

EL RADAR

PRINCIPIOS DE
FUNCIONAMIENTO

Radio Detection And Ranging

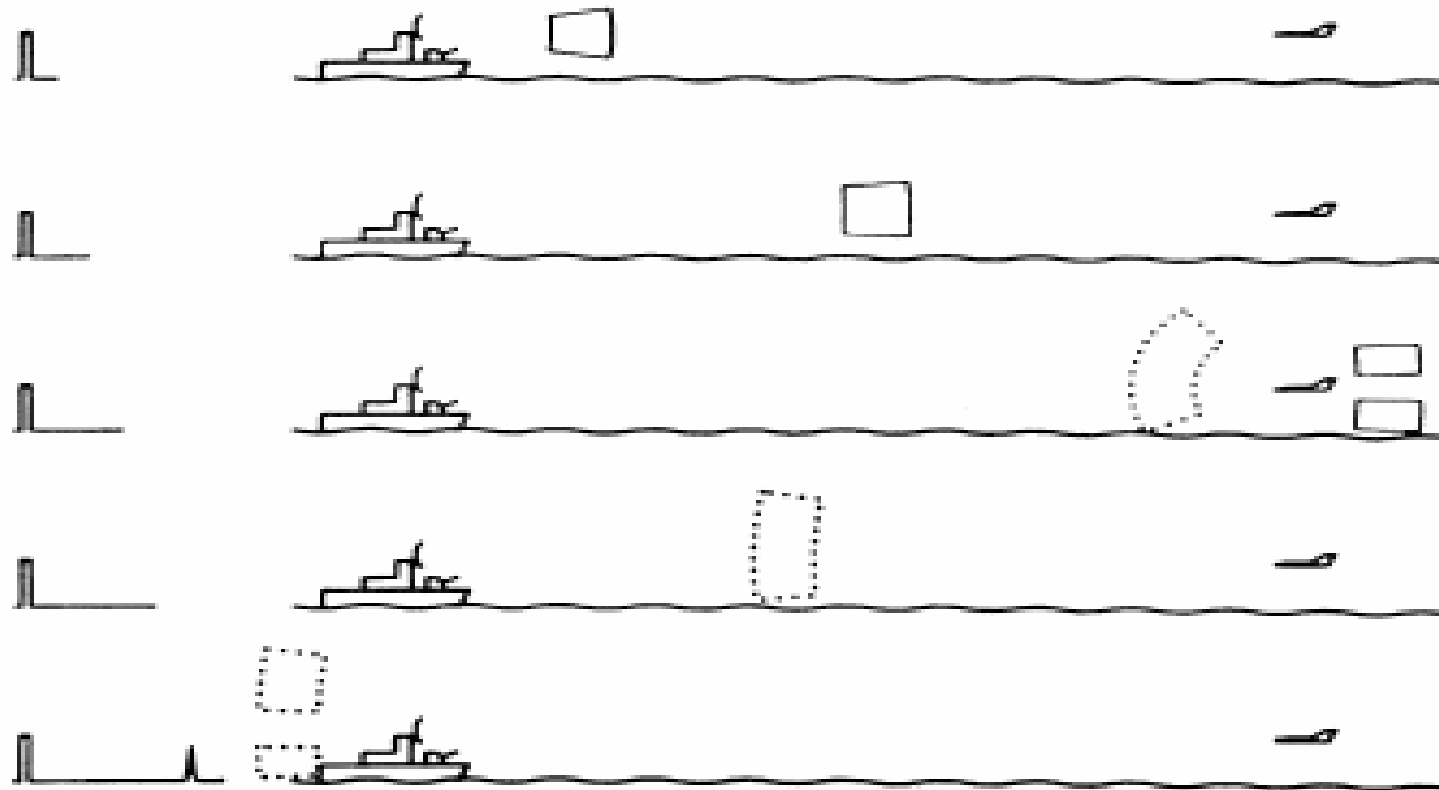
Principio:

Emisión de ondas electromagnéticas
y análisis de las ondas recibidas del
entorno

FUNCIONES

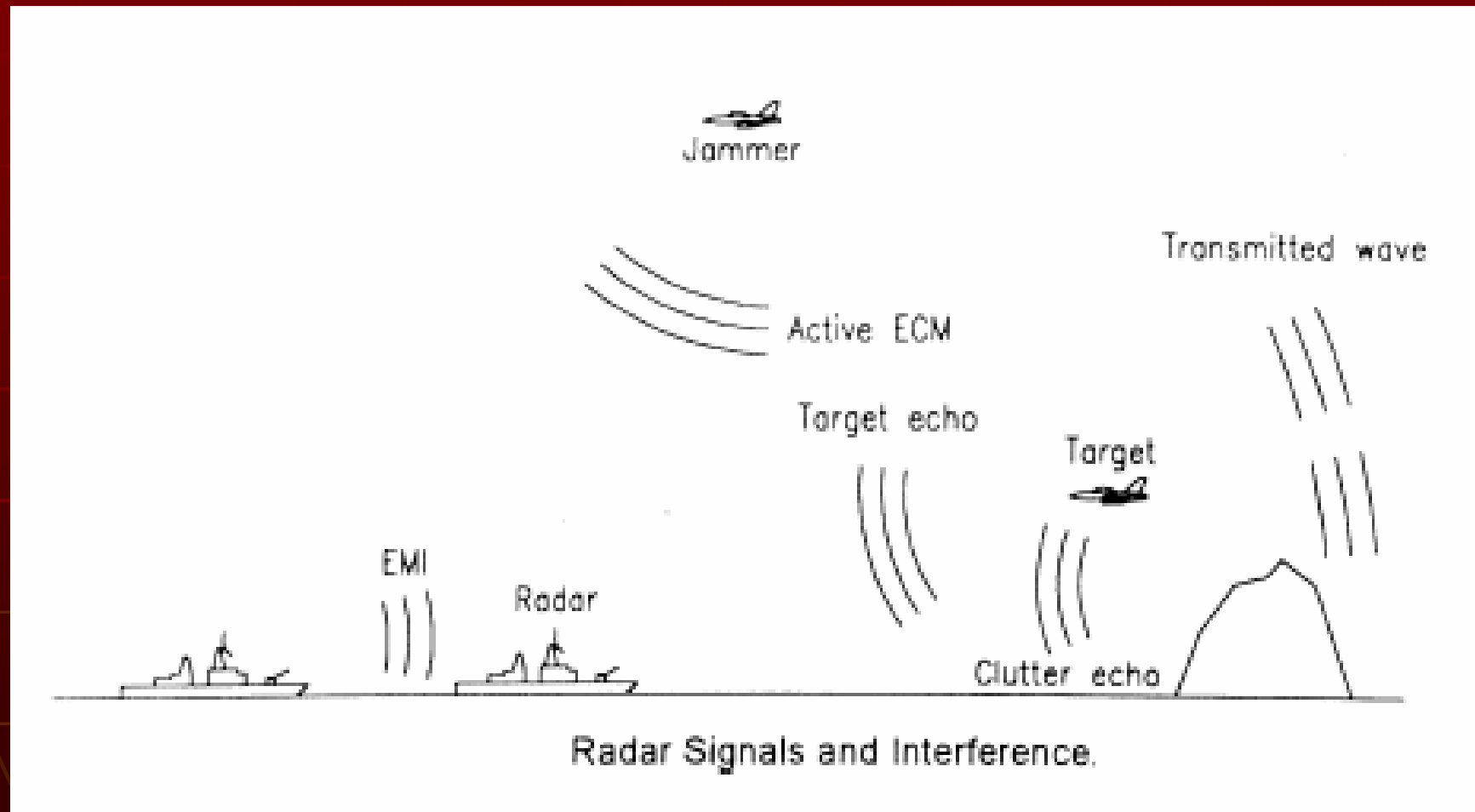
- Detectar, Localizar, Identificar blancos
- Estas funciones se han de realizar en presencia de interferencias tales como:
 - Ruido
 - Clutter (eco de señales no deseadas)
 - Jamming (Interferencias)

PROCESO BÁSICO DEL RADAR



CONCEPTO RADAR PULSADO

EJEMPLO GRÁFICO



HISTORIA DEL RADAR (1)

- 1864 James Maxwell desarrolla las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de las ondas electromagnéticas
- 1886 Heinrich Hertz demostró a partir de las ecuaciones de Maxwell las leyes de reflexión de las ondas de radio, construyendo un transmisor que generaba una onda que canalizaba sobre una antena y medía en otra antena la onda rebotada.

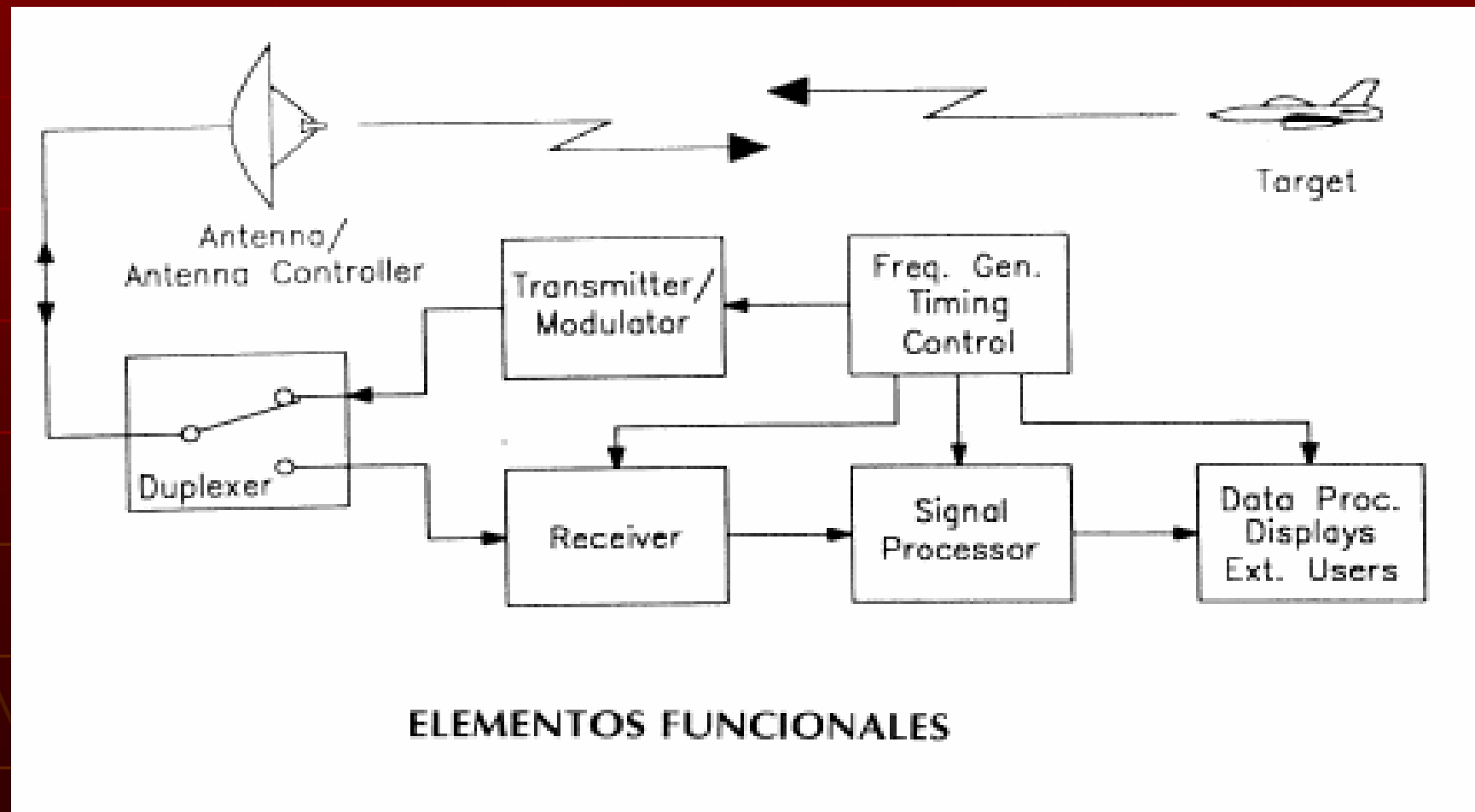
HISTORIA DEL RADAR (2)

- 1903 Christian Hulsmeyer desarrolló un radar de corto alcance (1 milla) para detección de buques
- 1935 Robert Watson-Watt logró detectar un avión a 15 millas. En el mismo año se consiguió detectar un bombardero a 40 millas con ondas de 12 MHz. Se le llamó RDF: Radio Detection Finding
- 1936 Page y Young desarrollan el primer radar pulsado llegando a tener un alcance de 25 Millas

HISTORIA DEL RADAR (3)

- Debido al éxito de Page y Young los ejércitos norteamericano e inglés potenciaron el desarrollo de la tecnología y teoría radar.
- 1937 Voló el primer radar aerotransportado para la detección de barcos. Se desarrolla también una versión para la intercepción nocturna de aviones.
- 1938 entra en servicio en la costa este y sur de Inglaterra un grupo de antenas conocidas como "chain home" para servir como medio de alerta temprana ante ataques aéreos.
- A partir de 1948 el MIT abandona el desarrollo militar del radar y se centra en aplicaciones civiles

COMPONENTES DEL RADAR (1)



COMPONENTES DEL RADAR (2)

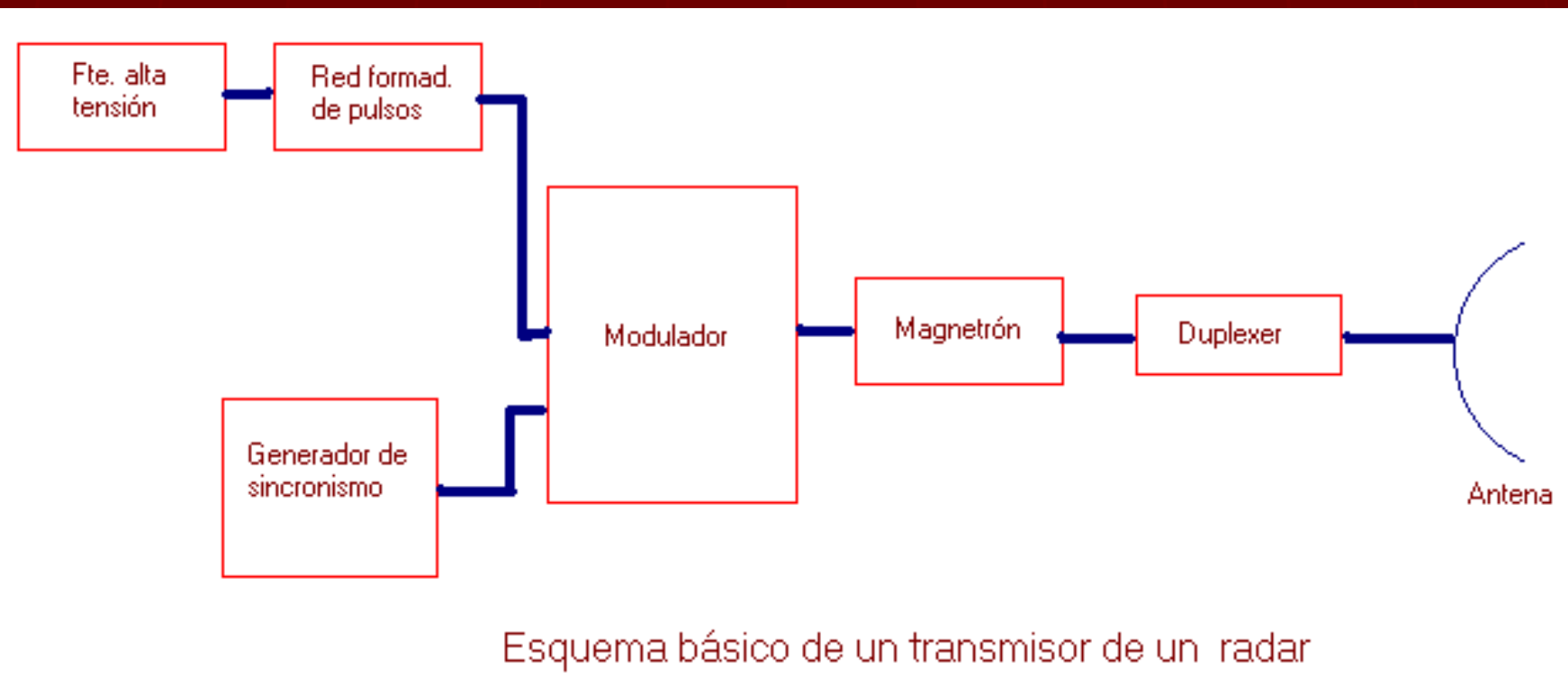
- **Generador de frecuencias tiempos y control:**
 - Genera las frecuencias y las señales de sincronización.
 - Determina cuando el transmisor debe transmitir y como las otras funciones del sistema se relacionan al tiempo de transmisión
- **Transmisor:**
 - Genera la señal que se utiliza para iluminar el blanco, de la que se obtiene el eco.

COMPONENTES DEL RADAR

(3)

- **Modulador:**
 - Controla el transmisor en radares pulsados.
 - En radares de onda continua proporciona la modulación para medir la distancia al blanco
- **Duplexor:**
 - Conmuta la antena en radares monoestáticos entre transmisor y receptor

TRANSMISOR

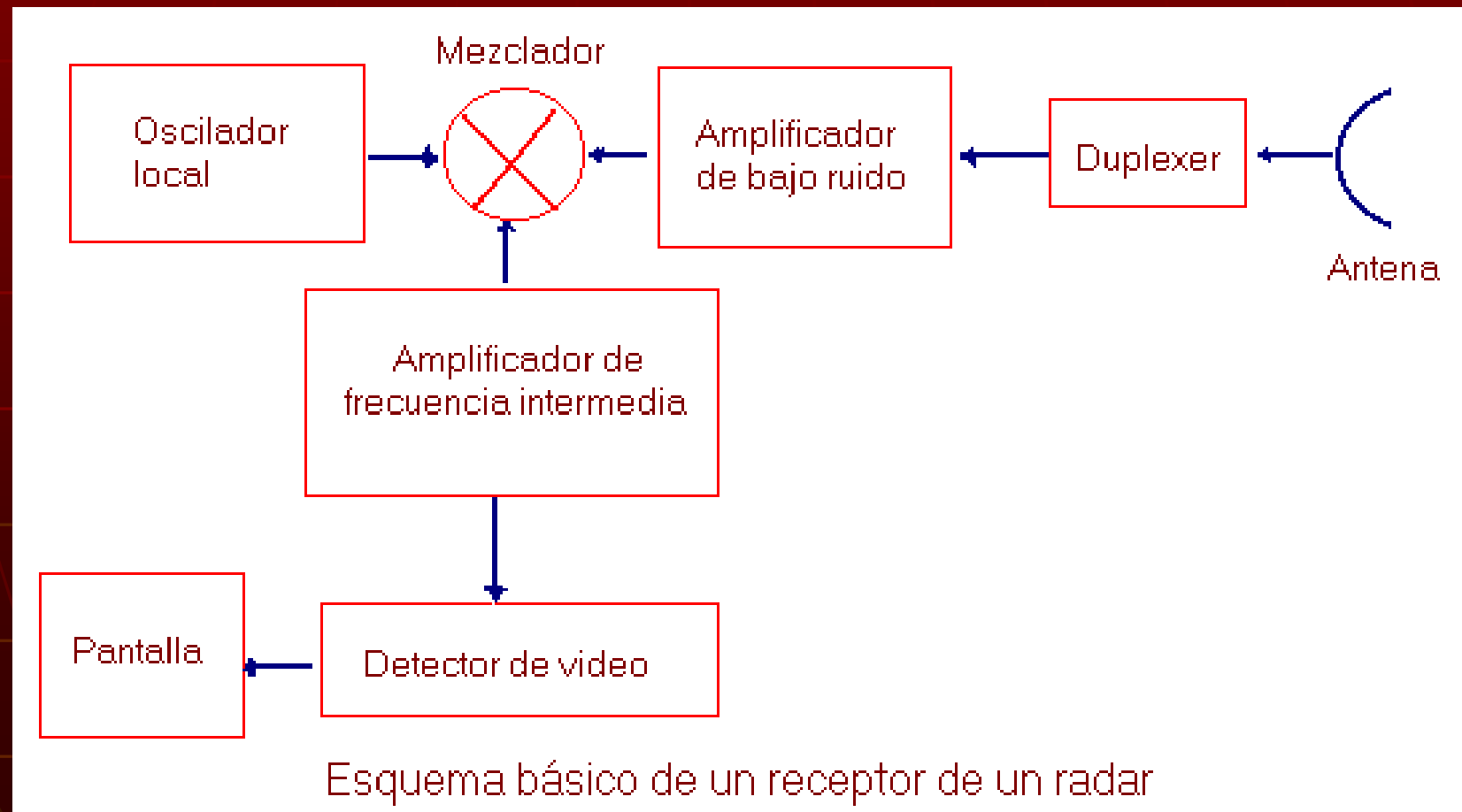


COMPONENTES DEL RADAR

(4)

- **Receptor:**
 - Filtra las señales para eliminar interferencias fuera de la banda de trabajo. Amplifica las señales recibidas hasta un nivel adecuado para su procesamiento
- **Procesador de Señal**
 - Procesa los ecos de los blancos y de las señales interfirientes recibidas con objeto de incrementar el nivel de señal de eco y suprimir la interferencia. Desarrolla la función de detección (si hay objetivo) y obtiene información como distancia y doppler.

RECEPTOR



COMPONENTES DEL RADAR

(5)

- **Antena**
 - Concentra la señal de iluminación en un haz estrecho en la dirección deseada. Intercepta el eco de señales de blanco recibidas en esa misma dirección. Adapta la impedancia del sistema a las del medio de propagación.
- **Controlador de Antena**
 - Posiciona el haz de antena a los ángulos de acimut y de elevación deseados. Informa de estos ángulos al control del sistema y al procesador de datos.

COMPONENTES DEL RADAR

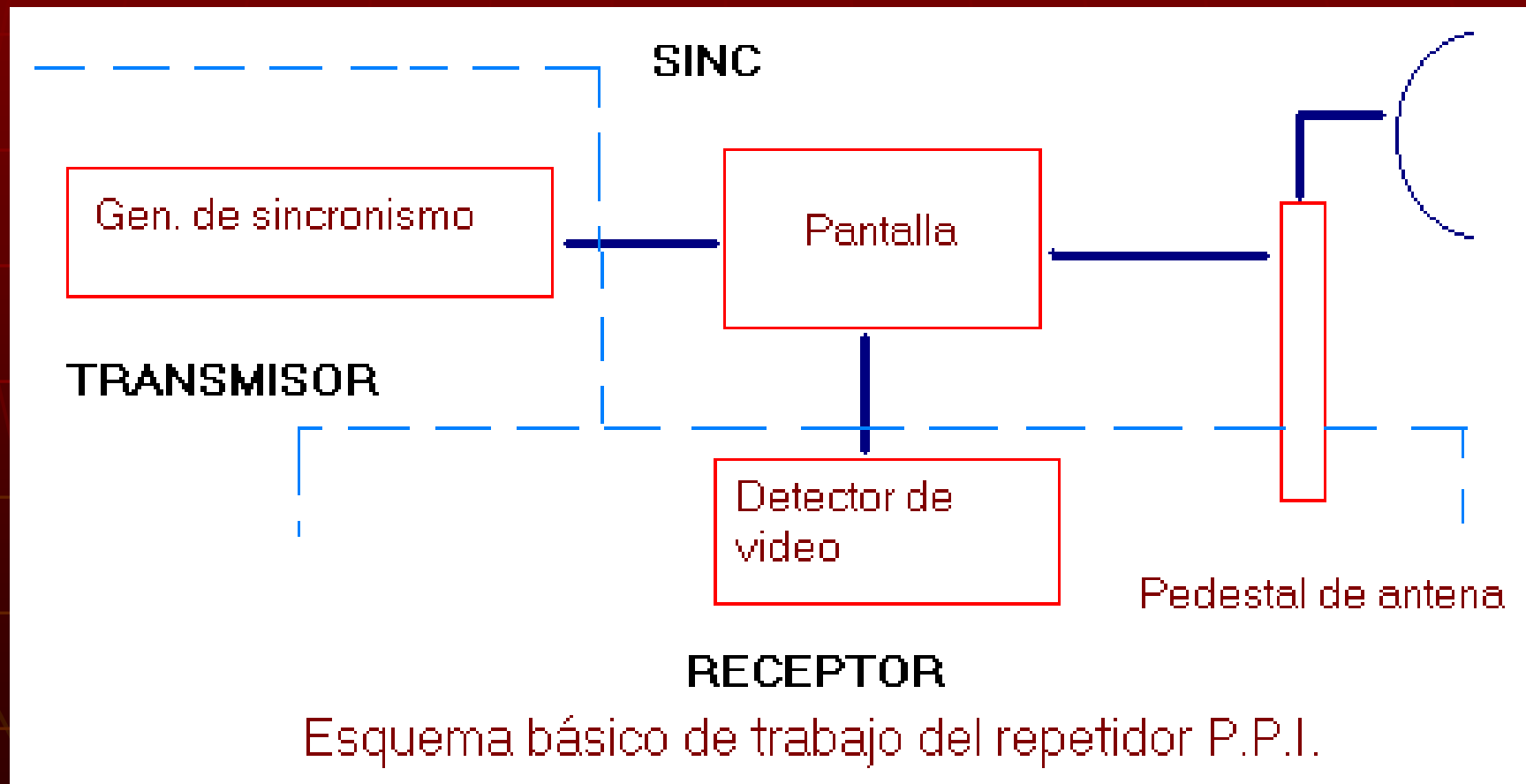
(6)

- **Procesador de datos:**
 - Almacena y procesa la localización de blancos detectados. Puede realizar seguimiento.

Enlace de datos con otros sistemas
- **Displays:**
 - Presenta la información en forma adecuada

para: Operador radar/Controladores de tráfico aéreo/Operadores de sistemas de armas.

SISTEMA DE PRESENTACION



FRECUENCIAS DE TRABAJO

Identificador de la banda	Rango de frecuencia	Empleo
HF	3–30 MHz	Vigilancia OTH
VHF	30–300 MHz	Vigilancia a muy largo alcance
UHF	300–1000 MHz	Vigilancia a muy largo alcance
L	1–2 GHz	Vigilancia a largo alcance Control de tráfico aéreo (ruta)
S	2–4 GHz	Vigilancia a medio alcance Control de tráfico (terminal) Meteorología a largo alcance
C	4–8 GHz	Seguimiento a largo alcance Meteorología (a bordo de aviones)
X	8–12 GHz	Seguimiento a corto alcance Guiado de misiles Mapas Radars marinos
K _u	12–18 GHz	Mapas de alta resolución Altimetría en satélites
K	18–27 GHz	Poco uso (absorción del vapor de agua)
K _a	27–40 GHz	Mapas de muy alta resolución Vigilancia de aeropuertos
Milimétricas	40–100+ GHz	Experimental

ECUACIÓN BÁSICA DE ALCANCE RADAR (1)

Elementos que intervienen:

- Ganancia de la antena directiva [Gt]. Se usa para dirigir la potencia en una determinada dirección
- Potencia emitida a una distancia R
$$P_e = [G_t * P_t / (4 * \pi * R^2)]$$
- σ : RCS (Sección Eco Radar)
- Cantidad de energía devuelta por el objetivo $P_d = [P_e * \sigma / (4 * \pi * R^2)]$
- Energía de eco capturada por la antena. La antena captura parte del eco recibido (área efectiva) [Ae]

ECUACIÓN BÁSICA DE ALCANCE RADAR (2)

- La potencia recibida será:

$$Pr = [Pt / (4 * \pi * R^2)] * [Gt] * [\sigma / (4 * \pi * R^2)] * [Ae]$$
$$= (Pt * Gt * \sigma * Ae) / (4 * \pi * R^2)^2$$

- Cuando la potencia recibida sea igual a la mínima señal detectable (S_{min}) tendremos el alcance máximo del radar:

$$- R_{max} = [(Pt * Gt * \sigma * Ae) / (S_{min} * (4 * \pi)^2)]^{1/4}$$

ECUACION DE ALCANCE RADAR (1)

Factores atenuadores:

- Pérdidas de la señal $[L]$ debido a:
 - la atenuación atmosférica
 - el posicionamiento de la antena en el momento de recepción del eco
 - integración imperfecta en la llegada del eco
 - Desadaptación del filtro

ECUACIÓN DE ALCANCE RADAR (2)

Elementos amplificadores:

- Tiempo que el objetivo es iluminado con la señal transmitida (Tot).

ECUACIÓN DE ALCANCE RADAR (3)

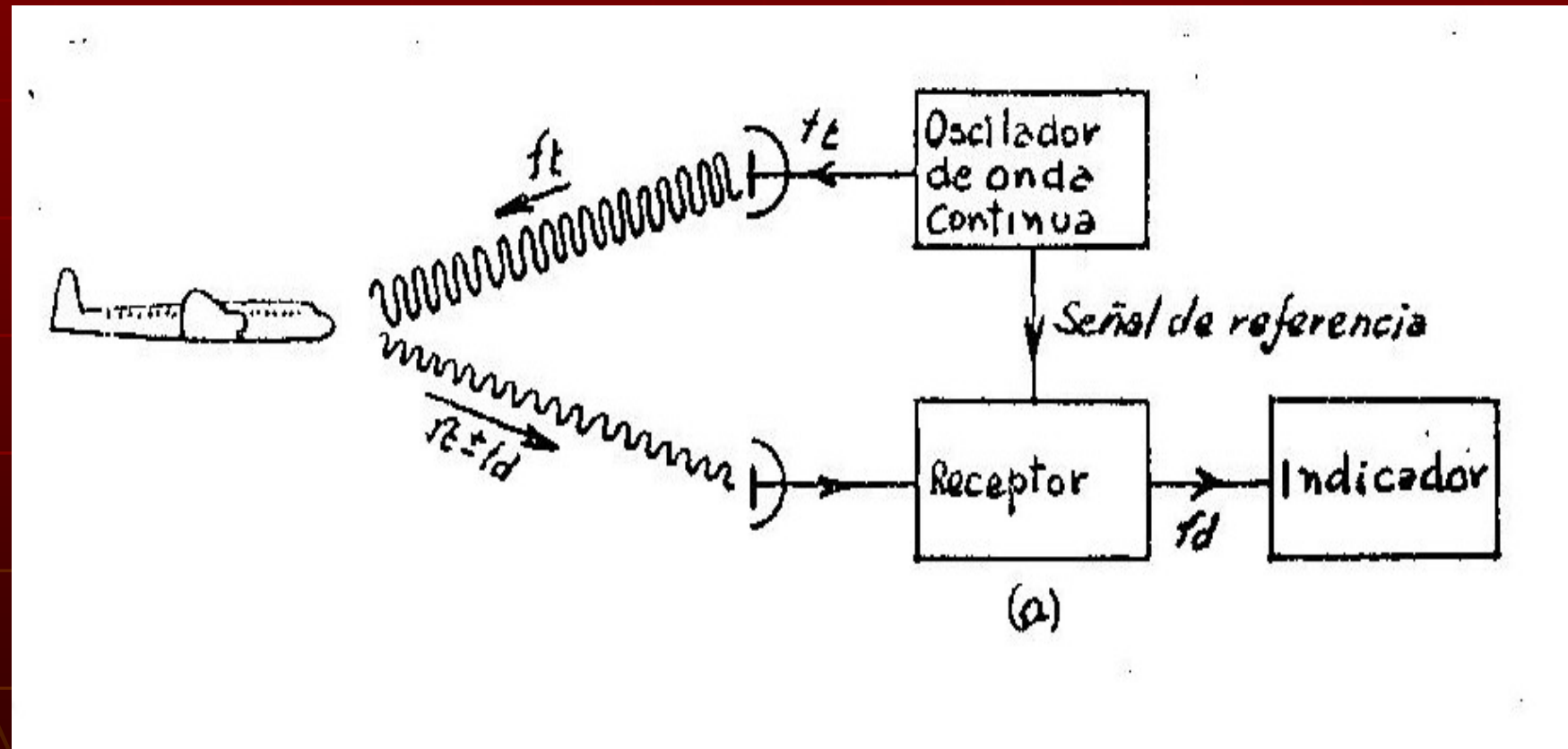
Por tanto la Ecuación que nos queda es:

$$R_{\max} = \left[\frac{P_t * G_t * T_{\text{ot}} * \sigma * A_e}{S_{\min} * (4 * \pi)^2 * L} \right]^{1/4}$$

RADAR DE ONDA CONTÍNUA

- El radar de onda continua emite ininterrumpidamente una onda sin pulsarla a intervalos periódicos.
- Si se emite sólo una portadora sólo se obtiene información sobre la velocidad del blanco.
- Si se modula en frecuencia o en fase la portadora, es posible hallar la distancia.

RADAR DE ONDA CONTÍNUA



INFORMACIÓN DE FASE 1

- Si R es la distancia al blanco desde el radar el número total de longitudes de onda en el camino de ida y vuelta será $2R/\lambda$, siendo
 $\lambda = \text{frecuencia} / \text{velocidad de la luz}$
- Como una longitud de onda corresponde a una excursión angular de 2π , la excursión angular total (o fase) será:
 $\Phi = 4\pi R / \lambda$ $\lambda = 4\pi c R / f$

INFORMACIÓN DE FASE(2)

- La fase cambia linealmente con la distancia, proporcionando un medio para determinar si un blanco se está moviendo, y medir su velocidad

- Derivando respecto de la distancia tenemos:

$$\Phi' = (4 * \pi * f / c) * R' \quad \text{donde}$$

R' = velocidad

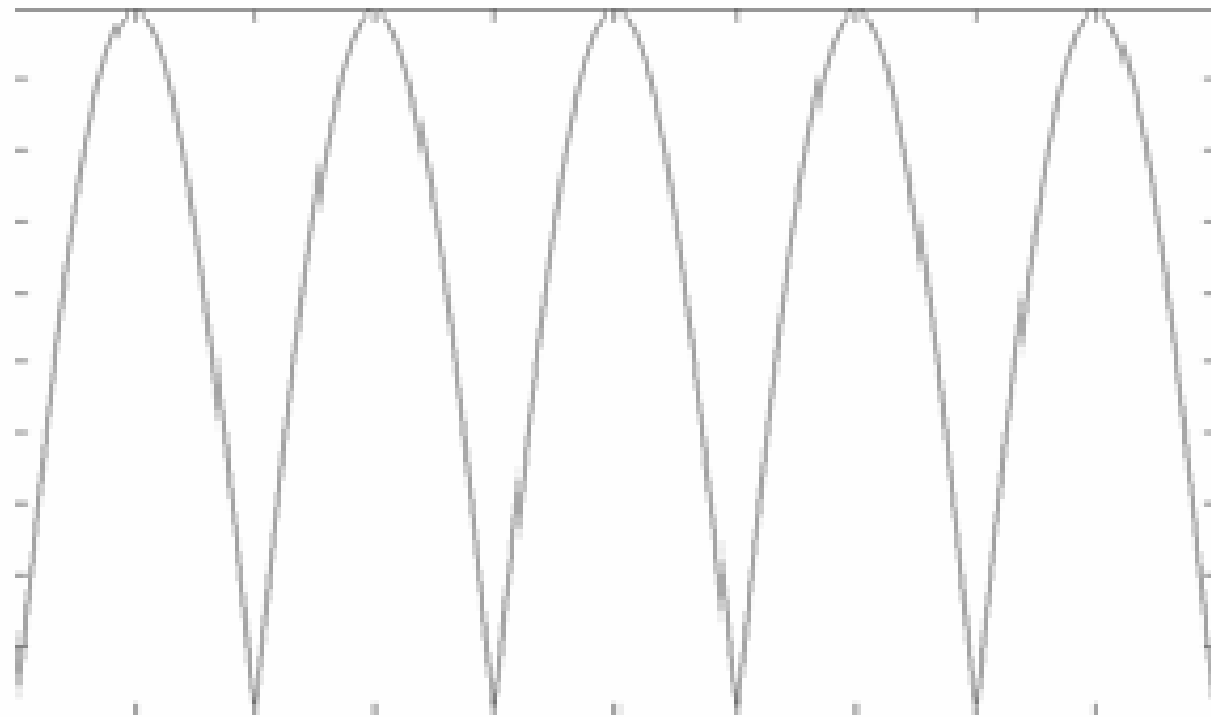
Φ' = Derivada de la fase con el tiempo
(frecuencia angular)

FILTRADO DE LA SEÑAL (1)

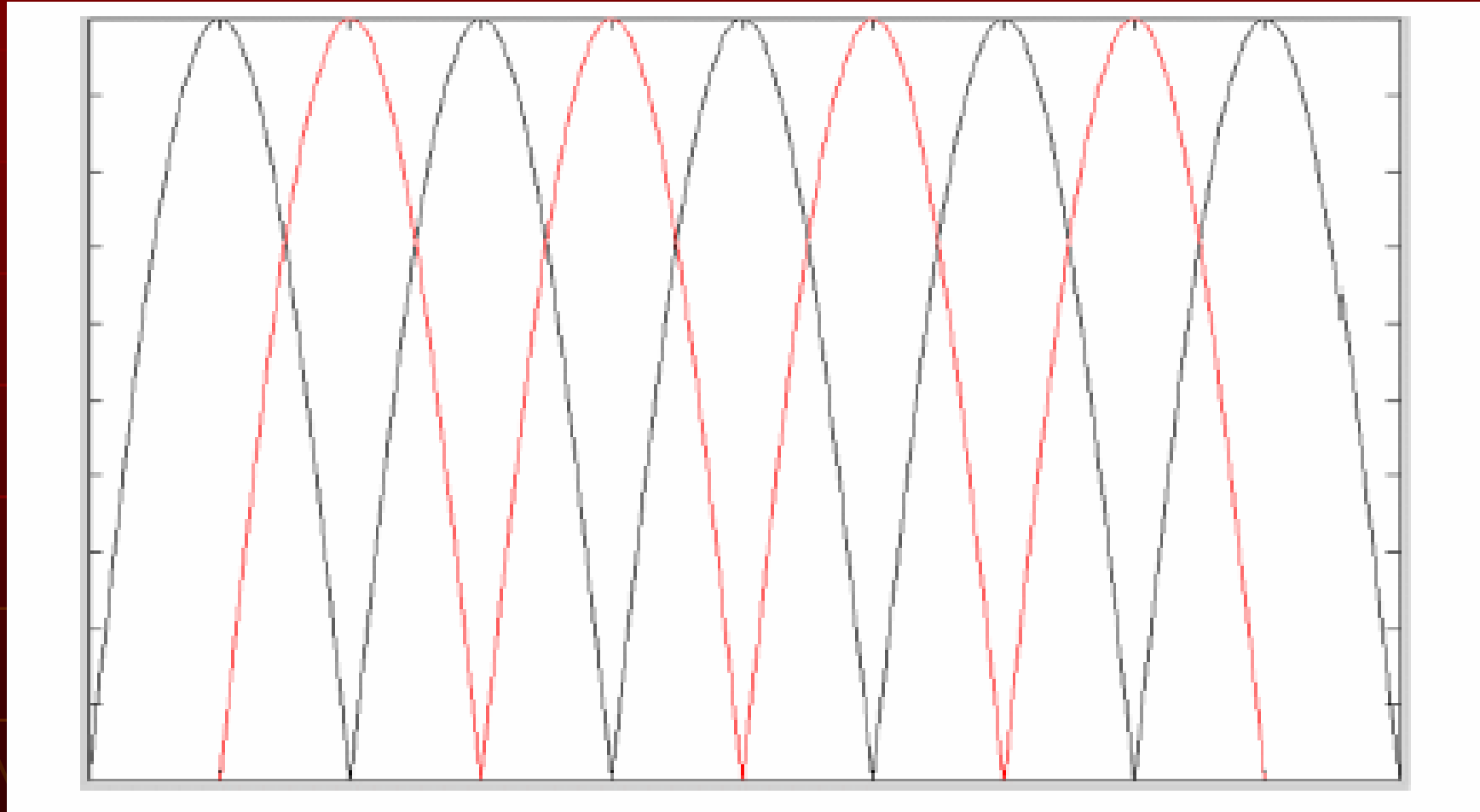
Los radares de onda continua emplean un banco de filtros en serie para procesar la señal de retorno si el filtrado es analógico

FILTRADO DE LA SEÑAL(2)

- Disposición de los filtros pasa banda:



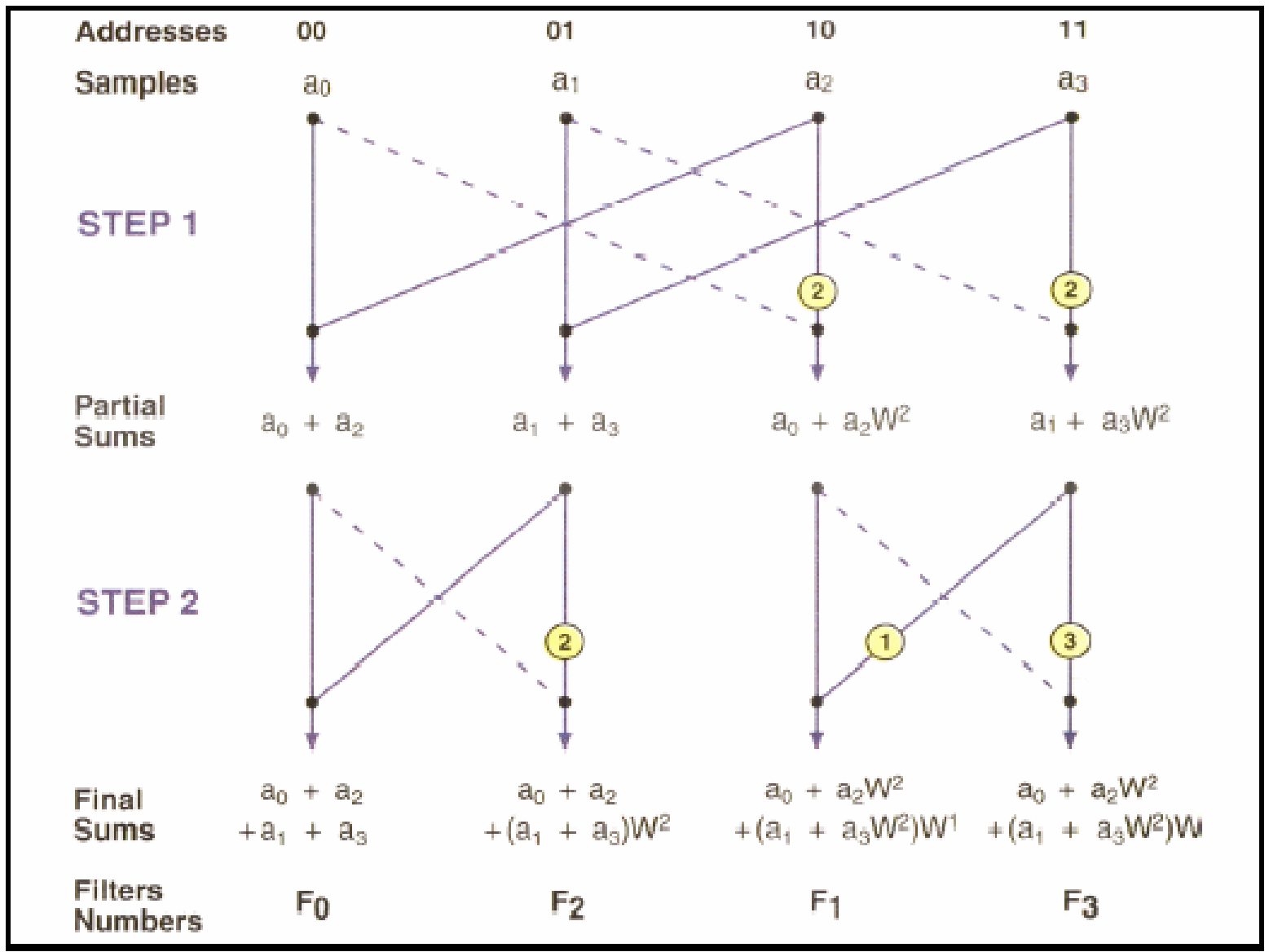
FILTRADO DE LA SEÑAL(3)



FILTRADO DE LA SEÑAL(4)

Para el filtrado digital de la señal recibida se usa la FFT

El filtrado digital suma sucesivas muestras de la onda continua de tal forma que producen una suma apreciable sólo si la frecuencia de la señal está dentro de una banda estrecha



INFORMACIÓN DE FASE(3)

- Si hay componente radial de velocidad entonces la distancia (R) cambiará, resultando en un cambio de fase. La velocidad del blanco se puede determinar midiendo la frecuencia.
- El desplazamiento en frecuencia entre transmisión y recepción se llama Doppler.

INFORMACIÓN DE FASE(4)

Si la frecuencia de la señal transmitida no es constante la distancia al blanco se puede determinar por la siguiente fórmula:

$$\Phi' = (4 * \pi * R / c) * f' \Rightarrow R = (\Phi' * c / (4 * \pi * f'))$$

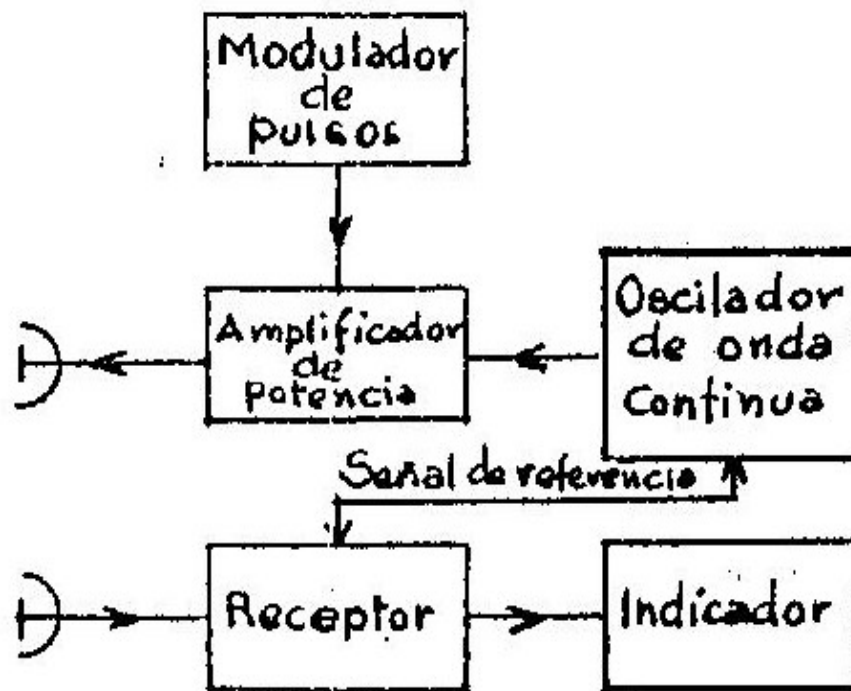
A esto se le llama Doppler “sintético”

RADARES DOPPLER PULSADOS

Existe un tercer tipo de radar que es muy usado en la actualidad. El radar Doppler pulsado es un radar de onda continua que pulsa la señal emitida (comportándose como un radar pulsado), pero en vez de efectuar el análisis de los datos como un radar pulsado lo hace como los doppler.

Esto es posible gracias a que con las muestras recibidas se efectúa una "reconstrucción" de la señal para obtener de nuevo una forma de onda continua.

RADARES DOPPLER PULSADOS



(b)

EJEMPLOS DE RADARES



EJEMPLOS DE RADARES (2)

- Radar portatil ARINE
- Peso total: 42 kg
- Autonomía: 12 horas
- Alcance por objetivo:
 - 24 Km taques
 - 20 Km coche, helicóptero
 - 10 Km hombre de pie
 - 3 Km hombre reptando



EJEMPLOS DE RADARES (3)

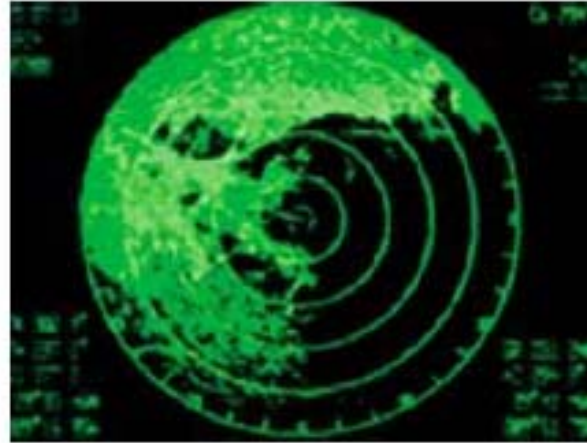
- Radar ARIES
- Radar de superficie de alta resolución
- Resolución en distancia inferior a 50 cm



EJEMPLOS DE RADARES



EJEMPLOS DE RADARES



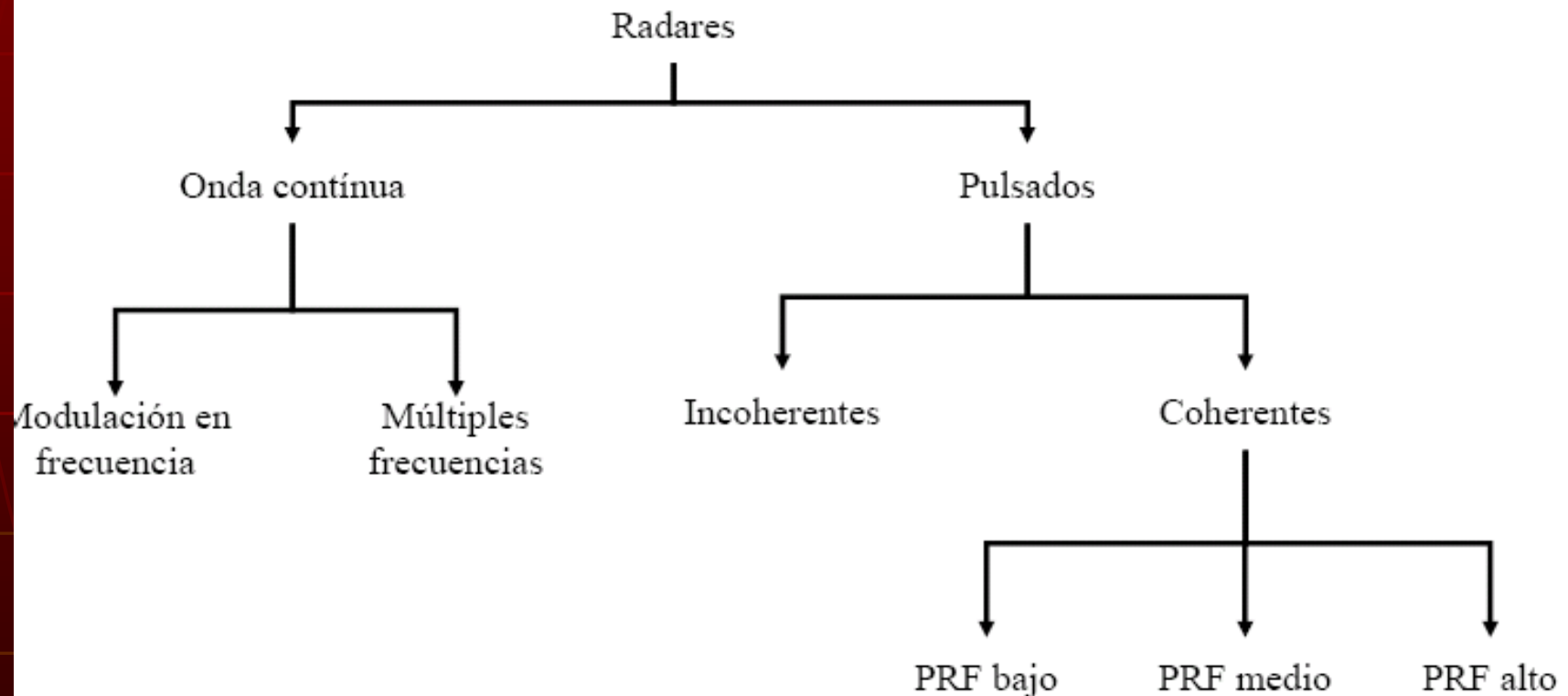
Radar primario



Radar secundario

Clasificación de los sistema radar

- Según el tipo de señal



Clasificación de los sistema radar

- Según la resolución
 - Radars convencionales: el tamaño de la *celda de resolución* es superior al del blanco

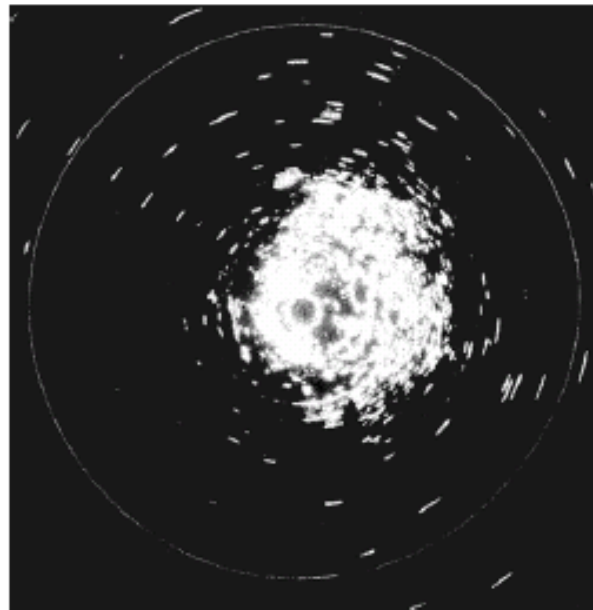
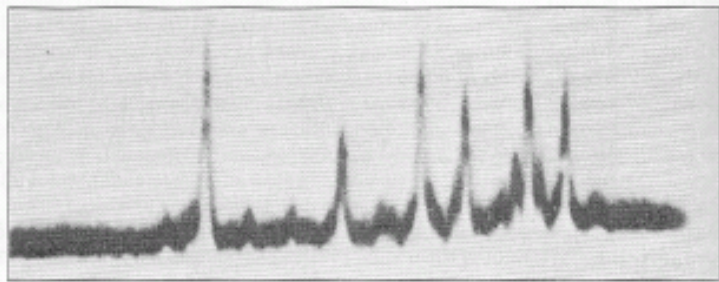
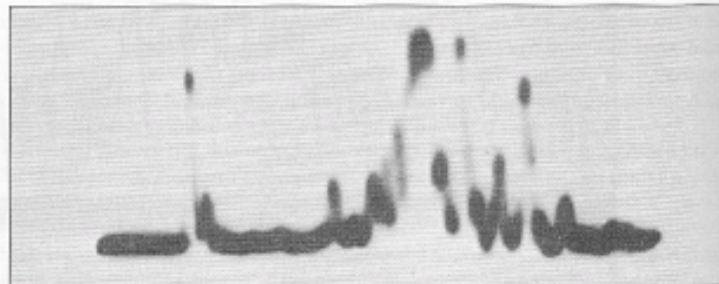


Foto de una pantalla PPI

Clasificación de los sistemas radar

- Según la resolución
 - Radares de alta resolución: la *resolución* es menor que las dimensiones del blanco

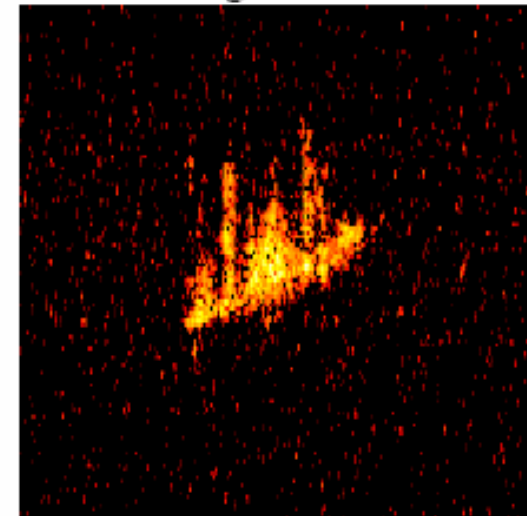


Perfil de alta resolución

Fotografía del blanco



Imagen ISAR



BIBLIOGRAFÍA

- http://www.revistamarina.cl/revistas/2000/1/parke_r.pdf
- "Principles of Modern Radar", Jerry L. Eaves & Edward K. Reedy, VAN NOSTRAND REINHOLD, 1987
- "Radar: Principles, Technology; Applications", Byron Edde, Prentice Hall, 1993
- Introduction to Airborne Radar (second edition)
– Ed. Scitech Publishing Inc.