

APUNTES DE INSTRUMENTAL DE NAVEGACIÓN

**Autor:
PC Roberto Léniz Drápela
2017**

INDICE

A. INTRODUCCIÓN	.....	3
B. CORREDERA	.....	3
C. ESCANDALLO	.....	11
D. ECOSONDA	.....	12
E. ANEMOMETRO	.....	16
F. GPS	.....	18
G. AIS, AIS ATON	.....	24
H. RACON	.....	27
I. RADAR	.....	28

APUNTES DE INSTRUMENTAL DE NAVEGACIÓN

Ref. :

- a) Pub. SHOA N° 3030 Capítulos 8, 18 y 19, "Manual de Navegación", ed. 2012.
- b) Pub. SHOA N° 3008 Capítulo VII, Radio Ayudas a la Navegación", ed. 2010.
- c) Admiralty Manual of Navigation BR 45 (3) "Navigation Systems, Equipment & Instruments", Ed. 1996.
- d) Apuntes de PC Roberto Léniz Drápela.

A.- INSTRODUCCIÓN

Estos apuntes de "Instrumental de Navegación", contienen aspectos generales orientados principalmente a la descripción y el funcionamiento conceptual de la corredera, el ecosonda, anemómetros, GPS, radar, AIS, racon, conceptos que serán de gran utilidad para comprender los manuales técnicos que tratan en detalle estas materias, es decir, en ningún caso pretende reemplazar a los manuales o publicaciones que tratan sobre la materia.

B.- CORREDERA

1.- 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 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.

Unas de las primeras correderas fueron la Pitometer y la Chernikeeff que operaban de la siguiente manera:

- **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 irán aumentando con la velocidad del buque.
- **Corredera Chernikeeff:** El sensor consiste en 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.

2.- Corredera electromagnética

La corredera electromagnética aparece en la década del sesenta para reemplazar a las correderas Pitometer y Chernikeeff, que eran usadas en la Armada.

a. 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 (Figura A. 1), o como una espada retráctil.

Un sensor fijo es más exacto que un sensor retráctil, llamado espada, ya que 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 barcazas y embarcaciones menores. El sensor retráctil requiere pruebas especiales de estanqueidad, entre la espada y la válvula de fondo.

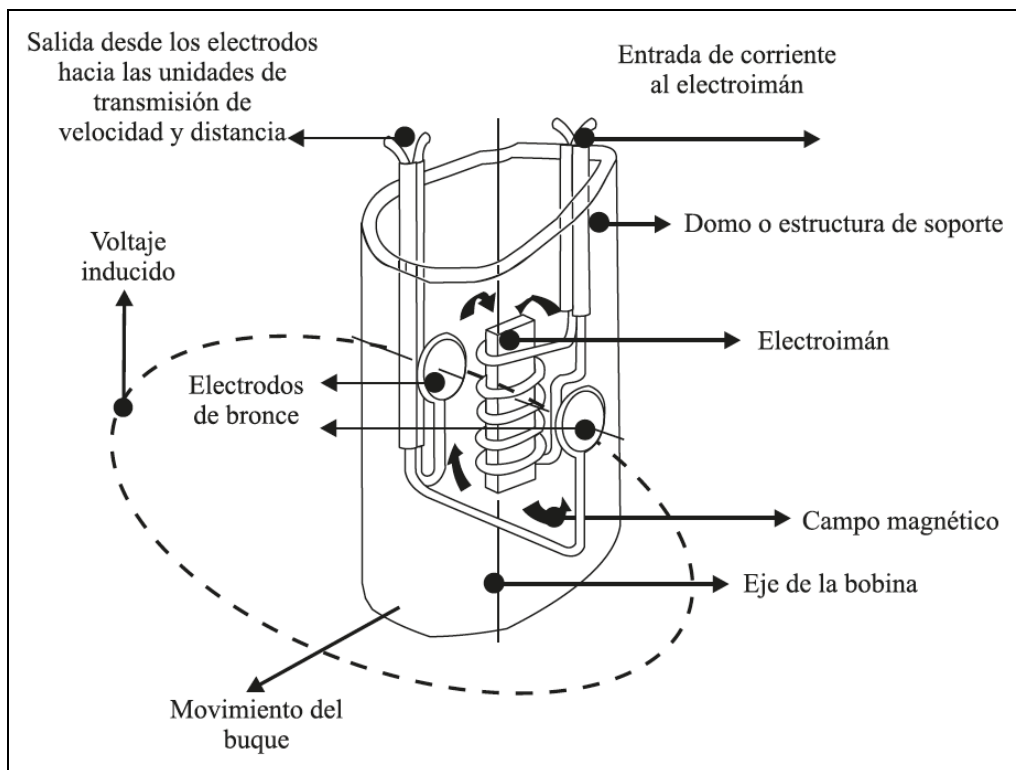
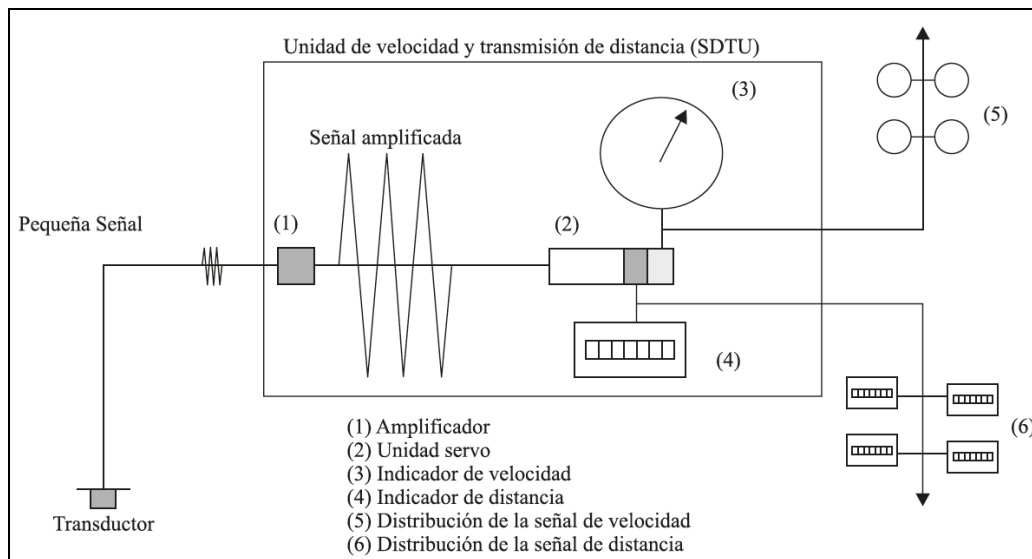
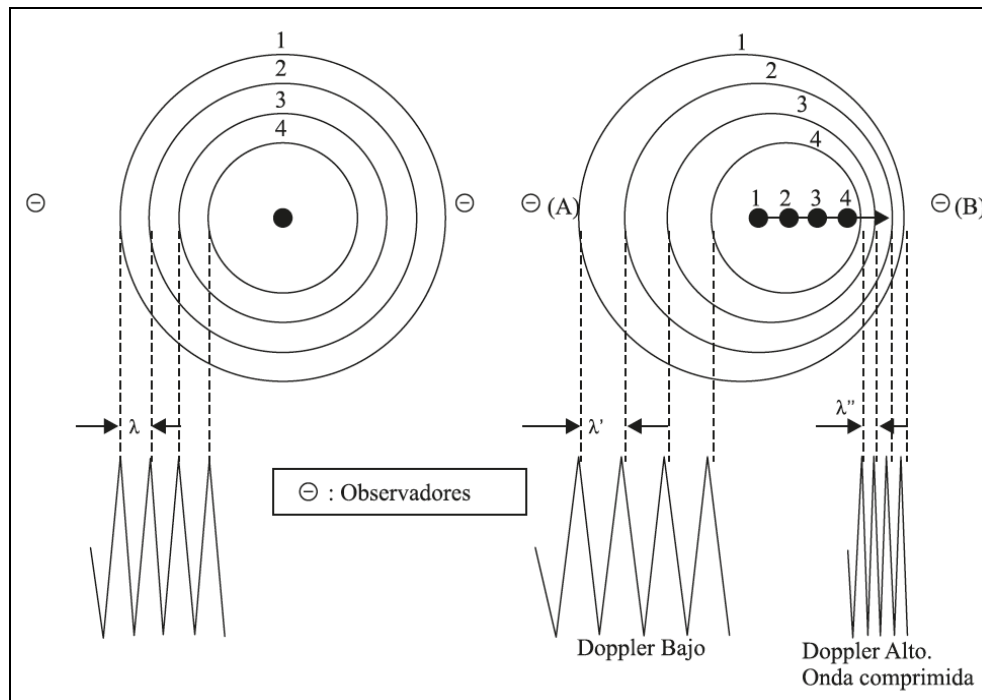


Fig. A.1. Sensor de la corredera electromagnética**Fig. A.2. Diagrama de bloque de un sistema típico****b. Descripción general**

Un sensor fijo 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 ($400 \mu\text{V}$) por nudo. Un diagrama de bloque de un sistema típico muestra (Figura 8.5) la interconexión del sensor, el SDTU, las unidades de nueva transmisión (RTUs) e indicadores de distancia.

- **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 (Figura A.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.
- **Unidades de retransmisión (RTU).** La unidad servo de velocidad en el SDTU también tiene dos sincrotransmisores y un potenciómetro de distancia. La velocidad de la nave es tomada de uno de los sincrotransmisores 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.

- **Indicadores de velocidad y de distancia.** Los indicadores de velocidad y de distancia 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 o capitán, 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.
- c. **Exactitud de la corredera:** Se ha de partir del supuesto que la corredera está bien ubicada y adecuadamente calibrada, debiendo tener aproximadamente la siguiente exactitud:
- | | |
|----------------|------------------|
| 0-3 nudos | : $\pm 0,1$ nudo |
| 3-10 nudos | : $\pm 0,2$ nudo |
| Sobre 10 nudos | : $\pm 2\%$ |



Fuente fija con respecto al observador:
La frecuencia de la fuente y la frecuencia observada coinciden.

Fuente en movimiento: La frecuencia de la fuente es menor que la observada por el observador del cual se aleja y mayor que la observada por el observador al cual se dirige.

Figura A.3. "Efecto Doppler"

3.- Corredera Doppler

a. 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, provoca que la frecuencia de la onda “se acorte” en la dirección hacia adonde se está moviendo y “se alargue” en el sentido contrario. De esta manera, el tono del sonido cambia haciéndose más alto en la dirección hacia donde el origen de la onda se acerca y de tono bajo hacia adonde se aleja.

b. 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 figura A.4.. Siendo la velocidad de desplazamiento del buque “V”, “ ΔF ” es la variación de la señal recibida (diferencia de frecuencia) por los transductores (señal Doppler):

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

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

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

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

$$V = \frac{1500 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1(\text{kHz})}{2 \times 300 (\text{kHz}) \times \cos 60}$$

$$V = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 9,72 \text{ (nudos)}$$

c. Requerimientos para la corredera Doppler

El cabeceo del buque (P) y la componente vertical de movimiento (V_2), 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 que emplee dos o cuatro haces verticales, a proa, a popa, banda de estribor y banda de babor, uno frente a otro.

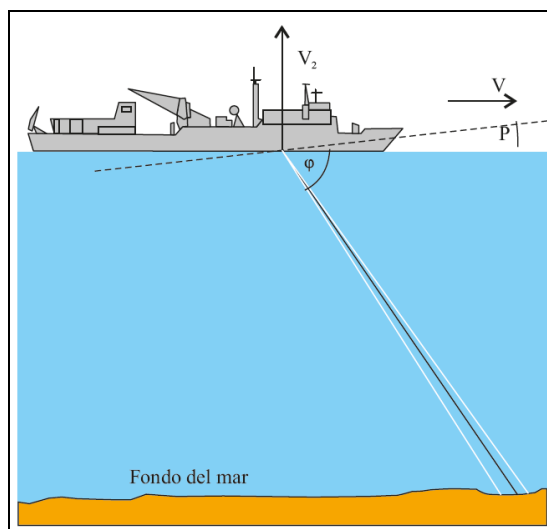


Fig. A.4. Efecto Doppler.

d. Limitaciones

Los ecos de la corredera Doppler reflejados del fondo, normalmente, son débiles, no solamente 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, solamente se recibe una pequeña proporción de la energía total transmitida.

Esto quiere decir que la corredera Doppler solamente puede ser usada en profundidades relativamente bajas. En condiciones ideales, esta corredera debería ser capaz de detectar el movimiento del buque respecto al fondo del mar con una exactitud de $\pm 0,1$ nudo (0,05 m/s), 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 con objeto de 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:

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

4.- Coeficiente y Error de la Corredera por la milla medida

Al coeficiente y error de la corredera calculados por este método se los conoce con el adjetivo de “verdaderos”, por ser el único que considera el factor corriente, que pueda estar presente en la cancha de Figura A.5.

Al existir una mínima corriente de marea, se puede asumir que es constante, por lo cual será necesario realizar solamente dos corridas.

Para el cálculo de los factores señalados se considera que:

- La nave siempre tenga un andar constante.
- La corriente que pueda afectarla también sea constante, tanto en dirección como en intensidad.
- Las condiciones del medio ambiente sean estables.
- La corredera se encuentre funcionando normalmente.

En relación al primer punto, se recomienda prolongar por 5 minutos la navegación al término de cada corrida y emplear la caña con más de 15°, con el propósito de no provocar alteraciones a la velocidad.

Operaciones a efectuar en cada corrida y posteriormente:

- En cada corrida se determinará una velocidad verdadera (V_v) y una velocidad corredera (V_c);
- Luego, se calculará la V_v media y la V_c media;
- Con los datos obtenidos se aplicarán las siguientes fórmulas para calcular el Coeficiente y el Error de la Corredera.

Coeficiente de la Corredera	$= \frac{V_v}{V_c}$
Error de la Corredera	$= \frac{(V_v - V_c)}{V_c} \times 100$

Ejemplo:

Se efectuaron dos pasadas ida y vuelta por la milla medida obteniéndose los siguientes datos:

Ida	: $Dc_1 = 1',2$	$t_1 = 246$ s
Vuelta	: $Dc_2 = 0',9$	$t_2 = 207$ s

Donde : $V = \frac{D}{t}$

V = Velocidad
D = Distancia
t = Tiempo
m = Medida promedio

$$Vv_1 = \frac{1 \times 3600}{246} = 14,6341 \text{ nudos}$$

$$Vv_2 = \frac{1 \times 3600}{207} = 17,3913 \text{ nudos}$$

$$Vv_1 + Vv_2 = 32,0254 \text{ nudos}$$

$$Vv_m = 16,0127 \text{ nudos}$$

$$Vc_1 = \frac{1,2 \times 3600}{246} = 17,5609 \text{ nudos}$$

$$Vc_2 = \frac{0,9 \times 3600}{207} = 15,6521 \text{ nudos}$$

$$Vc_1 + Vc_2 = 33,2130 \text{ nudos}$$

$$Vc_m = 16,6065 \text{ nudos}$$

$$\text{Coef. corr} = \frac{16,0127}{16,6065} \text{ nudos}$$

$$\text{Coef. corr} = 0,9642$$

Nota: La fórmula del Error de la Corredera proviene del razonamiento: "Si la distancia corredera (Dc) tuvo una diferencia $Dv - Dc$, en 100' tendrá "X".

$$\text{si: } Dc \text{ ---- } Dv - Dc$$

$$\text{en: } 100' \text{ ---- } X$$

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

$$\text{Error corredera} = X = \frac{(Dv - Dc)}{Dc} \times 100$$

Dividiendo "Dv" y "Dc" por "t" (D/T) se obtiene:

$$\text{Error corredera} = \frac{(Vv_m - Vc_m)}{Vc_m} \times 100$$

$$\text{Error corr} = \frac{16,0127 - 16,6065}{16,6065} \times 100$$

$$\text{Error corr} = -3,5757\%$$

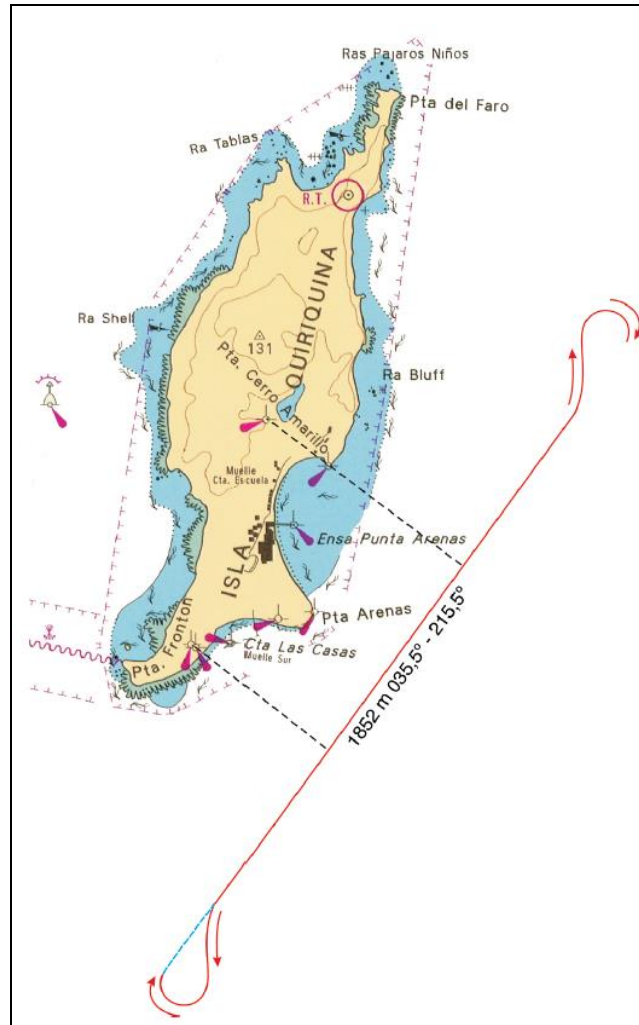


Figura A.5. Cancha de prueba “milla medida”, en la bahía de Concepción, Chile

C.- EL ESCANDALLO

El escandallo puede ser considerado como uno de los más antiguos dispositivos empleados por los navegantes y que aún continúa manteniéndose a bordo de las naves, a pesar de la variedad de equipos de ecosondas existentes hoy en día.

Su uso está circunscrito en la actualidad para comprobar la presencia de bajos denunciados y la calidad del fondo en determinados fondeaderos o áreas de interés, a bordo de embarcaciones menores y, para verificar, con la nave con sus máquinas detenidas, la bondad de las indicaciones que entrega el ecosonda, en bajas profundidades. También se utiliza para determinar diagrama de profundidades reales y precisas en torno al casco u otro objeto, muy útil para planificar maniobras de desvaradas o movimientos en aguas someras.

D.- EL ECOSONDA

El ecosonda es el instrumento que permite medir la profundidad del agua por medio del tiempo que demoran las ondas sonoras o ultrasonoras en recorrer el espacio ida y vuelta entre el casco de la nave y el fondo del mar. Como la velocidad del sonido en el agua de mar es conocida (4920 pies/s o 1500 m/s), el intervalo entre la transmisión y recepción de la señal es proporcional a la profundidad del agua, por lo tanto, podrá ser fácilmente calculada.

La profundidad se mide empleando la fórmula $D = (V \times T)/2$ en que D es la profundidad, V la velocidad del sonido en el agua y T el tiempo que demora la onda de sonido en regresar.

Normalmente, los transductores se encuentran instalados en la proximidad de la quilla y en una posición tal, que posibles vibraciones, cavitación, los ruidos de la máquina o de la hélice no les produzcan interferencias. Los principales factores que influyen en la medición de la profundidad son:

- 1.- **Ubicación de los transductores:** Los elementos sensibles del ecosonda lo constituyen sus transductores, uno para transmitir la señal y otro para recibir su eco. Estos elementos, van en el casco de la nave, uno a cada lado de la quilla, están compuestos por osciladores, ya sea de cristales de cuarzo o de material ferromagnético, capaces de transformar señales eléctricas o magnéticas en señales mecánicas vibratorias como también, señales vibratorias en eléctricas.
- 2.- **Velocidad del sonido:** En relación a la velocidad del sonido en el mar, podemos señalar que está sujeta a variaciones de la temperatura, salinidad y presión o profundidad del agua; pero para efectos prácticos de navegación, se ha considerado constante a la velocidad media que ya se ha señalado, de 4.920 pies/s o 1.500 m/s, la cual es la velocidad con la cual vienen graduados los equipos.
- 3.- **Frecuencia de transductor:** El transductor irradia la energía en un lóbulo sonoro en forma de cono y cuya amplitud depende de la frecuencia y del transductor empleado. Se estima que solamente el 50% de esta energía llega al fondo, ya que del lóbulo principal se desprenden, desde su nacimiento, lóbulos laterales que se diseminan en otras direcciones; los cuales, a su vez, pueden producir ecos en presencia de algas, peces, etc., próximos al transductor.

En relación a las frecuencias, conviene agregar que las bajas frecuencias penetran bastante más en el agua que las altas frecuencias. Por otra parte, su resolución es baja a una determinada profundidad en comparación con la de una señal de alta frecuencia a esa misma profundidad, la cual es muy superior.

La amplitud del lóbulo, en presencia de un fondo irregular, influye en las señales recibidas en el ecograma mostrando una topografía submarina que no corresponde a la real morfología de la misma, la inclinación de los taludes vienen acentuados, la cima de las montañas o dorsales poco claras y los fondos de los cañones submarinos o fracturas, pueden no ser detectados.

Los ecosondas modernos pueden trabajar con frecuencias bajas de 30 kHz o con frecuencias altas del orden de los 200 kHz con el fin de contar con las ventajas que cada una posee.

4.- **Registro gráfico:** Para la visualización de las sondas, los ecosondas cuentan con un registrador gráfico de las mismas denominado inscriptor y con uno o más indicadores digitales, normalmente conectados a un sistema de alarma, que actuará al detectar una sonda menor que la sonda de seguridad establecida para la nave.

- **Empleo de escala:** Esta deberá colocarse en una profundidad un poco mayor a la cual se va navegando, procediendo a cambiarla paulatinamente a medida que vaya variando, tratando que los ecos se encuentren siempre en la parte más baja del ecograma. En el caso que la profundidad efectiva sea superior a la escala seleccionada, aparecerá en el ecograma una falsa indicación de la profundidad o ninguna, por cuanto se produce una asincronía entre el eco de regreso y el pulso que finalmente conduce el registro en el equipo.

Otro tipo de problema que puede surgir con los ecos múltiples se produce cuando el instrumento ha sido graduado a una excesiva profundidad con respecto a la real. Este puede provocar que no aparezca el primer eco, sino que el segundo o tercero, con el consiguiente riesgo de confundirlos como el primero.

- **Empleo de la ganancia:** La operación de este control debe ser efectuada con sumo cuidado por cuanto una ganancia muy alta puede provocar un alargamiento de la señal de partida, lo cual, junto con inscribirla además con mayor intensidad, puede enmascarar ecos de retorno próximos al casco de la nave o bien puede provocar el fenómeno de ecos múltiples. Lo anterior, se produce cuando la profundidad es relativamente baja y el fondo posee características altas de reflexión (roca, cascajo, arena). En estas condiciones, el eco puede rebotar repetidamente en el casco de la nave, produciendo en el ecograma ecos al doble o al triple de la profundidad real, lo cual puede crear dudas en la interpretación del ecograma.

Debido a que los ecos múltiples están bastante más atenuados que el eco original, pueden ser fácilmente eliminados reduciendo la ganancia, la cual por otra parte, no debe reducirse tanto, como para producir la desaparición del eco. La ganancia debe graduarse en una forma tal que la señal del eco sea justamente visible.

5.- **Factores externos:** Existen factores externos que pueden influir en las señales de eco recibidas por el equipo, los cuales conviene conocer.

a) Ecos falsos a baja profundidad, por:

- Irregularidades del fondo o banco de peces.
- Capas densas de zoo y fitoplancton o sargazos.
- Pronunciados cambios de temperatura y salinidad del mar.
- Sugerecias submarinas o fenómenos volcánicos.

b) Ecos débiles por:

- Interferencias por ruidos de agua, debido a:
 - Forma y estado del casco.
 - Velocidad de la nave.
 - Ubicación incorrecta de los transductores.
 - Condiciones del mar y/o atmosféricas.
- Aereación (burbujas de aire en el agua) debido a:
 - Una cerrada de caña.
 - Flujo de agua al dar atrás, seguir aguas a otra nave.
 - Posible encabuzamiento.
- Ecos variables.

Buenas y malas superficies reflectoras del suelo marino pueden ocasionar considerables variaciones en la intensidad del eco. En general, rocas, corales, arena dura, son buenos; fango grueso, malo.

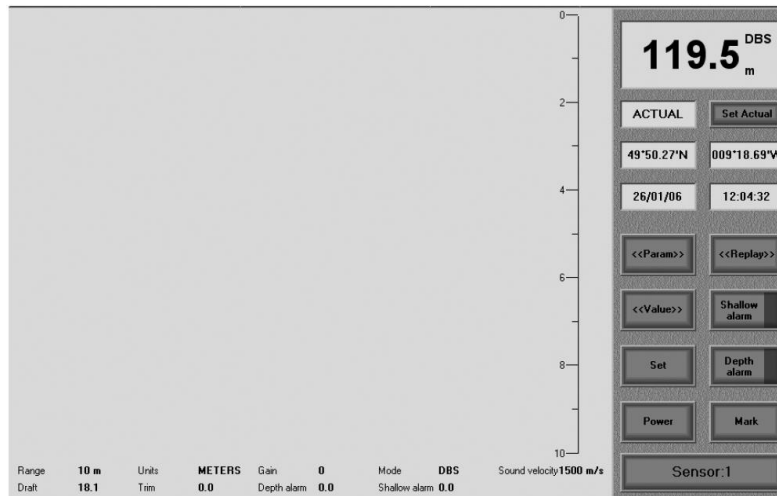
El ecosonda de normal uso a bordo es el de haz sonoro único o monohaz, que emite señales sónicas directamente hacia el fondo, que es el que se ha descrito.

Sin embargo, algunas naves cuentan con ecosondas más avanzados que proveen mayor seguridad a la navegación o precisión y recubrimiento para fines de levantamientos batimétricos o exploratorios.

- Los ecosondas monohaz de transductor dirijible permiten obtener profundidades en direcciones diferentes a la vertical de la nave. Estos son de gran utilidad para la seguridad de la nave cuando se dirigen hacia proa, obteniendo información de la profundidad en forma adelantada.
- Los ecosondas multihaz que transmiten en varias direcciones simultáneamente y permiten un mayor recubrimiento del fondo marino, hacia los costados de la vertical de la nave. Estos son de gran utilidad para los levantamientos hidrográficos y batimétricos.

6.- Ecosonda del simulador de navegación.

El ecosonda del simulador entrega la profundidad desde la quilla, o desde el transductor o desde la superficie según como sea ajustado. Se divide en dos partes: Área display / gráfica y sector control con los respectivos indicadores.



a) Incendido

- Botón “Power”
Para encender bastará con apretar botón Power y dejarlo en On. Asumirá, los parámetros de ajuste al momento de haberlo apagado

b) Controles e indicadores.

Se encuentran ubicados a costado derecho del panel.

- Controles de ajuste:
 - “Param” : Selección el parámetro que se desea modificar.
 - “Value” : Aumenta o disminuye el valor del parámetros seleccionado.
 - “Set” : Confirma el valor del parámetro seleccionado.
- Indicadores
 - Profundidad indicando unidad de medida y plano de referencia.
 - Modo de operación del ecosonda (“ACTUAL” o “REPLAY”).
 - Posición de la nave (Lat y Long)
 - Fecha y hora.
 - Mark: Hace una marca vertical en el panel del inscriptor.
 - Indicadores de alarmas: Se enciende una marca roja cuando se activan las alarmas (Shallow alarm o Depth alarma).
 - Sensor 1 o 2: Selecciona el sensor deseado (1 o 2) del ecosonda.

c) Modos de operación:

- Actual and Replay.
 - “Actual”: Profundidad en tiempo real. Se activa con botón “Set Actual”.
 - “Replay”: Queda fija la profundidad del momento. Se activa con el botón Replay (>>o<<)

d) Modificación de parámetros

- “Range” (escala) (10 m, 50 m, 250 m, 500 m, 2000 m);
- “Units” (Unidades de medida) (meters, feet, fathoms);

- “Gain” (ganancia inscriptor) (0, 1, 2,...10);
- “Mode” (DBK, DBT, DBS);
 - DBK = Agua bajo la quilla.
 - DBT = Agua bajo el transductor del ecosonda.
 - DBS = Profundidad desde la superficie has el fondo
- “Sound velocity”: (Velocidad del sonido en el agua) (1400...1700 m/s);
- “Draft” (Calado): (0...10 units);
- “Trim” (DistaNcia entre tranductor y la quilla): (0...5 units);
- “Depth alarm” (alarma de profundidad) (OFF or value); Se active cuando la profundidad ecosonda es mayor que la profunidad de esta alarma.
- “Shallow alarm” (alarma de agua superficial)(OFF or value). Se activa cuando la profundidad ecosonda es menor que esta alarma.

Para modificar estos parámetros se activa el botón “PARAM”, se selecciona con >> o <<. Luego con “Value” se insertar el valor y luego “Set”

E.- EL ANEMÓMETRO

El anemómetro es un instrumento utilizado para medir la dirección e intensidad del viento, empleando para ello una veleta para medir la dirección y un pequeño generador impulsado por unas aspas para medir la intensidad.

1.- Conceptos previos

- **Viento verdadero:** Es la dirección e intensidad del viento referido a la tierra. A modo de ejemplo correspondería a las mediciones efectuados en tierra, en que la dirección está referida al norte verdadero.
- **Viento relativo:** Es la velocidad e intensidad del viento con relación a la proa del buque cuando está en movimiento.
- **Viento aparente:** Es la velocidad e intensidad del viento con relación al norte verdadero cuando el buque está en movimiento.

2.- Problemas para medir la velocidad y dirección del viento

A bordo de un buque se presentan las siguientes dificultades:

- Al estar fondeado, es decir, sin movimiento, la intensidad del viento se puede medir directamente; sin embargo, la dirección del viento está referida normalmente a la proa del buque, por lo tanto dicha dirección es relativa. Para calcular la dirección verdadera, bastará con sumar la proa del buque.
- Cuando el buque está en movimiento, tanto la intensidad como la dirección del viento serán relativas a la proa del buque.

3.- Descripción del anemómetro

El anemómetro posee una o dos unidades detectoras o veletas, las cuales tienen un peso aproximado de 5 kilos, que se instalan en lugares despejados, permitiendo así un mejor resultado en la indicación de vientos turbulentos.

Los componentes del sistema son:

- **Unidades detectoras o veletas combinadas:** Esta unidad está compuesta de un sincrotransmisor, que está ubicado en la veleta (dirección) y un generador de inducción, cuyo rotor está girando por las aspas del anemómetro (grimpola). Al girar las aspas generan un pequeño voltaje, el cual es enviado a la unidad de retransmisión. La dirección es obtenida por la veleta la cual se transmite a la unidad de retransmisión en forma sincrónica.
- **Unidad de retransmisión:** Esta unidad convierte las señales de dirección y la débil señal de velocidad del viento, desde la veleta y el anemómetro, a formas adecuadas para los repetidores. La señal de entrada (dirección y velocidad), controla a los servomotores, los cuales posicionan a los sincrotransmisores.
- **Unidad repetidores:** A lo largo del buque se cuenta con repetidores de dirección e intensidad del viento, los cuales reciben la señal sincrónica de la unidad retransmisoras y la transforman en indicación de velocidad y dirección del viento.
- **Buques equipados con dos unidades detectoras (babor y estribor):** En un sistema de dos anemómetros, normalmente uno por banda, permite seleccionar aquel detector que tenga menos turbulencias, asegurando una indicación lo más correcta posible.

4.- Cálculo referido al viento

En la publicación SHOA No 3020 *Manual de Cinemática Naval*, se explican diversos problemas de relativos al viento tales como:

- **Cálculo** del viento verdadero conociendo el viento aparente /relativo y el rumbo y velocidad del buque.
- **Cálculo** del Viento relativo / aparente conociendo el Viento verdadero y el rumbo y velocidad del buque.
- **Cálculo** del rumbo y velocidad que debe adoptar el buque para obtener un viento relativo deseado.

5.- Medición del viento en el simulador de navegación.

a) En monitor del Timonel (Lado izquierdo):

- Wind Speed: velocidad del viento relativo
- Wind Dir: Dirección del viento relativo
 - ____° PS: Por babor, ____° grados.
 - ____° SB: Por estribor, ____° grados.

b) En monitor del radar: Lado derecho abajo:

- Rel Wind ____ KT (nudos) y ____° Rel. (Relativo de 0° a 360°)

c) En monitor de babor (instrumentos de navegación color negro)

Entrega viento relativo y verdadero directamente.

F.- SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)**1.- Descripción del sistema**

El NAVigation System Timing And Ranging (NAVSTAR), Sistema de Posicionamiento Global (GPS), fue el primer sistema de radio-posicionamiento basado en el espacio, que provee a los usuarios convenientemente equipados, una gran exactitud en la posición, velocidad y tiempo. Consiste en tres segmentos: espacial, de control y del usuario.

2.- Segmento espacial

Este segmento consiste en 24 satélites operacionales con tres satélites de repuesto activos en órbita. Los satélites orbitan a una altura de 20.200 km, en seis planos orbitales separados, cada plano inclinado 55° respecto al ecuador. Los satélites completan una órbita en aproximadamente 12 horas.

Los satélites están espaciados de modo que habitualmente cuatro de ellos están, teóricamente, a la vista de cualquier usuario en cualquier parte del mundo. Cada satélite transmite señales en dos radiofrecuencias superpuestas, en las cuales hay datos del sistema y de navegación. En estos datos se incluyen la predicción de las efemérides del satélite, datos de corrección por propagación atmosférica, información sobre error del reloj del satélite y datos sobre el estado del satélite.

Los satélites GPS transmiten códigos pseudoaleatorios. Tanto los satélites como los receptores generan conjuntos de códigos digitales complejos. Estos códigos se han hecho complicados a propósito, de forma que se les pueda comparar fácilmente sin ambigüedad.

Otro beneficio del esquema del código pseudoaleatorio, es que todos los satélites del sistema pueden compartir la misma frecuencia, sin interferirse unos con otros. Cada satélite tiene su propio código pseudoaleatorio distintivo, así que diferenciar entre ellos es solamente cuestión de utilizar el código correcto durante el proceso de comparación en el receptor.

Superpuesto en los códigos va el mensaje de navegación, que contiene los datos de efemérides del satélite (datos relativos a los parámetros orbitales de los satélites), datos de corrección por la propagación atmosférica y variaciones del reloj satelital.

3.- Sistema de control

Consiste en una Estación Maestra de Control, un cierto número de estaciones monitorizadoras y de antenas terrestres ubicadas a través del mundo.

La Estación Maestra de Control, ubicada en Colorado Springs, tiene el equipamiento y los servicios necesarios para el monitoreo de los satélites, telemetría, traqueo, comando, control, generación de los mensajes de navegación y envío de estos mensajes a los satélites.

Las estaciones monitoras ubicadas en Hawai, Colorado Springs, Kwajalein, isla Diego García e isla Ascensión, traquean los satélites en forma pasiva, acumulando datos de las señales de los satélites sobre variaciones en distancia, y retransmitiéndolos a la Estación Maestra de Control; la cual procesa esta información, para determinar la posición del satélite y la exactitud de los datos de su señal, actualiza el mensaje de navegación de cada satélite y transmite estas informaciones a las antenas terrestres. Luego, las antenas terrestres transmiten estas informaciones a los satélites. Las antenas terrestres, ubicadas en islas Ascensión, Diego García y Kwajalein, también cumplen funciones para transmitir y recibir información para control de los satélites.

4.- Equipo receptor

Los equipos receptores de los usuarios están diseñados para recibir y procesar señales de cuatro o más satélites en órbita, ya sea simultáneamente o secuencialmente.

Luego, el procesador del receptor convierte estas señales en informaciones para la navegación. Como el GPS tiene aplicación en una amplia variedad de actividades, desde la navegación marítima hasta los levantamientos de terreno, los equipos receptores pueden variar enormemente en sus funciones y diseño.

5.- Capacidades del sistema

Para obtener una solución de la posición de navegación (latitud, longitud y altura) y hora (cuatro variables), se debe hacer uso de cuatro satélites. El operador del GPS mide la pseudodistancia y la razón de pseudodistancia, mediante la sincronización y el traqueo de las señales de navegación, desde cada uno de los cuatro satélites seleccionados.

La pseudodistancia es la distancia medida entre el satélite y el usuario, basada en la correlación de un código transmitido desde un satélite, y el código de referencia del receptor local, que no ha sido corregida de los errores de sincronización entre el reloj atómico del transmisor y el reloj del receptor.

Mediante la decodificación de los datos de las efemérides y el sistema cronometrador de la información en cada señal de satélite, el equipo receptor/ procesador del usuario pueden convertir la pseudodistancia y la razón de pseudodistancia en una posición tridimensional y velocidad. Cuatro mediciones son necesarias para resolver las tres componentes desconocidas de la posición (o velocidad) y la variación desconocida en la hora en el usuario (o frecuencia).

La exactitud en la navegación que puede alcanzar cualquier usuario, depende primeramente de:

- La variación de los errores al efectuar medidas de pseudodistancia.
- La posición geométrica de los satélites vistos desde la ubicación del usuario sobre la Tierra.

6.- Conceptos sobre el Sistema de Posicionamiento Global

El GPS mide distancias entre el satélite en órbita y un equipo receptor en Tierra; y en base a esas distancias, calcula “esferas de posición”. La intersección de esas esferas de posición, determinan la posición del equipo receptor.

La medición de las distancias se efectúa mediante la comparación de señales de tiempo generadas simultáneamente por los relojes internos del satélite y del equipo receptor. Esta señal, caracterizada por una forma de onda muy especial, se denomina código pseudoaleatorio, y son generadas moduladas en fase, en forma sincronizada por el satélite y el receptor. La señal del satélite llega al receptor después de un retardo proporcional a la distancia recorrida. Este retardo es detectado por la variación de la fase entre el código pseudoaleatorio recibido y el código generado por el receptor. Conociendo el tiempo que tomó la señal en llegar al receptor desde el satélite, permite al receptor calcular la distancia desde el satélite.

El receptor, por lo tanto, debe estar ubicado en la periferia de una esfera cuyo centro es el satélite y con un radio igual a la distancia medida. Con la intersección de tres esferas de posición, se obtienen dos posibles puntos donde puede estar ubicado el receptor. Uno de estos puntos es una solución absurda, ya que estará a cientos de millas de la superficie de la Tierra. Teóricamente, no se requieren más de tres mediciones de tiempo para obtener una situación con el GPS.

En la práctica, no obstante, se requiere de una cuarta medición para obtener una posición exacta con el GPS. Esto es debido al error del reloj del equipo receptor.

Las señales sincronizadas viajan desde el satélite al receptor a la velocidad de la luz. Un pequeñísimo error en la sincronización entre los relojes en el satélite y en el receptor, producirá un tremendo error en distancia. El reloj atómico del satélite tiene una precisión de 10^{-9} segundos y si se instalara un reloj similar con esa precisión en el receptor, haría que el valor del equipo fuera prohibitivamente caro. Por lo tanto, se ha sacrificado la exactitud del reloj del receptor y se debe efectuar una medición adicional a otro satélite.

Los pequeños computadores en los receptores de GPS, están programados de tal forma que cuando reciben una serie de mediciones que no pueden intersectarse en un solo punto, perciben que hay algo erróneo y suponen que la causa es que el reloj interno padece una desviación. Entonces, el computador empieza a restar (o a sumar) tiempo, la misma cantidad de tiempo a todas las mediciones. Así sigue recortando el tiempo hasta que logra una respuesta que permite que todas las distancias pasen por un punto. En esencia, el computador “descubre” que, corrigiendo cierta cantidad de tiempo a las

mediciones, puede hacer que las circunferencias se corten en un punto, y de esto deduce la desviación del reloj.

Es importante hacer presente, que el número de líneas de posición requeridas para emplear esta técnica es función del número de líneas de posición requeridas para obtener una situación. El GPS determina la posición en tres dimensiones; la presencia del error del reloj del receptor agrega una incógnita adicional. Por lo tanto, se requieren cuatro mediciones de tiempo para resolver las cuatro incógnitas.

7.- Cálculo de posición por GPS

La distancia a cada satélite (PR) es determinada haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$PR = c \times \Delta t$$

c = Velocidad de la luz

Δt = Tiempo de recorrido de la señal desde el satélite al receptor

Siendo el diferencial de tiempo la variable que se exige mayor precisión.

Para determinar la distancia real de cada satélite se debe corregir la distancia de acuerdo a la siguiente fórmula:

R = Distancia real.

PR = Distancia medida.

c = Velocidad de la Luz.

Δt_a = Retraso en la propagación y otros errores.

Δt_u = Corrección de reloj del receptor a partir de tiempo de sistema GPS.

Δt_s = Corrección de reloj de satélite a partir de tiempo de sistema GPS.

$$R = PR - c(\Delta t_a + \Delta t_u - \Delta t_s)$$

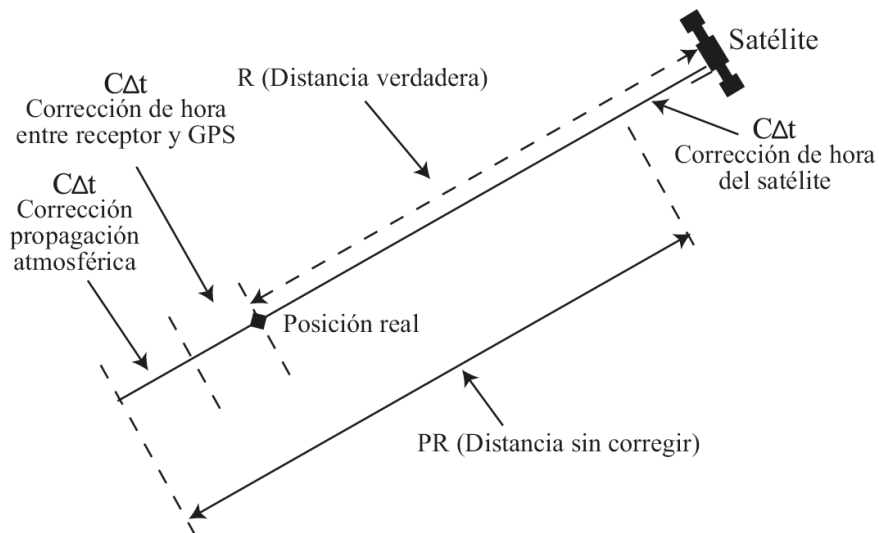


Fig. E.1. "Distancia medida de un satélite"

El efecto de error de reloj de receptor, al utilizar tres satélites simultáneamente para obtener una posición, se muestra en la Figura E.2.. Las distancias no se cortan en un punto, produciéndose un área ABC. Cada satélite tiene su propio error Δt_u , el cual puede ser restado para cada satélite, cortando las señales en el punto "P", que corresponde a la posición del usuario. Este error de reloj de receptor es calculado permanentemente desde el momento que se recibe la señal del satélite.

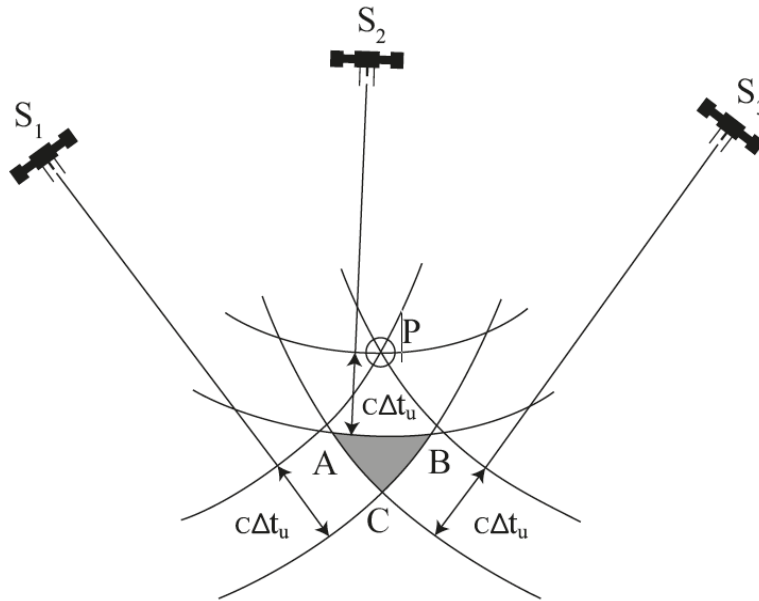


Fig. N° E. 2 “Corrección por error de recepción de la hora”

Conociendo la distancia, desde el satélite al receptor; la posición espacial de cada satélite, es posible determinar geoméricamente la posición del receptor, ya que cada satélite es el centro de una esfera con centro en un punto conocido y de radio calculado. Ver Figura E. 3.

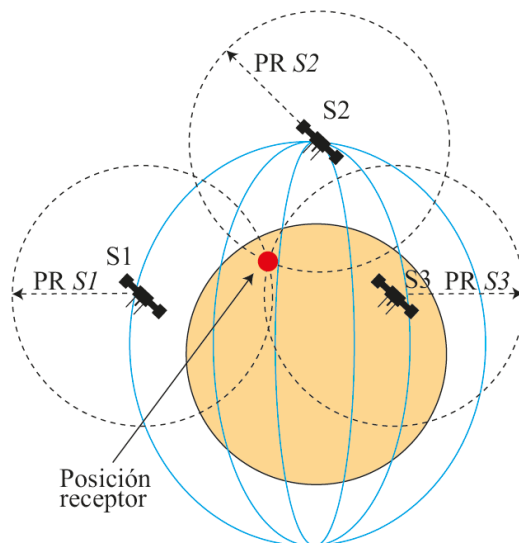


Fig. E. 4. “La tierra, los tres satélites con sus órbitas y posiciones conocidas y el corte del lugar geométrico de las esferas, proporciona la posición del buque”

8.- GPS en el Pilotaje

El GPS constituye uno de los equipos más importantes del puente de un buque, ya que le entrega al oficial de guardia la posición en tiempo real con una precisión de unos pocos metros. El mismo equipo, empleando el tiempo y las sucesivas posiciones puede determinar por ejemplo:

- Rumbo efectivo o rumbo respecto al fondo (COG)
- Abatimiento (COG – Rumbo giro)
- Velocidad respecto al fondo o velocidad efectiva (SOG)
- Establecer una ruta de navegación empleando puntos de control (waypoints), considerando el tiempo de llegada en función de la velocidad.
- Permite marcar la posición de un Hombre al Agua (MOB), e indica la demarcación y distancia a este.
- Es uno de los instrumentos más importantes del ECDIS.
- El radar lo emplea para determinar la posición de cualquier contacto, como asimismo el sistema ARPA calcula los datos cinemáticos de los contactos.
- Permite calibrar la corredera.

Sin embargo, el navegante deberá tener mucho cuidado cuando se emplea el método de situación por GPS, el cual podría no brindar la exactitud requerida en canales, pues este sistema, si bien proporciona situaciones muy exactas, éstas solo son de utilidad con Cartas náuticas basadas en dátum WGS 84 o equivalente, por lo que será inexacto y no recomendable su uso en canales y pasos, cuando la Carta náutica está referida a dátum distintos al requerido por los sistemas GPS, y las posiciones obtenidas no han sido corregidas.

Navegando con visibilidad reducida, como la niebla, chubasco o nieve, el empleo del GPS, junto a otros equipos, permiten navegar con relativa seguridad y obtener situaciones más o menos aproximadas.

G.- AIS, AIS ATON

1.- SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA (AIS)

El Sistema de Identificación Automática (*“Automatic Identification System”* – AIS) es un transceptor de radio VHF instalado en buques, aeronaves y estaciones costeras, capaz de intercambiar información automáticamente, que hace posible monitorear y plotear buques desde otros buques y estaciones costeras.

El sistema calcula en forma rápida y automática el punto de máxima aproximación (PMA) y el tiempo previsto para llegar al punto de máxima aproximación (TPMA) a partir de la información sobre la situación recibida de los buques que constituyen los blancos.

El AIS es capaz de detectar buques detrás de recodos o islas dentro del alcance de VHF si las masas de tierra no son muy elevadas, aproximadamente entre 20 a 30 millas náuticas, dependiendo de la altura de la antena.

El empleo conjunto del radar y el AIS, permite obtener una identificación positiva entre buques a gran distancia. De otra forma, no se puede lograr sin intercambiar mensajes de voz en canales de frecuencia VHF.

Las principales informaciones que se transmite son:

- MMSI (identidad del servicio móvil marítimo)
- Nombre y distintivo de llamada
- Número IMO
- Características del buque
- Situación del buque con indicación de su precisión y estado de integridad
- Hora de situación en UTC
- Rumbo del buque con respecto al fondo (COG)
- Velocidad del buque con respecto al fondo (SOG)
- Rumbo o proa del buque (Heading)
- Condición o estado de la navegación del buque
- Destino y hora estimada de llegada (eta)
- Carga potencialmente peligrosa (tipo)

Se debe tener las precauciones el utilizar el AIS que no todos los buques lo tienen, particularmente las embarcaciones de recreo, buques de pesca y buques de guerra, u otros buques equipados con AIS pueden, en determinadas circunstancias, desactivar dicho sistema a discreción del capitán.

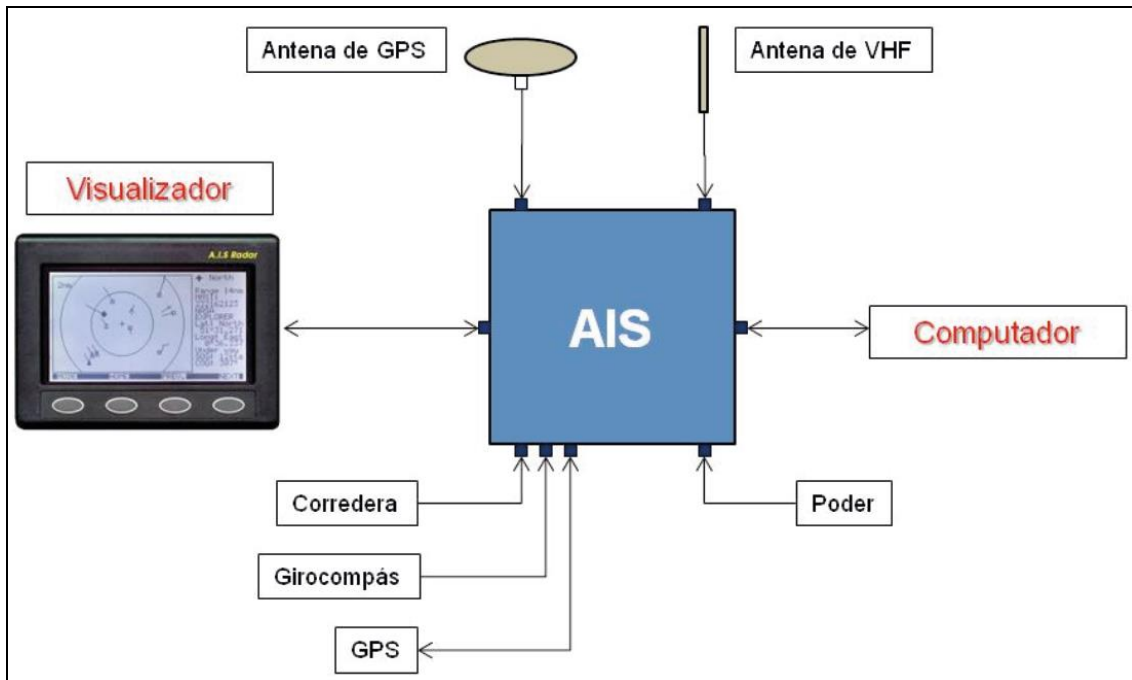


Figura N° F. 1. " Diagrama en block del AIS"

2.- El AIS como ayuda a la navegación (AIS-AtoN)

AIS – AtoN Sintético o físico: Instalados sobre una ayuda a la navegación (Boya, baliza, faro), transmite la identificación, posición, características del lugar, y cualquier información que contribuya a la seguridad de la navegación.

Un AtoN Virtual:

- Informan al navegante acerca de peligros a la navegación, vías seguras, áreas donde es necesario adoptar medidas de seguridad adicionales y áreas a evitar.
- Se usan principalmente donde una ayuda a la navegación física (Boya, Baliza) no puede ser instalada.
- Podrán establecerse ayudas a la navegación virtuales para marcar áreas donde las condiciones de navegación (por ejemplo; límites de canal, claros verticales, hielo, niveles de agua) cambian con frecuencia.
- Se transmite desde una estación AIS, apareciendo un símbolo digital en el sistema de navegación en una ubicación específica, aunque no haya ningún AtoN físico.
- Son especialmente útiles en situaciones críticas en tiempo y para marcar o delinear áreas dinámicas donde las condiciones de navegación cambian con frecuencia, o en aplicaciones donde el uso de ayudas físicas no es práctico ni posible.

- El uso de AtoN Virtual debe ser supervisado por la autoridad competente. Las notificaciones a los navegantes de la presencia de AtoN Virtual, monitoreo de su integridad y verificación de la eficacia de la ayuda virtual, son elementos esenciales de esa vigilancia.

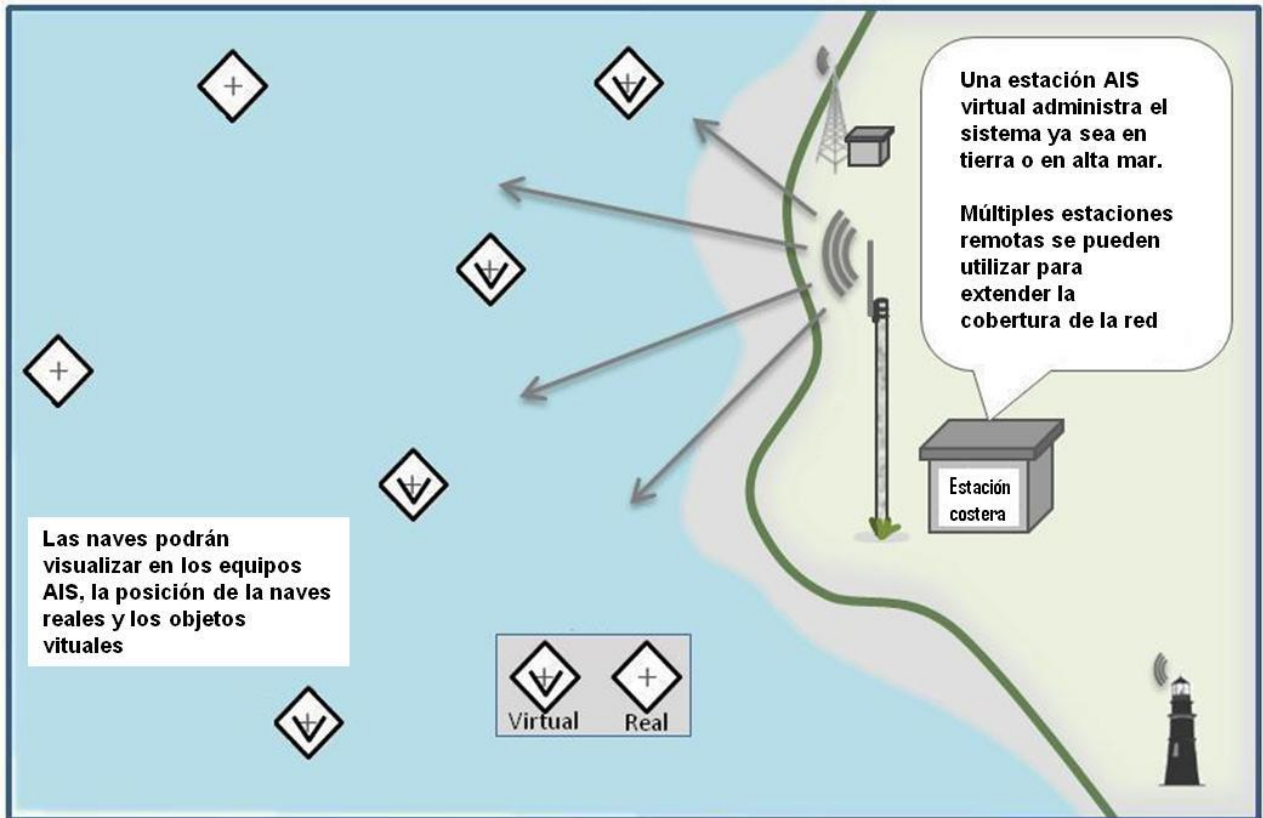


Fig. N° F. 2. “Ejemplo de AIS AtoN”

H.- RACON (RADar and beaCON).

El racon es un dispositivo que responde como un eco de radar, con una señal de identificación codificada generalmente en código Morse, lo que se aprecia claramente y sin ambigüedades en la pantalla de radar. Ver Figura G.1.

Esto permite reconocer claramente boyas, balizas ciegas o ciertos contornos de la costa, que son a menudo enmarcados por el ruido o efectos de oleaje, resultando muy difíciles de interpretar.

La longitud de la indicación en la pantalla de radar equivale a dos millas aproximadamente.

El alcance del racon que se define en la publicación SHOA 3008 “Radioayudas a la navegación en la costa de Chile” es para una altura de antena del radar de 20 mts., a mayor altura mas alcance.

En la Pub. SHOA N° 3008 Capítulo VII se detalla los Respondedores de Radar (RACON) instalados en Chile.

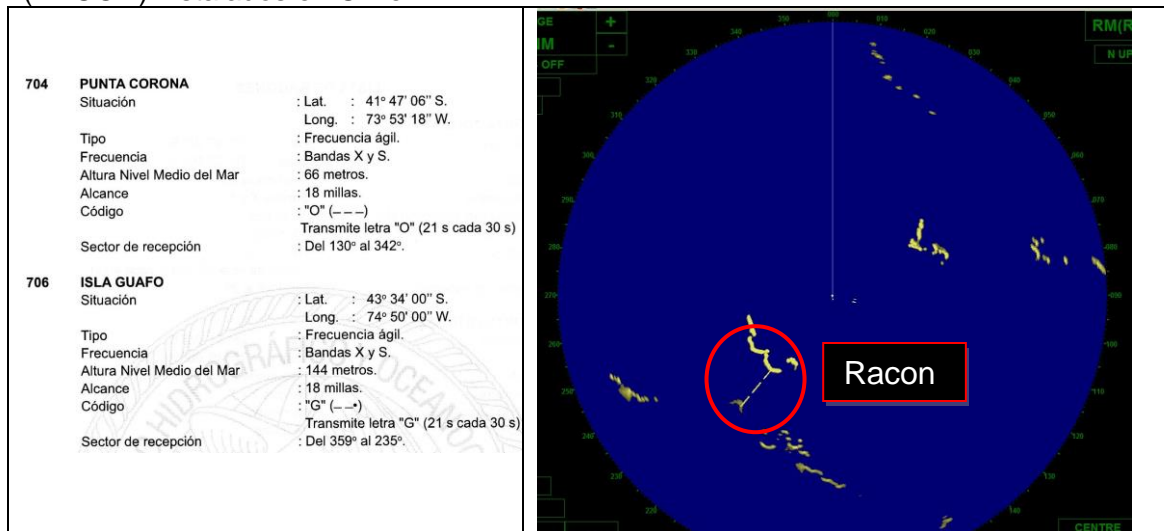


Fig.: N° G. 1. “Ejemplo del racon en Faro Punta Corona”

I.- EL RADAR DE NAVEGACIÓN

1.- Fundamentos del Radar.

El radar (Radio Detecting And Ranging), tal como se emplea en navegación, es un sistema que permite determinar distancias mediante la medición del tiempo que transcurre entre la emisión y el regreso de una señal electrónica que ha sido reflejada hacia el receptor por un blanco. El transceptor genera automáticamente una señal cuando es interrogado por una señal de una frecuencia adecuada. Con este dispositivo también pueden obtenerse demarcaciones.

Ej.: Si la velocidad de la energía es 161.829 (millas/seg) y el tiempo que se demoró en regresar la onda es de 0,0003 seg. ¿A qué distancia está el blanco?

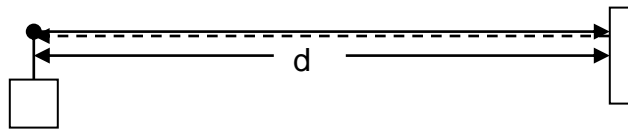


Fig. N° H. 1. “Concepto de medición de distancia de un radar.

$$d = (v \times t) / 2$$

$$d = (161829 \text{ [millas/seg]} \times 0,0003 \text{ [seg]}) / 2$$

$$d = 24,27 \text{ millas}$$

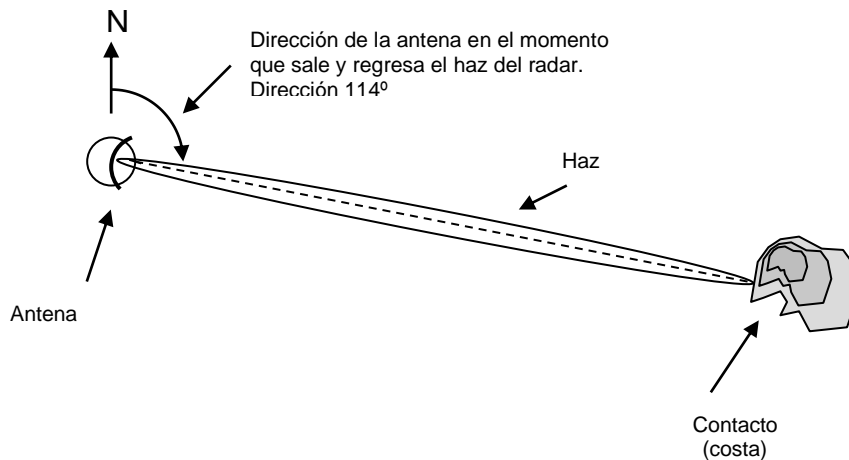


Fig. N° H. 2. “Concepto de dirección medida por el radar”.

2.- Componentes y sus funciones.

El esquema general de un radar, es el que se muestra en la Fig. N° H. 3., siendo sus principales componentes los siguientes:

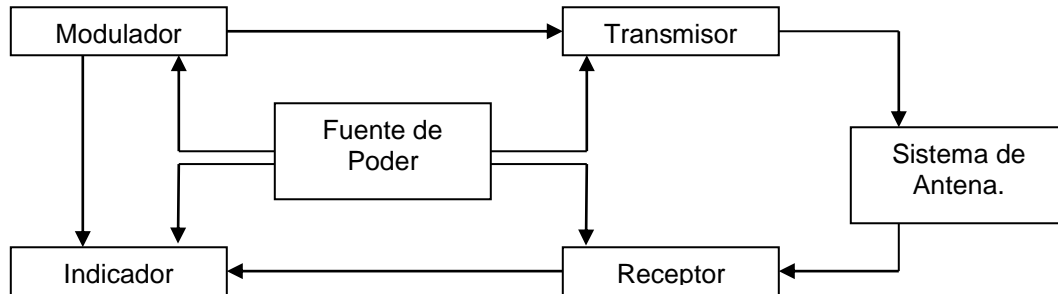


Fig. H. 3 “Unidades componentes de un radar”

- a. **Fuente de poder:** Proporciona todos los voltajes necesarios para la operación de los componentes del sistema.
- b. **Modulador:** Produce la sincronización de la señal que hace que el transmisor emita el número necesario de veces por segundo. También hace partir el barrido del indicador y coordina los otros circuitos asociados para que todos los sistemas trabajen entre ellos con una relación de tiempo bien definido.
- c. **Transmisor:** Genera la energía de radiofrecuencia en la forma de cortos y poderosos pulsos.
- d. **Sistema de antena:** Toma la energía de Radiofrecuencia (RF) del transmisor y la irradia en la forma de haz altamente direccional, recibe los ecos reflejados que regresan y los hace llegar al receptor.
- e. **Receptor:** Amplifica la intensidad de los ecos y los transforma en señales de video que traspasa al indicador.
- f. **Indicador (Pantalla):** Produce la indicación visual de los pulsos de eco, en forma tal que proporciona la información deseada con una presentación visual de las demarcaciones y distancias de los ecos que recibe el radar. Ver Fig. N° H. 4.

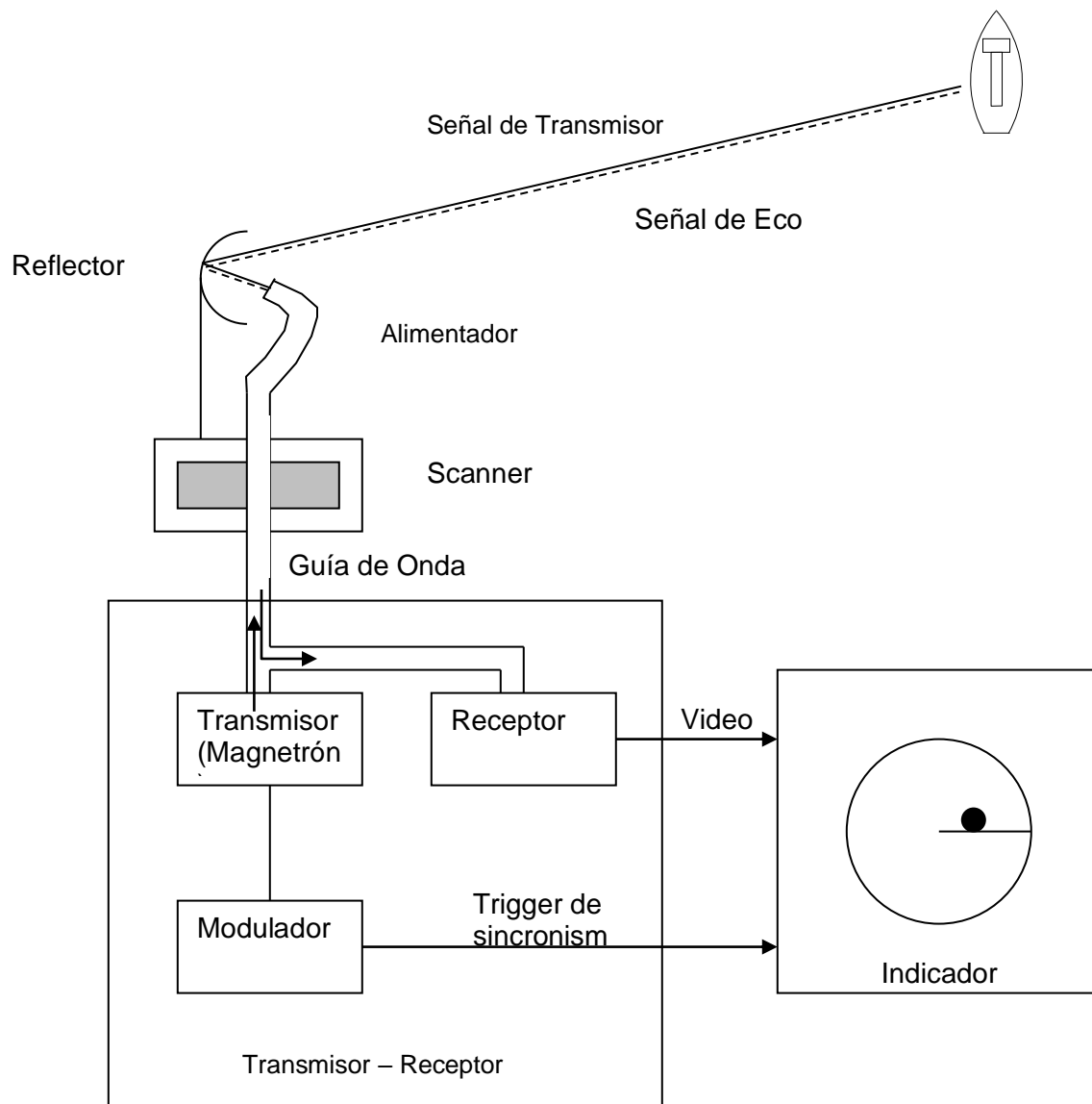


Fig. N° H. 4 “Sistema básico de un radar”.

3.- Constantes de un sistema de radar.

Las constantes que se encuentran asociadas a cualquier sistema de Radar son:

- La frecuencia de la portadora.
- La frecuencia de repetición del pulso.
- La relación de poder.

La elección de estas constantes para un sistema en particular lo fija el empleo operativo, la exactitud necesaria, el alcance que se desea, el tamaño del equipo y el problema de generar y recibir las señales.

- a. **Frecuencia de la portadora.** Es la frecuencia a la cual se genera la radiofrecuencia. Los principales factores que afectan la selección de la frecuencia portadora son las directividad deseada y la generación y recepción de la energía de radiofrecuencia.

Para la determinación de la dirección y para la concentración de la energía, la antena debe ser altamente direccional. Cuanta más alta es la frecuencia de la portadora, menor es el largo de onda y por consiguiente más chica será la antena que se necesite para obtener una agudeza determinada en la característica de radiación.

El problema de generar y de amplificar cantidades razonables de energía de radiofrecuencia a frecuencias extremadamente altas se complica, es por ello que se deben emplear unidades especiales como el Magnetrón.

- b. **Frecuencia de repetición del pulso.** La Frecuencia de Repetición del Pulso (PRF) es el número de pulsos transmitidos por segundo.

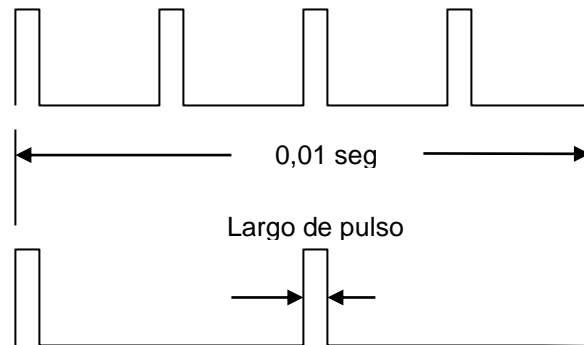


Fig. N° H. 5 “Ejemplo de dos PRF”

En el primer caso se tiene que en 0,01 seg se han transmitido 4 pulsos, lo que implica una PRF de 400 pulsos por seg. En el segundo caso, en el mismo tiempo se han transmitido 2 pulsos, correspondiendo a una PRF de 200 pulsos por seg.

Es necesario dejar un intervalo de tiempo suficiente entre pulsos, para que un eco pueda regresar desde cualquier blanco que se encuentre dentro del alcance máximo de operación del sistema.

De otra forma, la recepción de los ecos de los blancos más lejanos quedaría bloqueada por la transmisión de los pulsos subsiguientes. El alcance máximo de un equipo de radar, depende del poder irradiado en relación a la PRF. Suponiendo que se ha irradiado un poder suficiente, la distancia máxima desde la cual pueden recibirse ecos puede aumentarse, disminuyendo la PRF, para así tener un mayor lapso entre pulsos transmitidos. La PRF debe ser lo suficientemente alto para permitir que una cantidad suficiente de pulsos golpee al blanco, como así mismo que un número suficiente de ellos regresen como para detectar el blanco.

Al girar la antena, el haz de energía incide sólo por un corto tiempo en el blanco. Durante este lapso deberán transmitirse un número tal de pulsos que permita recibir a su vez un número suficiente de ecos como para producir una indicación en la pantalla del radar. Con la antena girando a razón de 15 RPM, un radar que tiene un PRF de 900 pulsos/seg., producirá aproximadamente 10 pulsos por cada grado de giro de la antena. El tiempo que retiene la imagen de los ecos en la pantalla y la velocidad de rotación de la antena, serán por lo tanto los factores que fijan el menor PRF a emplear.

Cálculo:

15 RPM = 15 Rev de la antena en 60 segundos
 1 Rev = 360° de giro de la antena en 4 segundos (60 / 15).
 1° en 0,011111 segundo (4 / 360°)

900 pulsos en 1 segundo
 X en 0,011111 segundo

Resultado: por cada 1° de giro de la antena se emiten 10 pulsos

- c. **Largo de Pulso.** El largo del pulso, medido en microsegundos, es el tiempo que dura la transmisión de un solo pulso de energía de radiofrecuencia.

La distancia mínima a la cual puede detectarse un blanco la fija básicamente la longitud del pulso. Si un blanco se encuentra tan cerca del transmisor que su eco regresa antes de que la transmisión termine, la recepción del eco estará confundida con el pulso transmitido. Por ejemplo, un radar que tiene una longitud del pulso de 1 microsegundo, tendrá una distancia de detección mínima de 164 yardas. Esto significa que el eco de un blanco dentro de esta distancia, no se verá en la pantalla, debido a que se encuentra tapado por pulso emitido.

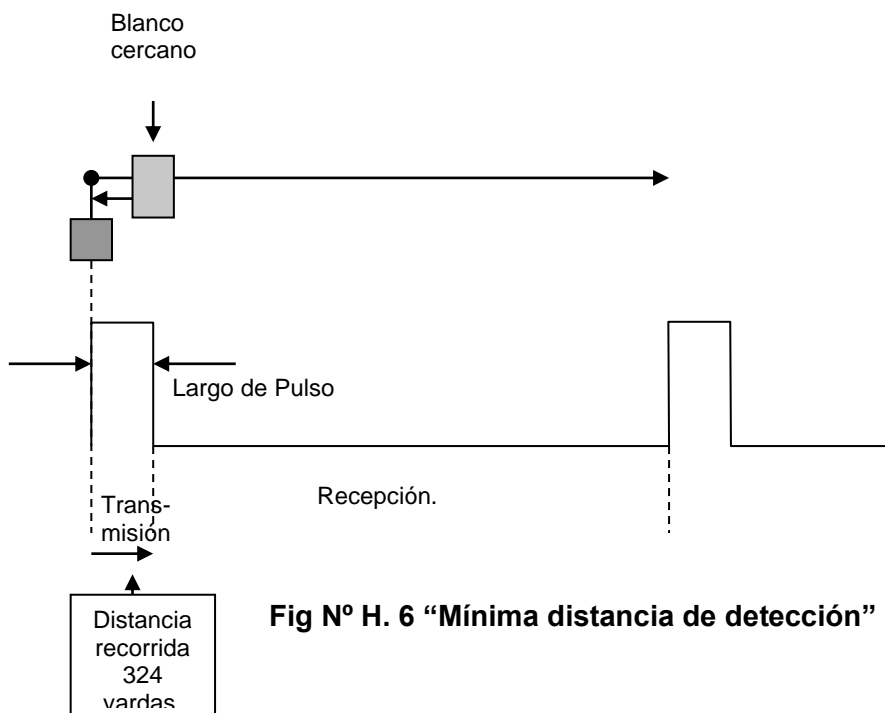


Fig N° H. 6 “Mínima distancia de detección”

Como la energía de radio frecuencia se desplaza a una velocidad de 161.829 millas/seg., la distancia que la energía recorre en un microsegundo es de aproximadamente 0,162 millas a 324 yardas. Como esta energía debe efectuar un viaje de ida y vuelta, el blanco no debe estar a menos de 162 yardas si se desea ver su eco en la pantalla, empleando una longitud de pulso de 1 microsegundo. Por consiguiente, para distancias menores se emplean pulsos más cortos de alrededor de 0.1 microsegundo (0,00001 segundo). Ver Fig. N° H. 6.

$$1 \text{ microsegundo} = 0,00001 \text{ segundo}$$

$$V = 161.829 \text{ millas / seg.}$$

$$D = (V \times T) / 2$$

$$D = (161.829 \times 0,00001) / 2$$

$$D = 0,0809145 \text{ milla} = 162 \text{ yardas. (Distancia mínima de detección)}$$

Una gran cantidad de equipos de radar han sido diseñados para operarlos, ya sea con pulso largo o con pulso corto. Muchos de estos radares, a su vez, cambian automáticamente de pulso, cuando se cambia de las escalas más grandes a las más pequeñas. Los radares pueden alcanzar mayores distancias de detección al emplear pulsos más largos, debido a la mayor cantidad de energía que se transmite con cada pulso.

Mientras se sacrifica un mayor alcance al emplear pulsos más cortos, se obtiene en cambio, una mayor exactitud y resolución en la medición de distancias. Con los pulsos más cortos, se obtiene una mejor definición en la pantalla y por consiguiente la exactitud en la medición de la distancia puede mejorar. La RESOLUCIÓN en DISTANCIA es una medida de la capacidad de un equipo de radar para detectar la separación entre blancos que se encuentran en la misma demarcación, pero separados por muy poca distancia. Si el borde delantero de un pulso llega a un blanco a una distancia ligeramente mayor, mientras el borde trasero del pulso está llegando a un blanco cercano, es obvio que el eco reflejado de los dos blancos aparecerá en la pantalla como una sola imagen alargada.

4.- Características de propagación de las ondas de radar.

- a. **La onda de radar.** Las ondas de radar se emiten en forma de pulsos de energía electromagnética en la banda de frecuencia entre los 3.0 (MHz). Al igual que las ondas luminosas que son de una frecuencia mucho mayor, las ondas de Radar tienden a desplazarse en línea recta a una velocidad casi igual a la de la luz. Las ondas de Radar están expuestas a la refracción atmosférica y al igual que las ondas del mar (olas) las ondas de Radar tienen energía, frecuencia, amplitud, largo de onda y velocidad de desplazamiento. Así como las olas tienen energía mecánica, las ondas de Radar tienen energía electromagnética, la que se expresa y se mide en watts de poder.

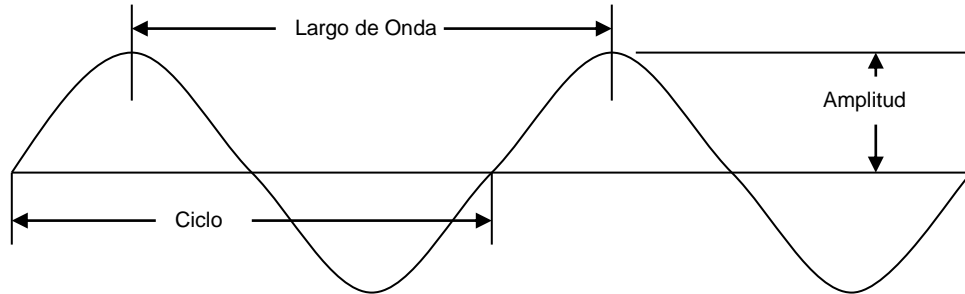


Fig. N° H. 7 “Comportamiento típico de una onda de Radar”

- b. **La frecuencia.** Es el número de ciclos completados en un segundo y se expresa en ciclos por segundo, es el HERTZ.
- c. **Longitud o largo de onda.** Es la distancia entre dos crestas medida en el sentido de propagación. Al completarse un ciclo la onda se ha desplazado una longitud de onda.
- d. **Amplitud** Es el máximo desplazamiento de la onda de su valor medio o cero.

Como la velocidad de desplazamiento de las ondas de Radar es constante y alcanza los 300.000 Km/seg., es posible establecer una relación bien definida entre frecuencia y largo de onda.

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{Velocidad Ondas de Radar}}{\text{Largo de onda}}$$

Cuando el largo es 3.2 cm. (0,000032 km.)

$$\text{Frecuencia} = \frac{300.000 \frac{\text{km.}}{\text{seg}}}{0,000032 \text{ km.}}$$

Frecuencia = 9.375 Megahertz

- e. **Refracción.** Si las ondas de radar realmente se desplazan en línea recta, la distancia al horizonte alcanzado por estos rayos dependerá exclusivamente de la altura de la antena, suponiendo que se cuenta con el poder suficiente para alcanzar ese horizonte. Sin los efectos de la refracción, la distancia al HORIZONTE DE RADAR sería la misma que la del horizonte visible para la altura de esa antena. Sin embargo, al igual que los rayos ópticos, los de Radar están sujetos a una cierta deflección o refracción en la atmósfera debido a que pasan por zonas de distinta densidad. Pero debido a las frecuencias empleadas, esta deflección es mayor para las ondas de Radar que para las luminosas u ópticas.

Si tenemos una antena de una altura de “h” pies, suponiendo que se encuentra en una atmósfera standard, la distancia “d” al horizonte de Radar, puede encontrarse mediante la siguiente fórmula:

$$D = 1,22\sqrt{h} \text{ (h en pies)}$$

Si:

Distancias al horizonte geográfico $D = 1,06\sqrt{h}$

Distancia óptica está dado por las fórmulas $D = 1,15\sqrt{h}$

Se puede ver claramente que el geográfico es aproximadamente un 15% y al visible en un 6%. Es decir los rayos de Radar en una atmósfera standard, son ligeramente refractados hacia abajo siguiendo la curvatura de la tierra (Ver Fig. N° H. 8.).

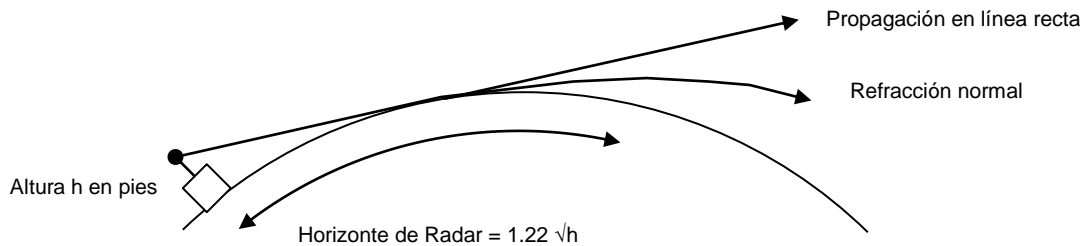


Fig. N° H. 8 “Horizonte de radar”

La distancia al horizonte Radar en sí mismo no limita la distancia desde la cual se pueden recibir ecos. Si suponemos que se cuenta con un poder adecuado, podrán recibirse ecos de blancos que se encuentran más allá del horizonte de radar, pero siempre que su superficie reflectadora se alcance sobre él. Nótese que la distancia a la cual los rayos de Radar rozan a la superficie de la tierra.

Se denomina atmósfera standard a aquella que tiene una distribución vertical hipotética de la temperatura, presión y densidad y la que se toma como referencia en distintos objetivos. Debido a que las condiciones standard, la pequeña deflexión que el haz de radar sufre en esas circunstancias puede considerarse como el caso típico.

- f. **El haz de radar** Los pulsos de energía de RF, ya sea que estos sean enviados por la bocina de alimentación al punto focal del reflector, conformarán

en su mayor parte un diagrama lobular de radiación si ésta se efectuase en el espacio libre.

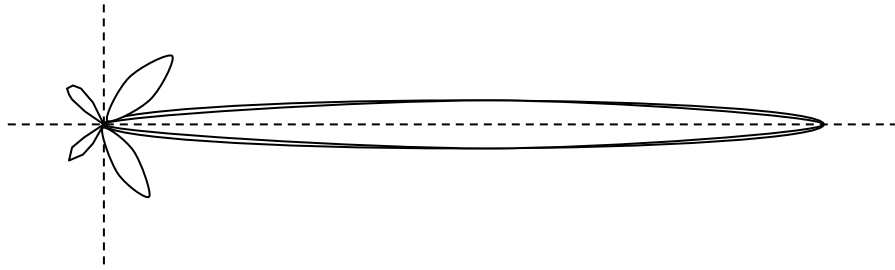


Fig. N° H. 9 “Haz de Radar”

En la Fig. N° H. 9, se muestra un diagrama tipo de radiación en el cual se han incluido los tan molestos lóbulos laterales que se producen debido a que las antenas en la práctica no pueden constituirse siguiendo exactamente el modelo teórico del diseño. El gráfico que solo se ha confeccionado con fines didácticos, ha sido deliberadamente distorsionado y no muestra por esta razón, la verdadera relación de proporciones que existe entre el lóbulo principal y los laterales.

La energía irradiada es un haz relativamente angosto, similar al haz de luz de una linterna, en que la energía se concentra a lo largo del eje del haz, su intensidad decrece en función de la distancia a lo largo del eje del haz. Con la rápida disminución de la energía irradiada al alejarse del eje y con la disminución de la energía con la distancia, se deduce que deben emplearse límites prácticos de poder o voltaje de manera de definir las dimensiones de haz de radar o de establecer sus límites de energía útil.

- g. **Ancho del haz.** Se llama ancho del haz de radar al ancho angular del haz medido entre puntos dentro de los cuales tienen una determinada densidad de campo

El diagrama de radiación de la Fig. H. 10, muestra las relaciones de poderes que existen en puntos igualmente distanciados del eje en un mismo plano horizontal y a las mismas distancias de la antena en origen.

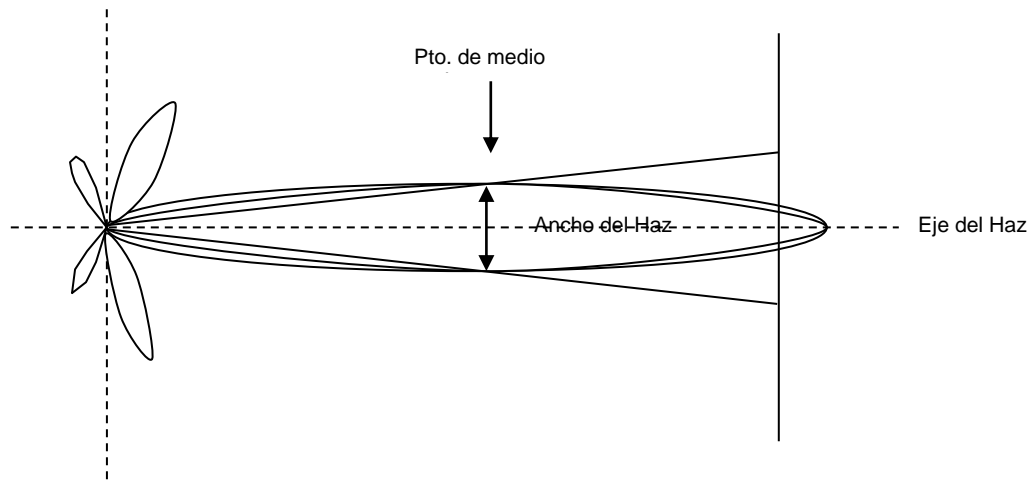
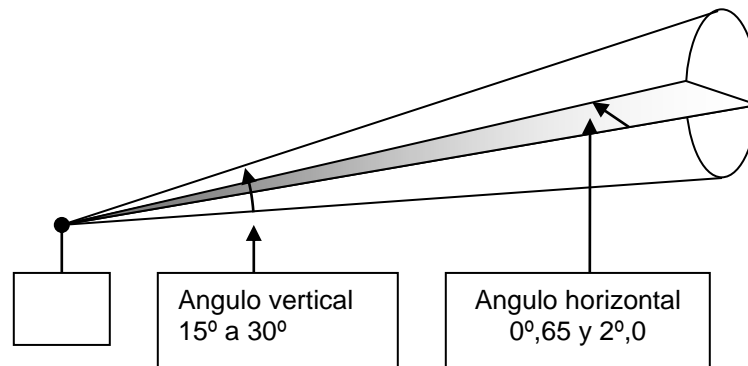


Fig. Nº H. 10 “Ancho del Haz de Radar”

Para aumentar las distancias de detección, la energía se concentra en un haz lo más angosto posible. Debido a consideraciones prácticas relacionadas con la detección y discriminación del blanco, solo el ancho horizontal del haz se hace angosto, con valores tipos que varían entre $0^{\circ},65$ y $2^{\circ},0$. el ancho vertical es relativamente ancho con valores tipos que fluctúan entre 15° y 30° . Ver Fig. Nº H. 11.

**Fig. Nº H. 11 “Dimensión angular del haz de radar”.**

El ancho del haz depende de la frecuencia o largo de onda, de la energía transmitida, diseño de antena y sus dimensiones físicas. Para un tamaño determinado de antena, se pueden obtener haces más angostos empleando menores largos de ondas. Para una longitud de onda determinada, se debe aumentar el tamaño de la antena si se desea angostar el haz.

- h. **Difracción.** Es la deflexión que sufre una onda cuando pasa un obstáculo. Debido a la difracción, es que se produce alguna iluminación de la zona detrás de una obstrucción o blanco. Los efectos de la difracción son mayores a las frecuencias bajas. Es así que, el haz de un radar de frecuencia baja tiende a iluminar más la zona sombría que existe tras una obstrucción que el haz de un radar de una frecuencia más alta. Ver Fig. Nº H. 12.

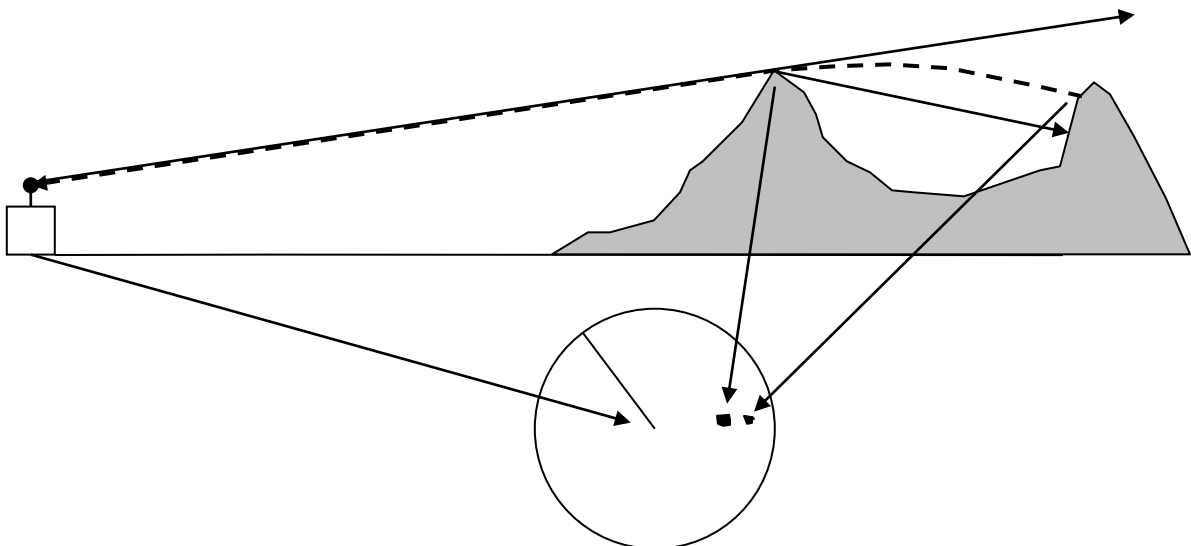


Fig N° H. 12 “Ejemplo de la difracción.”

- i. **Atenuación.** Es la dispersión o absorción de energía del haz de radar al pasar por la atmósfera, y produce una disminución en la intensidad del eco. La atenuación es mayor a frecuencias más altas.
- j. **Características del eco.** A pesar de que los ecos reflejados son mucho más débiles que los pulsos transmitidos, las características del regreso a la fuente, son similares a las características de propagación. A la intensidad de estos ecos depende de la cantidad de energía transmitida que llegue al blanco, así como del tamaño y características reflectoras de él.

5.- Factores que afectan al alcance máximo y mínimo.

- a. **Frecuencia:** Cuanto mayor es la frecuencia de las ondas del radar, mayor será la pérdida de poder. Es por esto que, generalmente, con frecuencias más bajas (mayor largo de onda) se tienen mayores alcances de detección.
- b. **Energía transmitida.** El alcance del radar aumenta cuando se aumenta la energía. Al duplicarla el alcance aumenta en un 25 % aproximadamente.
- c. **Largo del pulso.** Cuanto mayor es la longitud del pulso, mayor es el alcance del radar, debido a la mayor cantidad de energía transmitida.
- d. **Frecuencia de repetición de pulso (PRF).** La PRF, fija la distancia máxima que puede medirse con el radar. Debe dejarse un amplio espacio de tiempo entre pulsos, para que el eco regrese de cualquier blanco que se encuentre dentro de los alcances operativos del sistema. De otra forma, los ecos que regresan de los blancos más lejanos se verían bloqueados por pulsos sucesivos. Este intervalo de tiempo es el que fija el mayor PRF que puede ser empleado.

La PRF puede ser lo suficientemente alto, siempre que un número conveniente de pulsos de en el blanco y puedan, a su vez, regresar al radar un número convenientemente de ecos.
- e. **Ancho del haz.** Cuanto más concentrado es el haz, mayor es al alcance de detección del radar.
- f. **Características del blanco.** Blancos grandes pueden verse en la pantalla a mayores distancias, siempre que exista horizonte visual entre la antena del radar y el blanco. Materiales conductores (como un casco de acero por ejemplo) producen ecos relativamente fuertes, mientras que materiales no conductores (un casco de madera de un pesquero) producen ecos más débiles.
- g. **Sensibilidad del receptor.** Cuanto más sensible sea el receptor, mayor será el alcance, pero está más expuesto a la interferencia y bloqueo electrónico.

- h. **Velocidad de rotación de la antena.** Cuanto menor es la velocidad de rotación de la antena, mayor es el alcance de detección del radar.

6.- Funciones del radar para pilotaje

Los monitores o repetidores de radar cuentan con gran cantidad de elementos y funciones diseñadas especialmente para ser utilizadas en contribución de la seguridad del pilotaje.

Cada vez es más común encontrar a bordo sistemas de radar que integran datos provenientes de otros sistemas y los presentan superpuestos o integrados.

Estos sistemas no llegan a constituir ECDIS, pero proveen una serie de informaciones y funciones que aproximan al mismo concepto.

Las señales que normalmente integran son las siguientes:

- a. **GPS (*Global Positioning System*).** Además de la señal del girocompás y corredera, integran la señal del GPS, pudiendo presentar tanto el rumbo y velocidad verdaderos sobre la tierra que está siguiendo la nave (*Course Over Ground* (COG) y *Speed Over Ground* (SOG)).

Esta información se presenta a modo de un vector de movimiento real, además de la línea de proa (*heading*), cuya magnitud puede seleccionarse en acuerdo a minutos de avance. Además presenta la indicación digitalmente como COG y SOG. Estas indicaciones son de suma importancia para el pilotaje, dado que presentan una medición instantánea del abatimiento y deriva que está afectando a la nave, diferencia entre *heading* (proa de la nave) y corredera con el COG y SOG, proveyendo la información necesaria para contrarrestarlos.

Además, presenta la situación de la nave por GPS en Latitud y Longitud; pudiendo a través del cursor, obtener la de los contactos en pantalla y puntos geográficos.

- b. **Anemómetro.** Algunos equipos calculan y presentan también el viento verdadero.
- c. **Ecosonda.** Con presentación de la profundidad digitalmente y gráficamente.
- d. **AIS (*Automatic Identification System*).** De los contactos en las cercanías, con sus vectores de movimiento informados por sus propios sistemas.
- e. **Mapeo.** Se le puede introducir un track seguir basado en puntos de control por referencias geográfica (*Waypoints*), que será útil para mantener la nave posicionada sobre éste; como también áreas y marcas de ayuda a la navegación, demarcaciones de seguridad, etc.
- f. **Cartografía.** Algunas pantallas tienen la capacidad de superponer carta electrónica, *Raster* o croquis, sobre el vídeo del radar, lo que es de gran ayuda para el reconocimiento de costa y comprobación de la confiabilidad de la situación por GPS, verificando la coincidencia entre video, radar y carta.
- g. **Otras informaciones.** También existen sistemas que presentan otras informaciones como estado de operación de la maquinaria, generación eléctrica, funcionamiento de radares, etc.

Por otra parte, los sistemas están brindando funciones especialmente dedicadas a facilitar el pilotaje y maniobras, como:

- h. **Traqueo y ARPA** (*Automatic Radar Plotting Aid*). Pudiendo seleccionar los movimientos verdaderos, donde cada contacto y buque propio aparece con su vector, o movimiento relativo, donde los vectores de los contactos son la resultante compuesta por sus movimientos y el propio; además provee solución cinemática para mantener una distancia mínima de cruce con un contacto seleccionado.
- i. **Descentrado de EBL** (*Electronic Bearing Lines*). Para la mantención de demarcaciones y distancias desde una posición descentrada del origen del barrido. Muy útil para su empleo en controlar distancias a pasar o demarcaciones guías desplazadas paralelamente.
- j. **PI. Línea de índice Paralelo**. Función específica para seguir demarcaciones guías desplazadas paralelamente a un azimut cualquiera.
- k. **Proyección de caída**. Que proyecta las posiciones futuras de la nave según la razón de caída que se está empleando (*Rate of Turn (ROT)*). Esta indicación se presenta en las escalas de muy corta distancia y es de gran utilidad para controlar la razón de caída en lugares estrechos.

Evidentemente, los radares y sistemas que se encontrarán a bordo pueden ser diferentes, en cuanto a los medios de ayuda a la navegación que proveen y a su operación. Por ellos, el navegante debe establecer como una de sus prioridades conocer detalladamente los radares a su disposición y aprender a obtener de estos su máximo rendimiento.

Ejemplo de empleo del radar en el pilotaje:

