

Capítulo N° 13

“CORREDERAS”

Ref.:

- a.- Admiralty Manual of Navigation BRd 45 (3) “Navigation Systems, Equipment & Instruments. (1996)
 - b.- Manual de Navegación Pub. SHOA 3030.
-

A.- Introducción

Las correderas son usadas para medir la velocidad y la distancia navegada por el buque. Por lo general estas mediciones son sobre el agua, aunque algunas correderas más avanzadas, como la Doppler y correderas de correlación con el sonido en el agua, pueden ser usadas para determinar la velocidad y la distancia navegada respecto a la tierra.

Es importante que la corredera sea calibrada y sea instalada en el casco en una posición que asegure una correcta medición. La exactitud de la velocidad y de la distancia por el agua debería tener, como máximo un error del 2%, es decir un coeficiente de corredera de 0,95 en cualquier momento.

Por ejemplo, para una velocidad de 15 nudos, la distancia medida en una hora debería estar dentro 15 +/- 0,75 millas, sin tomar en cuenta la deriva y la corriente. Este capítulo analizará a grandes rasgos el concepto de las correderas electromagnéticas y Doppler, las más comunes utilizadas actualmente.

B.- Corredera electromagnética

La corredera electromagnética aparece en la década del 1960 para reemplazar a las correderas Pitometer¹ y Chernikeeff², que eran usadas en la Armada. En la actualidad gran parte de los buques utilizan las correderas electromagnéticas.

1.-Principio de operación de la corredera electromagnética

Está basada en la inducción que se produce en unos electrodos de bronce adosados al exterior de un domo, cuando el buque se desliza hacia delante cortando las líneas magnéticas generadas por un electroimán en el interior del domo. Este voltaje llega a un amplificador donde la señal es aumentada y electrónicamente transformada en indicación de velocidad y distancia a los repetidores.

Este arreglo es montado en el casco de la nave en un bulbo, ver Fig. 1, o como una espada retráctil.

Una sensor fijo es más exacto que un sensor retráctil, llamada espada, ya que éste sobresale más allá de la quilla. Normalmente, un sensor fijo se encuentra en submarinos. El sensor retráctil ofrece la misma exactitud que el sensor fijo y es usado en algunas barcas y embarcaciones menores. El sensor retráctil requiere pruebas especiales de estanqueidad, entre la espada y la válvula de fondo.

¹ Corredera **PITOMETER**: Esta corredera se basa en la diferencia de presión estática y dinámica que ejerce el agua cuando el buque estará en movimiento. Esta diferencia es nula cuando el buque está detenido puesto que ambas presiones serán iguales e irá aumentando con la velocidad del buque

² Corredera **CHERNIKEEFF**: El sensor consiste de un mecanismo sumergido compuesto de una hélice de cuatro aspas que gira mediante la acción del agua, poniendo en movimiento un tornillo sin fin que actúa sobre un mecanismo mecánico, transformando la señal, a electrónica para ser transmitida a los repetidores.

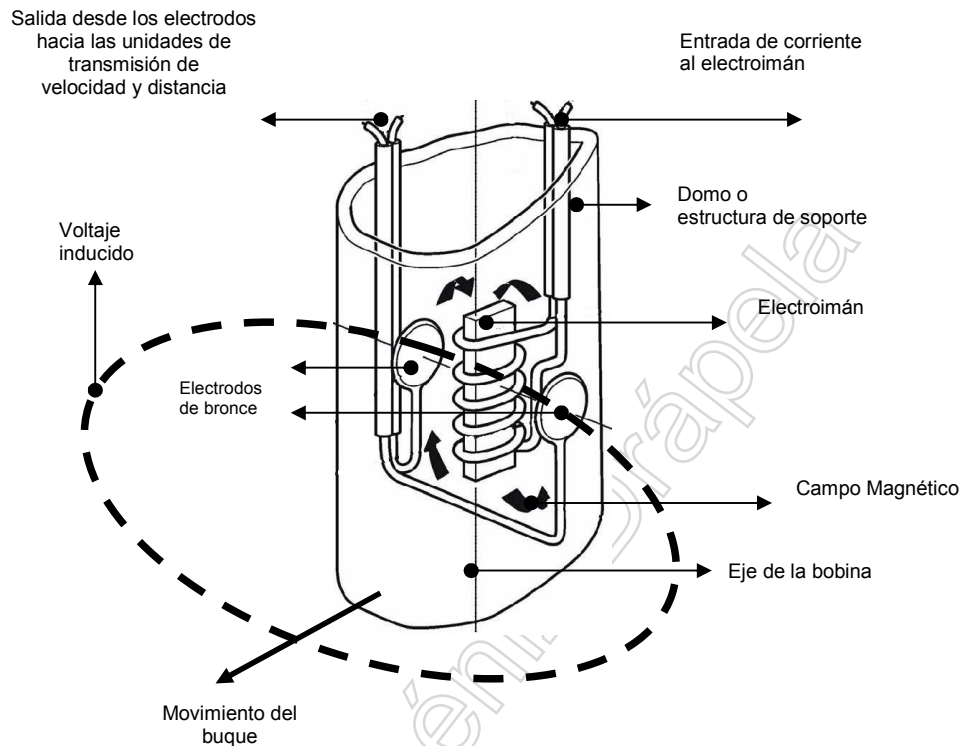


Fig. 1. Sensor de la corredera electromagnética

2.- Descripción general

Un sensor fijo (Ver Fig. 1), sobresale algunos centímetros del casco. El voltaje generado en los electrodos es transmitido a la Unidad de Velocidad y la Unidad de Transmisor de Distancia (SDTU), (ver Fig. 3), para ser convertido en velocidad y distancia. Este voltaje generado es aproximadamente 400 microvoltios ($400 \mu V$) por nudo. Un diagrama de bloque de un sistema típico se muestra (ver Fig. 2) la interconexión del sensor, el SDTU, las Unidades de Nueva transmisión (RTUs) e indicadores de distancia.

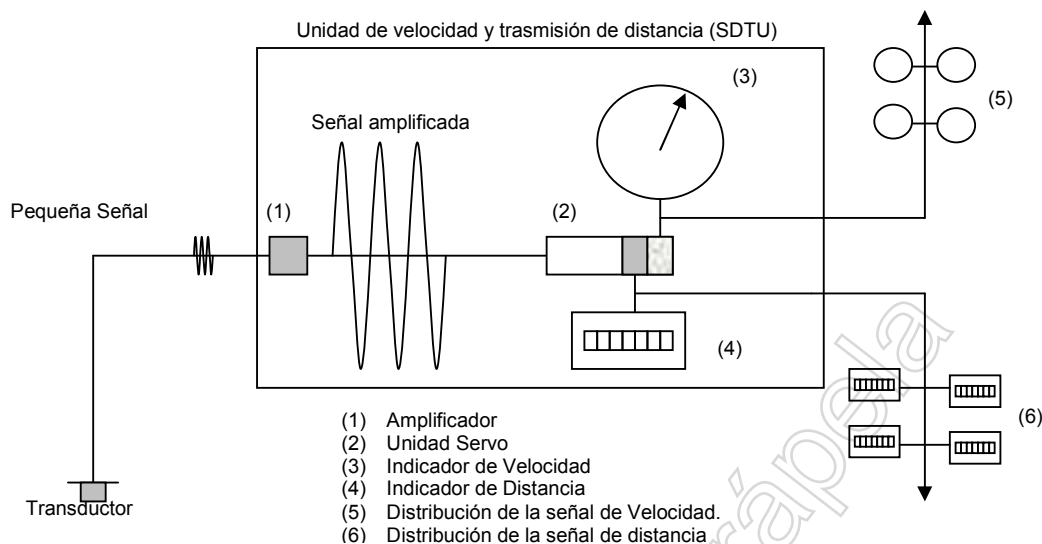


Fig. 2. Diagrama general del ecosonda.

- a.- **La unidad de Velocidad y Transmisión de Distancia (SDTU).** Un pequeño voltaje generado en el sensor es preamplificado y alimenta a una unidad servo de velocidad, que transforma a una representación de velocidad de la nave, mostrada en un indicador análogo o digital, ver Fig. 2. Esta indicación de la velocidad de la nave varía según la corredera (1 a 30 nudos, o 2 a 60 nudos). La unidad proporciona la corriente para estimular el electroimán en el sensor de casco, y también produce varias señales de corrección requeridas en los amplificadores de velocidad de modo que la velocidad del buque por el agua pueda ser mostrada en muchos indicadores.

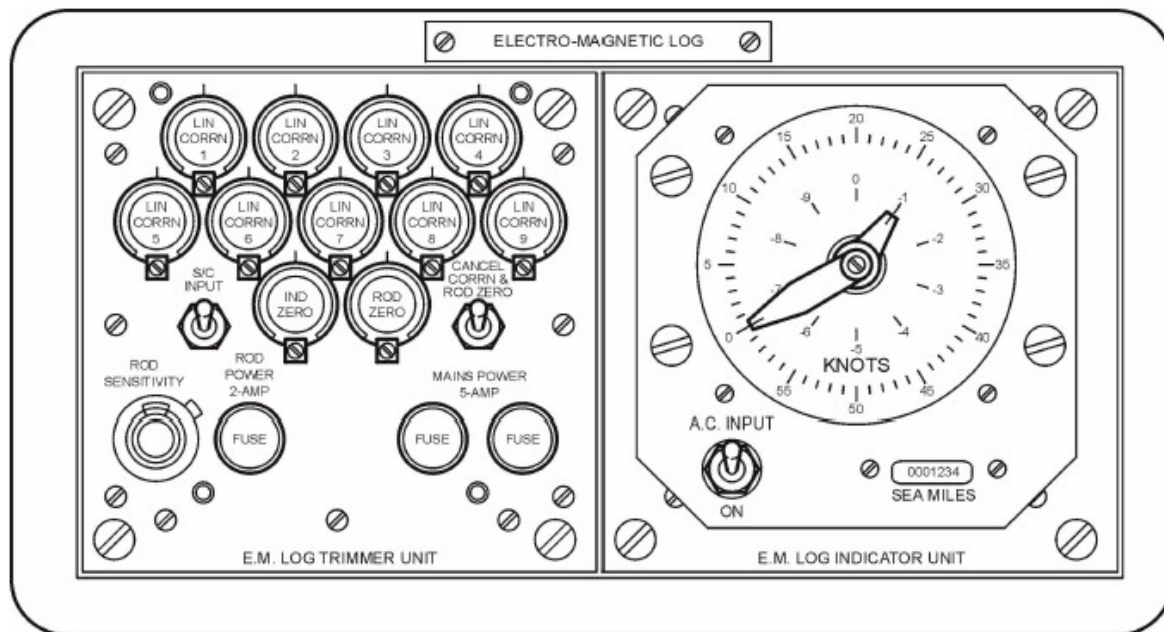


Fig. 3. Unidad de transmisión de velocidad y distancia (SDTU)

- b.- **Unidades de retransmisión (RTU).** La unidad servo de velocidad en el SDTU también tiene dos sincros transmisores y un potenciómetro de distancia. La velocidad de la nave es tomada de uno de los sincro transmisores a la Unidad RTU, de modo que la velocidad de la corredera pueda ser transmitida a los sistemas de navegación y a los de armas que requieren una entrada de velocidad.

Dentro del RTU hay un disco graduado en nudos. Este disco puede ser leído desde el exterior del RTU, por una ventana de cristal, ver Fig. 3. El potenciómetro de distancia genera un voltaje proporcional a la velocidad del buque para alimentar el servo de distancia. Se producen una serie de pulsos de 24 voltios, para representar la distancia navegada, en los rangos de 100, 200 y 400 pulsos por milla. Un registro numérico ubicado en las cercanías de la indicación de velocidad, muestra la distancia navegada, hasta 99.999.99.

- c.- **Indicadores de velocidad y de distancia.** Los indicadores de velocidad y de distancia, (Fig. 4), reciben directamente la señal del SDTU, entregando la indicación visual de la velocidad del buque en nudos (0-40) y la distancia a través del agua (no es verdadera) en millas (0-999.99). Estos indicadores están distribuidos a lo largo en muchas partes del buque como el puente, CIC, camarote del Comandante, en consolas varias, cubierta de vuelo, púlpito, puente secundario, sala de control de la máquina, etc. Un repetidor similar pero impermeable al agua, es empleado en lugares abiertos, como el púlpito, puente de señales, etc.
- d.- **Unidad de Calibración.** Para calibrar la corredera se puede emplear una unidad integrada a la SDTU que permite generar señales de 0 a 60 nudos, como la parte del SDTU.
- e.- **Corredera Muda:** Si el sensor es dañado, es posible transmitir una señal manual de velocidad y distancia a todos los repetidores de la corredera, teniendo la precaución de ajustar lo mas posible a la velocidad verdadera del buque dado por otros sensores (Ej. GPS, plataforma inercial, etc) o por medio de situaciones geográficas. Existe un interruptor que desconecta la corredera y la substituye por señal manual.

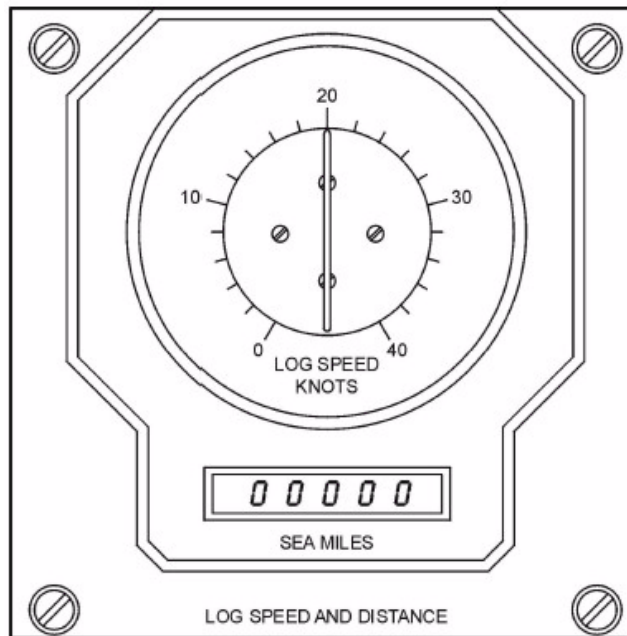


Fig. 4. Indicador de velocidad y distancia

f.- **Exactitud de la corredera:** se debe partir del supuesto que la corredera esta bien ubicada y adecuadamente calibrada, debería tener aproximadamente la siguiente exactitud:

0-3 nudos : ± 0.1 nudos
3-10 nudos : ± 0.2 nudos
Sobre 10 nudos: ± 2%

g.- Calibramiento de una corredera electromagnética

La exactitud de la corredera electromagnética depende del tipo de sensor usado y su posición bajo el casco. Sin embargo, aún la más exacto, son afectados por el flujo de agua alrededor del casco.

Al estar directamente relacionada la señal del sensor con el flujo de agua que pasa por éste, es poco probable que exista una linealidad directa entre señal y flujo de agua para el rango de velocidades. Todas las correderas tienen errores que varía según un rango de velocidad, por eso es necesario calibrar en todos estos niveles.

Es decir, al estar bien calibrada, la corredera entregará información exacta para el Oficial Navegante, Oficial de Guardia, para la Central de Informaciones de Combate y para los sistemas de Armas. Las consideraciones que se deben tomar en cuenta al calibrar la corredera.:

- 1) El **error de la corredera**, debe ser calculada como un porcentaje de la velocidad de la corredera y no de la velocidad verdadera.

$$E_c = \frac{Dv - Dc}{Dc} \times 100$$

- 2) La **velocidad de la corredera** se expresa en nudos, es decir la distancia en millas recorrida por el buque en una hora y la distancia se expresa en millas

- 3) La corredera debe ser calibrar a lo menos en las siguientes circunstancias:
- Cuando se instala por primera vez
 - Después de un reacondicionamiento si la estructura o forma del casco fue alterada.
 - Al reemplazar el sensor

4) **Procedimiento de calibración**

Para calibrar la corredera se debe calcular la velocidad navegada según la corredera y en segundo lugar, calcular la velocidad verdadera. Esto requiere un mínimo de dos y un máximo de cuatro "patas" en la milla medida, a varias velocidades, ver Fig. 5. La comparación entre la velocidad de la corredera y la verdadera dará el % de error. Para calibrar la corredera se debe navegar a varias velocidad, de otra manera sería imposible determinar los errores en todo el rango de velocidades.

Procedimiento:

- a. El área necesaria para calibrar la corredera, dependerá de cada buque. Algunas están limitadas por la geográfica, las velocidades, el tipo de buque, el radio de giro, el tráfico marítimo, etc.
- b. Para calibrar la corredera se requiere normalmente un día dedicado a ello. Se debe tener en cuenta el mal tiempo y otras contingencias, por lo cual es aconsejable programar dos días. Respecto al tiempo, considerar tiempos adicionales para repetir corridas ante la ocurrencia de fallas e imprevistos.
- c. Previo a las pruebas en la mar, se debe efectuar un calibramiento preliminar, que está descrito en el manual correspondiente.
- d. Inicialmente la SDTU debería ser ajustado de la siguiente manera:
 - (1) La nave debe estar inicialmente detenida sin flujo de agua en el sensor, es decir no debe haber ningún movimiento relativo entre la nave y el agua.
 - (2) Ajustar todos los controles de velocidad a cero.
- e. Para calibrar la corredera se debe asegura que la nave se encuentre en condiciones normales de navegación, especialmente en lo relacionado con pesos y elementos sumergidos.

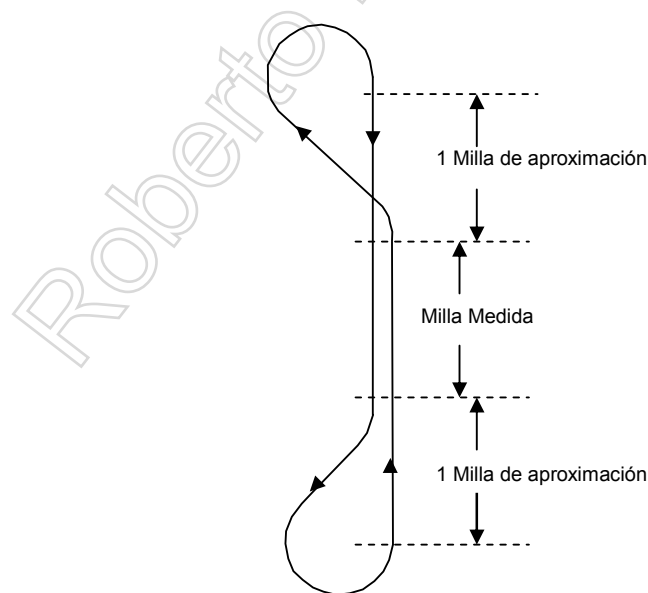


Fig. 5. Milla Medida.

- f. Se realizan una serie de corridas a velocidades diferentes en una distancia fija (normalmente una milla (milla medida). (Ver Fig. 5). Las corridas son por lo general a las siguientes velocidades:
- (1) 6, 12, 18, 24 nudos y cada 6 nudos hasta la máxima velocidad
o
 - (2) 4, 8, 12, 16, 20, 24 y en intervalos de 4 nudo hasta la máxima velocidad.
- g. Algunas correderas sólo pueden se ajustadas a una velocidad, sin embargo las corridas se harán a varias velocidad, objeto determinar dichos errores y ajustarlos manualmente.
- h. Cuando la corriente de marea es insignificante, o es asumida constante, basta con hace dos corridas para cada velocidad en direcciones opuestas para contrarrestarla. Si la corriente de marea es fuerte o variable, es necesario hacer dos corridas en cada dirección.
- i. Para cada corrida, se toma el tiempo exacto, entre el cruce de dos parejas de enfilaciones objeto calcular la velocidad verdadera.
- j. Las normas que se deben cumplir son:
- (1) Las revoluciones de los motores se deben mantener constante durante las corridas a un velocidad determinada. Para asegurar que la velocidad apropiada ha sido alcanzada para los motores, es necesario navegar en línea recta por cinco minutos, antes de ingresar a la milla medida. Ver Fig. 5.
 - (2) El ángulo de caña durante la caída entre corridas a una misma velocidad, no debe exceder 15 grados, para asegurar al mínimo, la disminución de la velocidad en la caída. La velocidad disminuida se puede alcanzar durante la fase de navegación recta.
 - (3) La cantidad de grados de caña debe ser mínimo, para evitar fuerzas en los timones que afecte a la velocidad del buque.
 - (4) Estas pruebas se deben hacer con mar calma. El viento no debe de exceder de 10 nudos, ya que el efecto del mar y del viento, afecta significativamente ya que y no pueden ser estimado con exactitud para su corrección.
 - (5) El intervalo de tiempo entre corridas en la milla medida, deben ser registradas y deben ser razonablemente constante. En la siguiente tabla se muestra un ejemplo:

Velocidad (nudos)	Distancia (millas)	Tiempo (Segundos)
6	1	600
12	1	300
18	1	200
24	1	150

- k. Cuando es necesario hacer cuatro corridas a una velocidad determinada, la velocidad de cada corrida debe ser lo mas similar posible, ya que la fórmula usado en estas circunstancias asume que el error de porcentaje de la corredera es constante sobre la velocidad en las cuatro corridas.

5) Cálculo de velocidad de la corredera

La velocidad según la corredera y la velocidad verdadera se determina midiendo la distancia realmente navegada en la milla medida. Es decir: Al tener el tiempo, la distancia de la milla medida (normalmente una milla) y la distancia de la corredera (distancia indicada en la corrdera entre los dos cruces consecutivos) se puede determinar la velocidad de corredera y verdadera. Adicionalmente se medirá la velocidad de la corredera según el indicador de velocidad, para comprobar la calculada.

6) Cálculo del % de corrección

La velocidad verdadera y la de la corredera, en cada nivel de velocidades cuando sólo es necesario realizar dos corridas, cuando la corriente de marea puede ser asumida como constante. La fórmula que da la corrección en % de la corredera es:

$$C = 100 \times \left(\frac{V_1 + V_2}{L_1 + L_2} - 1 \right)$$

Cuando la corriente de marea varía, se debe navegar cuatro corridas (dos en cada dirección). En este caso la fórmula de corrección en % es:

$$C = 100 \times \left(\frac{V_1 + 3 \times V_2 + 3 \times V_3 + V_4}{L_1 + 3 \times L_2 + 3 \times L_3 + L_4} - 1 \right)$$

C = Error de la corredera (en %).
V1, V2, V3, V4 = Velocidad verdadera en las corridas 1, 2, 3 y 4 respectivamente.
L1, L2, L3, L4 = Velocidad de la corredera en las corridas 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

La velocidad verdadera es calculada con la siguiente fórmula:

$$Velocidad = \left(\frac{V_1 + 3 \times V_2 + 3 \times V_3 + V_4}{8} \right)$$

Ejemplo 1

Un buque calibra su corredera empleando la milla medida (1 milla). Las corridas son hechas afectadas con la corriente de marea (a favor y en contra), que se consideran constante durante las dos corridas.

Primera corrida:	Segunda corrida:
Corredera 1 = 2342.5600	Corredera 1 = 2345.1250
Corredera 2 = 2343.4622	Corredera 2 = 2346.1317
Tiempo = 3 minutos 38 segundos.	Tiempo = 4 minutos 00 segundos.

¿Cuál es la corrección?

• Cálculo velocidad Corredera

Primera corrida:	Segunda corrida:
Corredera 1 = 2342.5600	Corredera 1 = 2345.1250
Corredera 2 = 2343.4622	Corredera 2 = 2346.1317
Dif = 0.9022 millas	Dif = 1.0067 millas
T1 = 3 minutos 38 segundos	T2 = 4 minutos 00 segundos
Vc1 = 14.8987 = 14.9 nudos	Vc2 = 15.1005 = 15.1 nudos

Resumen: velocidad por corredera fueron 14.9 y 15.1 nudos.

- **Cálculo velocidad verdadera**

Corrida N° 1 : 218 segundos.

Corrida N° 2 : 240 segundos.

$$\begin{aligned}\text{Velocidad Verdadera 1} &= Vv1 = D/T = 1 \text{ (milla)} / 218 \text{ (seg)} \\ &= 0.0045871559 \text{ millas / seg} = 15,5 \text{ nudos}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Velocidad Verdadera 2} &= Vv2 = D/T = 1 \text{ (milla)} / 240 \text{ (seg)} \\ &= 0.0041666667 \text{ millas / seg} = 15,0 \text{ nudos}\end{aligned}$$

$$\text{De la fórmula: } C = 100 \times \left(\frac{V_1 + V_2}{L_1 + L_2} - 1 \right)$$

$$C = 100 \times \left(\frac{16.5 + 15.0}{14.9 + 15.1} - 1 \right)$$

- **Resultado : Corrección = 5 % de error**

Las lecturas de la corredera debería ser aumentada 5 % para leer correctamente la velocidad verdadera. Ej.: para 10 nudos de velocidad de corredera se tendrá realmente $10 + 0.5 = 10,5$ nudos.

Ejemplo 2

Se obtuvieron los siguientes valores en la milla medidas, para cuatro corridas:

Corrida 1 – Velocidad verdadera: 21.59 nudos. Velocidad por corredera: 20.3 nudos.

Corrida 2 – Velocidad verdadera: 17.76 nudos. Velocidad por corredera: 20.8 nudos.

Corrida 3 – Velocidad verdadera: 21.27 nudos. Velocidad por corredera: 20.6 nudos.

Corrida 4 – Velocidad verdadera: 18.37 nudos. Velocidad por corredera: 20.7 nudos.

¿Cuál es la corrección a la corredera?

$$\text{De la fórmula } \Rightarrow C = 100 \times \left(\frac{V_1 + 3 \times V_2 + 3 \times V_3 + V_4}{L_1 + 3 \times L_2 + 3 \times L_3 + L_4} - 1 \right)$$

Se tendrá

$$C = 100 \times \left(\frac{21.59 + 3 \times 17.76 + 3 \times 21.27 + 18.37}{20.3 + 3 \times 20.8 + 3 \times 20.6 + 20.7} - 1 \right)$$

$$C = 100 \times \left(\frac{157.05}{165.2} - 1 \right)$$

$$C = 100 \times (0.95 - 1) = - 5\%$$

Las lecturas de velocidad de la corredera deberían de reducir en un 5 % para determinar la verdadera.

Ej.: para 10 nudos de velocidad de corredera se tendrá realmente $10 - 0.5 = 9.5$ nudos.

6) Exactitud del cálculo

La exactitud del cálculo dependerá de la calidad de la medición de los datos. El error esperado de la lectura del cronómetro, es $\pm \frac{1}{2}$ segundo como máximo. Se puede esperar que esto afecte la exactitud de la velocidad verdadera por lo menos en $\pm 1\%$.

Cuando la velocidad de la corredera es leída directa, la exactitud dependerá de la exactitud de la lectura. Cuando la escala de velocidad puede ser leída a 0,1 nudo, el error será casi $\pm 1\%$ para altas velocidades, aunque mucho mayor que esto en bajas velocidades. El cálculo de distancia con la corredera es una buena forma de comprobación. En general, el % de error de la corrección del error de la corredera debería estar dentro del $\pm 1\%$. Ej.: el Error de corredera es $+ 5\%$, para una velocidad determinada, el error real será entre 4% y 6%.

7) Aplicación de las correcciones

Las correcciones son aplicadas a los ajustes del SDTU tal como lo establece cada manual técnico.

A modo de ejemplo. Ver Fig. 6.

- Inicialmente se colocan en cero los potenciómetros de ajuste por velocidad por ejemplo en 4, 8, 12, 16, 24.
- Se calculan los % de errores por velocidad.
- Se determina un valor promedio de error.
- Se ajusta el valor promedio.
- Se calcula la diferencia entre el valor promedio y el valor calculado por velocidad.
- Se ajustan los potenciómetros individualmente.
- Se comprueba la calibración con algunas corridas de verificación.

Ejemplo: Datos

Velocidad	Error inicial	Corrección lineal	Corrección
4	0,4	0,35	0,05
8	0,3	0,35	-0,05
12	0,6	0,35	0,25
16	0,4	0,35	0,05
20	0,1	0,35	-0,25
24	0,3	0,35	-0,05
Promedio	0,35		

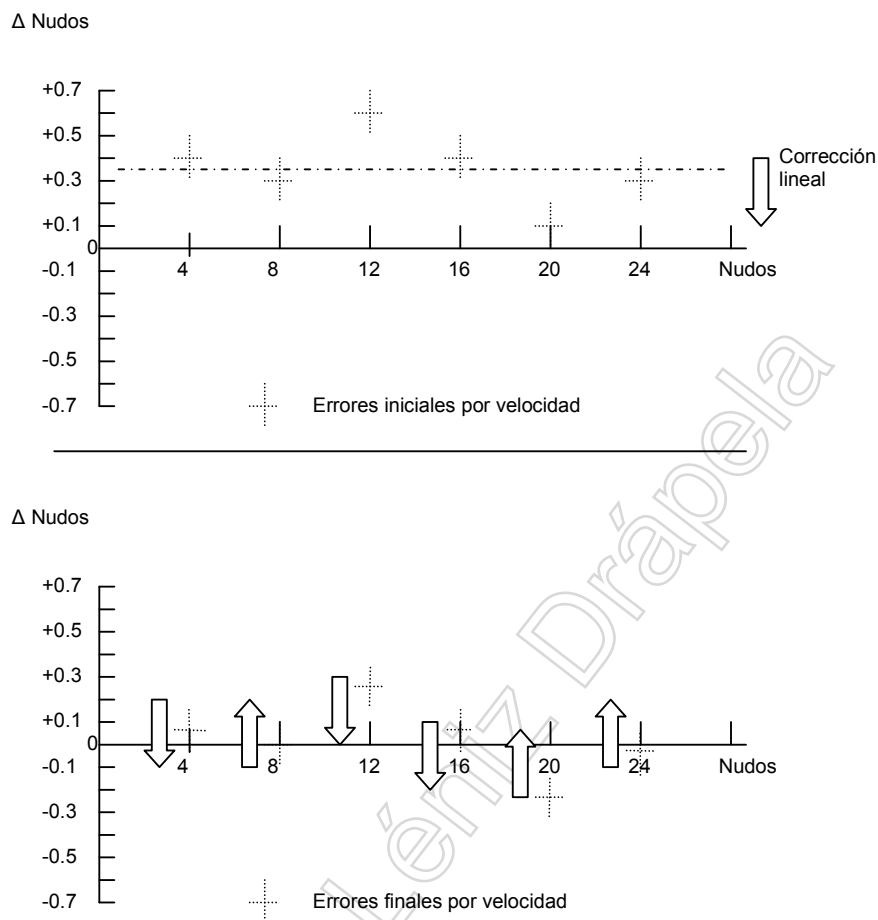


Fig. 6. Ajuste de la corredera electromagnética

- 6) **Métodos alternativos de calibramiento.** Si no está disponible la milla medida, las corridas de calibramiento de la corredera se pueden realizar usando la alta exactitud GPS. El procedimiento es idéntico al de la Milla Medida. Se debe navegar rumbo Norte o Sur y medir exactamente un milla verdadera (1 minuto de latitud = 1 millas).

B.- Corredera Doppler

1.-Principios del efecto Doppler

Cuando la fuente de ondas y el observador están en movimiento relativo con respecto al medio en el cual la onda se propaga, la frecuencia de las ondas observadas es diferente de la frecuencia de las ondas emitidas por la fuente.

El efecto Doppler se observa por ejemplo en el cambio de tonalidad de un sonido cuando la fuente que lo emite se acerca o se aleja: el motor de un carro, el pito de una locomotora, el paso de un avión en vuelo bajo, entre otros ejemplos. A este fenómeno se le denomina efecto Doppler y está directamente relacionado con la naturaleza ondulatoria del sonido. Cuando el origen de las ondas se desplaza en un sentido causa la frecuencia de la onda **se acorte** en la dirección hacia adonde se esta moviendo y **se alargue** en el sentido contrario. De esta manera el tono del sonido cambia haciéndose mas alto en la dirección hacia donde el origen de la onda se acerca y de tono bajo hacia adonde se aleja.

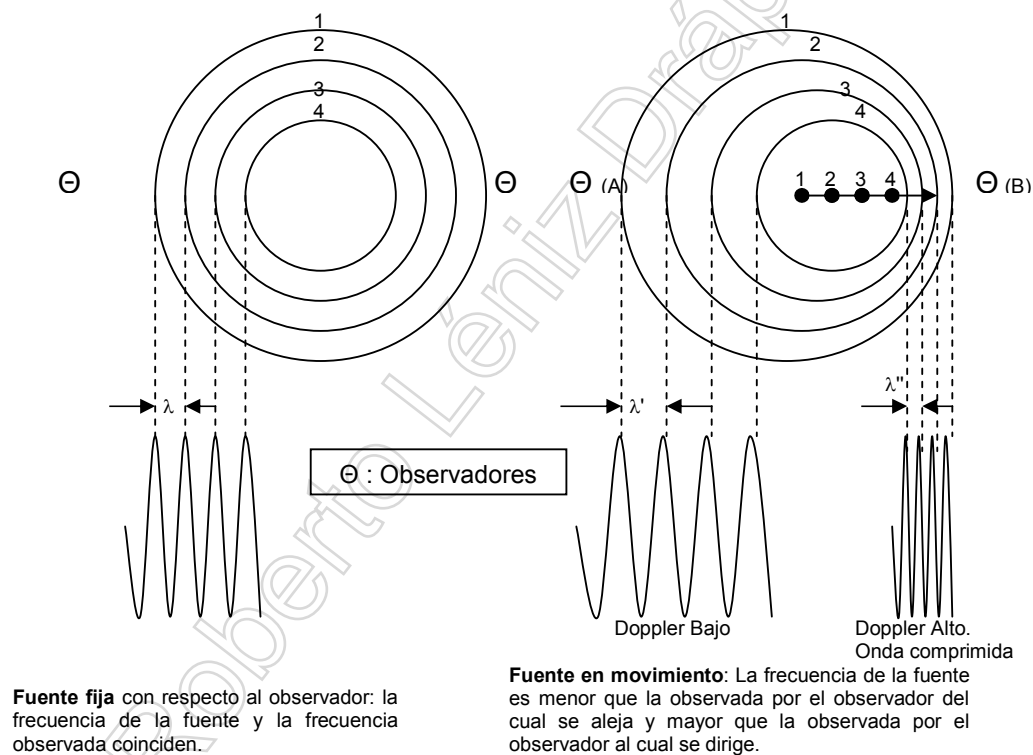


Fig. 7. Efecto Doppler.

2.- Principios generales de la corredera Doppler

La corredera Doppler, consiste en un haz angosto de energía ultrasónica (por lo general entre 100 kHz y 1 MHz) orientado al fondo del mar en un ángulo Φ , como lo muestra la Fig. 8. Siendo la velocidad de desplazamiento del buque es "V". " ΔF " es la variación de la señal recibida (diferencia de frecuencia) por los transductores (Señal Doppler):

$$\Delta F = \frac{2 \times V \times F_0 \times \cos(\Phi)}{C}$$

Donde F_0 es la frecuencia transmitida y C es la velocidad de sonido en el agua. La función de la corredera Doppler esta medida por F_0 , C y Φ que son parámetros conocidos. Por lo tanto es posible calcular la velocidad verdadera (respecto a la tierra) V, que está directamente proporcional a la variación de la señal Doppler.

$$V = C \times \frac{\Delta f}{2 \times F_0 \times \cos(\Phi)}$$

Por ejemplo, para un transmisor que trabaja (F_0) sobre 300 kHz, una velocidad de sonido en el agua (C) de 1.500 m/seg., un ángulo Φ de 60°, una variación de frecuencia de 1 kHz ($\Delta F = 1$ kHz).

$$V = \frac{1.500 \left(\frac{m}{sec} \right) \times 1(kHz)}{2 \times 300(Khz) \times \cos(60^\circ)}$$

$$V = 5 \left(\frac{m}{sec} \right) = 9.72(nudos)$$

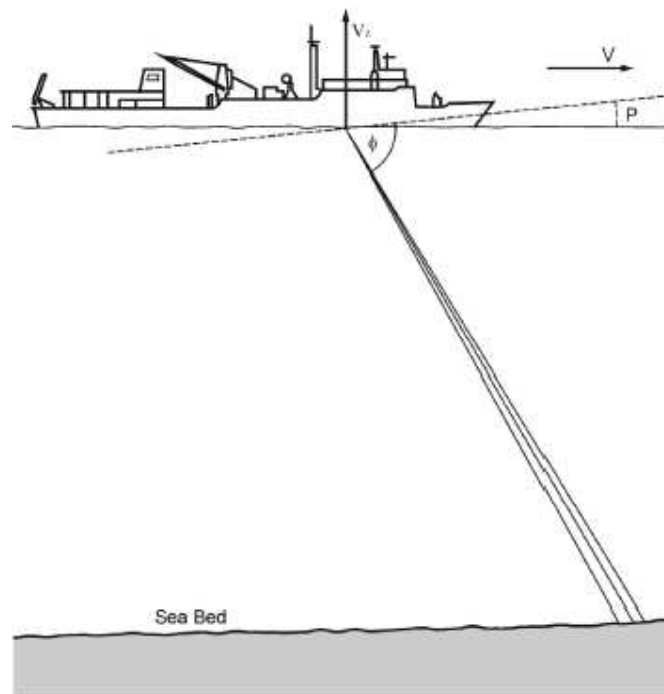


Fig. 8. Corredera Doppler

2.-Requerimientos para la corredera Doppler

El cabeceo del buque (P) y la componente vertical de movimiento (V_z), producen importantes efectos en la medición de la diferencia de frecuencia de las señal Doppler, al producir cambios continuos en el ángulo del haz de sonido. Este cambio en la frecuencia de la señal recibida está en relación al cambio del coseno del ángulo. Gran parte de estos efectos pueden ser corregidos usando una configuración empleando dos o cuatro haces verticales, a proa, a popa, banda de estribor y banda de babor, uno frente a otro.

3.-Limitaciones

Los ecos de la corredera Doppler reflejados del fondo normalmente son débiles, no sólo por la pérdida de propagación de una haz angosto de alta frecuencia y de gran energía, sino también por el ángulo inclinado de incidencia con el fondo, hace dispersar el haz de energía dependiendo de la calidad del fondo, por lo tanto sólo se recibe una pequeña proporción de la energía total transmitida.

Esto quiere decir que la corredera Doppler sólo puede ser usado en profundidades relativamente baja. En condiciones ideales, esta corredera debería ser capaz de detectar el movimiento del buque respecto al fondo del mar con una exactitud de ± 0.1 nudo (0.05 m/seg.), en agua no mayor de 200 metros, según la frecuencia transmitida, mientras más alta, menor deberá ser la profundidad para obtener una respuesta satisfactoria. Por otro lado, para disminuir la frecuencia objeto aumentar la profundidad, es necesario aumentar los tamaños de los transductores. Existe un compromiso entre Frecuencia, profundidad y tamaño del transductor.

El poder requerido debe ser el adecuado para asegurar que el nivel de señal que rebota sea suficientemente fuerte para que el receptor discrimine entre la señal y el ruido de fondo.

Aunque en el mercado existen muchos tipos de correderas Doppler, generalmente no son usados en la Armada, debido a:

- a. Su funcionamiento es muy pobre en mares agitados
- b. Está limitado a aguas poco profundas. Nuestro litoral se caracteriza por las altas profundidades
- c. Las estelas de los buques altera el normal funcionamiento de esta corredera.

Roberto Léniz Drápela

Fin Capítulo 13

Roberto Léniz Drápela