



Sistemas de Comunicaciones Radar

Zenón Saavedra

Universidad Nacional de Tucumán

Laboratorio de Telecomunicaciones





Sistema de Comunicaciones

Programa Analítico:

1. Breve historia referida al Sensado Remoto
2. Principio de funcionamiento de un Radar
3. Clasificación de Radar
4. Efectos del medio sobre las ondas electromagnéticas
5. Hardware de un Radar
6. Técnicas de detección
7. Procesamiento Digital





Primera Clase.

Clase 1: Radar

Temario:

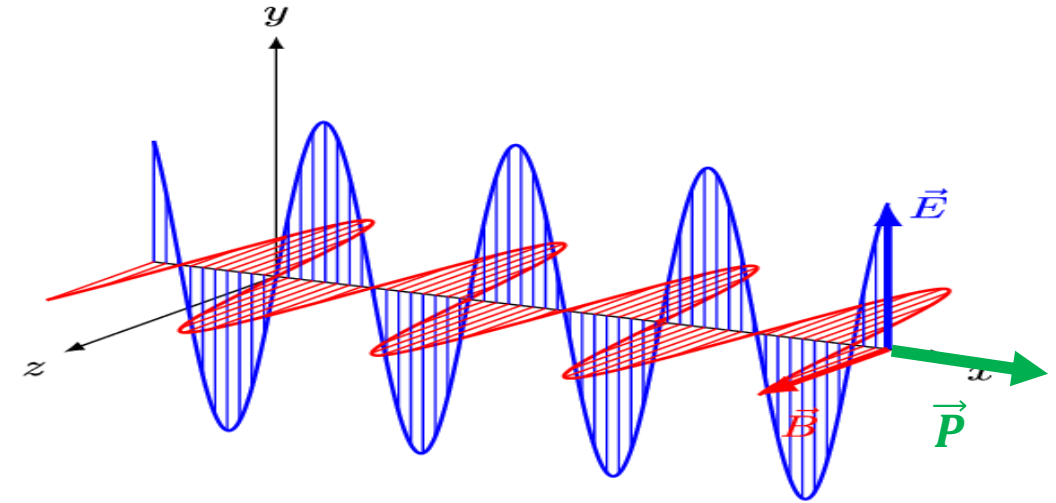
- Conceptos de Onda.
- Definición de Radar.
- Principio de funcionamiento.
- Ecuación de radar.
- Clasificación
 - Ubicación
 - Tipo de onda
 - Objetivo pasivo/ activo
- Diagrama de Bloques.
 - Transmisor
 - Antenas
 - Receptor
 - Control Sincronismo



Onda Electromagnética

Es generada por cargas eléctricas oscilantes, y se encuentra compuesta por campos eléctricos y magnéticos que oscilan en planos perpendiculares entre sí.

- Se propagan con una velocidad igual a la de la luz.
- No necesitan de un medio para propagarse.
- Este tipo de onda son del tipo transversal
- Se transporta energía de un punto a otro.



Ondas de Radio:

- Son un tipo de O. E. En el rango de frecuencia 10 kHz a 10 THz.
- Son utilizadas en las comunicaciones (**RADAR**).
- Fácil de generar mediante corriente en antenas de metal.
- Se trabaja con valores de Corriente, Tensión o Potencia

$$E_y(x, t) = E_0 \sen(x \cdot k - \omega \cdot t)$$
$$B_z(x, t) = B_0 \sen(x \cdot k - \omega \cdot t)$$

$$V(x, t) = V_0 \sen(x \cdot k - \omega \cdot t)$$

Parámetros

- Frecuencia / Longitud de Onda
- Energía

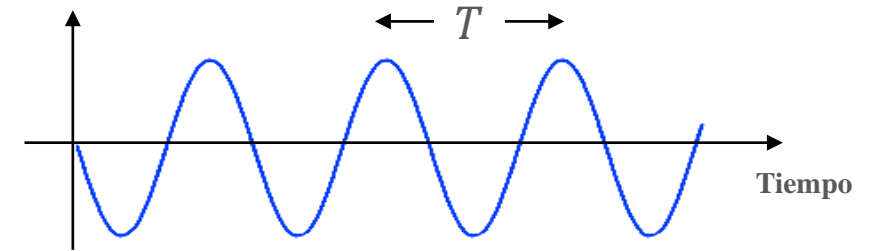


Onda Electromagnética

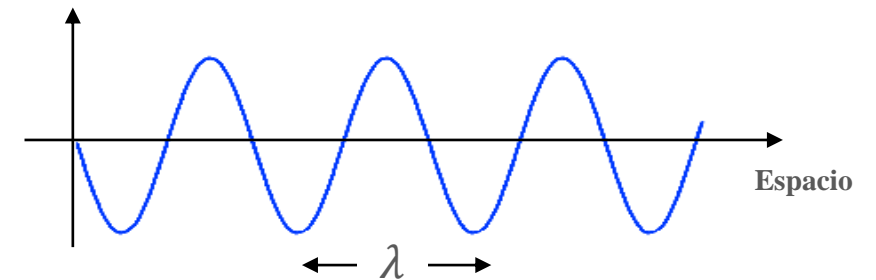
Frecuencia y Longitud de Onda.

La **Frecuencia** (f) de una onda electromagnética es el número de veces que cambia el sentido del campo en la unidad de tiempo en un punto dado. Se mide en [Hz].

$$f = \frac{1}{T} \quad T: \text{Periodo de la Onda [s]}$$



La **Longitud de Onda** (λ) de una onda electromagnética es la distancia mínima para que la onda periódica que se propaga vuelva a pasar por un mismo estado. La longitud de onda, también conocida como periodo espacial. Se mide [m]



Velocidad de propagación de una O.E, se asume igual a la velocidad de luz en el vacío.

$$c = \lambda \cdot f$$

Ejemplo :

Si una onda tiene $f = 100 \text{ MHz}$

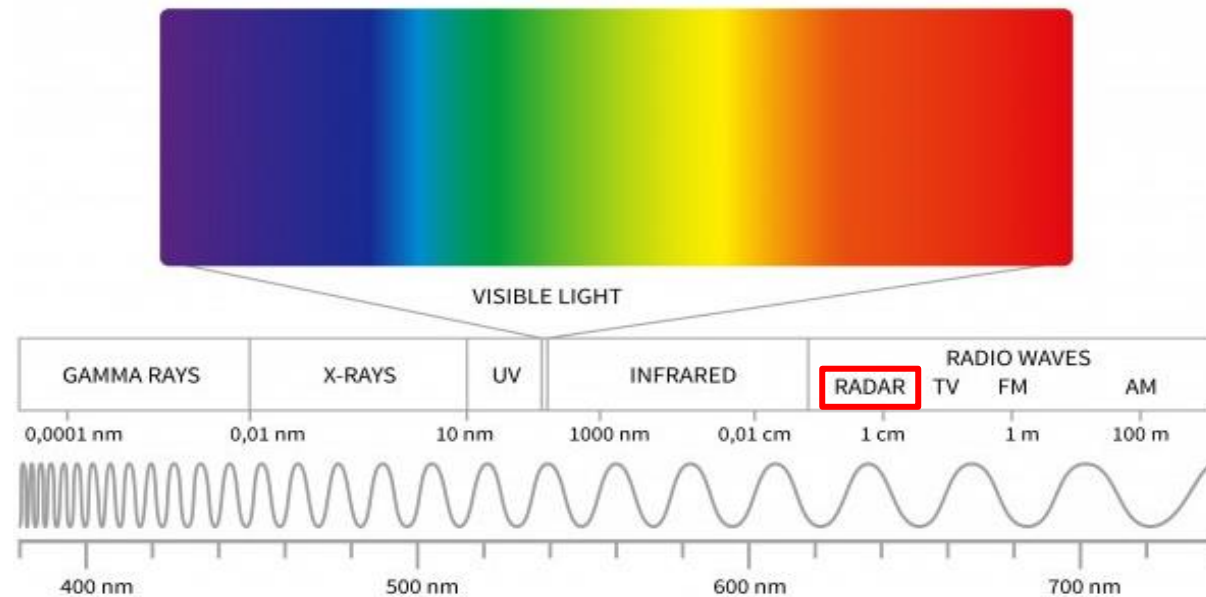
La onda tiene $\lambda = 3 \text{ m}$



Onda Electromagnética

Bandas de Frecuencia

Espectro de Frecuencia.



Banda	Frecuencia	Longitud Onda
HF	3 - 30 MHz	100 m - 10 m
VHF	30 - 300 MHz	10 m - 1 m
UHF	300 MHz - 1 GHz	1 m - 30 cm
L	1 - 2 GHz	30 cm - 15 cm
S	2 - 4 GHz	15 cm - 7.5 cm
C	4 - 8 GHz	7.5 cm - 3.75 cm
X	8 - 12 GHz	3.75 cm - 2.5 cm
Ku	12 - 18 GHz	2.5 cm - 1.67 cm
K	18 - 27 GHz	1.67 cm - 1.11 cm
Ka	27 - 40 GHz	1.11 cm - 7.5 mm
mm	40 - 300 GHz	7.5 mm - 1 mm

Historia y Orígenes

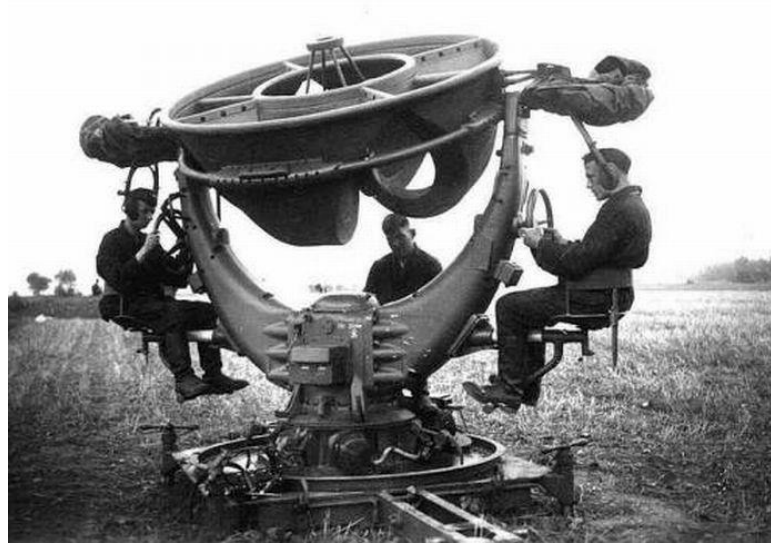
- 1864, James Clerk Maxwell describe las leyes del electromagnetismo.
- 1888, Heinrich Rudolf Hertz demuestra que las ondas electromagnéticas se reflejan en las superficies metálicas.
- 1901 Guillermo Marconi construyó el primer sistema de radio, logrando enviar señales a la otra orilla del Atlántico.
- 1904 Christian Huelsmeyer patentó el primer sistema de detección de buques utilizando ondas electromagnéticas
- 1917, Nikola Tesla establece los principios teóricos del futuro radar (frecuencias y niveles de potencia).

A mediados del Siglo XX, muchos inventores, científicos e ingenieros de diferentes países han contribuido en el desarrollo del radar, impulsados por el ambiente prebélico que precedió a la Segunda Guerra Mundial, y a la propia Guerra.

- 1935 El físico Robert Watson-Watt intenta crear el rayo de la muerte, junto a su asistente el físico Arnold Wilkins, Este fracaso dio lugar a una serie de hechos que culminaron con la invención del radar



Que había antes ??



Definición

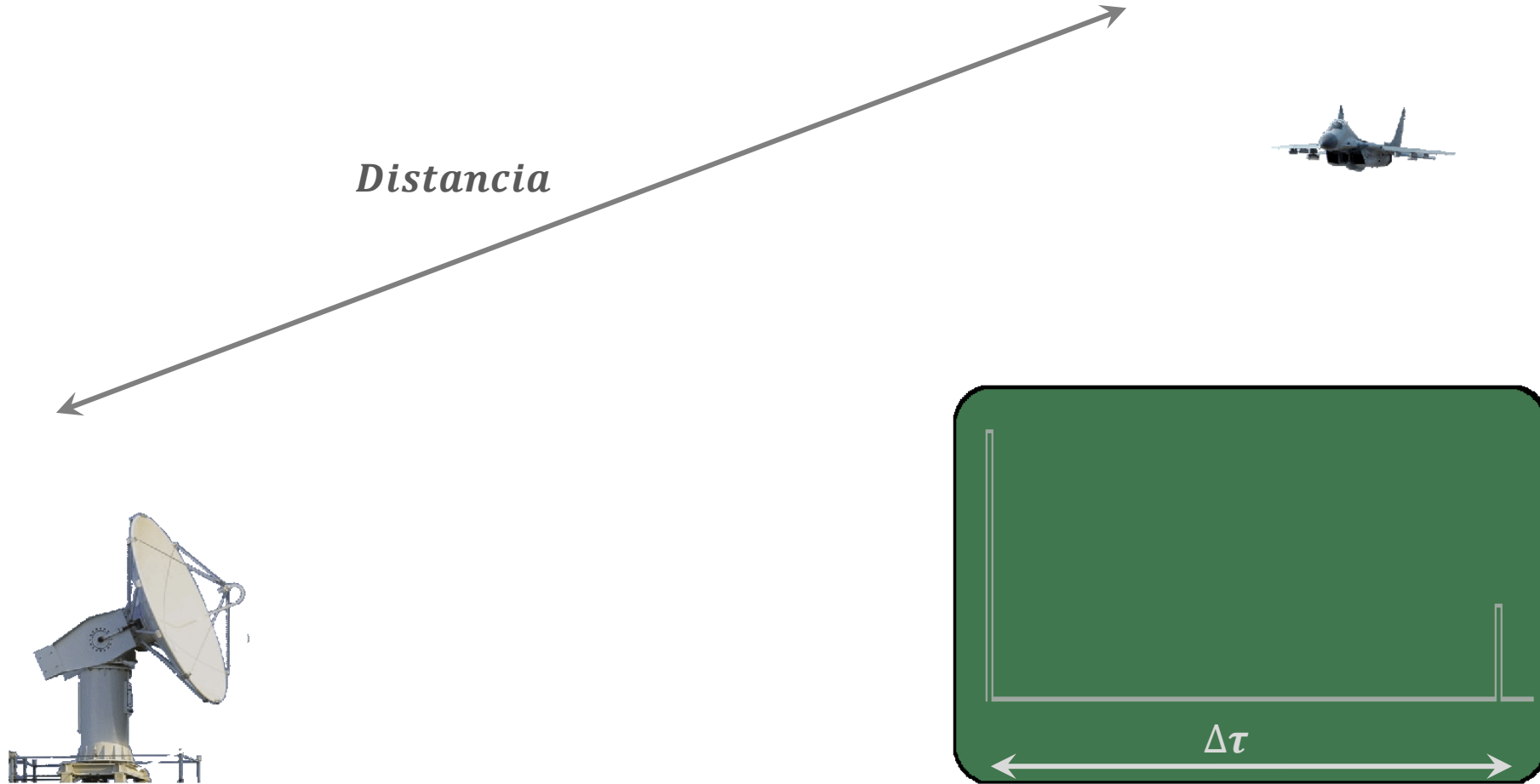
RADIo Detection And Ranging

Es un sistema que consiste de un transmisor y un receptor de radio sincronizados, que emite ondas electromagnéticas y procesa las ondas reflejadas.

Estas ondas reflejadas se utilizan en la detección y localización de objetos tales como aeronaves, barcos, o en la detección de las características de superficies.



Principio de Funcionamiento



$$Velocidad = \frac{Distancia}{Tiempo}$$

$$Distancia = c \cdot \frac{\Delta t}{2}$$

Principio de Funcionamiento

Para determinar la ubicación de donde proviene un eco, se necesita dos parámetros, Rango y **DIRECCIÓN**.



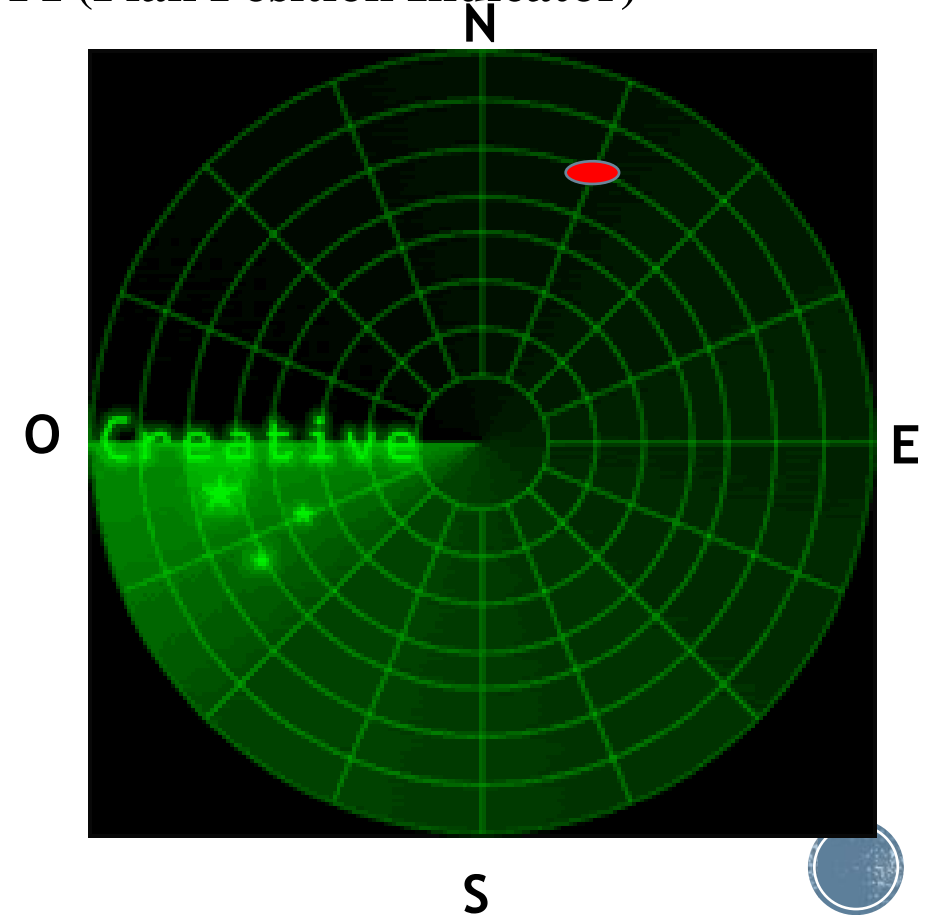
Objetivo 4

Objetivo 1

Objetivo 3

Objetivo 2

PPI (Plan Position Indicator)



Principio de Funcionamiento

Ejemplo de calculo.

Datos

$c : 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$

$\Delta\tau: 5,0 \text{ us}$

Dirección: 15° acimut

Tipo: Pulsado

Determinar la distancia de donde proviene el eco:

$$R = c \cdot \frac{\Delta\tau}{2}$$

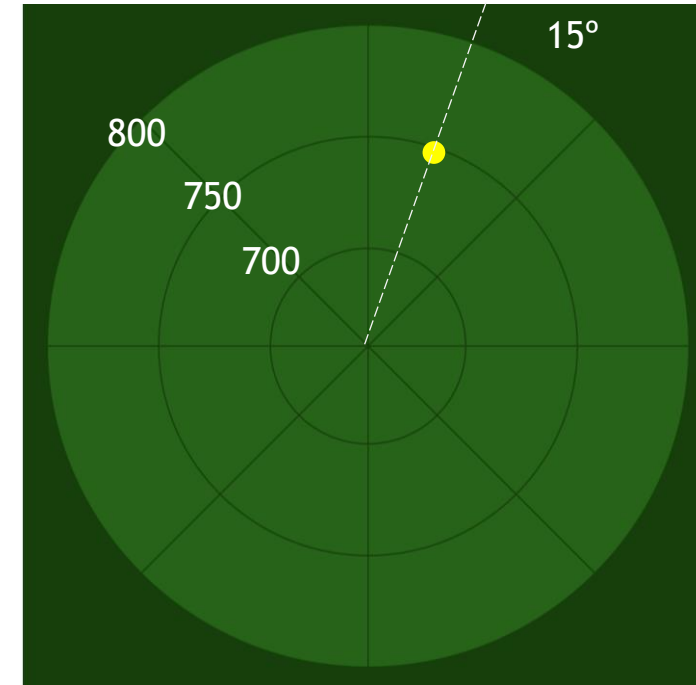
$$R = 3,0 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{5,0 \times 10^{-6} \text{ s}}{2} = 750 \text{ m}$$

El objetivo se encuentra :

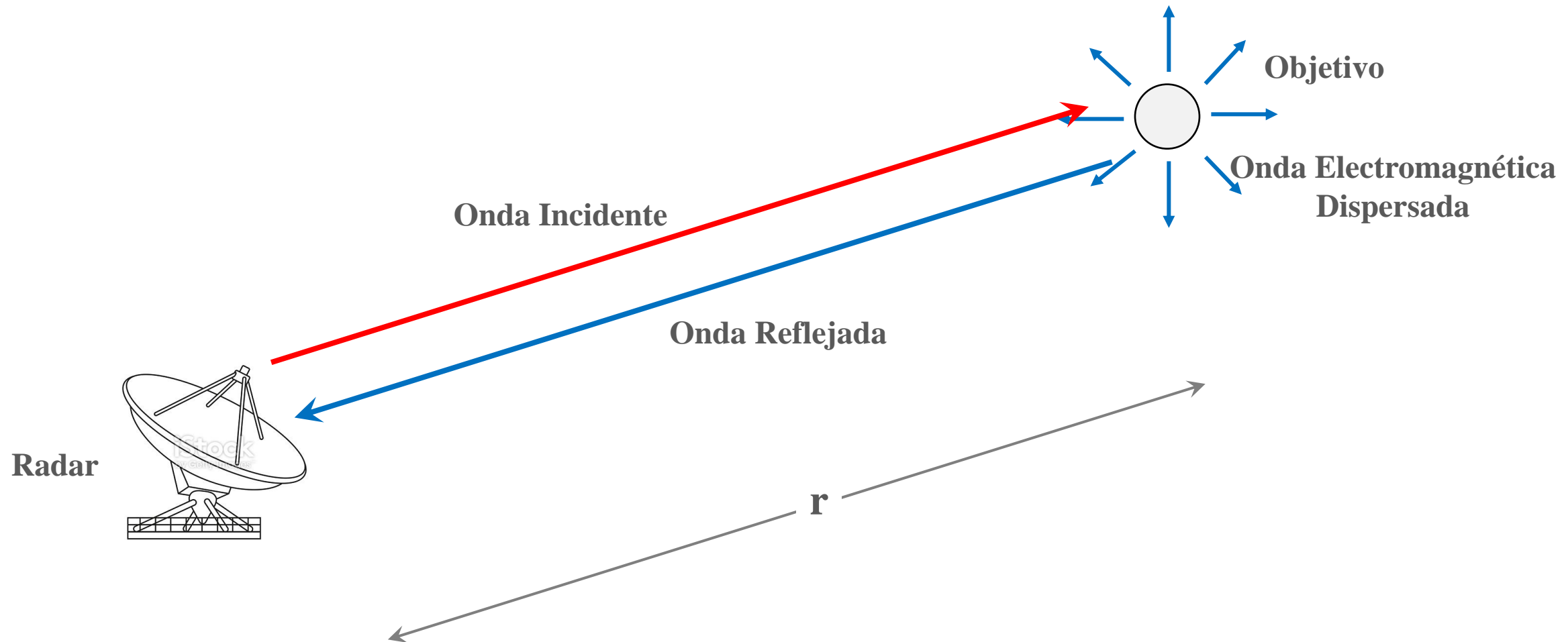
Rango: 750 m

Azimut: 15°

PPI



Ecuación del Radar



Ecuación de Radar

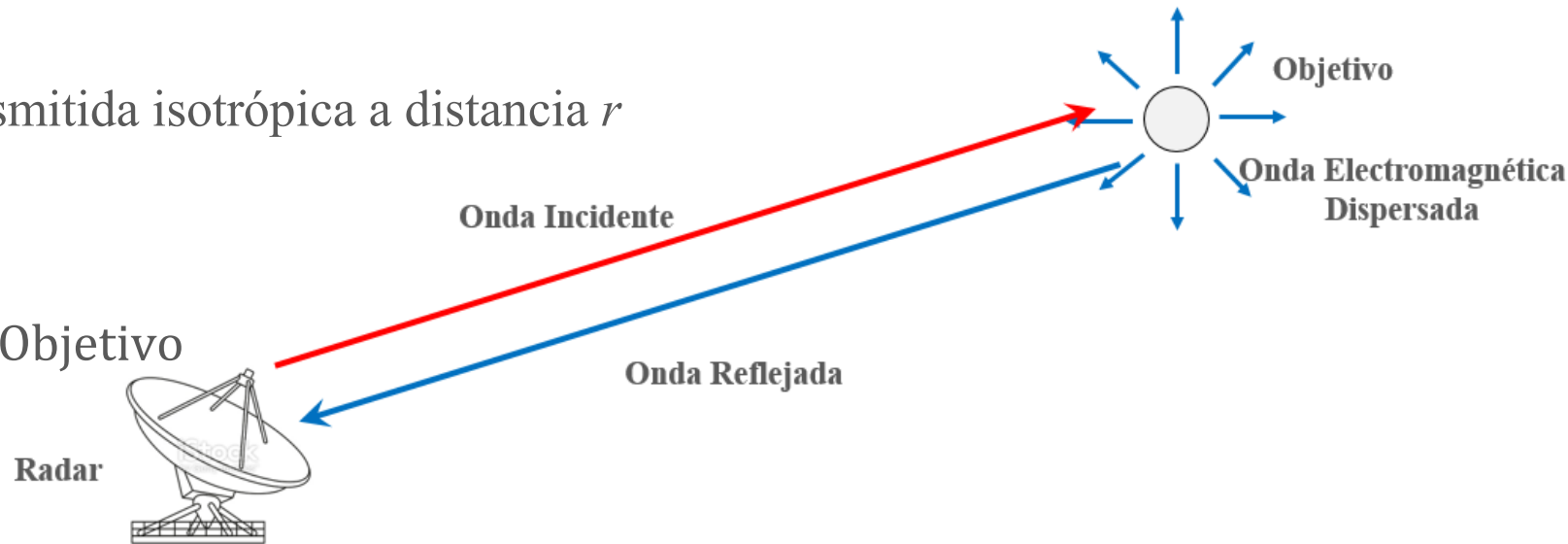
P_T = Potencia Transmitida

$\frac{P_T G_T}{4\pi r^2}$ = Densidad de Potencia Transmitida isotrópica a distancia r

$\frac{P_T G_T \sigma}{4\pi r^2}$ = Potencia Emitida por el Objetivo

$\frac{P_T G_T \sigma}{4\pi r^2} \cdot \frac{1}{4\pi r^2}$ = Densidad de potencia re emitida por el Objetivo, sobre la antena

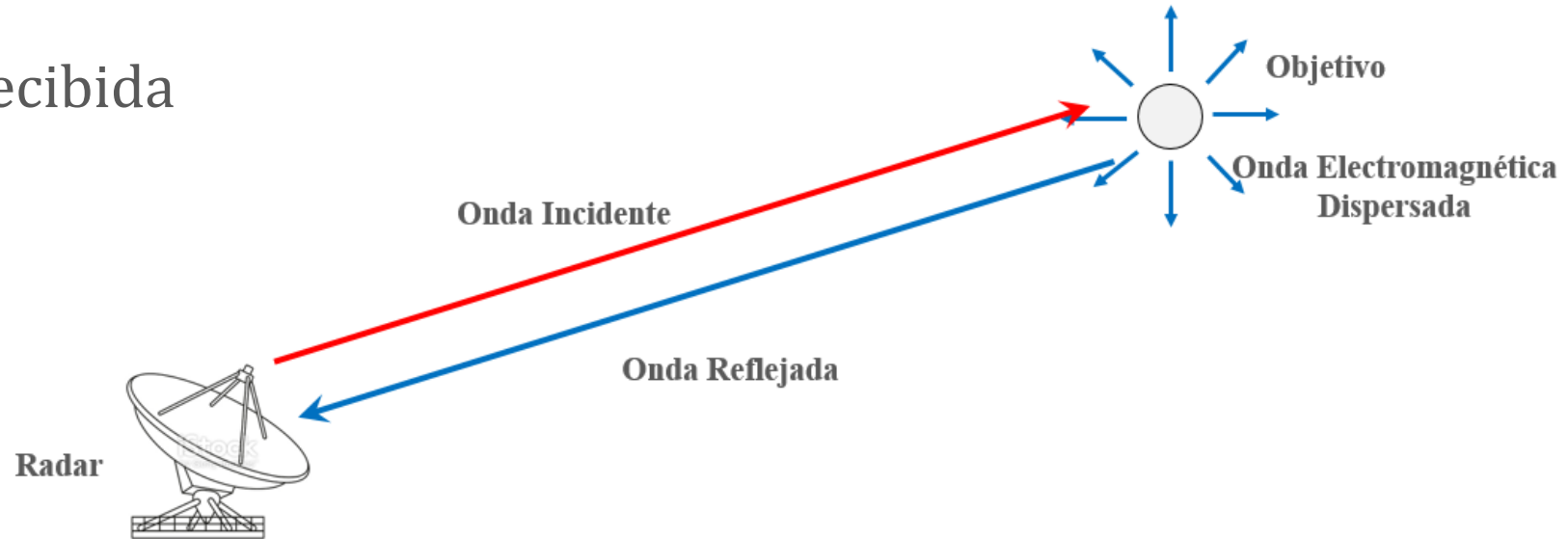
$\frac{P_T G_T \sigma}{4\pi r^2} \cdot \frac{1}{4\pi r^2} \cdot A_E$ = Potencia captada por la antena del radar



Ecuación de Radar

$$\frac{P_T G_T \sigma}{(4\pi)^2 r^4} \cdot A_E = \text{Potencia Recibida}$$

Donde , $A_E = G_R \frac{\lambda^2}{4\pi}$



Al considerar las ganancias de las antenas son iguales ($G_T = G_R$)

Finalmente se tiene:

$$P_R = \frac{P_T G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 r^4}$$

Ecuación de Radar

Ecuación del Radar en su versión logarítmica

$$P_R[\text{dBW}] = P_T[\text{dBW}] + G_T[\text{dBi}] - A_{TTE_{ida}}[\text{dB}] + \sigma[\text{dBsm}] - A_{TTE_{vuelta}}[\text{dB}] + G_R[\text{dBi}]$$

Ejemplo de Calculo:

Datos:

$$P_T = 500 \text{ W} = 27 \text{ dBW}$$

$$G_T = G_R = 20 \text{ dBi}$$

$$\sigma = 25 \text{ dBsm}$$

$$A_{TTE_{Ida}} = A_{TTE_{vuelta}} = 60 \text{ dB}$$

$$P_R = 27 \text{ dBW} + 20 \text{ dBi} - 60 \text{ dB} + 25 \text{ dBsm} - 60 \text{ dB} + 20 \text{ dBi}$$

$$P_R = -28 \text{ dBW} = 1,6 \text{ mW}$$



Tareas

Mediante el Radar es posible:

- Determinar la distancia al objeto (alcance o rango), orientación respecto al transmisor, así como también su altitud
- Determinar la velocidad y dirección de movimiento del objetivo.
- Identificación / reconocimiento de objetivos.
- Seguimiento de objetivos.
- Monitoreo de Superficies



Clasificación de Radar

La ubicación de las antenas Tx y Rx.

- Mono Estático
- Bi Estático

Tipo de onda del señal Transmitida.

- Onda Continua
- Pulsado

Tipo objetivo Pasivo o Activo

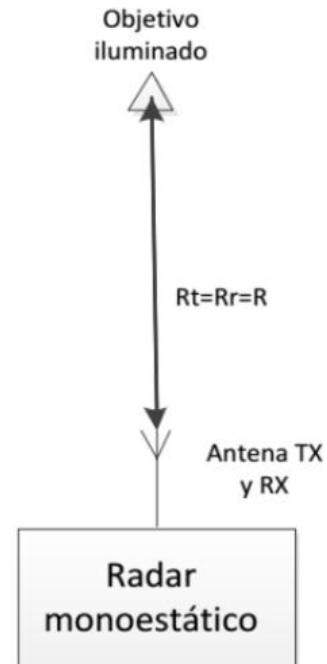
- Primario
- Secundario



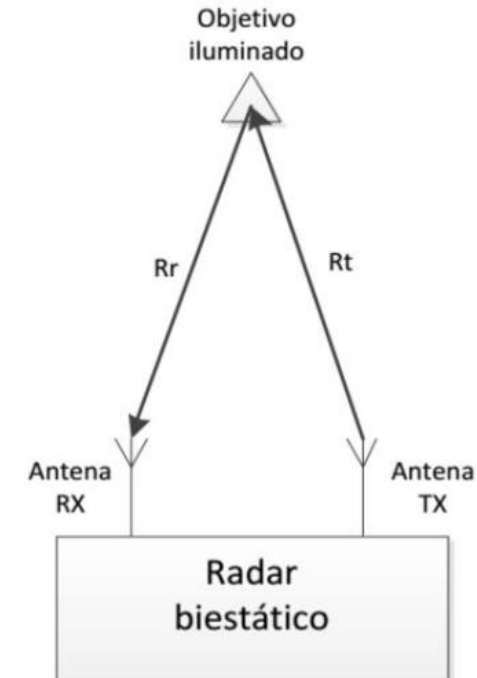
Tipo de Radar

La ubicación de las antenas Tx y Rx.

Mono-estático: Las antenas de Transmisión y Recepción se encuentran a una distancia despreciable entre ellos. Se puede tener una antena para transmisión y otra para la recepción.



Bi-estático: El transmisor y el receptor o receptores (radar multiestático) están localizados en lugares diferentes.

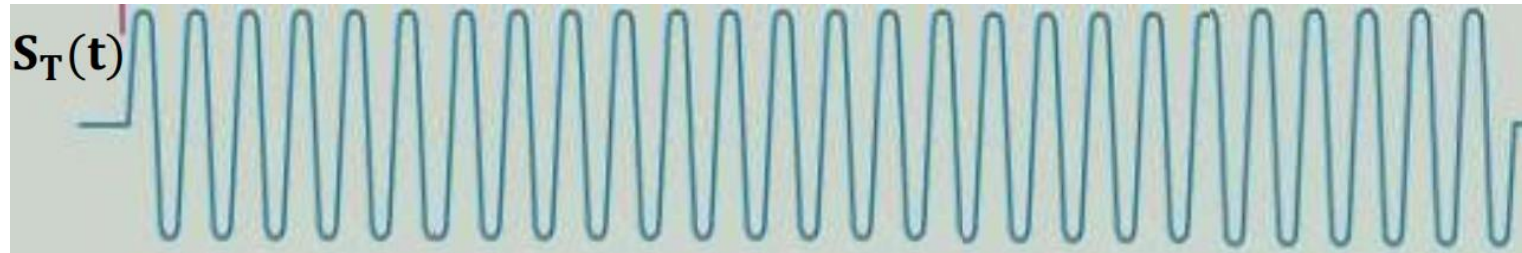


Tipo de Radar

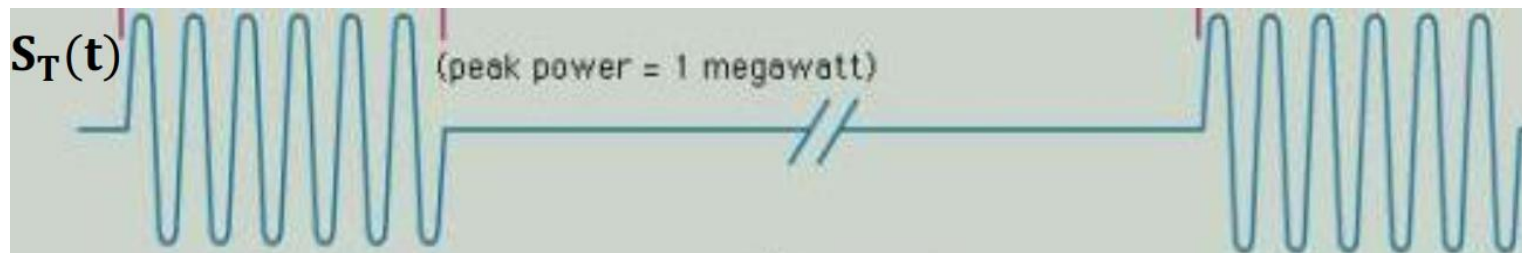
Tipo de Onda.

Onda Continua: El radar emite ininterrumpidamente una onda, sin presencia de pulsos 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



Pulsado: Emite pulsos de corta duración (Transmisión) seguidos de un tiempo de escucha (Recepción), este proceso se repite varias veces.



Tipo de Radar

Objetivo Pasivo o Activo.

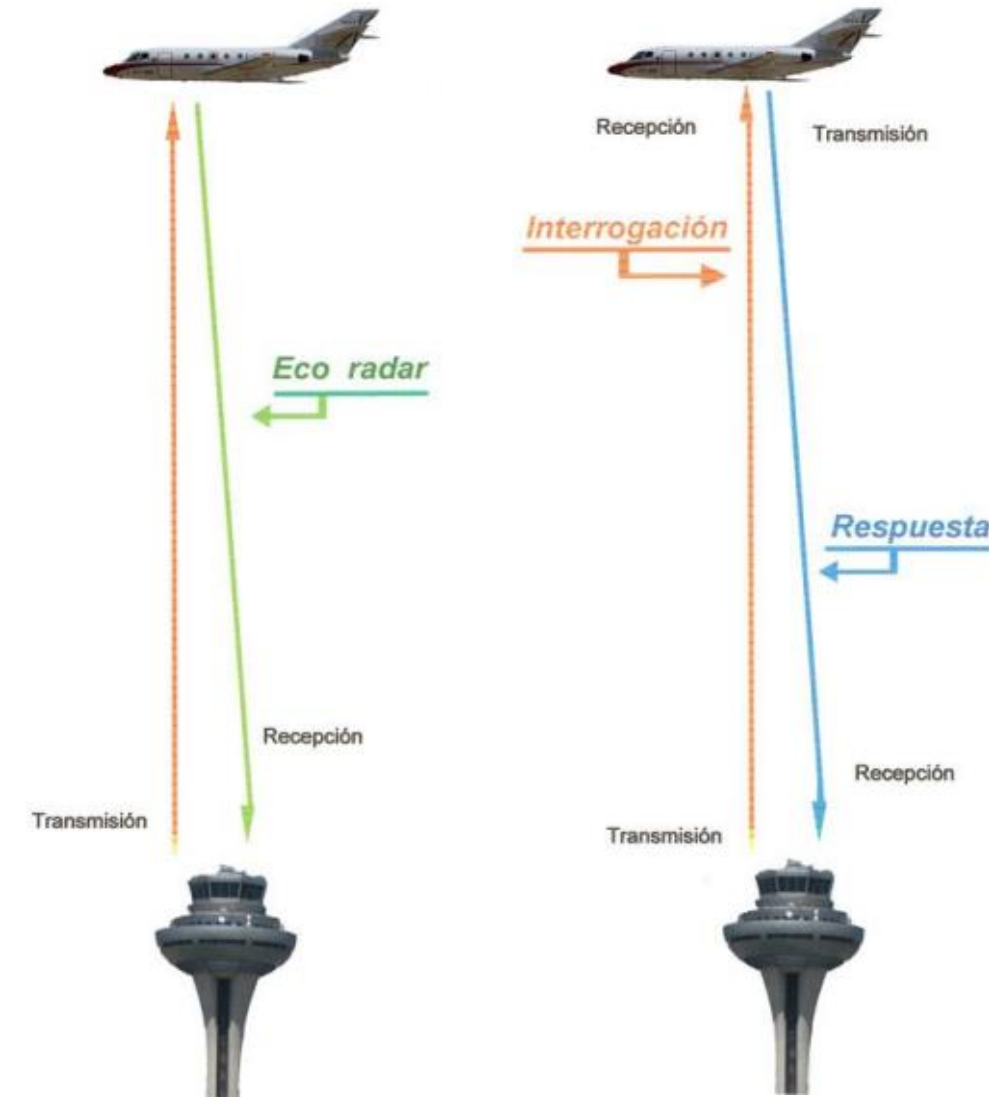
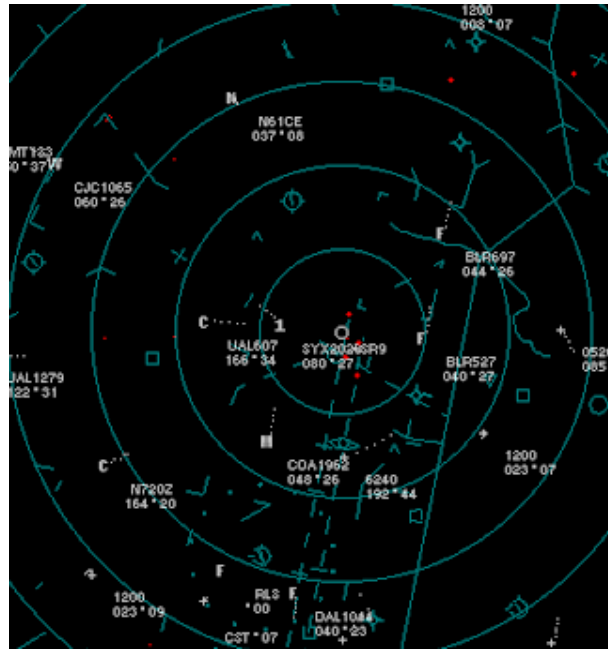
Primario: Trabaja con ecos pasivos. Los pulsos de alta frecuencia se reflejan por el objetivo y se reciben en la misma antena de radar.

Secundario: Un radar secundario funciona de acuerdo a otro principio: trabaja con señales activas de respuesta.

El radar secundario transmite, pero también recibe pulsos de interrogación, que no son reflejados, sino procesados y retransmitidos por el objetivo.

Primario: Determina rango y posición (azimut y elevación).

Secundario: Además del rango y posición, permite la identificación del objeto.



Tipo de Radar

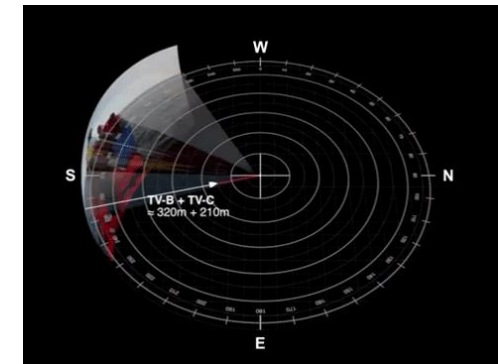
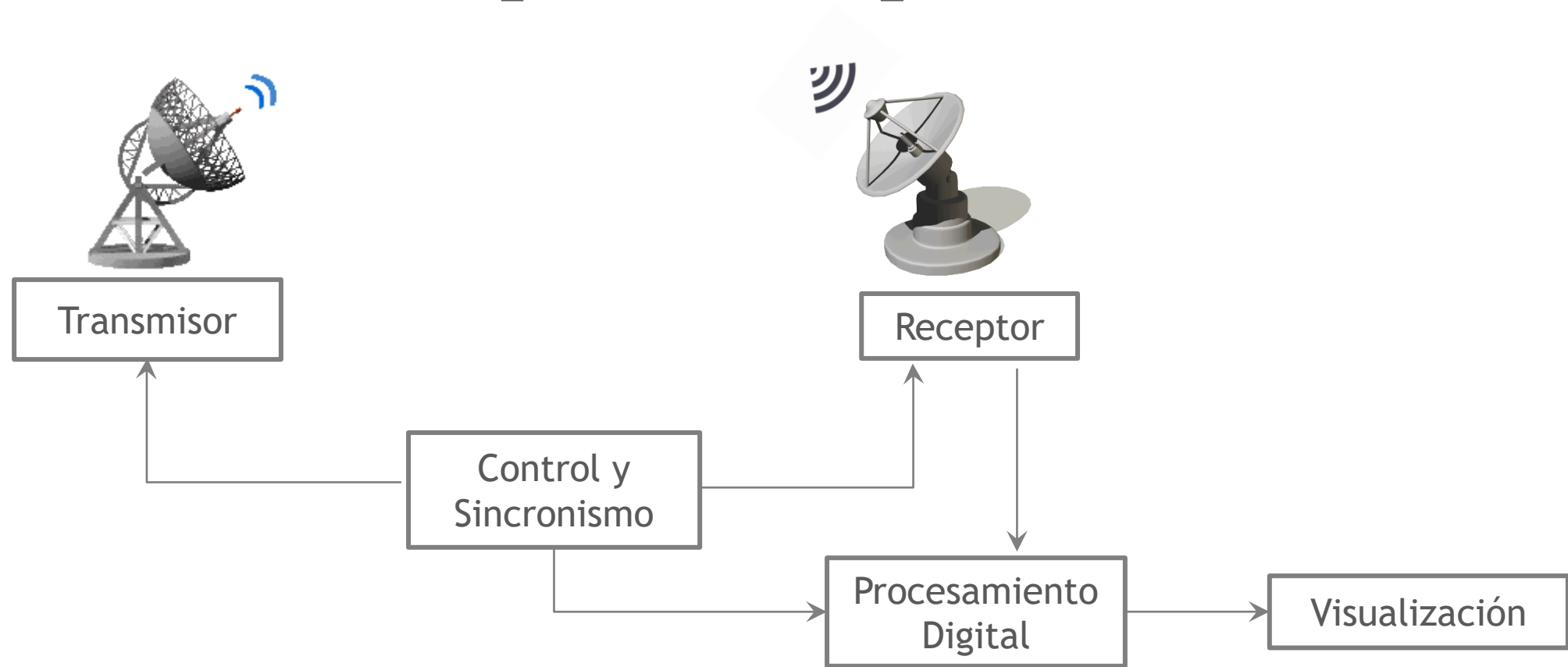
Frecuencia de Trabajo

Banda	Frecuencia	Longitud Onda
HF	3 - 30 MHz	100 m - 10 m
VHF	30 - 300 MHz	10 m - 1 m
UHF	300 MHz - 1 GHz	1 m - 30 cm
L	1 - 2 GHz	30 cm - 15 cm
S	2 - 4 GHz	15 cm - 7.5 cm
C	4 - 8 GHz	7.5 cm - 3.75 cm
X	8 - 12 GHz	3.75 cm - 2.5 cm
Ku	12 - 18 GHz	2.5 cm - 1.67 cm
K	18 - 27 GHz	1.67 cm - 1.11 cm
Ka	27 - 40 GHz	1.11 cm - 7.5 mm
mm	40 - 300 GHz	7.5 mm - 1 mm

- **HF**: radares OTH
- **VHF**: Inicio de funcionamiento de los primeros radares
- **UHF**: detección y tracking de misiles balísticos y satélites
- **L**: radares de alcance 370 km, usado en control de tráfico aéreo y vigilancia de largo rango. Detección de misiles balísticos intercontinentales.
- **S**: Radar móviles y radares meteorológico.
- **C**: Radares meteorológicos.
- **X**: Usada en los radares de aviones. Usadas también en radares SAR e ISAR.
- **K**: Radares de aviones, a medida que aumentamos la frecuencia el tamaño de la antena decrece pero resulta también difícil transmitir gran potencia.
- **mm**: están en la frontera de los radares (radares muy chicos), son difíciles de interferir.
- **LASER**: la antena es muy chica, se atenúa mucho, El ruido en el receptor está determinado por ruido de cuántico que por el térmico. Tiene limitadas aplicaciones.



Bloques Principales

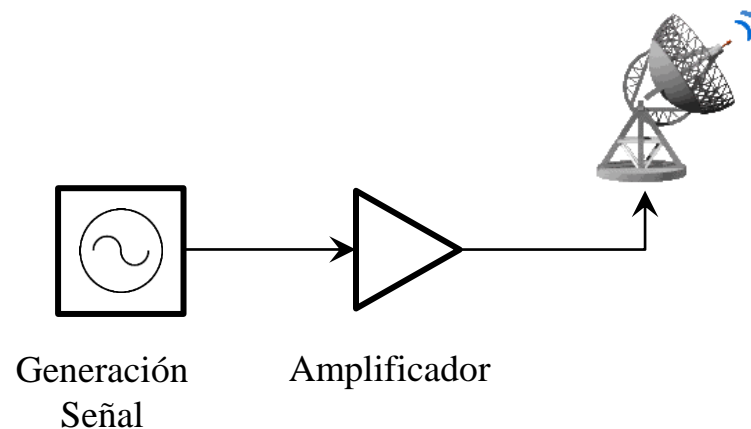
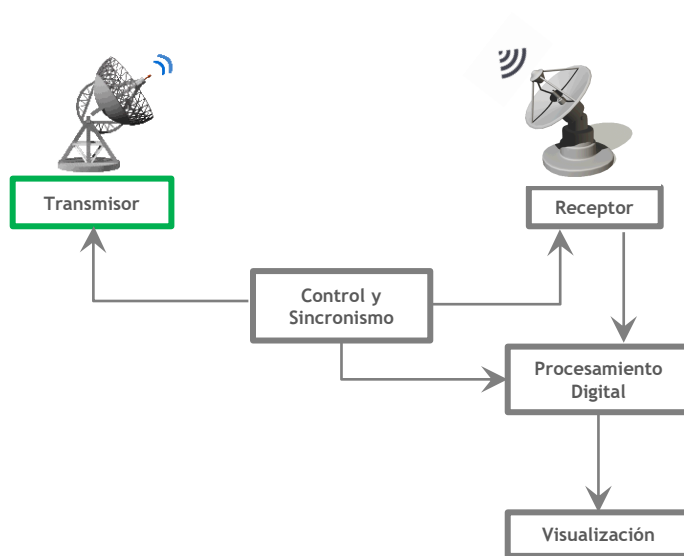


Bloques Principales

Transmisor.

Emite una onda electromagnética con determinadas características de amplitud, frecuencia y fase.

Estas características serán las necesarias para poder recibir, detectar y cuantificar una mínima fracción de toda la energía devuelta por el blanco, mediante el sistema de recepción.



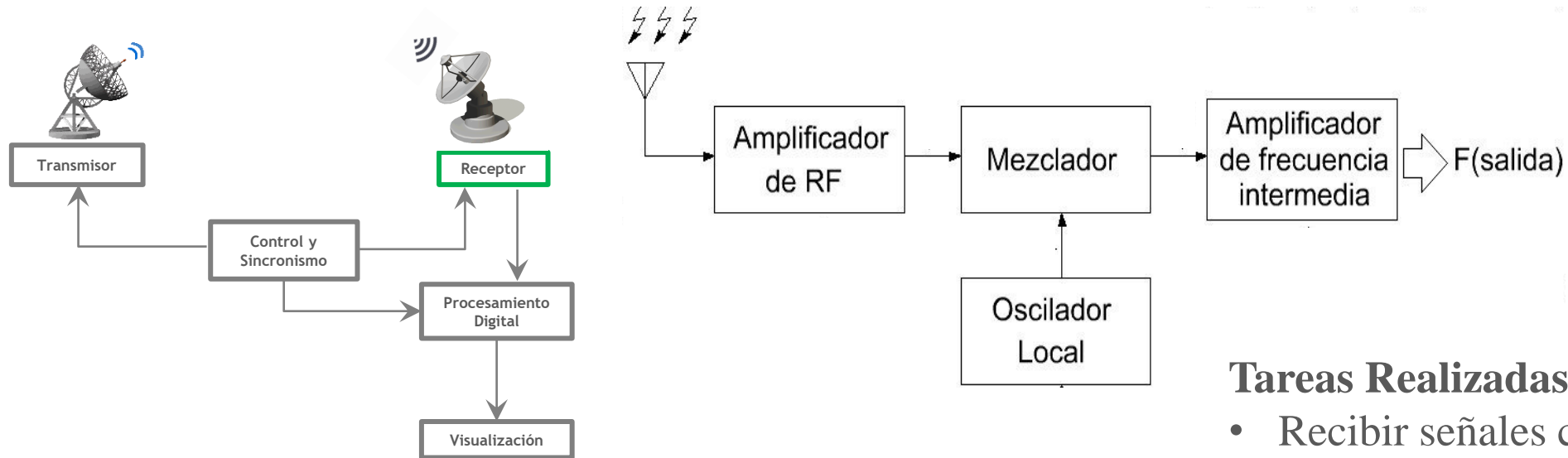
Tareas Realizadas

- Síntesis
Modulación
Frecuencia de portadora
- Amplificación

Bloques Principales

Receptor.

El receptor ideal debe ser capaz de captar, amplificar y medir una señal muy débil con una frecuencia elevada, y posteriormente adecuarla para su posterior procesamiento.



Tareas Realizadas

- Recibir señales captadas por antena.
- Resaltar la señal de interés.
- Adecuar la señal para su posterior PDS.

Bloques Principales

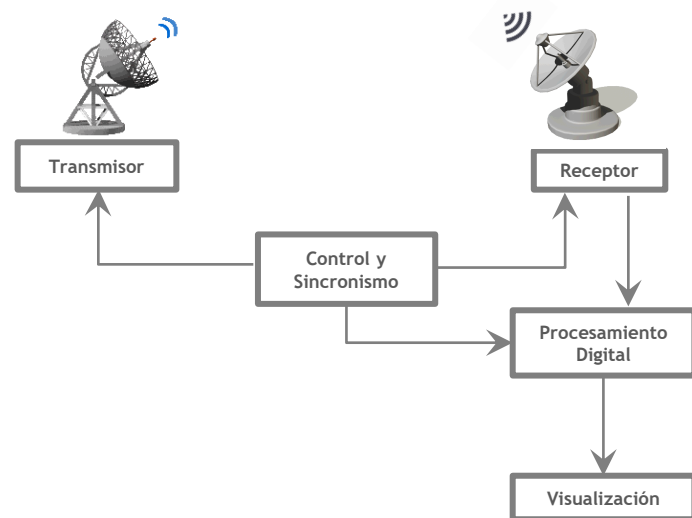
Antena.

Tienen que ser muy directivas; es decir, tienen que generar un haz bastante estrecho. El movimiento necesario del haz del radar se consigue imprimiendo un movimiento denominado barrido.

El barrido consiste en hacer girar lenta y continuamente la antena. Se emplean a menudo dos equipos, uno efectúa el barrido en sentido horizontal (fija el acimut), y el otro en sentido vertical para fijar su elevación

Tareas Realizadas

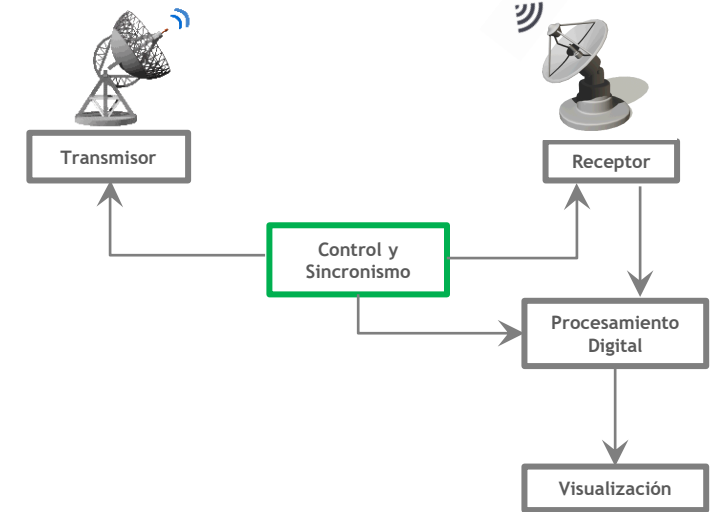
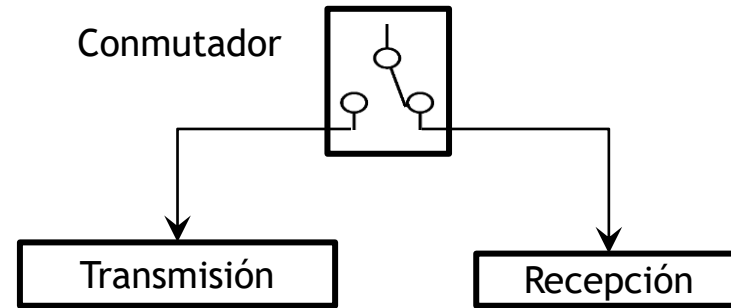
- Irradiar O.E.
- Direccionar O.E
- Captar O.E



Bloques Principales

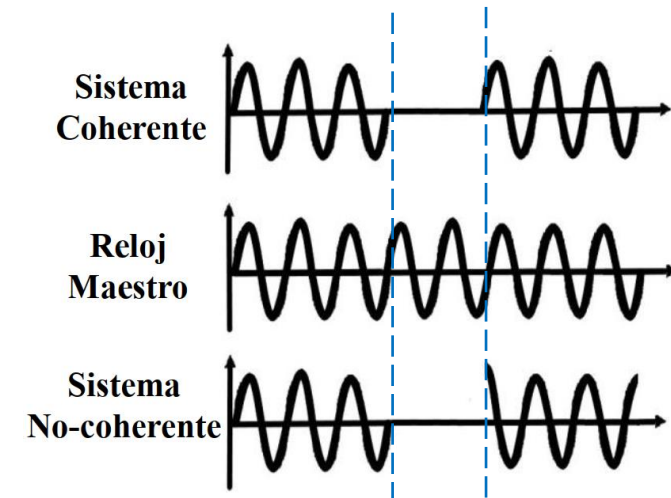
Control.

Esta etapa es la encargada de gestionar y administrar la conmutación entre transmisión y recepción mediante el Control.



Sincronismo.

En forma paralela se lleva a cabo el sincronismo en todo el sistema, esto es necesario, en primera medida para poder obtener información precisa del tiempo de retardo del eco, como así también para mejorar las relaciones SNR, por medio de la Integración Coherente.

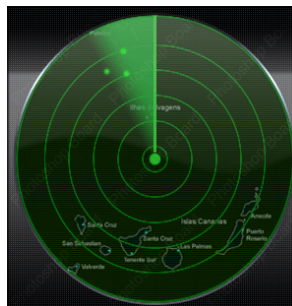
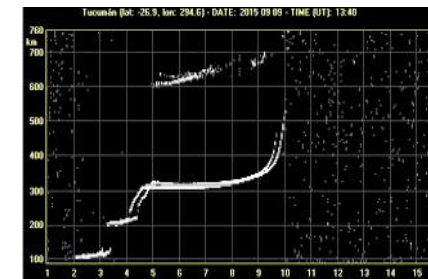
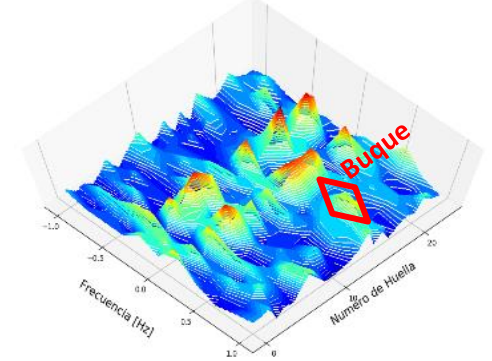
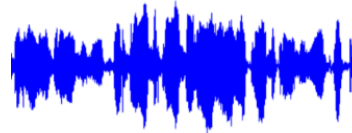
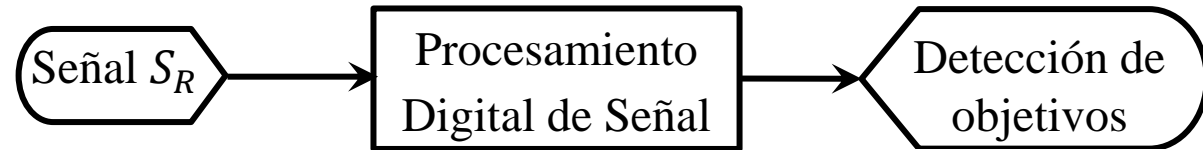
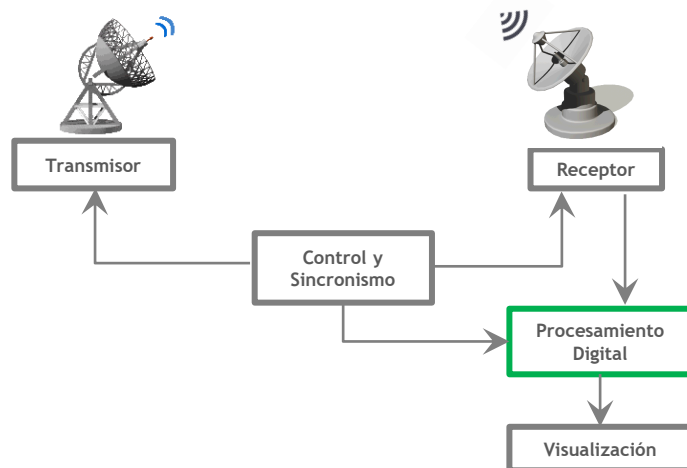


Procesamiento Digital

La señal que es captada por el sistema receptor se encuentra fuertemente atenuada y con SNR sumamente degradadas. Para obtener información de esta señal se aplican numerosas técnicas de Procesamiento Digital con el objetivo de resaltar el eco del ruido y del clutter, y por otro lado hacer frente a la gran atenuación presente.

Tareas Realizadas

- Limitar los efectos
 - Atenuación
 - Contaminación: Clutter
 - Interferencia
 - Ruido
- Detectar Objetivos
- Visualización





Fin de la clase 1





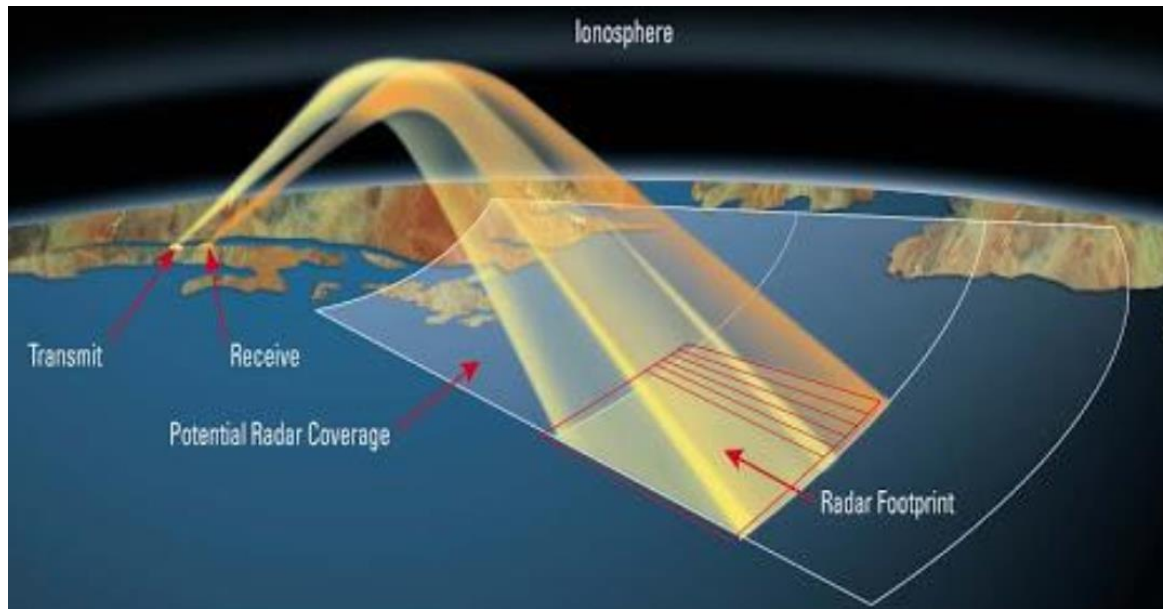
Tipos de Radar

Radar Doppler



Tipos de Radar

Radar OTH



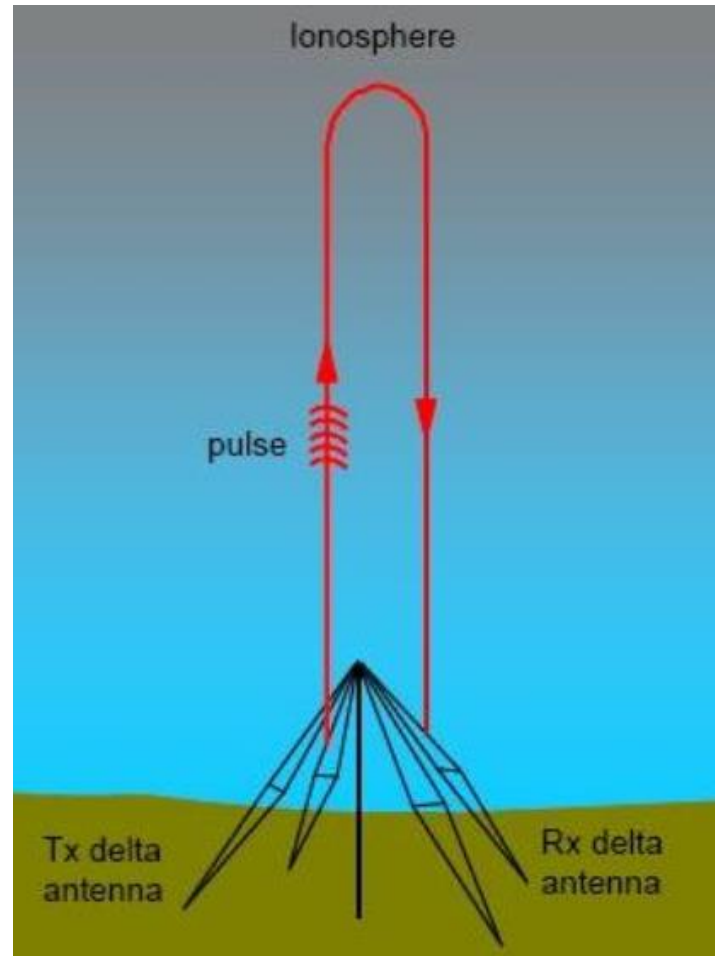
Tipos de Radar

Radar Primario y Secundario



Tipos de Radar

Sondador Ionosferico



Tipos de Radar

Radar Apertura Sintética (SAR)

