

### ❖ Mareógrafos digitales a flotador

#### INICIO

Si bien todavía se comercializan los mareógrafos analógicos, están siendo gradualmente reemplazados por otros digitales quienes conservaban el tubo y el flotador pero la información se graba a intervalos iguales. En un principio se utilizaban cintas de papel perforadas, las que fueron reemplazadas por cintas magnéticas, para finalmente grabar la información en memorias sólidas que pueden ser leídas utilizando una computadora personal.

La Figura 11a muestra la versión 2002 del mareógrafo analógico A71. Se diferencia del modelo explicado anteriormente en que el avance de la faja de papel es controlado por un reloj de cuarzo, que hace mucho más uniforme la velocidad del papel.

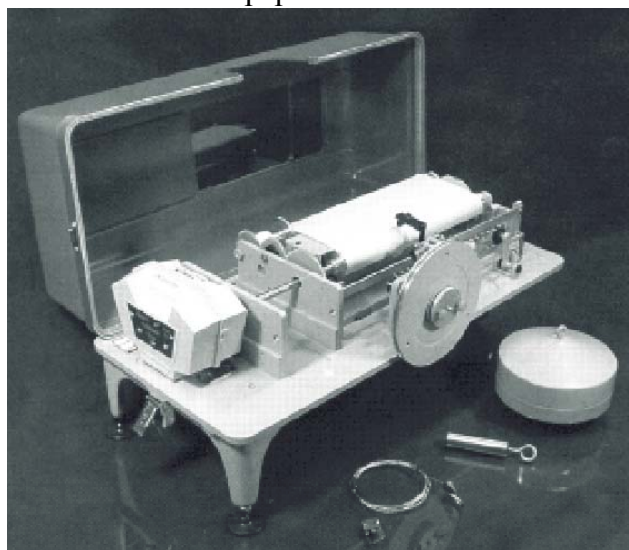


Figura 11a

Este mareógrafo puede ser utilizado con un dispositivo que digitaliza la información y otro que la graba en una memoria sólida (data loggers).

Uno de los primeros mareógrafos digitales a flotador utilizados fue el Telemark (Figura 11b).

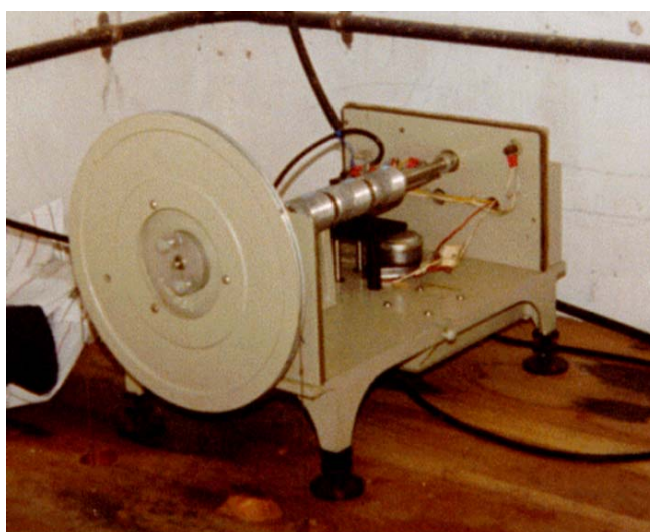


Figura 11b

Las alturas se codifican mediante cuatro grupos de pulsos (uno por cada cilindro de la Figura 11b), conformando cada grupo un dígito, quedando la altura expresada en centímetros.

La Figura 11c muestra un mareógrafo Leupold Stevens, conectado a un Telemark y este último a un teléfono que permite una interrogación remota (registradores telemétricos).



Figura 11c

Este sistema se utiliza en las estaciones mareográficas Mar del Plata y San Clemente del Tuyú. Para comunicarse con Mar del Plata deberá discarse el número 451-4238 (anteponer 0223 si la comunicación es de larga distancia). Para hacerlo con San Clemente del Tuyú el número es 42-1790 (anteponer 02252 si la comunicación es de larga distancia). En ambos casos las alturas se codifican mediante cuatro grupos de pulsos, conformando cada grupo un dígito. El cero está representado por un pulso largo y los demás dígitos están dados por la cantidad de pulsos cortos que componen cada grupo. El primer grupo de pulsos indica el signo de la altura, pudiendo tomar solamente dos valores: cero que significa que la altura es positiva o nueve que indica que es negativa. En esta última situación el valor de la altura se obtiene restando de 10.000 el número decodificado (incluyendo el nueve del primer grupo). Las alturas así obtenidas están en centímetros y referidas, en el caso de Mar del Plata, al plano de reducción que pasa a 0,91 m por debajo del nivel medio, carta argentina H-251. Para San Clemente del Tuyú las alturas están referidas al plano de reducción que pasa a 0,91m por debajo del nivel medio, carta argentina H-159.

Ejemplos:

a) Altura positiva

Grupo de pulsos	Pulsos escuchados	Número que significa
1ro.	1 pulso largo	0
2do.	2 pulsos cortos	2
3ro.	1 pulso largo	0
4to.	7 pulsos cortos	7

La altura de marea es de 207 cm sobre el plano de reducción de la carta argentina correspondiente.

b) Altura negativa

Grupo de pulsos	Pulsos escuchados	Número que significa
1ro.	9 pulsos cortos	9
2do.	9 pulsos cortos	9
3ro.	6 pulsos cortos	6
4to.	1 pulso largo	0

$10.000 - 9960 = 40$ . La altura de marea es de - 40 cm, o sea 40 cm por debajo del plano de reducción de la carta argentina correspondiente.

La Figura 11d muestra un moderno mareógrafo digital a flotador marca Stevens, modelo PG\_III y la Figura 11e muestra el datalogger Stevens AxSys MPU.

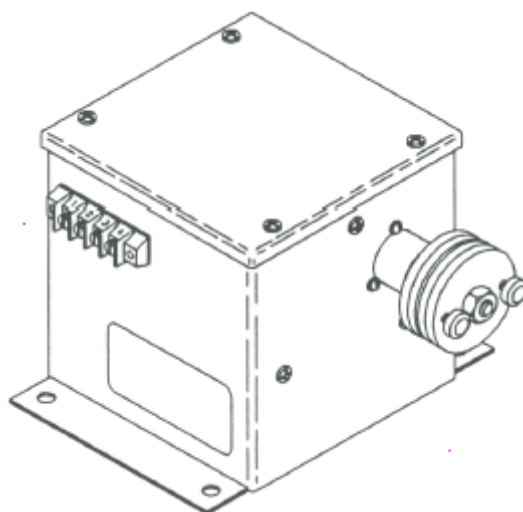


Figura 11d

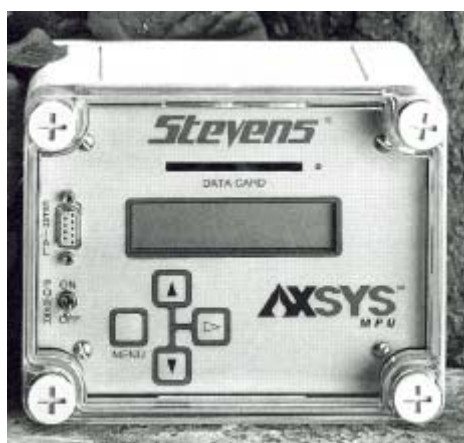


Figura 11e

A continuación se presenta un archivo bajado de un mareógrafo Stevens digital a flotador:

```
"ID DEPTH DATE 01/01/00 TIME 00:00:00 INTERVAL 00:15:00"  
0005.492 0005.501 0005.479 0005.429 0005.367 0005.276  
0005.141 0004.980 0004.787 0004.575 0004.350 0004.097  
0003.847 0003.602 0003.366 0003.134 0002.900 0002.666
```

0002.467	0002.271	0002.103	0001.953	0001.836	0001.742
0001.670	0001.652	0001.646	0001.646	0001.664	0001.723
0001.794	0001.899	0002.028	0002.177	0002.351	0002.536
0002.743	0002.946	0003.169	0003.399	0003.645	0003.894
0004.145	0004.390	0004.631	0004.858	0005.067	0005.245
0005.394	0005.506	0005.592	0005.644	0005.657	0005.640
0005.589	0005.507	0005.396	0005.237	0005.040	0004.828
0004.599	0004.358	0004.107	0003.861	0003.615	0003.381
0003.150	0002.929	0002.725	0002.528	0002.356	0002.201
0002.060	0001.955	0001.880	0001.847	0001.835	0001.846
0001.872	0001.911	0001.970	0002.039	0002.126	0002.249
0002.388	0002.544	0002.713	0002.900	0003.101	0003.307
0003.532	0003.755	0003.972	0004.189	0004.399	0004.598

"ID DEPTH DATE 01/02/00 TIME 00:00:00 INTERVAL 00:15:00"

0004.779	0004.946	0005.084	0005.202	0005.285	0005.331
0005.348	0005.320	0005.268	0005.189	0005.079	0004.947
0004.788	0004.597	0004.392	0004.171	0003.930	0003.689
0003.427	0003.182	0002.951	0002.732	0002.528	0002.339
0002.166	0002.021	0001.899	0001.806	0001.740	0001.708
0001.702	0001.711	0001.750	0001.804	0001.883	0001.985
0002.109	0002.253	0002.424	0002.599	0002.797	0003.013
0003.245	0003.488	0003.733	0003.971	0004.209	0004.436
0004.646	0004.847	0005.028	0005.193	0005.330	0005.437
0005.505	0005.536	0005.524	0005.491	0005.429	0005.332
0005.210	0005.057	0004.874	0004.672	0004.462	0004.232
0003.988	0003.744	0003.497	0003.255	0003.015	0002.796
0002.592	0002.403	0002.224	0002.065	0001.928	0001.812
0001.732	0001.669	0001.635	0001.636	0001.629	0001.643
0001.683	0001.748	0001.829	0001.947	0002.077	0002.223
0002.383	0002.562	0002.755	0002.966	0003.204	0003.445

#### ❖ Otros sistemas de medición de marea.

Existen en la actualidad otros sistemas para medir marea que se basan en distintos principios físicos. Están muy difundidos los que miden presión en un punto fijo bajo la superficie del agua. La presión ejercida en dicho punto estará dada por la suma del peso de la columna de agua existente más la presión atmosférica.

Los primeros sensores de presión en aparecer en el mercado fueron instalados en equipos fondeables autocontenidos. A continuación se describe uno de ellos.

#### Registrador digital fondeable Aanderaa (D'Onofrio et al., 1982)

Se trata de un registrador de marea autocontenido fondeable, de reducido tamaño y bajo peso, de alta precisión, capaz de operar dentro de un amplio rango de profundidades y temperaturas.

Las variaciones del nivel de agua, temperatura y tiempo son registradas en una memoria de estado sólido (Figura 12).

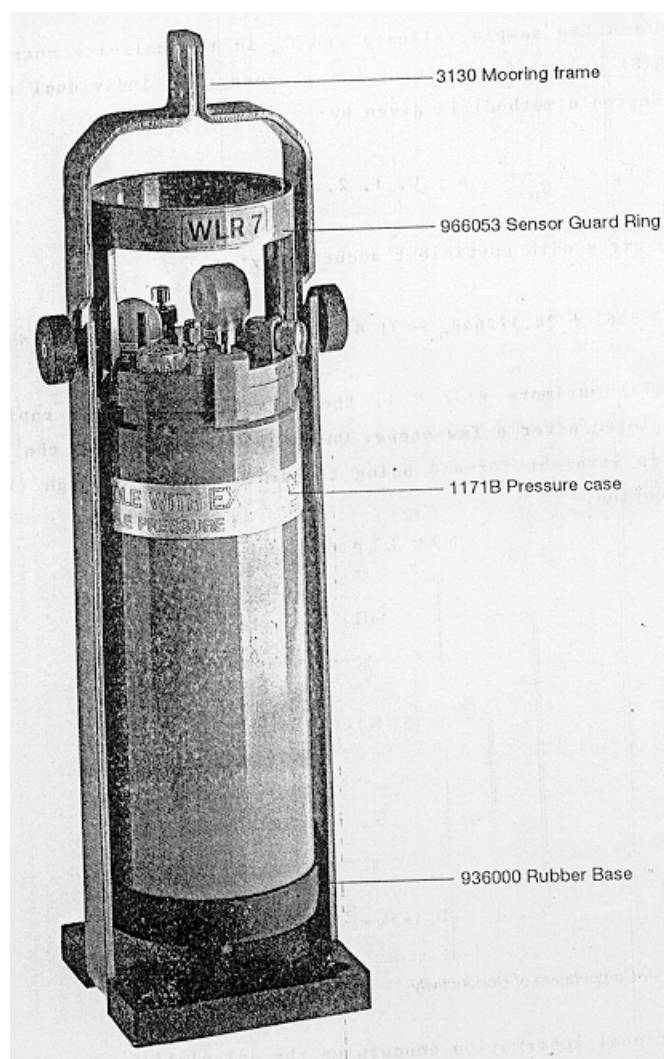


Figura 12

Las profundidades máximas de operación varían según los modelos dentro del rango 200/6000 m, y las temperaturas deben encontrarse dentro del rango  $-3/35^{\circ}\text{C}$ .

Este equipo opera con una batería de 9 volts que suministra una autonomía de hasta 1 año de acuerdo al intervalo de muestreo con que se opere.

La precisión del registro es de 0,01% del rango de profundidades y la resolución del registro es de 0,001% del rango de profundidades. El tiempo se mide con un reloj de cristal de cuarzo que tiene una precisión de  $\pm 2$ seg por día para una temperatura de 0 a  $20^{\circ}\text{C}$ . El tiempo de integración de la señal: es de 40 seg (para filtrar la ola).

Permite seleccionar distintos intervalos de muestreo: 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60 o 120 minutos. El peso es de aproximadamente 15 kg fuera del agua y de 11 kg sumergido. Sus dimensiones aproximadas son: 45 cm de alto y 12,8 cm de diámetro.

Para prevenir al instrumento de acciones corrosivas, éste cuenta con un electrodo de sacrificio de zinc ubicado en su parte superior. En este mismo sector se encuentran ubicados la

entrada de agua del sensor de presión y el transductor acústico. Este último es un transmisor que genera energía acústica que es suministrada por un oscilador ubicado dentro del panel electrónico del instrumento y sirve para enviar la información del equipo fondeado hasta la superficie toda vez que se cuente con el receptor correspondiente y dentro de un radio de 800 metros.

El intervalo de muestreo de la medición se selecciona con el selector rotativo previo a la puesta en marcha del instrumento.

El instrumento opera con una única batería de 9 volts montada en la parte inferior del registrador, que debe ser recambiada en cada nueva medición (Figuras 13 y 14).

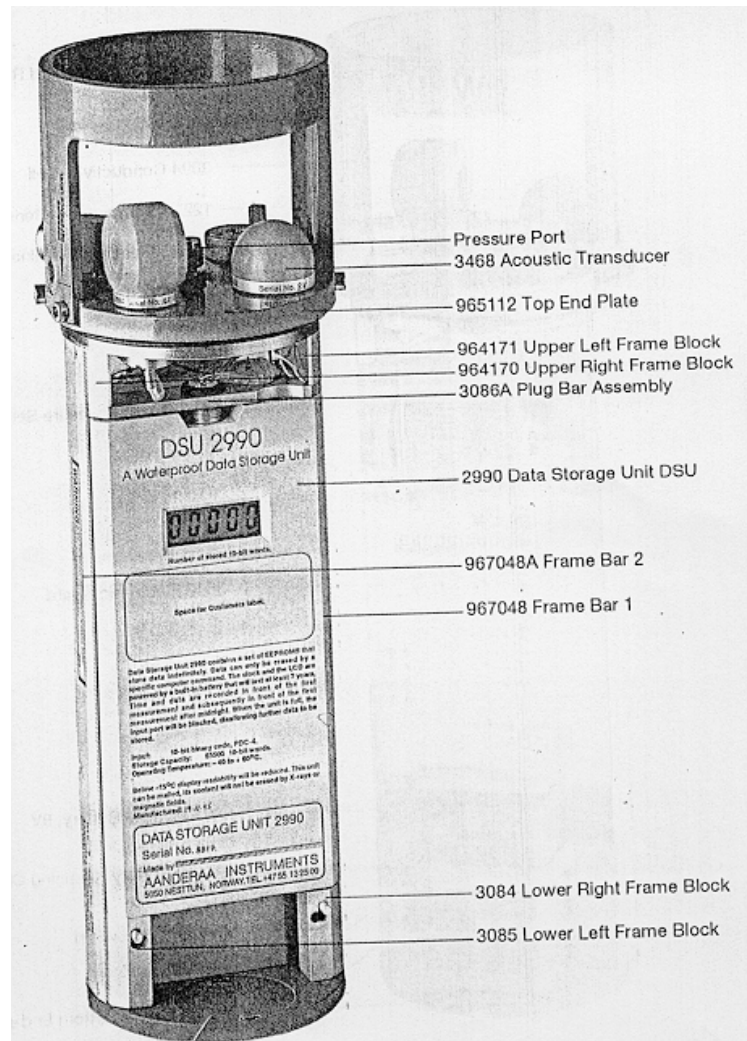


Figura 13

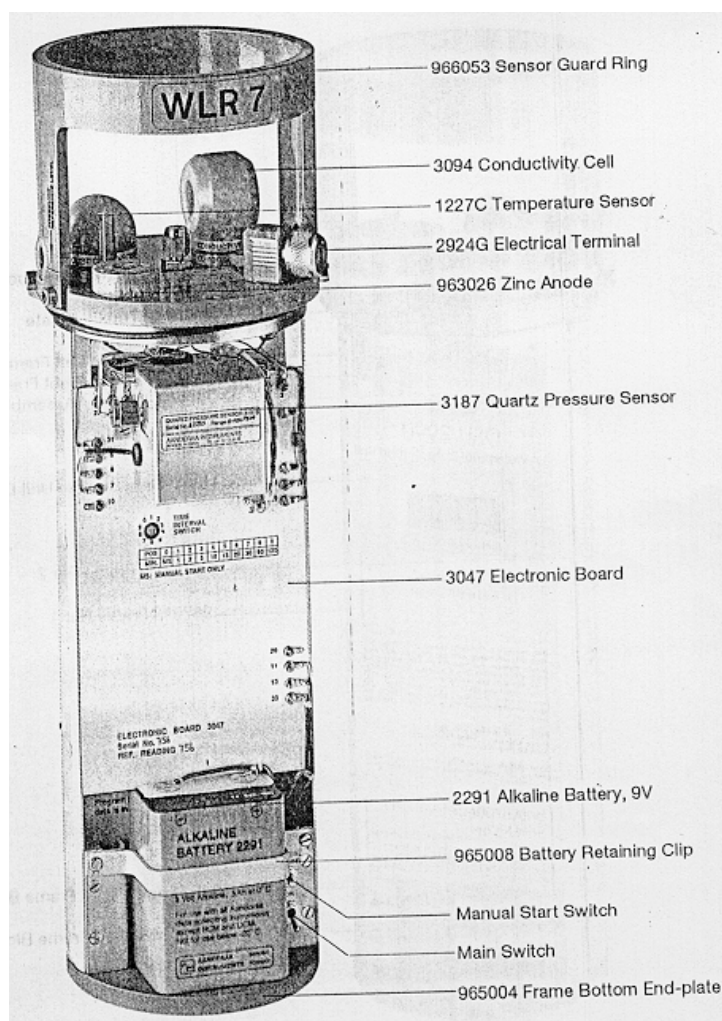


Figura 14

Para aumentar la capacidad energética puede utilizarse en lugar de la batería de 9 volts varias pilas alcalinas tamaño "C". Esto es aconsejable si se eligen intervalos de muestreo pequeños para períodos de tiempo prolongados.

Los primeros pasos a seguir para operar este instrumento son los siguientes:

- ✓ Extraer el registrador de su valija y colocarlo sobre una mesada firme. Si esto se realiza a bordo es aconsejable asegurar el instrumento.
- ✓ Examinar visualmente la parte exterior del instrumento y comprobar que no existan daños. En caso de verificarse algún deterioro no debe ser utilizado.
- ✓ Quitar cuidadosamente la tapa retirando previamente las dos prensas de cierre.
- ✓ Colocar la unidad de memoria, la cual debe haber sido borrada previamente y actualizada la fecha.
- ✓ Se pone en marcha el instrumento y se comprueba su buen funcionamiento observando el display de la unidad de memoria. Debe asentarse la hora exacta de puesta en marcha del instrumento en una planilla. (Figura 15)

PLANILLA DE CONTROL DEL FONDEO					
Marca y modelo del instrumento:					
Nro. de serie del instrumento:					
Nro. de serie de la memoria sólida:					

PUESTA EN MARCHA					
Año:	Mes:	Día:	Hora:	Minuto:	Huso horario:
Intervalo de muestreo:			Responsable:		
Encargado de la puesta en marcha:					
Observaciones:					

FONDEO					
Buque:					
Latitud:	Longitud:	Profundidad:	Rumbo del fondeo:		
Año:	Mes:	Día:	Huso horario:		
Temperatura del agua:		Presión atmosférica:		Densidad del agua	
Comienzo de la maniobra:		Hora:	Minuto:		
Fin de la maniobra:		Hora:	Minuto:		
Encargado del fondeo:					
Observaciones:					

RECUPERACION					
Año:	Mes:	Día:	Huso horario:		
Comienzo de la maniobra:		Hora:	Minuto:		
Salida del agua:		Hora:	Minuto:		
Parada del equipo:		Hora:	Minuto:		
Encargado de la recuperación:					
Observaciones:					

Figura 15

El interior del aparato queda protegido por un O-ring de goma Buna N de 11,3 cm de diámetro interno. Este O-ring debe examinarse periódicamente y lubricarse con grasa de siliconas (por ej. Dow Corning de 4 componentes).

Habiéndose completado los pasos anteriores el instrumento debe ser cerrado, para lo cual debe darse cumplimiento a lo siguiente:

- ✓ Verificar el intervalo de muestreo luego del primer registro.
- ✓ Retirar el O-ring de su posición en la tapa, quitar la grasa con un paño fino embebido en bencina (no se debe usar benzol), y controlar que no existan rasguños, cortes o roturas; en ese caso el O-ring debe ser reemplazado.
- ✓ Limpiar las superficies de apoyo y lubricarlas; luego reubicar el O-ring.



- ✓ Deslizar cuidadosamente la unidad de registro dentro del recipiente teniendo cuidado de no dañar ningún elemento.
- ✓ Insertar las dos prensas de cierre en forma firme y pareja girando los tornillos con los dedos hasta donde sea posible. Luego debe darse medio giro más con la ayuda de un perno-pasador provisto con el equipo.

La Figura 16 muestra una maniobra utilizada para medir marea en áreas donde la profundidad admite el fondeo con buzos. Este sistema permite una inspección periódica para controlar el funcionamiento del instrumento o para efectuar su limpieza externa.

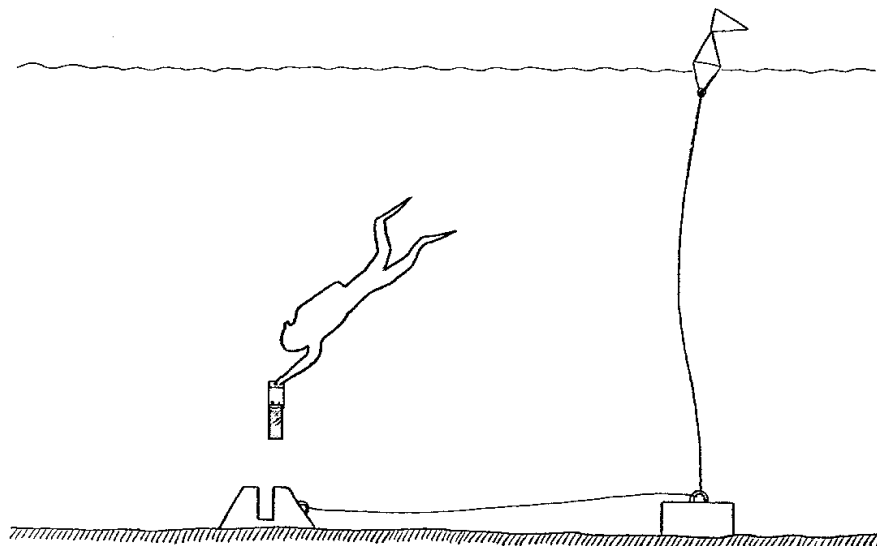


Figura 16

Para efectuar la recuperación debe procederse en forma inversa a la indicada para el fondeo.

- ✓ Una vez recuperado el equipo se lo lava con agua dulce y se lo seca con un paño limpio.
- ✓ Luego se retira el registrador de la carcasa y se aguarda hasta el instante en que se produzca un registro, luego del cual se desconecta el equipo.
- ✓ Se retira la memoria del equipo.
- ✓ En el caso de encontrarse vestigios de humedad en el interior de la carcasa se deberán eliminar utilizando un paño limpio y seco, y recién entonces se procederá a cerrar el equipo y embalarlo para su transporte.

La figura 16a muestra distintas alternativas para realizar el fondeo del equipo.

TYPICAL MOORINGS

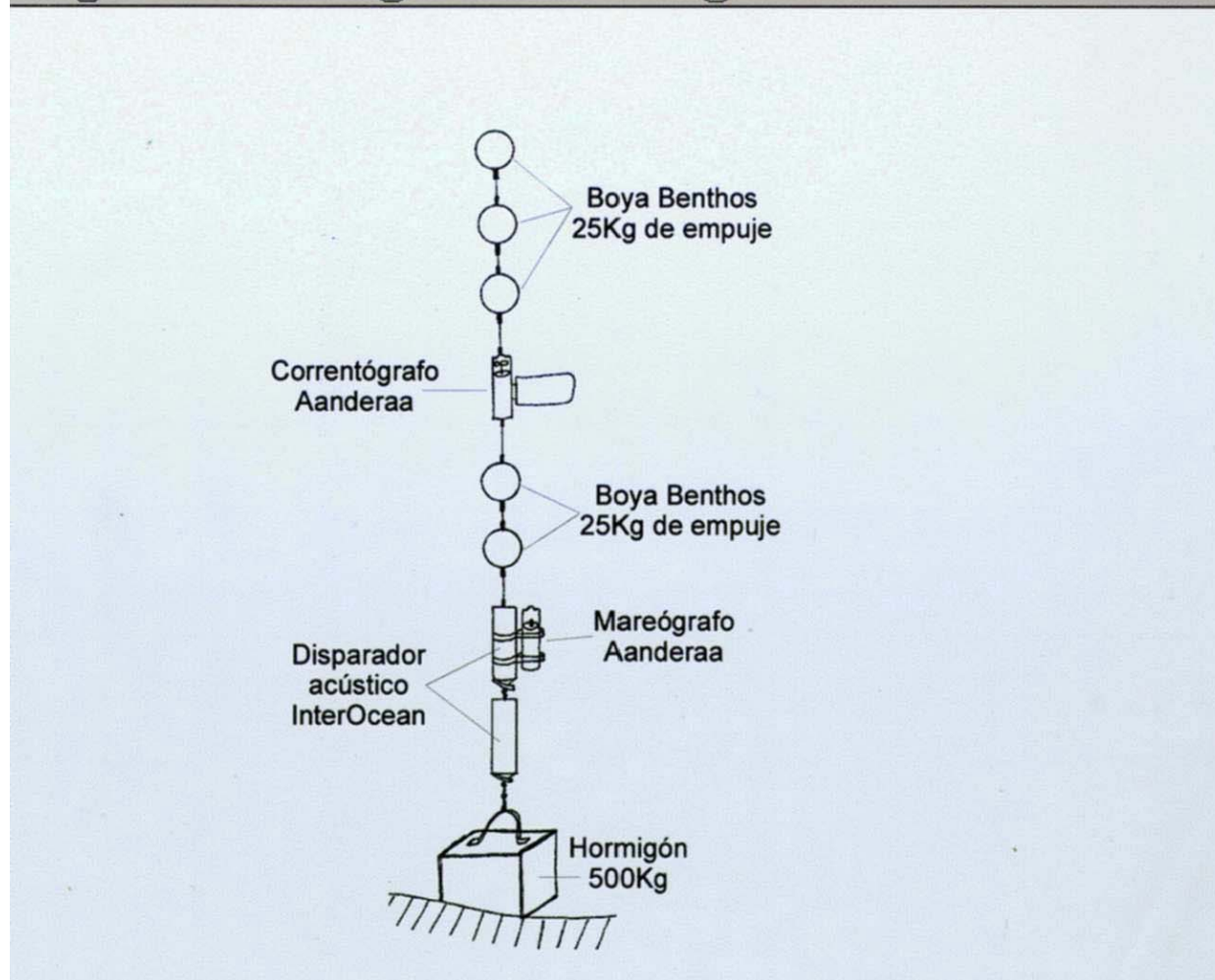
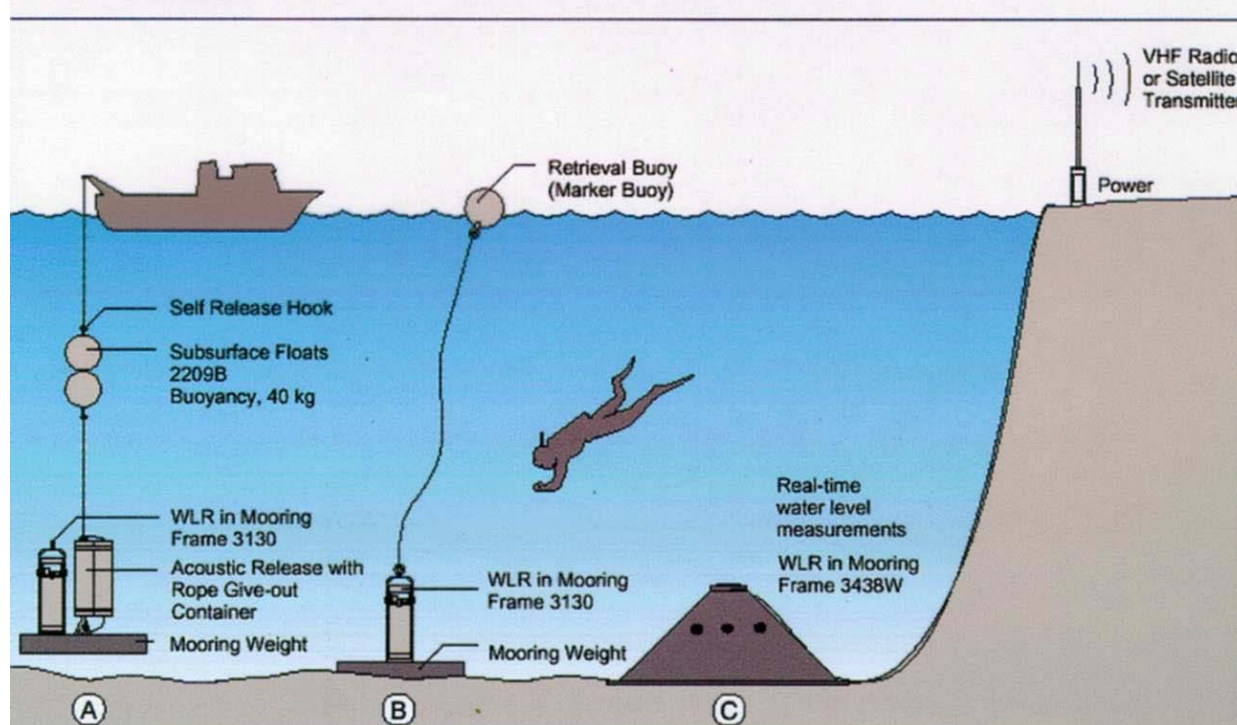


Figura 16a

Las diferencias de presión atmosférica son un factor significativo para la obtención de variaciones puras del nivel del agua, pues estos equipos registran el peso de la columna de agua más la presión atmosférica. En algunos casos extremos de variación barométrica, de no considerarse la misma en el procesamiento de los registros, se pueden obtener valores de columna de agua con diferencias de hasta 40 ó 50 cm con respecto a los reales.

En determinados casos puede estimarse este error mediante la ayuda de cartas meteorológicas, pero lo más aconsejable para obtener valores absolutos es contar con dos registradores funcionando en forma simultánea, uno fondeado y el otro en superficie. Esto permite restar las lecturas del que se instala a nivel del mar de las obtenidas en el fondo. De no contarse con un segundo registrador se aconseja la utilización de un barómetro.

Como el peso de la columna de agua puede variar al cambiar la densidad de la misma, para afinar los resultados obtenidos es conveniente tener datos de densidad del agua de la zona de fondeo.

Una posible fuente de error se introduce si hay corrientes significativas incidiendo sobre la entrada del sensor de presión. La magnitud de este error es difícil de calcular y usualmente se lo atenúa instalando algún protector alrededor del mismo.

Para transferir los datos de la memoria a una PC se utiliza una interfase (DSU Reader) y programas provistos por el fabricante (Figura 17).

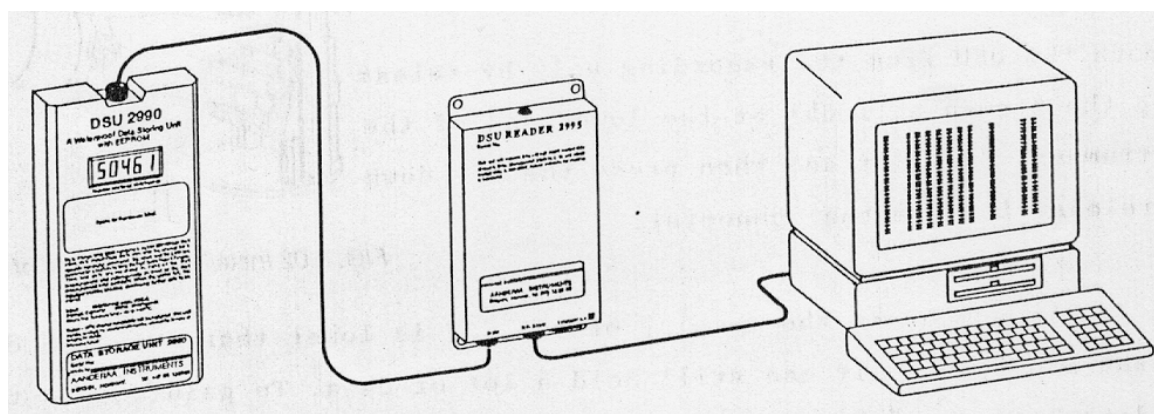


Figura 17

El Aanderaa WLR7 dispone de 5 canales de 10 bit cada uno, para grabar la información en una memoria sólida removible. En el canal número 1 se graba el número del equipo, como una referencia. En el canal 2 se graba la temperatura que registra un termistor. Los canales 3 y 4 almacenan información de presión medida con un sensor de presión consistente en un oscilador de cristal de cuarzo, muy preciso. Finalmente el canal número 5 puede registrar conductividad o estar libre.

A continuación en la Figura 17.a se analiza un registro de un equipo Aanderaa, para posteriormente mostrar como es su procesamiento.

0007 0096 0012 0019 0012 0000 → Registro comienzo de medición. El primer número es siempre 7. A continuación graba año, mes, día, hora y minuto

0507 0487 0519 0197 0000

0507 0541 0519 0222 0000

0507 0569 0519 0181 0000

0507 0567 0519 0167 0000

0507 0565 0519 0218 0000 → Registro donde se observan los cinco canales  
El intervalo de muestreo es de 30 minutos

0507 0567 0519 0216 0000

0507 0562 0519 0213 0000

0507 0502 0519 0205 0000

0507 0546 0519 0124 0000

0507 0037 0530 0927 0000

0507 0034 0530 0891 0000

0507 0033 0530 0779 0000

0507 0032 0530 0646 0000

0507 0037 0530 0546 0000

0507 0037 0530 0443 0000

0507 0037 0530 0376 0000

0507 0037 0530 0309 0000

0507 0036 0530 0274 0000

0507 0036 0530 0268 0000

0507 0036 0530 0284 0000

0507 0035 0530 0354 0000

0507 0037 0530 0436 0000

0507 0037 0530 0566 0000

0507 0037 0530 0702 0000

0007 0096 0012 0020 0000 0000 → Registro comienzo de día

0507 0036 0530 0861 0000

0507 0036 0530 0988 0000

0507 0039 0531 0046 0000

0507 0037 0531 0095 0000

Figura 17a

La presión sobre el sensor, en libras por pulgadas cuadradas (PSIA), se obtiene mediante el cálculo del siguiente polinomio:

$$\text{Presión (PSIA)} = A + B \cdot N + C \cdot N^2 + D \cdot N^3$$

donde A, B, C y D son constantes características de cada instrumento, que se calculan en su calibración. La fábrica, para cada equipo, provee distintos valores de estas constantes para los rangos de temperatura de agua: 0°C / 10°C, 10°C / 20°C y 20°C / 30°C. El valor de N se obtiene a partir de los registros de los canales 3 (N3) y 4 (N4):

$$N = N_3 \cdot 1024 + N_4$$

La temperatura también se calcula con un polinomio, con valores únicos de A, B, C y D, complementados por lo registrado en el canal 2 (N2):

$$\text{Temperatura (°C)} = A + B \cdot N_2 + C \cdot N_2^2 + D \cdot N_2^3$$

Finalmente la conductividad se calcula con el canal 5 (N5), como:

$$\text{Conductividad} = A + B \cdot N_5$$

Para obtener la altura del agua sobre el sensor se utiliza la siguiente relación :

$$h = \frac{P - P_A}{\rho \cdot g}$$

donde P es la presión registrada,  $P_A$  es la presión atmosférica,  $\rho$  es la densidad del agua y g la aceleración de la gravedad.

A continuación se presenta los pasajes de unidades a tener en cuenta:

$$1013 \text{ mb} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm/Hg} = 14,7 \text{ lb/pulg}^2$$

$$0.2248 \text{ lb} = 10^5 \text{ dinas}$$

$$1 \text{ lb/pulg}^2 = 6,89503 \cdot 10^4 \text{ dina/cm}^2$$

$$h(\text{cm}) = \frac{6,89503 \cdot 10^4 \frac{\text{dina/cm}^2}{\text{lb/pulg}^2} \cdot (P(\text{lb/pulg}^2) - P_A(\text{lb/pulg}^2))}{\rho(\text{g/cm}^3) \cdot g(\text{cm/seg}^2)}$$

#### ❖ Sensores de presión en estaciones mareográficas fijas (UNESCO, 1994)

Hay dos configuraciones que responden a este método de medición. Una de ellas ubica el sensor de presión en tierra firme mientras que la otra lo ubica sumergido en el agua. Ambas configuraciones tienen ventajas y desventajas.

En la primera configuración (Figura 18) el sensor registra la presión hidrostática a través de un gas que se hace pasar a un ritmo uniforme por un tubo y burbujear en una cámara ubicada debajo del agua. Esta cámara es un corto cilindro vertical cerrado en su extremo superior, por donde penetra el tubo que conduce al gas y abierto en el inferior por donde penetra el agua. En su parte media se practica un orificio por donde burbujea el gas que llega a esta cámara luego de haber desplazado al agua hacia abajo. Este sistema está pensado de manera tal que las diferencias de presión del gas que se registran en superficie son iguales a las producidas por las variaciones de altura de la columna de agua más las correspondientes a la presión atmosférica.

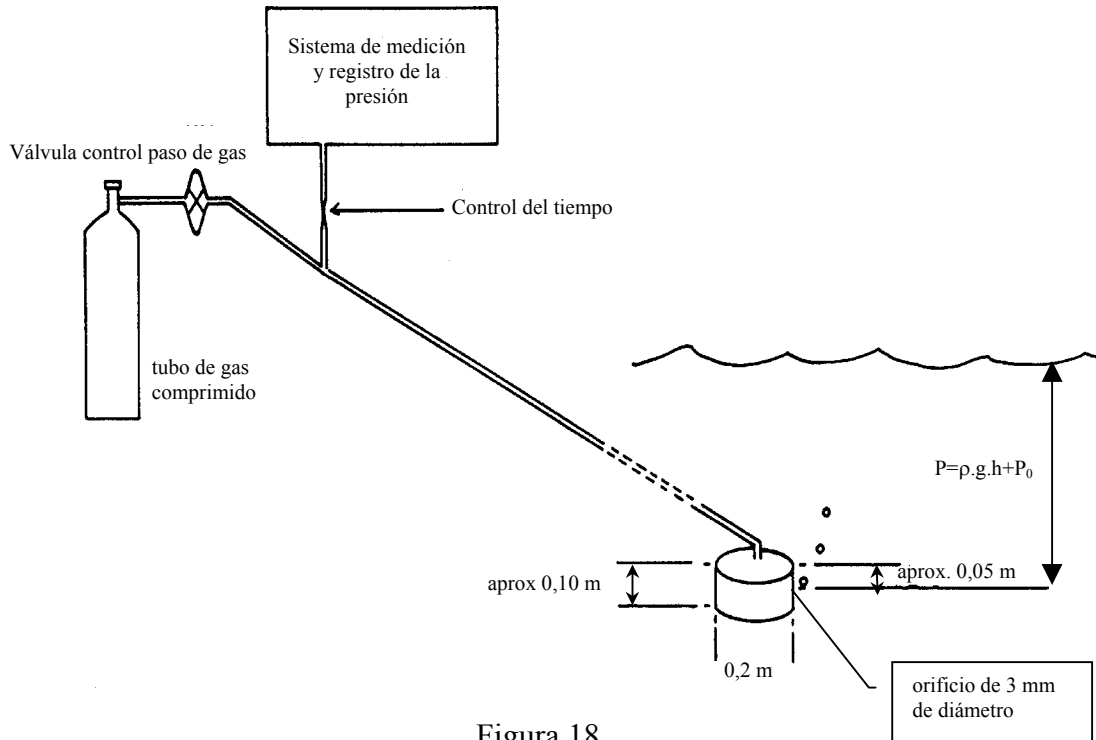


Figura 18

En la segunda configuración el sensor de presión está sumergido en el agua. En los registradores autocontenidos fondeables, el sistema de registro se encuentra junto al sensor. Existen otros equipos donde las señales que emite el sensor son enviadas mediante cables especiales a tierra (Figura 19). Estos equipos tienen la ventaja de no requerir un sistema adicional de gas como el descrito en la primera configuración pero tienen la desventaja de que el sensor sufre problemas de corrosión y de la actividad biológica marina.

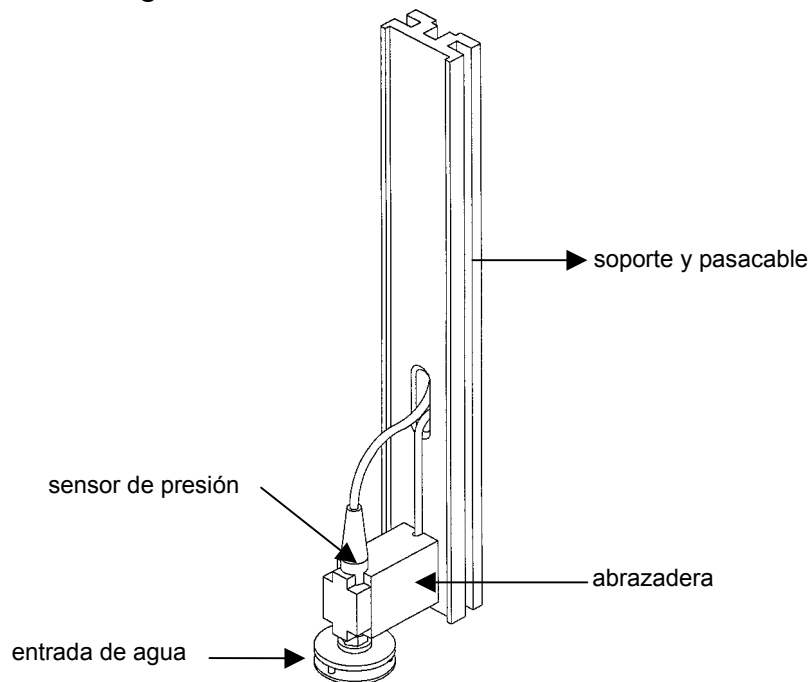


Figura 19

Como el objetivo final es obtener la altura del agua, a la presión medida se le resta la presión atmosférica. Algunos equipos realizan esta operación directamente, en caso contrario se deberá realizar al procesar la información. Otra variable a tener en cuenta es la densidad del agua que interviene en el cálculo de la altura. En muchos sitios puede tomarse un valor promedio obtenido de observaciones, pero en estuarios hay que considerar que la densidad puede variar significativamente durante un ciclo de marea. En este último caso para obtener la altura de agua se utiliza una curva que ajusta a las mediciones de densidad realizadas.

### ❖ **Referencias Bibliográficas**

D'ONOFRIO E.E., BALAY C.E., BALESTRINI C.F., 1982, Manual de medición de marea. Informe Técnico N°11/82, Departamento Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval. 120pp.

UNESCO 1994. Manual on Sea Level Measurement and Interpretation Volume II - Emerging Technologies. 50pp.