

Capítulo N° 16

EL RADAR DE NAVEGACIÓN

Ref.: Manual de Navegación Volumen II

A.- Fundamentos del Radar.

El radar (Radio Detecting And Ranging), tal como se emplea en navegación, es una 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?

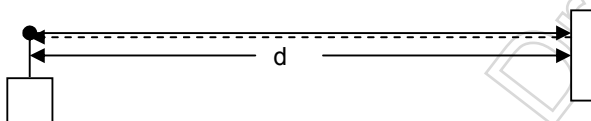


Fig. N° 1 “Concepto de medición de distancia de un radar.

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

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

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

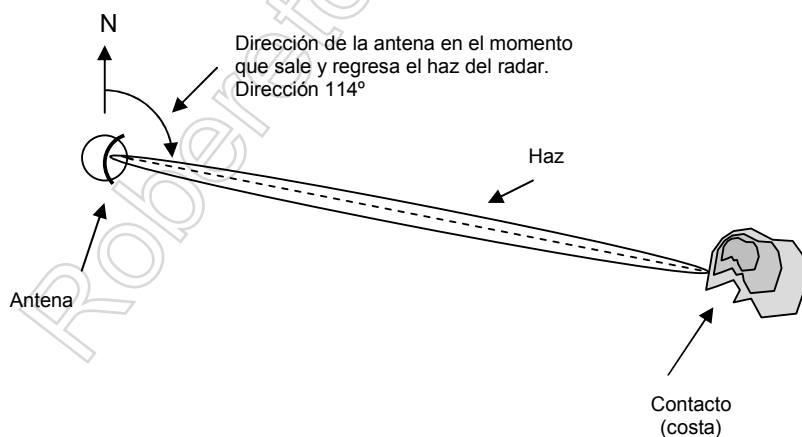


Fig. N° 2. “Concepto de dirección medida por el radar”.

B.- **Componentes y sus funciones.**

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

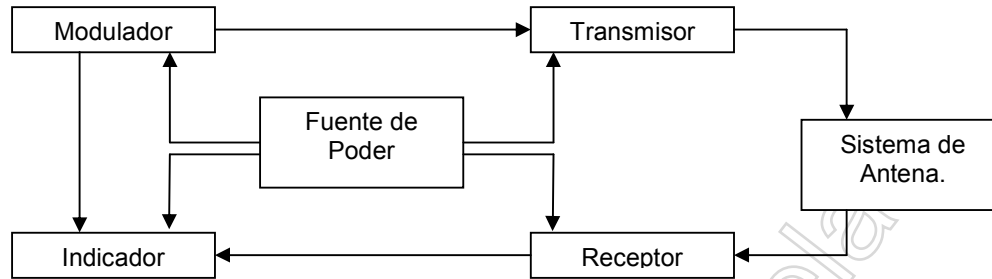


Fig. 3 “Unidades componentes de un radar”

- 1.- **Fuente de poder:** Proporciona todos los voltajes necesarios para la operación de los componentes del sistema.
- 2.- **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.
- 3.- **Transmisor:** Genera la energía de radiofrecuencia en la forma de cortos y poderosos pulsos.
- 4.- **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.
- 5.- **Receptor:** Amplifica la intensidad de los ecos y los transforma en señales de video que traspasa al indicador.
- 6.- **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.

En Fig. N° 4 se muestra un esquema que de un sistema básico de Radar.

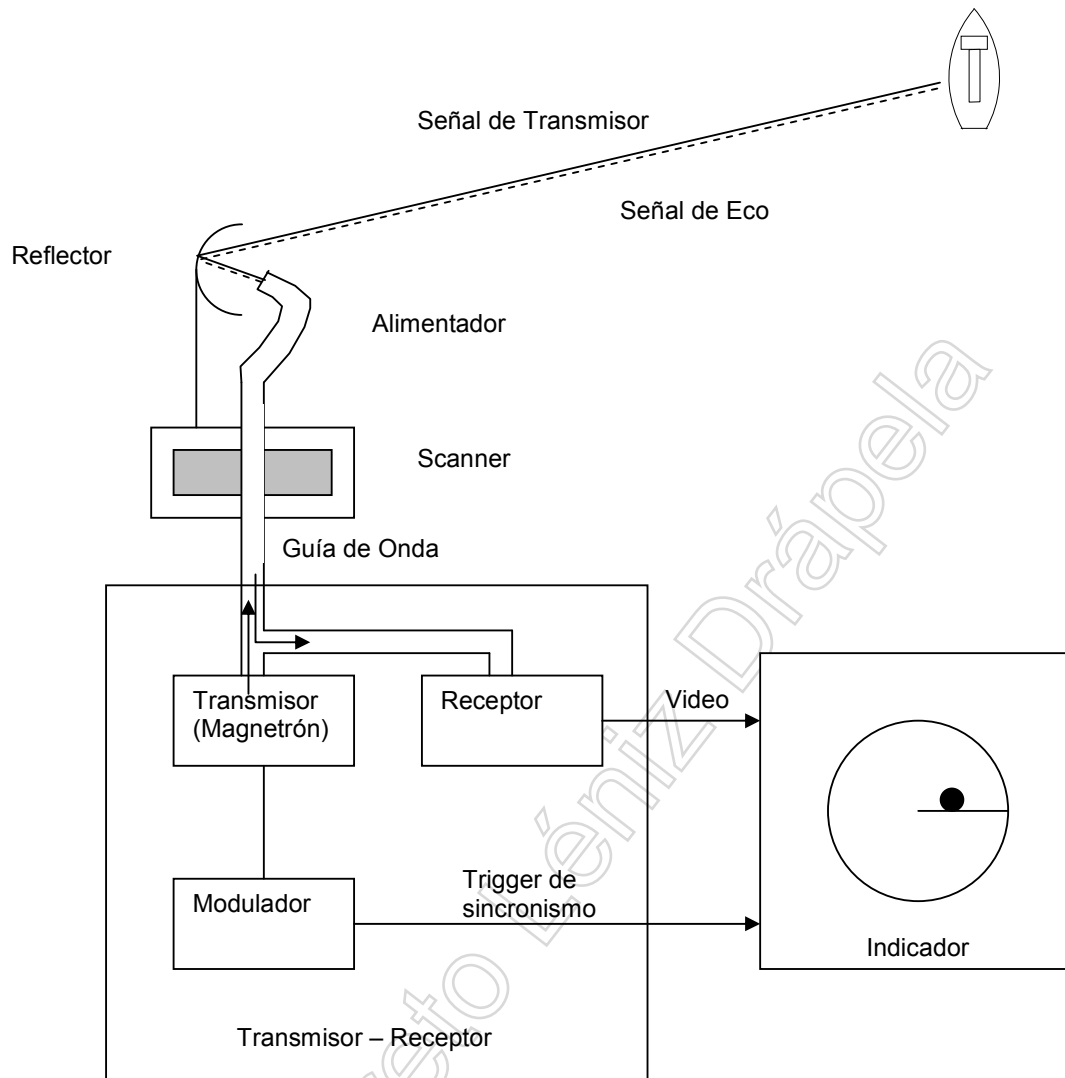


Fig. N° 4 “Sistema básico de un Radar”.

C.- Constantes de un sistema de radar.

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

- 1.- La frecuencia de la portadora.
- 2.- La frecuencia de repetición del pulso.
- 3.- 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.

1.-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. Cuanto 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 Magnetron.

2.-Frecuencia de repetición del pulso.

La Frecuencia de Repetición del Pulso (PRF) es el número de pulsos transmitidos por segundo.

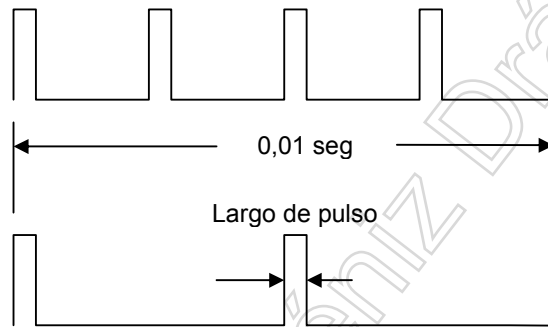


Fig. N° 5 " Ejemplo de dos PRF"

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

3.-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.

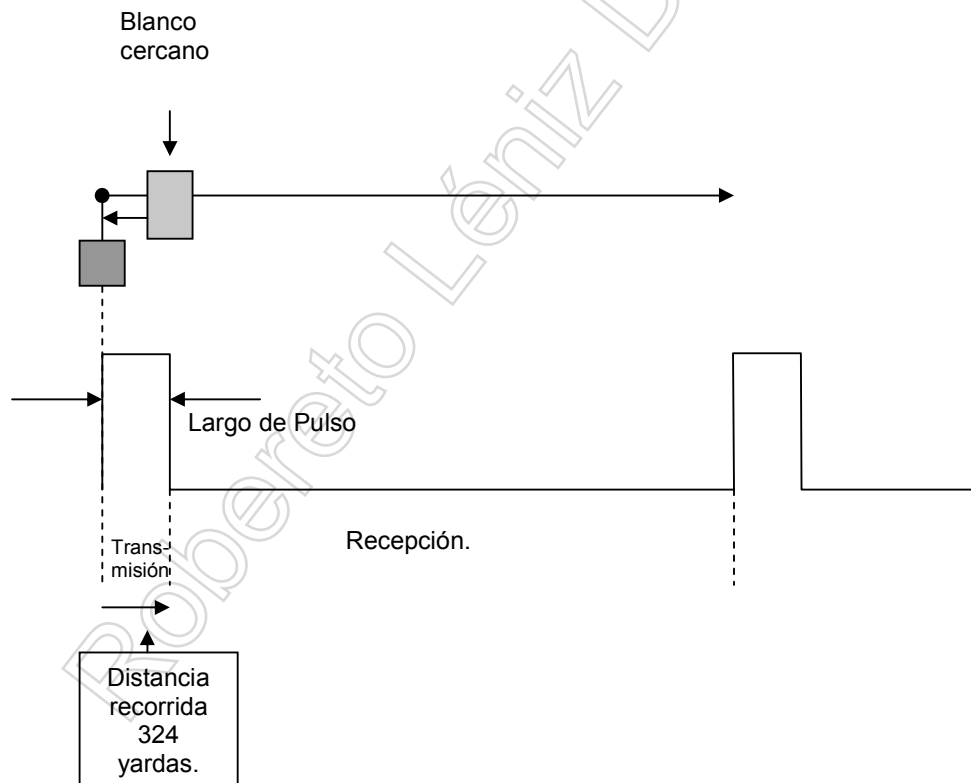


Fig N° 6 "Mínima distancia de detección"

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° 6.

1 microsegundo = 0,00001 segundo

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

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

$D = (161.829 \times 0,000001) / 2$

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

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.

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

1.- 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.

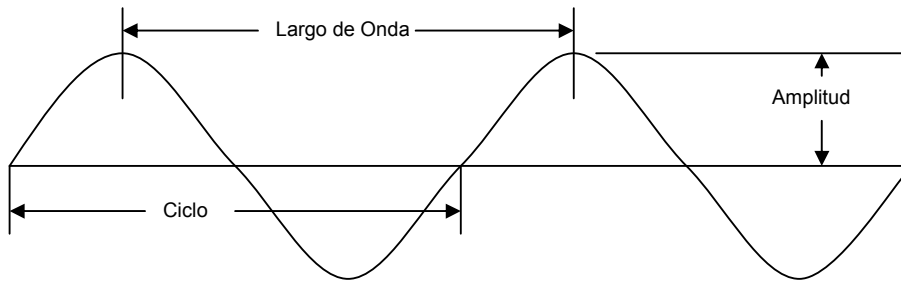


Fig. N° 7 “comportamiento típico de una onda de Radar”

2.- La frecuencia.

Es el número de ciclos completados en un segundo y se expresa en ciclos por segundo, es el HERTZ.

3.- 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.

4.- 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

5.- 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 deflexión o refracción en la atmósfera debido a que pasan por zonas de distinta densidad. Pero debido a las frecuencias empleadas, esta deflexión 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 a los horizontes geográfico $D = 1,06\sqrt{h}$

Distancia óptica está dados 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° 8).

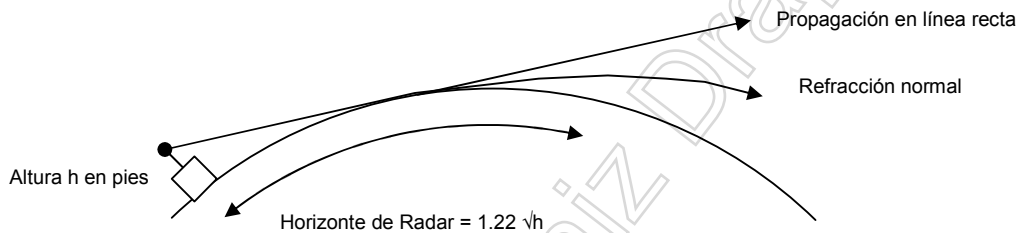


Fig. N° 8 "Horizonte de Radar"

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 alce 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.

6.- 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.

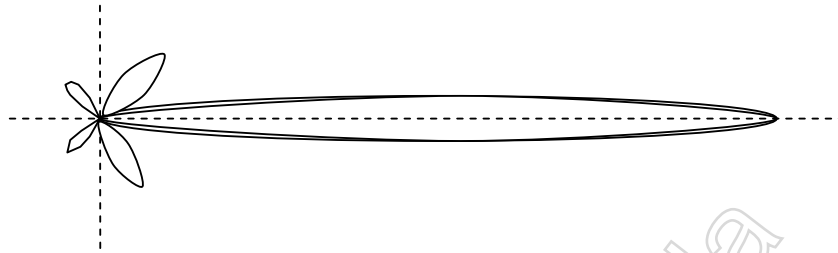


Fig. N° 9 “Haz de Radar”

En la Fig. N° 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 lóbulos principales 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.

7.-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. 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.

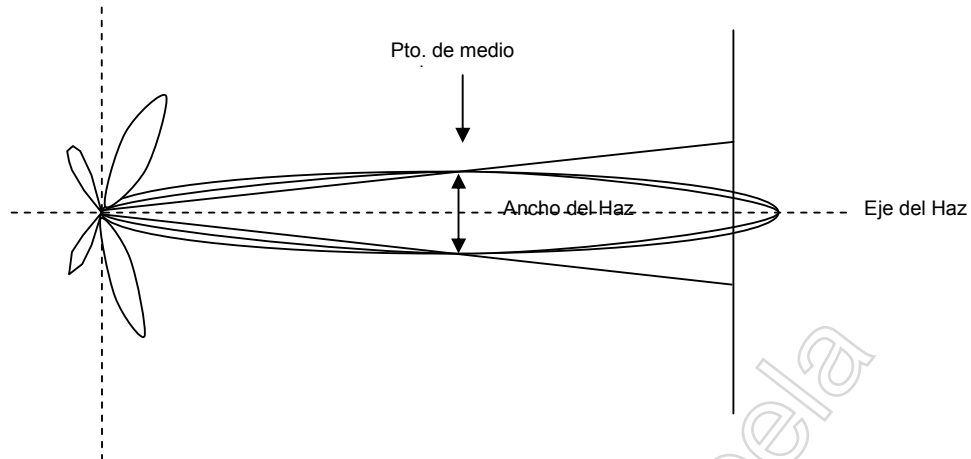


Fig. N° 10 “Ancho del Haz de Radar”

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 típicos que varían entre $0^{\circ},65$ y $2^{\circ},0$. el ancho vertical es relativamente ancho con valores típicos que fluctúan entre 15° y 30° . Ver Fig. N° 11.

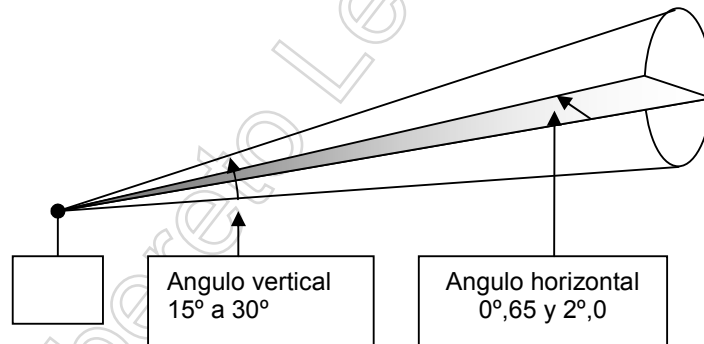


Fig. N° 11 “Dimensión angular del haz de radar”.

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.

8.- 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. N° 11.

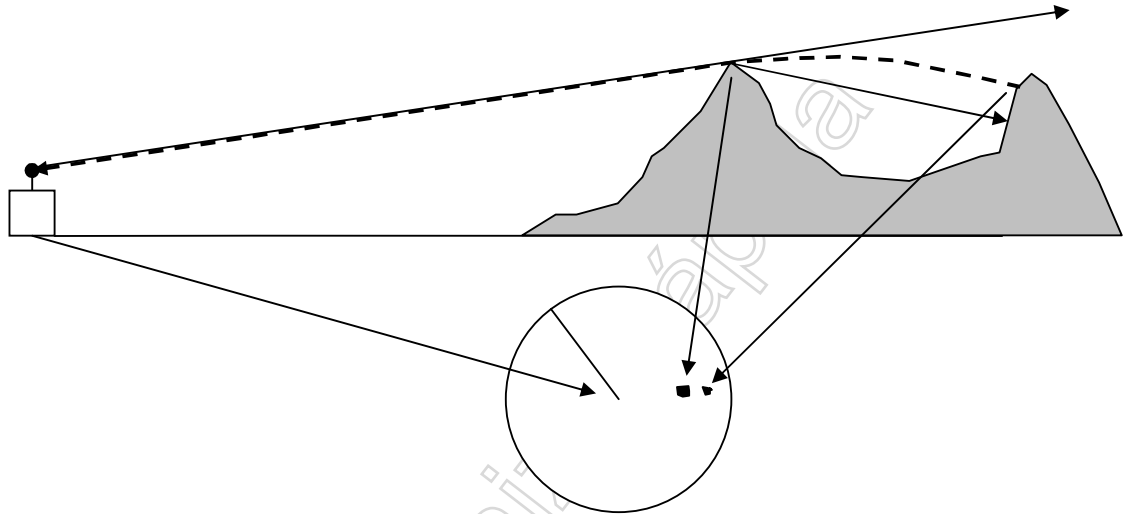


Fig N° 11 “Ejemplo de la difracción.”

9.- 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.

10.-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.

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

1.-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.

2.- Energía transmitida.

El alcance del radar aumenta cuando se aumenta la energía. Al duplicarla el alcance aumenta en un 25 % aproximadamente.

3.- Largo del pulso.

Cuanto mayor es la longitud del pulso, mayor es el alcance del radar, debido a la mayor cantidad de energía transmitida.

4.- 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.

5.- Ancho del haz.

Cuanto más concentrado es el haz, mayor es al alcance de detección del radar.

6.- 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.

7.- Sensibilidad del receptor.

Cuanto más sensible sea el receptor, mayor será el alcance, pero está más expuesto a la interferencia y bloqueo electrónico.

8.- Velocidad de rotación de la antena.

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

Un radar que tenga un PRF de 1.000 pulsos por segundo, un haz de un ancho horizontal de 2°,0 y una velocidad de rotación de la antena de 6 RPM (1 revolución en 6 segundos o un barrido de 36° en un segundo), puede transmitir un pulso cada 0°,036 de rotación. Se producirán por consiguiente 56 pulsos durante el tiempo que la antena gira a través del ancho de su haz:

$$\frac{\text{Ancho del haz}}{\text{Grados por pulso}} = \frac{2^{\circ},0}{0^{\circ},036} = 56 \text{ pulsos}$$

Con una velocidad de giro de la antena de 15 RPM (1 revolución en 4 segundos o 90° de rebusca por segundo) se tiene solamente un pulso transmitido cada 0°,09 de giro, y se transmitirán sólo 22 pulsos durante el tiempo que necesita la antena para girar a través del ancho del haz.

$$\frac{\text{Ancho del haz}}{\text{Grados por pulso}} = \frac{2^{\circ},0}{0^{\circ},09} = 22 \text{ pulsos}$$

De lo expuesto anteriormente, se hace evidente de que a las menores velocidades de rotación de la antena, se producen los alcances máximos a los cuales se pueden detectar, especialmente, blancos pequeños.

F.- Operación del radar.

En los radares de navegación se encuentran dos tipos básicos de presentación que permiten indicar tanto la posición de los blancos en la pantalla como su movimiento:

1.- Radar de movimiento relativo.

El radar de movimiento relativo proporciona el movimiento de un blanco en relación al movimiento del buque propio, por medio de la presentación continua de los pips del blanco a la correspondiente distancia y demarcación, a partir de una posición fija del buque propio que se encuentra al centro de la pantalla. Si tanto el blanco como el buque propio, se encuentran en movimiento, es evidente que los sucesivos pips del blanco no indican su movimiento real o verdadero. Se hace necesario una solución gráfica del problema para tener la respuesta adecuada. Ahora bien, al estar el buque propio en movimiento, los pips tales como masas de tierra se desplazan en el PPI a una velocidad igual a la del buque propio pero en dirección opuesta. Por otra parte, si el buque propio está parado, los pips en el PPI se mueven de acuerdo a su movimiento verdadero.

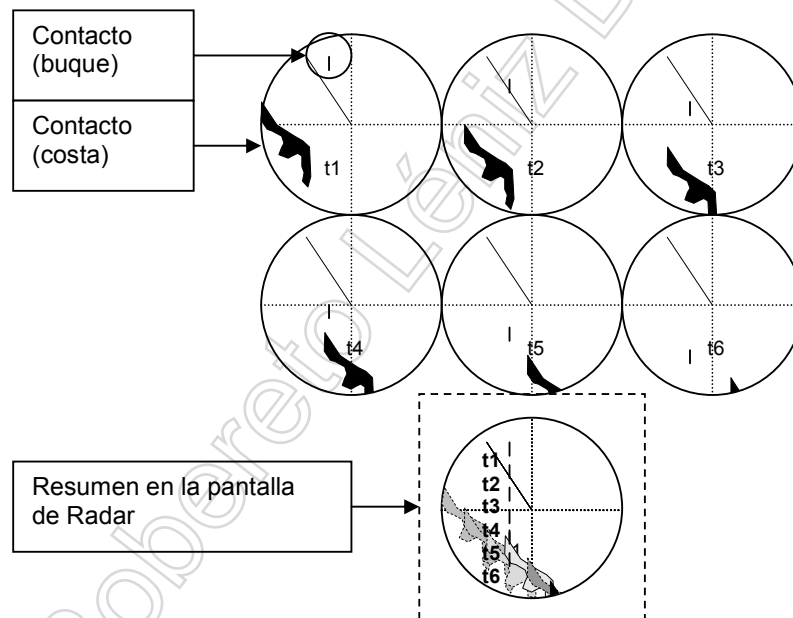


Fig. N° 12 “Movimiento relativo en la pantalla de radar”

2.- Radar de movimiento verdadero.

El radar de movimiento verdadero presenta tanto el buque propio como a los objetos móviles con su movimiento real. A diferencia de la que sucede en el radar de movimiento relativo, la posición del buque propio no está fija. Tanto el buque propio como el resto de los móviles se desplazan por la pantalla de acuerdo a sus propios rumbos y velocidades. También al revés de lo que sucede en los radares de movimiento relativo, los objetos fijos se mantienen estacionarios como sucede con las masas terrestres. En esta forma se puede apreciar el desplazamiento tanto del buque propio como el de otros buques con respecto a la masa terrestre.

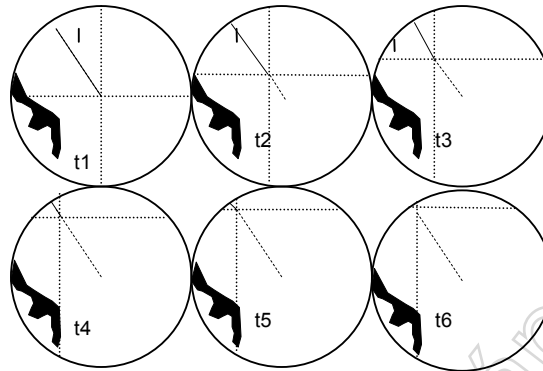


Fig. N° 13 “Movimiento verdadero en la pantalla de Radar”

3.- Mediciones de distancia y demarcación. Ver Fig. N° 14

a.- Cursor de demarcación y distancia Ver Fig. N° 14 a).

La pantalla del Radar tiene un cursor que le permite determinar la demarcación y distancia a los contactos. Para la medición, se le puede utilizar desde el centro de la pantalla o descentrado desde un determinado contacto objeto determinar la demarcación y distancia desde el contacto a cualquier otro.

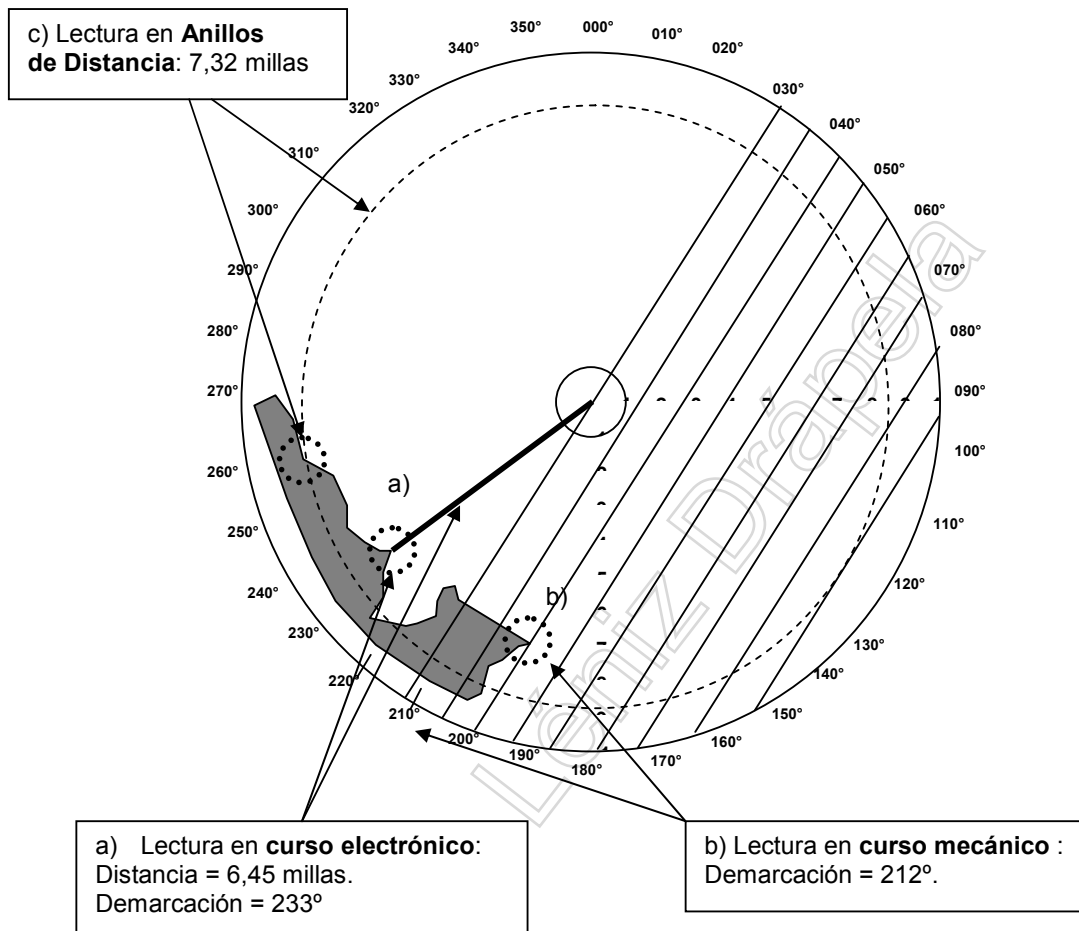


Fig. N° 14 Demarcaciones y distancia electrónica y demarcación mecánica.

b.- Cursor mecánico de demarcación. Ver Fig. N° 14 letra b).

Consiste en una línea radial o retículo inscrito en un disco transparente que puede ser girado manualmente alrededor de su eje, el cual coincide con el centro del PPI. Se le emplea para tomar demarcaciones. A menudo se hallan también inscritos en el disco una serie de líneas paralelas a la línea central del disco, en cuyo caso el dispositivo toma el nombre de Cursor de Líneas Paralelas o Índice Paralelo.

Cuando el origen del barrido es el centro del PPI, que es lo normal en las presentaciones relativas, la demarcación a un blanco pequeño y bien definido se toma colocando la línea radial a una de las líneas radiales del retículo sobre el centro del eco.

Las demarcaciones verdaderas o relativas del eco se pueden ver en el dial de demarcaciones.

c.- Anillo variable de distancia. Ver Fig. N° 14 letra c).

El anillo variable de distancia (VRM) se emplea básicamente para tomar distancias a ecos de blancos en el PPI. Como función secundaria está la de proporcionar una distancia límite alrededor de la posición del observador, dentro de la cual no pueden entrar blancos por razones de seguridad.

El VRM es en realidad solo un punto luminoso rotatorio. La distancia desde el punto al origen del barrido corresponde a la distancia, la que se mide ajustando el círculo del VRM de modo que apenas toque el borde interior del eco. El VRM se ajusta mediante el movimiento de una manivela manual y la distancia se lee en un contador especial.

Robereto Léniz Drápetis