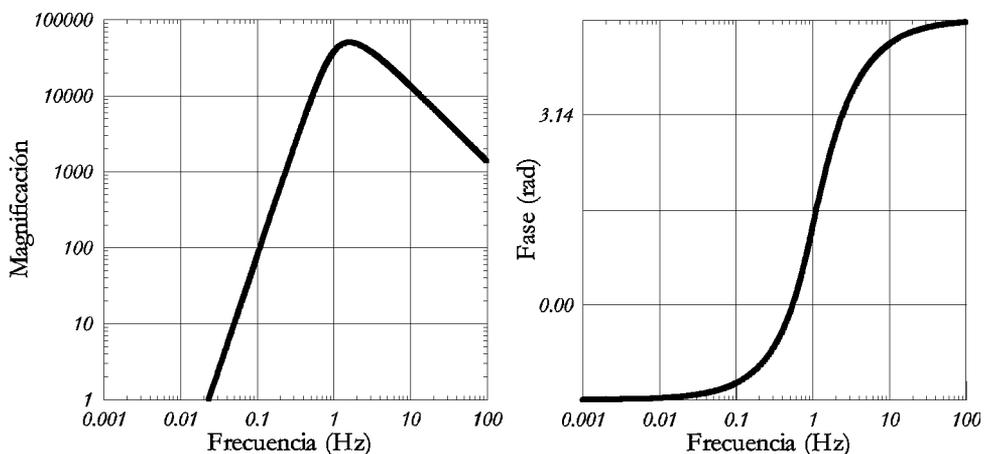
Referencias: [Ben32], [Pay98].

Figura 2.8.45.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Benioff vertical con las constantes instrumentales $A_m = 50000$, $T_s = 1.0$, $T_g = 0.75$ y amortiguamiento $b = 0.67$.



Figura 2.8.46.—Fotografía actual del sismómetro vertical Benioff, serie 1051, instalado en el Observatorio de Toledo (archivo del Instituto Geográfico Nacional).

Instrumento: Benioff, model 1101 (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico Central (Toledo).

Origen: Cedidos por el USCGS.

Período de funcionamiento: 1962 Oct.-1992 Oct.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	107.5	107.5
Período propio:	1.0 (2.0 hasta 1962 Jul.)	1.0 (2.0 hasta 1962 Jul.)
Período galvanómetro:	0.75	0.75
Amortiguamiento:	$h = 0.67$	$h = 0.67$
Magnificación:	25000	25000
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	60	60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.2097 - j 4.6644$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.2097 + j 4.6644$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$8.3776 - j 0.0000$
		4.	$8.3776 + j 0.0000$

Estado actual: Ambos se conservan en el mismo Observatorio.**Comentarios:** Formaban parte de la WWSSN.

La magnificación de estos aparatos varía entre 13000 y 25000 según las épocas.

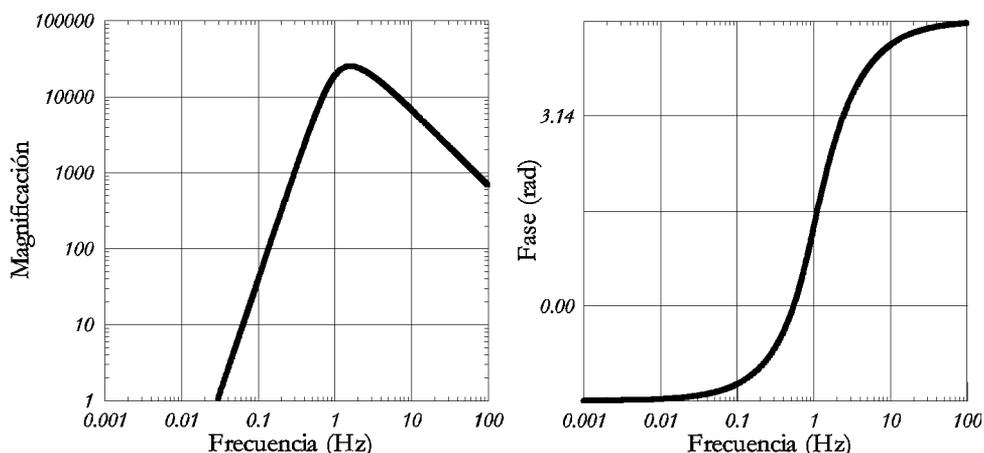
Referencias: [Pay98].

Figura 2.8.47.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Benioff horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 25000$, $T_s = 1.0$, $T_g = 0.75$ y amortiguamiento $h = 0.67$.

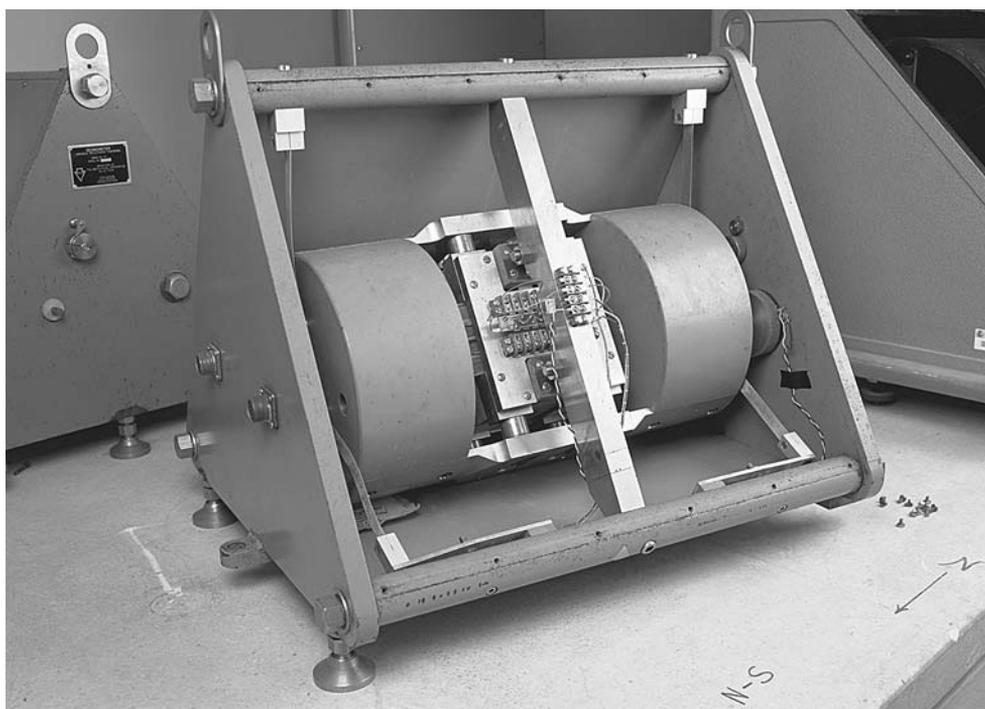


Figura 2.8.48.—Fotografías actuales de un sismómetro horizontal Benioff, serie 1101, instalado en el Observatorio de Toledo (archivo del Instituto Geográfico Nacional).

2.9. *Observatorio de Manila*

El Observatorio de Manila (Filipinas) se fundó en el año 1865. Sus inicios están ligados al llamado «Ateneo Municipal» (escuela de enseñanza primaria y secundaria, perteneciente al Consejo Municipal de la ciudad de Manila, y regentada por la Compañía de Jesús). El Observatorio inició su actividad en las dependencias de esta escuela. Desde sus inicios fue un Observatorio de carácter geofísico y se orientó muy principalmente al estudio de los ciclones tropicales (o «baguíos», como se les llama en las islas Filipinas), no sin olvidar los estudios de los fenómenos sísmicos y volcánicos, ambos muy frecuentes en esas islas. Los inicios de este importante observatorio se hallan cuidadosamente descritos en [Sad15] y nos limitaremos aquí a apuntar el desarrollo y evolución de la observación sísmica en los años de la colonia española (recientemente revisada por J. Batlló. [Bat02]).

No queda claro que el Observatorio de Manila dispusiera de instrumentos de observación sísmica desde el mismo momento de su fundación. Su [Su88] afirma que el registro instrumental comenzó en 1866; pero la primera indicación fiable de la existencia de tales aparatos es el año 1869, en que disponemos ya de datos registrados por aquellos primeros instrumentos [Sad95]. Es, pues, el Observatorio de Manila, la primera estación sísmica española, anticipándose en más de quince años a las primeras observaciones regulares realizadas en observatorios peninsulares.

El registro sísmico instrumental del Observatorio de Manila sufrió varias interrupciones (debidas, por una parte, a la falta de personal y, por la otra, a un cambio de local dentro del mismo edificio [Sad95]) hasta el año 1877, en que las observaciones se regularizaron definitivamente. Los primeros instrumentos utilizados fueron péndulos muy sencillos que encajan más en la categoría de sismoscopios que en la de sismógrafos. En el año 1880, a consecuencia de los grandes terremotos que afectaron a la ciudad de Manila, se decidió la adquisición de nueva instrumentación, de origen principalmente italiano. Desde ese momento, la evolución del Observatorio fue rápida.

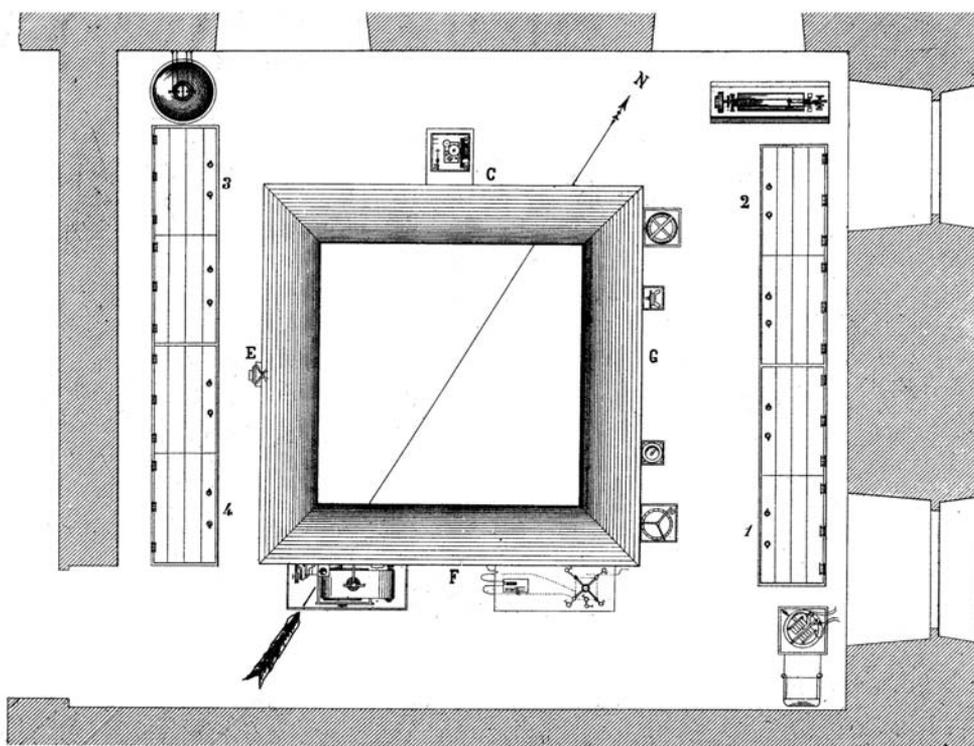
En 1884 el estado español oficializó el trabajo que se venía desarrollando en el Observatorio con la creación y dotación del llamado «Servicio Meteorológico de la isla de Luzón» (R. O. del 28 de abril de 1884), con sede central en el mismo Observatorio y bajo su dirección. Aunque esta oficialización correspondía principalmente, y como su nombre indica, a los servicios meteorológicos que se realizaban en el Observatorio, el aumento de la financiación del centro y la estrecha relación existente en la época entre ambas ciencias beneficiaron también a la sección sísmica.

El siguiente paso en la evolución del Observatorio fue un cambio de sede. En 1886 se trasladó la actividad del Observatorio al edificio de la recientemente inaugurada Escuela Normal de Manila. Como veremos más adelante, la nueva sede era muy amplia y adecuada para los estándares de la época. Ya en 1890, el Gobierno español dotaba, por primera vez en su historia y quince años antes que existiese un cargo similar en España, la plaza de director de la sección sísmica del Observatorio de Manila. Esta situación se mantuvo hasta el fin de la colonia española en Filipinas.

Disponemos de escasa información sobre la instalación de los aparatos sísmicos (solo dos péndulos en los primeros años) en los locales del «Ateneo» de Manila. En cambio, la instalación de la estación sísmica en la escuela normal se encuentra detalladamente documentada en [Sad95].

Los aparatos sísmicos se encontraban casi todos en una sala, que se hallaba en la planta baja correspondiente a la torre de la derecha del gran edificio ocupado por la Escuela Normal Superior de Maestros y el mismo Observatorio. La sala era de planta rectangular. En su parte central se levantaba, con cimentación propia y aislada de la del resto del edificio, por capas de arena y serrín, un gran macizo de sillería que hasta el piso principal tenía forma de pirámide de base cuadrada de 5 m de lado y el resto, hasta el segundo piso, era un paralelepípedo de base asimismo cuadrada de 3,30 m de lado. En las caras de este macizo completamente independiente, tanto de las paredes como de los pisos del edificio, estaban instalados los aparatos sísmicos (véase la figura 2.9.1).

Describamos la distribución de los instrumentos. En la cara F se encontraba el sismógrafo analizador Secchi y el microsismógrafo Rossi; la cara E contenía un aparato telefónico receptor enlazado al criptófono de parabolóide, que no era más que un micrófono sísmico con una cúpula amplificadora, y que estaba colocado en el pozo núm. 3; la cara C soportaba el sismógrafo de Gray-Milne; y en la cara G se hallaban dos sismómetros horizontales ordinarios de péndulo. También se disponía, en esta planta, un mareógrafo instalado en el pozo núm. 2. El segundo cuerpo del macizo, correspondiente al piso principal, estaba destinado a la colocación de algunos aparatos sísmicos de más frecuente observación. La cara C se encontraba ocupada por el tromómetro Bertelli, un microsismógrafo Secchi y un sismógrafo vertical ordinario, en la cara E había un segundo sismógrafo Gray-Milne y las dos caras restantes quedaban para aparatos meteorológicos.



DEPARTAMENTO SÍSMICO

Figura 2.9.1.—Plano de la planta baja de la sala de observaciones sísmicas del Observatorio de Manila (de [Sad95]). Véase la descripción de la distribución de los diferentes instrumentos en el texto.

Dado el carácter precursor de este observatorio a nivel internacional, se hace difícil la catalogación de muchos de los instrumentos de registro sísmico en él utilizados siguiendo los criterios que nos hemos fijado en este trabajo, dado que varios de ellos se apartan de los esquemas más tarde comúnmente aceptados para el registro sísmico. Por otra parte, la importancia y significado de este observatorio (apunta Batlló en un reciente trabajo de valoración [Bat02] que, juntamente con Tokio, era el observatorio sismológico más importante del lejano oriente) nos impulsa a describir con más detalle los instrumentos que en él se reunieron. Por este motivo, rompiendo el esquema de trabajo seguido hasta ahora, introducimos una tabla (2.9.1) en donde listamos todos los instrumentos utilizados y sus principales características. También acompañamos esta sección de la reproducción de varias fotografías y grabados de estos instrumentos.

Tabla 2.9.1
Sismoscopios y sismógrafos instalados en el Observatorio de Manila desde su fundación hasta el año 1901 ()*

Aparatos para el registro sísmico utilizados en el Observatorio de Manila (1865-1901)					
Instrumento	Años	Componente	Período propio	Velocidad de registro	Tipo de registro
Péndulo horizontal	1868-1944?	Horizontales	1.5	No	
Péndulo vertical	1868-1944?	Vertical		No	
Péndulo horizontal	1881-1944?	Horizontales	1.5 ?	No	Vidrio ahumado
Tromómetro Bertelli	1881-1902	Horizontales	2.5 ?	No	No
Protosismógrafo Rossi	1882?-1902?				
Sismógrafo analizador Secchi	1882-1902?	Horizontales; Vertical	1.0 ?		Papel ahumado
Microsismógrafo eléctrico Secchi	1889-1902?	Horizontales; Vertical			Papel ahumado
Gray-Milne (núm. 1)	1889-1944?	N-S; E-W; Z		4mm/min	Tinta
Gray-Milne (núm. 2)	1889-1944?	N-S; E-W; Z		4mm/min	Tinta
Micrófono 1	1889-1902?		No		
Micrófono 2	1889-1902?		No		
Sismógrafo eléctrico Ewing	1889-1902?				

(*) Obsérvese que la mayoría de los instrumentos listados continuaron registrando en épocas posteriores. Los interrogantes significan que el dato no nos merece una confianza plena (de [Bat02]).

La mayoría de los instrumentos descritos en esta sección perduraron, ya como piezas de museo, hasta 1945, en que el ejército japonés, en su retirada de Manila, acabó con ellos, con sus registros cuidadosamente atesorados hasta entonces y con el propio edificio que albergaba la estación.



Figura 2.9.2.—Edificio de la escuela normal. El observatorio sísmico ocupaba la torre posterior, situada más a la izquierda de la fotografía. Fotografía conservada en el archivo de la Compañía de Jesús en Cataluña.

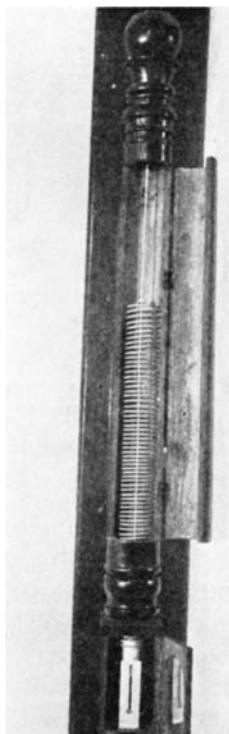
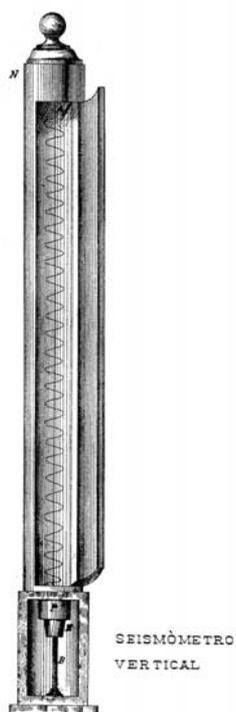


Figura 2.9.3.—Grabado (de [Sad95]) y fotografía (de [Mac47]) del péndulo para movimientos verticales del Observatorio de Manila. Se construyó bajo la dirección de Juan Ricart.

Finalmente, cabe decir que no fue el Observatorio de Manila el único punto de Filipinas en donde se intentó el registro sísmico instrumental en los tiempos coloniales. Tenemos constancia de que se instalaron sismoscopios (uno horizontal y otro vertical) en Cotabato, en una misión de la Compañía de Jesús en la isla de Mindanao [Rep46]. También hay constancia de que Manuel Herrera, oficial del ejército destinado en las islas Filipinas, realizó observaciones tromométricas (que probablemente continuó en las islas Canarias) con un aparato de su invención [Her88].

Instrumento: Péndulo ordinario

Localización: Observatorio de Manila.
 Origen: Adquirido.
 Período de funcionamiento: 1868-1901?.

Características:

Componente: Horizontales
 Masa:
 Período propio: (~1.5)
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: (1)
 Tipo de registro: Traza sobre arena
 Velocidad de registro: –
 Longitud de la plumilla: –

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 0.3696$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.3696$

Estado actual: Desaparecido durante la destrucción del observatorio en 1945.

Comentarios: Este instrumento fue construido en Manila a partir de un diseño de Juan Ricart, profesor de Historia Natural del Ateneo de Manila. Su característica más especial reside en que la inscripción del estilete se hacía sobre una fina capa de arena.

Referencias: [Sad95].

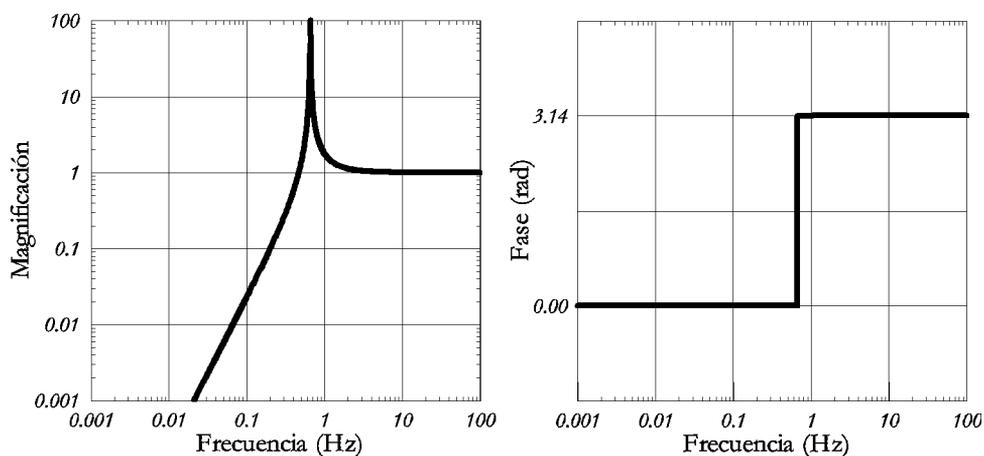


Figura 2.9.4.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo ordinario del Observatorio de Manila con las constantes instrumentales $A_m = 1$, $T_0 = 1.5$ y $\varepsilon = 1.0$.

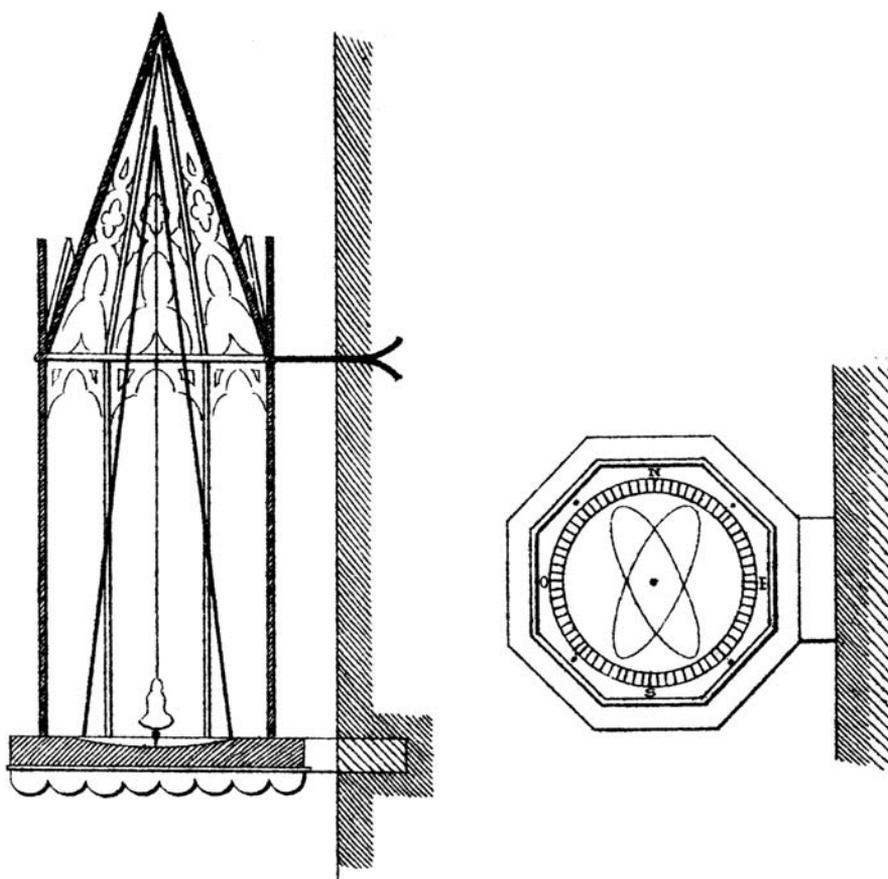


Figura 2.9.5.—Esquema del primer péndulo ordinario del observatorio de Manila según se publica en [Cor80].

Instrumento: Péndulo ordinario

Localización: Observatorio de Manila.
 Origen: Adquirido.
 Período de funcionamiento: 1881-1901?.

Características:

Componente: Horizontales
 Masa:
 Período propio: (1.5)
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: (1)
 Tipo de registro: Traza sobre vidrio ahumado
 Velocidad de registro: –
 Longitud de la plumilla: –

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 6.9813$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 6.9813$

Estado actual: Desaparecido durante la destrucción del observatorio en 1945.

Comentarios: Este instrumento se construyó en París y era idéntico al otro péndulo ordinario ya existente, diferenciándose solamente en su sistema inscriptor.

Referencias: [Sad95].

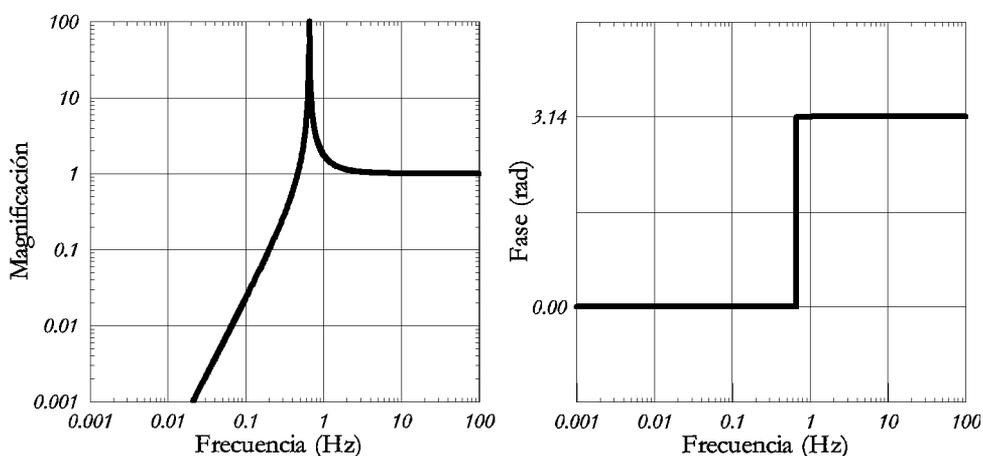


Figura 2.9.6.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el péndulo ordinario del Observatorio de Manila con las constantes instrumentales $A_m = 1$, $T_0 = 1.5$ y $\varepsilon = 1.0$.

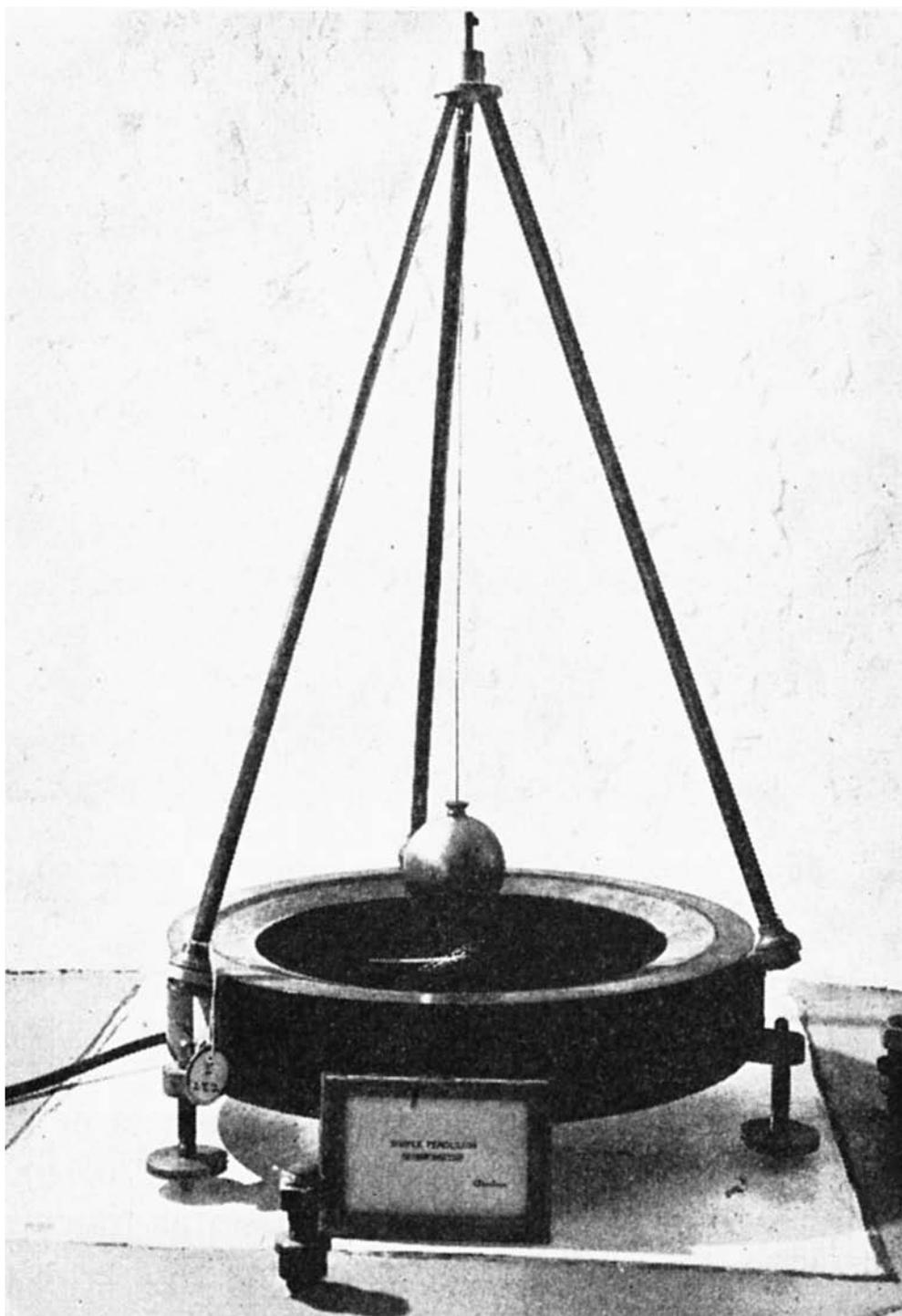


Figura 2.9.7.—Péndulo ordinario del Observatorio de Manila. Podemos observar el segundo péndulo de este tipo, fabricado en París (de [Mac47]).

Instrumento: Sismógrafo analizador Secchi

Localización: Observatorio de Manila.
 Origen: Adquirido.
 Período de funcionamiento: 1882-1901?.

Características:

Componente: Horizontales; Z
 Masa:
 Período propio: 1.5 (medido sobre sismogramas)
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: 3 (horizontal [Dew69]); 11 para la
 componente vertical
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 480
 Longitud de la plumilla: 1.000

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 2.6180$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 2.6180$

Estado actual: Desaparecido durante la destrucción del observatorio en 1945.

Comentarios: Este instrumento fue construido expresamente para el Observatorio de Manila y se diferenciaba algo de los instrumentos del mismo tipo existentes en Italia.

Su registro no era continuo y registraba al accionarse un sismoscopio acoplado al mismo instrumento.

Referencias: [Sad95], [Dew69], [Bat02].

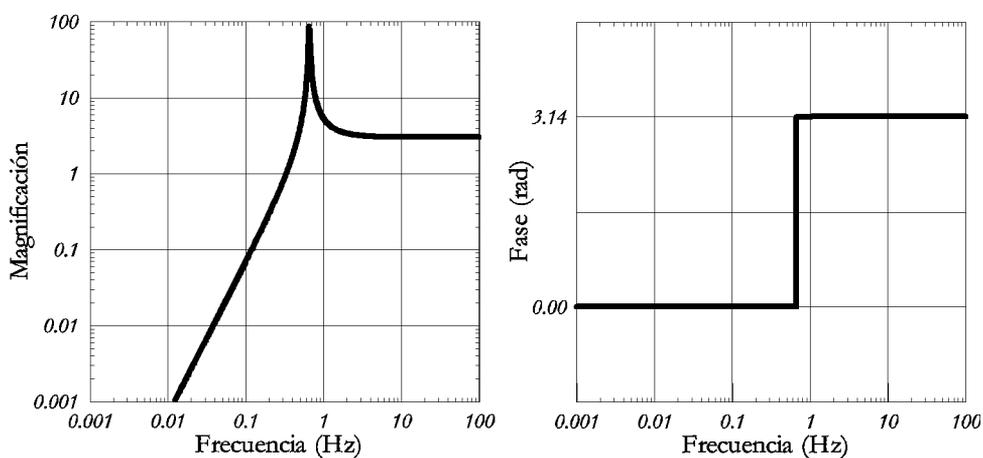


Figura 2.9.8.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo analizador Secchi con las constantes instrumentales $A_m = 3$, $T_0 = 1.5$ y $\varepsilon = 1.0$.

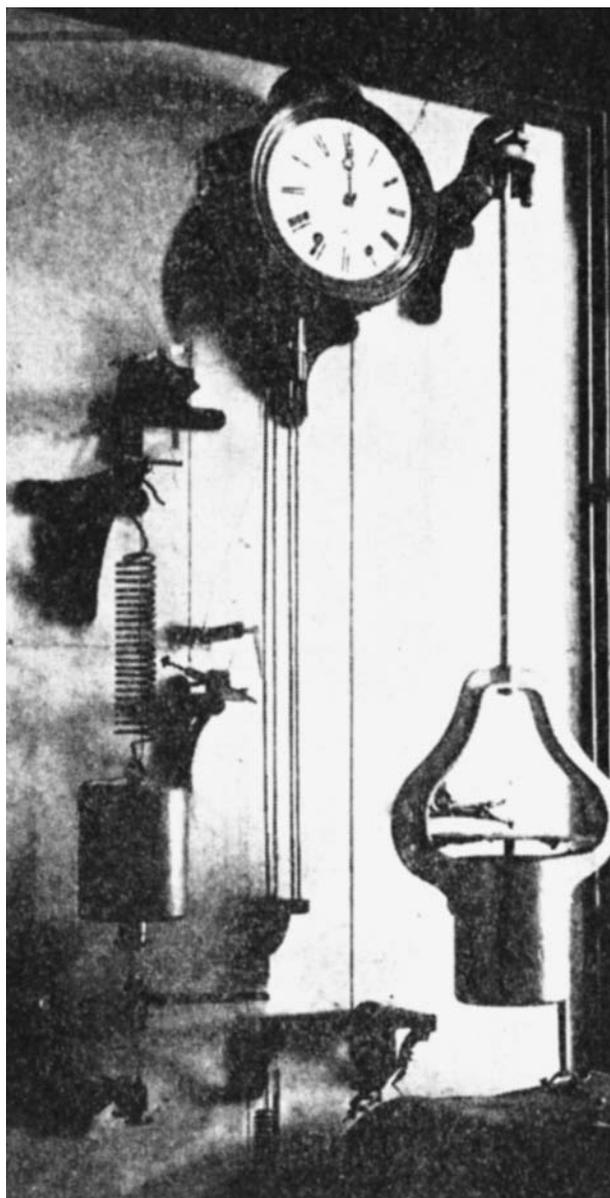


Figura 2.9.9.—Sismógrafo analizador Secchi instalado en el Observatorio de Manila. Registraba las componentes vertical y horizontales (de [Mac47]).

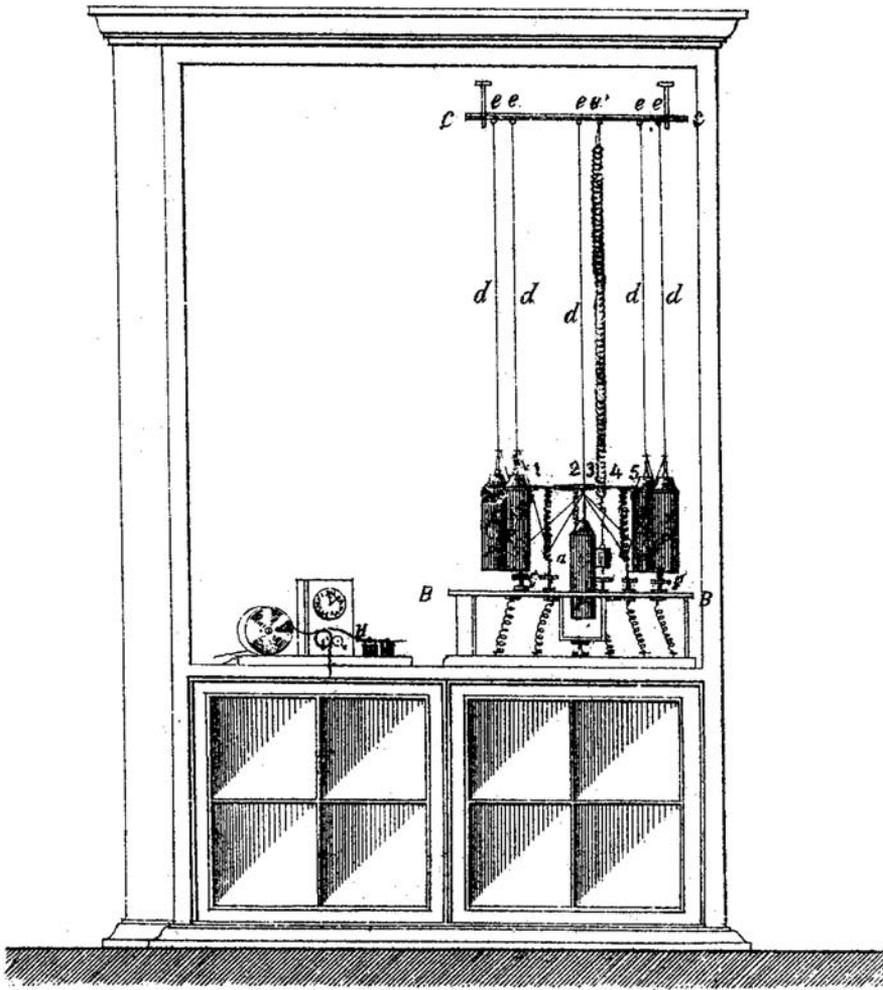


Figura 2.9.10.—Protosismógrafo de Rossi del Observatorio de Manila según un grabado aparecido en [Sad95].

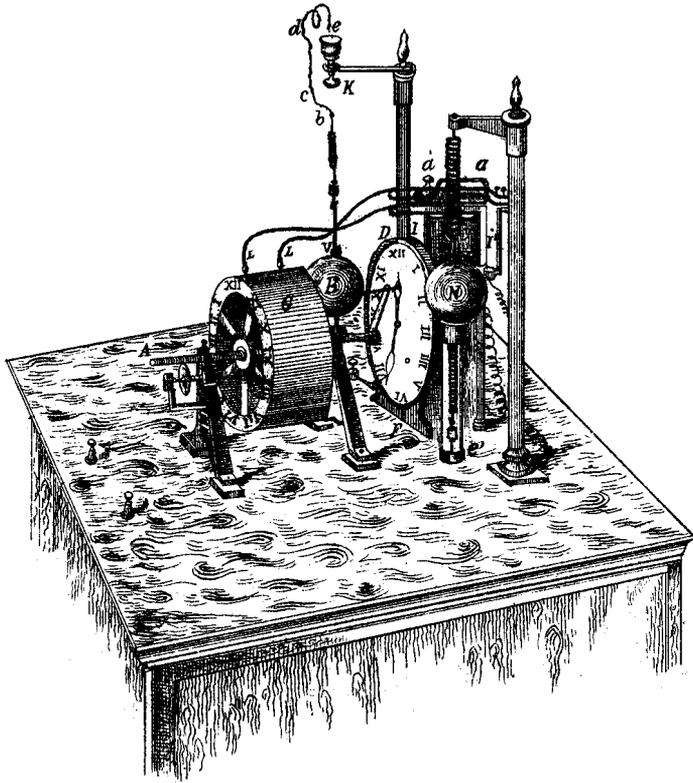


Figura 2.9.11.—Microsismógrafo eléctrico Secchi del Observatorio de Manila según un grabado aparecido en [Sad95].

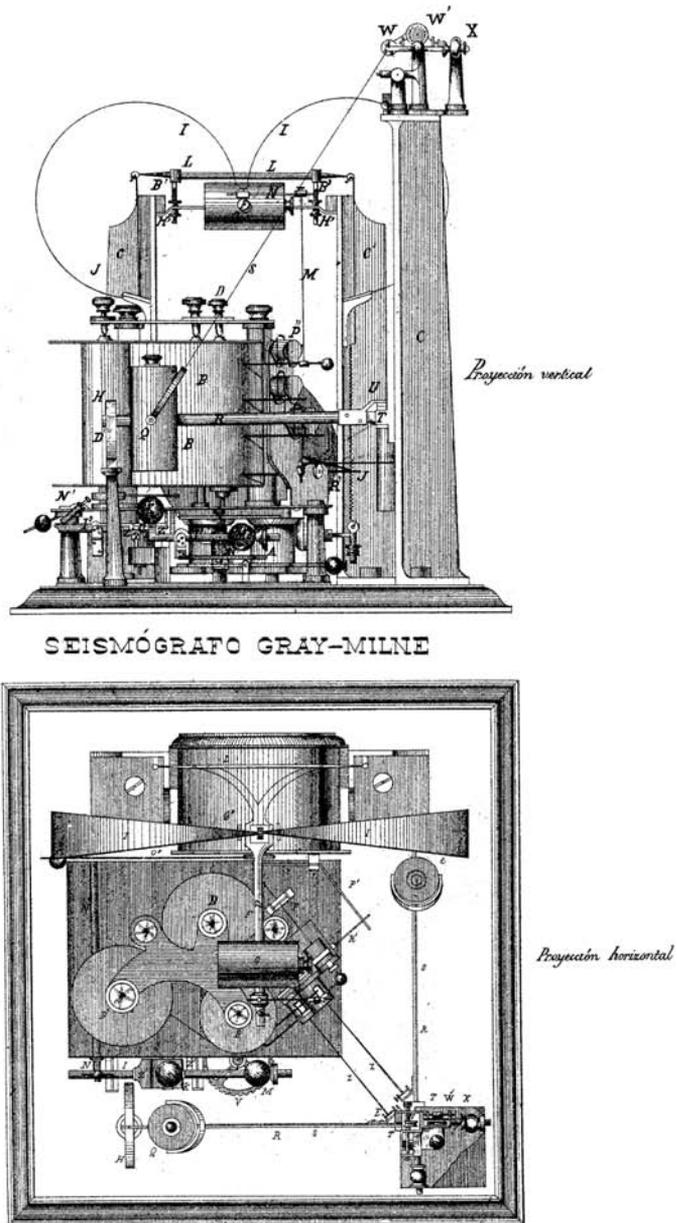


Figura 2.9.12.—Sismógrafo Gray-Milne del Observatorio de Manila según un grabado aparecido en [Sad95].

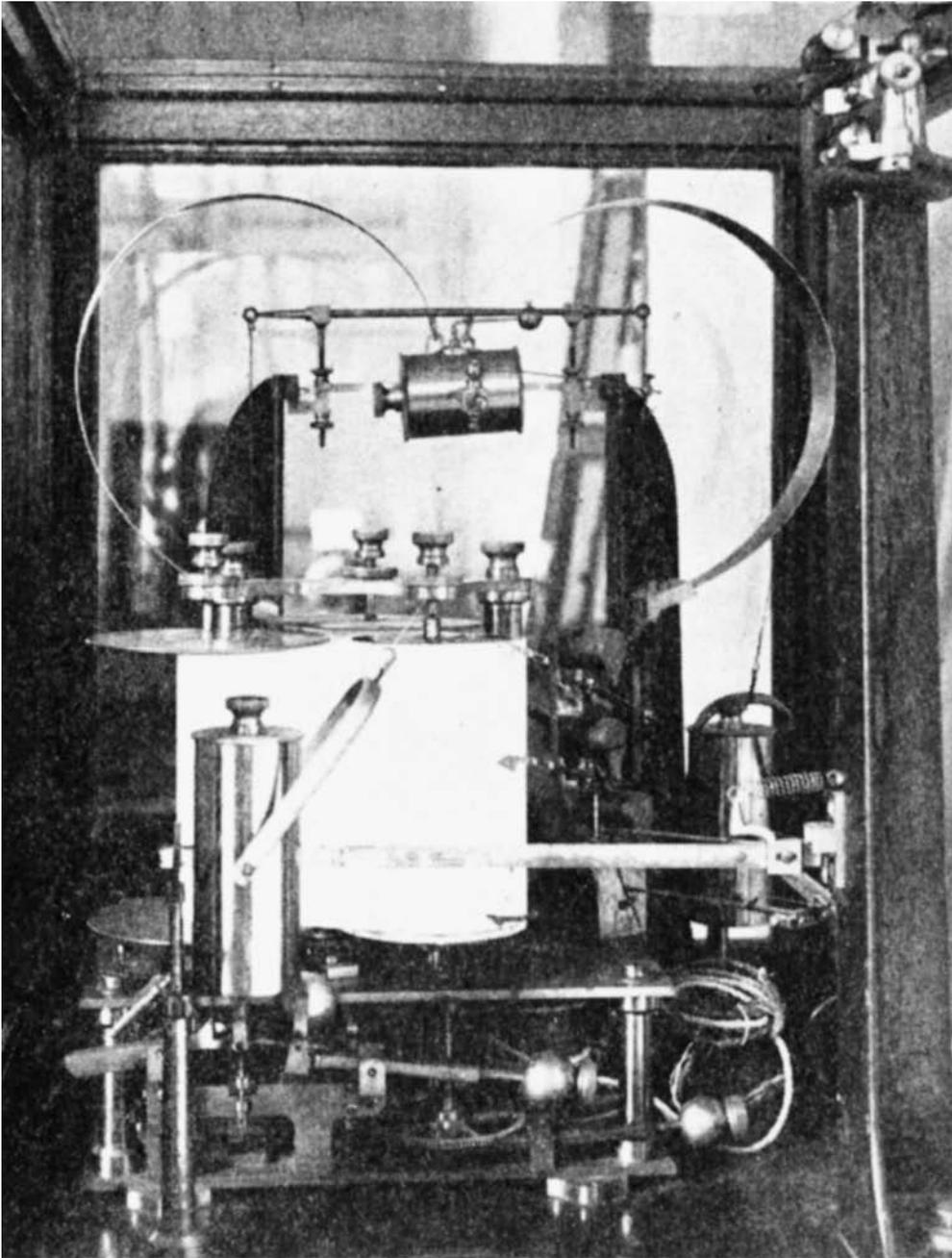


Figura 2.9.13.—Fotografía del sismógrafo Gray-Milne del Observatorio de Manila (de [Mac47]).

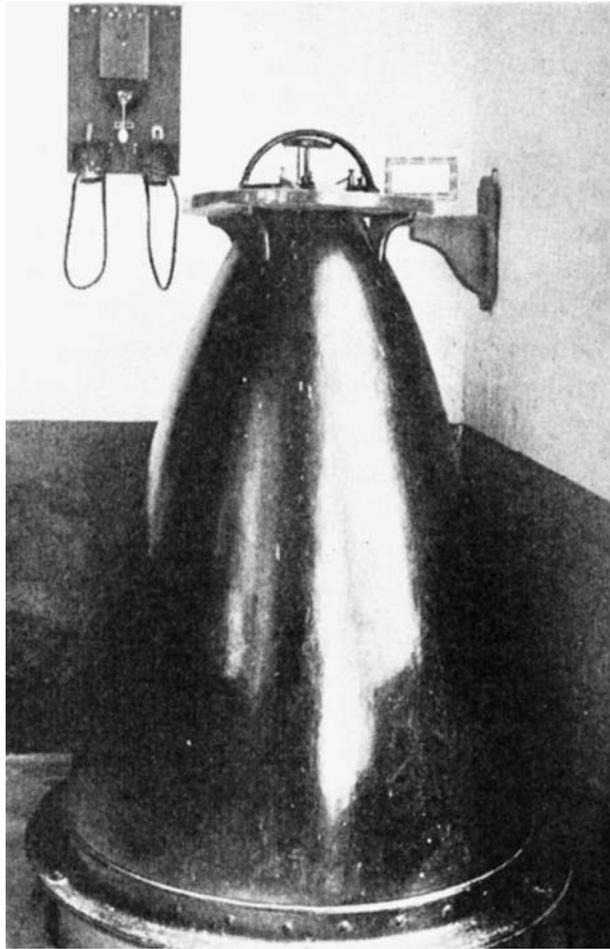
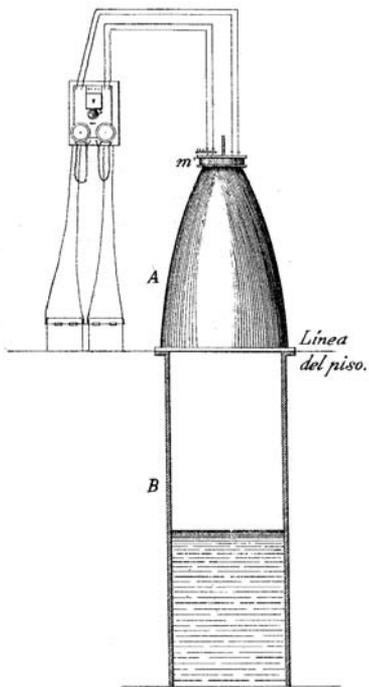


Figura 2.9.14.—Aprovechamos este espacio para reproducir un grabado (de [Sad95]) y fotografía (de [Mac47]) del micrófono sísmico núm. 1, también llamado criptófono, del Observatorio de Manila.

2.10. *Otros observatorios*

Este capítulo contiene las fichas correspondientes a los sismógrafos que estuvieron instalados en otros observatorios diferentes de los que configuraron la red principal española. Varios de ellos han sido localizados y estudiados por primera vez durante la realización de este trabajo. A continuación incluimos una breve descripción de cada uno de los observatorios que utilizaron alguno de los instrumentos aquí presentados.

Observatorio Urania-Barcelona

Cuando Comas y Solá abandonó, en 1913, la dirección de las secciones sísmica y meteorológica del Observatorio Fabra quiso continuar con sus estudios sobre sismicidad. Para ello, donó a la Sociedad Astronómica de España y América, de la que era presidente, una pareja de sismógrafos Mainka del mismo tipo que acababa de adquirir el Observatorio Fabra. Éstos se instalaron en el sótano del Observatorio Urania (su casa, también conocida con el nombre Villa Urania), colindante con la Vía Augusta de la ciudad de Barcelona. Esta edificación todavía existe y es propiedad del Ayuntamiento de Barcelona. El edificio se halla convertido actualmente en una guardería infantil.

Respecto a estos sismógrafos, parece ser que sólo funcionaron regularmente entre 1913 y 1915. Más tarde, en los años veinte, fueron enviados a las islas Baleares.

Palma de Mallorca-Laboratorio Oceanográfico

Sólo disponemos de dos referencias sobre la existencia de esta estación. La primera es una información referente a la transferencia de instrumentos (principalmente meteorológicos) pertenecientes a la Sociedad Astronómica de España y América a Mallorca [URA61]. Estos instrumentos se enviaron allá por los años veinte.

La segunda se trata de una carta manuscrita, que se encuentra en el Fondo del Servei Meteorològic de Catalunya (lote A-37), depositado en la cartoteca del Institut Cartogràfic de Catalunya. En ella, con fecha 21 de mayo de 1935, y dirigida a Eduard Fontserè, Jorge Anckerman, responsable del Servicio Meteorológico de la Diputación de Baleares, informa al primero de los aparatos disponibles en este servicio y entre otros apunta:

«... en el Laboratorio Oceanográfico, un anemómetro eléctrico Richard de direcciones, velocidad media y velocidad instantánea con registro sobre papel continuo y dos sismógrafos “Mainka” que nos ha cedido la Sociedad Ast^o. de España...»

Evidentemente se trata de los mismos sismógrafos que anteriormente estuvieron instalados en «Villa Urania» y, por la afirmación contenida en la carta, parece que en esa época estaban en funcionamiento.

Observatorio Geofísico de Villafranca de los Barros

Tampoco disponemos de mucha información de esta estación, la única fuente es la revista *Urania*. En su núm. 220 [URA49] nos informa de sus orígenes. La presencia de

Emilio Ortega, jesuita y antiguo subdirector de la sección astronómica del Observatorio de Cartuja, en el Colegio de San José que la Compañía de Jesús regenta todavía en Villafranca de los Barros, propulsó la decisión, tomada en enero de 1945, de instalar en él un Observatorio geofísico. Debía disponer de secciones astronómica, sismológica y de magnetismo y electricidad terrestre.

Respecto a la sección sísmica, en el año 1945 se construyeron dos sismógrafos (un péndulo vertical y otro bifilar) para la misma en el Observatorio del Ebro y se pensó en instalarlos en el sótano de la iglesia del colegio; pero por diversas dificultades no se llevó a cabo. Nos informa *Urania* que en el año 1949 quedaba todavía pendiente la decisión sobre su emplazamiento. El traslado de Ortega a Bolivia frustró el desarrollo ulterior de este Observatorio y suponemos que la sección sísmica nunca llegó a instalarse.

Riotinto

Conocemos de la existencia de esta estación sólo por unas pocas referencias aparecidas en las *memorias* de la British Association for the Advancement of Sciences [*BAA10*] y por la presencia de sus lecturas en los *boletines* del International Seismological Summary (ISS).

No conocemos los motivos que llevaron a su instalación ni los detalles de la misma. Se hallaba situado en algún lugar de las minas de Riotinto, en esa época de capital inglés y sólo disponía de un sismógrafo Milne. Comenzó a funcionar en 1909 y en abril de 1928 todavía encontramos lecturas de este sismógrafo en el ISS. No sabemos si continuó operativo por mucho más tiempo.

Olot

La diputación de Girona, en los primeros años del siglo XX y, suponemos, a raíz de algunos terremotos sentidos por la población, decidió dotar al municipio de Olot con una pequeña estación sísmica. Para ello encargó a los doctores Cazorro y Aulet (de los Institutos de bachillerato de Girona y Tarragona, respectivamente) del estudio de su instalación. Éstos llevaron puntualmente a cabo su trabajo y la estación fue inaugurada solemnemente en septiembre de 1907 y se hallaba situada en una pequeña construcción, ya desaparecida y edificada expresamente, en el patio del llamado Hospicio, hoy sede del museo y archivo histórico comarcal. Protegía aquella una columna sólidamente basada que sostenía el sismoscopio Vicentini y también se hallaba dotada de un sismoscopio avisador construido por la Casa Dalmau Montero de Barcelona. Parece que el instrumento, por falta de un mantenimiento adecuado, proporcionó muy pocos resultados y fue definitivamente desmontado en 1922. Por esa misma época existió un proyecto, por parte del IGC, para instalar una nueva estación de la red sísmica nacional en los alrededores de la ciudad; pero finalmente no se llevó a cabo.

Girona

Encontramos una estación sísmica en el Instituto General y Técnico de la Ciudad de Girona a partir de 1909. Su existencia ha sido estudiada por Batlló ([*Bat97*], [*Bat01*]) y es debida sin duda a la presencia en este centro de Manuel Cazorro, catedrático de Historia

Natural y encargado anteriormente de la instalación del sismoscopio de Olot. La estación se encontraba situada en el mismo edificio del instituto, cerca de la catedral y hoy sede del museo de historia de la ciudad y archivo municipal. En un primer momento estuvo dotada de un sismoscopio Vicentini acompañado de un sismoscopio avisador eléctrico (del que desconocemos sus detalles), ambos instalados en el gabinete de historia natural, y más tarde de un sismógrafo Mainka, instalado en un pilar construido especialmente en la planta baja del edificio, cerca de la entrada principal. Probablemente ya en desuso en los años veinte, la guerra civil dio definitivamente al traste con ella.

Tivissa

Ramón Jardí, profesor de la Universidad de Barcelona y de la Escuela Industrial de la misma ciudad, estuvo durante toda su vida ligado a la investigación en temas meteorológicos y sísmicos. También sabemos por diferentes referencias de su habilidad mecánica. No es pues extraño que en 1909 construyera un sismógrafo con sus propias manos y lo instalara en los bajos de su casa, en la población de Tivissa, su villa natal, en la provincia de Tarragona. Hemos tenido la oportunidad de visitarla y, aunque los elementos del sismógrafo, del tipo péndulo vertical, ya no existen, todavía podemos contemplar la viga que servía de anclaje a la masa del mismo.

Observatorio Geofísico de Logroño

Con la preparación del Año Geofísico Internacional de 1956-57, y como contribución de España al mismo, el IGC inició la construcción de nuevos observatorios. Logroño era uno de ellos. Disponía de una sección geomagnética y otra sísmica y se hallaba edificado sobre un subsuelo compuesto por tierras del Mioceno Lacustre. Podemos encontrar una descripción detallada (principalmente de la sección geomagnética) en [Mig64]. Actualmente se halla abandonado y sus edificios en ruina.

En un primer momento se pensó en dotarlo con un sismógrafo vertical Victoria de nueva construcción y también con el equipo de sismógrafos Galitzin, por entonces inactivos en el Observatorio de Toledo (que a tal fin fueron trasladados a este Observatorio en 1958); pero no tenemos noticia de que ninguno de estos aparatos llegase nunca a funcionar. Los primeros aparatos (y últimos) cuyo funcionamiento en Logroño está plenamente comprobado es un juego completo de tres componentes del tipo Hiller-Stuttgart.

Observatorio Geofísico de Moca

En los años cincuenta, y también como parte de la contribución española al Año Geofísico Internacional de 1956-57, se decidió la construcción de un Observatorio en latitudes ecuatoriales, en la entonces colonia española de Guinea Ecuatorial. Se decidió la instalación de la estación en la isla de Fernando Poo (actualmente llamada Bioko). Los trabajos sufrieron retraso y no empezaron hasta 1958, ya pasado el Año Geofísico. Se eligió un terreno situado inmediatamente al sur del poblado de Malabo. Su subsuelo estaba formado por basaltos muy descompuestos. García Cogollor [Gar61] describe con gran detalle los pormenores de la fundación y construcción de este Observatorio. Después de la indepen-

dencia de la República de Guinea Ecuatorial, en 1967, el Observatorio continuó operando bajo control del IGC hasta que el 1 de enero de 1972 se transfirió totalmente su gestión a la Administración del Gobierno de Guinea. No tenemos noticias exactas del mismo; pero parece ser que fue totalmente abandonado poco después de su transferencia y actualmente se halla totalmente en ruina y sus aparatos desaparecidos.

Tenerife (Puerto de la Orotava-Izaña-Santa Cruz de Tenerife)

En la realización de este trabajo nos ha sorprendido el dinamismo, hasta hoy ignorado, de los estudios sismológicos (o al menos de los intentos por llevarlos a cabo) en las islas Canarias.

Debemos retrotraer la fecha del primer sismógrafo existente en Tenerife hasta 1890. Se trataba de un instrumento ciertamente histórico; porque fue el mismo sismógrafo Rebeur-Paschwitz que el 17 de abril de 1889 realizó el que consideramos el primer registro de un terremoto a distancia en Potsdam. Se hallaba instalado en una casa particular llamada «Sitio del Pardo», en un antiguo laboratorio químico, en el municipio del Puerto de la Orotava (hoy Puerto de la Cruz) y fue operado durante cuatro meses por el mismo Rebeur-Paschwitz. Ahondando aún más en los inicios de la sismología instrumental, cabe decir que parece ser que un poco antes de esta fecha también se llevaron a cabo observaciones tromométricas en las islas Canarias. Su posible autor (no está muy claro si realmente llegó a realizarlas) era el comandante de artillería Manuel Herrera [Her88].

El segundo intento lo llevó a cabo Karl Mainka, inventor del sismógrafo que lleva su nombre y tuvo lugar en 1912 y 1913 en el Observatorio meteorológico y aerológico provisional de las Cañadas del Teide [deO97]. García de Lomas [Gar15] nos informa que el aparato, por supuesto un sismógrafo del tipo Mainka, se encontraba en una cueva cercana a los pabellones del Observatorio y la humedad propia del abrigo impidió el correcto funcionamiento del instrumento.

En los años veinte nos encontramos con nuevos intentos por parte del IGC. Esta vez se llegó a enviar a las islas Canarias una pareja de sismógrafos Bosch-Omori reformados con la intención de instalarlos en la estación meteorológica existente en Santa Cruz de Tenerife [Tor24]. También se proyectó enviar uno de los sismógrafos Vicentini de tres componentes, entonces desafectados por el cambio de instrumentos en los Observatorios peninsulares, para su instalación en el Observatorio Meteorológico de Izaña. No sabemos si este envío se efectuó realmente. Tampoco parece que los sismógrafos Bosch-Omori llegaran a funcionar nunca.

El siguiente intento, ya con resultado positivo, fue la instalación de un sismógrafo Victoria en los sótanos del edificio del Cabildo Insular de Tenerife, en donde entonces se encontraba la delegación del IGC en las islas Canarias. Esta fue la localización de la, durante largo tiempo, única estación sísmica en las islas Canarias. También, a cargo del IGC y muy cerca del emplazamiento del sismógrafo, se encontraba un mareógrafo.

También en los años cincuenta, y como contribución al Año Geofísico Internacional, se inició la construcción de un nuevo observatorio geofísico en Las Mesas, cerca de Santa Cruz; pero la proyectada sección sísmica no llegó a instalarse en él hasta los años setenta, cuando empezó a desplegarse la red sísmica del archipiélago canario, y ya fuera del alcance del presente trabajo.

Debido a la constitución geológica de la isla de Tenerife, todas las estaciones se hallaban instaladas sobre un subsuelo de rocas volcánicas

Madrid (Observatorio Astronómico y Observatorio Central Meteorológico)

Las investigaciones conducentes a la realización del presente trabajo nos han permitido detectar que ya en 1887 el Observatorio Astronómico de Madrid disponía, por lo menos, de pequeños sismoscopios, del tipo Galli-Brasart, y un micrófono sísmico [Mer05]. No entraremos en detalles sobre este tema ya que excede los límites del presente trabajo (véase [Bat99] para detalles adicionales). Con respecto a la existencia de sismógrafos, sabemos de la presencia del primero de estos instrumentos por una noticia de Comas y Solá publicada en la prensa (*La Vanguardia* de Barcelona, 29 de febrero de 1912). Este instrumento era del tipo Bosch-Omori, entró en funcionamiento por 1910 o 1911 (en la prensa hallamos referencias ciertas a sus registros ya en 1911) y se hallaba adscrito al Observatorio Central Meteorológico. Suponemos que el nombramiento de José Galbis como director de este centro no debe ser ajeno a la existencia de tal aparato. El instrumento podía hallarse físicamente en las dependencias del Observatorio Central Meteorológico, en el lado sudeste del parque del Retiro, o en el mismo Observatorio Astronómico, en el lado sudoeste. Hasta el momento no disponemos de ninguna información adicional que nos clarifique este punto; pero nos inclinamos a pensar que se hallaba en el segundo. Este instrumento cesó su servicio halla por 1919 (por lo menos, esta es la indicación que nos da Nicolás Samá en una carta a Eduard Fontserè conservada en la cartoteca del Institut Cartogràfic de Catalunya, sig. FF Carp. 23a).

Aunque por diferentes referencias de que disponemos se puede pensar que el registro en el Retiro de Madrid continuó sin grandes interrupciones, lo cierto es que hasta 1933 no tenemos una confirmación fehaciente de la instalación de nuevos sismógrafos [SNa34]. Esta vez se instalaron en el laboratorio de Geofísica, edificio todavía existente, aunque muy transformado, entre los que conforman el actual centro meteorológico regional sito en el Retiro. Los sismógrafos se hallaban instalados en una parte del semisótano, de estructura muy parecida a la estación de Almería, puesto que disponía de una rampa externa y una gran puerta para entrar grandes piezas como las masas de los aparatos. Sabemos que la estación funcionó correctamente, por lo menos, en 1933 y parte de 1934. Parece ser que la creación del Servicio Meteorológico Nacional, con su separación de la estructura del IGC, motivó la desaparición de esta estación. Incluso hallamos lecturas del registro de sus sismógrafos en el ISS de estos años.

Instrumento: Sismoscopio Vicentini

Localización: Olot.
 Origen: Adquirido.
 Período de funcionamiento: 1907 sep.-(1922).

Características:

Componente: Horizontales
 Masa: 10 kg
 Período propio: (1.2 s)
 Amortiguamiento –
 Rozamiento:
 Magnificación: (20)
 Tipo de registro: Placa de vidrio ahumado
 Velocidad de registro: –
 Longitud de la plumilla: –

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 5.2360$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 5.2360$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: El aparato se encontraba acompañado de un sismoscopio avisador diseñado por E. Aulet y construido por la casa Dalmau-Montero de Barcelona [DdG07].
 Debido a su diseño, la inscripción no presenta curvatura debido a la longitud de la plumilla.

Referencias: [Fer92b], [God09].

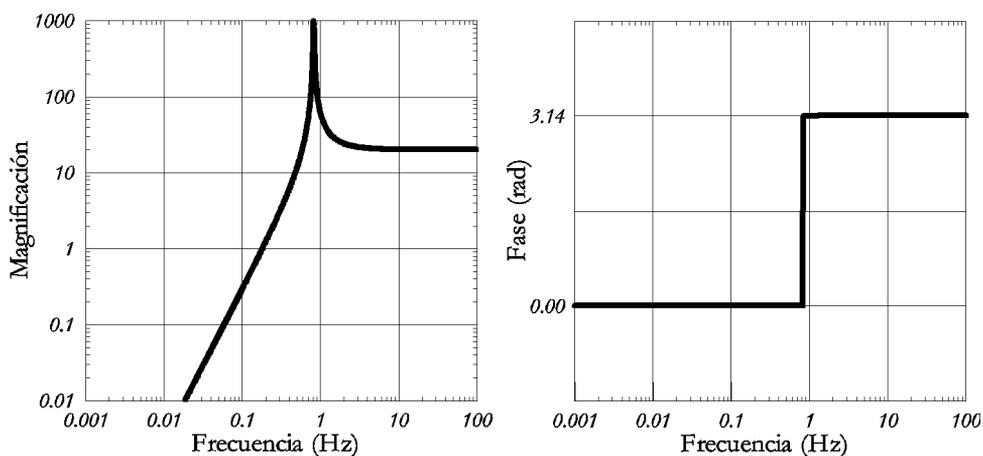


Figura 2.10.1.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismoscopio Vicentini con las constantes instrumentales $A_m = 20.0$, $T_0 = 1.2$ y $\varepsilon = 1.0$.



Figura 2.10.2.—No disponemos de ninguna fotografía de este aparato. Reproducimos aquí un sismoscopio Vicentini reconstruido en Italia durante la ejecución del proyecto TROMOS (de [Fer92b]).

Instrumento: Sismoscopio Vicentini

Localización: Instituto General y Técnico (Girona).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1909-1913.

Características:

Componente: Horizontales
 Masa: 10
 Período propio: (1.2)
 Amortiguamiento –
 Rozamiento:
 Magnificación: (20)
 Tipo de registro: Placa de vidrio ahumado
 Velocidad de registro: –
 Longitud de la plumilla: –

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 5.2360$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 5.2360$

Estado actual: Desaparecido.**Comentarios:** Este aparato se complementaba con un sismoscopio avisador eléctrico [MIG09].

Debido a su diseño, la inscripción no presenta curvatura debido a la longitud de la plumilla.

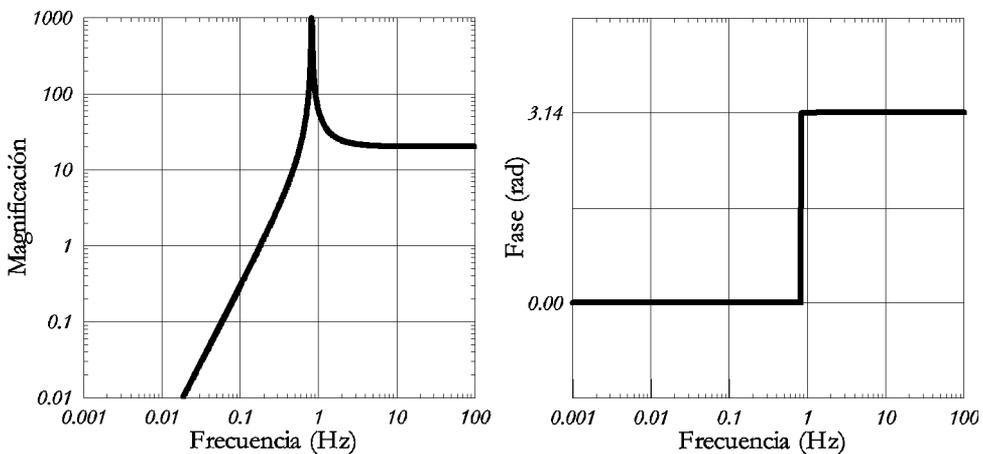
Referencias: [Bat97], [Fer92b], [God09]

Figura 2.10.3.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismoscopio Vicentini con las constantes instrumentales $A_m = 20.0$, $T_0 = 1.2$ y $\varepsilon = 1.0$.

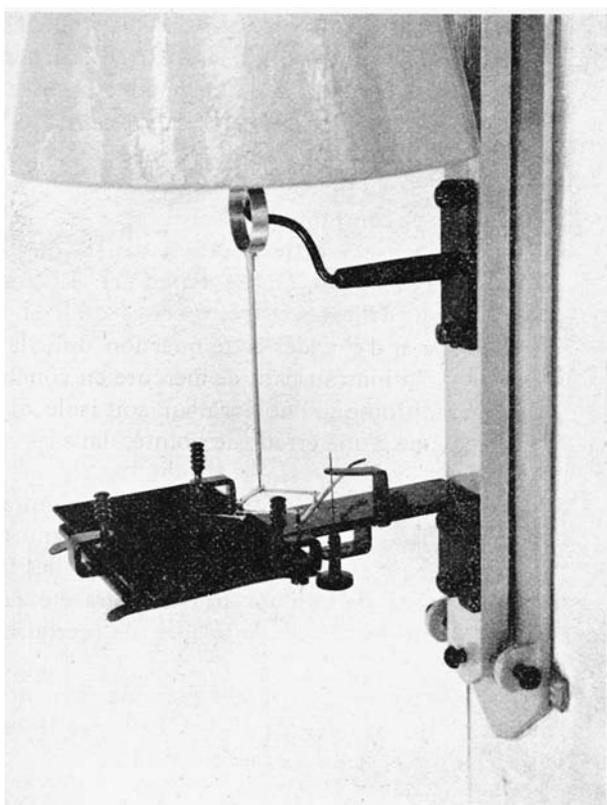
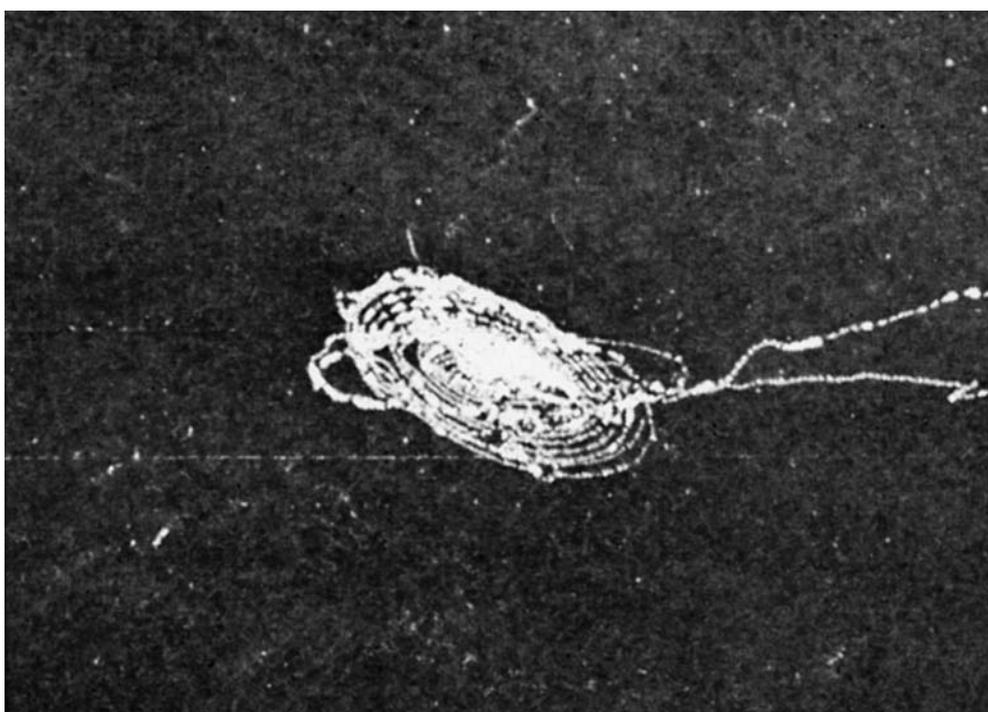


Figura 2.10.4.—Detalle del mecanismo inscriptor de un sismoscopio Vicentini (de [God09]) y registro obtenido con este instrumento en Girona (adaptado de [Com11b]).



Instrumento: Mainka

Localización: Instituto General y Técnico (Girona).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1916 Nov.-1920 (1936?).

Características:

Componente: (NW-SE)

Masa: (150?)

Período propio:

Amortiguamiento:

Rozamiento:

Magnificación:

Tipo de registro: Banda de papel ahumado

Velocidad de registro: 15

Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: –

Polos: –

(no puede calcularse con los datos disponibles).

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: El aparato fue adquirido en 1913. Los sismogramas conocidos no llevan marcas de tiempo.

Parece que hasta el comienzo de la guerra civil este aparato estaba en funcionamiento y cada día se cambiaban las bandas (Correig, 1998, comunicación personal).

El aparato sería muy parecido al reproducido en la figura 2.10.15.

Referencias: [Bat97], [Bat01].

Parte II: Instrumentos

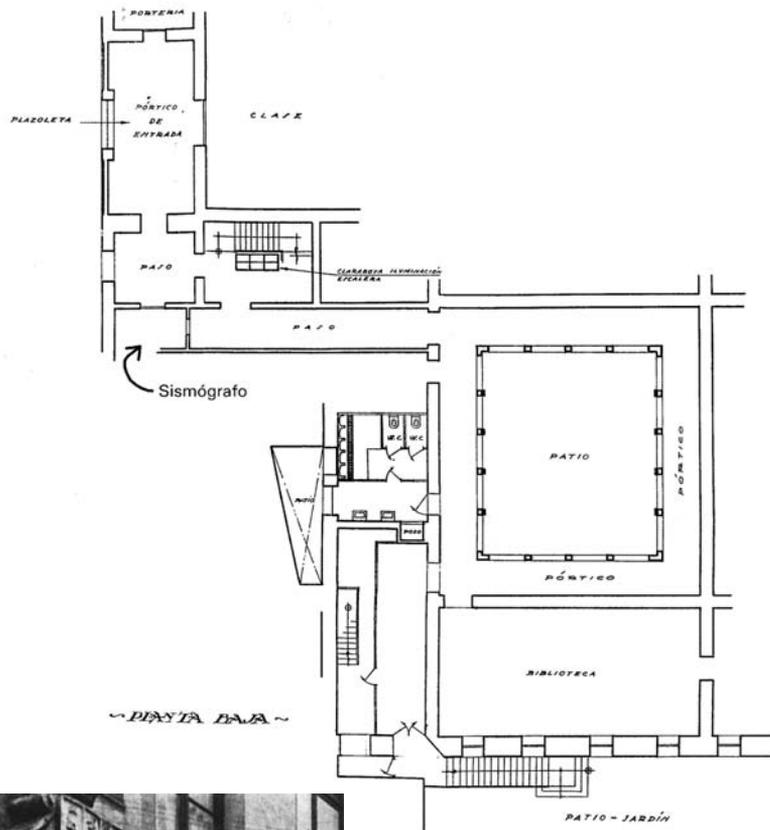


Figura 2.10.5.—Fotografía superior: Plano de la planta baja del Instituto de Girona (original en el Archivo General del Estado) en el que se ha marcado el lugar en donde estaba instalado el sismógrafo Mainka. Fotografía inferior: Puerta de entrada del mismo Instituto (el sismógrafo se encontraba entrando a la derecha).

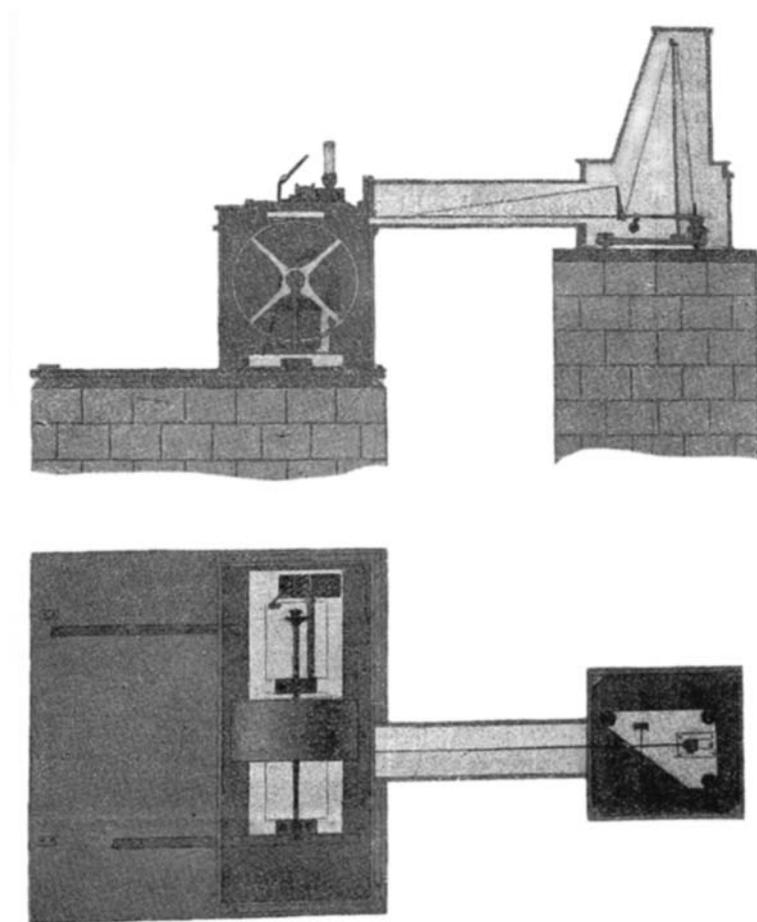


Figura 2.10.5.—Planta y alzado de un sismógrafo Milne del segundo modelo, con tambor de registro. Está adaptado de un grabado aparecido en la *Revista de Minería* que, aunque de muy baja calidad, es muy ilustrativo de cómo se instalaba este instrumento. Véase la figura 2.8.18.

Instrumento: Mainka (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio Urania (Barcelona).

Origen: Adquirido.

Período de funcionamiento: 1913 Abr.-1915?.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	150	150
Período propio:	15	15
Amortiguamiento:		
Rozamiento:		
Magnificación:	50	60
Tipo de registro:	Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro:	15	15
Longitud de la plumilla:		

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 0.4189$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 0.4189$

Estado actual: Desaparecido.**Comentarios:** Parece ser que nunca funcionaron con amortiguamiento.

En la exposición conmemorativa del décimo aniversario de la Sociedad Astronómica de España y América, realizada en 1921, estuvieron expuestos los dos sismógrafos [URA61].

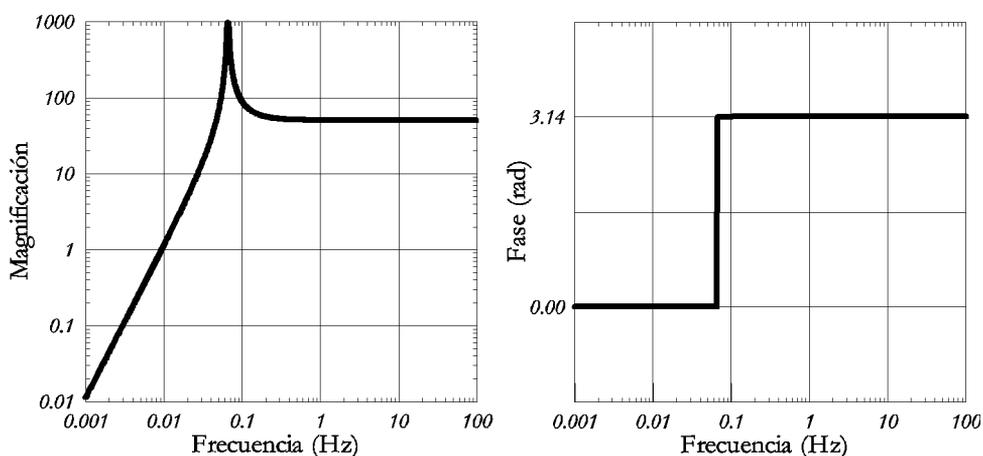
Referencias: [Com13], [URA61].

Figura 2.10.6.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Mainka, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 50.0$, $T_0 = 15.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

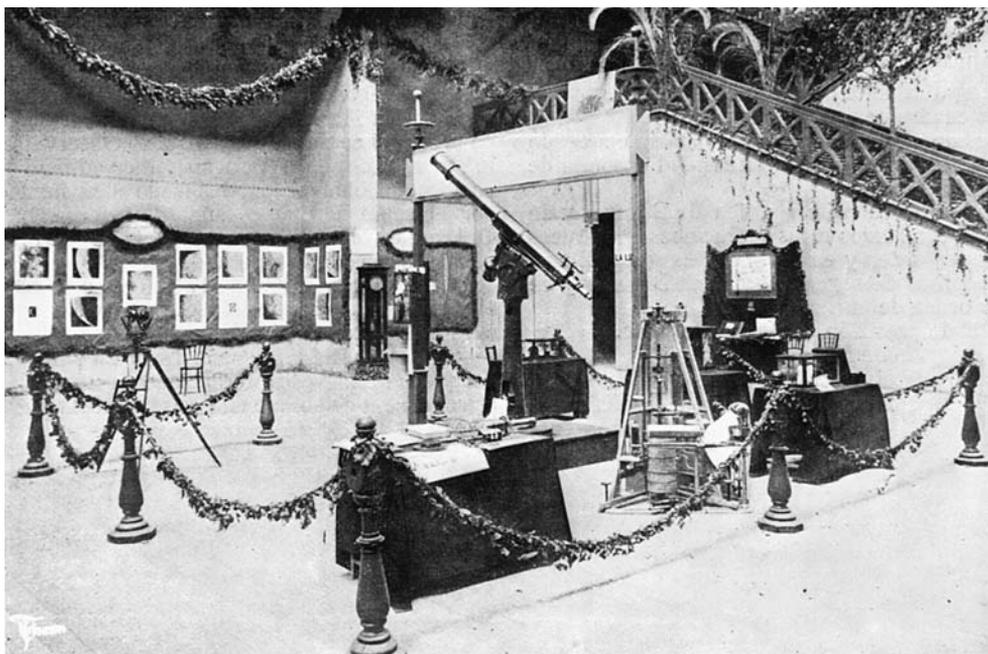


Figura 2.10.7.—En la fotografía superior salón de la exposición conmemorativa del décimo aniversario de la Sociedad Astronómica de España y América en 1921, *Revista de la Soc. Astr. de España y América*, vol. XI, p. 81. En ella puede apreciarse la presencia de los dos sismógrafos Mainka propiedad de la Sociedad. En la imagen inferior fotografía actual del Observatorio Urania, casa familiar de José Comas Solá en donde se encontraban instalados estos aparatos (fotografía de J. Batlló).

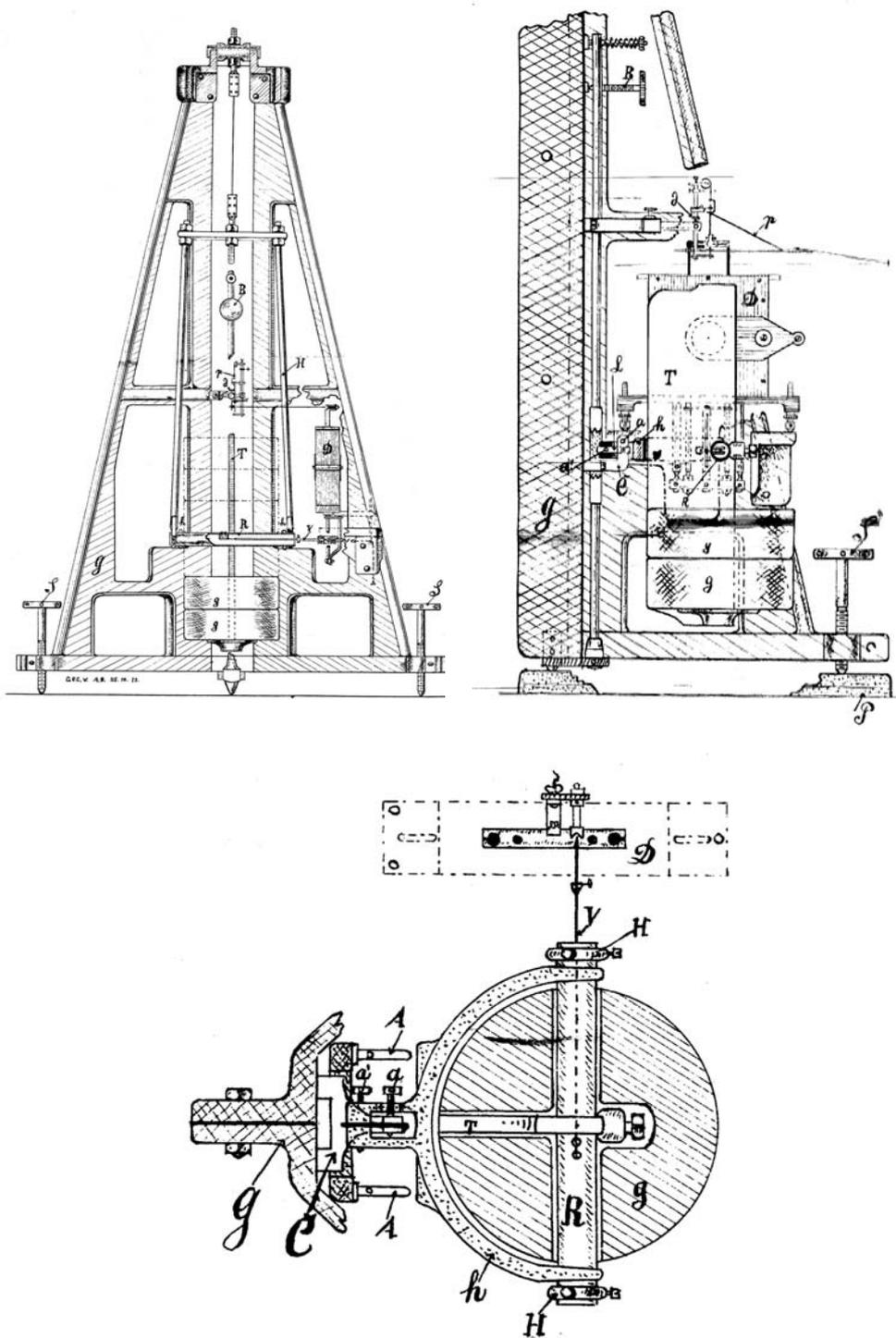


Figura 2.10.8.—Plano de un sismógrafo Mainka de 135 kg de masa y del mismo modelo que el existente en el Instituto Oceanográfico de Palma de Mallorca (original en el Institut Cartogràfic de Catalunya, Fons Fontserè).

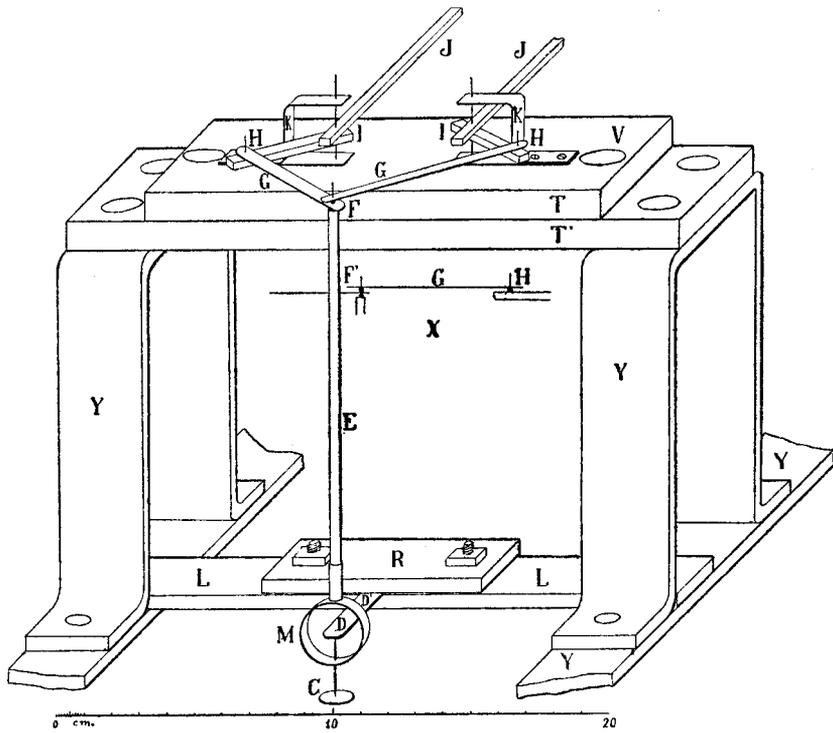
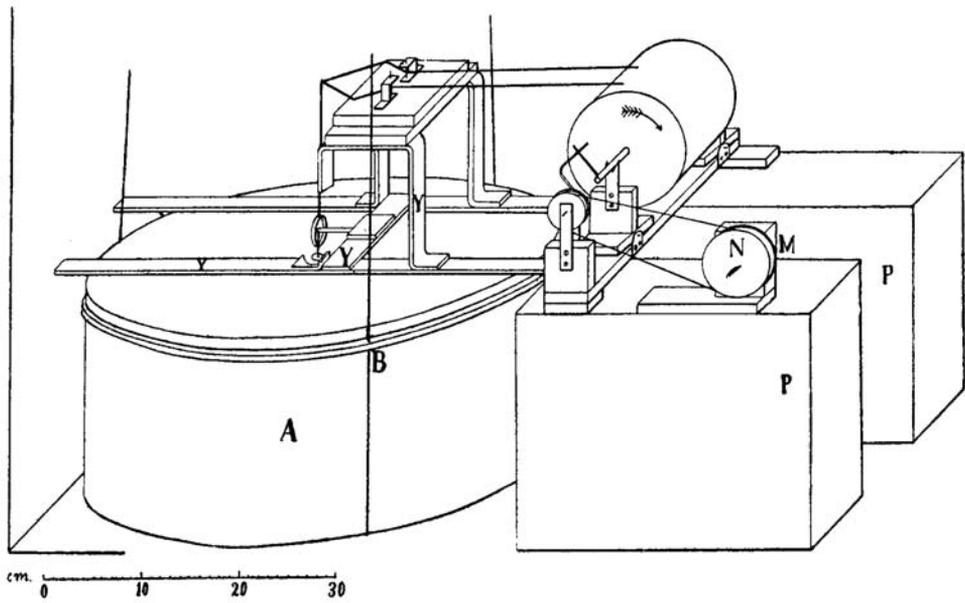


Figura 2.10.9.—Esquemas del péndulo construido por Jardí en Tivissa (de [Jar10a]).

Instrumento: Mainka Ebro

Localización: Observatorio Geofísico de Villafranca de los Barros.

Origen: Construido en los talleres del Observatorio del Ebro.

Período de funcionamiento: –

Características:

Componente:

Masa: 300

Período propio:

Amortiguamiento:

Rozamiento:

Magnificación:

Tipo de registro: Banda de papel ahumado

Velocidad de registro:

Longitud de la plumilla:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: –

Polos: –

(no puede calcularse con los datos disponibles).

Estado actual: Desconocido.

Comentarios: Parece ser que este sismógrafo no llegó a instalarse nunca.

Su aspecto debía ser parecido al de los sismógrafos Mainka-Ebro de aquel observatorio. Véase la figura 2.4.16.

Referencias: [URA49].

Instrumento: Bosch-Omori

Localización: Observatorio Central Meteorológico (Madrid).

Origen: Adquirido (J. & A. Bosch, Strassburg).

Período de funcionamiento: 1910-1919?.

Características:

Componente: E-W?
 Masa: 25
 Período propio: (~15-20)
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: 17
 Tipo de registro: Banda de papel ahumado
 Velocidad de registro: 15
 Longitud de la plumilla: (250)

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$ Polos: 1. $0.0000 - j 0.3696$
 2. $0.0000 + j 0.0000$ 2. $0.0000 + j 0.3696$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Conocemos de la existencia de este aparato por una nota de Comas Solá en el periódico *La Vanguardia* de Barcelona (29 de febrero de 1912) y por una carta de Nicolas Samá a Fontseré (Cartoteca del Institut Cartogràfic de Catalunya - FF carp. 23a). Encontramos algunas referencias dispersas a sus registros en la prensa de la época y en los cuadernos de anotaciones del Observatorio Fabra. Desconocemos si el instrumento se hallaba físicamente en las dependencias de meteorología o en el Observatorio Astronómico.

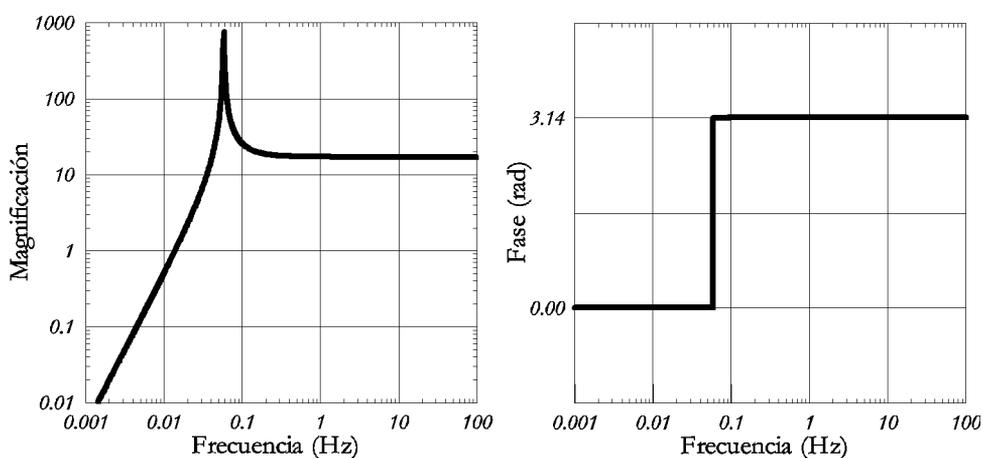
Referencias: [Bos10].

Figura 2.10.10.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el microsismógrafo Bosch-Omori con las constantes instrumentales $A_m = 13$, $T_0 = 17.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

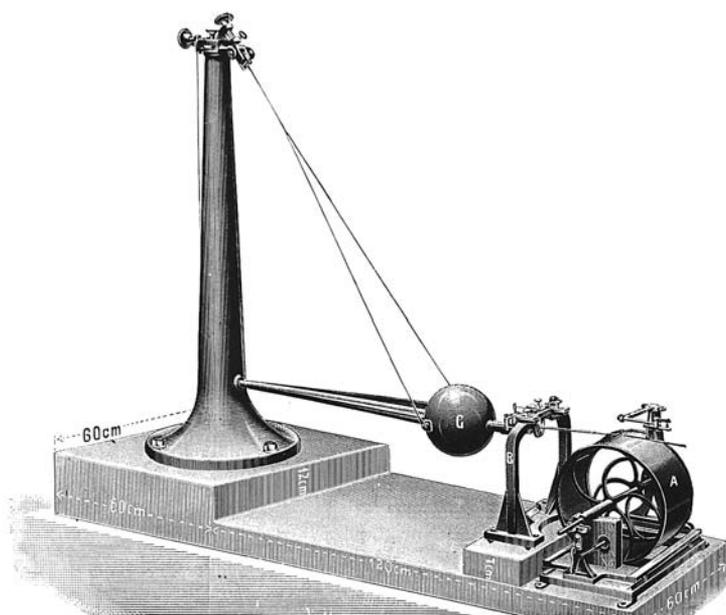


Figura 2.10.11.—Dibujo de un péndulo Bosch-Omori tomado del *Catálogo de instrumentos* de J. & A. Bosch (de [Bos10]).

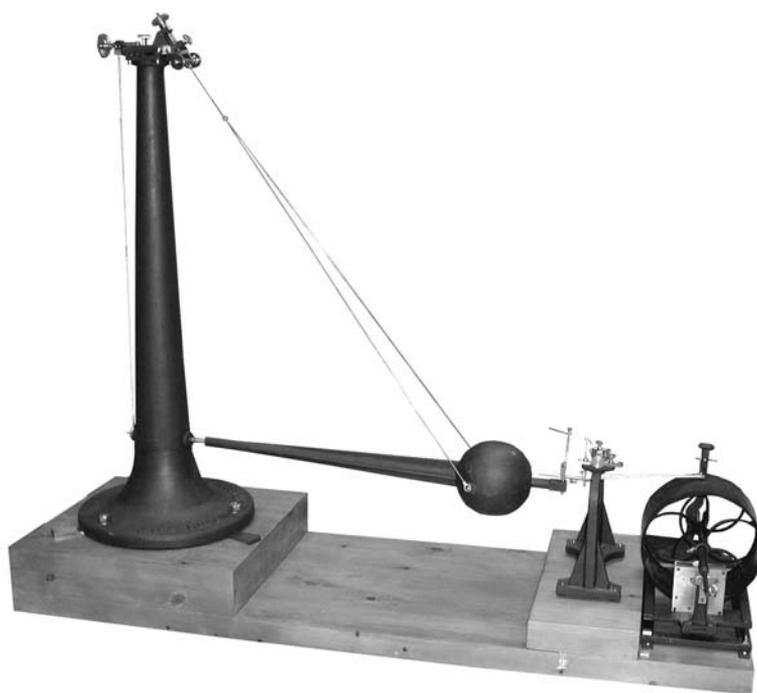


Figura 2.10.12.—Sismógrafo Bosch-Omori reconstruido en la «Escola d'Art i Disseny» de Tortosa para el Instituto Geográfico Nacional (fotografía del archivo del IGN).



Figura 2.10.13.—Pabellón de geofísica del parque del Retiro de Madrid en fotografías antiguas y modernas. Durante varios años alojó una estación sísmica (fotografía superior conservada en la Subdirección General de Geodesia y Geofísica del Instituto Geográfico Nacional).

Instrumento: Rebeur-Paschwitz

Localización: Puerto de la Orotava.

Origen: Proveniente del Observatorio Astrofísico de Potsdam.

Período de funcionamiento: 1890 Dic.-1891 Abr.

Características:

Componente: E-W
 Masa: 0.042
 Período propio: 12-17
 Amortiguamiento: –
 Rozamiento:
 Magnificación: 100
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Longitud de la plumilla: –

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.0000 - j 0.3696$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.0000 + j 0.3696$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Se trata del mismo aparato con el que Rebeur-Paschwitz registró por primera vez un terremoto lejano en Potsdam. El propio Rebeur-Paschwitz fue el operador de este aparato en Tenerife. Posteriormente fue enviado al Imperial Observatorio Naval de Nicolaiev (Rusia).

Referencias: [Reb93], [Ano92], [Ber32], [Dew69], [Car90].

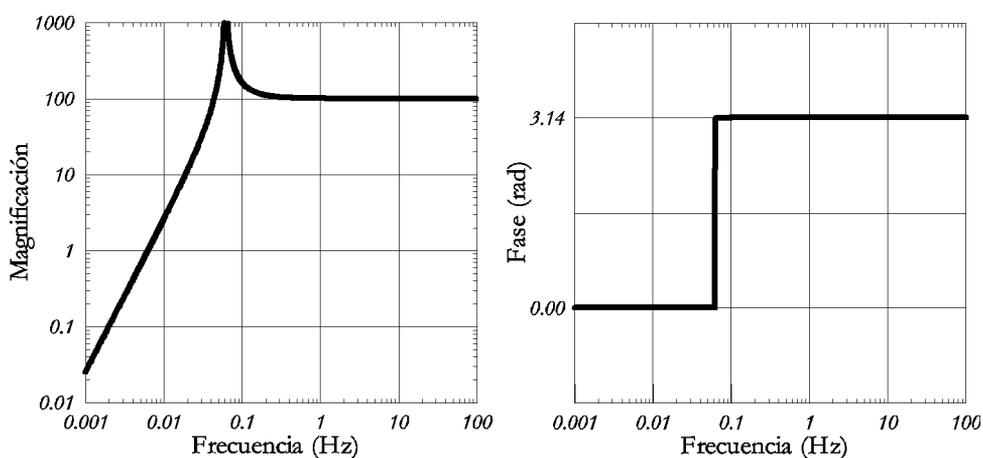


Figura 2.10.14.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Rebeur-Paschwitz con las constantes instrumentales $A_m = 100$, $T_0 = 17.0$ y $\varepsilon = 1.0$.

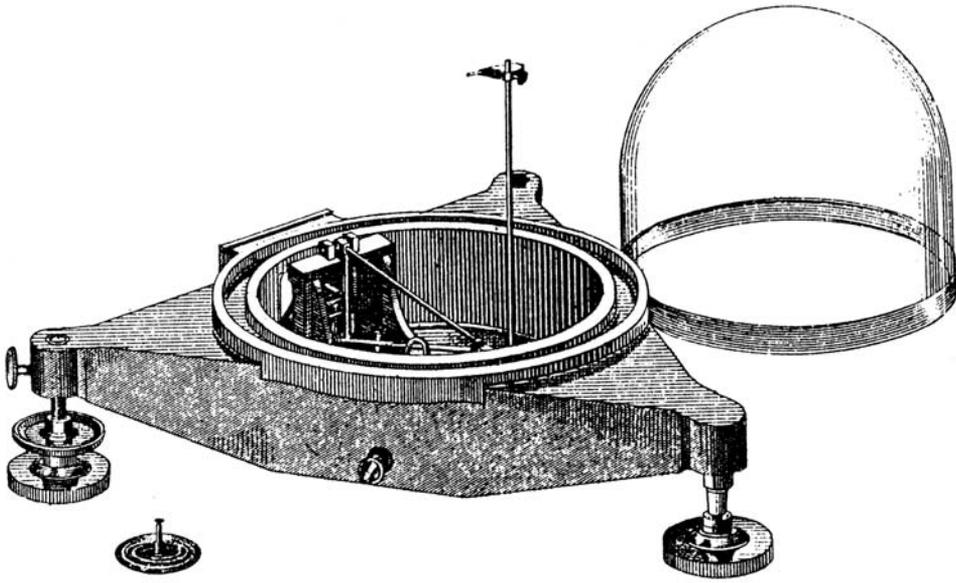


Figura 2.10.15.—Grabado del sismógrafo Rebeur-Paschwitz (de [Fer90]).

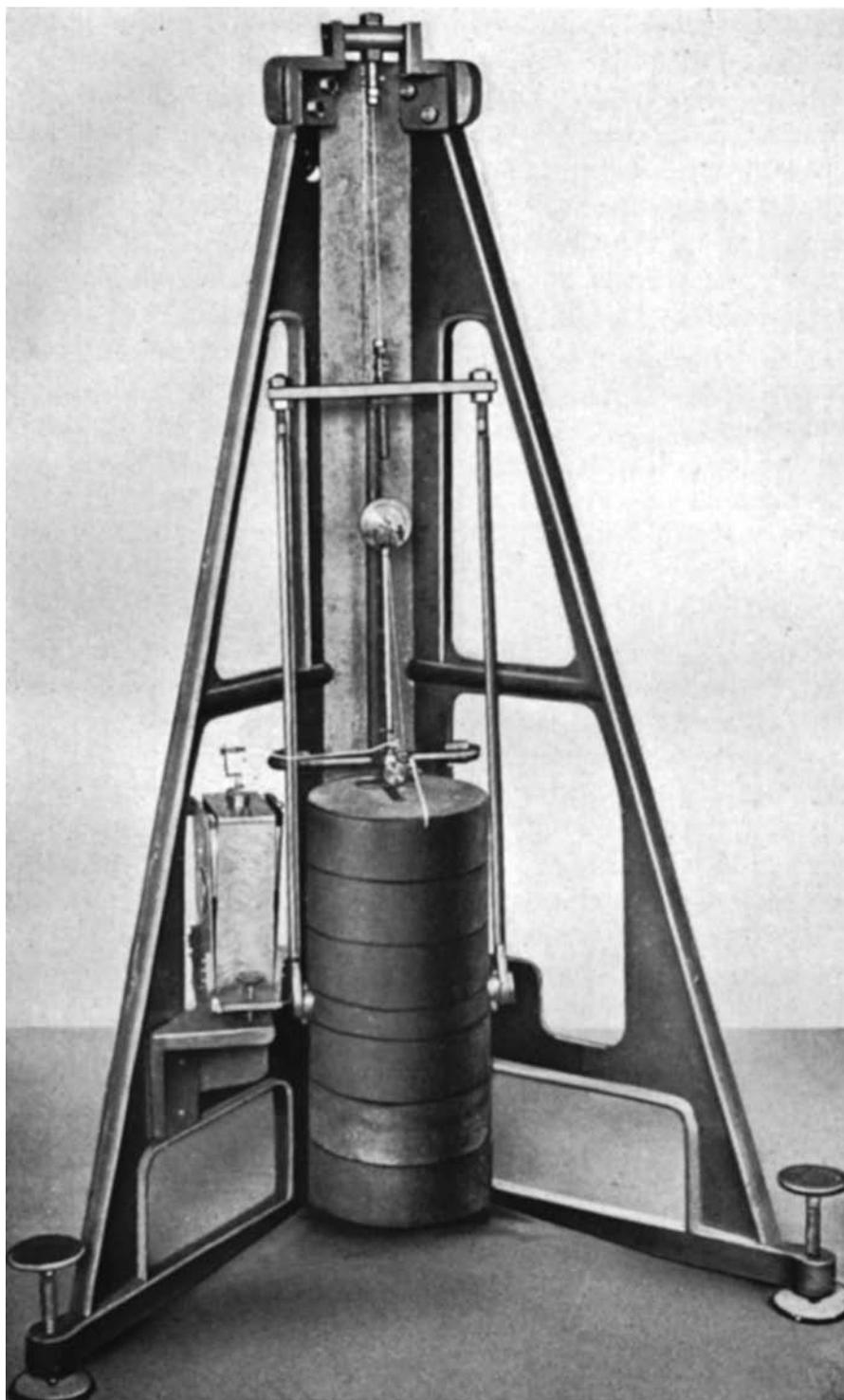


Figura 2.10.16.—Grabado de un sismógrafo Mainka (de [Hob10]). Carece de sistema inscriptor. Con casi toda seguridad, el sismógrafo Mainka instalado en las Cañadas era de este tipo.

Instrumento: Bosch-Omori reformado (dos instrumentos independientes)

Localización: Observatorio de Tenerife.
 Origen: Reformado en el Observatorio de Toledo.
 Período de funcionamiento: 1922?.

Características

Componente:	N-S	E-W
Masa:	100	100
Amortiguamiento:	3	3
Magnificación:	80-100	80-100
Tipo de registro:	Banda de papel ahumado	Idem
Velocidad de registro:	(15)	(15)
Longitud de la plumilla:	250	250

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$0.1037 - j 0.2966$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$0.1037 + j 0.2966$

Estado actual: Desaparecidos.

Comentarios: Anteriormente instalados en el Observatorio de Toledo fueron reformados por A. Rey-Pastor y enviados a Tenerife [Tor24]. En 1930 todavía se consideraban en fase de instalación [Gal31].

Referencias: [Tor24].

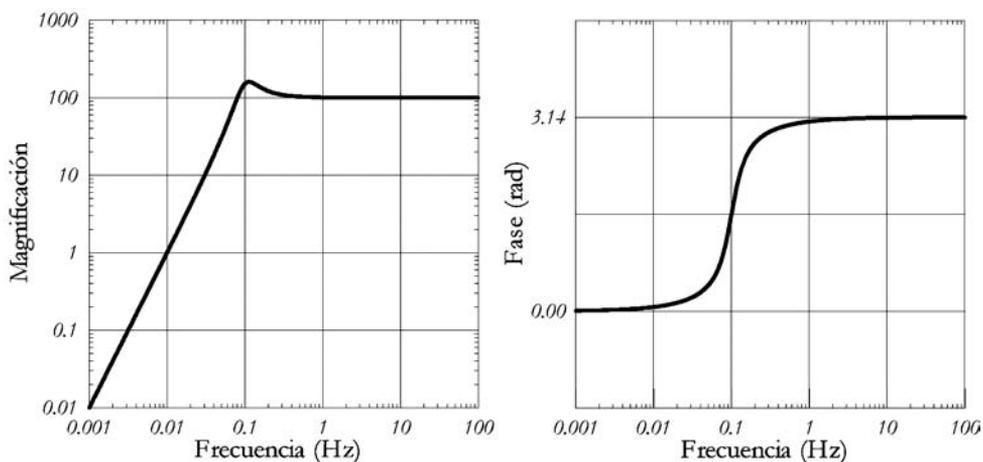


Figura 2.10.17.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Bosch-Omori reformado con las constantes instrumentales $A_m = 100$, $T_0 = 10.0$ y $\varepsilon = 3.0$.

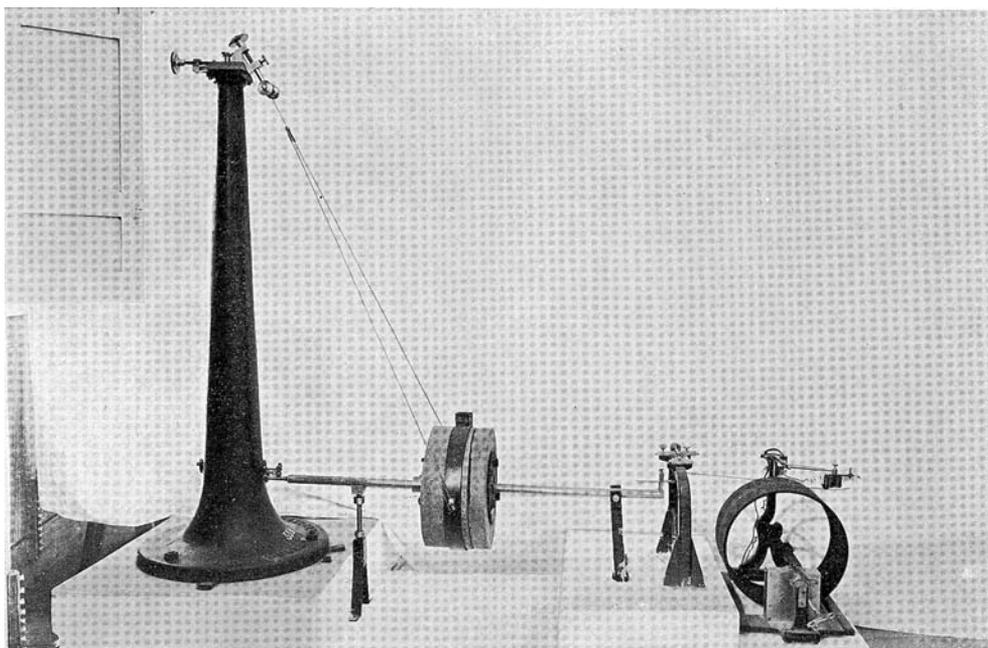


Figura 2.10.18.—Sismógrafo Bosch-Omori reformado que debía instalarse en el Observatorio Meteorológico de Tenerife [*de Tor24*]. Esta fotografía del instrumento está tomada en la estación sismológica de Toledo, en el palacio de la Diputación.

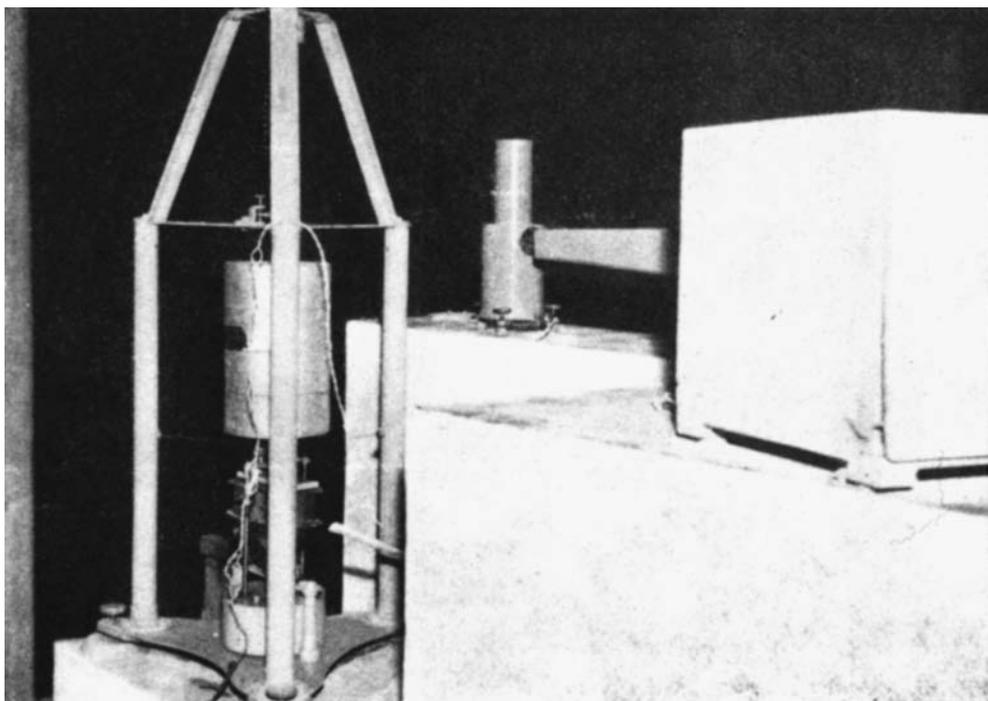


Figura 2.10.19.—Sismógrafo Victoria, actualmente conservado en la delegación del Instituto Geográfico Nacional en Santa Cruz de Tenerife, en su instalación en el sótano del Cabildo Insular (fotografía conservada en la delegación del Instituto Geográfico Nacional).

Instrumento: Hiller-Stuttgart vertical

Localización: Observatorio Geofísico de Tenerife.

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1958-1977.

Características:

Componente: Z
 Masa: ~0.5
 Período propio: 1.5
 Período galvanómetro: 1.5
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: 8500
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.1888 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.1888 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.1888 - j 0.0000$
		4.	$4.1888 + j 0.0000$

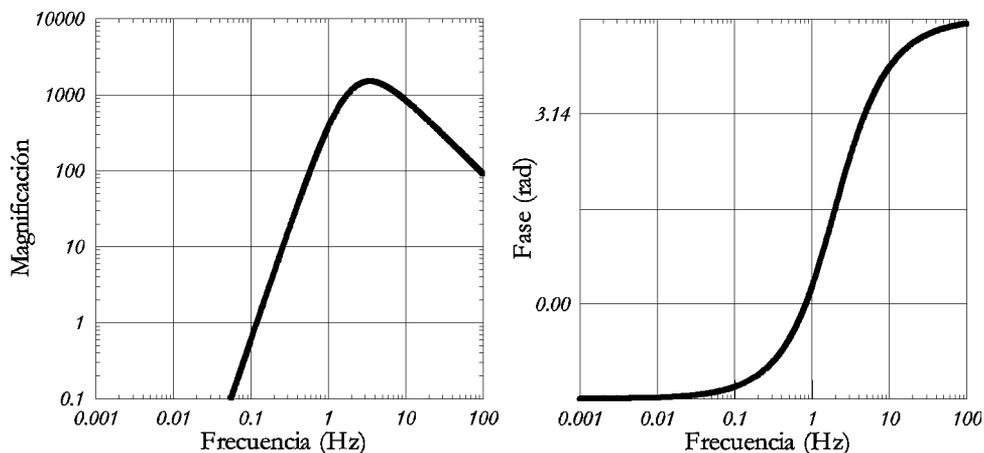
Estado actual: Se conserva en el Observatorio de Las Mesas.**Comentarios:** Se hallaban instalados en el sótano del edificio del Cabildo Insular.**Referencias:** [Ask55].

Figura 2.10.20.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart vertical, con las constantes instrumentales $A_m = 8500$, $T_s = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

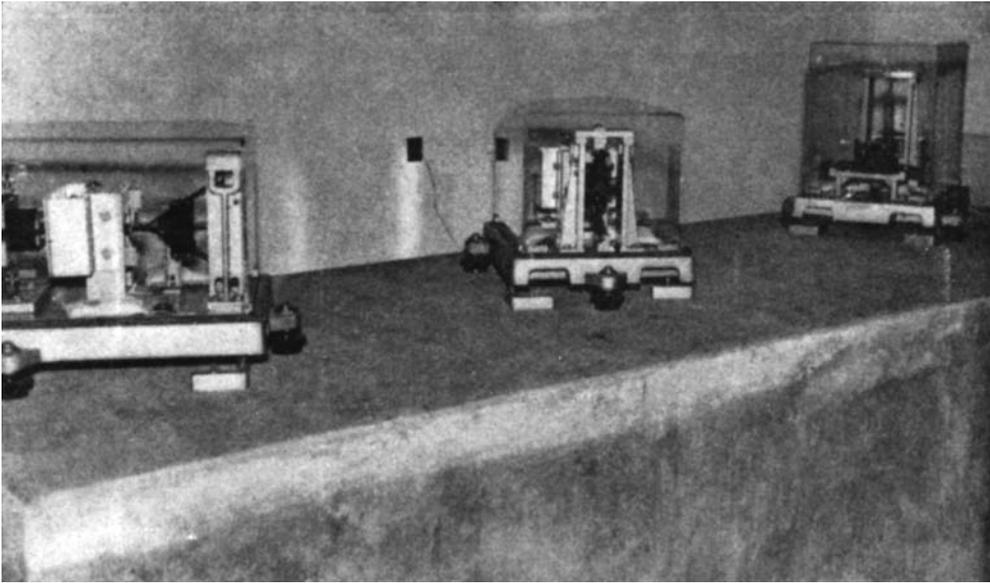


Figura 2.10.21.—Sismógrafos Hiller-Stuttgart instalados en el sótano del edificio del Cabildo Insular de Tenerife. A la derecha, la componente vertical. Fotografía conservada en la delegación del Instituto Geográfico Nacional en Santa Cruz de Tenerife.

Instrumento: Hiller-Stuttgart horizontal (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico de Tenerife.

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1958-1977.

Características:

Componente:	N-S	E-W
Masa:	~0.5	~0.5
Período propio:	1.5	1.5
Período galvanómetro:	1.5	1.5
Amortiguamiento:	∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación:	7200	6400
Tipo de registro:	Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro:	60	60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.1888 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.1888 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.1888 - j 0.0000$
		4.	$4.1888 + j 0.0000$

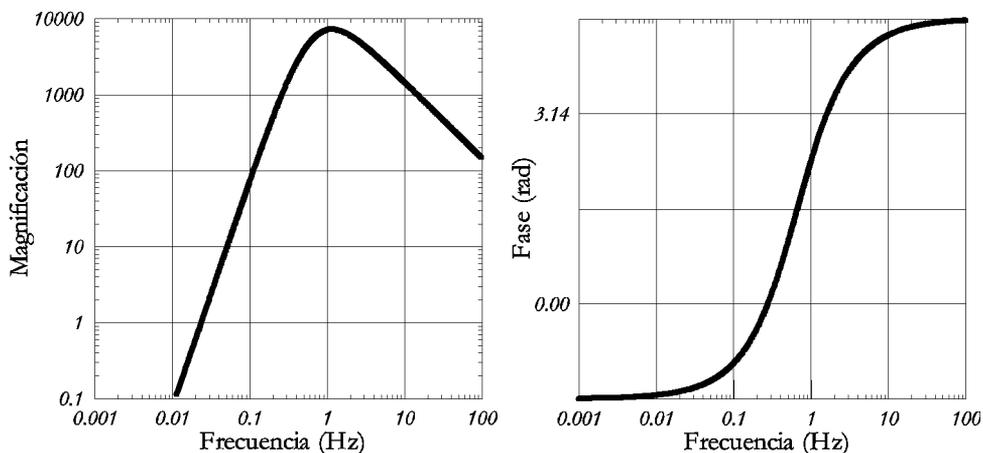
Estado actual: Se conservan en el Observatorio de Las Mesas.**Comentarios:** Se hallaban instalados en el sótano del edificio del Cabildo Insular.**Referencias:** [Ask55].

Figura 2.10.22.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 7200$, $T_s = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

Instrumento: Victoria

Localización: Observatorio de Logroño.
 Origen: Construido en el Observatorio de Málaga.
 Período de funcionamiento: –

Características:

Componente: Z
 Masa: 100
 Período propio: 0.35
 Período galvanómetro: 12
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación:
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro:

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$17.9520 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$17.9520 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$0.5236 - j 0.0000$
		4.	$0.5236 + j 0.0000$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: Probablemente no llegó a funcionar nunca.

Referencias: [Gom42].

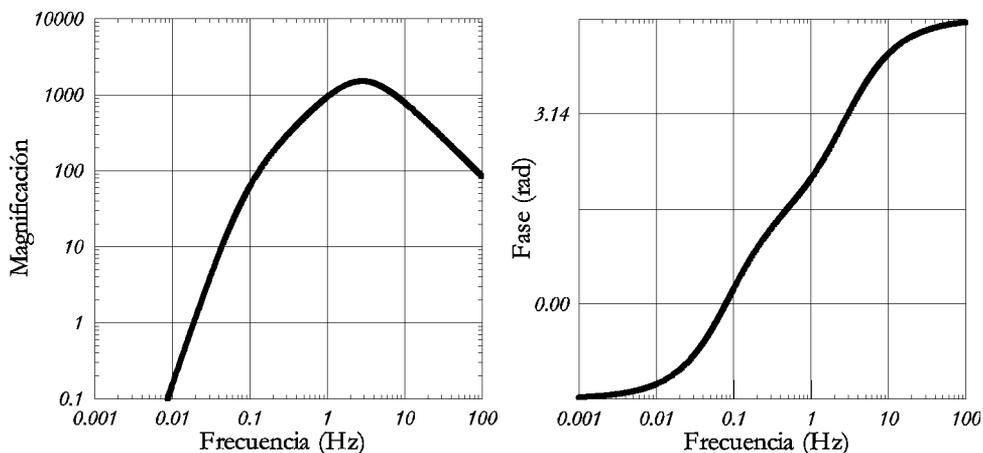


Figura 2.10.23.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Victoria vertical con las constantes instrumentales $A_m = 1500$ (se trata de una suposición), $T_s = 0.35$, $T_g = 12.0$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

Instrumento: Hiller-Stuttgart vertical

Localización: Observatorio Geofísico de Logroño.
 Origen: Adquirido (Askania Werke).
 Período de funcionamiento: 1959-1988.

Características:

Componente: Z
 Masa: ~0.5
 Período propio: 1.3
 Período galvanómetro: 1.3
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: 7400
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.8332 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.8332 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.8332 - j 0.0000$
		4.	$4.8332 + j 0.0000$

Estado actual: Se conserva en la Subdirección General de Geodesia y Geofísica del Instituto Geográfico Nacional.

Comentarios:

Referencias: [Ask55].

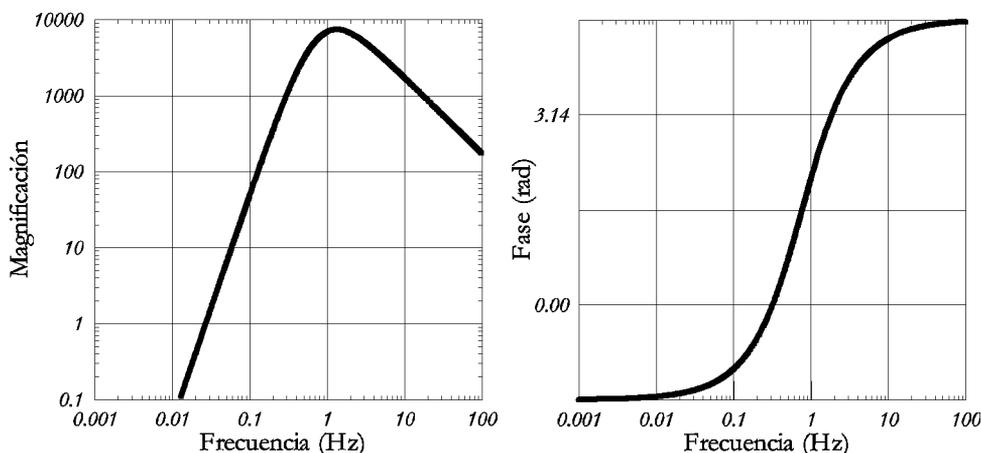


Figura 2.10.24.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart vertical con las constantes instrumentales $A_m = 7400$, $T_s = T_g = 1.3$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).



Figura 2.10.25.—Plano del Observatorio Geofísico de Logroño y pabellón de sismología (de [Mig64]).

Instrumento: Hiller-Stuttgart horizontal (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico de Logroño.

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1959-1988.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: ~0.5	~0.5
Período propio: 1.3	1.3
Período galvanómetro: 1.3	1.3
Amortiguamiento: ∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación: 6900	6900
Tipo de registro: Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro: 30	30

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $4.8332 - j 0.0000$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $4.8332 + j 0.0000$
3. $0.0000 + j 0.0000$	3. $4.8332 - j 0.0000$
	4. $4.8332 + j 0.0000$

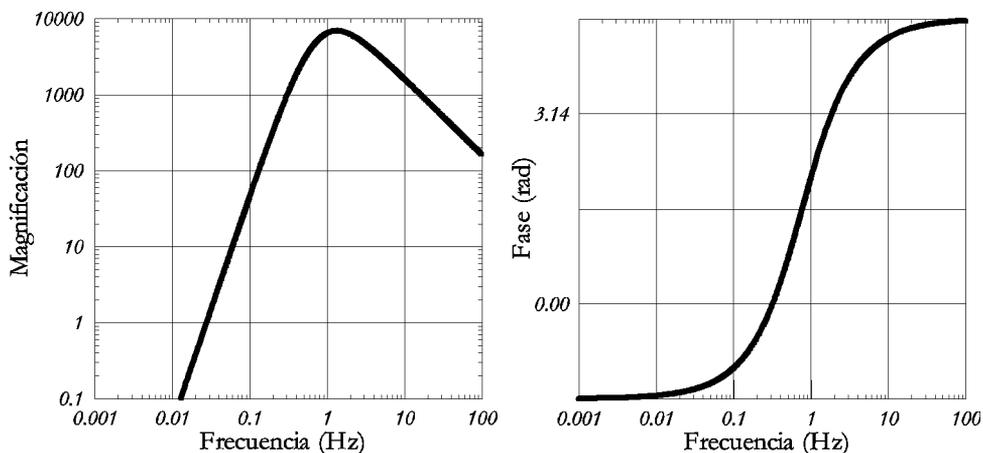
Estado actual: Se conserva en la Subdirección General de Geodesia y Geofísica del Instituto Geográfico Nacional.**Comentarios:****Referencias:** [Ask55].

Figura 2.10.26.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 6900$, $T_s = T_g = 1.3$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

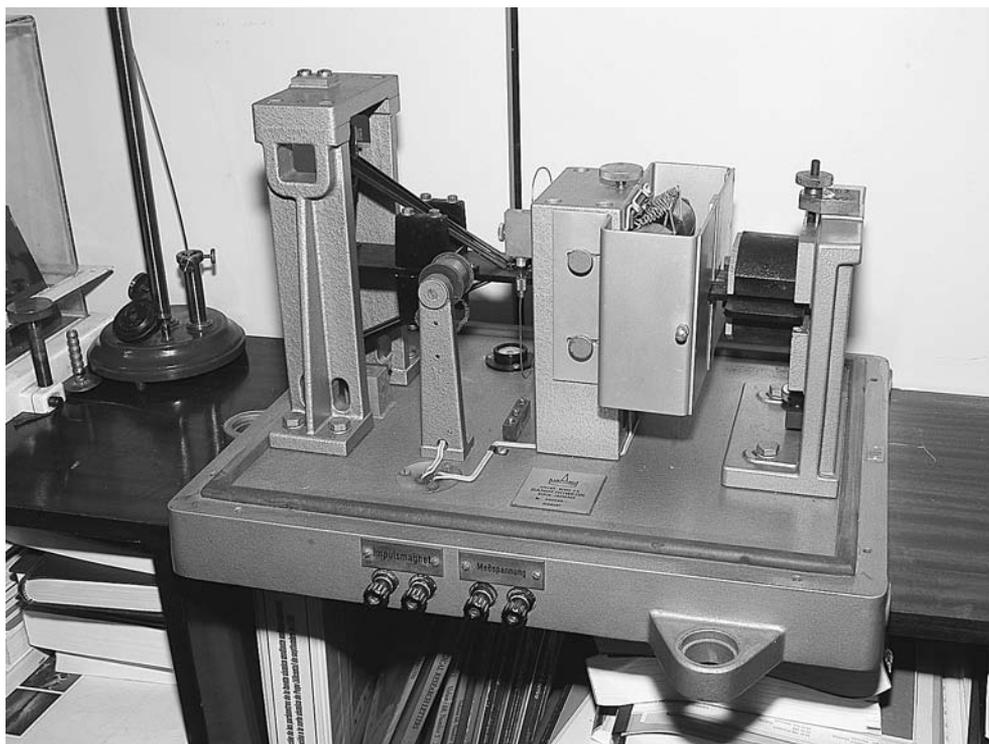


Figura 2.10.27.—Fotografía reciente del Sismómetro horizontal Hiller-Stuttgart, que estuvo instalado en el Observatorio Geofísico de Logroño (fotografía del archivo del IGN).

Instrumento: Hiller-Stuttgart vertical

Localización: Observatorio Geofísico de Moca.

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1960 - 1971 Dic.

Características:

Componente: Z
 Masa: ~0.5
 Período propio: 1.5
 Período galvanómetro: 1.5
 Amortiguamiento: ∞ (crítico)
 Magnificación: 8500
 Tipo de registro: Banda de papel fotográfico
 Velocidad de registro: 60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1.	$0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1.	$4.1888 - j 0.0000$
2.	$0.0000 + j 0.0000$	2.	$4.1888 + j 0.0000$
3.	$0.0000 + j 0.0000$	3.	$4.1888 - j 0.0000$
		4.	$4.1888 + j 0.0000$

Estado actual: Desconocido.

Comentarios: En 1972 el funcionamiento y administración del Observatorio Geofísico de Moca fue totalmente transferido al Gobierno de Guinea Ecuatorial y parece ser que fue totalmente abandonado.

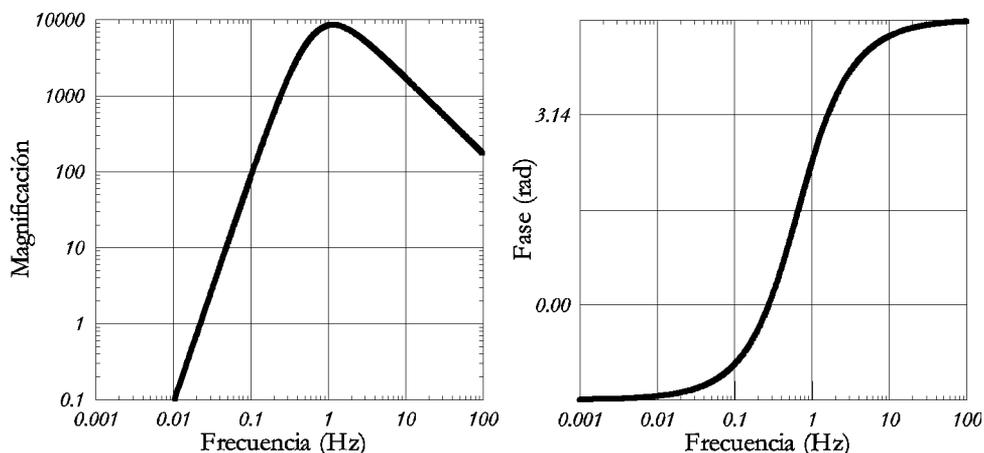
Referencias: [Ask55].

Figura 2.10.28.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart vertical con las constantes instrumentales $A_m = 8500$, $T_s = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $b = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

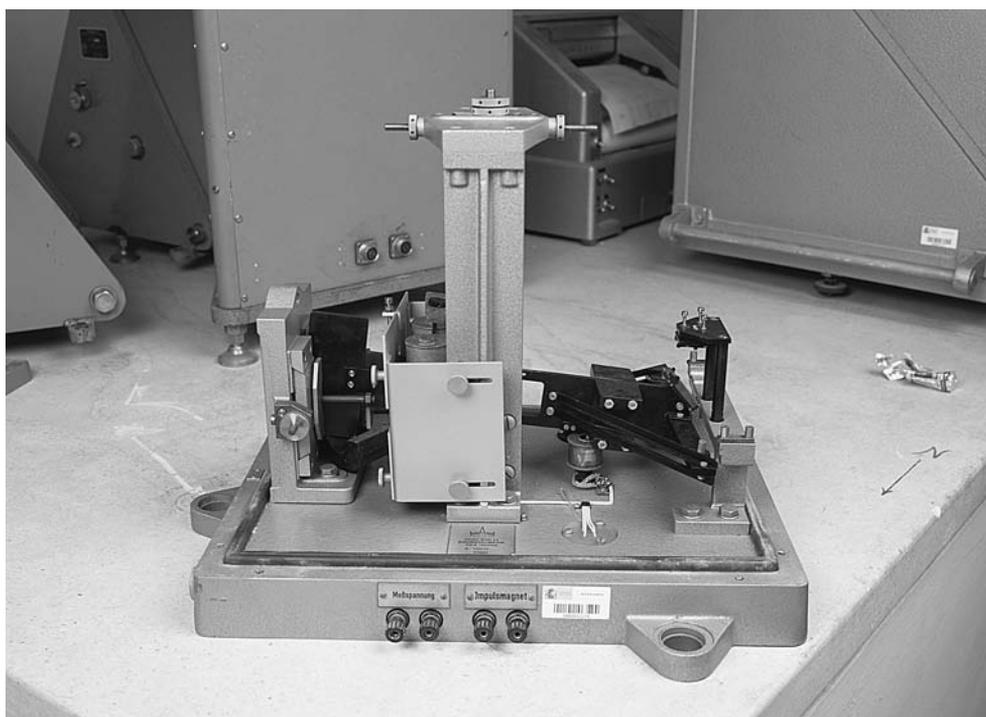


Figura 2.10.29.—Fotografía reciente de un sismómetro Hiller-Stuttgart vertical, núm. de serie 580699,, igual al que se utilizó en el observatorio de Moca (fotografía del archivo del IGN).

Instrumento: Hiller-Stuttgart horizontal (dos aparatos independientes)

Localización: Observatorio Geofísico de Moca.

Origen: Adquirido (Askania Werke).

Período de funcionamiento: 1960-1971 Dic.

Características:

Componente: N-S	E-W
Masa: ~0.5	~0.5
Período propio: 1.5	1.5
Período galvanómetro: 1.5	1.5
Amortiguamiento: ∞ (crítico)	∞ (crítico)
Magnificación: 7000	7000
Tipo de registro: Banda de papel fotográfico	Idem
Velocidad de registro: 60	60

Respuesta en polos y ceros:

Ceros: 1. $0.0000 + j 0.0000$	Polos: 1. $4.1888 - j 0.0000$
2. $0.0000 + j 0.0000$	2. $4.1888 + j 0.0000$
3. $0.0000 + j 0.0000$	3. $4.1888 - j 0.0000$
	4. $4.1888 + j 0.0000$

Estado actual: Desaparecido.

Comentarios: En 1972 el funcionamiento y administración del Observatorio Geofísico de Moca fue totalmente transferido al Gobierno de Guinea Ecuatorial y parece ser que fue totalmente abandonado.

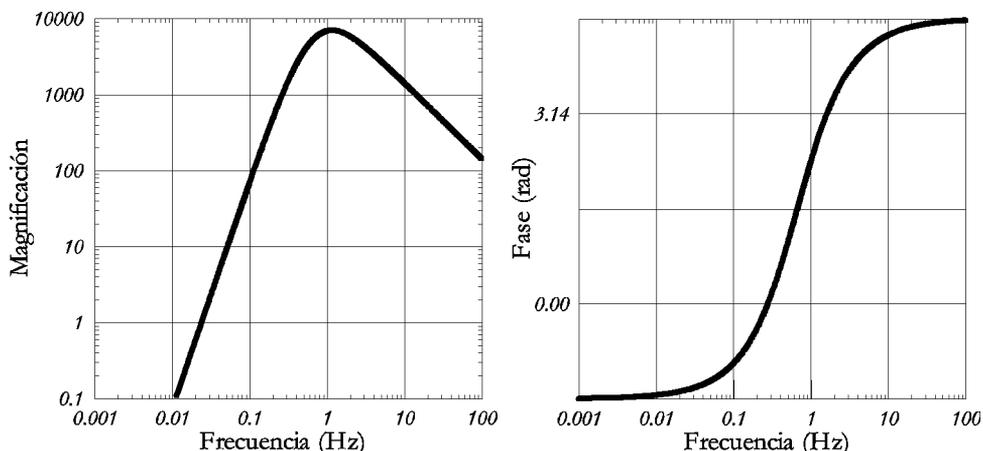
Referencias: [Ask55].

Figura 2.10.28.—Curva de respuesta en desplazamiento (magnificación) y fase para el sismógrafo Hiller-Stuttgart horizontal, componente N-S, con las constantes instrumentales $A_m = 7000$, $T_s = T_g = 1.5$ y amortiguamiento crítico (es decir, $h = 1.0$ y $\varepsilon = \infty$).

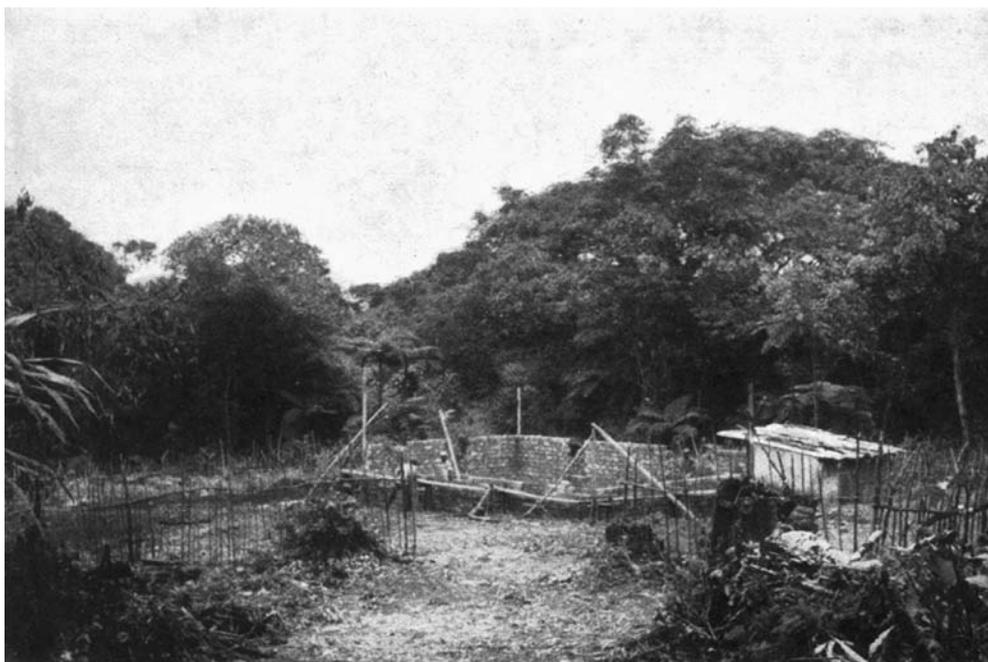


Figura 2.10.29.—Pabellón sísmico del Observatorio Geofísico de Moca en construcción (de [Gar61]), y una vez terminado (fotografía conservada en la delegación del Instituto Geográfico Nacional en Santa Cruz de Tenerife).

- Alicante vertical (Z), 76.
Almería vertical (E-W), 98.
Belarmino (Z), 150.
Benioff 1051 (Z), 244, 286, 336.
Benioff 1101 (E-W), 246, 338.
Benioff 1101 (N-S), 246, 338.
Berchmans (N-S; E-W), 142, 144.
Bosch-Omori (E-W), 66, 88, 220, 302, 384.
Bosch-Omori (N-S), 66, 88, 220, 302.
Bosch-Omori reformado (E-W), 394.
Bosch-Omori reformado (N-S), 394.
Canisio (E-W), 154.
Canisio (N-S), 154.
Cartuja bifilar (ENE-WSW), 126.
Cartuja bifilar (E-W), 128.
Cartuja bifilar (NNW-SSE), 124, 132.
Cartuja bifilar (N-S), 128.
Cartuja Máximo (E-W), 156.
Fotosismómetro Alfani (E-W), 280.
Fotosismómetro Alfani (N-S), 278.
Fotosismómetro Alfani (Z), 276.
Galbis (E-W), 72.
Galbis (N-S), 72.
Galitzin horizontal (E-W), 324.
Galitzin horizontal (N-S), 324.
Galitzin vertical (Z), 322.
Geotech 4681A (Z), 186.
Geotech 6102A (E-W), 188.
Geotech 6102A (N-S), 188.
Grablovitz (NE-SW), 168.
Grablovitz (NW-SE), 168.
Gray-Milne (NE-SW; NW-SE), 356.
Gray-Milne (N-S; E-W; Z) 358.
Grupo macrosísmico Alhambra (NE-SW), 130.
Hiller-Stuttgart horizontal (E-W), 80, 106, 162, 214, 243, 400, 404, 408.
Hiller-Stuttgart horizontal (N-S), 80, 106, 162, 214, 243, 400, 404, 408.
Hiller-Stuttgart vertical (Z), 78, 104, 160, 212, 242, 398, 402, 406.
Javier (ENE-WSW), 146.
Javier (E-W), 148.
Mainka, 392.
Mainka (E-W), 70, 96, 210, 228, 233, 304, 376, 378.
Mainka (N-S), 70, 96, 210, 228, 234, 304, 376, 378.
Mainka (NW-SE), 372.
Mainka-Ebro, 382.
Mainka Ebro (E-W), 176, 180.
Mainka Ebro (N-S), 174, 180.
Mainka modificado (E-W), 74.
Mainka modificado (N-S), 74.
Mainka reformado (E-W), 100.
Mainka reformado (N-S), 100.
Mainka vertical (Z), 94.
Microsismógrafo eléctrico Secchi (Horizontales; Z), 354.
Microsismógrafo Vicentini (N-S), 172, 224.
Microsismógrafo Vicentini (N-S; E-W), 64, 92, 172, 204, 224, 298.
Microsismómetrografo Agamennone (N-S; E-W), 300.
Milne (E-W), 260, 262, 310, 374.
Milne (N-S), 264.
Omori modificado (NNW-SSE), 118.
Omori-Navarro, 388.
Péndulo bifilar Graño (E-W), 265, 272.
Péndulo bifilar Graño (N-S), 266, 270, 273, 274.
Péndulo cenital (Z), 184.
Péndulo cónico (N-S), 207.
Péndulo doble Ewing (Horizontales), 258.
Péndulo horizontal Ewing (N-S; E-W), 254.
Péndulo ordinario (Horizontales), 346, 348.
Péndulo vertical, 387.
Péndulo vertical (NE-SW), 208.
Péndulo vertical (N-S), 182.
Péndulo vertical (N-S, E-W), 380.

- Péndulo vertical Cadarso (NE-SW; NW-SE), 232.
- Péndulo vertical Cartuja (ENE-WSW), 140.
- Péndulo vertical Cartuja (E-W), 138.
- Péndulo vertical Cartuja (NNW-SSE), 134.
- Péndulo vertical Cartuja (N-S), 136.
- Péndulo vertical Ebro, 383.
- Péndulo vertical Ebro (NE-SW, NW-SE), 178.
- Péndulo vertical Ebro (N-S), 179.
- Péndulo vertical Graíño (E-W), 268.
- Péndulo vertical Toledo (E-W), 306.
- Péndulo vertical Toledo (N-S), 306.
- Protosismógrafo de Rossi (Horizontales; Z), 352.
- Rebeur-Ehlert (E-W), 308.
- Rebeur-Ehlert (N-S), 308.
- Rebeur-Paschwitz (E-W), 390.
- Sismógrafo analizador Secchi (Horizontales; Z), 350.
- Sismógrafo eléctrico Ewing, 360.
- Sismógrafo vertical Ewing (Z), 256.
- Sismométrógrafo Agamennone (NE-SW; SE-NW), 200, 206.
- Sismométrógrafo Cancani (NE-SW; SE-NW), 198.
- Sismoscopio Vicentini (Horizontales), 368, 370.
- Sprengnether horizontal (E-W), 284, 330.
- Sprengnether horizontal (N-S), 284, 330.
- Sprengnether S-5000H (E-W), 192, 250, 334.
- Sprengnether S-5000H (N-S), 192, 250, 334.
- Sprengnether S-5000V (Z), 82, 190, 194, 248, 332.
- Sprengnether S-5100H (E-W), 290.
- Sprengnether S-5100H (N-S), 290.
- Sprengnether S-5100V (Z), 288.
- Sprengnether vertical (Z), 282, 328.
- Stiattesi (E-W), 112.
- Stiattesi (N-S), 112.
- Vicentini Cartuja, 120.
- Vicentini Pacher (Horizontales), 114.
- Vicentini vertical (Z), 62, 90, 115, 116, 170, 202, 222, 296.
- Victoria (Z), 102, 236, 396, 401.
- Wiechert (E-W), 386.
- Wiechert (E-W; N-S), 122.
- Wiechert (NE-SW), 230.
- Wiechert (N-S), 386.
- Wiechert astático (NW-SE; NE-SW), 312.
- Wiechert astático reformado (NW-SE; NE-SW), 314.
- Wiechert Guillamón (Z), 238.
- Wiechert Toledo (E-W), 318.
- Wiechert Toledo (N-S), 318.
- Wiechert vertical (Z), 68, 226, 316.
- Wiechert vertical reformado (Z), 320.
- Wood-Anderson, 240, 326.

Prólogo	5
Agradecimientos	7
A Catalogue of Old Spanish Seismographs	9

PARTE I Descripción del Catálogo

1.1. Introducción	13
1.2. Estaciones sísmicas y sismógrafos en España	19
1.3. Catalogación de los sismógrafos	25
1.3.1. Por el tipo de transductor	25
1.3.2. Por el tipo de registro	26
1.3.3. Por su estructura mecánica	26
1.4. Descripción de la ficha	35
1.5. La respuesta instrumental	39
1.5.1. Sensor mecánico	39
1.5.2. Sensor electromagnético	41
1.6. Coordenadas de las estaciones	43
1.7. Bibliografía	47

PARTE II Instrumentos

2.1. Observatorio Sismológico de Alicante	59
2.2. Observatorio Geofísico de Almería	85
2.3. Observatorio Sismológico de Cartuja	109
2.4. Observatorio Sismológico del Ebro	165
2.5. Observatorio Fabra	197
2.6. Observatorio Sismológico de Málaga	217
2.7. Observatorio de San Fernando	253
2.8. Observatorio Geofísico de Toledo	293
2.9. Observatorio de Manila	341
2.10. Otros observatorios	363
Índice de instrumentos	411

