



AEVYCA

BASE AÉREA MILITAR MERLO

ESCUADRÓN ESCUELA ELECTRÓNICA DE DEFENSA



SECCIÓN INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS

Desarrollo de un elemento reflector puntual con el objeto de calibrar un sistema de radar

Ing. Morales Díaz de Vivar

martindiazdevivar@yahoo.com.ar

1. INTRODUCCIÓN

En diversas ocasiones es de suma utilidad disponer de un blanco artificial para la calibración de un sistema de radar.

Como se puede predecir la respuesta particular de estos tipos de blancos artificiales, es posible establecer las condiciones de visibilidad de estos, a través del radar. Las conclusiones que se desprenden del análisis posterior a la detección de estos blancos, permite calibrar los parámetros del sensor. En particular es posible evaluar la probabilidad de detección, la visibilidad sub clutter, la apertura de antena, el posicionamiento relativo y absoluto, etc.

Una de las geometrías más utilizadas en el diseño de estos blancos artificiales es la composición de un triedro, como el que se muestra en la figura 1.

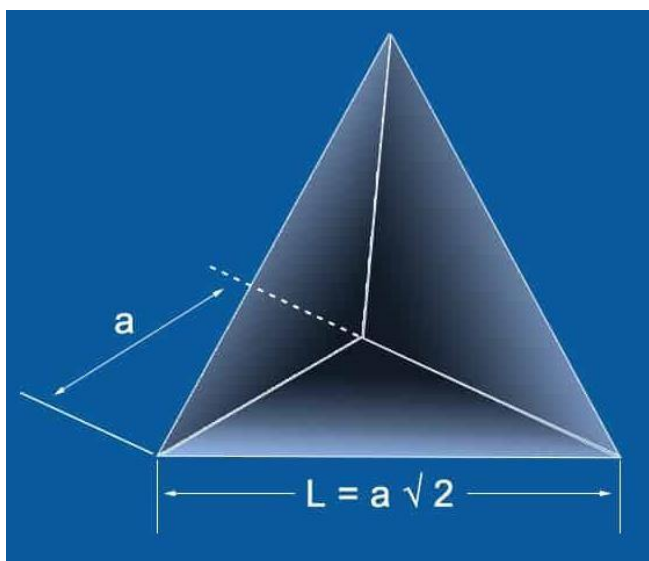


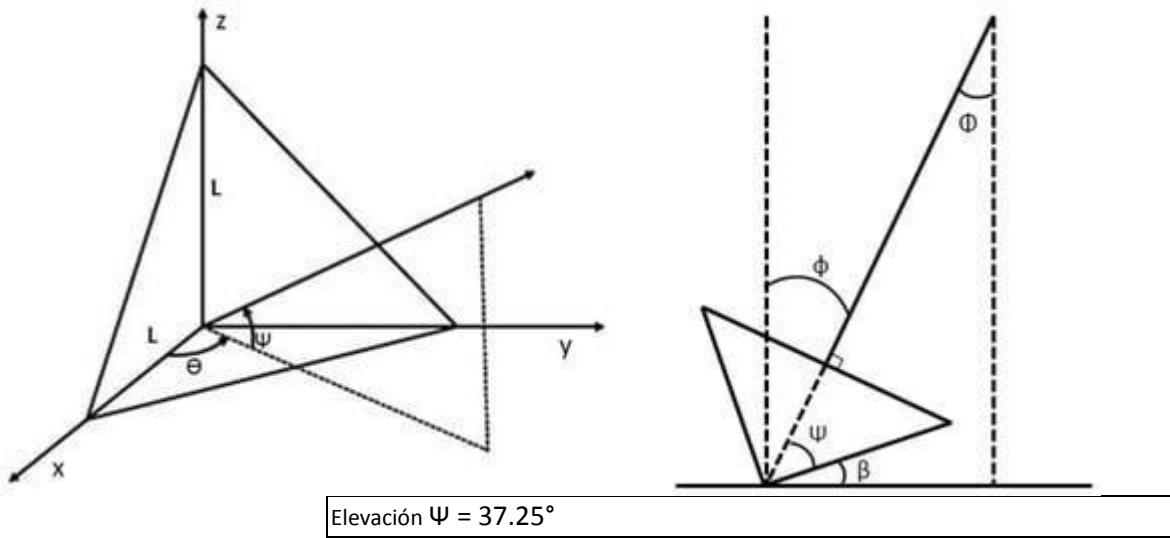
Figura 1. Descripción gráfica del triedro

CONSIDERACIONES GENERALES

- Sección transversal de radar (RCS) muy grande para su tamaño.
- Amplio rango de ángulos de aspecto con un RCS elevado.
- RCS teórico que se calcula fácilmente en función del ángulo de orientación.
- El reflejo de esquina triédrico es muy tolerante a la desalineación, lo que ofrece una forma conveniente para una configuración de campo rápida.
- Son físicamente pequeños y producen una respuesta de media potencia más amplia.

2. APUNTAMIENTO DEL TRIEDRO

La máxima energía reflejada se calcula por geometría. En sentido acimutal (ángulo medido en el plano xy) el posicionamiento se encuentra en el ángulo relativo a una de sus caras representado en las caras de los planos xz o yz. Por simetría el ángulo θ es 45° , mientras que el ángulo de elevación Ψ es de 35.25° situación mostrada en la figura 2.



Acimut $\theta = 45^\circ$

Figura 2. Parte izquierda, geometría descriptiva del máximo de RCS emitida por un triedro. Parte derecha geometría descriptiva de la ubicación del sensor

A modo de ejemplo, para una aeronave volando a 10000 pies cuyo blanco está en un rango de 10 millas náuticas el cálculo del grazing angle sería la que se exhibe en la figura 3, es decir arco seno de $(3048/18520)$, dando un grazing angle de 9.47° .

Acimutalmente se entiende que la máxima intensidad se encuentra a los 45°

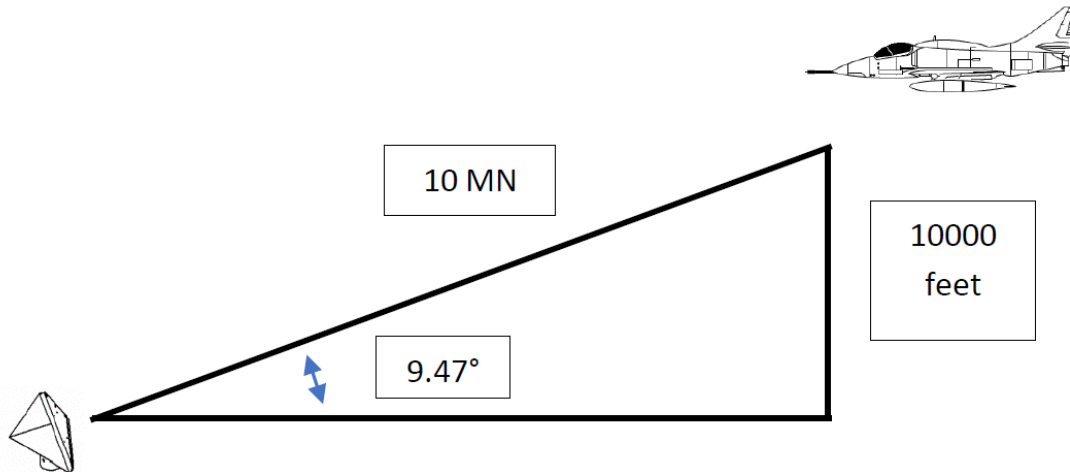


Figura 3. Trigonometría del apuntamiento básico

Para calcular el ángulo β (ver figura 2), se tiene en cuenta el máximo de radar cross section está dado para un ángulo de 35.25° , tomados desde el plano xy. Entonces si pretendemos el máximo para las condiciones dadas, el ángulo β será la resta de los $32,25^\circ$ y los $9,47^\circ$, dando un valor negativo, que se interpreta como muestra la figura 4.

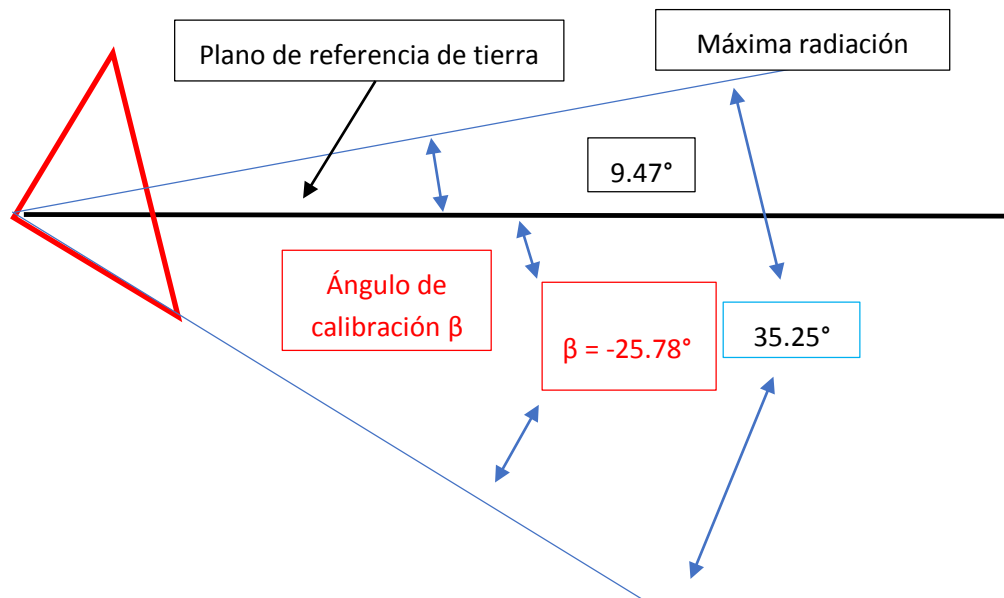


Figura 4. Ejemplo del ángulo de calibración

3. CONO DE VISIBILIDAD

Siguiendo con nuestro ejemplo numérico interesa ahora que tan visible es el blanco de referencia, cuando la antena del radar se desalinea de la posición de máxima.

La respuesta típica de un reflector triédrico responde a la caída de 3 decibeles con una desviación correspondiente a un ángulo del orden de $\pm 12,5$ grados. Suponiendo la antena de radar se mantiene estática y considerando el límite en los 3 decibeles, el cono de visibilidad se resume en dos cálculos.

Acimutalmente podríamos desplazarnos en $12,5^\circ$ hacia ambos lados del eje de máxima y la influencia del blanco artificial sigue presente.

El análisis en elevación resuelve que el blanco se deberá ver desde altitud 0 hasta una altitud del orden aproximado de 22000 pies (según el teorema del coseno). Inclusive, respecto de la visibilidad a baja altura es posible que existan interferencias producidas entre la reflexión del blanco y la del suelo. Estas interferencias se pueden manifestar como ciertos patrones de visibilidad radar de máximos y mínimos. En la figura 5 y 6 se muestra la zona de visibilidad para el ejemplo anterior. Está claro que a medida que achicamos el rango del objetivo las alturas del cono disminuyen también.

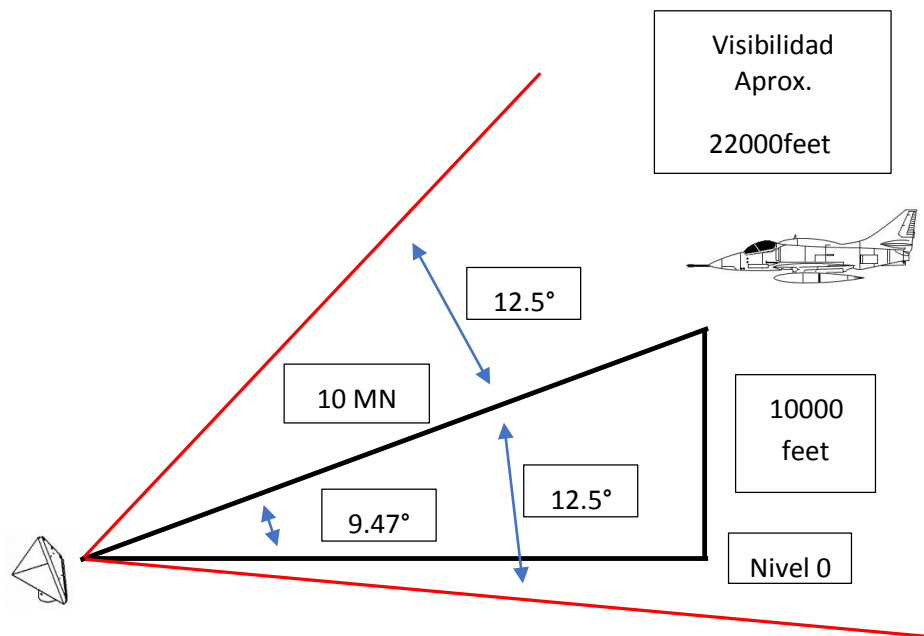


Figura 5. Trigonometría del cono de visibilidad vista en plano de altura

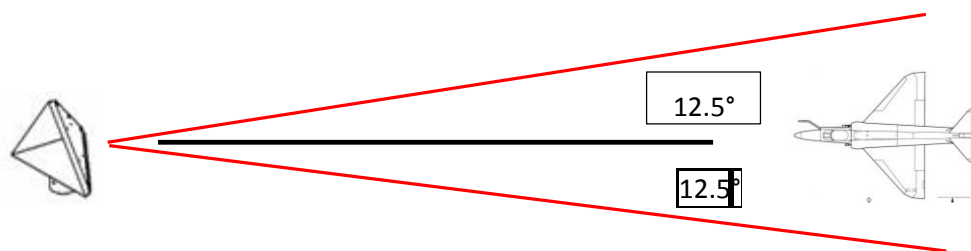


Figura 6. Trigonometría del cono de visibilidad vista en planta acimutal

4. GEOMETRÍA DE LA PISADA DE ILUMINACIÓN DEL RADAR

Para estimar el tamaño del elemento reflector se evalúa la visibilidad del mismo frente al clutter de tierra. Será necesario que el RCS del triedro sea más atractivo que la reflexión del terreno.

Para estimar el clutter de tierra es necesario calcular la pisada del radar según se muestra en la figura 7.

Inicialmente hay que conocer la apertura acimutal de la cobertura de antena, el ancho del pulso de transmisión, (si el radar opera con compresión de pulso se toma el tiempo del pulso ya comprimido) y el grazing angle. El cálculo anterior arroja una sección en metros cuadrados la cual impactara la onda electromagnética.

Teniendo en cuenta el grazing angle y la superficie del terreno se estima una reflectividad específica del terreno la cual permite estimar el RCS del clutter de tierra.

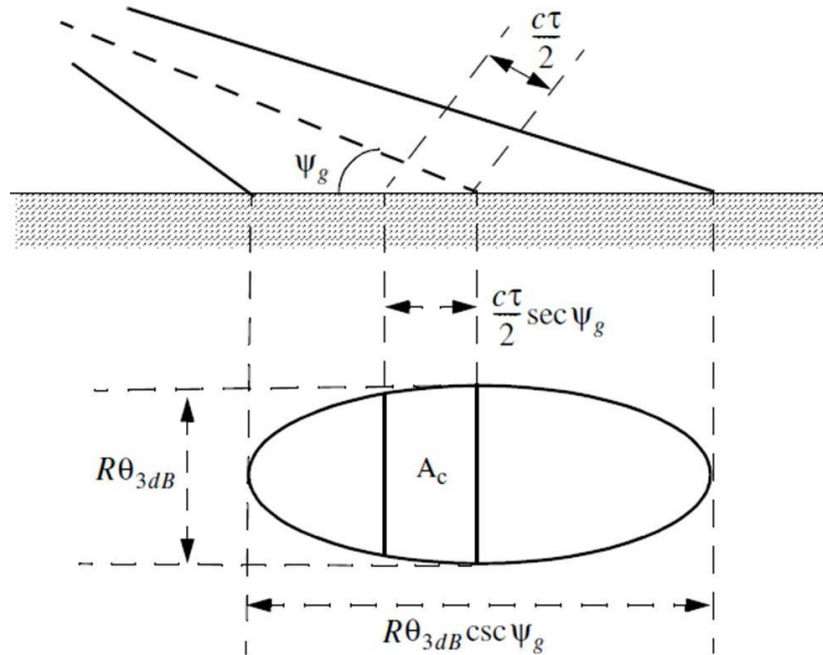


Figura 7. Identificación de la huella y posterior cálculo de la pisada

Si la aeronave vuela más rasante, la pisada puede aumentar, pero el grazing angle disminuye, lo que produce una reducción del coeficiente de retrodispersión del suelo. Esto da como resultado que la sección equivalente de RCS del mismo triedro sobresale más en relación con la altitud de vuelo.

5. CÁLCULO DE LA PISADA

Si suponemos tener un determinado radar cuyo ancho de pulso es de 0.8 microsegundos y un ancho de haz de antena de 3 grados el tamaño de la pisada se calcula mediante el siguiente cálculo:

```

R=10;           % Rango en millas náuticas
h=10000;       % Altura en pies
Tau=0.8e-6;    % Ancho de pulso en segundos
Theta_3dB=3;   % Ancho de haz acimutal de antena
c=2.998e8;     % Velocidad de la luz

R_m=R*1852     % Rango en metros
h_m=h*0.3048  % Altura en metros
Psi_g= asin(h_m/R_m) % Grazin_angle
Psi_g_deg= Psi_g*180/pi % Grazin_angle en grados
Sec_Psi= sec(Psi_g)

Ancho= R_m*Theta_3dB*pi/180
Largo=c*Tau/2

Pisada=Ancho*Largo % Tamaño de la pisada

```

Pisada = 1.1629e+05

El valor leído anteriormente corresponde a la cantidad de metros cuadrados correspondientes a la condición de vuelo referido a un blanco de 10 millas náuticas a una altura de 10000 pies. Podemos redondear la pisada a un valor aproximado de diez hectáreas.

6. ESTIMACIÓN DEL RADAR CROSS SECTION DE CLUTTER TERRESTRE

Estimada la pisada, es necesario evaluar el coeficiente de retrodispersión y de este modo determinar el clutter de tierra. A su vez este coeficiente dependerá del grazing angle y el tipo de superficie.

En la figura 8 se exhiben curvas de comportamiento genéricos del terreno en función del ángulo y tipo de superficie.

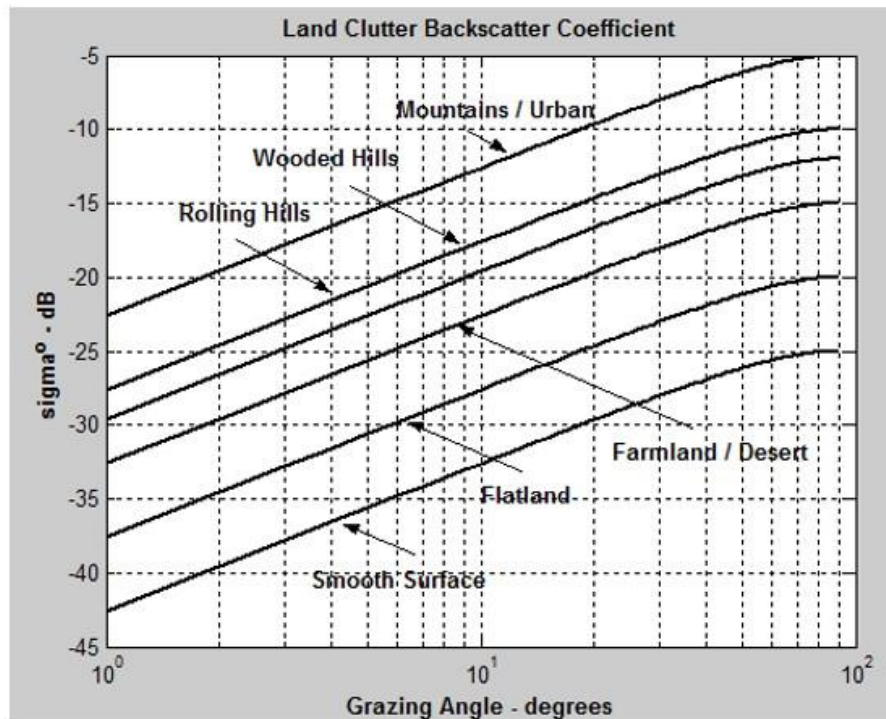


Figura 8. Estimación del coeficiente de retrodispersión

Considerando una curva intermedia con el ángulo obtenido anteriormente, se estima una reflectividad del orden de $\theta = 0,003 \text{ m}^2/\text{m}^2/\lambda$.

$$\text{RCS}_T = (0.003 / (3e8 / 9.4e9)) * 1e5 \quad \text{RCS}_T = 9.4000e+03 \text{ m}^2$$

Se estima entonces un RCS del orden de 9400 metros cuadrados.

7. CÁLCULO DEL TAMAÑO DEL TRIEDRO

Para calcular el RCS del triedro partimos de la fórmula que nos permite estimarlo en función de la dimensión de lado y la frecuencia de iluminación. Para este caso particular consideramos un radar de banda X con una frecuencia de 10 GHz.

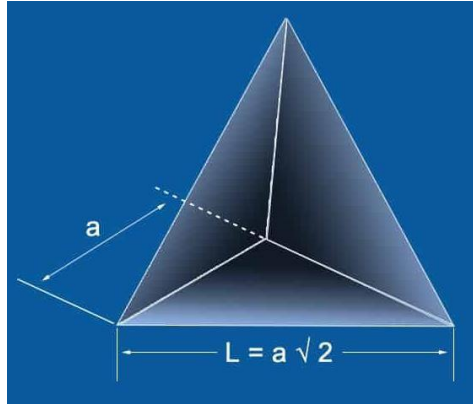


Figura 9. Geometría del triedro

$$RCS_{max} = \frac{4\pi a^4}{3\lambda^2}$$

Queremos que la reflexión del triedro sea mayor que el clutter de tierra, en particular mayor o igual a 3 dB (“2 veces más grande”) respecto del RCS de tierra. Con esto nos garantizamos que la visibilidad del triedro es suficientemente sobresaliente respecto a el RCS de clutter terrestre.

El RCS del triedro debe ser superior a un equivalente de 18800 metros cuadrados. Con estos datos calculamos la dimensión el lado a.

$$A = ((18800 * 3 * (3e8 / 9.4e9)^2) / (4 * \pi))^{0.25} a$$
$$= 1.4622 \text{ m}$$

Esto significa que el triedro a construir para las condiciones anteriores debe tener al menos 1.46 metros de lado a (se aconseja 1.5 metros), correspondiente a la figura 9.

8. MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DEL TRIEDRO

Para la elección de los posibles materiales, es fundamental conocer el comportamiento de los mismos frente al exposición de las ondas electromagnéticas, en especial considerando el rango de frecuencias al que va estar sometido.

En consideraciones generales existen construcciones de los elementos reflectantes en diversos materiales. En particular consideramos dos grandes grupos, los no metálicos y los metálicos.

Los primeros son inicialmente descartados ya que no aportan mejoras a su funcionamiento son costosos y su disponibilidad en el mercado es escasa.

Respecto de los metálicos, podemos decir que cuanto más conductivo es el material más eficiente será su funcionamiento. Entre los materiales metálicos más comunes se encuentran las chapas de aleaciones de hierro, aluminio, latón, cobre, bronce, chapas cincadas, etc.

El material a elegir será alguno de los que se nombraron anteriormente el cual sea posible encontrarlo en el mercado local, sea económico, fácil de trabajar (soldar, doblar, etc.), liviano, etc.

Respecto a la terminación de su superficie, a las frecuencias de radar en general, la mayoría de las superficies de estos materiales son apropiadas (presentan una rugosidad típica mucho menor que la longitud de onda lo cual su comportamiento electromagnético es similar a un espejo, que es lo que se busca).

En particular si se elige un material de construcción que es resistente a la corrosión, la vida útil del triedro se extenderá, máximo si la instalación del dispositivo es fija.

En ocasiones es posible que en la construcción del triedro se practique un orificio en el vértice del mismo con el objeto de evacuar el agua, producto de una precipitación y/o condensación.

9. CONCLUSIONES

Es posible estimar en forma preliminar el tamaño de un triedro reflectante para la identificación de un blanco puntual de referencia.

La orientación está pensada para que se produzca el máximo de reflexión al momento que la antena del radar este orientada con el blanco puntual. En ocasiones será necesario evaluar el comportamiento de los distintos procesamientos de los diversos radares frente a estos blancos puntuales para recalcular algunos parámetros, si no se alcanzan resultados positivos.

A medida que disminuya el "flightlevel", las consideraciones de visibilidad deberán mejorar, ya que el clutter de tierra tendería a disminuir y de este modo el RCS del triedro sobresaldrá más aún.

Los materiales de construcción son económicos y de origen local. La construcción es simple y tolera ciertas desviaciones en la geometría producto de los posibles errores de manufactura (plegado, soldado, doblado etc.).

Es posible a futuro, la posibilidad de combinar estos elementos reflectantes para generar patrones de interferencia y de este modo visualizar los posicionamientos de estos blancos.

10. FUENTES

IMO RESOLUTION MSC.164 (78) - adopted on 17 May 2004.

Knott E., Shaeffer J., Tuley M. 1993. Radar Cross Section, 2nd edition, by. ArtechHouse.

Nathanson F. 1991. Radar Design Principles, 2nd edition by. Mc Graw Hill.

NAWCWPNS-TP8347-Rev.2, April 1999.

Ralph J. F. 2012. Avionics AERO230 (Lecture Notes, University of Liverpool).

Report by QinetiQ: "Performance Investigation of Marine Radar Reflectors on the Market"

https://assets.publishing.service.gov.uk/media/547c705540f0b6024400008d/Radar_reflectors_report.pdf.

Skolnic M. 1980. Introduction to Radar Systems –2nd edition, Mc Graw Hill.

UK Marine Accident Investigation Branch – Report # 7/2007, April 2007.

Ingeniero Martín DÍAZ DE VIVAR
Regente de la EED
Socio AEVYCA Nro 0155