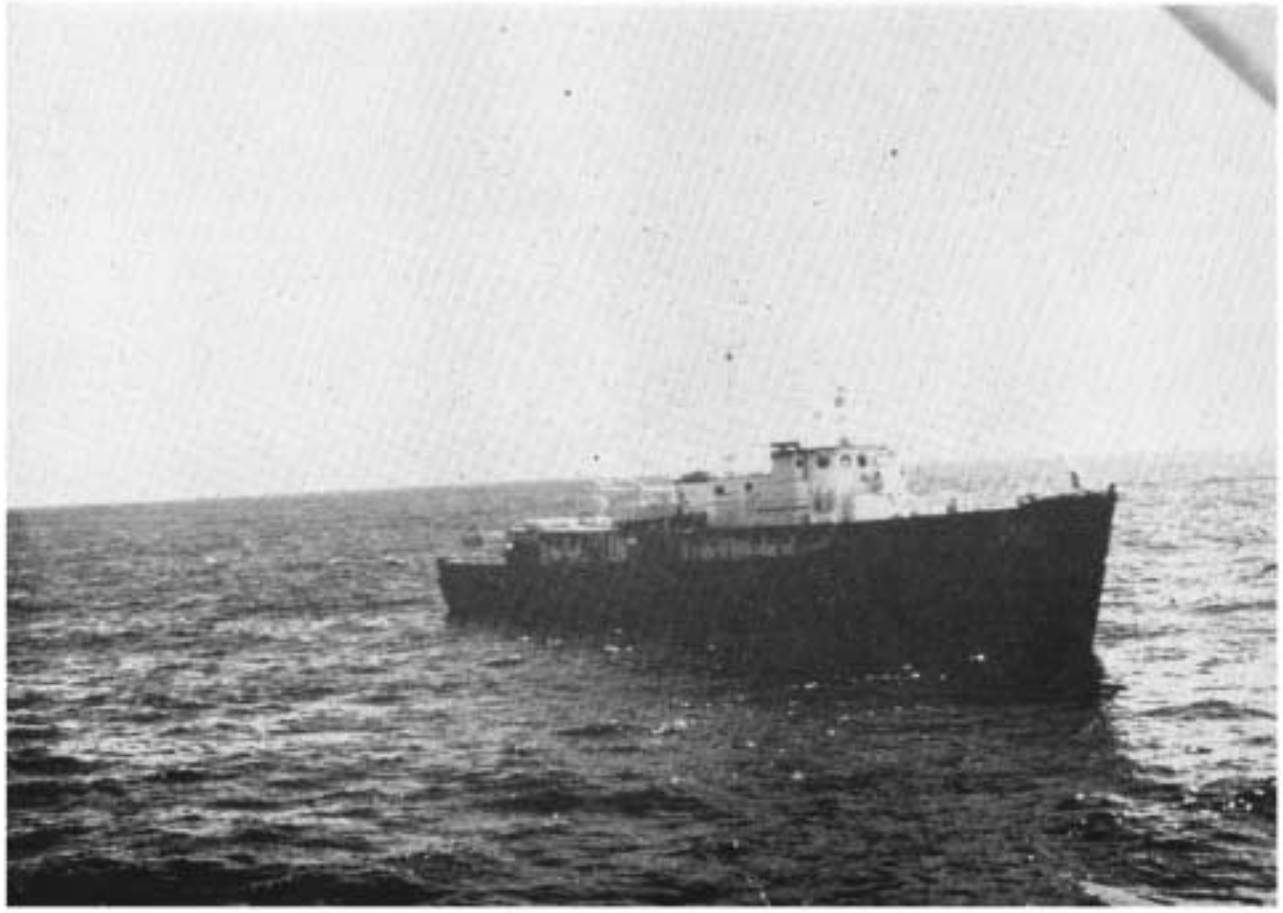


ESTUDIO GEOFISICO EN LA FOSA DE SIGSBEE *

AMADO YÁÑEZ CORREA * *

INTRODUCCION

Por una invitación del doctor Maurice Ewing, Director del Lamont Geological Oservatory, Columbia University; los señores Directores de los Institutos de Geofísica y Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, doctor Julián Adem e ingeniero Guillermo P. Salas, respectivamente, enviaron al señor Jacobo Meleer del Instituto de Geofísica y al suscrito, para tomar parte activa en los trabajos de investigación oceanográfica que se están llevando a cabo en el Golfo de México y en el Mar Caribe, a bordo del "VEMA", barco de investigaciones del Lamont Geological Observatory.

OBJETIVO DEL TRABAJO

El objeto principal de las investigaciones de Geofísica en los océanos, es el de obtener suficiente información del subfondo y en esta forma basarse en datos concretos para apoyar o rectificar las diferentes teorías o puntos de vista que se tienen respecto al origen de los continentes y de los océanos, y tratar de determinar la composición, forma y tamaño de los distintos materiales que se encuentran bajo el fondo de los océanos mediante argumentos sismológicos, así como la profundidad a la cual se encuentra el contacto "Mohorovicic", Moho o zona de perturbación sísmica (Koeberg, 1942), en apoyo del equilibrio isostático presente, que sugiere un gran espesor de material sismático bajo el fondo de los océanos, en relación al que se encuentra bajo los continentes.

Al desarrollar la parte práctica y material de los trabajos de investigación geofísica, a bordo de barcos norteamericanos en el Golfo de México, se obtiene intercambio México-Norteamericano de investigación, trabajando

* Original recibido en Noviembre de 1962.

* * Geólogo del Instituto Geológico de la U.N.A.M.

en cooperación. En lo que a nosotros respecta, es aún más significativo debido a que en esta forma podemos:

1. Tomar parte en investigaciones que nuestra situación económica nos impide por ahora desarrollar.

2. Conocer objetivamente las técnicas empleadas en estas ciencias por los investigadores norteamericanos y compenetrarnos de sus progresos.

3. Hacer un informe, dentro de lo que es posible, de los resultados de las investigaciones oceanográficas que se desarrollan en aguas del Golfo de México que tanto interesan a nuestros investigadores y atañen a nuestra patria.

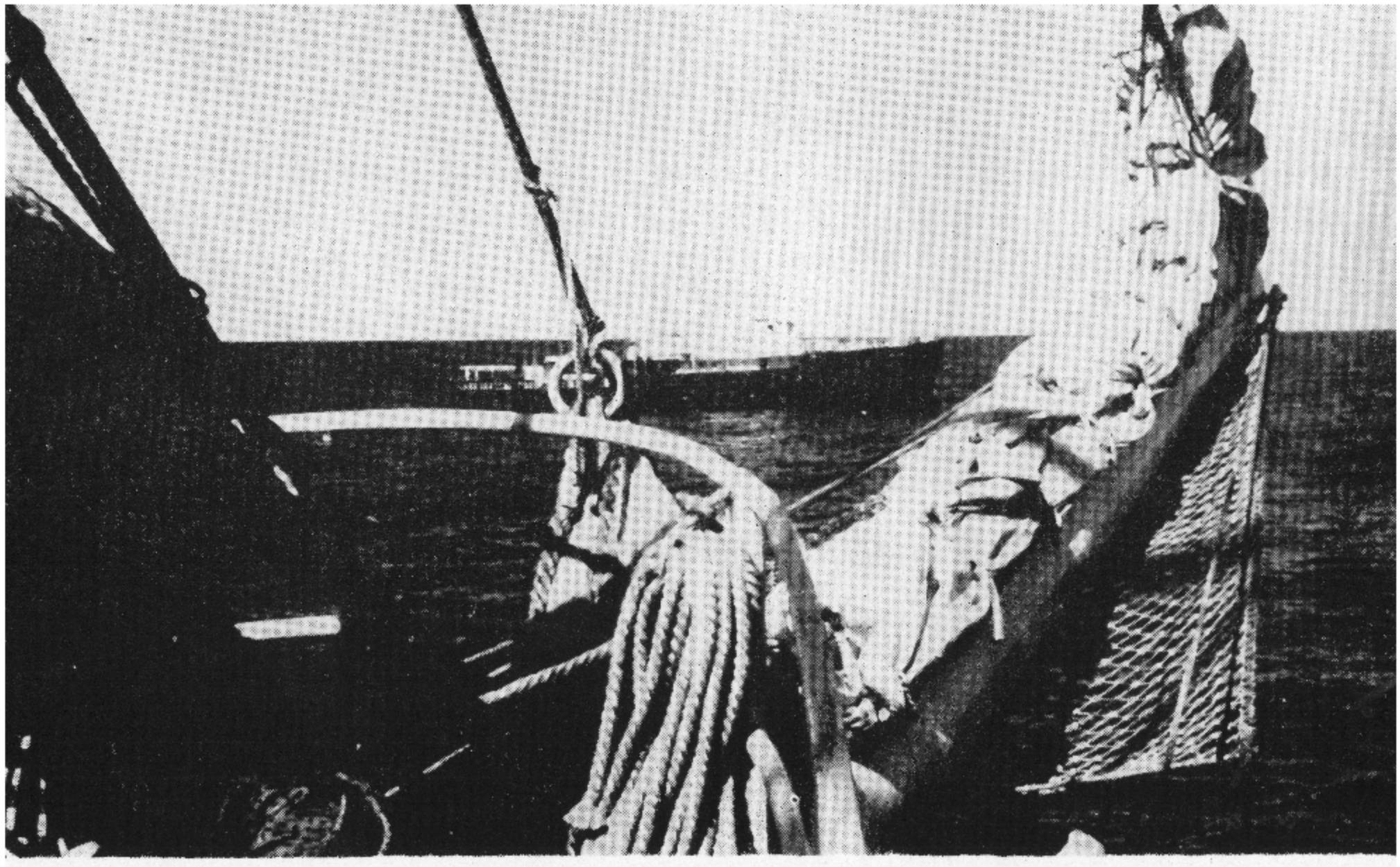
EQUIPO EMPLEADO

El "VEMA", barco en que se hizo la navegación, era en un principio un yate velero particular; actualmente, está reformado y equipado con todos los adelantos de la ciencia para llevar a cabo investigaciones oceanográficas en mar profundo. Tiene aproximadamente 202 pies de eslora (61 metros); está impulsado por un motor diesel de 1,000 HP; tiene instalaciones para que pueda ser habitado por 18 investigadores con muy limitadas comodidades, además del personal propio del barco.

Para localizar su posición con la mayor exactitud posible en cualquier punto de los océanos, cuenta con los procedimientos más modernos que se conocen como son: "Rodan", "Lorán", "Shoran", "Giroscopio electrónico", etc. Además cuenta con dos grandes laboratorios de geofísica y análisis químico.

En el laboratorio principal que es el de geofísica se encuentran instalados:

a. Dos equipos completos de radio.
b. Un magnetómetro con equipo electrónico completo para el registro automático de los pequeños cambios que experimenta, campo magnético de la tierra en los distintos lugares por los que pasa el barco.
c. Dos gravímetros marinos con equipos electrónicos especialmente diseñados para obtener gráficas de las anomalías de la gravedad o pequeños cambios del campo gravitacional terrestre, registrados en los distintos lugares de los océanos por los que el barco navega.
d. Dos "ecosondas" del tipo Precisión Depth Recorder, mediante uno de los cuales, con un amplificador de alto voltaje, se obtienen arribos de ecos que provienen de contactos entre los materiales que se



Al fondo se aprecia el "HIDALGO" barco de investigación del A&M College of Texas.
Vista de la proa del "VEMA", barco de investigación del Lamont Geological Observatory.

encuentran bajo el fondo de las aguas (su empleo es casi exclusivo para los estudios en la Plataforma Continental).

e. Dos sismógrafos marinos tipo "Visicorder" empleados en sismografía de refracción (Fig. 1).
f. Un equipo completo de sismógrafo submarino con baterías para siete días, con vibrador, amplificador y traductor (Fig. 2).
g. Un sismógrafo diseñado en los laboratorios electrónicos del Lamont Geological Observatory, por el señor John Ewing y colaboradores, llamado "Profiler", empleado únicamente en trabajos de sismología de reflexión.
h. Dos osciloscopios empleados para conocer con precisión el funcionamiento del equipo electrónico (amplificadores, desmoduladores, contadores, etc.).
i. Un contador electrónico que se emplea en el circuito electrónico del magnetómetro.
j. Un reloj electrónico contador de tiempo, el cual sirve de referencia y marca todas las anotaciones de los registros.
k. Un "Pitlog" o millómetro y velocímetro que sirve como base de los registros de los sismógrafos, gravímetros, magnetómetro, ecosondas, estaciones de muestreo, etc.

En el laboratorio de análisis químico (wet lab) hay:

a. Un salinómetro eléctrico automático para mediciones rápidas de la de la salinidad completa del agua.
b. Un espectómetro para determinaciones cuantitativas rápidas del contenido de silicatos, fosfatos y nitratos del agua del mar.
c. Un mecanismo para hacer concentraciones de carbono 14, del agua de mar.
d. Un dispositivo químico para hacer mediciones rápidas del contenido de oxígeno disuelto en el agua de mar.
e. Tres conjuntos de 12 botellas Nansen con sus respectivos termómetros con y sin protección para la presión.

Distribuídos en el barco se encuentran:

a. Tres malacates marinos de diferente capacidad.
b. Un pistón nucleador de fondo, modificado del de Kullemberg y tubo de Phleger como mensajero del pistón nucleador principal.
c. Dos cámaras fotográficas electrónicas submarinas para grandes pro-

fundidades, diseñadas y construídas en los laboratorios electrónicos del Lamont Geological Observatory.

ITINERARIO

Se abordó el barco en el Puerto de Galveston, Texas, el día 11 de enero de 1961, zarpando ese mismo día como a las 17 hrs. Se trabajaron los dos primeros días en sismología de refracción en compañía del "HIDALGO", barco de investigación del A&M College of Texas que debido a fallas mecánicas de sus motores, tuvo que regresar a Galveston.

El 14 de enero se inició el trabajo de rutina oceanográfica que consiste en la toma de: gráficas batitérmicas, muestras de plancton, núcleos del fondo, fotografías del fondo, etc., sobre la Plataforma Continental de Texas. y al día siguiente se empezó a trabajar en sismología de reflexión, continuando hasta el 22 de enero con la intercalación de algunas estaciones de muestreo. Durante el mismo día se obtuvo nuevo contacto con el "HIDALGO" y se empezó a trabajar en sismología de refracción alrededor de las 00.00 hrs. del día 24 de enero, encontrándose situado el barco como a 30 millas al norte del Puerto de Progreso, Yuc., sobre la Sonda de Campeche. Al día siguiente (25 de enero) al encontrarse el barco sobre la parte profunda del Golfo, se bajó al fondo un sismógrafo submarino equipado con acumuladores, oscilador, amplificador y traductor, con el objeto de trabajar en sismología de refracción.

En esta forma, se estuvo trabajando hasta el día 27 de enero, fecha en que el barco "HIDALGO" nuevamente tuvo que regresar a Galveston, Texas, por tener otros compromisos que cumplir.

Posteriormente, los dias 28 al 31 de enero se volvió a trabajar en sismología de reflexión, llegando en la mañana del 31 de enero a la Isla Gran Caimán en el Mar Caribe, en donde se anclo el barco para que desembarcaran cuatro investigadores encargados de llevar a cabo el trabajo de geofísica. En ese mismo lugar, embarcaron otros investigadores encargados de llevar a cabo los análisis químicos del agua de mar. En la tarde del mismo día el barco zarpó de Gran Caimán, para empezar a trabajar en las estaciones de toma de muestras de agua a diferente profundidad y efectuar los análisis de las mismas, formando una red de 21 estaciones de agua en 12 días, haciendo la última sección navegaba con rumbo 180º hacia el Canal de Panamá, el 13 de febrero se hizo la última estación para extraer un núcleo más de la parte profunda del área comprendida entre los grandes bancos arrecifales del Caribe y el Canal de Panamá, llegando a éste y desembarcando en la Ciudad de Colón el día 14 de febrero.

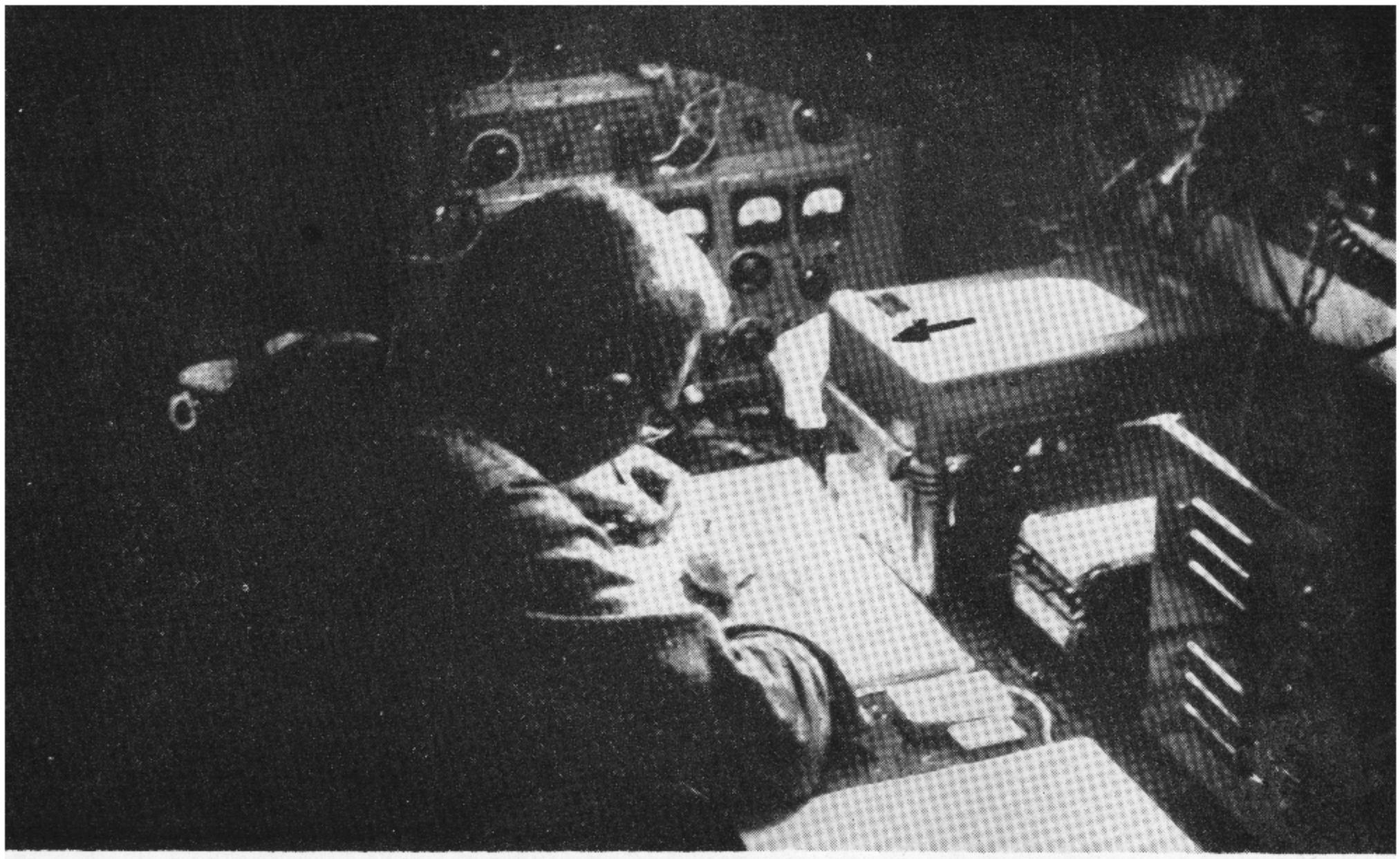


Fig. 1.—Interior del laboratorio principal del "VEMA". La flecha marca el sismógrafo recibidor tipo "visicorder".

TRABAJOS REALIZADOS

SISMOLOGÍA DE REFRACCIÓN

El propósito de estos trabajos es el de determinar principalmente, el espesor de los sedimentos en cualquier parte del fondo de los océanos. Esta información se obtiene, haciendo explotar cargas de dinamita que producen impulsos sonoros que viajan en todas direcciones y cuyas velocidades de propagación varían de acuerdo con el medio. Dichos impulsos sonoros se recogen a distancias determinadas con aparatos electrónicos sensitivos que los registran graficamente, pudiendo muchas veces deducir de las gráficas, la profundidad a la que se encuentran las discontinuidades sísmicas producidas por los diferentes materiales del fondo de los océanos (Fig. 3).

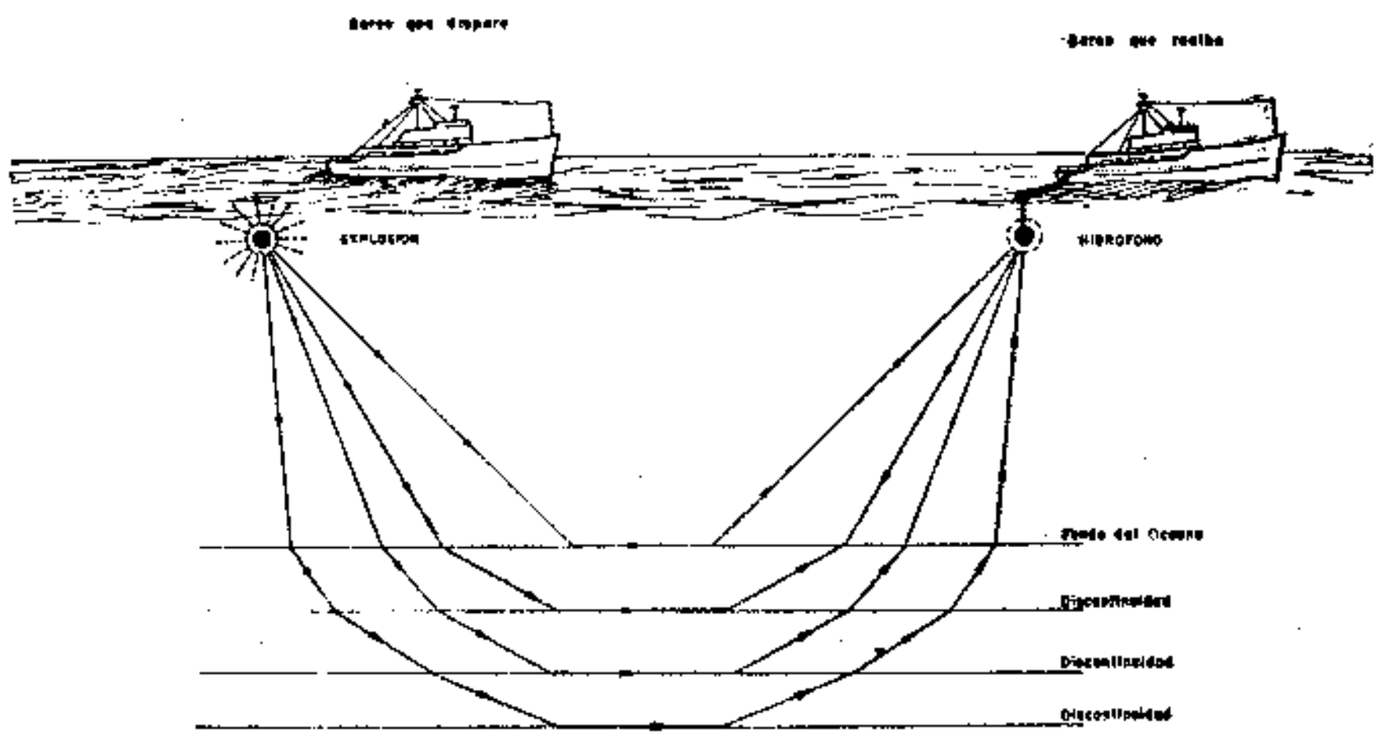


Fig. 3.—Ilustración del método empleado en sismología de Refracción.

La forma en que se trabajó en Sismología de Refracción es la siguiente:

Un barco "dispara" (lanza la carga explosiva con un lapso de tiempo determinado) y otro "recibe" (registra en gráficas mediante equipos electrónicos, los arribos de los impulsos sonoros).

El barco que "recibe" se considera prácticamente sin movimiento ya que sólo se mueve por la deriva que ocasionan los vientos y corrientes. El barco que "dispara", se mueve con una velocidad constante de aproximadamente 12 nudos y bajo determinado rumbo, de tal manera que se

obtengan secciones definidas a lo largo de las cuales se obtienen los registros. Desde el barco en que se "dispara", se avisa por "radio" con un minuto de anticipación la hora exacta en que la carga deberá ser lanzada, informándose al mismo tiempo sobre la cantidad en peso y tipo del explosivo; la longitud de la mecha que se utiliza y el número consecutivo del disparo. En el momento en que la mecha se enciende y la carga se lanza sobre la borda, se vuelve a informar por "radio" al personal del barco que "recibe", indicándole que la carga ha sido lanzada.

TABLA 1

Enero 23, 1961

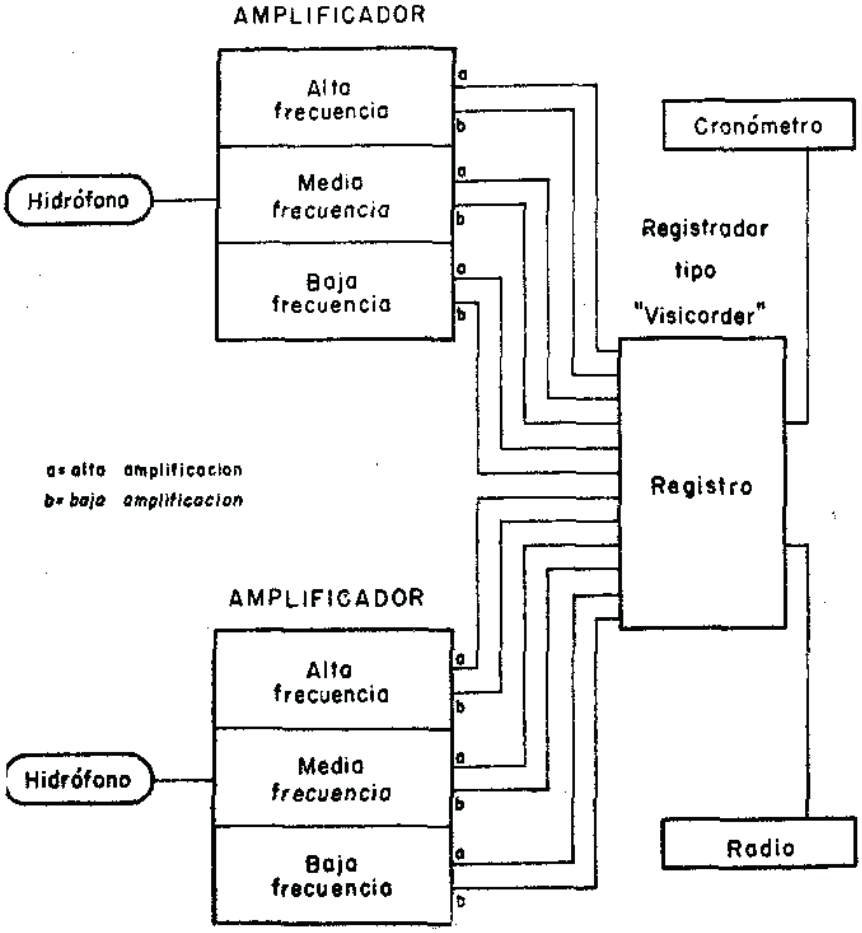
Sismología de Refracción

Perfil No. 14 Vema recibiendo

No. del disparo	Peso de la carga en libras	Longitud de la mecha en pulgadas	Hora del encendido	Hora del disparo	Tiempo en segundos que la mecha dura quemándose	Observaciones
1012	1/2	6	1836:48	1837:07	19 seg.	
1013	1/2	6	1839:47	1849:06	19	
1014	1/2	6	1842:46	1841:06	20	
etc.	1/2	6	1845:47	1846 05	19	
1023	3	12	1909:47	1913:22	36	
1024	3	12	1912:47	1916:22	35	
etc.	3	12	1915:47	1916:22	36	
1030	9	12	1932:47	1937:23	36	Hidalgo profundidad de 180 brazas
1031	9	12	1937:47	1938:23	36	
1032	9	12	1942:48	1943:22	34	sabiendo
etc.						
1038	24	24	2012:19	2013:		No sheet break
1039	24	24	2026:16	2027:19		
etc.						
1042	24	36	2204:46	2206:17	89	

En el barco en que se "recibe", se hacen las anotaciones de la información comunicada por el personal del barco que "dispara" en los cuadros de anotaciones (Tabla 1). En el momento en que se obtiene la información de que la carga ha sido lanzada, se largan los cables de los hidrófonos y como se conoce la longitud de la mecha, se sabe con aproximación de segundos el instante en que el explosivo detonará, poniendo a trabajar el

sismógrafo "Visicorder" (Fig. 1), unos 10 segundos antes de la explosión para obtener la gráfica sismológica. El instante de la detonación, se registra en el sismógrafo con el arribo de *la onda directa, escribiendo* en el cuadro de anotaciones la hora exacta de la explosión, (Tabla 1). Al



Esquema Nº 1.—Circuito eléctrico.

mismo tiempo, del barco en que se "dispara", se envía una señal por "radio" para comprabar el instante de la explosión. En el cuadro de anotaciones del barco que "dispara", se anotan además de los datos ya enun-

ciados, la profundidad y lectura del (Pit Log) Millómetro en el instante de la explosión (Tabla 2).

En el esquema No. 1, se puede apreciar el circuito eléctrico empleado en sismología de refracción para registrar gráficamente los arribos de los impulsos sonoros.

Nota.—El tamaño y tipo de la carga explosiva varía de acuerdo con la distancia a que se encuentran los barcos, quedando a criterio del personal del barco que "recibe", pedir el tamaño de la carga que debe ser lanzada, con el fin de obtener los más claros arribos de las ondas sonoras.

SISMOLOGÍA DE REFRACCIÓN EMPLEANDO EL SISMÓGRAFO DE FONDO.

El Sismógrafo de fondo.—(Fig. 2) es un conjunto de aparatos construídos herméticamente a prueba de agua y consta de: baterías con carga eléctrica para 7 días, sismógrafo submarino, recibidor, vibrador, amplificador y traductor de los impulsos sonoros recibidos.

La forma en que se trabaja con este aparato es la siguiente:

Se pone el sismógrafo de fondo sobre el lecho del océano; en esta ocasión se colocó en la parte abisal y central del Golfo de México (Fosa de Sigsbee). Al barco que "recibe" se le sitúa lo más verticalmente posible sobre el sismógrafo de fondo y debe mantenerse a bordo el mayor silencio que se pueda, para lo cual se paran los motores y se trabaja con electricidad generada por acumuladores, con objeto de no perturbar con ruidos extraños las vibraciones que provienen del sismógrafo de fondo, al ser recibidas por los hidrófonos y registradas tanto en las gráficas sismológicas como en la cinta continua de una grabadora.

Como el barco que "recibe" está completamente a la deriva y es movido por vientos y corrientes, llega un momento en que el arribo de las vibraciones es muy débil y entonces es necesario poner a trabajar la máquina del barco para volver a situarlo sobre el sismógrafo de fondo.

El barco que "dispara" debe viajar a una velocidad constante y con rumbo definido, con el fin de obtener secciones en el centro de las cuales, se encuentra el sismógrafo de fondo.

La forma en que se trabaja para controlar los disparos y las gráficas sismológicas es la misma ya descrita en sismología de refracción.

En el esquema 2, se puede apreciar el circuito eléctrico empleado en el barco que "recibe", para registrar gráficamente los arribos de los impulsos sonoros empleando el sismógrafo de fondo.

TABLA 2

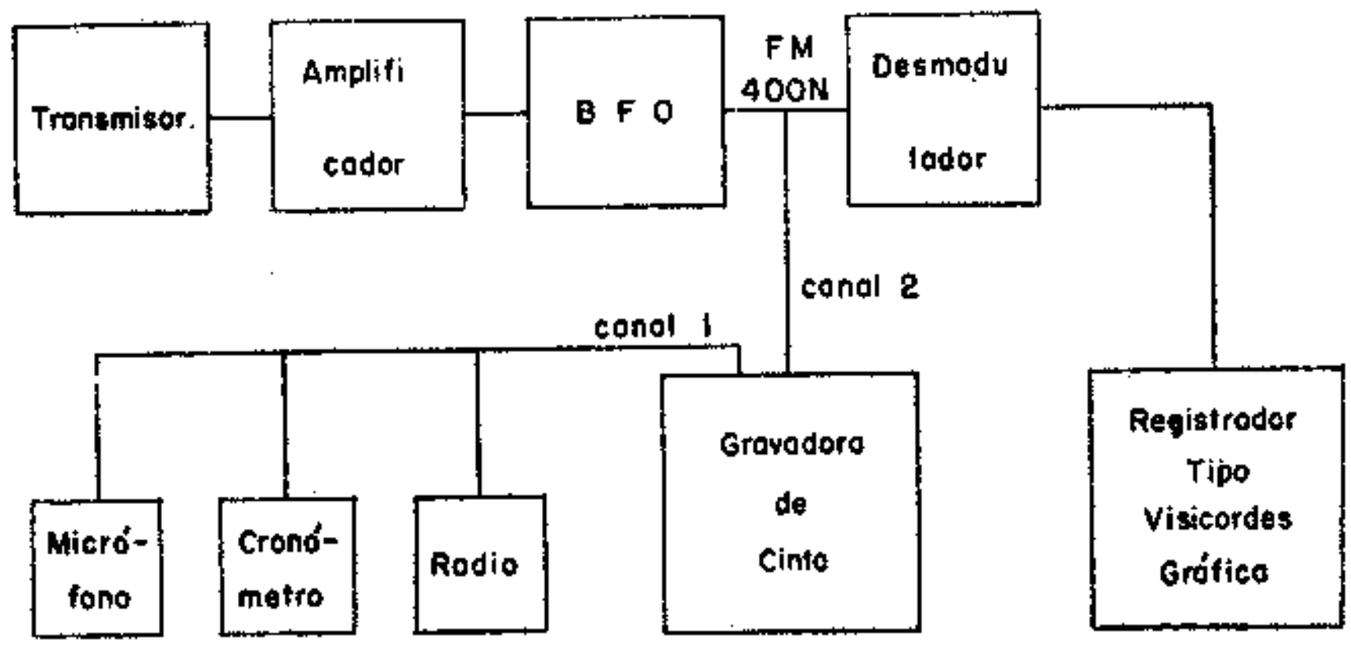
Enero 23, 1961

Perfil No. 12 R. Vema Disparando

No. del disparo	Peso de la carga en libras	Longitud de la mecha en pulgadas	Hora del incendio	Hora del disparo	Tiempo en quemarse 66 segundos	Profundidad en brazas	Millage a la hora de encendido y disparo		Observaciones
947	MK6	6′	0827:34	0829:14	100	1972	025786	025817	Estacionado a 100 millas
948	MK6	6′	0847:35	0847:12	97	1972	026138	026167	
949	MK6	6′	0917:32	0919:01	90	1972	026667	026694	
950									
951	110 *	36′	1008:01	1009:04	63	1970	027560	027579	
952	100 *	36′							
953	55 *	24	1033:00	1033:53	53	1962	028001	028018	
etc.	24 *	24′							
960	24 *	24	1202:00	1202:57	57	1966	029218	0229235	
965	9	12	1229:35	1230:10	35	1962	029683	029687	Media Velocidad Rumbo 170°
970	9	12	1244:30	1245:04	34	1962	029802	029804	
978	Posta	6′	1308:45	1309:04	19	1962	030009	030012	
etc.	,,								
996	,,	6′	1358:23	1358:44	21	1962	030436	030439	

MK6.—Bombas de profundidad empleadas en la Segunda Guerra Mundial. Carga 144 Libras de T.N.T.

El objeto de trabajar con el sismógrafo de fondo, es el de recibir directamente en el fondo del océano, los impulsos sonoros producidos por las explosiones (Fig. 4) y en esta forma, obtener refracciones sísmicas más claras que provengan del contacto "Mohorovicic", "Moho" o zona de perturbación sísmica.



B F O = acelerador de la frecuencia del marcador de tiempo

F M = frecuencia modulada

Esquema del circuito eléctrico empleado con el simógrafo de fondo

Esquema Nº 2.

Sismología de Reflexión.—Se trabajó con el "Profiler" que es un sismógrafo receptor diseñado por el Sr. John Ewing y asociados en los laboratorios electrónicos del Lamont Geological Observatory. Este aparato registra puntos de cada uno de los arribos de las ondas sonoras reflejadas formando una línea vertical por los puntos de arribo, separados de acuerdo con el tiempo que tardan los impulsos sonoros en llegar y reflejarse de los contactos de diferentes medios de propagación sísmica (Fig. 5).

El conjunto de estas líneas punteadas verticales forman un perfil del fondo y subfondo de los océanos, en el cual se pueden apreciar la profundidad, forma (echado) y espesor de los materiales de diferente velocidad de propagación de las ondas sonoras, siendo muchas veces posible correlacionar las discotinuidades que se observan en los perfiles (gráficas) con los contactos de los materiales de diferentes propiedades (sedimentos no consolidados, roca sedimentaria, intrusiones, etc.) (ver fig. 5A).

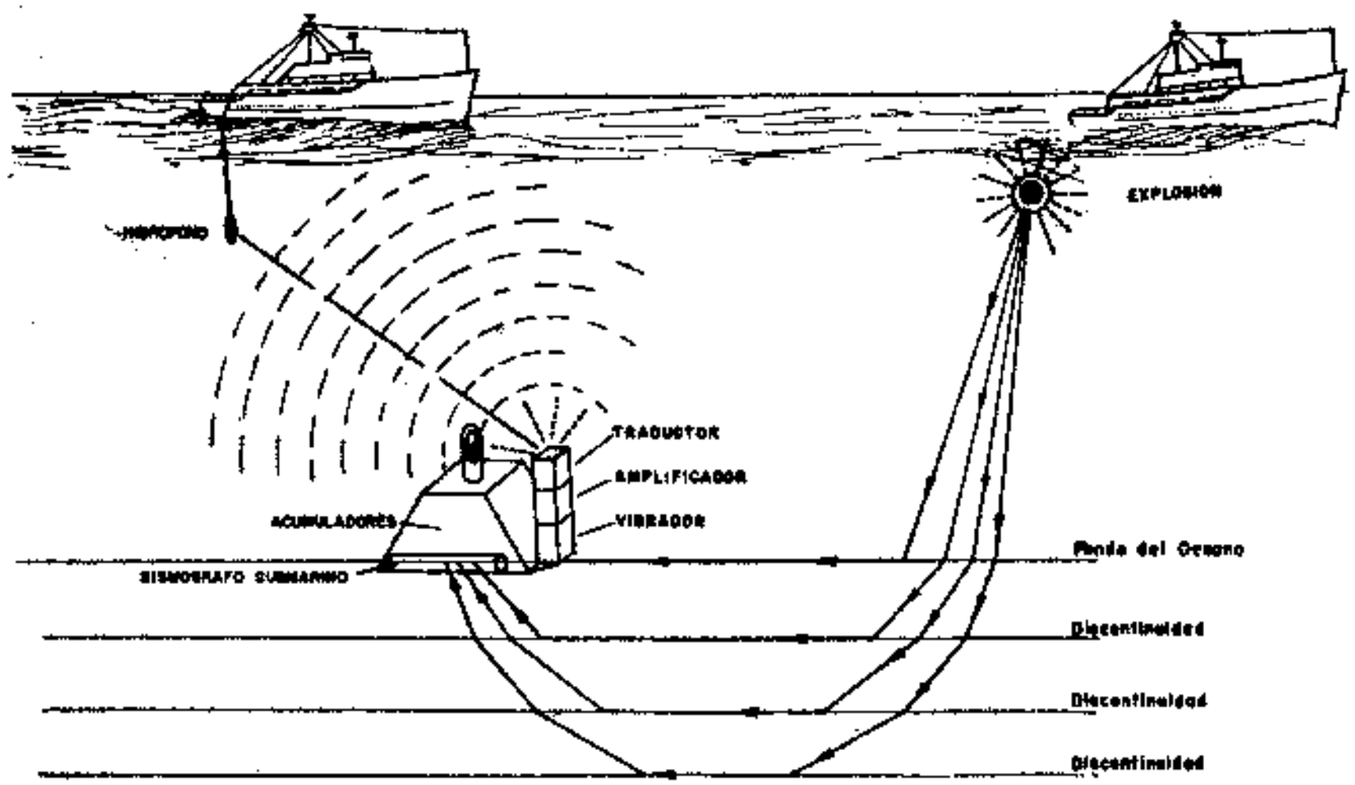


Fig. 4.—Ilustración del método empleado en sismología de Refracción usado el sismógrafo de fondo.

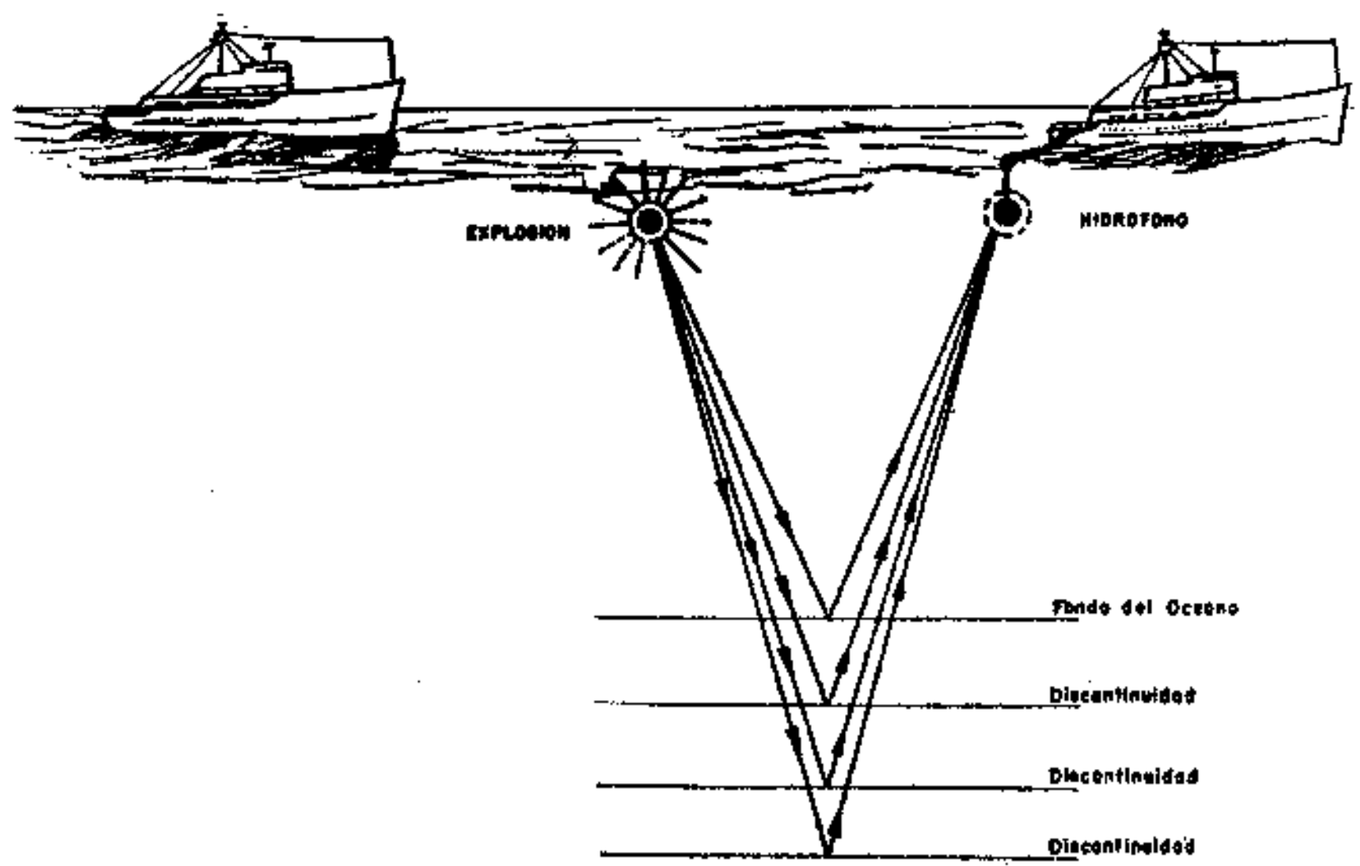


Fig. 5.—Ilustración del método empleado en Sismología de Reflexión.

La detallada descripción del aparato y la técnica usada, fue hecha por J. Ewing and G. Tirey (1961), pero creyéndose más conveniente para el lector, a cntinuación se resumen los principios de operación del "Profiler".

La fuente de los impulsos sonoros era una pequeña carga de T.N.T. Dichas cargas. fueron detonadas a intervalos continuos de dos minutos. La La longitud de la mecha era de 6 pulgadas, la cual se quemaba aproximadamente en 20 segundos. tiempo suficiente para que la carga se hundiera unos 10 o 15 metros antes de explotar.

El detector era un simple hidrófono suspendido bajo el barco mediante un cable eléctrico al cual se le adhieren varios flotadores arreglados de tal manera que permitan un lento hundimiento del hidrófono cuando el cable es largado.

Para largar el cable, se usa un alambre que va de un sujetador del cable eléctrico a un malacate de cubierta. El cable es largado con objeto de parar el hidrófono soltando el alambre al quitar el freno del malacate. Durante el período de largado, el hidrófono se hunde lentamente y permanece quieto durante 10 ó 15 segundos. Posteriormente el cable es recuperado con el malacate.

La señal recibida por el hidrófono es amplificada, filtrada, rectificada (con un rectificador de média onda) y transmitida a una aguja marcadora, la cual mediante chispas marca un papel adherido a un cilindro rotatorio, siendo la densidad de la marca proporcional a la amplitud de la señal. El cilindro rotatorio gira mediante un mecanismo de precisión a través de un embrague de fricción. La aguja marcadora avanza transversalmente a los registros del papel mediante un tornillo de avance de tal manera que la aguja avanza a lo largo del eje "X" a una longitud constante (3 milímetros).

El cilindro es detenido mediante un "relay" que al mismo tiempo permite que la aguja marcadora continúe moviéndose en la parte superior (eje X) del papel registro. Un circuito separado que actúa mediante el sonido directo de la explosión, hace trabajar un "relay" permitiendo girar al cilindro y marcar los eventos a lo largo del eje "Y" en una escala que representa tiempos después del instante de la explosión.

Debido a que el barco se mueve a lo largo del rumbo del perfil deseado y a una velocidad constante de 6 u 8 nudos (11 ó 15 km/h), la translación de la aguja marcadora a lo largo del eje X, corresponderá a una distancia a lo largo del perfil.

Alrededor de 3 segundos antes de la detonación de cada carga, los hidrófonos son largados, iniciándose el registro con el sonido de la explosión.

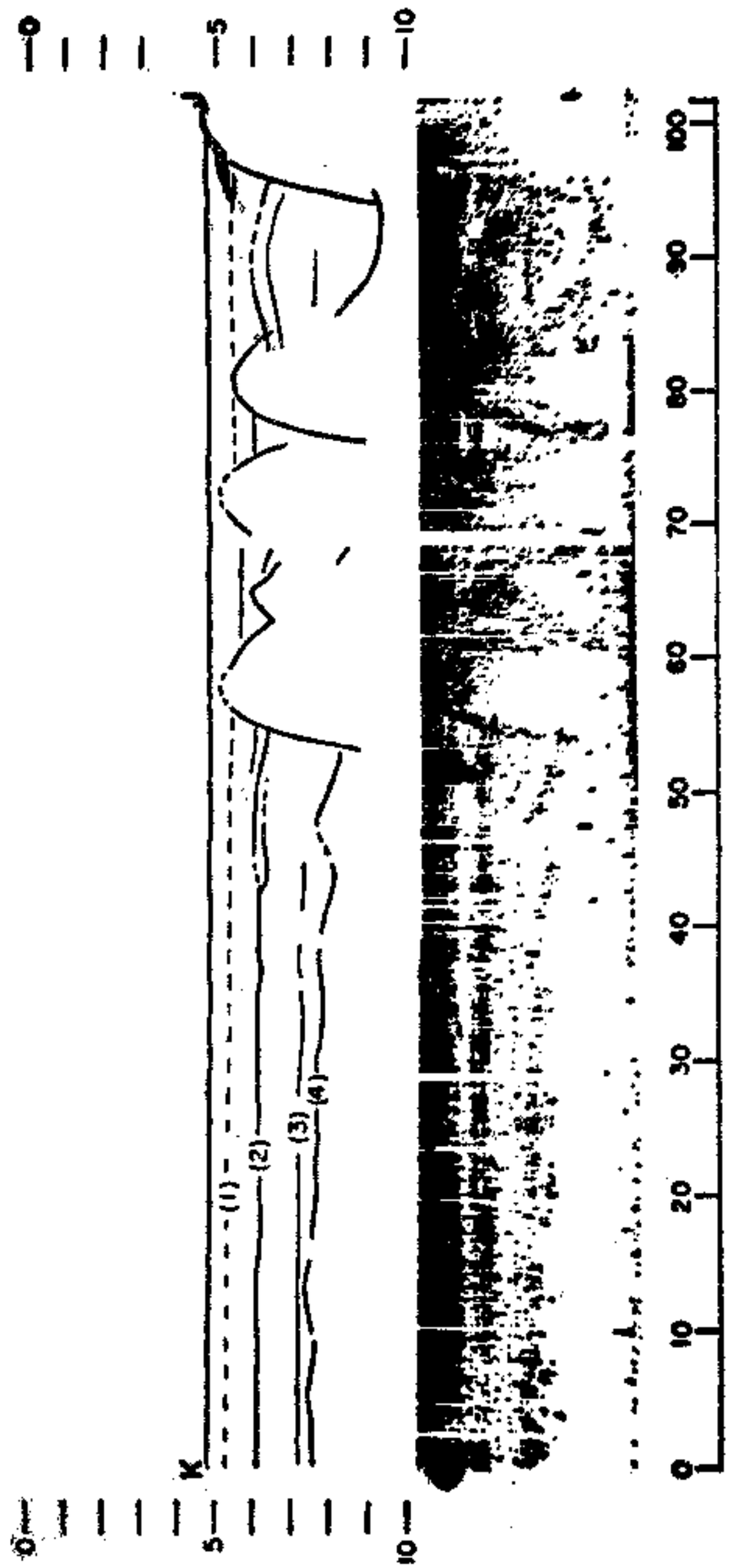
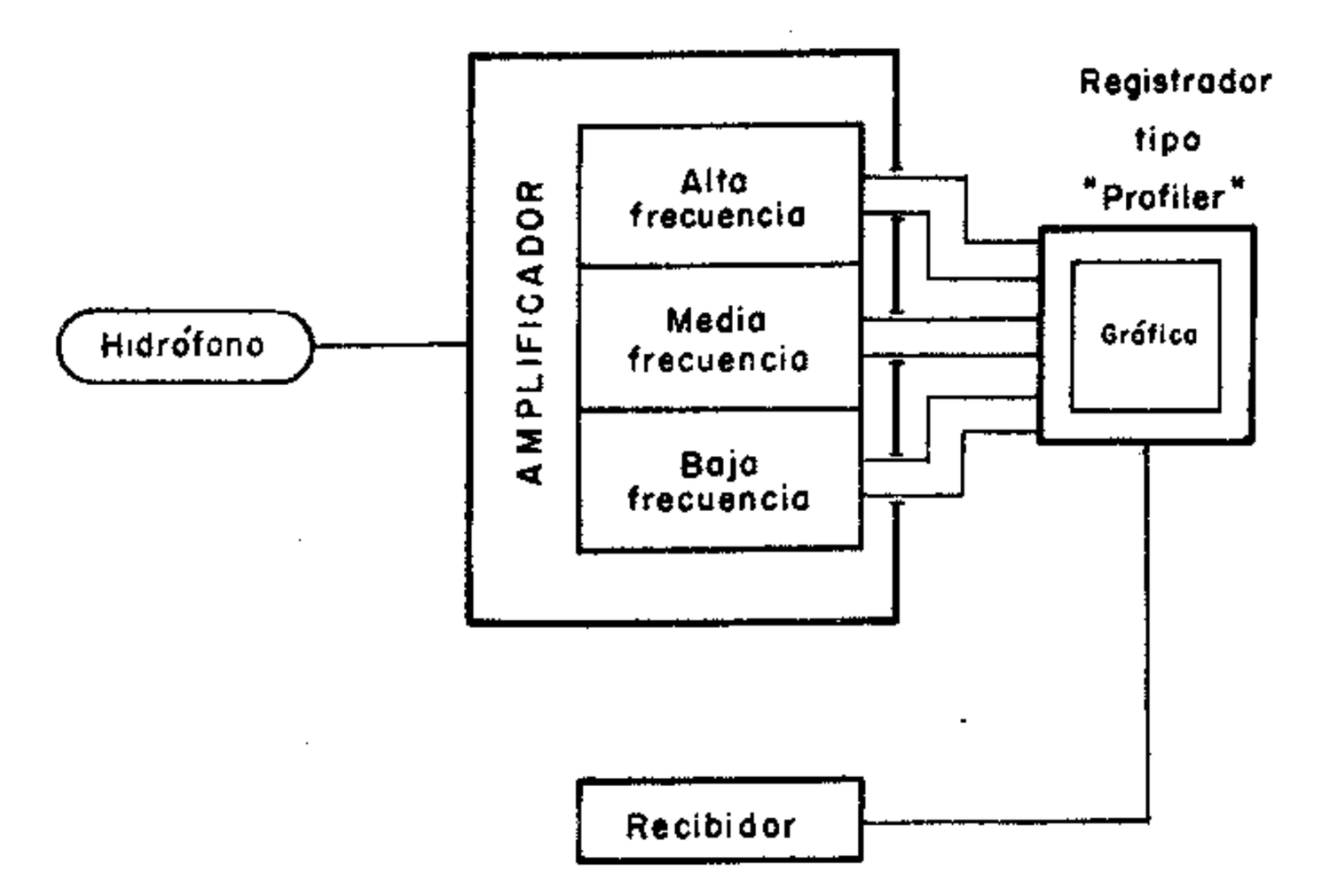


Fig. 5A.—Sección JK, ejemplo del tipo de gráfica que se obtiene con el "Profiler" (parte inferior) e interpretación de las discontinuidades sísmicas (parte superior).

después de que el registro se ha completado, el hidrófono es recuperado hasta su posición normal (unos 20 metros alejado de la popa del barco).

En sismología de reflexión, se "dispara" y se "recibe" desde el mismo barco, produciendo explosiones continuamente a intervalos de 2 ó 3 minutos conforme el barco avanza. Se emplean cargas explosivas pequeñas generalmente de 1/2 libra, o postas sismológicas. Se usa solamente un hidrófono, el cual se larga unos 2 segundos antes del instante de la detonación del explosivo, con objeto de que se encuentre lo más verticalmente posible respecto de las superficies de reflexión en el instante de la detonación. Ver el circuito eléctrico del Esquema 3.



Esquema Nº 3.—Circuito eléctrico empleado en sismología de Reflexión.

Como ya se explicó, debido a la forma en que trabaja el "Profiler", se apreciaron fácilmente conforme se fueron obteniendo las gráficas (Perfiles) la pendiente y la profundidad a que se encuentran las discontinuidades sísmicas, bajo el fondo del Golfo de México. La fig. 5A, es un ejemplo del tipo de registro que se obtiene con el "Profiler" en la forma ya descrita.

Dichas discontinuidades sísmicas, semejan una serie de estructuras formadas por capas con espesores aproximados de 4 km y plegadas casi

simétricamente de tal manera que llegan a aflorar formando montículos del orden de las 30 a 400 brazas de altura, únicos accidentes, que alternan la plana superficie abisal, (3,600 brazas) y se encuentran distribuídos en una franja como de 100 km de ancho, orientados NE-SW en la parte central del Golfo de México. (ver fig. 5B).

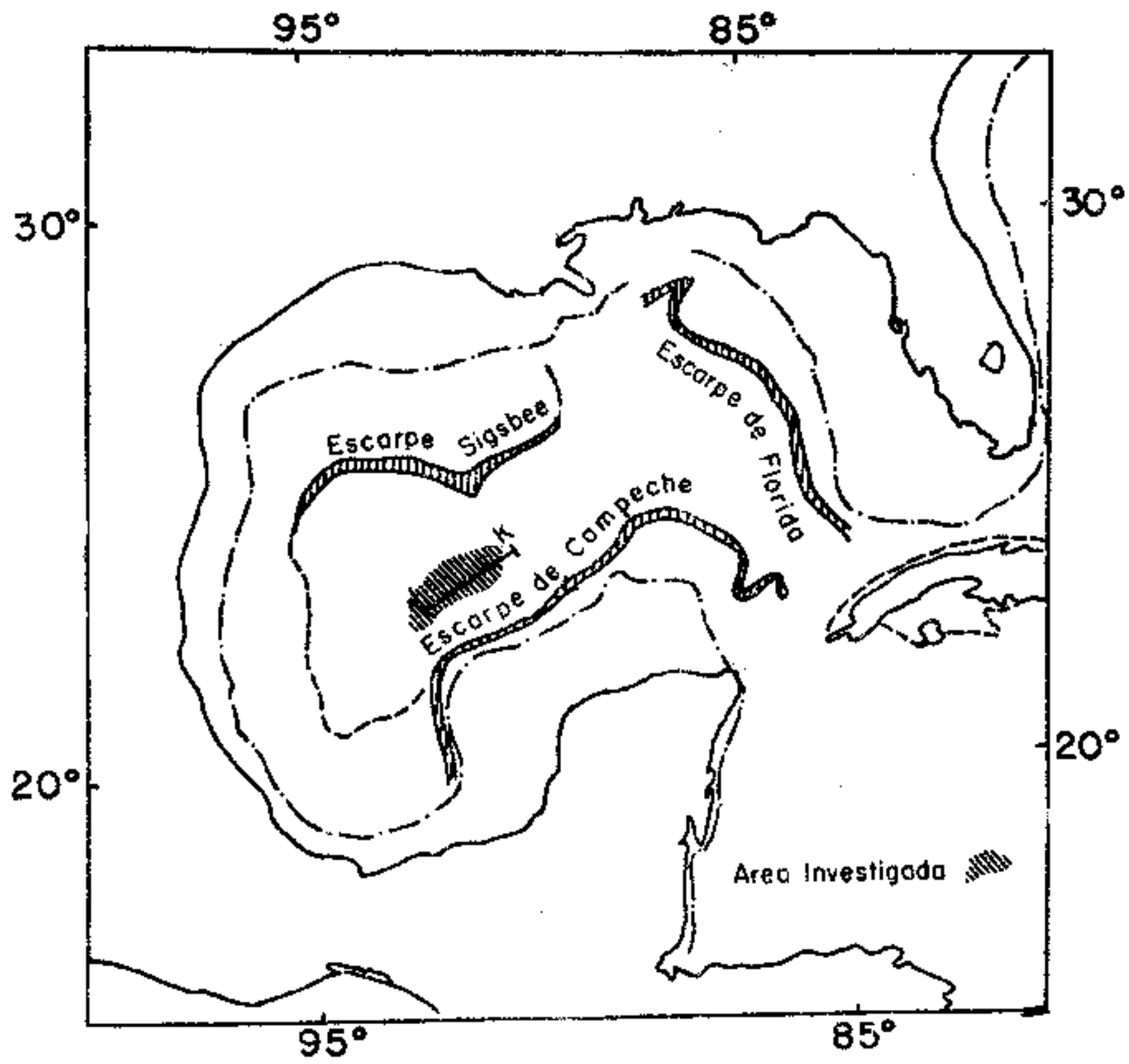


Fig. 5B.—Mapa de localización del area investigada en la base profunda del Golfo de México, ilustrándose la localización de la sección JK.

En la fig. 5B, se puede ver la distribución geográfica de la sección j k, así como el área en que se encontraron las más grandes alteraciones de los horizontes de refracción llamados por Ewing, Worzel and Ewing (1961) probables capas "Lovann" o estructuras de depósitos salinos.

La sección j k de la fig. 5A es un ejemplo claro que incluye los cuatro principales horizontes de refracción en el Golfo de México y las zonas de los domos salinos. En esta misma sección hay un grupo de ecos fuertes provenientes del fondo con retardos de 0.3 a 1 seg., los cuales muchas veces no pueden ser diferenciados debido al efecto de sobreposición causado por doble pulso. Cuando es posible ver tal diferencia, parece que representan estratos que son casi paralelos, probablemente son espesores de sedimentos no consolidados o extremadamente hidrolizados. En la sección es identificado como (1).

La más fuerte y consistente reflexión del sub-fondo (2) tiene un retraso de tiempo que aumenta regularmente de 0.5 seg. cerca de la escarpe de Campeche o alrededor de 2 seg. cerca del área investigada. El horizonte de reflexión (2), se encuentra mediante análisis de perfiles de reflexión convencional, efectuados en el cruce No. 3 del "VEMA" (Ewing, Ericson, and Heezen, 1958) habiéndose encontrado mediante las posteriores investigaciones que dicho horizonte se extiende sin cambios significativos de profundidad o de carácter sobre la mayor parte de la base profunda del Golfo de México.

La tercera reflexión (3) fue detectada en menos de la mitad de la última investigación "VEMA 17". Este horizonte de reflexión, muestra relieves topográficos locales de varios décimos de segundos. Siendo los tiempos de retraso para este horizonte entre 2 y 3 segundos.

El horizonte de reflexión marcado como (4) en la fig. 5A, es el horizonte observado más profundo y persiste sobre una gran parte del área investigada. Su tiempo de retraso es de cerca de 4 seg. Ahora bien, considerando las velocidades de propagación sísmica para las distintas secciones de estas J. Ewing, J. L. Worzel and M. Ewing han concluido que: Del fondo del Golfo de México al primer horizonte de reflexión del subfondo, los sedimentos son no consolidados y aun cuando la velocidad de la onda sísmica es de 1.9 km/seg. es muy difícil de medir y además tales sedimentos dan lugar a que existieran significativos gradientes de velocidad vertical y en ocasiones a que exista una velocidad mínima.

El horizonte de reflexión (1), en muchos casos es difícil de decidir si es debido a sobreposición de ecos de reflexión cercanos o considerarse que marca el límite superior de un estrato de sedimentos semiconsolidados en los cuales la velocidad es de alrededor de 2.1 km/seg.

El horizonte de reflexión (2) probablemente, es la cima de un estrato que se considerará como "sedimentos consolidados A" en los cuales la velo-

cidad es de alrededor de 2.9 km/seg. Como ya se mencionó, este es el más fuerte y persistente de los horizontes observados en el Golfo de México.

El horizonte (3) fue observado solo ocasionalmente y aparentemente es más bien de "interferencia menor" (se refleja pero no se refracta) encontrándose siempre en el estrato de 2.9 km/seg.

El horizonte (4) ha sido observado a través de casi todas las investigaciones llevadas a cabo, y, debido a su velocidad 3.7 Km/seg., lo consideran que representa el estrato de "sedimentos consolidados B", observándose las más altas variaciones de velocidad dentro de este estrato cerca del escarpe de Campeche.

A raíz de las anteriores conclusiones J. Ewing, J. C. Worzel and M. Ewing han interpretado que las más marcadas alteraciones estructurales dentro del área investigada, durante el cruce "VEMA 17", presentan marcada semejanza con domos salinos, siendo el principal estrato de la corteza (estrato oceánico que se extiende bajo dichas alteraciones) muy semejante a aquellos encontrados en típicas bases oceánicas. Y finalmente el estrato de 4.9 km/seg. dentro del área estudiada que yace sobre el estrato oceánico es mucho más grueso que el correspondiente estrato intermedio en la base de los océanos.

Todos esos factores junto con otros ya bien conocidos favorecen fuertemente la interpretación de que las alteraciones encontradas dentro del área investigada, llamadas por ellos nudos "Sigsbee", son domos salinos. Por otra parte el más profundo horizonte de refracción (4) creen que marca la cima de las evaporitas que dan origen a dichos domos, incluso sugieren la posibilidad de que tales evaporitas son una extensión de las que han dado origen a los domos de la costa del Golfo.

Las anteriores deducciones, obtenidas a partir de las interpretaciones sismológicas, implican serias consideraciones de evaporación en una base grande y profunda, así como del control de las aguas poco profundas que permitan la precipitación de las postuladas capas de evaporitas, por lo que las propuestas interpretaciones deberán ser consideradas tentativamente a menos que puedan aportarse evidencias más fuertes.

Se trató de obtener muestras de uno de los afloramientos, extrayendo un núcleo de la parte superior de uno de ellos, pero se obtuvo únicamente sedimentos no consolidados, es decir, no se tuvo éxito para colectar núcleo de sedimentos consolidados, lo cual fue debido a que aún cuando en el "VEMA" cuentan con uno de los pistores más grandes (fig. 7) que se usan actualmente en Oceanografía para extraer núcleos del fondo, (12 a 15 m es la máxima longitud del núcleo que se puede obtener) es insignificante tal dimensión en relación con los espesores tan grandes de sedimentos no con-

solidados que se encuentran sobre las posibles rocas sedimentarias a esas profundidas.

GRAVIMETRIA

En el "VEMA" se emplean dos gravímetros para medir las pequeñas variaciones del campo gravitacional, producidas en los distintos lugares de los oceanos que atraviesa el barco.

Principios de Operación.—El medidor de los pequeños cambios de la gravedad, consiste de una vigueta suspendida de un resorte que tiene una masa en uno de sus extremos y está empotrada en el otro, pero girando libremente.

La intensidad de la fuerza ejercida hacia arriba por el resorte, varía de acuerdo con la longitud de la vigueta, por lo que, cuando es movida hacia arriba o hacia abajo por los impulsos producidos sobre su masa por el campo gravitacional de la tierra, el resorte se alarga o se comprime una cantidad determinada, permitiendo la exacta compensación en la intensidad de las fuerzas y en tal forma, la posición de la vigueta indicará el alargamiento del resorte producido por la fuerza de la gravedad. Las anotaciones de dicha posición se registran mediante el destello de luz, producido por dos fotoceldas que se encuentran en el extremo empotrado de la vigueta. Mediante estas fotoceldas se obtiene un voltaje cero, cuando el brazo del marcador está en el centro y voltajes positivos o negativos, cuando se encuentra arriba o abajo del centro. Este voltaje es aumentado mediante amplificadores electrónicos y anotado en los registros (Enógrafos).

Para grandes cambios en las mediciones de la gravedad, la tensión del resorte puede ser ajustada por medio de un *reostato calibrador*, aumentando o disminuyendo la tensión del resorte; además, como las deformaciones de éste están sujetas a la aceleración del barco y a las condiciones del mar, la vigueta suspendida del resorte está amortiguada magnéticamente y la señal de la fotocelda es también amortiguada eléctricamente produciendo en tal forma, un retraso en el registro de los cambios de las fuerzas medidas.

Se sabe que lo que se mide en cualquier gravímetro, es el vector resultante de la fuerza de gravedad que se ejerce hacia arriba, esta última producida por la rotación de la tierra; por lo que, la cantidad de gravedad medida en los lugares cercanos al ecuador disminuirá debido a que conforme se desplaza de los polos al ecuador, el punto de observación se aleja del centro de la tierra ya que la fuerza centrífuga aumenta una rotación cada 24 hrs., siguiendo un círculo de radio cada vez mayor conforme se acerca

al ecuador. Además en este caso, la gravedad también disminuye con la profundidad, debido a que la distancia es menor entre el barco y el centro de la tierra.

Por otra parte, cuando el punto de observación se mueve sobre la superficie de la tierra en una dirección E o W, la fuerza centrífuga cambia, por ejemplo desplazándose hacia el E sucede lo contrario por lo que es de gran interés, conocer el curso del barco y su velocidad en trabajos gravimétricos en el mar, para poder hacer en esta forma la corrección por los movimientos superficiales del punto de observación conocida como corrección de Eötvös.

Para controlar las medidas de las pequeñas diferencias del campo gravitacional de la tierra en cada uno de los lugares por los que pasa el barco, es necesario controlar las gráficas obtenidas, anotando en ellas cada media hora la fecha y tiempo exacto de la observación; el número de millas recorridas hasta el instante de la anotación, el rumbo, la velocidad del barco, la profundidad, la posición del reostato calibrador y de paso ajustar si están desajustados los niveles estabilizadores del gravímetro.

MAGNETOMETRÍA

Para medir los pequeños cambios de la intensidad magnética de la tierra, que se observan en los distintos lugares por los que el barco pasa en su recorrido, los investigadores del Lamont Geological Observatory, emplean un sistema de aparatos electrónicos que denominan, "Nuclear Resonance Magnetometer" (Fig. 6).

Principios de Operación.—A una botella llena de agua, se le hace pasar una corriente polarizada controlada intermitentemente, por interruptores automáticos, de tal manera, que cuando la corriente actúa sobre los protones del agua, éstos giran a determinar velocidad y dirección inducida por la intensidad de la corriente; sucediendo que cuando la corriente deja de actuar, los protones disminuyen su velocidad, orientándose hacia la dirección del campo magnético de la tierra. Las partes que componen el sistema electrónico pueden apreciarse en el diagrama núm. 4.

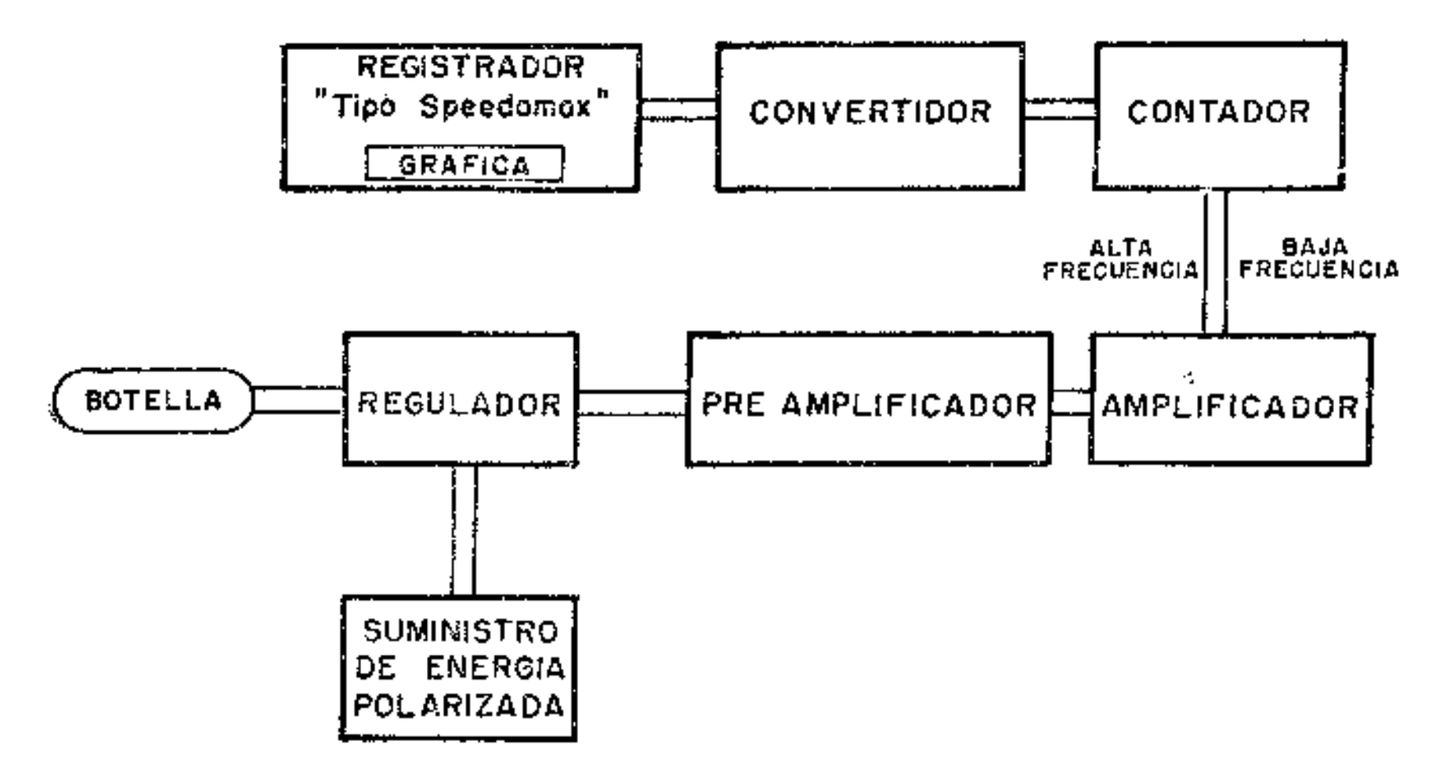
En este sistema, hay dos interruptores que desconectan la botella del amplificador, otro que actúa un regulador para conectar la corriente polarizada y la botella y otros dos entre el amplificador, la fuente de energía y el contador.

En realidad no importa como estén diseñados los interruptores, lo importante es que el que controla al amplificador pueda desconectarlo antes de que se encienda el que controla la corriente polarizada, y que al final del ciclo,

la corriente polarizada sea cortada antes de que el amplificador sea conectado a la botella.

Se emplea un contador eléctrico del tipo Beckman Berkely Model 7661RT capaz de registrar seis cifras, con objeto de contar el intervalo de tiempo transcurrido durante el cual se produce un determinado número de ciclos seleccionados, y así determinar la frecuencia.

Debido a que la frecuencia es igual a un número seleccionado de ciclos (período) entre el tiempo transcurrido, se pueden obtener fácilmente sus valores y con la ayuda de una gráfica puede determinarse directamente el valor del campo magnético. Por ejemplo si el número seleccionado de ciclos es 2500 y en el contador se lee 102637, la frecuencia será de 2436 ciclos y con este valor deducido de la gráfica, se obtiene el del campo magnético.



Esquema Nº 4.—Sistema eléctrico del Magnetómetro (NRM).

Para controlar los valores obtenidos conforme el barco avanza, debe hacerse a cada media hora tanto en las gráficas como en la libreta de operaciones del Magnetómetro, las siguientes anotaciones: Fecha y hora, rumbo y cambio de éste, número seleccionado de ciclos con que está trabajando el contador y las primeras tres cifras leídas. Finalmente, el operador del magnetómetro lee los registros, enviando las lecturas al Lamont Geological Observatory, desde el primer puerto que se toca, junto con un pequeño informe en donde se describe la forma en que se ha estado operando durante el recorrido.

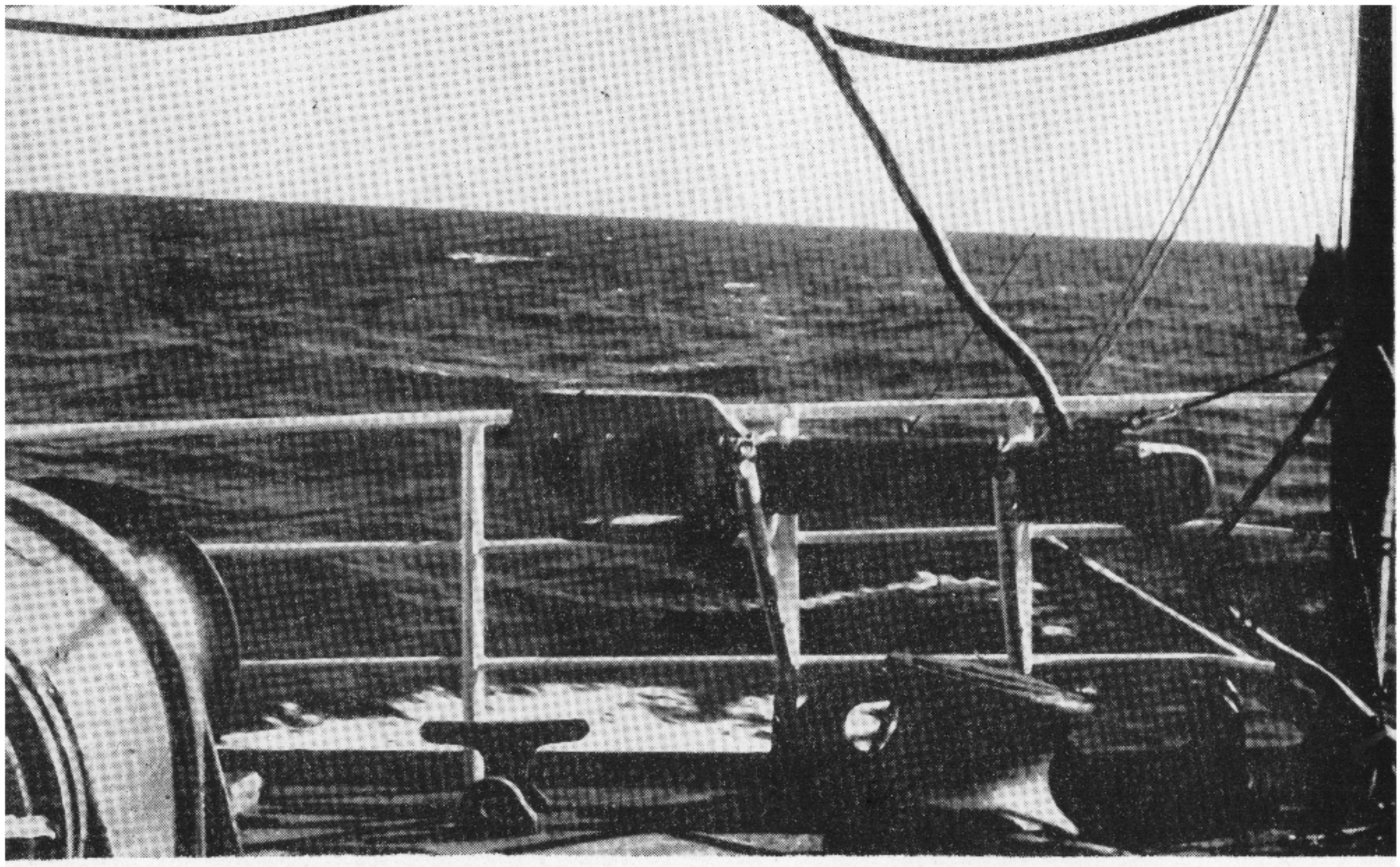


Fig. 6.—Parte del equipo del "Nuclear Resonance Magnetometer", en el cual va la botella llena de agua a la que se le hace pasar la corriente alterada. Esta botella es arrastrada conservándola siempre alejada unos 200 m. del barco.

RUTINA OCEANOGRAFICA

Muestreo de los Sedimentos del Fondo.—En el barco "VEMA" emplean un nucleador de caída libre modificado del de Kullemberg, el cual consiste de un tubo de 3 pulgadas de sección y 6 pies de largo, al que se le unen generalmente dos o tres tubos de 18 pies de largo, de acuerdo con el tamaño del núcleo que se desea obtener. En el interior del nucleador hay un pistón para ayudar a succionar los sedimentos al introducirse en ellos. En su exterior lo rodea una masa de plomo para darle peso y sobre esta masa, tiene instaladas las aletas que le permiten mantener su dirección; todo esto, está colgado de un mecanismo que se abre al subir una palanca accionada por el "mensajero" cuando llega al fondo, soltando el nucleador que cae libremente clavándose en los sedimentos.

Como "mensajero", usan un tubo de Phleger con el que se obtienen pequeños núcleos como de un pie de largo (ver Fig. 7).

Se emplea para la operación un malacate o "Winche" con motor de 100 HP y cable de acero de 1/2 pulgada de sección para bajar el nucleador; además, el malacate tiene un dispositivo para medir el cable y saber a qué profundidad se encuentra.

Para saber cuando llega el nucleador al fondo, se instala en la parte de las aletas, un aparato electrónico que emite un sonido que se puede captar en el barco, cuando el nucleador toca el fondo. Muchas veces la llegada al fondo también se aprecia con el ecosonda, el cual registra en la gráfica con mayor intensidad cuando el nucleador está en el fondo y al mismo tiempo, la profundidad que se determina con el ecosonda deberá corresponder con la que se mide con el dispositivo del malacate.

Recuperado el nucleador, se desarman las secciones y se obtienen de los tubos, núcleos fraccionados como de 10 pies de largo, se colocan en papel impermeable en que se empacan; pero antes, se hace una descripción megascópica del núcleo húmedo, tomando pequeñas muestras de los distintos materiales que se pueden apreciar y completando la descripción con la identificación de algunos minerales y fósiles. Los núcleos se empacan engrapando el papel, se colocan dentro de tubos de lámina galvanizada y se envían al Lamont Geological Observatory para su estudio desde el primer puerto que se toca.

Obtención de gráficas Batitérmicas (BT).—Estas gráficas se van tomando a cada 10 millas, conforme el barco avanza. El aparato con que se

toman, mide aproximadamente unos 2 pies de largo y tiene la forma de un pequeño torpedo.

Principios de Operación.—El mecanismo del aparato, hace mover vertical y horizontalmente una aguja marcadora sobre un pequeño vidrio ahumado (semejante a un portaobjetos) y produce una marca; el movimiento vertical de la aguja es producido por un medidor de presión y el horizontal al contraerse o dilatarse una serie de láminas metálicas sensitivas a la temperatura.

Para el control de las gráficas, se anotan tanto en los vidrios ahumados marcados por el aparato como en los cuadros, los siguientes datos: Número consecutivo del vidrio en que se obtiene la gráfica, fecha y hora, lectura del (Pit Log) marcador de las millas recorridas, profundidad a que llegó el aparato, número de la serie de aparato con que se tomó la gráfica y temperatura superficial del agua; esta última se lee con un termómetro que se mete en una cubeta llena de agua superficial.

La gráfica obtenida en el vidrio ahumado, se sobrepone a una pantalla transparente y cuadriculada en cuyo eje horizontal, tiene marcados los grados de la temperatura y en el vertical la profundidad. Sobrepuesta la gráfica, se hace coincidir la lectura de la temperatura superficial obtenida con el termómetro, con la marca producida en la gráfica por el aparato, mediante un tornillo ajustador; posteriormente, las gráficas sobrepuestas, se colocan en un proyector que las amplifica, leyendo fácilmente los valores de la profundidad que corresponde a cada grado de temperatura. Obtenidos estos valores, se pasan a otra gráfica que es una sección continua en cuyo eje vertical se anotan los grados a la profundidad que le correspondan y en el horizontal, la distancia a escala de las millas que hay entre cada lugar en que se toman las gráficas batitérmicas. Todos estos datos, gráficas, secciones, etc., que se obtienen a bordo del barco, se envían al Lamont Geological Observatory en donde se trabaja con ellos configurando las curvas de la "Termoclina" de cuyo estudio, se puede deducir la dinámica de los océanos.

Topografía del fondo.—Los diagramas para los estudios que actualmente están haciendo los investigadores del Lamont Geological Observatory, acerca de la topografía submarina de los océanos del mundo, se basan en secciones continuas del fondo obtenidas con las ecosondas del barco "VEMA".

El sondeo con ecosonda hecho por los barcos de investigación, se clasifica en tres clases, de acuerdo con su precisión y son: 1. Sondeo de precisión, con el que deben obtenerse únicamente errores de 1 braza dentro de 3000. 2. Sondeo poco preciso. Obtenido por barcos que usan ecosondas comerciales controladas por tiempo. 3. Sondeo pobre o malo, hecho con

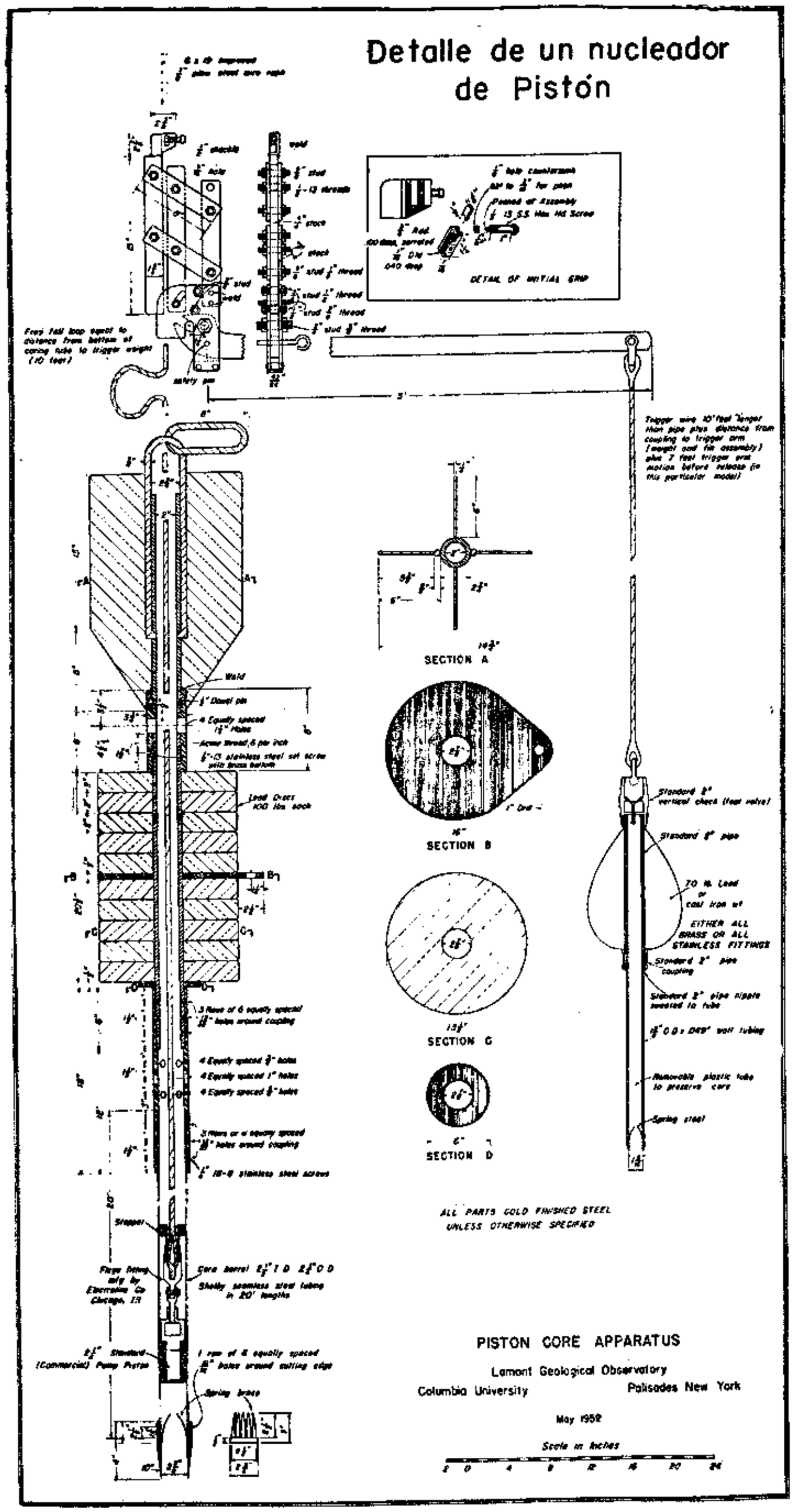

Detalle de un nucleador de Pistón
DETAIL OF INITIAL GRIP
SECTION A
SECTION B
SECTION C
SECTION D
ALL PARTS GOLD FINISHED STEEL UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
PISTON CORE APPARATUS
Lamont Geological Observatory
Columbia University
Palisades New York
May 1952
Scale in Inches

Fig. 7

ecosondas comerciales no controladas con reloj. Los sondeos efectuados en el cruce 17 del "VAMA", se califican dentro de la primera clase y en ellos se usan dos aparatos del tipo *Precisión Depth Recorder* (PDR), controlados por un contador de tiempo electrónico, además de su propio marcador automático de tiempo. Uno de los aparatos, mediante un amplificador de alto poder obtiene en algunos casos, gráficas de los arribos de ecos que provienen de las discontinuidades de los materiales del subfondo, sobre todo en aguas poco profundas y fue usado casi exclusivamente cuando el barco se encontraba sobre la Plataforma Continental. Para controlar las secciones continuas del fondo, el aparato produce una marca automática cada tres minutos y cada media hora hace otra que es controlada por el marcador de tiempo electrónico; escribiendo sobre la línea marcada: fecha, hora, rumbo y lectura del (Pit Log) medidor de las millas recorridas. Junto con las gráficas obtenidas de las ecosondas se envía al Lamont Geological Observatory la lista de las posiciones del barco y las cartas marinas de navegación en donde se ha trazado el recorrido del barco, en dicho Observatorio, se encargan de preparar los diagramas de las distintas provincias fisiográficas marinas y de hacer estudios, tales como correlacionar la topografía submarina, con las estructuras observadas en secciones específicas (gráficas continuas de ecosonda) de donde muchas veces es posible deducir la geología submarina de grandes áreas de los océanos en donde no se han hecho trabajos de geofísica.

Fotografías del fondo.—Para tomar fotografías del fondo, los investigadores del Lamont Geological Observatory, usan una cámara submarina tipo Robot de 35 mm cuyo diseño permite tomar una serie de fotografías (64) del fondo, sin subirla a bordo del barco; tiene acumuladores y un vibrador electrónico que produce un sonido cuando toca el fondo, haciendo también que dos minutos después se encienda el flash y se dispare automáticamente para tomar la fotografía; todo esto, montado en una caja de bronce a prueba de agua.

La forma en que se trabaja con la cámara es la siguiente: conocida la profundidad del lugar en que se ha parado el barco, se engancha al cable del malacate para bajarla al fondo; el cable se mide al pasar a través de un dispositivo en donde el operador del malacate determina fácilmente la profundidad; cerca ya del fondo, se baja la cámara con cuidado para no golpearla y cuando llega, el operador escucha mediante unos audífonos el sonido que es recibido a través de la ecosonda. Al escuchar el sonido, se sube la cámara hasta unas 2 ó 3 brazas del fondo y se esperan 2 minutos para que se produzca el "disparo" de la cámara; transcurrido ese tiempo, se vuelve

a bajar hasta tocar el fondo, repitiendo la operación anterior, para tomar tantas fotografías como lo permita el tiempo en que el barco está parado en el lugar. Generalmente las fotografías, se toman al mismo tiempo en que se sacan núcleos de sedimentos del fondo. Las fotografías, son reveladas a bordo del barco, pues cuenta con cuarto oscuro y los materiales necesarios.

Toma de muestras de plancton.—Se toman en cada una de las estaciones, con redes muy finas en forma de embudo, a las que se les pone un frasco en el extremo para obtener la muestra. Mediante un mensajero la red se abre a la profundidad que se desea, siendo el área de entrada de una yarda cuadrada. Tiene además, un dispositivo para medir la corriente que entra, para deducir el volumen de agua que pasa a través de la red. Se preservan las muestras con un poco de formalina, se empacan, se etiquetan y se envían al Lamont Geological Observatory para su estudio.

Análisis químicos.—En cada una de las 21 estaciones de agua que se hicieron durante el viaje, se trabajó de la siguiente manera:

Se usan botellas metálicas tipo Nansen para obtener las muestras de agua a diferentes profundidades, sujetándolas a un cable a distancias de 200 ó 400 m. conforme lo van bajando (Fig. 8).

Antes de fijar las botellas Nansen al cable, se les ponen 2 termómetros; uno con protección para la presión y otro sin ella. Colocadas las botellas a la profundidad deseada, se lanza un "mensajero" que viaja sobre el cable, golpea la parte superior de la botella más cercana a la superficie, y hace que el sujetador superior de la botella se suelte y gire sobre el sujetador inferior 180° cerrándose automáticamente, al mismo tiempo, se suelta otro "mensajero" que va a golpear a la botella siguiente y así sucesivamente se llenan las demás. Se mide el ángulo que forma el cable con respecto a la vertical para corregir los valores de la profundidad a que son tomadas las muestras y éstas se recuperan, obteniéndose generalmente un litro y cuarto de agua en cada una.

Los termómetros que se ponen a las botellas Nansen están diseñados de tal manera que cuando éstas se voltean, la columna de mercurio se corta, permitiendo al recuperar las botellas hacer lecturas de la temperatura del agua a la profundidad en que se tomó la muestra de agua.

Con el agua obtenida en cada una de las botellas Nansen, se llenan cuatro frascos, uno de los cuales se tapa y forra con papel obscuro, (Fig. 9) con objeto de enviarlos al Lamont Geological Observatory en donde se hacen los análisis de los fosfatos disueltos en el agua del mar. Las restantes se analizan a bordo del barco, determinando; salinidad, porciento de óxí-

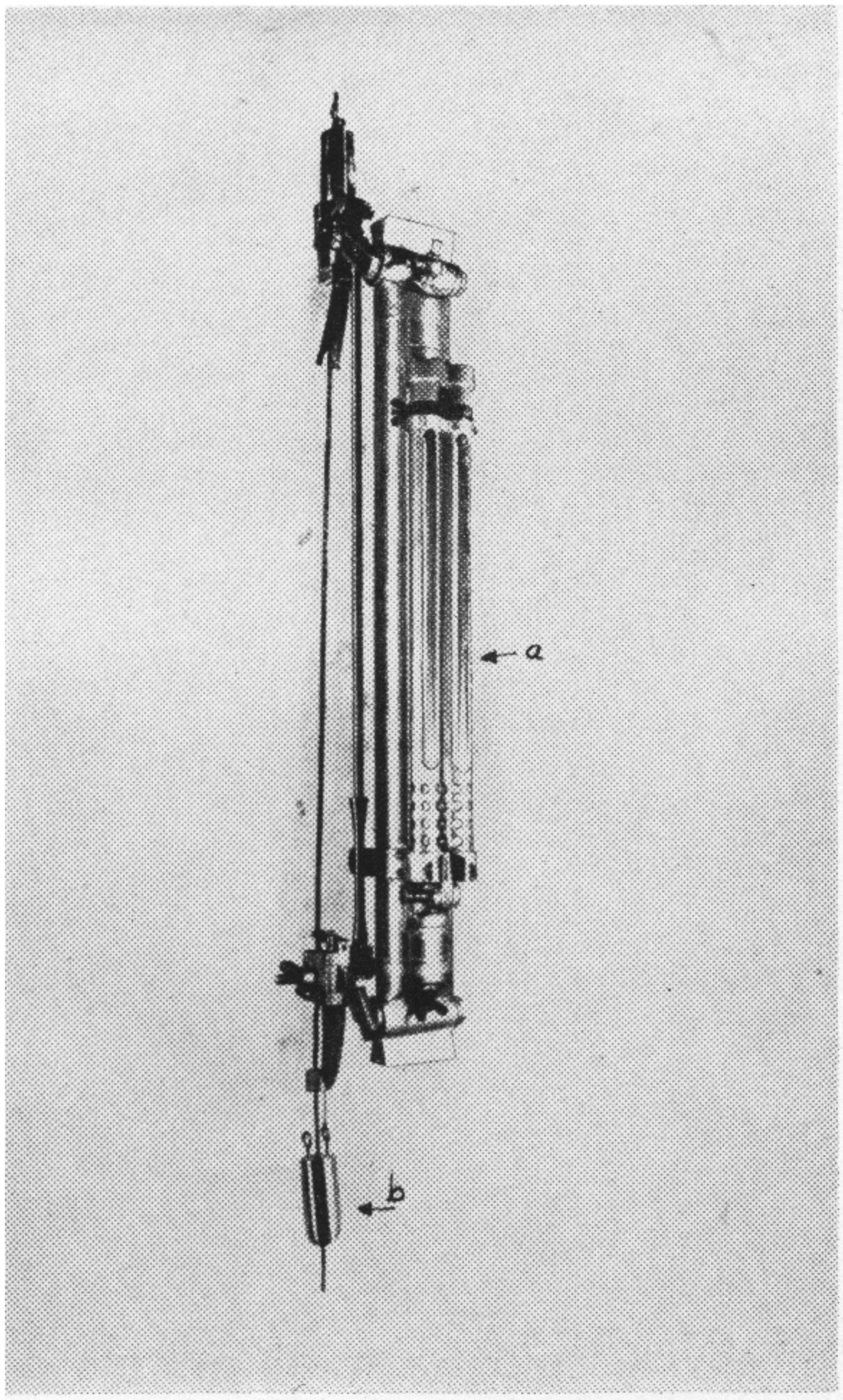


Fig. 8.—Botella metálica tipo "NANSEN", sujetada al cable. Se pueden apreciar: los termómetros (a) y el mensajero (b).

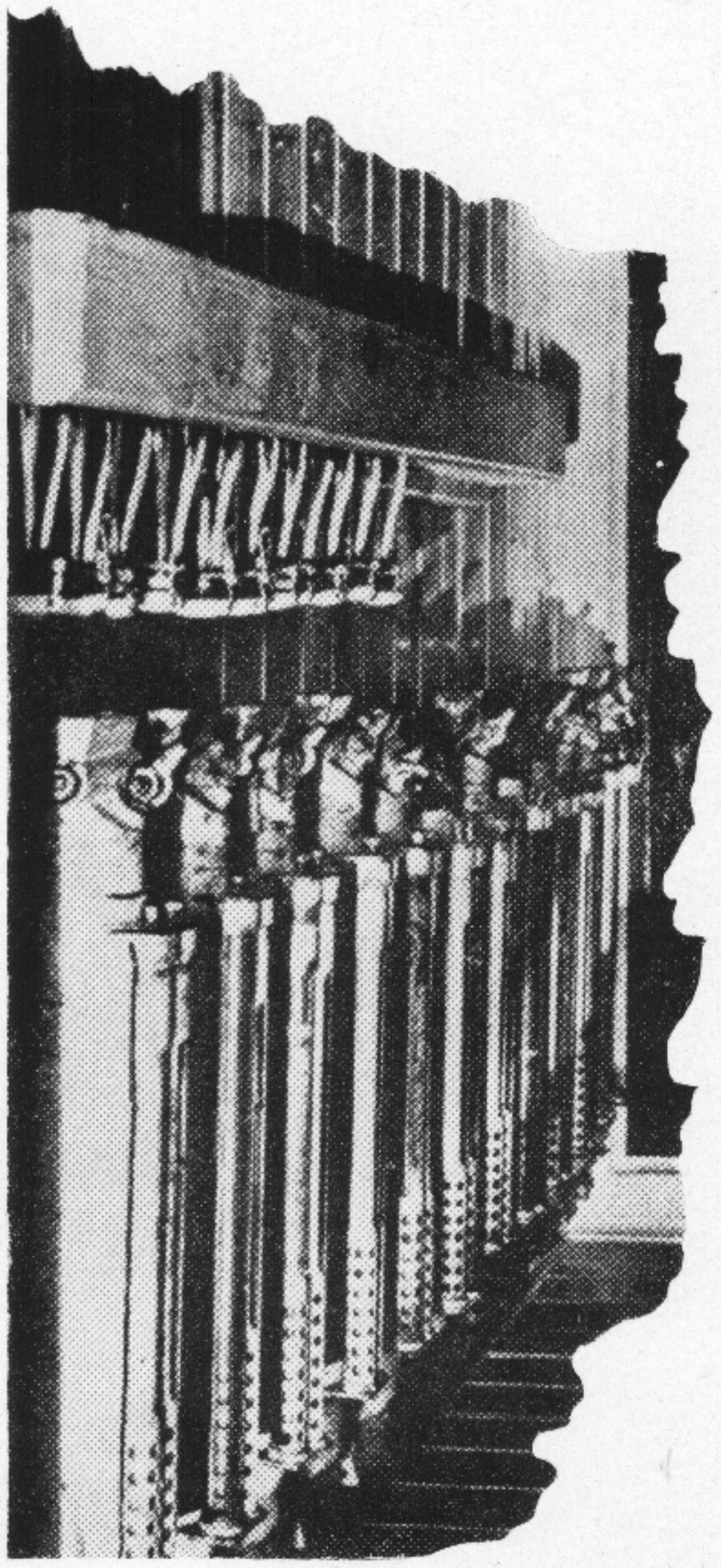


Fig. 9.—Vista interior del laboratorio para análisis químico de agua, apreciándose el lugar en que son colocadas las botellas "Nansen" para vaciar su contenido en frascos más pequeños.

geno disuelto, silicatos y nitratos, empleando en estas dos últimas determinaciones un espectómetro.

Se usa también una botella de grandes dimensiones, con la cual se pueden obtener volúmenes aproximados de 100 litros a cualquier profundidad; esta botella, se sujeta al cable del nucleador del fondo, con objeto de bajarla a la profundidad que se desea tomar la muestra de agua.

De este volumen, mediante un mecanismo, se hacen concentraciones de carbono 14, empacando el agua concentrada en frascos como de 1/2 litro, que se envían para su análisis al Lamont Geological Observatory.