

HISTORIA DE LAS ANTENAS

Primeros experimentos y teorías

En 1750 Benjamin Franklin, con su famoso experimento de la cometa estableció la ley de conservación de la carga y determinó que debían de haber cargas positivas y negativas.

En 1780 Charles Agustin de Coulomb midió fuerzas eléctricas y magnéticas utilizando una balanza de torsión que él mismo inventó.

En 1800 Alessandro Volta inventó la pila, en 1819 Hans Crinstian Oersted encontró que un hilo por el que circulaba corriente hacía que se desviase una aguja imantada, demostrando que la electricidad podía producir magnetismo. Antes se consideraban fenómenos independientes.

En 1820 André Marie Ampere, amplió las observaciones de Oersted, inventó una bobina consiguiendo la magnetización. Casi simultáneamente Georg Simon Ohm publicó su ley que relacionaba la corriente la tensión y la resistencia.

En 1831, Michael Faraday demostró que un campo magnético variable podía producir una corriente eléctrica, utilizando para ello un imán en movimiento y viendo la corriente inducida en un hilo próximo.

Los experimentos de Faraday permitieron a James Clerk Maxwell, profesor de la Universidad de Cambridge en Gran Bretaña, establecer la interdependencia de la electricidad y el magnetismo en 1873. En su A treatise on Electricity and Magnetism publicó la primera teoría unificada electromagnética. Postuló que la luz era de naturaleza electromagnética y que era posible la radiación a otras longitudes de onda.

A pesar de que las ecuaciones de Maxwell tenían una gran importancia y que con las condiciones de contorno forman los fundamentos de la actual teoría electromagnética, muchos científicos de la época fueron escépticos sobre dichas teorías. Habría que esperar a los experimentos de Hertz para demostrarlas.

Sistemas telegráficos y telefónicos

Josep Henry descubrió el fenómeno de la inducción electromagnética al mismo tiempo de Ampere, e inventó el relé, que le sirvió para

construir el primer telégrafo. La primera patente de Morse es del año 1840, la primera línea telegráfica se instaló entre Washington y Baltimore en 1844. El primer cable submarino trasatlántico estuvo operativo en 1866.

Los primeros experimentos de radio en el siglo XIX

En 1842, Joseph Henry, inventor de la telegrafía de hilos, demostró que con un circuito de descarga podía magnetizar agujas situadas en el sótano, dos pisos más abajo. Utilizando un hilo vertical detectó rayos a una distancia de unos 12 Km.

En 1875 Edison descubrió que las chispas de los interruptores eléctricos producían radiaciones, en 1885 patentó un sistema de comunicaciones utilizando antenas monopolo con carga capacitiva.

En 1887 H. Hertz probó la validez de las teorías de Maxwell. Para su experimento

Hertz utilizó un dipolo alimentado en su centro con las descargas de una bobina.

Como antena receptora usó una espira cuadrada con un entrehierro en el que se producían descargas. Hertz consiguió sintonizar el sistema añadiendo esferas a los brazos del dipolo, equivalentes a carga capacitiva y bobinas serie y condensadores paralelo a la espira receptora.

El físico francés Edouard Branly construyó en 1891 el primer receptor de ondas electromagnéticas al que denominó cohesor. Consistía en un tubo lleno de limaduras de hierro conectado a una pila y un galvanómetro.

En 1894, una conferencia dada por Lodge en la Royal Institution, tuvo una gran difusión e influenció los futuros desarrollos de Marconi y Popoff.

En 1897 Oliver J. Lodge patentó una serie de importantes avances: los dipolos bicónicos, las cargas inductivas y la sintonía con circuitos resonantes.

Las agrupaciones de antenas fueron propuestas en 1889 por Sydney George Brown y James Erskine-Murray, aunque los primeros experimentos no se produjeron hasta 7 años después.

Las antenas de microondas, como reflectores parabólicos, lentes, bocinas y guías de onda ya se usaron antes de 1900.

En 1898 Hertz demostró las propiedades ópticas de las ondas eléctricas, a la longitud de onda de 66 cm, utilizando cilindros parabólicos. Lodge y Howard construyeron una lente en 1899. Righi utilizó cilindros parabólicos para longitudes de onda entre 2.6 y 21.4 cm. Marconi consiguió establecer una comunicación entre antenas parabólicas en 1895. En la India Hose utilizó una lente como transmisora y una bocina como antena receptora, con un dispositivo semiconductor como detector.

Inicios de la radiotelegrafía

El 12 de Diciembre de 1901 Marconi estableció la primera comunicación transoceánica entre Cornualles en Gran Bretaña y Terranova, en Canadá. La frecuencia utilizada fue 820 KHz (366 m). La potencia del transmisor eran 15 kW. La antena transmisora era un monopolo en abanico, soportado por dos mástiles de 48 m separados 60 m. La antena receptora fue un hilo metálico suspendido de una cometa.

John Ambrose Fleming, colaborador de Marconi, utilizó por primera vez en 1904 una válvula termoiónica para detectar señales de radio.

En 1905 las antenas habían evolucionado hacia un monopolo piramidal con carga capacitiva, a 70 KHz, en el lado británico y una estructura capacitiva con 200 radiales, a una altura de 60 m, en Terranova.

En 1906 Marconi midió el primer diagrama de radiación de una antena de hilo paralela al suelo. Dicha antena es la precursora de las actuales antenas de onda progresiva, rómbicas y V.

La invención del tríodo, en 1907 por Lee De Forest, permitió el desarrollo de amplificadores de radiofrecuencia, osciladores, moduladores y la mejora de los receptores al combinar las válvulas con los circuitos resonantes.

Avances en el segundo decenio (1910-1919)

El período comprendido entre 1910 y 1919 se caracteriza por la construcción de grandes antenas de baja frecuencia y elevada potencia. En 1911 se construyó las antenas de Radio Virginia, en Arlington, a la frecuencia de 137 KHz. El transmisor tenía una potencia de 100 kW.

Destaca también la antena construida por Marconi en New Jersey, consistente en un monopolo de 150 m de alto, con una carga capacitiva de 1200 metros de diámetro, la estructura estaba soportada por 13 mástiles.

En 1916 Marconi realizó una serie de experimentos con señales de 2 y 3 m de longitud de onda, utilizando reflectores parabólicos cilíndricos, contruidos con hilos verticales. Los resultados de la experiencia aconsejaron la utilización de frecuencias de HF e impulsaron el descubrimiento de los enlaces troposféricos en 1932.

En la década 1910-1919 también se introdujeron nuevas técnicas, como las ayudas a la navegación, las comunicaciones con submarinos sumergidos y los sistemas de control a distancia.

Los primeros experimentos de radiodifusión fueron posibles gracias a la invención del triodo. En el año 1910 se transmitió la voz de Caruso, y durante 1916 hubo emisiones diarias de música en New Rochele, en el estado de New York.

Los inicios de la radiodifusión (1920-1929)

Radiodifusión

La radiodifusión se inicia con las emisiones regulares en Pitsburg, de la estación KDKA en 1920. En Europa la BBC emitió su primer programa no experimental en noviembre de 1922. En España, la primera emisora fue Radio Barcelona, inaugurada en el 24 de Octubre de 1924. En 1925 ya existían unos 600 emisores de ondas medias.

Las primeras antenas de radiodifusión eran muy similares a las utilizadas para las comunicaciones punto a punto, pero pronto evolucionaron hacia el radiador de media onda, que ofrecía la ventaja de la cobertura omnidireccional.

Los receptores superheterodinos, inventados por Edwin H. Armstrong, fueron posibles gracias a los tubos electrónicos. Los receptores utilizaban como antenas la red eléctrica y como masa las cañerías de agua, pero pronto evolucionaron hacia las antenas en forma de T y piquetas de masa.

Comunicaciones

En 1923 Beverage construyó la antena bautizada con su nombre, de onda progresiva, consistente en un hilo paralelo a una tierra imperfecta con una carga terminal, para un sistema de comunicaciones entre Long Island y Escocia.

En 1927 Franklin construyó una agrupación de tipo cortina.

Ayudas a la navegación

En 1929 Franklin desarrolló un radiofaro en Escocia. Se empezó a utilizar el sistema de búsqueda de dirección (DF) de Adcock consistente en cuatro monopolos. En 1928 Diamond y Dunmore desarrollaron el primer sistema de aterrizaje instrumental ILS.

Investigación

En 1922 Taylor y Young, del Naval Research Laboratory (NRL), detectaron objetos en movimiento, midiendo las interferencias producidas en un sistema de radio de onda continua, a la longitud de onda de 5 m con el transmisor y receptor separados, presagiando los sistemas de radar. Propusieron continuar los trabajos, pero su plan no fue aceptado.

En 1925, Breit y Tuve midieron la altura de la ionosfera, utilizando para ello un radar pulsado.

En 1926 Uda realizó las agrupaciones de un solo elemento activo, con elementos parásitos. Dichas antenas denominadas "Yagi", fueron dadas a conocer por el japonés así llamado, en un artículo publicado en inglés en el año 1928.

El desarrollo de las microondas (1930-39)

En los primeros decenios del siglo XX las frecuencias de trabajo, en las bandas de LF, MF y HF, hacían que las antenas tuvieran unas dimensiones mucho menores o comparables a la longitud de onda. En dichas bandas los circuitos se pueden considerar como de elementos concentrados. Las bandas de microondas no están claramente definidas, pero se entiende que empiezan a partir de UHF, hasta banda X. En dichas bandas las antenas son mucho

mayores que la longitud de onda, y los circuitos son de elementos distribuidos, aunque en UHF pueden coexistir técnicas híbridas.

Televisión

Los primeros experimentos de televisión se iniciaron en Gran Bretaña. En 1925 John Logie Baird presentó un sistema de exploración mecánica de las imágenes. Las primeras transmisiones experimentales de TV electrónica se realizaron durante los Juegos Olímpicos de Berlín en 1936. Las emisiones regulares de la BBC comenzaron el mismo año. Se utilizaba la frecuencia de 45 MHz. La antena transmisora era una agrupación circular de dipolos.

Comunicaciones

En el año 1931 se estableció un enlace entre Francia y Gran Bretaña utilizando antenas reflectoras a 1760 MHz. Marconi midió el alcance sobre el mar de una transmisión a 500 MHz, sobre el Mar Mediterráneo, encontrando que se podían recibir señales a una distancia igual a cinco veces el alcance visual, descubriendo lo que se conocería después como enlaces troposféricos.

Antenas

El avance más importante de la década fue la invención de la ranura resonante. En 1939 A. D. Blumlein patentó un cilindro ranurado excitado por una espira, o bien mediante la conexión directa de una línea bifilar a los extremos de la ranura. La polarización era perpendicular a la dimensión mayor de la ranura. Se propuso una agrupación lineal de ranuras. También se descubrieron los efectos de la carga inductiva serie y capacitiva paralelo.

Los avances en los generadores de señal permitieron la utilización de los reflectores propuestos el siglo anterior. Marconi construyó un enlace de 25 Km, a la frecuencia de 600 MHz entre el Vaticano y Castelgandolfo con antenas parabólicas con alimentadores coaxiales.

Desde el punto de vista teórico destaca el análisis de las antenas cilíndricas

realizado por King en 1937 y Hallen en 1938. La formulación integral propuesta se sigue utilizando en la actualidad.

Radar

En el año 1930 se detectó, por primera vez un avión en vuelo, de una forma accidental. L. A. Hyland del Naval Research Laboratory

comprobó, mientras probaba un sistema DF (direction finding), que al pasar un avión por las cercanías, se producía un incremento en la señal recibida. En 1932 ya se había perfeccionado el sistema, y se podían detectar aviones a una distancia de 80 kilómetros del transmisor.

Las primeras experiencias con un radar pulsado en EEUU se realizaron en el NRL, en Abril de 1936, con un sistema a la frecuencia de 28.3 MHz y un ancho de pulso de 5 microsegundos. Al cabo de unos meses el alcance era de 40 Km.

Pronto se llegó a la conclusión de que era necesario subir en frecuencia, especialmente para los sistemas embarcados. Los primeros sistemas a 200 MHz se empezaron a desarrollar en 1936. Con una potencia de 6 kW se alcanzaba una distancia de 50 millas. El sistema se denominó CXAM.

En Gran Bretaña se iniciaron los estudios sobre el radar cuando se propuso a Sir Robert Watson-Watt la construcción de un haz destructor con ondas de radio. Las conclusiones del estudio fueron de que no era viable, pero recomendaba estudiar el problema de la detección de objetos. En 1935 propuso las condiciones de funcionamiento. En 1936 se probó un sistema de interferencia de onda continua a 6 MHz. En 1935 se probó un sistema pulsado a 12 MHz, con un alcance de 40 millas.

En el año 1938 se tenía en funcionamiento el famoso sistema de radar Chain Home, a 25 MHz, con un total de 5 estaciones costeras.

En Alemania se detectaron barcos en 1938 con un prototipo de radar llamado FREY A. La frecuencia de trabajo era de 125 MHz y el alcance entre 30 y 60 km.

En otros países como Francia, Rusia, Italia y Japón también se hicieron experimentos de interferencia en sistemas de comunicaciones de onda continua, e incluso Francia y Japón instalaron sistemas que se revelaron poco útiles en general.

Radioastronomía

Las interferencias que se producían en las comunicaciones de LF, especialmente en el verano, hicieron que los laboratorios de la Bell encargaran a Karl G. Jansky, en 1930, un estudio para que determinara dichas direcciones, a fin de diseñar las antenas con nulos en ellas.

Jansky construyó una antena tipo cortina de Bruce 8 elementos con reflector, funcionando en la banda de 14 metros, rotatoria. Con dicha antena comprobó que el ruido estaba originado en las tormentas, pero descubrió además una fuente de ruido que estaba siempre presente, y que tenía una periodicidad de 24 horas. Tras meses de observación Jansky determinó que provenía de la tierra y del sol y además que había un ruido que provenía de la galaxia, con un máximo en el centro. Jansky había descubierto la Radioastronomía.

Con las medidas del ruido se estableció el límite de sensibilidad que se podía alcanzar con un sistema receptor de onda corta.

En 1938, Grote Reber construyó una antena parabólica de 9 metros de diámetro, que funcionaba en la banda de 2 metros, con la que estableció los primeros radio mapas del cielo.

La segunda guerra mundial

La segunda guerra mundial supuso un esfuerzo considerable en el desarrollo de todas las tecnologías asociadas a las comunicaciones ya los sistemas de radar. Las investigaciones realizadas sentaron las bases para los desarrollos futuros de sistemas de aplicación civil.

Antenas

Durante la segunda guerra mundial hubo un considerable esfuerzo de desarrollo de antenas de microondas, para aplicación a los sistemas de radar.

Por fin se pudieron usar los reflectores, lentes, bocinas, que ya se habían diseñado a finales del siglo XIX, para demostrar las teorías de Maxwell.

Durante esta época se utilizaron las guías de onda abiertas para alimentar reflectores o lentes, y las bocinas como radiadores poco directivos. También se desarrollaron las bocinas con dos modos para controlar la distribución de campos en la apertura.

Se desarrollaron variaciones del reflector parabólico, como cilindros o sectores. Las antenas "pillbox" o "cheese" se inventaron durante los años de la guerra. Para conformar el haz en forma de cosecante se deformaron los paraboloides o se utilizaron múltiples alimentadores.

Se diseñaron arrays de guías ranuradas, en la cara estrecha o en la cara ancha, con diseños resonantes o de onda progresiva, para

alimentar cilindros parabólicos. También se diseñaron arrays planos de guías ranuradas.

En el año 1941 se desarrollaron lentes de placas metálicas paralelas para corregir el error de fase de las bocinas. También se estudiaron las lentes dieléctricas.

Las antenas polyrod se usaron como radiadores para un array plano fijo (14x3), con barrido controlado por desfasadores mecánicos.

Microondas y Radar

Durante la guerra se desarrolló toda la tecnología de guías de onda. Los trabajos de investigación fueron recopilados posteriormente por el "Radiation Laboratory", del M.I. T., bajo la supervisión del "National Defense Research Committee". Muchos de los textos siguen siendo una referencia obligada en la actualidad.

El magnetrón fue descubierto en el año 1940 en Gran Bretaña, por Boot y Randall. Dicho descubrimiento permitió el desarrollo del radar en ondas centimétricas. Se obtuvo una potencia media de 400 W utilizando un magnetrón de 6 cavidades, a la longitud de onda de 9.8 cm.

En Estados Unidos se construyó el sistema EAGLE, con un array de 250 dipolos, a la longitud de onda de 3.2 cm, con la posibilidad de barrido en un margen de 60 grados.

El período de la postguerra y la década de los 50

Antenas

El período de la postguerra destaca por los desarrollos en las ranuras, espiras y dipolos. Algunos desarrollos fueron el cilindro ranurado, la antena dipolo-ranura, la espira de cuadro de Orr, la espira resonante de Alford. En los aviones se usaron las ranuras sobre el fuselaje y la antena tipo "notch". En la Unión Soviética se desarrollaron las ranuras circulares.

Se dedicó un gran esfuerzo a los sistemas de reflectores con barrido mecánico o electrónico. Destaca el reflector de forma tórica, reflectores con láminas polarizadoras ya los arrays retrodirectivos como el de Van Atta.

John D. Kraus descubrió en 1946, en la Universidad de Ohio State, la antena hélice. Se aplicó a la construcción de un radiotelescopio en 1951. La banda de funcionamiento era de 200 a 300 MHz.

Uno de los avances más significativos de la época lo constituyó el desarrollo de las antenas independientes de la frecuencia y de banda ancha. Rumsey estableció que la impedancia y diagrama de una antena serán independientes de la frecuencia si la antena está definida solamente por ángulos. John D. Dyson construyó una antena espiral plana y posteriormente una cónica. En la universidad de Illinois Raymond DuHamenl y Dwight Isbell crearon un nuevo tipo de antena con características logoperiódicas. En 1960 D. Isbell construyó el primer array logoperiódico de dipolos. En 1961 Carrel sistematizó los cálculos de dichas antenas.

Radiodifusión y televisión.

Los inicios de la televisión se remontan a los experimentos de John L. Baird, a finales de la década de los 20. Transmitió imágenes de 30 líneas en sistemas de radio de onda media. En 1936 la BBC inició la emisión de TV , utilizando sistemas mecánicos y electrónicos. Pronto se demostró la superioridad de los sistemas electrónicos. Durante la siguiente década se demostraron las ventajas de aumentar el ancho de banda y la frecuencia (VHF) .A partir de 1946 comenzó la gran expansión de la televisión. También Edwin H. Armstrong demostró la mejora de sonido en las transmisiones de radio, utilizando modulación de frecuencia en la banda de VHF. Radionavegación.

Los avances en los sistemas de radar durante la segunda guerra mundial permiten que se desarrollen los sistemas para el control del tráfico aéreo. Ya en 1942 se habían puesto en servicio en Inglaterra los sistemas LORAN-A y DECCA. En 1946 se instala el VOR(Very High Frequency Omnidirectional Range).

Radar

Los años de la postguerra marcan una creciente importancia de las técnicas de procesamiento de señal. En 1947 Marcum y Swerling presentan la teoría estadística de la detección. En 1953 Woodward propone la función de ambigüedad. En 1954 se introduce la técnica M.T.I para la visualización de blancos móviles. En 1963 se publica la teoría del filtro adaptado, que ya se había usado durante el período de la guerra. En la década de los 60 se introducen las técnicas digitales. Las tendencias actuales apuntan a sistemas de radar totalmente adaptativos y reconfigurables.

Radioastronomía

Tras la segunda guerra mundial se produjo un resurgimiento de la radioastronomía. Se construyeron grandes instalaciones de observación. La primera de ellas fue la de Manchester (Jodrell Bank). En la actualidad destacan varias instalaciones, como el de instituto Max Planck de radioastronomía, de 100 metros de diámetro y 3200 toneladas. Puede funcionar hasta 30 GHz.

Otra gran instalación es el reflector esférico fijo de 305 m de diámetro construido en Arecibo, Puerto Rico. El alimentador primario está soportado por cables y tres torres. Es posible un bacheo de unos 20 grados desde el cenit.

En San Agustín, Nuevo México se encuentra el array VLA (very large array), con 27 antenas cassegrain de 25 Km de largo que se pueden desplazar sobre tres ejes (separados 120 grados) de 21 Km de largo. Un radiointerferómetro de 5 km se encuentra en Cambridge.

Telecomunicación espacial

Arthur C. Clarke, el autor de 2001, una odisea en el espacio propuso en 1945 la utilización de los satélites geoestacionarios para los sistemas de comunicaciones de cobertura mundial. Clarke indicó que un satélite en órbita circular ecuatorial de radio 42.242 km tendría una velocidad angular igual a la de la tierra, y por lo tanto se vería desde la tierra siempre en la misma posición. Un satélite cubriría casi un hemisferio y con tres satélites espaciados 120 grados se tendría una cobertura mundial.

El día 4 de Octubre de 1957 la Unión Soviética lanzó el satélite Sputnik I. Los Estados Unidos reaccionaron al reto soviético y se inició una carrera espacial.

El 18 de Diciembre de 1958 se lanzó el SCORE (Signal Communicating by Orbiting Relay Equipment). La órbita era elíptica de baja altitud, con un período de 101 minutos. El satélite grababa el mensaje al pasar por una estación y lo reproducía frente a otra estación receptora. La longitud máxima del mensaje era de 4 minutos, equivalente a un canal vocal o setenta canales de teletipo de 60 palabras por minuto. La frecuencia del enlace ascendente era 150 MHz y el descendente de 132 MHz. Había un radiofaro a 108 MHz. Las baterías del sistema fallaron a los 35 días.

Los primeros satélites de comunicaciones que despertaron un interés generalizado fueron los ECHO I y ECHO II, lanzados el 12 de Agosto de 1960 y el 25 de Enero de 1964. Eran globos de 30 metros de

diámetro que se utilizaban como repetidores pasivos, sin ningún tipo de baterías o repetidores. Los períodos de rotación eran de 118 y 108.8 minutos. La órbita era muy baja, por lo que los satélites sólo eran visibles simultáneamente desde dos estaciones unos pocos minutos. La potencia de los transmisores era de 10 kW, las frecuencias de 960 MHz y 2390 MHz, y las antenas de 25 y 18 m de diámetro.

Los primeros satélites con repetidores de banda ancha fueron los TELSTAR I y TELSTAR II, lanzados en 1962 y 1963, con órbitas bajas y trabajando en la banda de 4/6 GHz.

Los satélites SYNCON II, y III fueron los primeros puestos en órbita geoestacionaria, en 1963 y 1964. El primero de la serie falló durante el lanzamiento. La utilización era militar.

El primer satélite comercial en órbita geoestacionaria fue el INTELSAT I, también llamado Early Bird. Fue lanzado el 6 de Abril de 1965 y estuvo en operación hasta 1969. Las comunicaciones se iniciaron de forma operativa el 28 de Junio de 1965. El satélite tenía dos transpondedores de 25 MHz de ancho de banda. Los enlaces ascendentes estaban a 6301 MHz para Europa y 6390 MHz para Estados Unidos. Los enlaces descendentes estaban a las frecuencias de 4081 MHz y 4161 MHz. Con dicho satélite se inicia la actual época de telecomunicación espacial.

La organización INTELSAT inició sus actividades en 1964, con 11 países miembros, en la actualidad tiene 109 miembros y da servicio a 600 estaciones terrenas en 149 países. Los satélites de la organización son el ejemplo más claro de la evolución tecnológica de las radiocomunicaciones. Las series de satélites van desde los INTELSAT I a INTELSAT VII.

El Early Bird podía transmitir 240 canales vocales o un canal de TV. Los satélites de la serie INTELSAT III se empezaron a lanzar en 1968, podían transmitir 1200 circuitos telefónicos y 2 canales de TV. Los de la serie IV se empezaron a lanzar en 1971, con 4000 canales y 2 de TV. La serie V se inicia en 1981, con 12000 canales vocales y 2 de TV. Finalmente los de la serie VI triplican la capacidad del anterior. Multiplica por 150 la capacidad del primer INTELSAT I. El número de transpondedores es de 38 en la banda C y 10 en la banda Ku.

Otra organización es INMARSAT, creada en 1979, es la organización internacional de satélites marítimos, y permite la comunicación a través de satélite con barcos. Se utilizan satélites MARECS

(alquilados a la ESA), o INTELSAT V con el sistema de comunicaciones marítimas MCS.

Otra área en la que se han producido importantes avances y una gran repercusión social ha sido la recepción de TV por satélite.

La mejora de la tecnología en las estaciones terrenas ha permitido que se puedan recibir los satélites de comunicaciones con reflectores parabólicos de diámetro inferior a 1 metro. Dichos satélites distribuían inicialmente la señal a las estaciones locales y redes de cable, pero en la actualidad pueden ser recibidos por usuarios individuales. Destacan los satélites europeos ECS y ASTRA, que trabajan en la banda de 10.9 a 11.7 GHz y los satélites americanos en la banda de 3.7 a 4.2 GHz.

Los satélites de difusión directa DBS tienen asignadas unas frecuencias diferentes, de 11.7 a 12.5 GHz, y podrán ser recibidos con antenas de diámetro reducido y receptores de bajo coste.

Avances recientes

Se describen a continuación los avances más importantes que se han producido en radiocomunicaciones, con especial énfasis en el desarrollo de las antenas.

Teoría de Antenas

La mayor parte de los avances están relacionados con el uso de los ordenadores para el cálculo.

La transformada rápida de Fourier (FFT). El campo radiado por una apertura se puede calcular como la transformada de Fourier de los campos en la apertura. El cálculo de dicha transformada no es siempre posible de una forma analítica. El tiempo empleado en el cálculo directo de la integral es excesivo. El algoritmo de la FFT permite reducir de forma drástica dicho tiempo.

Teoría Geométrica de la Difracción (GTD). Recientemente se ha desarrollado la técnica denominada GTD que permite analizar el efecto en los campos radiados debido a los bordes y vértices. Complementa al método de Kirchhoff.

Espectro Angular de Ondas Planas (PWS). Se basa en la expansión modal de los campos en el dominio espectral. El uso del algoritmo de

la FFT permite reducir el tiempo de cálculo. Se puede utilizar en problemas de difracción.

Método de los Momentos. Es un método numérico que permite el análisis de antenas, mediante la discretización del problema, y la resolución del sistema de ecuaciones resultante. Varios programas (NEC) y (MININEC) utilizan dicho método para el cálculo de la radiación y difracción de antenas de hilo

Arrays de barrido de fase

En un array de barrido de fase se puede controlar la forma del diagrama de radiación mediante el control de la fase de cada una de las antenas que lo componen. Los últimos avances en este tipo de antenas se han producido en todas las áreas tecnológicas. Concretamente se pueden citar:

Mejora de los desfasadores y divisores de potencia en las redes de distribución.

Utilización de microprocesadores para el control óptimo de la fase y amplitud para conseguir un diagrama con unas características prefijadas.

Mejora de las técnicas de análisis, concretamente en lo que afecta a los efectos mutuos entre los elementos de la agrupación ya la cuantización de la fase debido a los desfasadores digitales.

Desarrollo de la técnica de agrupaciones adaptativas, que son capaces de maximizar la relación de señal a interferencia, o bien situar nulos en las direcciones del espacio en las que hay interferencias.

Mejoras en la tecnología de circuitos integrados de microondas, amplificadores de bajo ruido, amplificadores de potencia y circuitos monolíticos, que permiten la realización de antenas distribuidas.

Desarrollo de nuevas técnicas de fabricación, como la de las antenas microstrip, que permiten la integración de las antenas con la circuitería, así como arrays conformables.

Antenas adaptativas

El término Antena adaptativa se aplica a los arrays que son capaces de ajustar su diagrama de forma prefijada, dependiendo de las fases y de las amplitudes recibidas desde fuentes externas. El ejemplo más

típico de una antena adaptativa es la denominada SLC (Sidelobe canceller antenna), que ajusta el diagrama de forma que aparece un nulo en la dirección de la interferencia o jammer. Una antena como la indicada consiste en una antena de elevada ganancia y varias antenas auxiliares con un diagrama prácticamente omnidireccional. El número de antenas auxiliares determina el máximo número de interferencias que se pueden cancelar. Otro ejemplo es el denominado SLB (sidelobe blanking antenna). En este caso se compara la señal recibida a través de la antena principal y la antena auxiliar. Se desconecta el receptor cuando la señal que llega es superior en el canal auxiliar.

Los algoritmos matemáticos relacionados con las antenas adaptativas son relativamente complejos. La implementación práctica se puede realizar en forma analógica o digital, aunque últimamente se está imponiendo la tecnología digital.

El objetivo básico en la actualidad es la reducción de los tiempos de convergencia de los algoritmos y la obtención de arrays superdirectivos, con un gran poder de resolución.

Antenas de apertura sintética

Se denomina apertura sintética al método que permite sintetizar un array de grandes dimensiones a partir del movimiento lineal de una antena relativamente pequeña, transportada por un avión o un satélite.

La apertura es sintetizada, ya que no existe en realidad. Se obtienen anchos de haz muy estrechos, elevada ganancia y por lo tanto una gran resolución a partir de una antena pequeña.

Los datos obtenidos se deben procesar posteriormente. Históricamente se aplicaba el procesamiento óptico de la información, siendo en la actualidad procesados digitalmente.

Se puede conseguir una gran resolución mediante técnicas de focalización y mediante técnicas de compresión de pulsos.

Las aplicaciones más importantes se centran en la realización de mapas y la detección de recursos naturales.

Antenas de bajos lóbulos

En muchas aplicaciones se requiere que la antena tenga un nivel de lóbulo principal a secundario extremadamente bajo. Dicho parámetro es importante en antenas de radar, a fin de reducir los efectos del clutter, pero sobre todo para minimizar las posibles interferencias o jammer. En aplicaciones de comunicaciones, una

antena con lóbulos bajos permite que se utilice la misma frecuencia en dos satélites.

En los últimos años se han podido conseguir antenas con márgenes entre 40 y 50 dB, mientras que no hace mucho se consideraba que una antena con 30 dB de relación de lóbulo principal a secundario era excelente.

Los puntos claves que han permitido dichos avances han sido el cálculo numérico, teniendo en cuenta los efectos mutuos y las técnicas avanzadas de producción, con tolerancias muy estrictas en la construcción del array o del reflector.

Comunicaciones espaciales

Las antenas para comunicaciones espaciales han evolucionado mucho en los últimos años, siendo la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Agencia Espacial Norteamericana (NASA) las dos organizaciones responsables de los avances en dicha materia .

Las antenas han evolucionado desde las de cobertura global, para satélites no estabilizados, hasta las de gran ganancia en los satélites en órbita geoestacionaria.

Dichas antenas deben ser de banda ancha, con bajos lóbulos, de elevada ganancia, y además últimamente se está exigiendo que sean reconfigurables, con haces controlables desde tierra, y con haces conformados.

Se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten lanzar satélites con grandes antenas, basadas en dos conceptos: antenas desplegadas y antenas hinchables.

También se han desarrollado nuevos procesos para la construcción de paraboloídes con elevadas tolerancias y bajo peso, como la tecnología de la fibra de carbono.

Las antenas empleadas son básicamente reflectores, con múltiples alimentadores en el plano focal, con redes de distribución pasivas. La tendencia actual va hacia las grandes agrupaciones activas, con control total de la amplitud y de la fase de todos los elementos del array.

Radioastronomía

Los avances recientes en antenas de radioastronomía se centran en la mejora de la resolución, mediante el uso de interferómetros de muy

larga base VLBI, utilizando arrays de dos antenas situadas en diferentes continentes, y aprovechando el movimiento de la tierra y las técnicas de apertura sintética. El sincronismo de fase entre ambas antenas se consigue mediante relojes atómicos.

Otro avance importante se ha conseguido mediante la construcción de arrays de antenas de grandes dimensiones, como el del National Radio Astronomy Observatory, con 27 paraboloides de 25 metros de diámetro, repartidos en tres radios de una dimensiones máximas de 20 km. Se han construido recientemente antenas para frecuencias superiores a los 100 GHz, con tolerancias mecánicas inferiores a los 0.2 mm.

Medidas de antenas

Las técnicas de medida de antenas han evolucionado mucho en los últimos años. Los avances más significativos han sido las medidas en campo próximo, en superficies planas, cilíndricas o esféricas, y la técnica del campo compacto.

Desde el punto de vista de instrumentación los nuevos analizadores de redes automáticos han supuesto un avance realmente notable, sobre todo en la mejora de los márgenes dinámicos, la linealidad de la medida y la resolución. La medida de fase ha supuesto la posibilidad de aplicar técnicas matemáticas de transformación.

Las medidas en campo próximo han sido posibles gracias a la introducción de ordenadores suficientemente rápidos para efectuar las operaciones de transformada rápida de Fourier o los desarrollos en armónicos cilíndricos o esféricos.