

“CORREDERAS”

Ref.:

- Admiralty Manual of Navigation BRd 45 (3) “Navigation Systems, Equipment & Instruments. (1996)
- “Navegación Plana” CC Sr. Marco Castro Caballero, Escuela Superior de Guerra Naval, Perú, 2013
- 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 e 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.

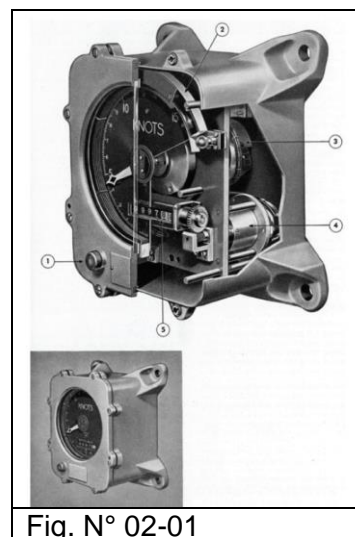


Fig. N° 02-01

B. Primeras Correderas

Las primeras correderas consistían en una cuerda con nudos, a intervalos regulares, unida en su extremo a una pieza de madera reforzada con plomo, para que al momento que sea lanzada al mar flotara; se lanzaba la madera por la popa al mar y una vez que se encontraba estable se iba soltando la cuerda que la sujetaba. Al momento de pasar uno de los nudos se iniciaba la cuenta por medio de un reloj de arena; al término del tiempo medido por el reloj de arena se contaban los nudos que habían pasado desde el inicio de la cuenta con lo que se determinaba la velocidad ($e = v \times t$). Este tipo de corredera es la llamada corredera de barquilla.

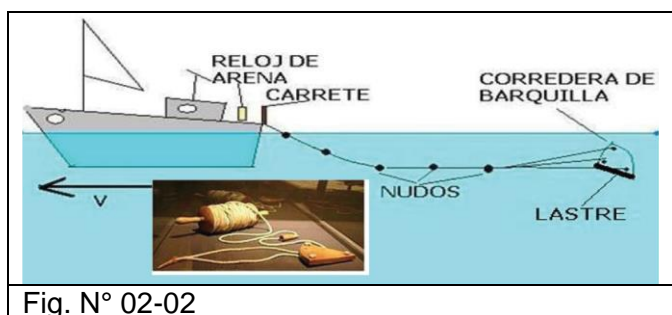


Fig. N° 02-02

Existía antiguamente una forma similar de medir la velocidad empleando la eslora de la embarcación en lugar del cabo con los nudos llamado corredera holandesa o de fortuna.

C. Corredera de coronamiento de patente

Es un instrumento que proporcionaba la distancia navegada. Consistía en una hélice que va sujeta a un cabo unido a un contador de revoluciones, hecho a base de engranajes. Entre la hélice y el contador se intercala un volante cuyo objeto es compensar las alteraciones momentáneas por medio de su inercia.

El principio de funcionamiento es que la embarcación al comenzar a desplazarse ocasionaría que la hélice de la corredera empiece a girar. Cada vuelta de la hélice debe representar la distancia navegada por la unidad; por eso, va unida por medio de un cabo a un indicador, el cual por medio de engranajes transforma las vueltas de la hélice en movimiento de las agujas del contador. Este contador, a veces, para facilitar su lectura, tiene repetidores eléctricos o electrónicos en el puente u otras estaciones del buque.

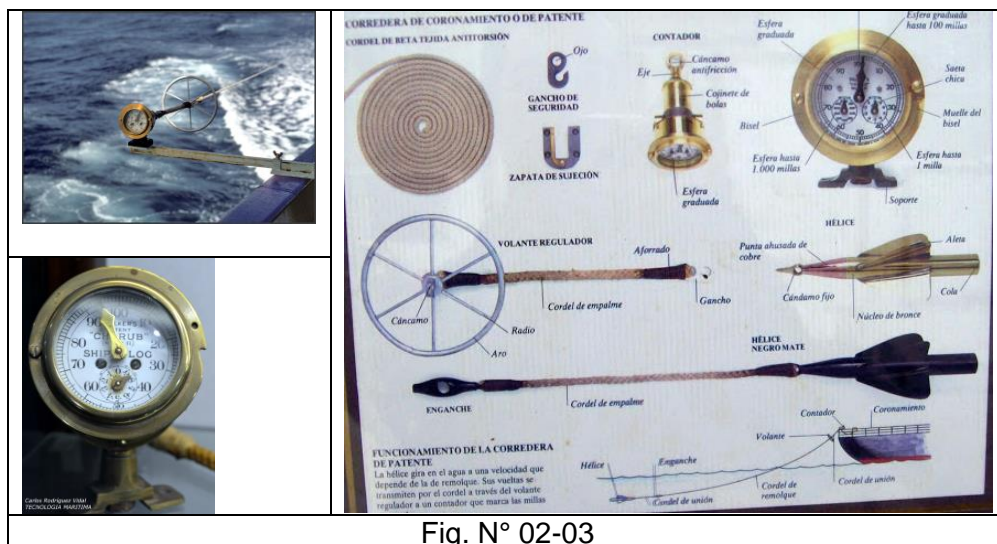


Fig. N° 02-03

D. Hélice fija al casco

Estas correderas van ubicadas en el fondo exterior del buque, cercano a la quilla y en la parte media, la cual va adherida al casco del buque.

Consiste una hélice colocada en un tubo tipo "espada", que sobresalía de la embarcación por más de un metro, con un orificio de admisión del agua hacia la proa y un orificio de expulsión hacia la popa; en su interior, se encuentra la hélice que al girar por el paso del agua ocasionaba el viraje de un eje, el cual va conectado a un magneto o generados eléctrico, que de acuerdo al voltaje generado era traducido por un indicador en la velocidad de la embarcación.

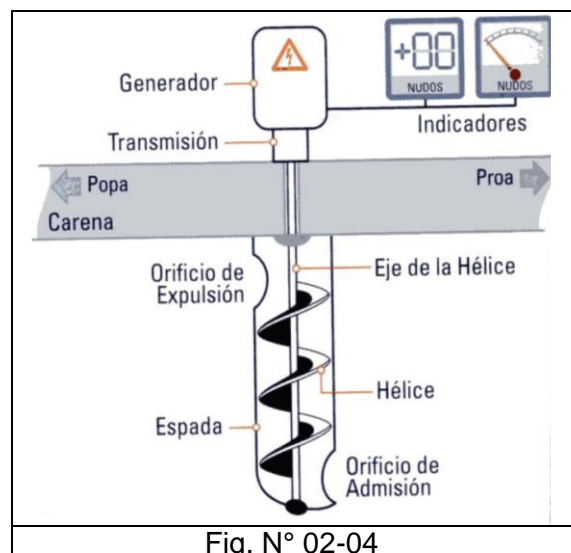


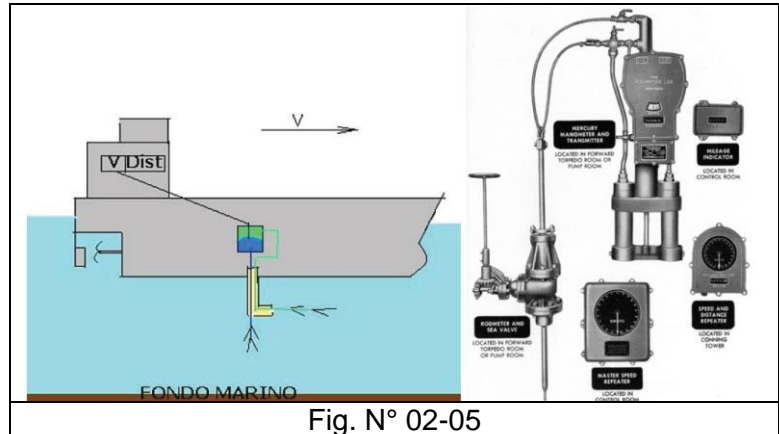
Fig. N° 02-04

E. Corredera a Presión Hidráulica

Indica la velocidad y la distancia recorrida de la embarcación. Se basa en la medición de la diferencia de presión hidráulica y consiste en un sable o tubo tipo pitot, que sobresale por debajo de la quilla y que tiene dos orificios, uno sometido a la presión dinámica del agua y otro a la presión hidrostática.

El receptor de presiones colocado próximo a los orificios mide la diferencia entre las presiones recibidas por ambos conductos y actúa sobre una excéntrica que, a su vez, actúa sobre una varilla que transmite, por medio de un

reóstato y un voltímetro, la velocidad del buque, instantánea y constantemente, a una escala graduada en nudos, la misma que a su vez, por medio de un indicador integrador de la velocidad y el tiempo, nos señala la distancia recorrida.



F. Corredera electromagnética

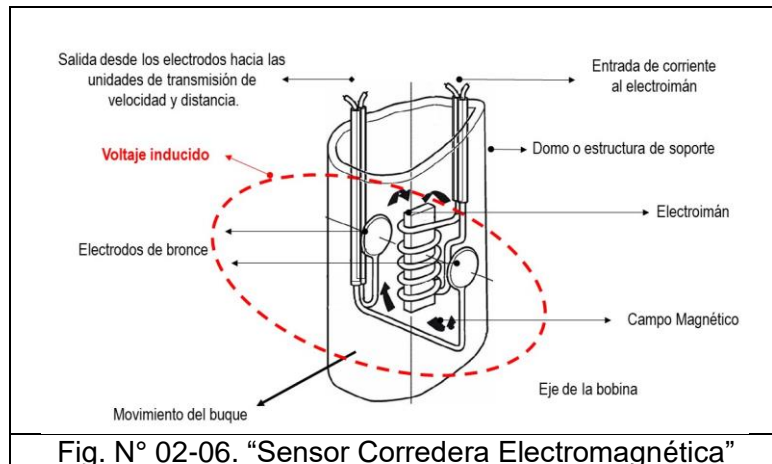
La corredera electromagnética aparece en la década del 1960.

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.

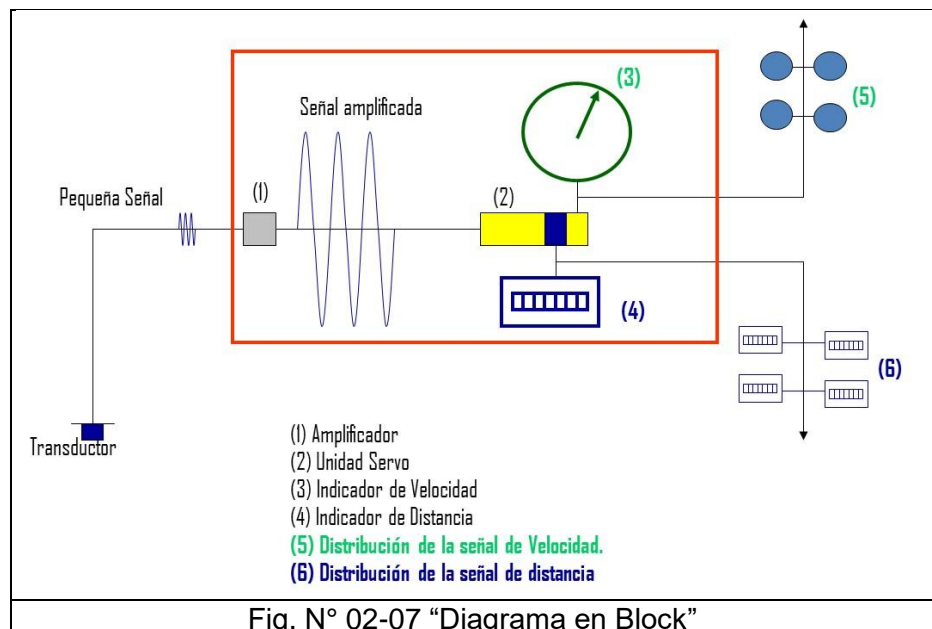
Este arreglo es montado el casco de la nave en un bulbo, o como una espada retráctil. ver Fig. N° 02-06.

Un 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 requiere pruebas especiales de estanqueidad, entre la espada y la válvula de fondo.



2. Descripción general

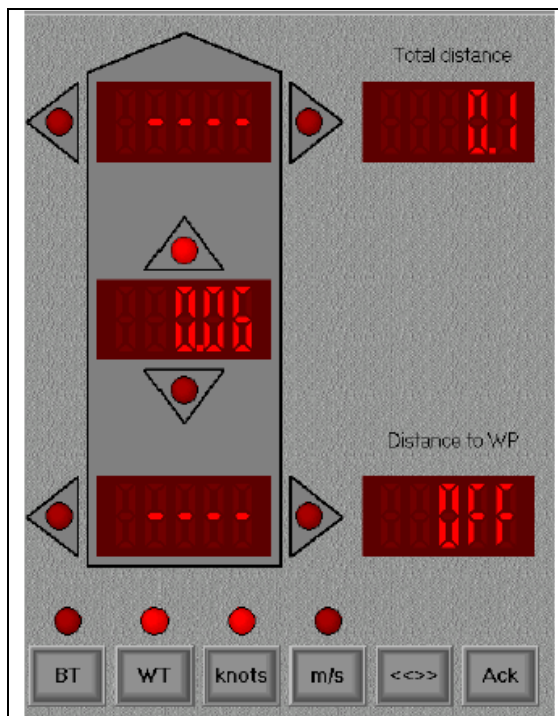
Un sensor fijo (Fig. N° 02-06), sobresale algunos centímetros del casco. El voltaje generado en los electrodos es transmitido a la Unidad de Velocidad y la Unidad de Transmisor de Distancia (SDTU), para ser convertido en velocidad y distancia. Este voltaje generado es aproximadamente 400 microvoltios (400 μ V) por nudo. Un diagrama de bloque de un sistema típico se muestra en la Fig. N° 02-07 la interconexión del sensor, el SDTU, las Unidades de Nueva transmisión (RTUs) e indicadores de distancia.



El 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. La unidad 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.

Los indicadores de velocidad y de distancia, reciben la señal, entregando la indicación visual de la velocidad del buque en nudos (0-40) y la distancia a través del agua en millas. Estos indicadores están distribuidos a lo largo en muchas partes del buque como el puente, camarote del Capitán, púlpito, 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.

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.



En la Fig. N° 02-08 se muestra la reproducción del panel de control de la corredera del simulador Transas NTPro 5000. En la imagen se destaca:

- BT = Velocidad respecto al fondo
- WT = Velocidad respecto al agua
- knots = Velocidad ajustada en nudos
- Total distance = Distancia recorrida



La exactitud de la corredera adecuadamente calibrada, debería tener aproximadamente la siguiente exactitud:

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

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.

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.

$$E_c = ((D_v - D_c) \times 100) / D_c$$

$$E_c = ((V_v - V_c) \times 100) / V_c$$

- 2) El **coeficiente de corredera** está dado por la siguiente fórmula:

$$C_c = D_v / D_c$$

$$C_c = V_v / V_c$$

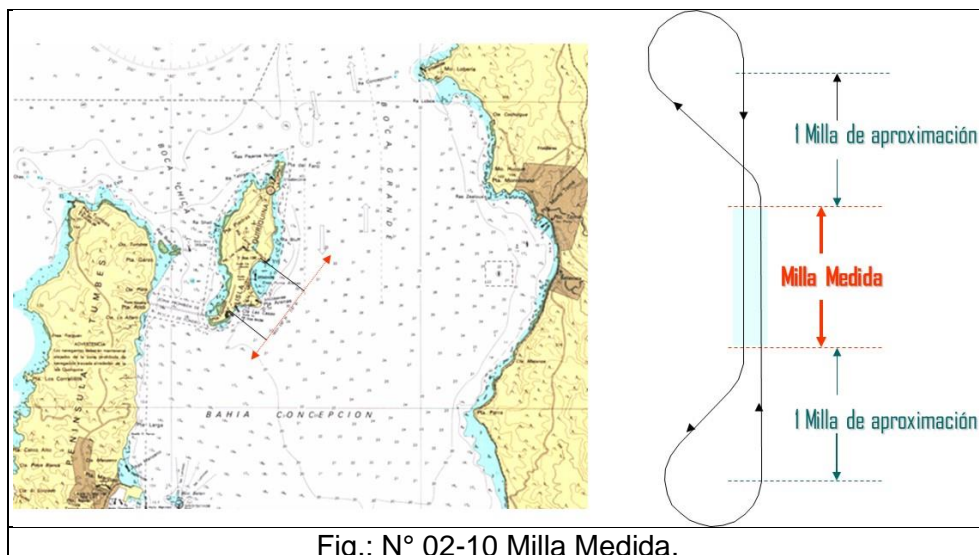
- 3) La velocidad de la corredera se expresa en nudos y la distancia se expresa en millas.
- 4) La corredera debe ser calibrar a lo menos en las siguientes circunstancias:
 - Cuando se instala por primera vez
 - Después de un reacondicionamiento si la estructura o forma del casco fue alterada.
 - Al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

- 5) **Procedimiento de calibración**

Para calibrar la corredera se debe calcular la velocidad navegada según la corredera (V_c) y, en segundo lugar, calcular la velocidad verdadera (V_v). Esto requiere un mínimo de dos y un máximo de cuatro "patas" en la milla medida, a varias velocidades, ver Fig.: N° 02-10. La comparación entre la velocidad de la corredera y la verdadera dará el % de error. Para calibrar la corredera se debe navegar a varias velocidades, 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 corredera debería ajustarse de la siguiente manera:
 - 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.
 - Ajustar todos los controles de velocidad a cero.
- e. Para calibrar la corredera se debe asegurar que la nave se encuentre en condiciones normales de navegación, especialmente en lo relacionado con pesos y elementos sumergidos.



- f. Se realizan una serie de corridas a velocidades diferentes en una distancia fija (normalmente una milla (milla medida). (Ver Fig.: N° 02-10). 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 nudos hasta la máxima velocidad.
- g. Algunas correderas sólo pueden ser ajustadas a una velocidad, sin embargo, las corridas se harán a varias velocidades, objeto determinar dichos errores y ajustarlos manualmente.
- h. Cuando la corriente de marea es insignificante, o es asumida constante, basta con hacer 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 una 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.
 - (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.

6) 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 corredera 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.

7) 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:

$$C = 100 \times \left(\frac{Vv_1 + Vv_2}{Vc_1 + Vc_2} - 1 \right)$$

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

$$Ec = 100 \times \left(\frac{Vv_1 + 3 \times Vv_2 + 3 \times Vv_3 + Vv_4}{Vc_1 + 3 \times Vc_2 + 3 \times Vc_3 + Vc_4} - 1 \right)$$

Ec = Error de la corredera (en %).

Vv₁, Vv₂, Vv₃, Vv₄ = Velocidad verdadera en las corridas 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

Vc₁, Vc₂, Vc₃, Vc₄ = Velocidad de la corredera en las corridas 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

La velocidad verdadera es calculada con la siguiente fórmula:

$$Velocidad = \left(\frac{Vv_1 + 3 \times Vv_2 + 3 \times Vv_3 + Vv_4}{8} \right)$$

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
T ₁ = 3 minutos 38 segundos	T ₂ = 4 minutos 00 segundos
Vc ₁ = 14.8987 = 14.9 nudos	Vc ₂ = 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.

Velocidad Verdadera 1 = Vv₁ = D/T = 1 (milla) / 218 (seg)
= 0.0045871559 millas / seg = 15,5 nudos

Velocidad Verdadera 2 = Vv₂ = D/T = 1 (milla) / 240 (seg)
= 0.0041666667 millas / seg = 15,0 nudos

De la fórmula: $Ec = 100 \times \left(\frac{Vv_1 + Vv_2}{Vc_1 + Vc_2} - 1 \right)$

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

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

Las lecturas de la corredera deberían 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.

8) **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%.

9) **Aplicación de las correcciones**

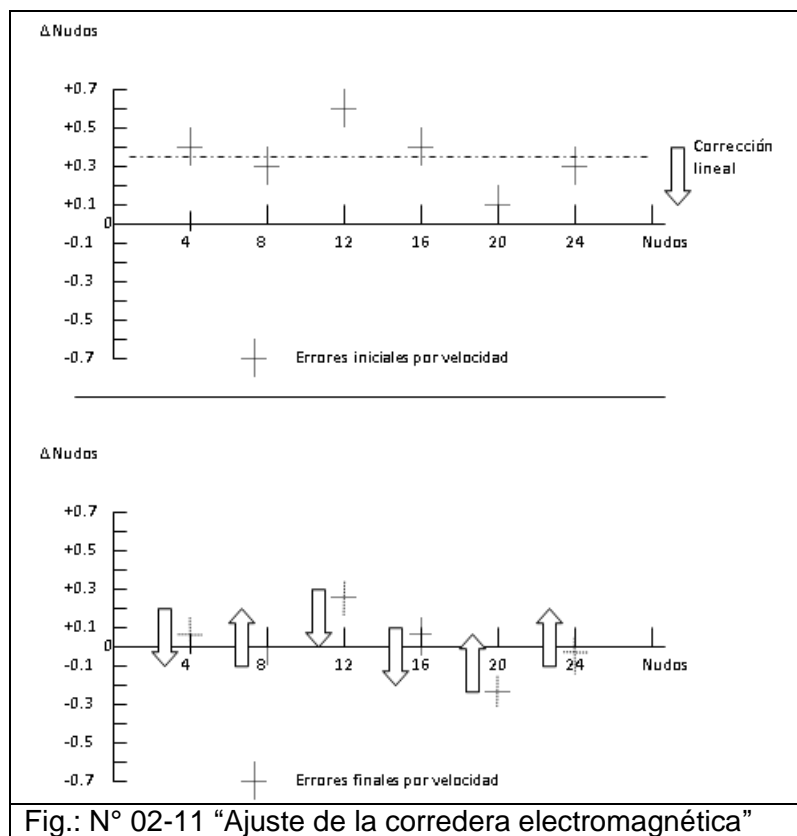
Las correcciones son aplicadas a los ajustes de a la corredera como lo establece cada manual técnico.

A modo de ejemplo. Ver Fig. 6.

- a. Inicialmente se colocan en cero los potenciómetros de ajuste por velocidad por ejemplo en 4, 8, 12, 16, 24.
- b. Se calculan los % de errores por velocidad.
- c. Se determina un valor promedio de error.
- d. Se ajusta el valor promedio.
- e. Se calcula la diferencia entre el valor promedio y el valor calculado por velocidad.
- f. Se ajustan los potenciómetros individualmente.
- g. 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		



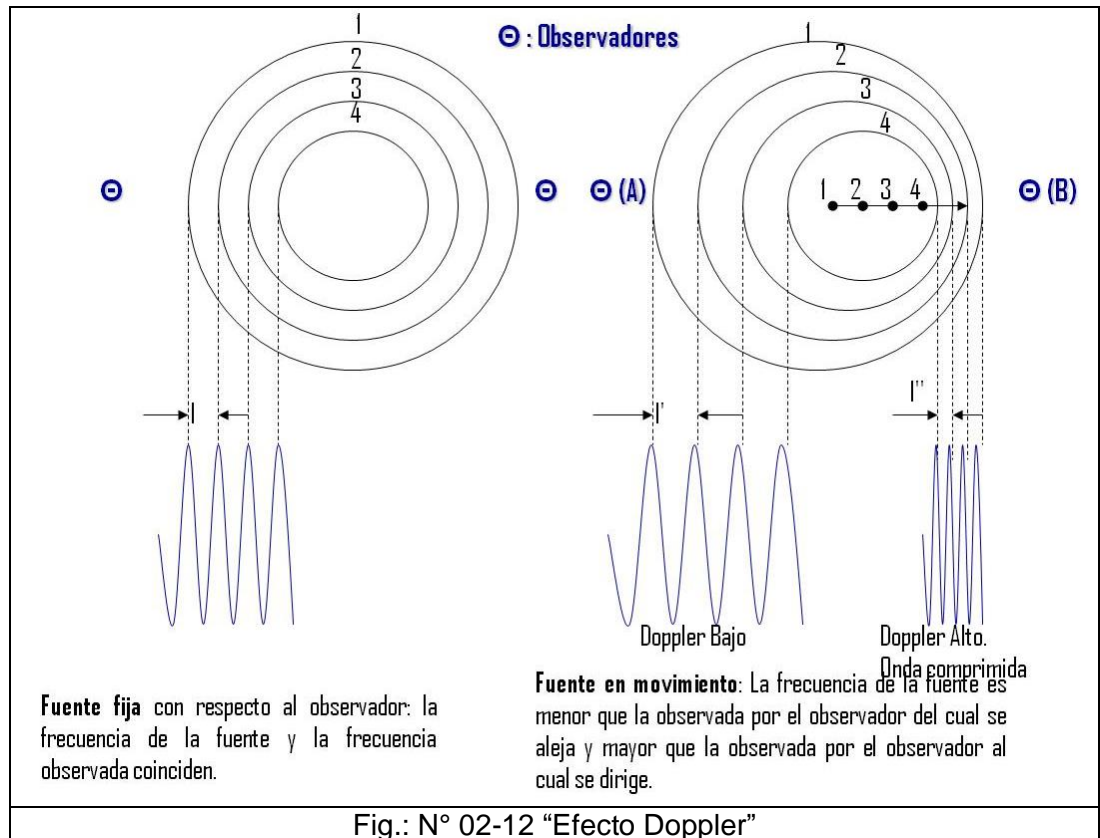
G. Corredera Doppler

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 donde se aleja.



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.: N° 02-13. Siendo la velocidad de desplazamiento del buque es "V". " ∇F " es la variación de la señal recibida (diferencia de frecuencia) por los transductores (Señal Doppler):

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

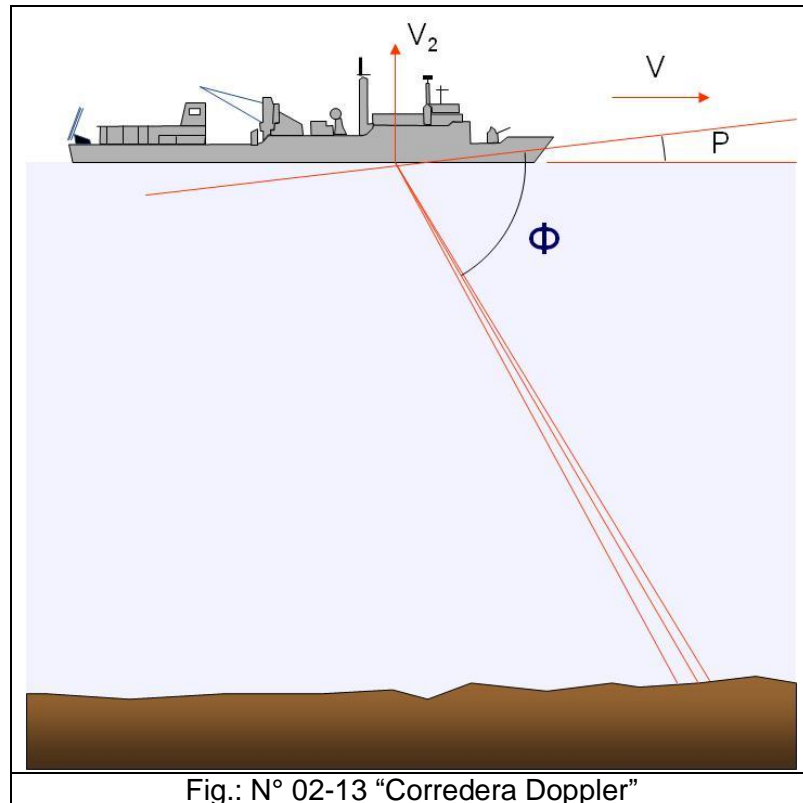
Donde F_0 es la frecuencia transmitida y C es la velocidad de sonido en el agua. La función de la corredera Doppler esta medida por F_0 , C y Φ que son parámetros conocidos. Por lo tanto, es posible calcular la velocidad verdadera (respecto a la tierra) V, que está directamente proporcional a la variación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

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

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).

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

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



3. 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 la 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.

4. Limitaciones

Los ecos de la corredera Doppler reflejados del fondo normalmente son débiles, no sólo por la pérdida de propagación de un 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.

Se debe considerar los siguientes aspectos técnicos de esta corredera.

- Su funcionamiento es muy pobre en mares agitados
- Normalmente están limitado hasta un máximo de 200 metros y hasta un mínimo de 3 metros. En su reemplazo se debe utilizar una corredera del tipo electromagnética y el GPS.
- Algunas correderas Doppler más modernas, permiten usar como referencia Doppler las capas de aguas, lo cual permite medir la velocidad del buque a mas de 200 metros de profundidad.
- Las estelas de los buques alteran el normal funcionamiento de esta corredera.

