

Tema 9

RADAR PRIMARIO (PSR)



Radar Primario (PSR)

Los radares primarios fueron los primeros en utilizarse como sistema de vigilancia para el control de tráfico aéreo militar. Al contrario que el radar secundario es un sistema no cooperativo, pero sus principios de posicionamiento son similares.

El PSR sitúa a los blancos, respecto de la estación, determinando su acimut y distancia radial. Para ello, el radar hace uso de una antena giratoria que transmite una señal de alta frecuencia normalmente pulsada o modulada. La energía reflejada por un blanco se recibe en su vuelta por la misma antena y el sistema sitúa al blanco en función de la posición de la antena y del tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción de la energía electromagnética.

Radar Primario (PSR)

Importante: *El PSR sitúa a los blancos, respecto de la estación, determinando su acimut y distancia radial.*

El PSR es utilizado, en el entorno civil, como método de seguridad o back-up en áreas de alta densidad como TMA's y ruta.

Así se consigue que cuando se producen fallos en la aviónica de las aeronaves o no se ha activado el transpondedor se disponga de una posición de la aeronave.

Ventajas:

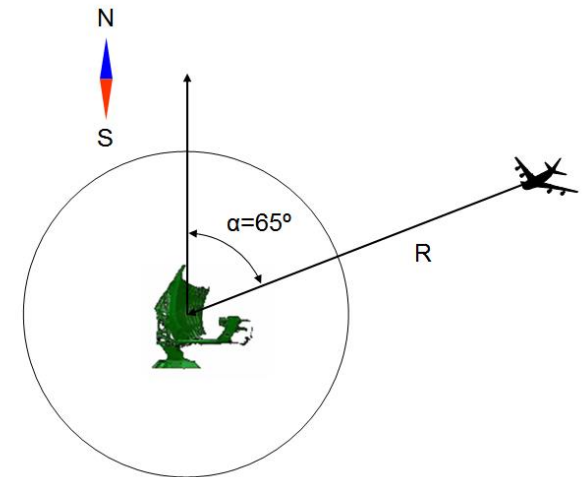
- Al ser un sistema no cooperativo no requiere de aviónica en la aeronave.
- Puede proporcionar información meteorológica.

Radar Primario (PSR)

Inconvenientes:

- No proporciona la identificación de la aeronave.
- No proporciona altitud de la aeronave.
- La posición está basada en la medida de tiempos, por lo que la distancia que calcula es la oblicua o línea de vista (Slant Range).
- Presenta una gran posibilidad de detectar blancos falsos (borrascas, aerogeneradores, pájaros, vehículos en superficie, etc.)
- Su coste es mucho mayor que el del radar de vigilancia secundario (SSR).
- Período de actualización entre 4 y 12 segundos, dependiente de la aplicación.
- Requiere una gran potencia de transmisión.
- No puede resolver dos blancos próximos debido a su mala resolución acimutal.

Principios Radar Primario



- ❑ Detectar ecos.
- ❑ Determinar coordenadas a partir de:
 - Posición de la antena.
 - Medida del instante de llegada del eco.

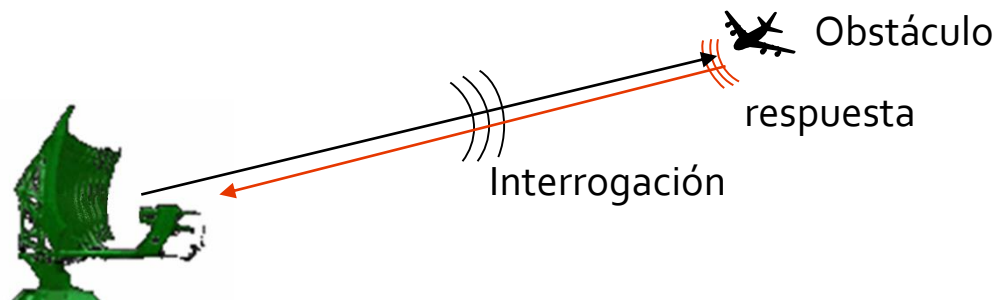
Terminología

Blanco: Obstáculo que se presenta en la trayectoria de una onda electromagnética.

Blancos útiles = Blancos móviles.

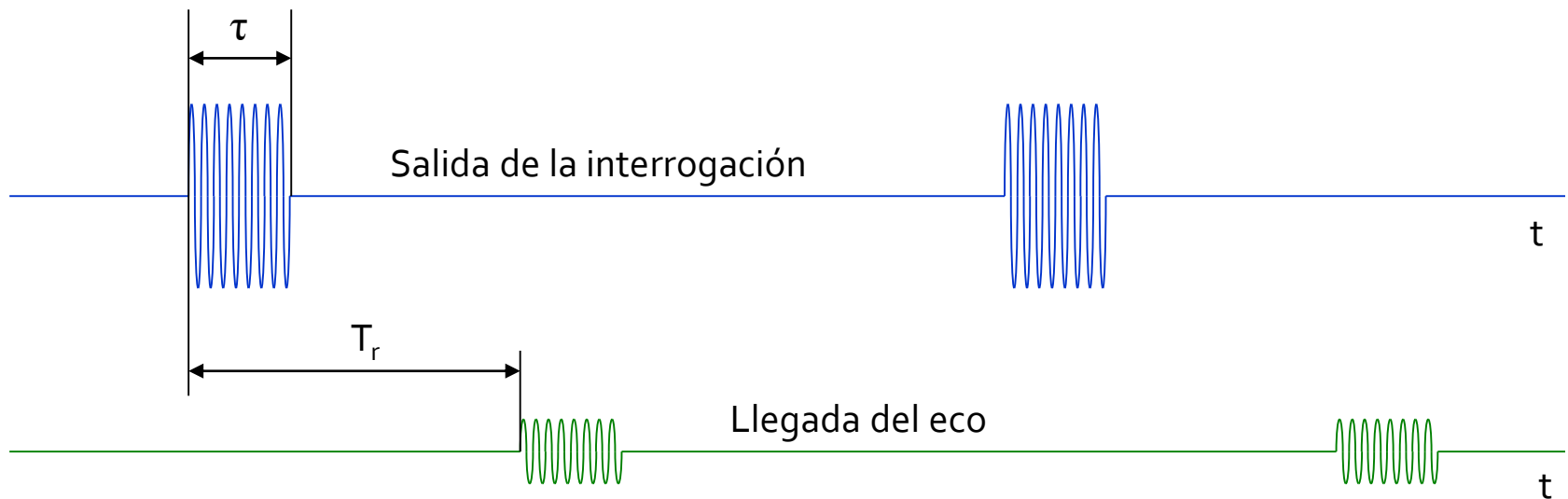
Blancos indeseables = blancos fijos.

Respuesta: Es la parte de la energía electromagnética que regresa hacia la antena radar después de haberse reflejado en el blanco.



Medida de tiempos

El equipo mide la suma de los tiempos que invierte la energía electromagnética desde que se lanza la interrogación hasta que la reflexión alcanza nuevamente la antena radar.



$\tau =$ Ancho del pulso

Presentación Radar

El Radar Primario de vigilancia proporciona una representación en forma de mapa (PPI Plant Position Indicator), en el que aparecen todos los ecos de las aeronaves que se encuentran dentro del alcance de detección.

El controlador puede determinar la posición (marcación y distancia) de cada blanco del radar respecto a la instalación radar, o de un blanco respecto a otro, así como respecto a una estación de tierra.

El equipo permite al controlador localizar blancos, pero no puede identificarlos instantáneamente, ya que para ello debería ordenar una serie de virajes a la aeronave que desea identificar en pantalla para establecer lo que se llama "contacto positivo".

Inconvenientes:

- a) No se distingue un blanco de otro.
- b) No identifica a las aeronaves.
- b) No da información de altitud.

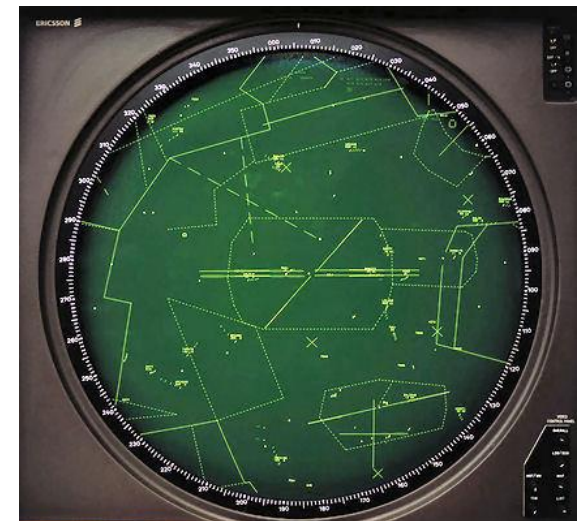


Presentación Radar

Algunos PPI permiten incluir video con información de aerovías, contornos de mapas o otra información.

De esta forma el controlador además de ver el 'eco' conoce su situación relativa respecto a elementos del mapa introducido.

Dependiendo del tipo de pantalla es posible añadir nuevas funcionalidades como zoom, añadir o quitar capas del mapa, presentar el histórico de las posiciones de los ecos, etc.



Radar de superficie

Denominado ASDE (Airport Surface Detection Equipment) o SMR (Surface Movement Radar) según OACI. Este tipo de radar presenta un diagrama de radiación con poca elevación, puesto que el barrido lo hace prácticamente al nivel de la plataforma aeroportuaria.

Es especialmente útil en grandes aeropuertos con multitud de calles de rodaje y pistas, y especialmente en condiciones meteorológicas adversas, permite al controlador tener un "acceso visual" al movimiento de aeronaves y vehículos en superficie.

La principal ventaja del radar primario es que no requiere ningún equipo especial a bordo, todos los aviones pueden hacer uso de esta ayuda de tierra a través del controlador, pero los factores que afectan a la reflexión, así como las características de los ecos en pantalla, hacen que a veces se presenten dificultades para obtener dichos ecos.

Radar de exploración o vigilancia

(ASR - azimuth scanning radar)

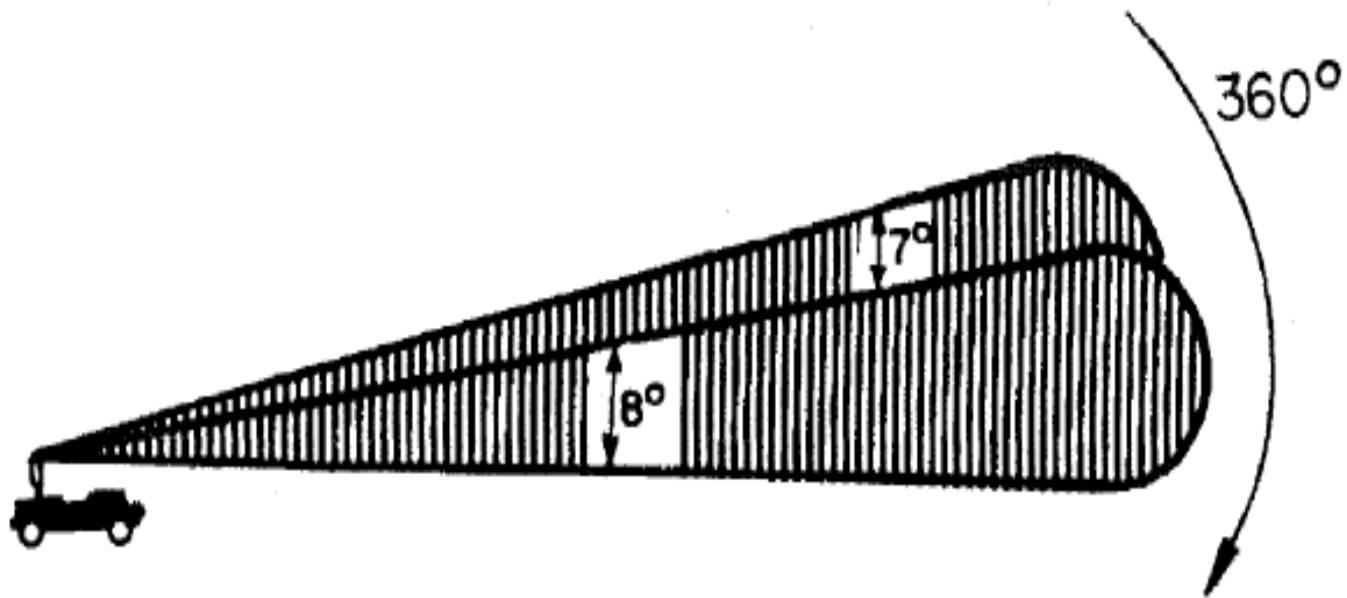
La misión es vigilar alrededor del aeropuerto. Como la pantalla está graduada en grados de azimut y provista con marcas de distancia, el controlador puede determinar la posición y distancia de avión en cualquier momento.

Se emplea para realizar, durante la fase de aproximación, la vigilancia de las desviaciones en azimut de la trayectoria de aproximación.

Dispone de una sola antena situada en las proximidades del aeropuerto, su antena cubre 360° en azimut y trabaja en la frecuencia de 3.000 MHz.

Radar de exploración o vigilancia

El alcance es de 60 NM aproximadamente y proporciona un haz giratorio a 30 r.p.m. de 8° de amplitud vertical y 7° de amplitud horizontal.



Radar de exploración o vigilancia

La señal del primario suele emplearse integrada con la del secundario en áreas donde es necesario conocer con gran exactitud la posición de la aeronave, utilizándose por sí sola cuando no hay duda alguna acerca de la identidad del eco radar.

Para el control de tráfico aéreo presenta los inconvenientes citados de no permitir la identificación de los blancos y no dar información de altitud.

Tiene además un alcance relativamente corto si se compara con las 200 millas náuticas del SSR.

Sin embargo, tiene la ventaja de ser una señal muy fiable al no sufrir procesos informáticos que la harían muy susceptible al error, como ocurre con la señal del SSR.

Radar de aproximación de precisión PAR

Es un equipo de radar primario usado para determinar la posición de una aeronave durante la aproximación final, en azimut y elevación en relación con una trayectoria nominal de descenso, además proporciona también distancia al punto de toma de contacto.

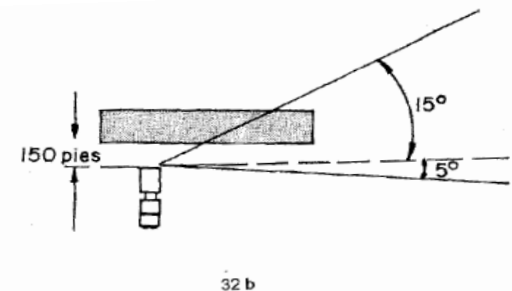
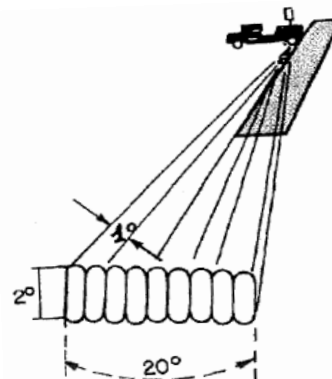
Este sistema de radar es de uso eminentemente militar y tiene como objetivo auxiliar a las aeronaves que se aproximan en emergencia, indicándole el controlador, a partir de la información de sus pantallas, cualquier desviación significativa de la senda de planeo o de la trayectoria de aproximación.

Radar de aproximación de precisión PAR

El equipo está situado, generalmente, en la mitad de la pista a una distancia entre 150 y 300 pies a un lado de ella, radiando la antena hacia la zona de aproximación.

El sistema PAR consta de cuatro pantallas y dos antenas, emite en la frecuencia de 10.000 MHz, con un alcance de 10 NM.

El haz correspondiente a la antena de azimut barre un sector de 20° de amplitud sobre el plano horizontal y 2° sobre el vertical, siendo las dimensiones de este haz de 1° horizontal y 2° vertical.

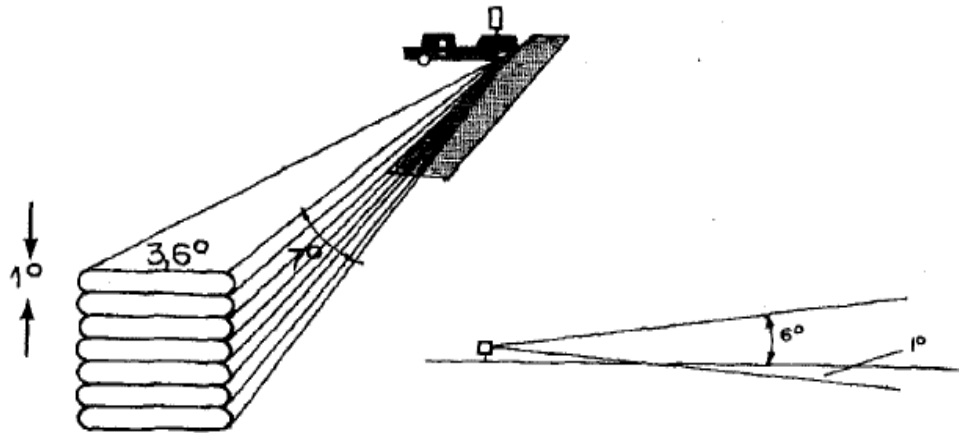


Radar de aproximación de precisión PAR

La antena de elevación posee un haz de $3,6^\circ$ horizontales y 1° vertical con lo que barre un sector vertical de $3,6^\circ$ de ancho por 7° de alto.

La antena de azimut gira su haz de derecha a izquierda, y la de elevación, de arriba abajo.

Al llegar el avión a la distancia de aproximación, el haz indica al operador la altura a la que se encuentra el avión, y el haz de azimut si se encuentra a la derecha o a la izquierda de la trayectoria de final.



Radar de aproximación de precisión PAR

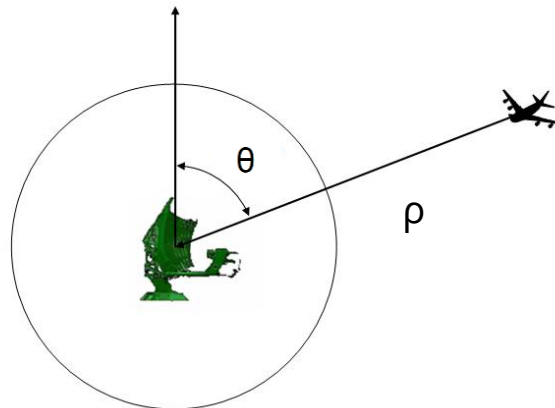
En el sistema de PAR se utilizan cuatro pantallas. Dos de ellas indican en azimut la situación del avión y las otras dos la elevación sobre el terreno.

Las pantallas de azimut se diferencian únicamente en la distancia que cubren, una tiene un alcance de 10 millas náuticas y la otra 2 millas náuticas, y lo mismo ocurre con las de elevación.

El error máximo en azimut desde la línea central de la pista en el punto de contacto es de 30 pies ó $0,2^\circ$, lo que resulte mayor.

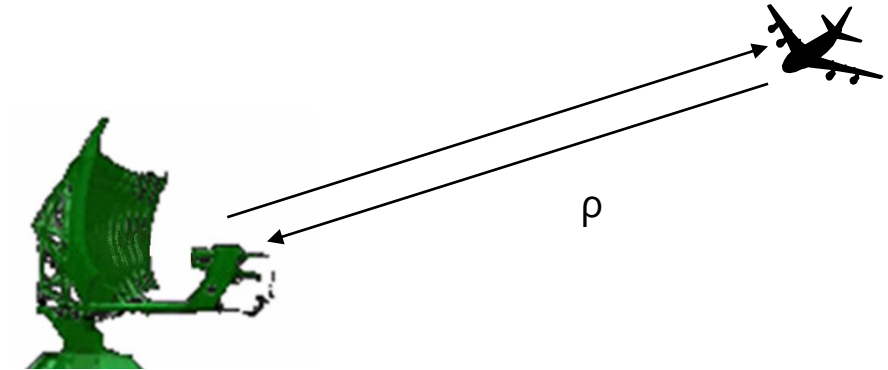
Localización

Determinación de las coordenadas polares del blanco (ρ , θ).



El ángulo θ o acimut, se obtiene de la posición de la antena, mientras que la distancia ρ , se determina mediante el tiempo de ida y vuelta del pulso de energía electromagnética.

Localización



Llamando $d = \rho$, si la velocidad de la luz:
 $c = 300.000 \text{ Km / seg.}$

$$2 \cdot d = c \cdot T \quad d = \frac{c \cdot T}{2} = 150 \frac{m}{\mu s.}$$

Principios de operación

- ❑ El equipo radar emite pulsos de radio frecuencia (RF) a intervalos regulares (Pulse Radar).
- ❑ Los pulsos de RF emitidos por el radar son reflejados cuando llegan a los obstáculos, donde parte de esa energía reflejada es recibida por la antena del radar (Radar Echo).
- ❑ El equipo de radar mide el tiempo transcurrido entre la emisión del pulso de radar y recepción del eco radar (T).
- ❑ Con la información previa (tiempo), se determina la distancia de al objeto (R).
- ❑ El azimut del objeto detectado se determina con respecto a la posición de la antena en el momento de emisión y con la recepción de la señal radar de retorno.

Funciones del PSR

- Mostrar el tráfico directamente a través de una pantalla de radar.
- Materializar los objetivos a través de puntos brillantes.
- Conocer las posiciones relativas de los objetivos.
- Identificar los riesgos de colisión.
- Agilizar el tráfico aéreo.
- Identificar las áreas tormentosas y zonas de montaña.

Diagrama de bloques del PSR

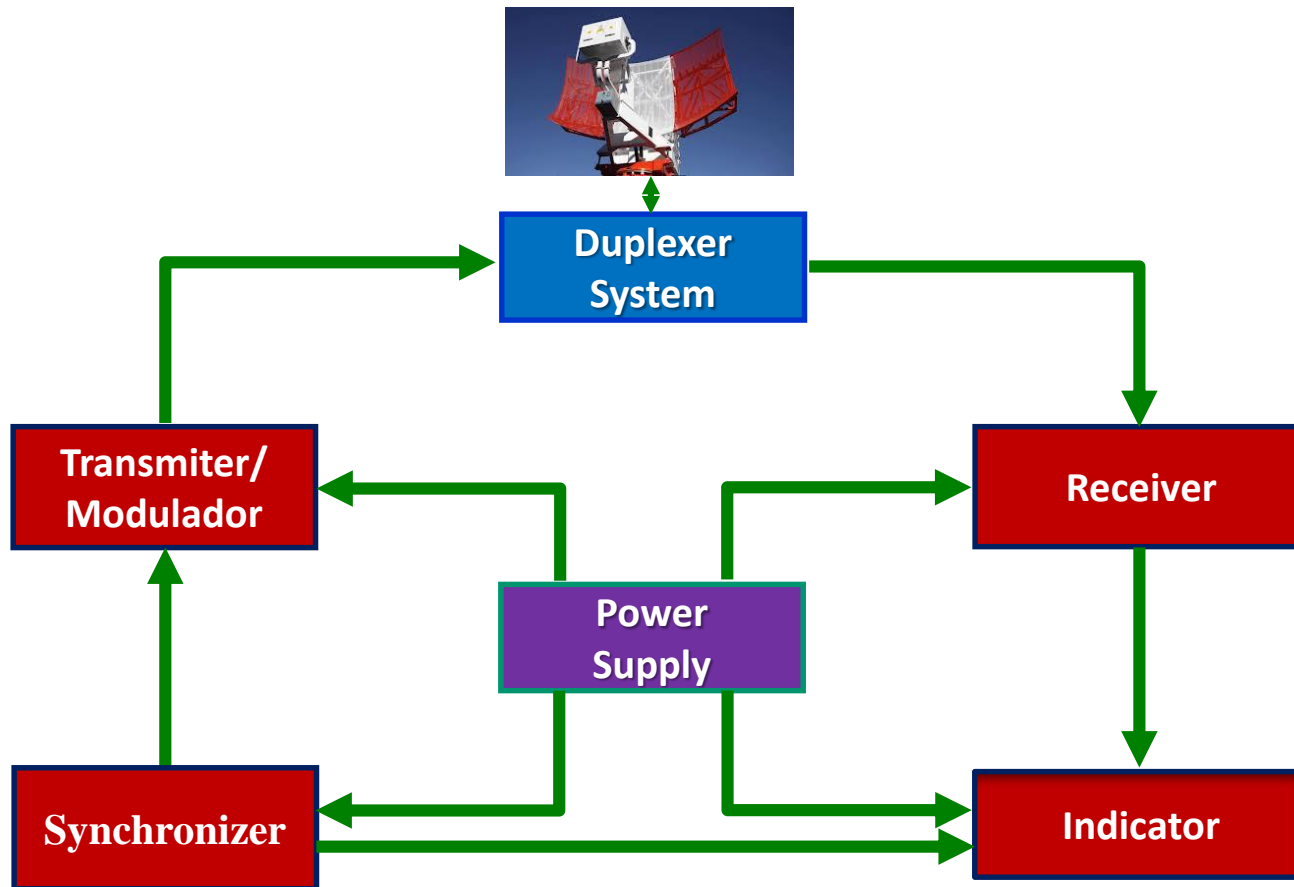
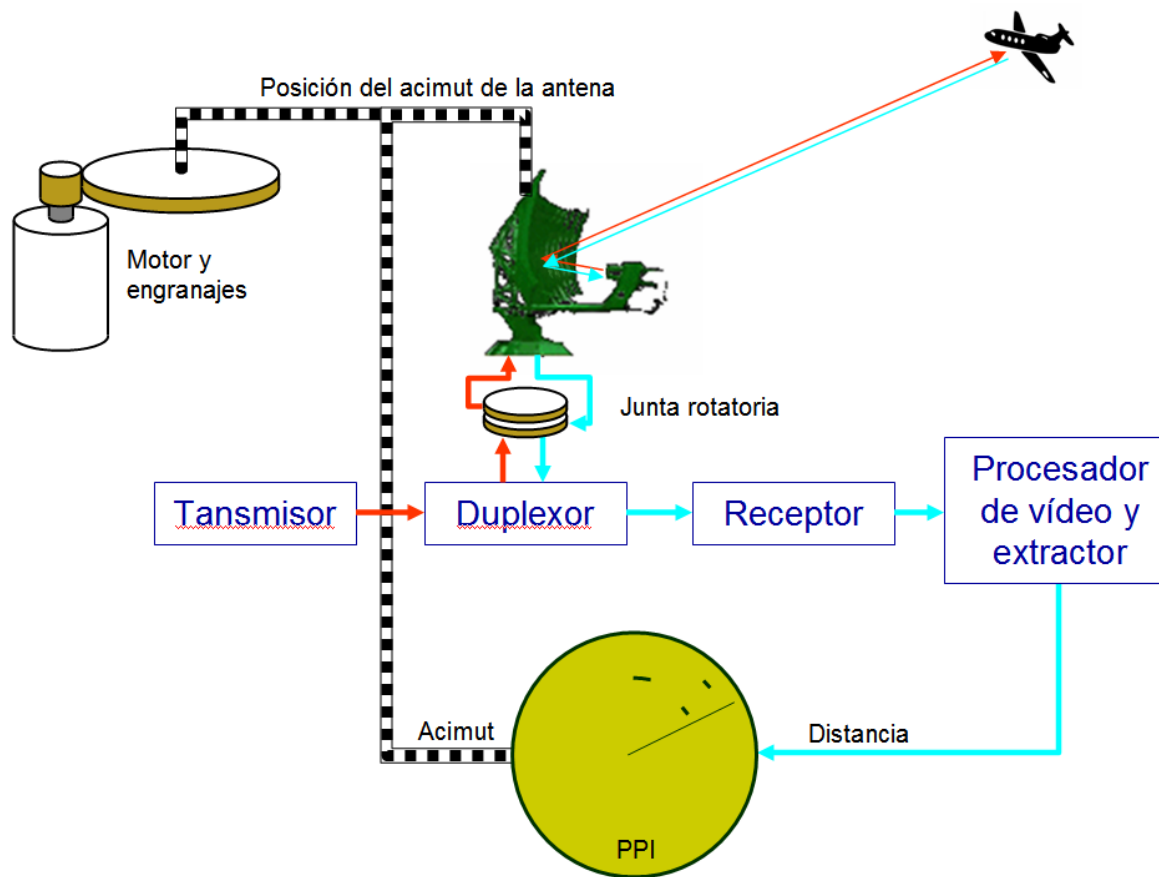


Diagrama de bloques del PSR



Funcionamiento del PSR

- ❑ El transmisor genera un pulso de alta frecuencia que llega hasta el duplexor, éste encamina la energía electromagnética hacia la antena para ser enviada mediante un haz muy direccional.
- ❑ Si en el camino de la onda electromagnética hay un obstáculo, este reflejará parte de la energía en varias direcciones y alguna de ellas llegará hasta la antena (en este momento trabaja como receptora).
- ❑ Mientras el radar no se encuentra transmitiendo, el duplexor conecta la salida de la antena al receptor, generando éste una salida de video.
- ❑ En la unidad de procesamiento se determina la distancia del blanco.
- ❑ El valor del acimut del blanco respecto de la estación radar se obtiene directamente de la posición de la antena, que se envía a la unidad de proceso mediante un sistema synchro o un sistema de conteo ACP.
- ❑ La unidad de proceso determina cuáles de las señales recibidas son blancos (eliminando posibles clutters), y envía la información hacia la pantalla radar.
- ❑ El barrido de la pantalla radar (PPI) está sincronizado con el movimiento angular de la antena y en función del tiempo de respuesta, el blanco se presentará a mayor o menor distancia del centro de la pantalla.

Componentes (Sincronizador)

Esta unidad genera los pulsos de sincronización. Los pulsos son enviados al transmisor y al procesador de la unidad de visualización con los objetivos siguientes:

- Energizar el transmisor del radar de pulso.
- Servir como una referencia de tiempo para la medición de tiempo entre el pulso de salida y el eco.

En el transmisor, la llegada del pulso de sincronización provoca la emisión o el disparo del pulso generado por el transmisor del radar.

En la Unidad Procesadora del Sistema de Presentación, la llegada del pulso de sincronización se toma como comienzo del tiempo ($t=0$) para calcular la distancia.

Componentes (Transmitter)

Esta unidad es la que genera los pulsos de radar.

Genera internamente el pulso de radar dándole la duración (t), frecuencia (F), y potencia (W).

El pulso de radar se repite a cada llegada de un pulso de sincronización.

El número de pulsos emitidos por unidad de tiempo es un parámetro importante de radar y se conoce como período de repetición de pulsos (PRF), mientras que la separación temporal de los pulsos se conoce como PRT.

Componentes (Duplexer)

Para la transmisión de pulsos radar y la recepción de los ecos radar se utiliza una sola antena.

Durante la transmisión de los ecos radar no se puede recibir.

Una vez que el pulso es disparado, y hasta la próximo disparo, se activa a través del receptor la recepción y así se puede procesar lo recepcionado.

El duplexor es el conmutador entre el sistema antena y el transmisor o receptor.

El duplexor conmuta la salida del transmisor a la antena durante el tiempo de duración del pulso radar (t).

Una vez que el pulso es emitido, el duplexor de antena conmuta al circuito de recepción para capturar el retorno del pulso en el radar durante el tiempo entre dos pulsos consecutivos.

Componentes (Antenna)

La antena del radar de pulsos es un elemento único para transmitir y recibir los ecos del radar.

El pulso de radar se emite en alta frecuencia (GHz) y se repite cada PRT segundos (pulse repetition time).

Cuanto mayor es la frecuencia de la radiofrecuencia, a igualdad de diagrama de radiación, la antena tiene menor tamaño.

Las antenas pueden ser pasivas (parabólicas) con una bocina en el foco de la parábola, o activas siendo normalmente en este caso planas.

Componentes (Receiver)

El receptor del radar primario debe ser muy sensible para poder detectar el bajo nivel o potencia de la energía electromagnética del eco que recoge la antena. Las primeras etapas del receptor deben ser de alta calidad para no producir ruido que enmascare la señal.

Se define sensibilidad de un receptor como el nivel mínimo de señal necesario a su entrada para proporcionar a su salida una determinada relación señal/ruido SNR.

Los receptores suelen tener sensibilidades por debajo de -100dBm .

La señal sin tratar a la salida del receptor se denomina video bruto.

Parámetros del receptor

El blanco reflectante se caracteriza por un único parámetro que representa sus propiedades como reflector de la energías electromagnética que incide sobre él: La superficie equivalente radar (σ). Este es un parámetro empírico.

Los parámetros de la respuesta que dependen del Receptor e Indicador, los más característicos son:

- ❖ Factor de Ruido del receptor (F_n).
- ❖ Anchura de banda de respuesta del receptor (B).
- ❖ Señal mínima detectable (S_m).

El factor de ruido del receptor (F_n) es la relación entre la potencia del ruido del mismo y la potencia de ruido de agitación térmica en la banda de respuesta de receptor y a la temperatura de régimen de funcionamiento.

La señal mínima detectable (S_m) es un parámetro muy diversificado que depende de las características tanto del Receptor como del Indicador, e incluso del operador, así como de la probabilidad de detección límite que se aplique.

En general el valor de (S_m) se expresa multiplicando la potencia de ruido del receptor por otro parámetro denominado relación señal/ruido y que representa el nivel mínimo que ha de alcanzar la señal recibida tomando como nivel de referencia la potencia del ruido del receptor.

Componentes (Processor and display)

El display puede estar fabricado con un tubo de rayos catódicos o mediante tecnologías digitales se utiliza una pantalla plana.

El objetivo del display es presentar el acimut (θ) y la distancia R de la posición de un eco. Mediante las tecnologías digitales la presentación se realiza en coordenadas rectangulares (proyecciones estereográficas).

La distancia desde el centro de la pantalla, (que representa el lugar de ubicación de la antena de sistema de radar), se determina a partir del tiempo medido entre interrogación y eco en el procesador.

La información angular de posición de la antena se obtiene mediante la cuenta de pulsos ACP (Azimuth Counter Pulses) y ARP (Antenna Revolution Pulses).

Determinación de la dirección del blanco

Para la obtención de la orientación angular de la antena se utiliza normalmente un sistema generador de pulsos APG (Azimuth Pulse Generator).

Este generador recibe información de posición angular a través de un sensor que, en el caso de Aena (España) actualmente es del tipo inductosyn.

Este generador de pulsos genera dos tipos de pulsos:

Pulso de referencia de acimut (ARP): se genera cuando la antena (y en consecuencia el haz interrogador), está orientada hacia el Norte geográfico, obteniéndose por lo tanto, un pulso de ese tipo por cada vuelta de antena.

Pulsos de cambio de acimut (ACP): se generan linealmente con el giro de la antena en los 360º del barrido. Para cada blanco, se calcula su posición angular a partir del número de ACPs desde el último ARP.

Pulsos ACP y ARP

- ❑ Cada vez que la antena pasa a través de la referencia de azimut (norte magnético), se genera un pulso de revolución ARP que se toma como referencia.
- ❑ Con el giro de la antena se van generando pulsos ACP incrementándose el valor acumulado.
- ❑ En una vuelta completa de antena se generan 4096 pulsos ACP.
- ❑ El procesador cuenta el número de pulsos ACP, obteniendo el valor del azimut según la expresión:

$$\theta = \frac{N \cdot 360^\circ}{4096}$$

Resumen

El sistema genera trenes de pulsos electromagnéticos (interrogaciones) en el transmisor/modulador, emitiéndolos a través de una antena que radia según un haz muy directivo.

Estos pulsos, cuando alcanzan el blanco, se reflejan, devolviendo un eco que alcanza de nuevo el equipo con una amplitud muy atenuada con relación al pulso transmitido.

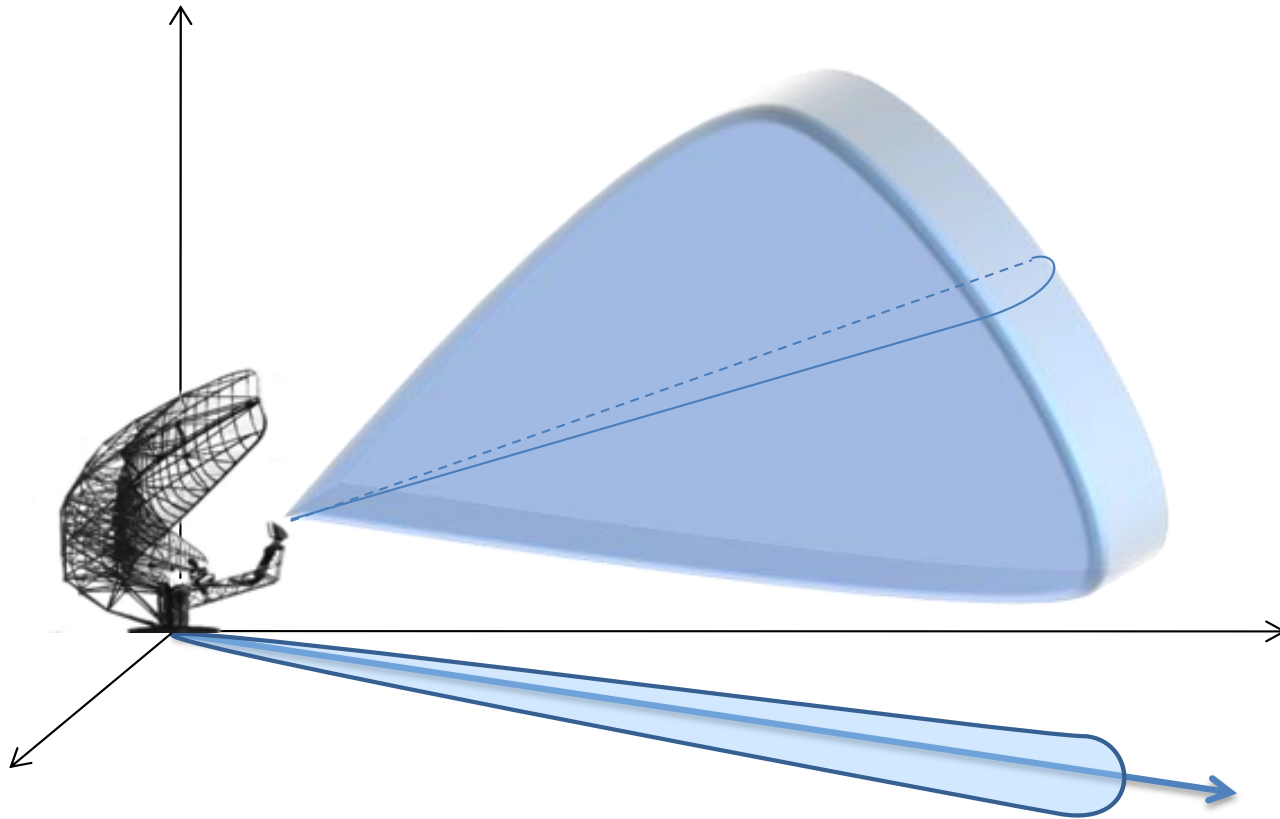
Generalmente, se emplea una misma antena para emitir y captar el pulso. Para ello, se necesita un duplexor que evite el paso del pulso a transmitir hacia el receptor, así como el paso del pulso recibido hacia el transmisor.

Con origen de tiempos en el instante correspondiente a cada interrogación, el receptor obtiene barridos con el video bruto o señal recibida, como ecos de todos los elementos enfocados por la antena y que reflejan energía.

El video bruto lo proporciona el receptor al demodular la señal de radiofrecuencia captada por la antena.

Si el radar es de exploración acimutal, como es el caso de la vigilancia aérea, la antena emitirá la energía concentrándolo en un haz giratorio muy directivo en acimut y poco directivo en elevación.

Diagrama de radiación



Haz radar exploración acimutal

Información proporcionada

El procesador de señal de video, basándose en información sobre posición del haz directivo y del video bruto obtenido del receptor, elabora plots o mensajes que definen la posición, conteniendo información de azimut y distancia.

La información, en forma de plots o pistas se envía a la dependencia de control donde se utiliza por el sistema de tratamiento de datos radar, aquí esta información puede combinarse con otras procedentes de otros radares, primarios y secundarios.

La señal de salida de este sistema de procesamiento TDR/TDVM (Tratamiento Datos Radar/Tratamiento de Datos de Vigilancia Multidependencia) está constituida por las denominadas pistas radar que se envían a las consolas de presentación en las posiciones de trabajo de los controladores.

El fundamento del radar es la medida del intervalo de tiempo transcurrido desde que se emiten los impulsos hasta que son recibidos como ecos, después de haber sido reflejados por los blancos.

Tipos de antenas

La determinación del ángulo del objetivo respecto de la estación radar y con relación al norte, depende en gran medida de la direccionalidad de la antena.

La direccionalidad, es la capacidad de la antena para concentrar la energía radiada en una dirección particular.

La antena radar está continuamente midiendo la dirección girando a velocidad angular constante, sobre el plano horizontal, en la que se encuentra la antena cuando se recibe el eco, se determina el acimut del blanco respecto de la estación (radar 2D).

Si la antena puede variar también la dirección de la energía electromagnética en el plano vertical, se puede determinar el ángulo de elevación del objetivo respecto del radar (radar 3D).

La precisión de la medición de estos ángulos depende directamente del factor de directividad de la antena.

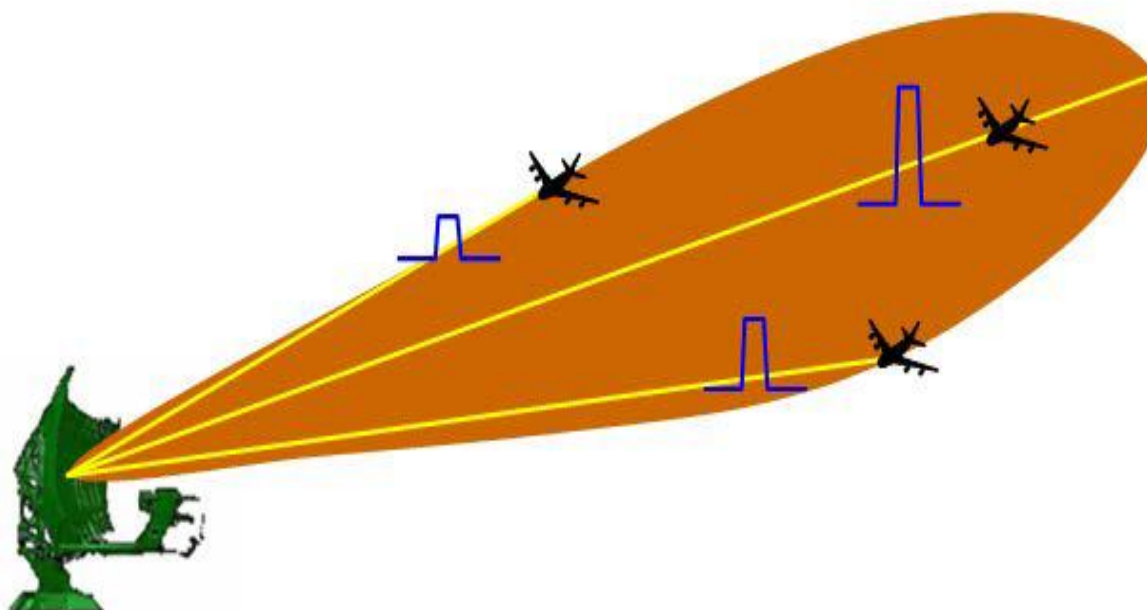
Efectos de la frecuencia

Para una determinada frecuencia de transmisión la directividad de la antena depende de sus propias dimensiones y forma.

Los sistemas radar emiten energía electromagnética de alta frecuencia, en el entorno de los GHz por los siguientes motivos:

- A mayor frecuencia menores dimensiones de la antena.
- Alta resolución, a mayor frecuencia menor longitud de onda y menores son los posibles objetos detectados.
- La propagación de la energía electromagnética se realiza prácticamente como los rayos de luz, de forma rectilínea.

Diagrama de radiación

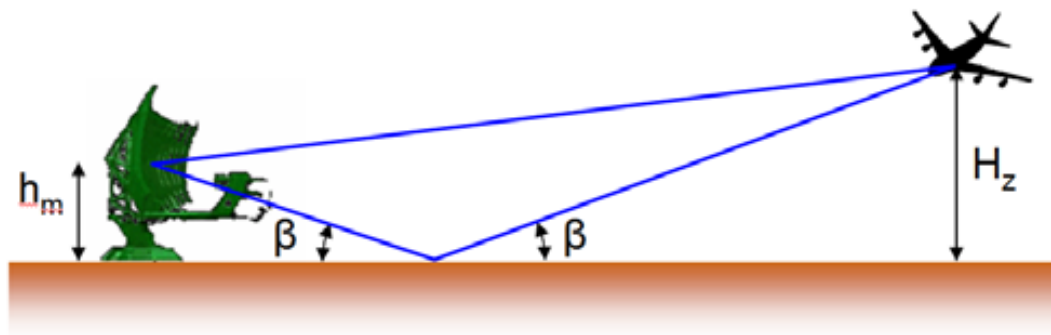


Variación de la amplitud del eco

Reflexiones sobre el terreno

Esta es la geometría de la reflexión de la señal radar sobre la superficie terrestre, lo cual provoca modificaciones en el diagrama de directividad vertical.

Este efecto disminuye según se aumenta la frecuencia de transmisión y es necesario tenerlo en cuenta cuando se requiere detectar blancos a bajas altitudes.



Resolución en distancia

La resolución de un radar es la capacidad que tiene el sistema para separar dos blancos que se encuentran próximos en distancia o en acimut.

El valor de la resolución en distancia depende fundamentalmente del ancho del pulso transmitido, aunque hay otros parámetros que pueden afectar.

Un sistema radar de buen diseño debe tener la capacidad de discernir entre blancos que estén separados, al menos la mitad del tiempo del ancho de pulso τ , en distancia este valor será:

$$S_r \geq \frac{c_0 \tau}{2}$$

En sistemas con compresión de pulsos, la resolución no se obtiene a partir de la duración temporal del pulso, sino en función del ancho de banda de la señal transmitida, a mayor ancho de banda mayor resolución en distancia.

Potencias

En los radares de onda continua la potencia de la señal es siempre constante, no ocurre lo mismo con los radares que transmiten señales pulsadas, en estos únicamente se transmite la portadora durante el tiempo de duración del pulso P_w .

En este último tipo de sistemas se realiza una modulación OOK (On Off Keying) de la portadora con la señal pulsada.

La relación entre la potencia media $P_{average}$ y la potencia pico P_{max} dependen de los tiempos de repetición de pulsos y ancho de pulso.

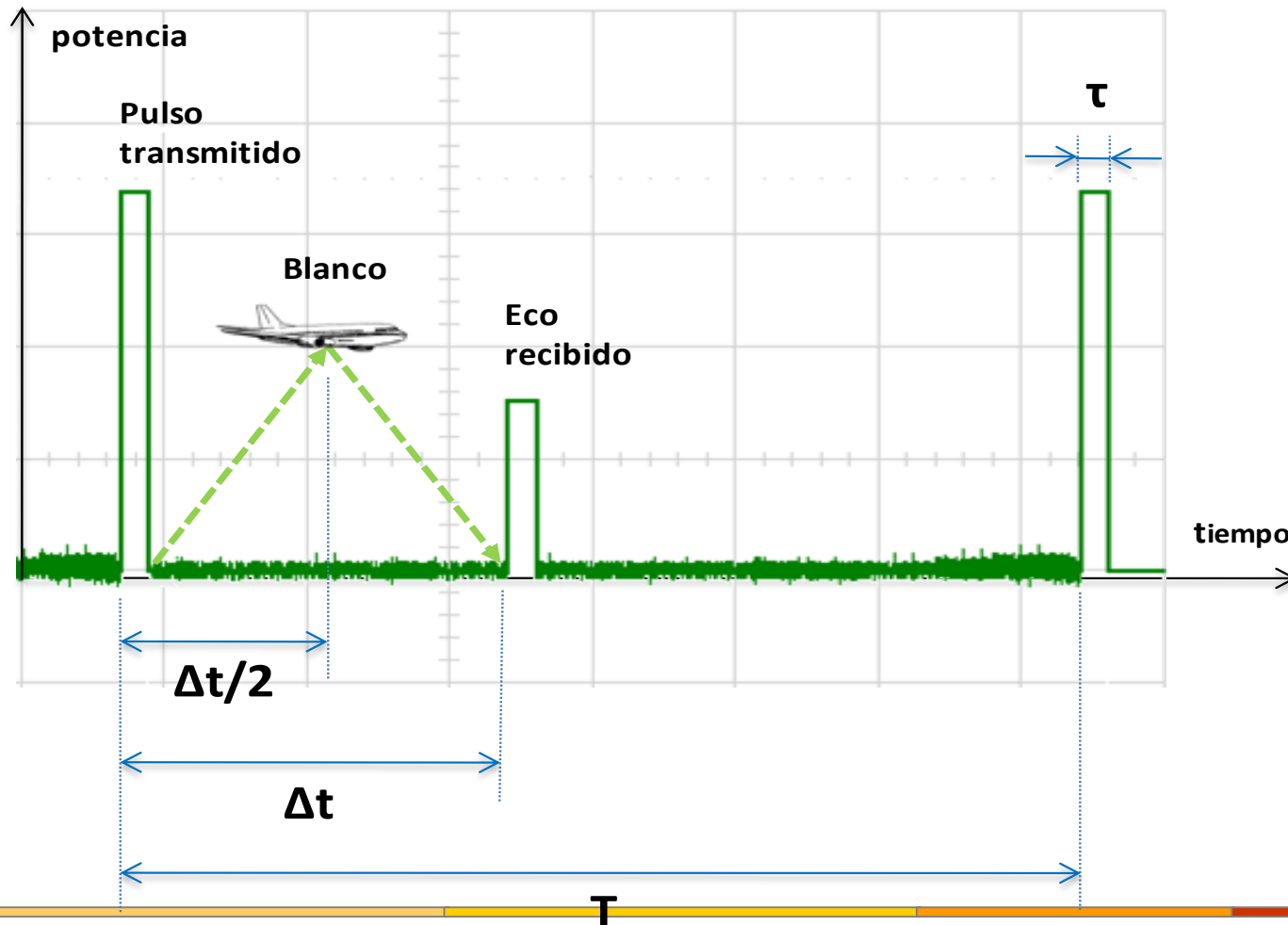
$$P_{average} / P_{max} = P_w / PRT$$

Esta relación se la conoce como tiempo de trabajo ya que determina en que fracción de tiempo (de 0 a 1) el radar se encuentra transmitiendo.

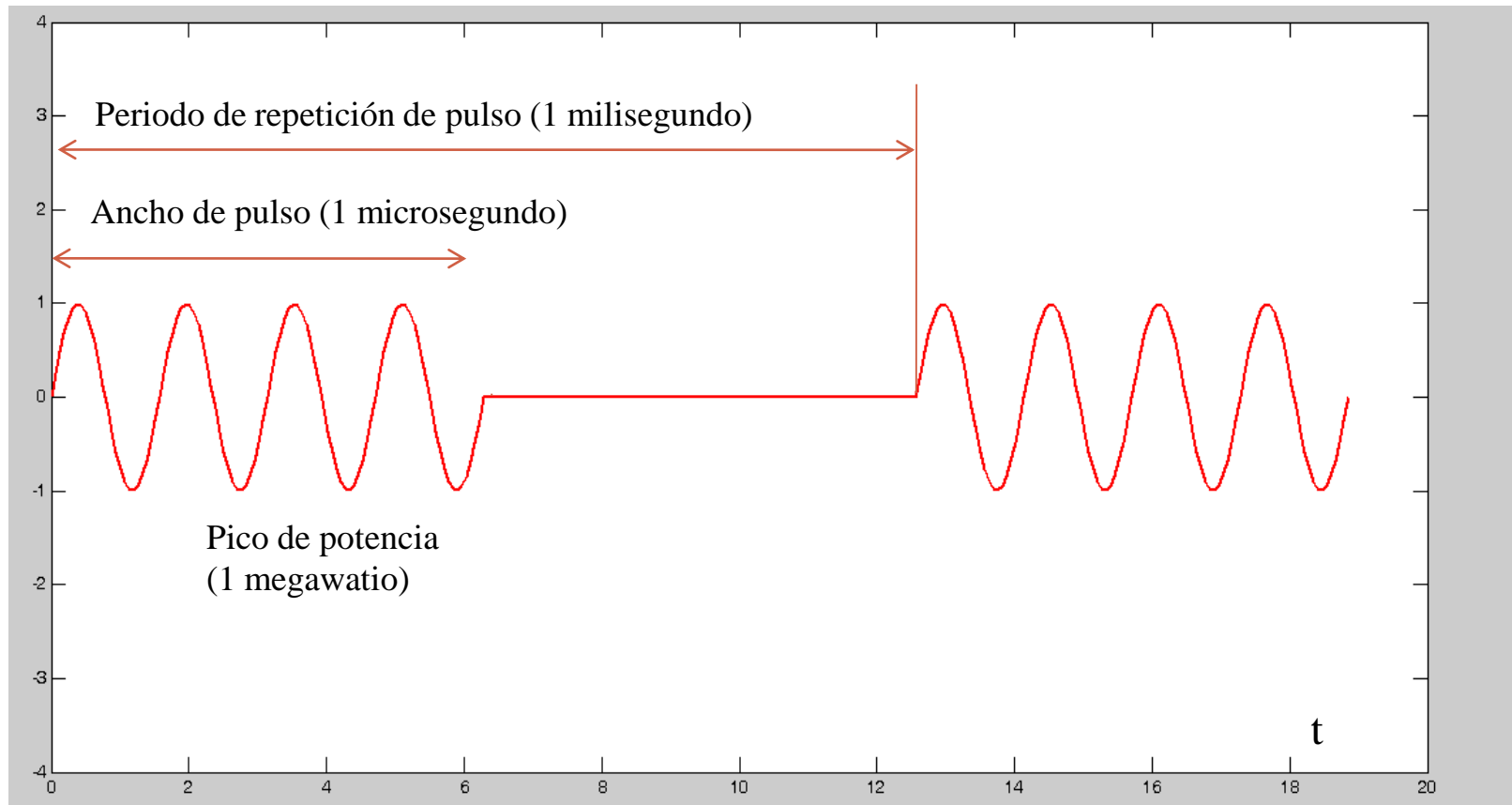
Características de la transmisión

- ❑ Frecuencia de la portadora de la señal transmitida (f).
- ❑ Ancho del pulso (τ): Está limitado para que el transmisor deje de emitir el tiempo suficiente para que el receptor pueda recibir las reflexiones de los blancos más cercanos. Por otra parte, un pulso corto es esencial para discernir dos blancos próximos y obtener mayor precisión en la medida de la distancia.
- ❑ Potencia de Pico (P_p): junto con el ancho del mismo (τ) determinan la energía contenida en cada pulso. Esta energía debe ser suficiente para conseguir el alcance deseado.
- ❑ Tiempo de repetición de pulsos (PRT): es el tiempo que transcurre entre el inicio de la transmisión de un pulso y el siguiente.
- ❑ Frecuencia de repetición de pulsos $PRF = 1/PRT$: es el número de pulsos transmitidos en un segundo.
- ❑ Tiempo transcurrido hasta la recepción de eco (Δt): el reflejo de la interrogación en los blancos (aeronaves, vehículos, obstáculos, etc.), volverá a la antena, denominándose eco. La medida de la diferencia de tiempo entre la emisión de la interrogación y la recepción del eco permitirá calcular la distancia a la cual se encuentra el blanco.

Diagrama temporal de la señal

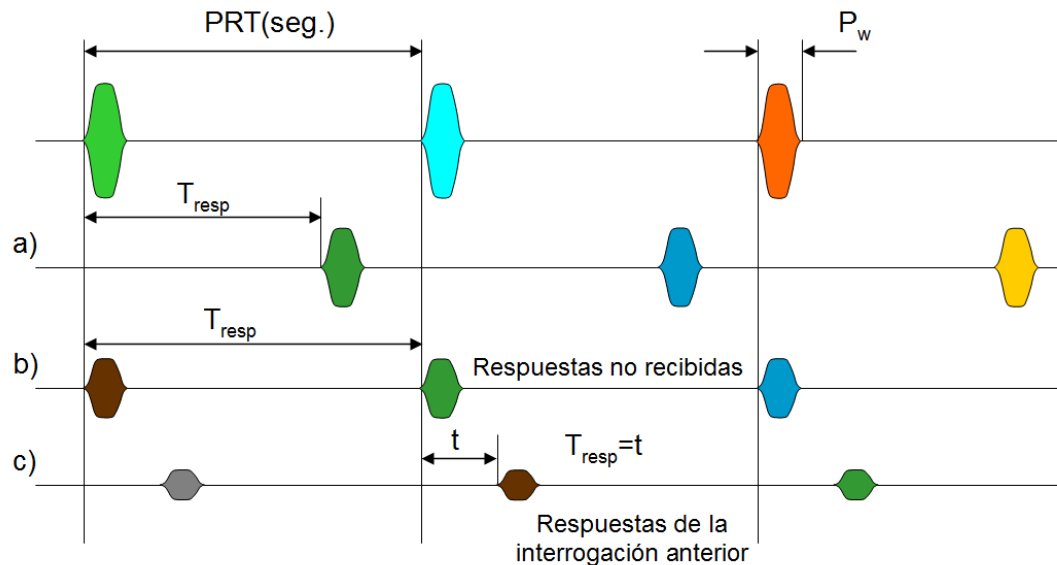


Pulso de radiofrecuencia



Pulso de radiofrecuencia

Alcance máximo no ambiguo



Si suponemos un radar que repite pulsos cada PRT segundos con una duración del pulso de P_w segundos, las respuestas que lleguen a la antena radar después de (PRT) no serán válidas debido a dos posibles causas:

- El radar se encuentra en modo transmisión, ignorándose la respuesta, caso b.
- El tiempo medido es erróneo ya que la cuenta de tiempo se ha inicializado, obteniéndose un tiempo igual a T_{resp}=t, caso c.

Alcance máximo no ambiguo

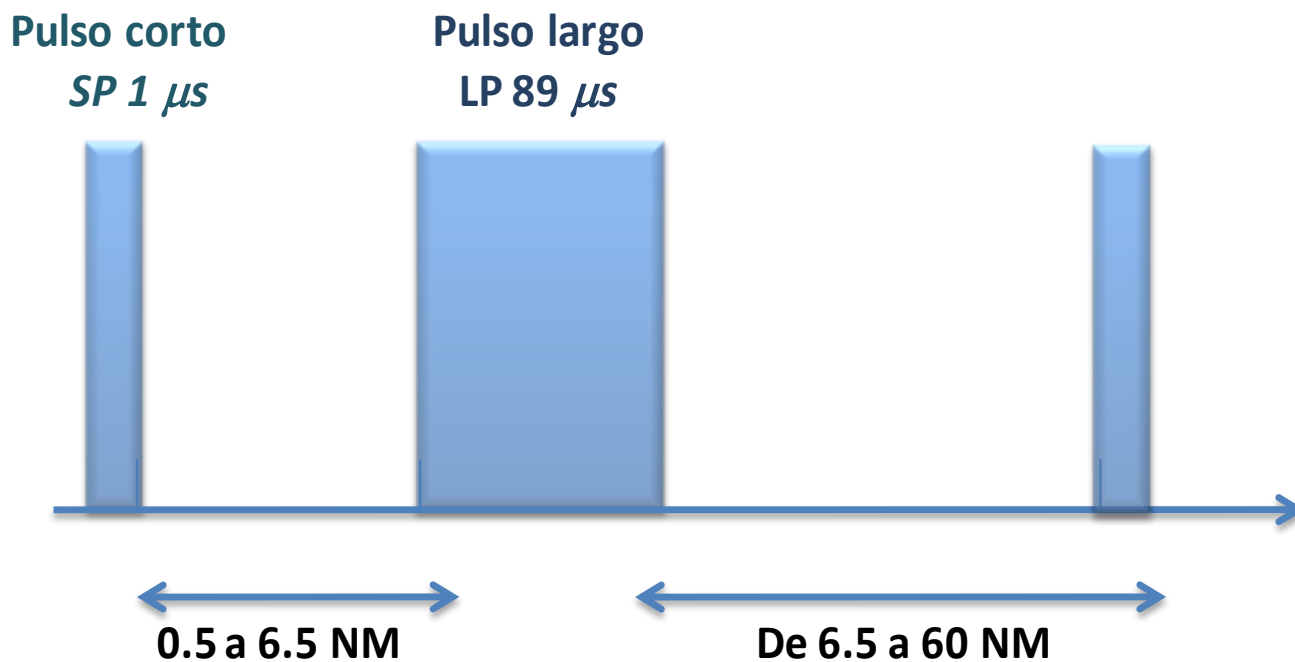
La PRF (frecuencia de repetición de pulsos) o la PRT, limitan la máxima distancia para la cual los ecos recibidos serán no ambiguos y es un parámetro de diseño que debe considerarse junto con la anchura del haz en el plano horizontal (acimut), y la velocidad angular de exploración de la antena para mantener una determinada probabilidad de detección dentro del volumen de cobertura.

$$R_{\max} = \frac{c_0 \cdot PRT}{2}$$

Por otro lado el alcance mínimo se puede determinar con la expresión:

$$R_{\min} = \frac{c_0 (\tau + T_{\text{recuperación}})}{2}$$

Alcance mínimo (mejora)



Transmisión de pulso corto y largo

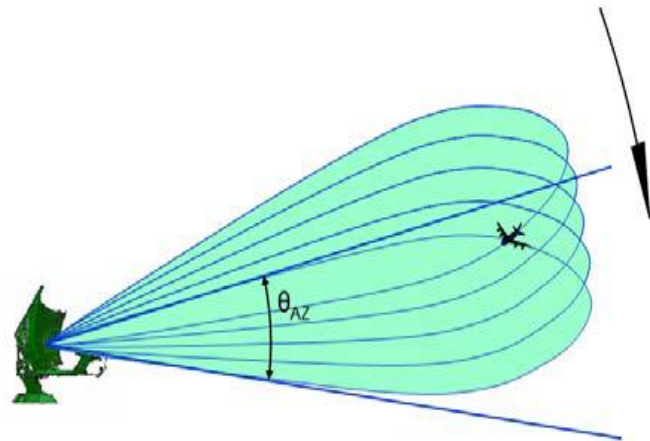
Tiempo de exposición del blanco

El tiempo de exposición (Dwell Time), es el tiempo en el que el lóbulo principal de la antena transmisora incide sobre el blanco, depende de:

- Las dimensiones del blanco.
- Del ancho de haz del lóbulo θ_{az} .
- De la velocidad de rotación de la antena.

Su valor se obtiene de la siguiente expresión, siendo n el valor de las revoluciones por minuto que realiza la antena.

$$T_D = \frac{\theta_{az} \cdot 60}{360 \cdot n} [\text{seg}]$$



Número de respuestas por barrido

El número de respuestas por barrido es el número máximo de ecos que se pueden recibir de un blanco en un único barrido del lóbulo de la antena transmisora (una única revolución).

Depende del tiempo de iluminación y del tiempo de repetición de pulsos según la expresión siguiente:

$$m = \frac{T_D}{PRT}$$

Clutter

Cualquier superficie u objeto en el área de cobertura de un radar puede producir un eco o respuesta. Las respuestas no deseadas son denominadas ruido y clutter.

Las respuestas del tipo clutter pueden ser debidas a la superficie terrestre, marina, lluvia y condiciones atmosféricas, edificios, pájaros e insectos.

Cualquier aeronave tiene una velocidad mucho más alta que la de los objetos antes mencionados, por lo tanto un radar sensible a la velocidad puede mitigar todas estas respuestas no deseadas.

Los radares que eliminan los blancos estáticos implementan la función MTI (Moving Target Indicator), esta función se basa principalmente en medir la desviación Doppler de la señal recibida.

Otra forma de eliminar los blancos fijos es creando un mapa de clutter. De esta forma no se envía hacia la pantalla radar los ecos que permanezcan estáticos.

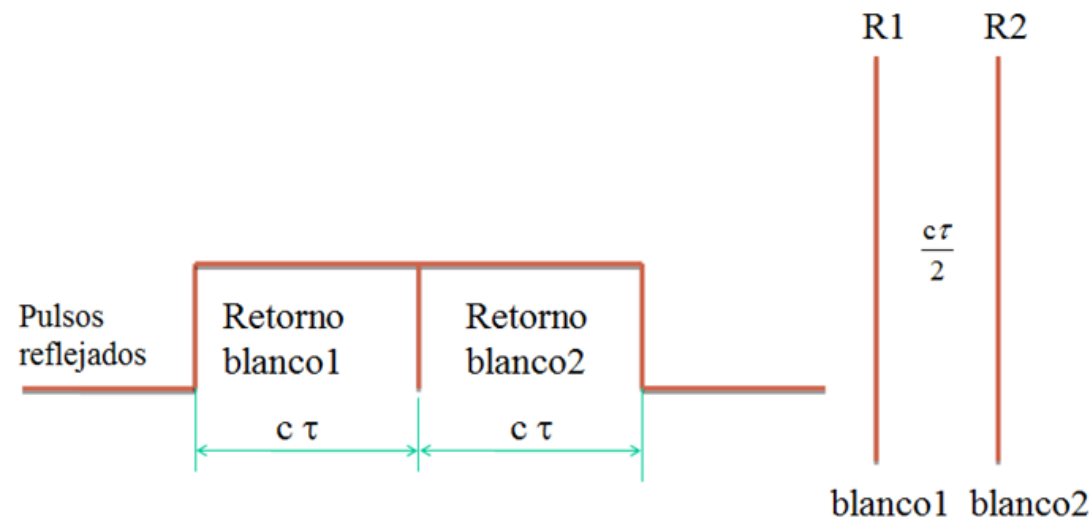
Limitaciones del PSR

Hay importantes limitaciones cuando se utiliza el radar primario para realizar la función vigilancia ATC, podemos destacar:

- Cobertura limitada a la propagación por línea de vista (conos de silencio, movimientos en superficie, zonas ciegas, etc.).
- Reflejos producidos por el terreno, “Clutter”.
- Ecos radar producidos por blancos no deseados.
- No es posible identificar el blanco.
- No se dispone de información de altura del blanco (radares primarios de exploración utilizados generalmente en ATC).
- Se requieren potencias de transmisión elevadas.
- Elevado coste de infraestructura.

Resolución en alcance

El último término de la ecuación anterior ($c/2B$) se obtiene directamente al considerar que el ancho de banda de los pulsos de video es inversamente proporcional a la duración de estos pulsos ($\tau = 1/B$).



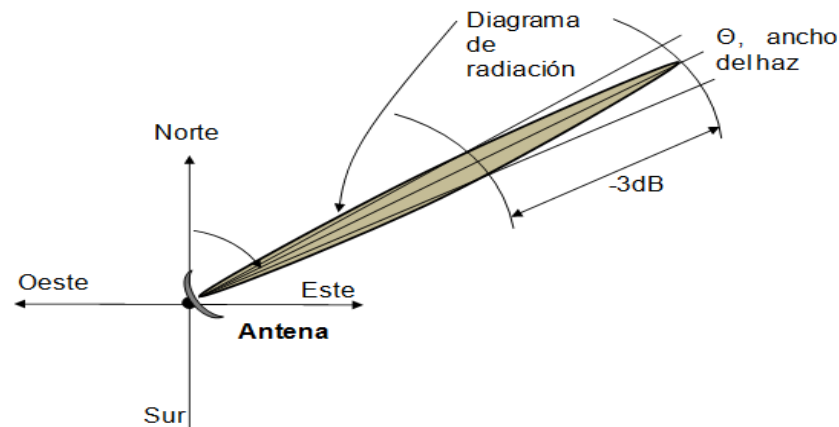
Resolución en alcance

Resolución lateral

Resolución lateral (S_A): capacidad para distinguir entre dos blancos que se encuentren a la misma distancia pero a diferente azimut, muy próximos entre sí. El valor de este ancho crece linealmente con la distancia a la que se encuentra el blanco y es:

$$S_A \geq 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\theta}{2}$$

Donde θ es el ancho del haz.



Resolución Lateral

La cobertura nominal del PSR está definida por los alcances máximo (R_{max}) y mínimo (R_{min}).

Requisitos operacionales

El radar aplicado al control de tráfico aéreo, permite la obtención en tiempo real de la posición de las aeronaves y otros vehículos.

Con ello, no se necesitan informes de posición o notificación para que el controlador estime la posición y evolución de las aeronaves.

Por lo tanto, la incorporación del radar a la función de vigilancia ATC ha supuesto un incremento considerable de la capacidad del espacio aéreo, mejorando simultáneamente los niveles de seguridad operacional, con relación al control convencional, en el cual la vigilancia se basa únicamente en los informes de posición y el de las fajas de progresión del vuelo entre las aeronaves.

Requisitos operacionales

Toda dependencia de control de tránsito aéreo que utilice el sistema radar y que por cualquier motivo pierda la información que éste suministra, deberá proceder por cualquier medio, a las coordinaciones apropiadas para lograr la transición adecuada de control radar a control no radar (convencional), con el fin de garantizar en todo momento el mantenimiento de las separaciones.

Los sistemas radar, utilizados en el suministro de la función de vigilancia para los servicios de control de ruta y de aproximación, satisfarán los requisitos que corresponden a las funciones y al nivel de servicio que hayan de proporcionarse.

Los requisitos operacionales de la función de vigilancia y sus elementos en los entornos de ruta y grandes áreas terminales son:

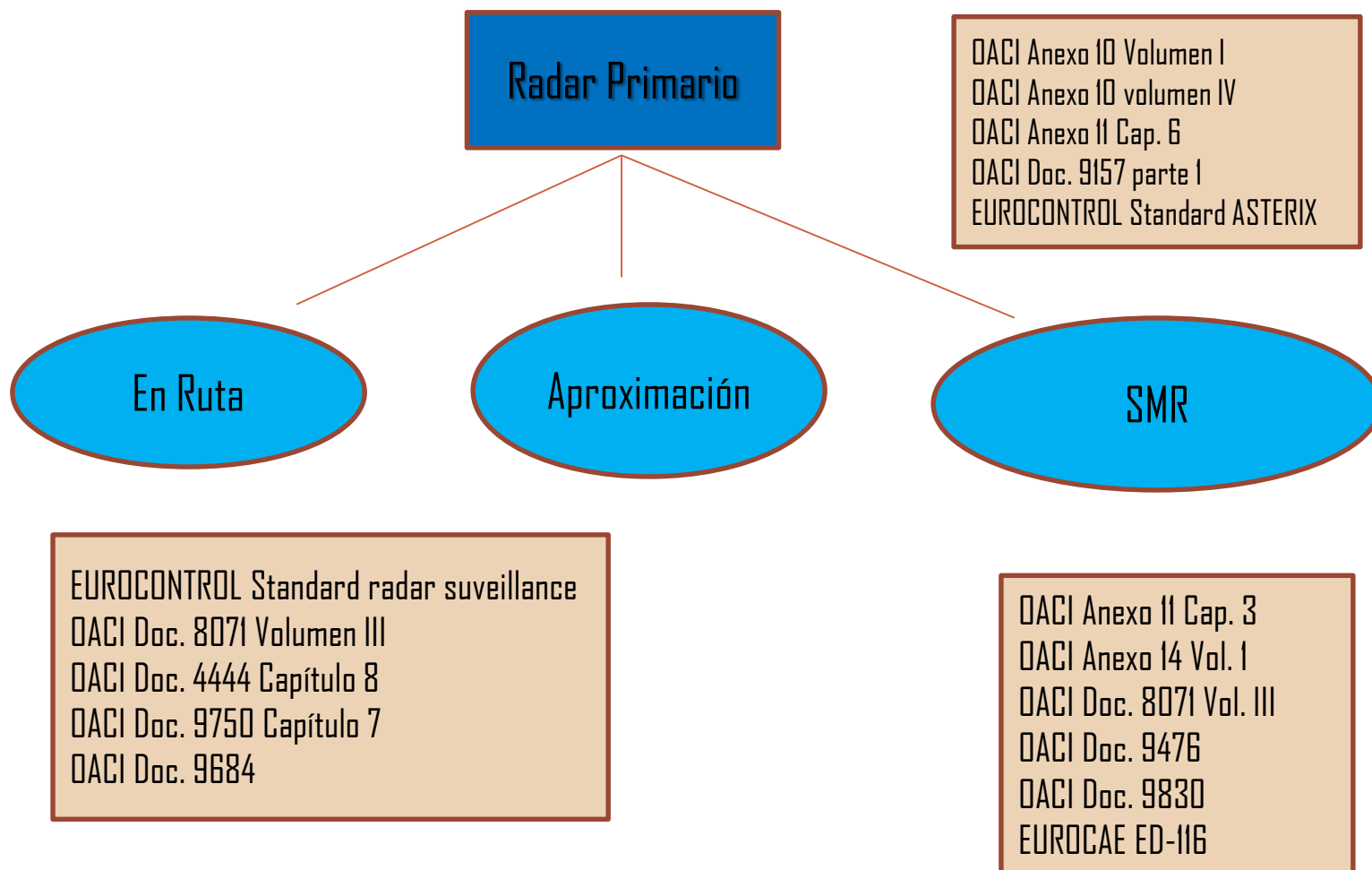
Requisitos del servicio radar

- ❑ Debe proporcionarse servicio radar para separación de aeronaves en el espacio aéreo controlado de ruta y en áreas terminales de alta densidad de tráfico.
- ❑ Las prestaciones de los sistemas vigilancia, y en particular, de los sistemas de vigilancia radar deben ser tales que permitan al controlador proporcionar una separación mínima horizontal de 5 NM. en zonas de alta densidad en ruta, 10 NM. el resto de espacio aéreo de ruta y 3 NM. en TMA.

Requisitos de cobertura

- En ruta: doble cobertura de radar secundario, ésta se extenderá desde los niveles de crucero IFR mínimos a los más elevados y donde sea requerido el servicio radar, se cubrirán al menos 30 NM. más allá del límite de responsabilidad del Centro de Control correspondiente para facilitar las transferencias entre centros de control adyacentes.
- El nivel mínimo de vuelo a partir del que se proporcionará doble cobertura será FL120 (12000 pies).
- TMAs: cobertura simple de radar primario y doble cobertura de radar secundario. Esta combinación asegura la disponibilidad de información de posición y ofrece servicios de tránsito aéreo a aeronaves incapaces de responder a interrogaciones SSR.
- No habrá carencia de cobertura con efectos significativos.
- Todo cono de silencio de cada estación estará cubierto por otra estación próxima.

Normativa de aplicación para el PSR



Prestaciones PSR

Las prestaciones de carácter general del radar primario se evalúan en términos de las siguientes características:

- Detección.
- Calidad.
- Disponibilidad.
- Combinación PSR/SSR.
- Retardo.

Detección: es la capacidad de la instalación para detectar el blanco, posicionarlo en el plano horizontal y defenderse de la existencia de informes falsos de posición.

Calidad: es la información suministrada por el PSR se determina a partir de la exactitud en el posicionamiento, la no existencia de codificación errónea de blancos y la resolución.

Disponibilidad, de la instalación se establece a partir del máximo tiempo permitido de fuera de servicio por cualquier causa.

Combinación, de información PSR/SSR se determina a partir de la probabilidad global de asociación de blancos comunes procedentes de los dos tipos de radar y el porcentaje de asociaciones falsas.

Retardo: se refiere al tiempo necesario en la estación desde el instante de detección del blanco hasta el de la transmisión del mensaje correspondiente.

Antenas PSR y SSR



Antena de Radar
Secundario

Antena de Radar
Primario

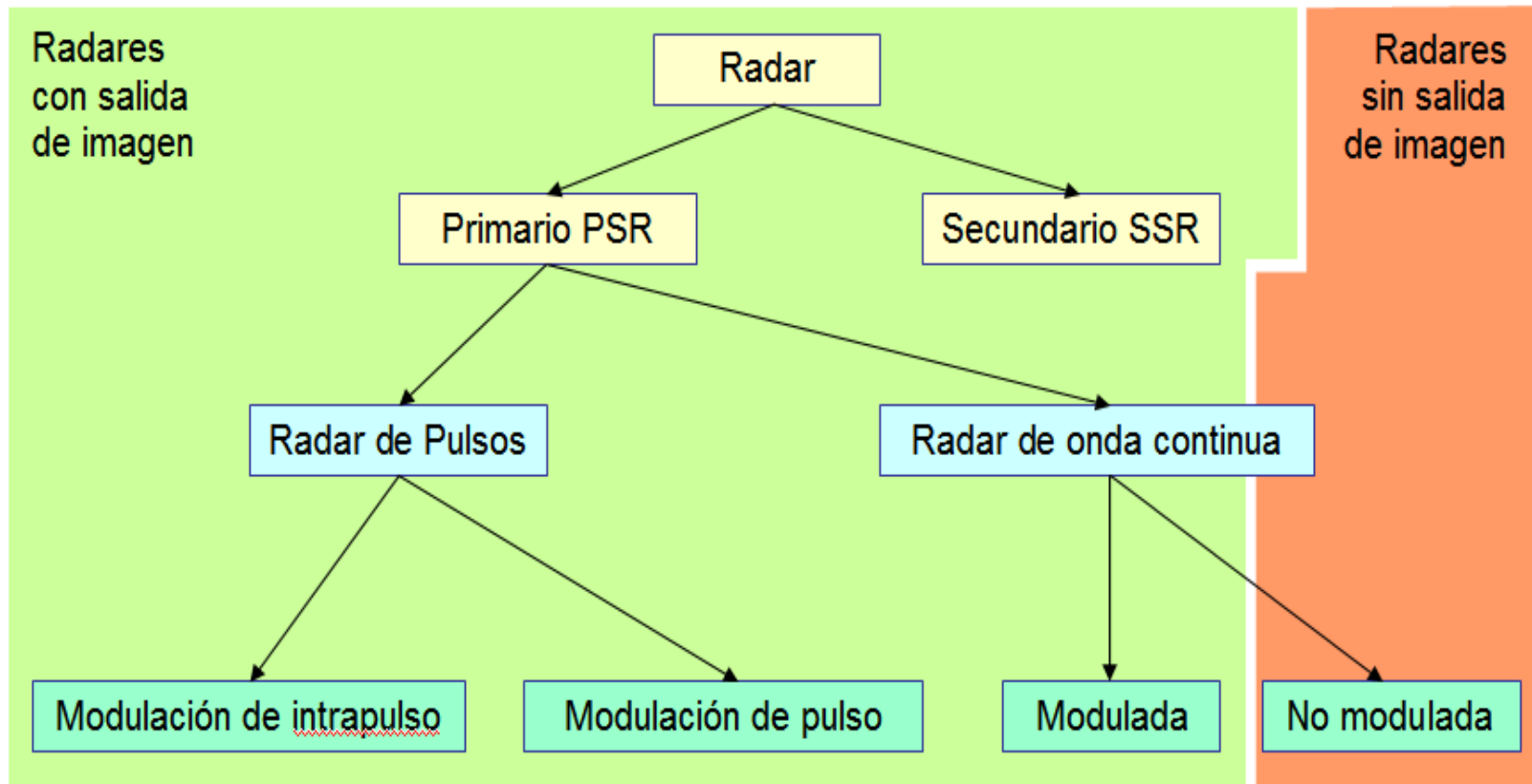
Características de parámetros y requisitos

CARACTERÍSTICAS	PARÁMETROS	REQUISITOS
Detección	❖ Probabilidad de detección de la posición	>90 %
	❖ Informes falsos de posición	< de 20 por vuelta de antena
Disponibilidad	❖ Máximo tiempo de fuera de servicio	< 4 horas
	❖ Tiempo acumulado de fuera de servicio	< 4 horas/año
Combinación	❖ Probabilidad global de asociación	> 95 %
	❖ Probabilidad de falsa asociación	< 0.1 %
Retardo	Máximo retardo del mensaje de posición	< 2 segundos

Características de parámetros y requisitos

CARACTERISTICAS	PARÁMETROS	REQUISITOS
Calidad	Exactitud de la posición	
	❖ Errores sistemáticos	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sesgo de alcance oblicuo ▪ Sesgo de acimut ▪ Variación con la distancia ▪ Sello de tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> < 100 m. < 0.1 ° < 1 m / milla náutica < 100 ms
	❖ Errores Aleatorios	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alcance oblicuo ▪ Acimut 	<ul style="list-style-type: none"> < 120 m < 0.15 ° 	
	❖ Resolución (de probabilidad para detectar blancos muy próximos entre si).	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acimutal (muy próximo si ≤ 3 veces el ancho del haz. ▪ En distancia (muy próximo ≤ 2 veces la duración del pulso). 	<ul style="list-style-type: none"> $\geq 90 \%$ $\geq 90 \%$

Tipos de radares



Tipos de radares

Radar de pulsos

Son los que transmiten un pulso de alta frecuencia y potencia. Después de la transmisión se deja un tiempo de silencio para recoger los ecos de los blancos detectados.

Radar de onda continua

Este tipo de radares transmiten continuamente una señal de alta frecuencia, por lo que el receptor utiliza otra antena y no se ubica en la misma posición de la antena de transmisor.

Radar de onda continua con señal no modulada

La señal transmitida por estos equipos mantiene la amplitud y frecuencia. No sirven para medir distancias, pero si para la determinación de la velocidad de los objetivos.

Radar de onda continua con señal modulada

La señal transmitida por estos equipos mantiene la amplitud pero se modula en frecuencia. La principal ventaja es que la recepción es continua y si se utilizan tiempos altos en el patrón de la variación de frecuencia, se pueden obtener alcances máximos no ambiguos mucho mayores que el de los radares pulsados.

Resumen

Features		Specification
Used Techniques		Radio telemetry and scanning beam
Range		Depends on the power, the receptor sensitivity and the pulse repetition frequency (PRF)
Modulation		Pulses
	PSR route	L band (within 1 and 2 GHz) and S band (within 2 and 4 GHz)
Carrier	PSR approach	S band (within 2 and 4 GHz)
	SMR	X band (within 8 and 12,5 GHz)
Pulses duration	PSR route	Within 2 and 3 μ s
	PSR approach	Within 0,75 and 1,5 μ s
	SMR	Less than 1 μ s
Pulse Repetition Frequency	PSR route	Less than 700 pulses per second
	PSR approach	Within 700 and 1500 pps
	SMR	> 2000 pps
Antenna revolutions (RPM)	PSR route	Within 6 and 12 r.p.m.
	PSR approach	Within 12 and 15 r.p.m.
	SMR	Within 30 and 75 r.p.m.