

Radar



Radar, sistema electrónico que permite detectar objetos fuera del alcance de la vista y determinar la distancia a que se encuentran proyectando sobre ellos ondas de **radio**. La palabra *radar* corresponde a las iniciales de "radio detection and ranging", y fue utilizado por las fuerzas aliadas durante la II Guerra Mundial para designar diversos equipos de detección y para fijar posiciones. No sólo indicaban la presencia y distancia de un objeto remoto, denominado objetivo, sino que fijaban su posición en el espacio, su tamaño y su forma, así como su velocidad y la dirección de desplazamiento. Aunque en sus orígenes fue un instrumento bélico, hoy se utiliza ampliamente para fines pacíficos, como la [navegación](#), el control del tráfico aéreo, la detección de fenómenos meteorológicos y el seguimiento de aeronaves.

Desarrollo

Todos los sistemas de radar utilizan un transmisor de radio de alta frecuencia que emite un haz de **radiación electromagnética**, con una **radiación** de longitud de onda comprendida entre algunos centímetros y cerca de 1 m. Los objetos que se hallan en la trayectoria del haz reflejan las ondas de nuevo hacia el transmisor. El radar se fundamenta en las leyes de la reflexión de las ondas de radio, implícitas en las ecuaciones que controlan el comportamiento de las ondas electromagnéticas, planteadas por el físico británico **James Clerk Maxwell** en 1864. Estas leyes quedaron demostradas por primera vez en 1886 a la vista de los experimentos del físico alemán **Heinrich Hertz**. El ingeniero alemán Christian Hülsmeyer fue el primero en sugerir el aprovechamiento de este tipo de eco mediante su aplicación a un dispositivo de detección diseñado para evitar colisiones en la navegación marítima. En 1922 el inventor italiano **Guglielmo Marconi** desarrolló un aparato similar.

El primer experimento satisfactorio de detección a distancia tuvo lugar en 1924, cuando el físico británico Edward Victor Appleton utilizó el eco de las ondas de radio para averiguar la altura de la **ionosfera** —una capa ionizada de la atmósfera más alta capaz de reflejar las ondas de radio más largas. Al año siguiente los físicos norteamericanos Gregory Breit y Merle Antony Tuve llegaron de forma independiente a los mismos valores para la ionosfera al usar la técnica de radioimpulsos que más tarde se incorporó a todos los sistemas de radar. Su desarrollo no fue posible hasta que no se perfeccionaron las técnicas y equipos electrónicos en los años treinta.

El primer sistema útil de radar lo construyó en 1935 el físico británico **Robert Watson-Watt**. Sus investigaciones proporcionaron a Inglaterra una ventaja de partida en la aplicación de esta tecnología estratégica; en 1939 ya disponía de una cadena de estaciones de radar en las costas meridionales y orientales capaces de detectar agresiones tanto por aire como por mar. Ese mismo año dos científicos británicos lograron el avance más importante para la tecnología del radar durante la **II Guerra Mundial**. El físico Henry Boot y el biofísico John T. Randall inventaron un tubo de electrones denominado magnetrón de cavidad resonante. Este tipo de tubo es capaz de generar impulsos de radio de alta frecuencia con mucha energía, lo que permitió el desarrollo del radar de microondas, que trabaja en la banda de longitudes de onda muy pequeñas, inferiores a 1 cm, usando el **láser**. El radar de microondas, conocido también como LIDAR (*light detection and ranging*), se utiliza hoy en el sector de las comunicaciones y para medir la contaminación atmosférica.

Los sistemas de radar más evolucionados que se construyeron en los años treinta jugaron un papel decisivo en la **batalla de Inglaterra**, que se libró de agosto a octubre del año 1940, y en la que la Luftwaffe de Adolf Hitler fracasó en su intento de adueñarse del espacio aéreo inglés. Aunque los alemanes disponían de sistemas propios de radar, los ejércitos británico y estadounidense supieron preservar su superioridad técnica hasta el final de la guerra.

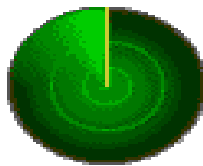


Funcionamiento

Las ondas de radio se desplazan a 300.000 km, la velocidad de la **luz**. Los equipos de radar están compuestos por un transmisor, una **antena**, un receptor y un indicador. A diferencia de la radiodifusión, en la que el transmisor emite ondas de radio que son captadas por el receptor, los transmisores y receptores de radar suelen hallarse juntos. El transmisor emite un haz de ondas electromagnéticas a través de una antena que concentra las ondas en un haz coherente apuntando en la dirección deseada. Cuando las ondas chocan con un objeto que se halla en la trayectoria del haz, algunas se reflejan y forman una señal de eco. La antena capta la energía contenida en dicha señal y la envía al receptor. Mediante un proceso de amplificación y tratamiento informático el receptor del radar genera una señal en el dispositivo de visualización, por lo general una pantalla de computadora.

Transmisores

El funcionamiento del radar implica que el transmisor emita una gran cantidad de energía para recibir, detectar y cuantificar una mínima fracción (una billonésima de una billonésima) de toda la energía de radio devuelta en forma de eco. Una forma de solucionar el problema de detectar este eco ínfimo en presencia de la enorme señal emitida es el sistema de impulsos. Durante un lapso de 0,1 a 5 microsegundos se emite un impulso de energía; a continuación, el transmisor permanece en silencio durante un espacio de centésimas o milésimas de microsegundo. Durante la fase de impulso, o emisión, el receptor queda aislado de la antena por medio de un conmutador TR (transmisor-receptor); durante el periodo entre impulsos, esta desconexión se efectúa con un conmutador ATR (anti-TR).



El radar de onda continua emite una señal continua, en vez de impulsos. El radar Doppler, que se utiliza a menudo para medir la velocidad de objetos como un coche o una pelota, transmite con una frecuencia constante. Las señales reflejadas por objetos en movimiento respecto a la antena presentarán diferentes frecuencias a causa del **efecto Doppler**. La diferencia de frecuencias guarda la misma relación con la emitida que la existente entre las velocidades del objetivo y la de la luz. Un objetivo que se desplaza en dirección al radar con una velocidad de 179 km/h altera la frecuencia de un radar de 10-cm (3.000 MHz) exactamente en 1 kHz.

Si el receptor del radar está diseñado de forma que rechace aquellos ecos que poseen la misma frecuencia que el transmisor y sólo amplifique los de frecuencia distinta, únicamente visualizará los objetivos móviles. Tales receptores pueden seleccionar vehículos en movimiento en total oscuridad, como hace la policía para medir la velocidad de los automóviles.

El radar de frecuencia modulada (FM) emite una señal continua cuya frecuencia va cambiando de manera uniforme. La diferencia entre las frecuencia del eco y la del transmisor en el momento de la recepción de aquél permite calcular la distancia existente entre transmisor y objetivo. Estos sistemas son más exactos que los de impulsos, aunque tienen un alcance menor.



Antenas

Las antenas de radar tienen que ser muy directivas; es decir, tienen que generar un haz bastante estrecho. Como la anchura del haz es directamente proporcional a la longitud de onda de la radiación e inversa a la anchura de la antena, y dado que no resulta viable utilizar antenas grandes en las unidades móviles de radar, surgió la necesidad de construir el radar de microondas.

Otras ventajas de los radares de microondas son su menor vulnerabilidad a las medidas preventivas del enemigo, tales como las perturbaciones, y la mayor resolución de los objetivos. El movimiento necesario del haz del radar se consigue imprimiendo un movimiento denominado barrido. La forma más sencilla de barrido consiste en hacer girar lenta y continuamente la antena. Los radares de tierra que se emplean para la detección de aviones a menudo llevan dos equipos de radar: uno efectúa el barrido en sentido horizontal para visualizar el avión y calcular el acimut, la distancia angular horizontal, y el otro lo realiza en sentido vertical para fijar su elevación. Muchas de las actuales antenas de radar llevan una batería con direccionamiento electrónico.

Receptores

El receptor ideal debe ser capaz de amplificar y medir una señal muy débil con una frecuencia muy elevada. Como hasta ahora no se ha conseguido construir un amplificador móvil que cumpla esta función de forma satisfactoria, la señal se convierte a una frecuencia intermedia de 30 MHz mediante un circuito superheterodino y se amplifica a dicha frecuencia. La altísima frecuencia de la señal del radar exige un oscilador y un mezclador con una precisión muy superior a la que se utiliza en los receptores normales de radio; no obstante, ya se han construido circuitos apropiados que utilizan como osciladores tubos de microondas de alta potencia denominados klystrons. La conversión de la frecuencia intermedia se efectúa de forma habitual y la señal se envía a continuación a una computadora.

Tratamiento informático

La mayoría de los radares modernos convierten la señal analógica recibida a una secuencia de números por medio de un **convertidor analógico digital**. Un ordenador de alta velocidad se encarga de procesar esta secuencia y extraer la información relativa al objetivo. En primer lugar, la señal retorna de tierra, donde se eliminan los objetos irrelevantes mediante un filtro indicador de objetivo móvil (MTI). A continuación se fracciona la señal en componentes discretos de frecuencia por medio de un transformador rápido de frecuencias (FFT). Por último, una vez combinadas las señales de muchos pulsos, se determina el objetivo mediante el procesador de frecuencia constante de falsa alarma (CFAR).

Los sistemas de radar cuya función principal consiste en detectar objetivos tienen que indicar la presencia o ausencia de éstos. Si el objetivo se halla realmente presente, el radar tendrá que detectarlo correctamente o ignorarlo por error. Si el objetivo no está presente de verdad, el radar puede indicar que no hay presencia del objetivo o puede producir una falsa alarma. La computadora CFAR tiene que ponderar de forma óptima las detecciones frente a las falsas alarmas.

Pantallas de radar

Las pantallas modernas de radar recuerdan a los complejos visores de los videojuegos. La detección de objetivos, la velocidad y la posición se pueden sobreponer a un mapa con la representación de carreteras u otras características importantes. Ciertos radares aéreos o en órbita espacial procesan las señales que retornan de tierra y proyectan un mapa de alta resolución del terreno. A menudo se pueden reconocer objetos tan pequeños como un camión a varios kilómetros de distancia, de noche y en condiciones meteorológicas adversas. La mayoría de los últimos avances en cuanto a pantallas y procesos de radar son consecuencia de los adelantos en

el mundo de las computadoras y la **electrónica** de alta velocidad.

Modulador de impulsos

Todo equipo de radar normal posee otro componente importante: el modulador de impulsos. Este dispositivo se encarga de extraer continuamente corriente de una fuente de potencia, como un generador, para alimentar el magnetrón del transmisor con impulsos del voltaje, potencia, duración e intervalo precisos. El impulso debe comenzar y finalizar de manera abrupta, pero la potencia y el voltaje no deben variar de forma apreciable durante el impulso.

Sistema secundario de radar

Los sistemas de radar descritos reciben el nombre de sistemas primarios y funcionan sobre el principio de un eco pasivo procedente del objetivo. Hay otro grupo de equipos de radar, conocidos globalmente como sistemas secundarios, que se basan en una respuesta del objetivo; la mayoría de estos equipos se utilizan en la navegación y en la [comunicación](#).

Radiofaro de respuesta

Un **faro** de radar, también denominado *racon*, es un equipo secundario de radar que emite un impulso cada vez que recibe otro. Estos faros amplían en gran medida el alcance de los radares, ya que un impulso emitido, aunque proceda de un transmisor de baja potencia, siempre es mucho más potente que el eco. El transmisor de radar que emite el impulso inicial se denomina el interrogador y la acción de este impulso sobre el faro recibe el nombre de disparo. El radiofaro en su versión más sencilla emite, casi instantáneamente un único impulso de la misma frecuencia recibida, que actúa como un potente eco.

Sin embargo, los radiofaros pueden presentar muchas variantes; por ejemplo, el faro puede responder con una frecuencia distinta o puede incorporar un retardo, de manera que parezca hallarse a mayor distancia del interrogador. Estos retardos se utilizan en los sistemas de aterrizaje asistido para medir la distancia desde la pista de aterrizaje en vez de desde el radiofaro. El radiofaro puede estar diseñado para que sólo se dispare por impulsos dentro de una estrecha gama de frecuencias, con una longitud determinada o cualquier otra característica; los radiofaros también pueden devolver una respuesta codificada, garantizando que el navegante no pueda confundir el punto que aparece en su pantalla. En tiempos de paz los radiofaros más sencillos resultan de gran utilidad como ayudas a la navegación, sobre todo si se emplean junto con equipos de radar de baja potencia.

Identificación de radar (IFF)

Se trata de un radiofaro codificado, instalado en aviones con fines de identificación en tiempo de guerra; IFF es la abreviatura de *Identification, Friend or Foe*. Durante la II Guerra Mundial, todos los aviones y barcos aliados llevaban equipos IFF y aunque muchos de ellos cayeron en manos del enemigo, nunca pudieron ser utilizados de forma eficaz para confundir a las fuerzas aliadas, ya que la codificación de la interrogación y la respuesta se modificaba habitualmente. El mayor problema planteado por el IFF radicaba en la confusión de señales en situaciones de gran densidad de tráfico aéreo. Los equipos IFF poseían un interruptor de emergencia que al ser accionado por un miembro de la tripulación de un avión en apuros alertaba de inmediato al radar interrogante fijando la posición de aquél.

Contramedidas

Durante la I Guerra Mundial apenas se practicó la perturbación de las comunicaciones de radio enemigas. Sin embargo, durante la II Guerra Mundial la interferencia de las comunicaciones de radar tuvo una importancia estratégica, ya que ambos bandos se apoyaron en el radar para desarrollar diferentes actividades bélicas. Hay dos métodos básicos para perturbar el radar del enemigo: la perturbación electrónica, transmitiendo con frecuencias capaces de interferir los receptores del enemigo, y la mecánica, lanzando objetos como pequeñas láminas de aluminio que producen ecos e interfieren la detección de los objetivos reales. En la actualidad, dada la proliferación de emisiones de televisión, teléfonos móviles y otros radares, gran parte de las interferencias son involuntarias.

Radar en órbita espacial

Los radares instalados en satélites que se hallan en órbita espacial sirven para controlar los recursos terrestres y marítimos, una actividad de creciente importancia en una época de recalentamiento global y escasez de recursos naturales cada vez mayor. Otras aplicaciones importantes son el control de las cosechas y la predicción meteorológica. Los radares en órbita constituyen un componente esencial en la SDI, la **Iniciativa de Defensa Estratégica**.



Aplicaciones pacíficas

Aparte de en la navegación marítima y aérea, el radar ha encontrado una aplicación casi universal en la [meteorología](#) y la predicción del tiempo, no sólo para localizar perturbaciones importantes como los huracanes o los tornados, sino para efectuar seguimientos de las condiciones climatológicas locales. Los equipos de radar también proporcionan información acerca del volumen de las precipitaciones, y permiten alertar con antelación sobre posibles inundaciones.

Un importante desarrollo reciente es el uso del LIDAR para controlar la contaminación atmosférica y otras partículas en suspensión, pues a menudo se puede identificar otros tipos de sustancias químicas y medir su concentración.

La policía utiliza otro tipo de radar en el [control del tráfico](#), para determinar la velocidad de los vehículos y cuantificar la densidad del tráfico en las principales calles, así como para controlar automáticamente los semáforos.

Una de las aplicaciones principales del radar es el [control del tráfico aéreo](#) a fin de guiar los aviones hasta las pistas de aterrizaje y tener controlados a los que se encuentran en vuelo. El sistema de aproximación controlado desde tierra se compone de dos rayos de radar diferentes, uno que efectúa el barrido en vertical y el otro en horizontal. El piloto dispone de un receptor de radio, y de hecho es conducido totalmente por los técnicos de tierra. A este fin también se utilizan los faros de radar. Se diferencian de los primeros por cuanto precisan de un radar a bordo del avión. La mayoría de los radares van equipados con un conmutador para pasar de la función de búsqueda a la de faro. Los impulsos de éste son relativamente prolongados; cuando son emitidos por el avión, los capta el faro de radar que comunica al avión su posición, apareciendo en la pantalla.

Los últimos avances, entre los que se incluyen la mejora de las técnicas para aumentar el contraste entre las señales buenas en el radar y las de ruido aleatorio, han ampliado de manera notable el alcance operativo del radar, ampliando su aplicación a la observación de la [exploración espacial](#) de los misiles de gran altitud y los [satélites artificiales](#). Estas técnicas también encuentran aplicación en la [astronomía radar](#). El radar es además un elemento esencial de los [sistemas de defensa](#) a la hora de detectar los misiles balísticos intercontinentales.