

## EL RADAR

**C**hristian Huelsmeyer, tras sus estudios en Bremen, donde tuvo ocasión de repetir los experimentos de Hertz, entró a trabajar en Siemens y en 1902 se trasladó a Duesseldorf, con objeto de concentrarse en su invento de un sistema transmisor – receptor, para detectar a distancia objetos metálicos, por medio de ondas eléctricas. El 30 de abril de 1904 solicitó la patente para el “telemobiloscope”, que se le definía, como un dispositivo anticolidión para barcos. Posteriormente entró en contacto con un comerciante de Colonia, que aportó 5.000 marcos para crear la “Telemobiloscope – Gesellschaft Huelsmeyer und Mannheim”. La primera demostración pública del “telemobiloscope” tuvo lugar el 18 de mayo de 1904 en el Puente de Hozenzolien en Colonia. El dispositivo hacía sonar un timbre cuando un barco se acercaba al puente y dejaba de sonar cuando se alejaba fuera del alcance del haz de ondas. Aunque las opiniones de la prensa y del público fueron muy favorables, ni las autoridades navales ni la industria mostraron interés, a pesar de que en junio de 1904, el director de una compañía alemana de navegación le dio la oportunidad de mostrar su equipo a los asistentes a un congreso en Rotterdam. En principio podía detectar barcos en un radio de 3 kilómetros; pero posteriormente proyectó otro que podía alcanzar 10 kilómetros.

El “telemobiloscope” radiaba en una longitud de onda de 40 a 50 cm., que corresponde a una frecuencia de entre 600 y 750MHz., el transmisor utilizaba un “descargador de arco” tipo Righi, que estaba, en parte, sumergido en aceite, conectado a una bobina de inducción. El haz radiado se conseguía mediante una antena con un reflector en forma de “raspa”, como las actuales antenas Yagui de la televisión doméstica, mientras que el receptor utilizaba un detector coherente y una antena vertical. Para evitar errores producidos por señales de otros transmisores, el receptor solo actuaba durante un tiempo predeterminado, después de recibir la primera transmisión. Christian Huelsmeyer que obtuvo su cuarta patente el 11 de noviembre de 1904 en Inglaterra, fue homenajeado, en 1955, en un congreso sobre “Clima y Astro – Navegación”, celebrado en Munich.

Hans Eric Hollmann había creado una compañía denominada “Laboratorio para Alta Frecuencia y Electromedicina”, en la que trabajaban 20 científicos y donde se desarrolló la tecnología de alta frecuencia que fue la base del desarrollo del RADAR. Hollman tenía a su nombre más de 300 patentes, de las que 76 fueron registradas en los estados Unidos por la compañía Telefunken, a la que él asesoraba. Esta compañía, haciendo uso de varias de esas patentes, construyó el radar “Wuerzburg”. Von Willisen y Paul Erbsloeh fundaron la compañía alemana GEMA, la que con la asesoría técnica del Dr. Hollman, desarrolló los primeros equipos de RADAR modernos.

En sus memorias Erbsloeh escribía acerca de von Willisen “Con mucho trabajo pudimos hacer oscilar el Magnetron a 50 cm. La modulación con sonido a otras frecuencias fue posible gracias al circuito en push – pull, con tubos de Barkhausen desarrollado por Hollman”. “Hollman fue nuestro asesor y para sus experiencias en medidas de la capa de Heaviside, usó modulación de impulsos y utilizó como pantalla un tubo de rayos catódicos (CRT). Al principio los marinos no eran partidarios de usar el CRT a bordo de barcos, pero se les demostró que ésta era la única solución posible”. El primer tubo de rayos catódicos se inventó y construyó por Manfred von Ardenne, que tenía un laboratorio de investigación en Lichterfeld, Berlín, muy próximo al laboratorio de Hollmann del que era buen amigo. En 1929 Watson Wat visitó los laboratorios de Hollmann y von Ardenne y durante algunos años les compró varios CRT.

En el otoño de 1934 la compañía GEMA, construyó el primer sistema de RADAR comercial, para detectar barcos. Funcionaba en el margen de longitudes de onda de los 50 cm., podía detectar barcos hasta a 10 km. de distancia y su filosofía era similar a la del primitivo sistema de Huelsmeyer. En el verano de 1935 desarrolló un radar de impulsos con el que se podía localizar un barco a 8 kilómetros, con un error de 50 metros, que era suficiente para apuntar un cañón. El mismo sistema podía detectar un avión a 500 m. de altura a una distancia de 28 kilómetros. Pronto se realizaron versiones militares para tierra y mar con las denominaciones de “Freya” y “Seetakt”.

También en 1935, Hollmann publicó el primer libro en el que se explicaban las microondas, titulado “Física y técnica de las ondas ultra cortas”, que se estudió en la mayor parte de los países del mundo y que fue la base para el desarrollo del RADAR en los principales países. Hollman inventó un gran número de los primeros magnetrones y sus ideas fueron utilizadas en la mayoría de los equipos de RADAR que se construyeron en el mundo, durante los años treinta y los primeros cuarenta del siglo XX. Después de la II Guerra Mundial, Hollman se trasladó con su familia a los Estados Unidos dentro de la operación “paper clip”.

El invento del RADAR moderno se atribuye generalmente a Sir Robert Watson-Wat, que en 1935 trabajaba, como meteorólogo en la Royal Aircraft Factory en Ditton Park. Allí empezó a experimentar sobre la confección de mapas de tormentas, utilizando las ondas electromagnéticas generadas por los rayos. Para determinar la dirección de esas ondas recurrió a antenas direccionales rotatorias y en 1923 utilizó osciloscopios para representar los mapas en dos dimensiones.

En 1934 Watson-Wat, era conocido en los ámbitos de radio y H. E. Wimperis, del ministerio del Aire le consultó sobre la posibilidad de usar la radio para desarrollar un “rayo de la muerte”. Cuando llegó a la conclusión de que esto era imposible comentó “Sin embargo la atención ha cambiado al también difícil; pero menos imprevisible, problema de la detección por radio y los estudios teóricos necesarios para un método de detección por las ondas reflejadas puede ser abordado cuando se quiera”. En febrero de 1935, Watson-Wat y su ayudante Arnonld Wikins publicaron un informe sobre esta cuestión titulado “Detección de Aviones por Métodos de Radio”.

A partir de 1935 Gran Bretaña y Alemania comienzan a trabajar en competencia y como ambas están interesadas en conocer los desarrollos de los otros, en este campo, tiene lugar una intensa campaña de espionaje y de falsas noticias sobre sus respectivos equipos, pero sólo fue en Gran Bretaña donde no hubo dudas en cuanto a su aplicación en gran escala. Aunque técnicamente era superior el sistema alemán, que utilizaba frecuencias más elevadas, Gran Bretaña abordó la instalación masiva de radares y de sistemas de control para enlazarlos.

Poco antes del inicio de la II Guerra Mundial se construyeron un gran número de estaciones de radar, conocidas como “Chain Home” (CH) en el sur de Inglaterra. A pesar de la magnitud del despliegue, el sistema que se utilizaba en la CH era muy simple. El elemento transmisor constaba de dos mástiles de acero, de 90 metros de altura, sostenidos con riostras, que soportaban una cortina de dipolos a los que se aplicaba la salida de un transmisor con una potencia de 200 Kw. (800 Kw. en los modelos posteriores) a una frecuencia de 25 MHz. y con impulsos de 50 ciclos por segundo. En el puesto de recepción situado a varios cientos de yardas del transmisor, se utilizaba una torre auto soportada, con celosía de madera, de 73 metros de altura, con antenas verticales con plano de tierra, situadas a diferentes alturas en cada una de las caras de la torre.

En el radar de la CH se utilizaba un osciloscopio en cuya pantalla se veía cómo el impulso que se emitía por las torres emisoras, se desplazaba horizontalmente. El impulso reflejado recibido se aplicaba a las placas verticales del osciloscopio, con lo que se producía una elevación del trazo. La medida de la longitud de este, desde el origen hasta el punto en que se elevaba, indicaba la distancia a que se encontraban los aviones y el tamaño del desplazamiento vertical indicaba la cantidad de aviones. Para determinar la dirección el operador seleccionaba la antena de la cara de la torre que recibía mejor señal, e igualmente para determinar la altura de los aviones seleccionaba las antenas situadas a diferentes alturas en la torre.

El CH demostró su eficacia durante la “Batalla de Inglaterra” y dio confianza a la RAF para enfrentarse a los efectivos más numerosos de la Luftwaffe. Pronto la Luftwaffe inició ataques a las instalaciones de radar de la CH, que solían volver a operar, en poco tiempo. Mientras éstas estaban fuera de servicio los ingleses emitían señales iguales a las del radar desde emisoras de otros servicios como comunicaciones o radiodifusión, para hacer creer a los alemanes que funcionaban los radares; alguna de esas instalaciones llegó a ser bombardeada. Por su parte la Luftwaffe adoptó otras tácticas, como la de aproximarse a Inglaterra a baja altura, por debajo de la línea de visión de las antenas del radar. Pronto reaccionaron los ingleses, instalando estaciones de corto alcance a lo largo de la costa, conocidas como “Chain Home Low” (CHL). Este radar había sido concebido para ser utilizado por las baterías de costa y se le denominó Coastal Defense (CD), pero se tenía el inconveniente de que al ser muy rasante al terreno, era afectado por la reflexión de las ondas de la tierra o en el mar. Al contrario que el CH el CHL tenía el transmisor y el receptor en el mismo emplazamiento y en un principio fue alimentado por generadores de pedales, accionados por las Womens Auxiliary Air Force, hasta que en 1941 se instalaron grupos electrógenos.

Los ingleses construyeron la cadena CH, para proteger sus costas cuando sólo tenían disponible tecnología con una longitud de onda de 12 metros, que desde la perspectiva actual parece imposible que se consiguiera algo. También desarrollaron dispositivos de ASV (Air to Surface Vessel) para reconocimiento en el mar que tuvieron una eficacia del 50 por ciento. Por el contrario los alemanes retrasaron el desarrollo de un radar para volar de noche, del que tenían necesidad imperiosa, porque el ministro de la Fuerza Aérea, quería instalar las antenas en el interior de los aviones, cosa que se reveló imposible.

En el aspecto del secreto, los militares y científicos ingleses trabajaban en la seguridad de que sus desarrollos no serían conocidos por los alemanes, como ocurrió con la “Chain Home”; aunque sí que entregaron sus avances técnicos a los americanos. Por el contrario los desarrollos alemanes estaban en poder de los Estados Unidos, por ejemplo, Telefunken tenía allí registradas todas las patentes de radar, que fueron aplicadas y mejoradas por los Estados Unidos, durante la guerra. Como consecuencia los militares alemanes decidieron que las personas que trabajaban en desarrollos tecnológicos, solo conocieran la parte en que estaban involucrados.

A pesar de la gran diferencia en tecnología, al principio de la guerra, a favor de Alemania, los ingleses y los americanos llegaron a igualarse con los alemanes en 1942, a costa de dedicar grandes cantidades de dinero, el MIT Radiation Laboratory dispuso de 2 billones de dólares, sólo superados por el desarrollo de la bomba atómica.

El sistema era posible, pero surgió un gran inconveniente, ya que, para que la precisión en la posición y tamaño del objeto sea razonablemente segura, el haz con el que se explora de ser suficientemente estrecho. Ahora bien, el ángulo de apertura del haz producido por un reflector es directamente proporcional a la longitud de onda de la señal e inversamente proporcional al tamaño del reflector; por tanto, para conseguir el ángulo adecuado con los órdenes de frecuencias que, hasta entonces se conocían, era necesario grandes dimensiones, como se han visto en el CH, que utilizaba una longitud de onda de 12 metros equivalente a 25 MHz.; es decir onda corta y necesitaba reflectores de 90 metros de altura.

Por tanto, para hacer operativo el RADAR, especialmente a bordo de vehículos o camuflado adecuadamente, era necesario reducir el tamaño, lo que suponía disminuir el valor de la longitud de onda, o lo que es lo mismo, aumentar el valor de la frecuencia y así, con esta finalidad se desarrollaron las llamadas microondas, haciendo uso de las teorías de Hollmann, en su libro titulado “Física y técnica de las ondas ultra cortas”. De manera que, en 1944, aún antes de terminar la guerra, existían en ambos bandos equipos que trabajan con longitudes de onda de 3 cm, equivalentes a 10 GHz., como el americano, “Meddo”, el inglés “Róterdam” y el alemán “Naxburg”.

En el museo de la Escuela se expone un equipo de RADAR, donado por la Jefatura del Apoyo Logístico de la Armada. Se trata del modelo RM1070, fabricado por el grupo británico RACCAL-DECCA, con un diseño de principios de la década de los ochenta. Estos equipos fueron adquiridos por la armada para ser instalados en los buques patrulleros del tipo TORALLA. Concretamente el que se encuentra en el museo fue instalado en 1987 en el patrullero y estuvo en servicio hasta su sustitución en el año 2003.

El transmisor receptor está situado en el pedestal de la antena, con lo que se reducen las pérdidas en la guía de conexión. Como innovación para la época, dispone de un modulador de estado sólido (Fig. 84)

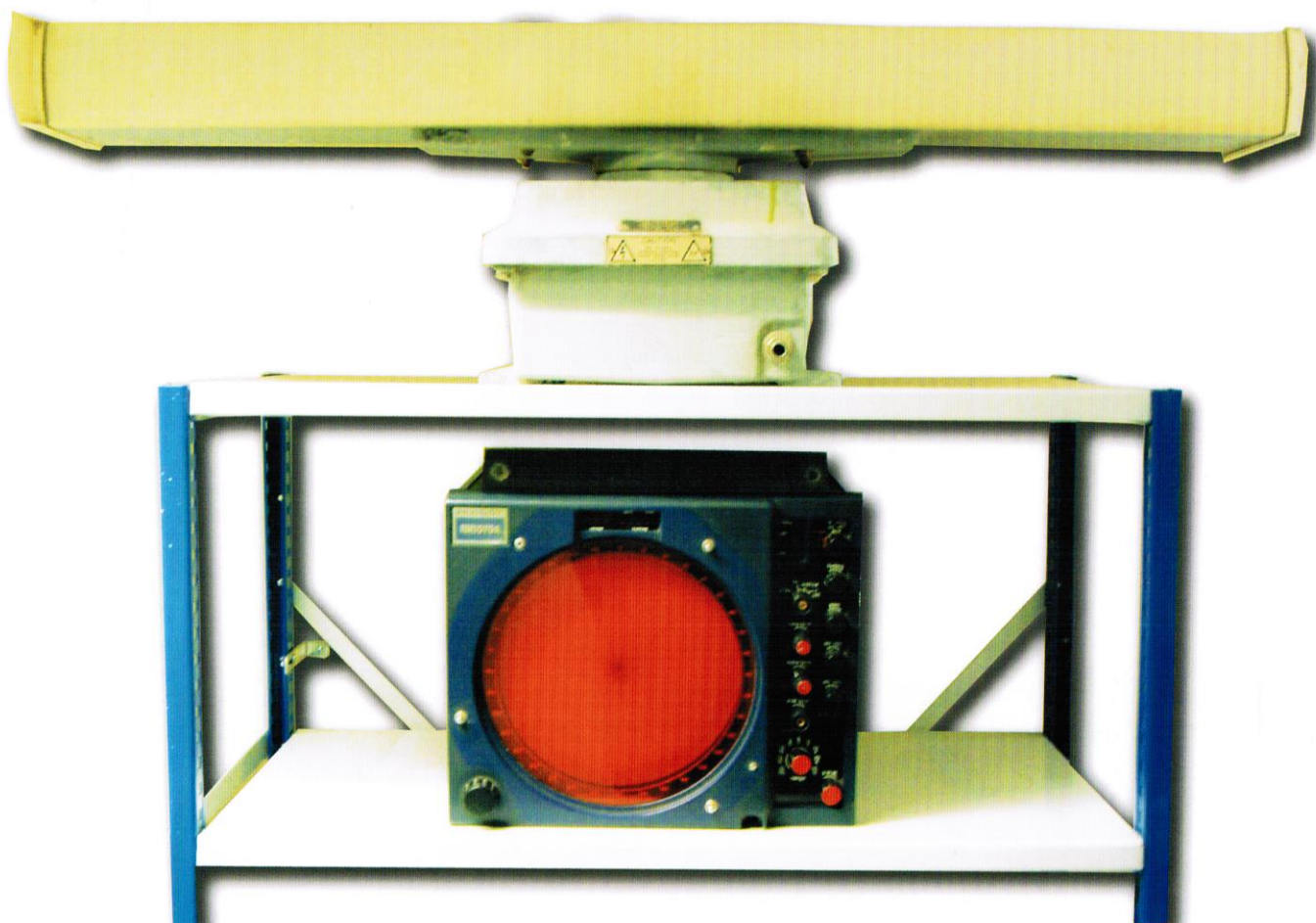


Fig. 84



## LA RADIOTELEGRAFÍA INTERNACIONAL UN RETO PARA LAS ONDAS CORTAS

**D**urante la II Guerra Mundial para hacer operativo el RADAR, se desarrollaron la llamadas Microondas. Con ellas pueden lograrse mayores anchuras de banda en la modulación y, por tanto, transmitir mayor cantidad de información; pero por el contrario la propagación de las ondas de esas frecuencias no se ve afectada por la ionosfera y atraviesa ésta, dando lugar a la llamada onda de espacio.

Por tanto hasta que se dispuso de otros medios, que resolvían el problema de la propagación de las microondas, como los cables coaxiales y los satélites, fue necesario aguzar el ingenio de satisfacer mediante las Ondas Cortas las crecientes exigencias de la gran demanda de comunicaciones intercontinentales (Fig. 85). Se recurrió a optimizar el espectro con la técnica de Bandas Laterales Independientes, por las que se transmitían varios canales telegráficos, que permitían el uso de teletipos para cursar el tráfico. En esas condiciones se inició el Telex Internacional, que requirió el desarrollo de equipos de corrección de errores mediante detección, petición y envío automáticos de los signos erróneos, con objeto de evitar que el usuario del Telex tuviera que pedir y recibir la repetición manualmente como hacían los operadores; pero en este caso a su costa ya que se computaba el tiempo de conversación.

Fig. 85  
Puesto de operación en  
Radiotelegrafía en Onda  
Corta.

A la derecha se ve, el puesto de recepción “a oído”, con un receptor Hammarlund con sus cascos de escucha, también hay una máquina de escribir para copiar texto el telegrama y un manipulador para comunicar observaciones con el corresponsal.

A la izquierda tenemos una “perforadora” con la que se efectuaban perforaciones, correspondientes a los caracteres de código Morse, en una cinta de papel apergaminado. Esa cinta se pasaba a continuación por un transmisor automático que la convertía en señales eléctricas.



El comienzo de la actividad profesional del autor de este texto tuvo lugar en esa época y precisamente trabajando en esa especialidad de la Radio que era la radiotelegrafía Internacional en Ondas Cortas, por ello espero que se comprenda que algunos de los párrafos siguientes estén descritos en primera persona. Mis comienzos en estas tecnologías se iniciaron con una interesante colaboración con el especialista de antenas de ITT que me instruyó en el cálculo de antenas rómbicas, muy simples de construcción, aunque de grandes dimensiones y con una gran ganancia directiva.

También pasé unos meses en Londres en la fábrica de Radio de Standard Telephone and Cables, precisamente en el laboratorio de transmisores y receptores de Banda Lateral Independiente. Con esa preparación participé en un importante proyecto de comunicación de las Bases Norteamericanas en España con los Estados Unidos, que lográbamos mantener sin interrupción. A través de él se transmitían once canales telegráficos de teletipo, entre ellos los de Telex y un canal de telefoto.

Para el seguimiento del Proyecto Mercury de la NASA, primera experiencia occidental para poner en órbita a dos astronautas, se establecieron una serie de estaciones terrenas, dos de las cuales se encontraban en un barco en el centro del Océano Atlántico y en Maspalomas en la isla de Gran Canaria. En esta isla en Las Palmas dirigí la instalación de las estaciones receptoras y transmisoras que enlazaban las estaciones terrenas del barco y de Maspalomas con Londres, desde donde las señales seguían al Centro de Control de la NASA en los Estados Unidos a través del primer cable submarino coaxial de 32 canales. En esa instalación se empleaba técnica de Banda Lateral Independiente y por limitaciones de espacio en vez de antenas rómbicas se utilizaron las primeras antenas logarítmico periódicas.

Es decir en 1960 hubo dos astronautas en órbita alrededor de la Tierra, dependiendo de una red de estaciones de Onda Corta, con sus problemas de propagación, que de hecho se produjeron unos días antes de iniciarse el “paseo” espacial, como consecuencia de la mayor tormenta de manchas solares conocida que anuló totalmente la propagación durante unas horas. Puede ser curioso considerar ahora como esos problemas de propagación a ciertas horas de la madrugada, no habían tenido importancia hasta entonces, ya que esas horas coincidían con la noche en los dos continentes y no se transmitían telegramas. La necesidad de mantener la comunicación permanentemente obligó a un mejor estudio de la propagación ionosférica y de las técnicas de predicción para calcular la Máxima Frecuencia Utilizable (MUF) y la Frecuencia Óptima de Trabajo (FOT). Las comunicaciones en Onda Corta continuaron de alguna manera hasta 1970.

Para esas comunicaciones se utilizaban teletipos como los que hemos visto que existen en el Museo de la Escuela y aparatos receptores de los que se dispone también de una buena representación en el Museo.

Entre estos equipos se dispone de una serie de Receptores Hallicrafter, que comienza con Echophone, que fue el primero diseñado y que fue antecesor de un modelo muy famoso el S – 38, al que siguió el modelo SX – 42, que fue muy utilizado por los Radioaficionados.

En cuanto a los receptores específicos para tráfico radiotelegráfico, se inicia con un modelo AD 8882 B, (Fig.86) seguido de un Receptor Tipo CR 300/1 fabricado por Marconi’s Wíreles Telegraph Co., y de un Hammarlund Modelo SP-600, fabricado por Northent Radio Company. (Fig.87) que normalmente se utilizaba formando parte de un “rack” o armario con dos o tres equipos, para trabajar en las modalidades denominadas “diversity”, o diversidad doble o triple. Esta modalidad consistía en la utilización de dos o tres antenas convenientemente separadas, con objeto de que no coincidieran en todas ellas los desvanecimientos de señal, consiguiéndose que cuando una recibía señal desvanecida la otra la recibiera con nivel normal, las salidas de los receptores y los controles de ganancia de estos estaban unidos entre si de forma que a la salida solo se obtenía la señal del que mejor nivel recibía su antena.



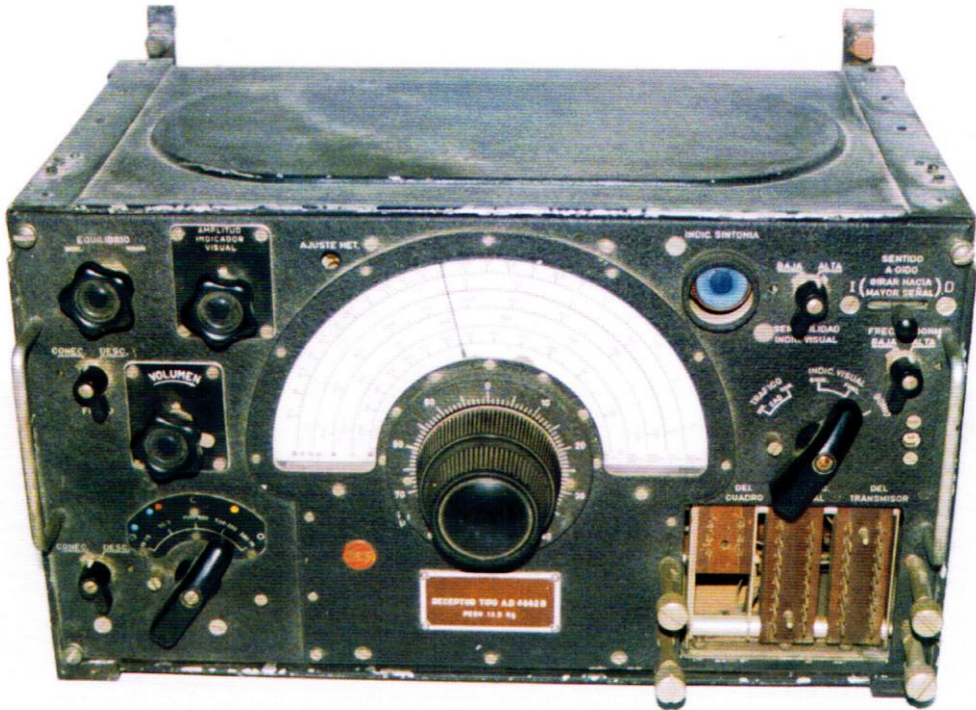


Fig. 86

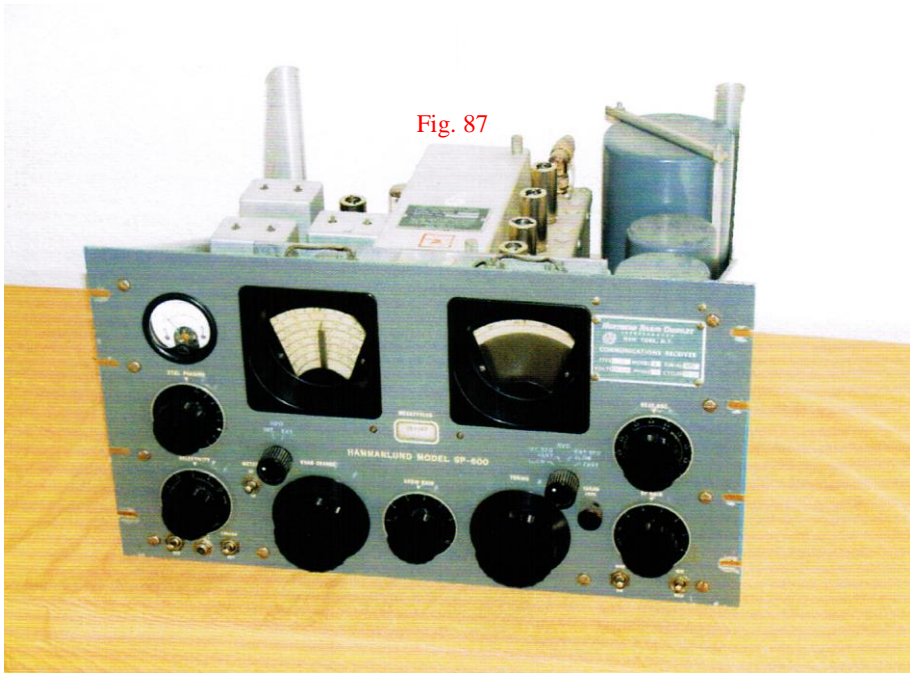


Fig. 87

Un equipo muy interesante es el Ricevitore Tipo 772 M, Gamma 15 – 4000 m., fabricado por la Soc. An. Fabbricazione Apparecchi Radiofonici (SAFAR), Milano Roma. Sus elementos más llamativos son el sistema mecánico para cambio de bandas y sintonía, que utiliza piñones con cadenas, como las de bicicletas y la carcasa de fundición con un cierre estanco, mediante juntas de goma. Parece ser que se utilizó durante la defensa italiana de Abisinia en la II Guerra Mundial.

Aunque ni las dimensiones de estos equipos, ni las condiciones de propagación de las ondas cortas los hacían muy aptos para su utilización en vehículos, no cabe duda de que eran los mas pequeños de que podía disponerse y por ello se utilizaban como equipos móviles en aplicaciones militares. Algunos ejemplares existen en el Museo, fabricado por Marconi Española y con carcasas adaptadas a las dimensiones de los vehículos en que iban a utilizarse, entre ellos un Transmisor Receptor Tipo B 47, alimentado a 12 voltios y con un consumo de 7 amperios.

No obstante en algunas aplicaciones como la marina y la aviación si era posible aprovechar las condiciones de propagación a distancia de las ondas cortas. En el Museo existen equipos procedentes de la Armada Española, entre ellos un Receptor AN/SRR 11, alimentado a 115 voltios, fabricado por RCA en Carden New Yersey. Como aplicación aeronáutica puede verse un Nav-Receiver Tipe MN-85 F, fabricado por Bendix Aviation Corporation en Baltimore Maryland USA.

Una de las aplicaciones civiles de estos equipos fue también la marina, en el caso de España existió fabricación nacional por Marconi Española, comercializados, instalados y mantenidos por Telecomunicaciones Marinas (TELMAR), de esta procedencia se cuenta en el museo con un Receptor A.D. 5872 A. También de fabricación Nacional de la empresa Hispano Radio Marítima es la estación Transmisor-Receptor CERES.

## LAS MICROONDAS

Con objeto de aprovechar las ventajas de anchura de banda de información que presentan las Microondas y ante la imposibilidad de propagación radioeléctrica entre continentes, se recurre a “guiar” esas ondas de frecuencias muy elevadas a través de cables coaxiales submarinos. De alguna manera se repite de nuevo el ciclo iniciado medio siglo antes. Pero el período de este ciclo va a ser mucho más corto, ya que los cables son de pequeña capacidad, del orden de 30 canales telefónicos y, además, sufren la agresión de las nuevas técnicas de pesca de arrastre por popa.

Esta inseguridad del cable, como único medio de enlace, y el avance de la investigación espacial que la NASA había ya comenzado, sin fines de comunicación, lleva a considerar la posibilidad de utilizar uno de estos elementos, los satélites, como emplazamiento o vehículo de un repetidor que, a suficiente altura, permita salvar la curvatura de la Tierra entre continentes. Se inicia así una nueva etapa de la Radio.

En la figura 88 se muestran:

- Magnetrón
- Una pieza de unión de Guía Ondas rectangular.
- Un conmutador de dirección también en Guía Ondas rectangular.



Fig. 88

## Los Cables Coaxiales

Para aplicar esas Microondas a las comunicaciones internacionales fue necesario recurrir a cables coaxiales submarinos que se tienden y se explotan ya no por compañías privadas; sino por grandes Consorcios formados por Operadores, PTTs e inversores independientes. A nivel nacional los Operadores nacionales y los PTTs aplican las microondas para aumentar las posibilidades de comunicaciones telefónicas y de televisión por medio de cables coaxiales terrestres y radioenlaces con repetidores.

Un cable coaxial está constituido por conductores cilíndricos con un eje común. Ambos conductores son de cobre; uno exterior en forma de cilindro hueco y dentro de él y con su mismo eje el otro conductor macizo, están soportados por discos de material aislante colocados a intervalos regulares, ya que realmente el aislamiento entre ellos lo constituye el aire. En otros casos el aislante es un material dieléctrico continuo, con lo que se consiguen diferentes parámetros de transmisión.

En los cables submarinos se precisa un solo tubo para transmisión y recepción, ya que las frecuencias utilizadas en cada sentido son diferentes.

El diámetro, la armadura y el revestimiento se diferencian notablemente del coaxial terrestre, puesto que deben soportar condiciones adversas bajo el agua tales como la salinidad, corrosión, animales marinos, corrientes de agua, humedad,... Hay instalados cables de distintos diámetros, con el conductor interior macizo rodeado de polietileno rígido, con el núcleo de hilos de acero rodeado por una capa de cobre y con el conductor exterior de cobre o de aluminio. La armadura depende de la profundidad a la que vaya a situarse el cable, los más profundos precisan de una mayor protección por lo que se le añaden capas de hilos de acero, entre el armado de flejes de acero y las cubiertas de PVC que constituyen la capa externa del cable.

## Los Radioenlaces

También se aplican las microondas a las comunicaciones terrestres en las que ha aumentado el tráfico considerablemente, mediante radioenlaces con repetidores intermedios a altitudes convenientes, para sobrepasar la curvatura de la tierra.

Se pueden mencionar, a título histórico, algunos enlaces hertzianos múltiple en modulación de amplitud, aunque estos intentos no siguieron ya que, poco tiempo después, se impusieron definitivamente la modulación de impulsos y la modulación de frecuencia. Como los de 1937 entre Escocia e Irlanda con una longitud de onda de 4 m., en 1939 un enlace experimental en la región de Tokio de características análogas, en 1.941 los Laboratorios Bell instalaron un enlace entre Cap Charles y Norfolk con 12 vías telefónicas y una longitud de onda de 1,90 m.

En el caso de España se inicia la instalación de radioenlaces de microondas en 1956, por la Compañía Telefónica, con el radioenlace Madrid-Sevilla, que es seguido de una amplia red. Poco después, el radioenlace de Televisión Española, Madrid-Barcelona, hace uso de reflectores periscópicos en las torres de antenas. También en nuestro país se hace amplio uso de los repetidores pasivos, especialmente en una afortunada solución para la zona pirenaica y se inicia la instalación de sistemas digitales.

La difícil orografía peninsular constituyó un reto para la elección de los emplazamientos y la construcción de los repetidores. Se utilizaban las hojas del Mapa Topográfico 1:50.000 del entonces llamado Instituto Geográfico y Catastral y las atenuaciones se calculaban a partir de las fórmulas teóricas, como consecuencia durante algún tiempo fue necesario realizar pruebas de propagación antes de decidir la adquisición de los terrenos para los repetidores.



Se adoptaron sistemas capaces de transmitir hasta cinco radiocanales de banda ancha, con una antena común y, tanto para transmisión como para recepción. Las estaciones de radio o repetidores son de estructura más simple que las de las instalaciones precedentes. Esta simplificación se debe, en gran parte, al hecho de que la potencia de los equipos pudo ser disminuida, gracias a la adopción de antenas de una gran ganancia, en una banda de frecuencia muy ancha. Al disminuir las necesidades de operación y, sobre todo, el consumo de energía fue posible que las estaciones funcionaran sin personal. Las señales de vigilancia y telemando, así como los canales de servicio para el mantenimiento se transmitían sobre un radioenlace auxiliar, sobre la misma infraestructura que el enlace principal pero utilizando frecuencias del orden de los 400 MHz.



A partir de la década de los años setenta, y como consecuencia especialmente de la introducción de los sistemas de conmutación digital, fue adquiriendo importancia la llamada radio digital. Los primeros equipos digitales de microondas empleaban Manipulación por Desviación de Fase Cuaternaria (QPSK), con la que se conseguía una eficacia de espectro de menos de 2 bit/seg/Hz. A diferencia de su predecesora analógica, la radio digital es muy sensible a ciertas anomalías en la propagación, como el fading dispersivo, debido al fenómeno de caminos múltiples, así como a las imperfecciones de los equipos.

Para poder desarrollar sistemas de gran capacidad que cumplan los niveles de calidad exigidos, fue necesario superar tales problemas gracias, en gran medida, a los Organismos de normalización, tales como el CCIR, EL CCITT y la FCC, que aprobaron una serie de recomendaciones e informes para asegurar que se adoptan criterios uniformes sobre una base mundial. Los tres aspectos principales que se tratan en tales documentos son: la tasa de errores, la canalización de frecuencias o planes de frecuencias y las emisiones fuera de banda o interferencias.

En el Museo de la escuela se muestran dos bastidores de equipos de radioenlace transistorizados en estructura denominada técnica vertical, de la marca Telettra fabricados en España. La razón de esta técnica fue que al reducirse el tamaño de los componentes gracias a los elementos de estado sólido, se reducía también el volumen de los equipos; como era necesario instalarlo en las salas de transmisión de las centrales con alturas de bastidores normalizadas, la reducción se hizo a costa de la sección horizontal. (Figs. 89 y 90)

Fig. 89

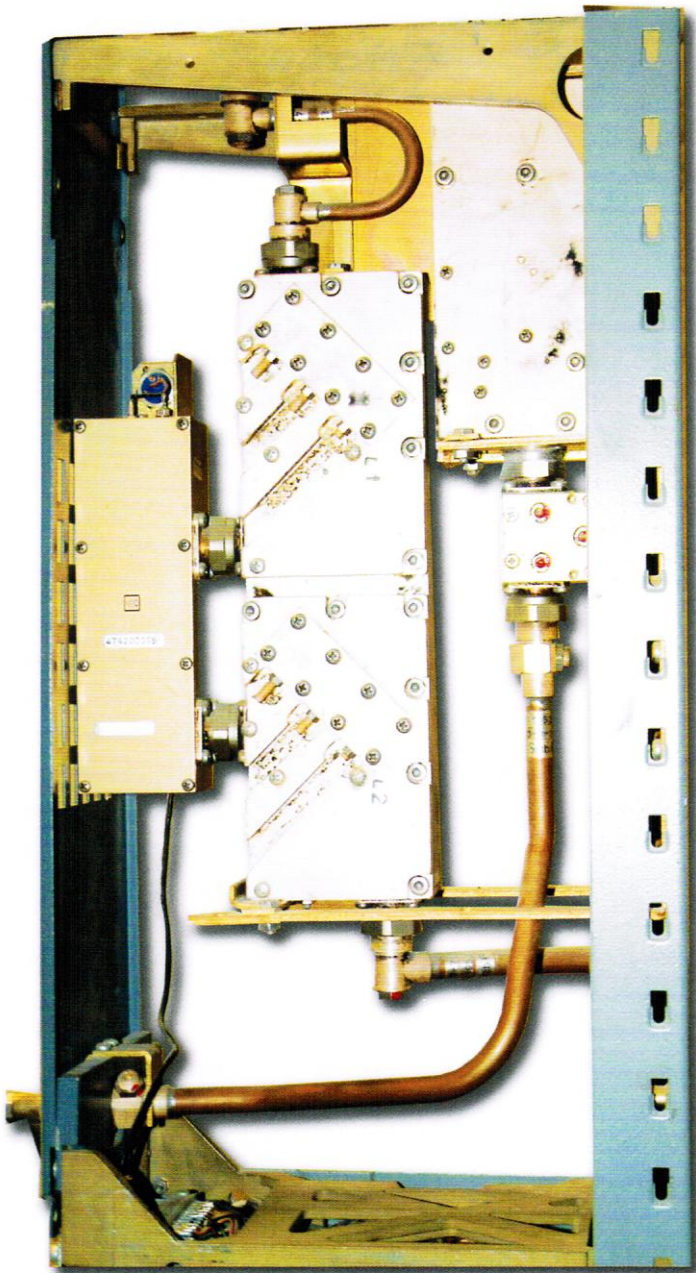


Fig. 90

## SATÉLITES DE COMUNICACIONES

Un artículo publicado, en 1945, por A.C. Clarke, en *Wireless World*, sobre la posibilidad de tres satélites en órbita geoestacionaria que proporcionaran cobertura global, para comunicaciones punto a punto y radiodifusión, a pesar de haber sido ignorado durante mucho tiempo, marcó el inicio de las llamadas comunicaciones espaciales o por satélites. Sin embargo, los lanzamientos con éxito, en 1957, por la unión Soviética del primer satélite artificial de la Tierra, el Sputnik 1 y, en 1960, por la NASA, de un globo de 33 metros de diámetro, el Echo 1, que incluso, se podía ver por las noches, demostraron que era posible el enlace a gran distancia de canales telefónicos, por la reflexión pasiva de las ondas.

Pero los cohetes lanzadores disponibles en 1960 no tenían potencia suficiente y no estaba tampoco resuelto como situar, con seguridad, un satélite en órbita síncrona a 36.000 Km. de la Tierra. Por otra parte, se desconocía el efecto que podía causar en una conversación el retardo de 0,5 seg. que esta distancia provoca y, como consecuencia, los primeros satélites de comunicaciones se situaron en órbitas relativamente bajas, de entre 800 y 5.000 Km. de altura. En diciembre de 1958 los Estados Unidos lanzaron el primer satélite de comunicaciones, con un peso de 70 Kg., denominado Score, que retransmitía continuamente, un mensaje de Navidad, grabado, por el Presidente Eisenhower.

En 1960 se creó un consorcio entre la NASA, ATT, el British Post Office, el PTT francés y el BP alemán para experimentar las comunicaciones por satélite a través del Atlántico Norte. Se construyen las estaciones terrenas de Andover y Pleumeur Bodoy, ambas con antenas tipo “horn”, un gran cuerno en posición horizontal, cubierto con una gran radoma protectora y la estación terrena de Goonhilly, con un reflector parabólico de 27 m. de diámetro y se dispuso el lanzamiento del Telstar, el 10 de julio de 1962. Las pruebas posteriores, incluyendo la primera transmisión de televisión en color a través del Atlántico, comunicaciones telefónicas y transmisión de datos a alta velocidad, en tiempo real, demostraron no sólo que había empezado la era de las comunicaciones de alcance mundial, sino que también, eran posibles las antenas con reflector parabólico, más sencillas y sin necesidad de ser protegidas por radomas. No obstante, al ser elíptica su órbita, el satélite sólo era visible simultáneamente, desde dos puntos determinados durante períodos de unos veinte minutos.

Pronto lograron vencerse las dificultades para colocar un satélite en órbita geoestacionaria, es decir, moviéndose a la misma velocidad angular que la Tierra y, por tanto, aparentemente quieto sobre ella, pudiendo cubrir desde una altura de 36.000 Km. la tercera parte de la superficie terrestre, como había expuesto Clarke en 1945. De este tipo era el Syncom 3 que, en agosto de 1964, permitió la retransmisión por televisión de los Juegos Olímpicos de Tokio. En Junio de 1965, se puso en órbita geoestacionaria el primer satélite para comunicaciones comerciales por la organización Intelsat, consorcio mundial que en 1990 operaba 17 satélites y que tenía como socios a 110 países.