

Radiofaros de onda ultracorta para facilitar el aterrizaje con malas condiciones de visibilidad

HANS JACOBSHAGEN y ERNST KRAMAR

(De Z. F. M.)

PARA la realización de un tráfico regular, y por lo tanto rentable, es necesario que los servicios no solamente puedan ser realizados sin interrupción, sino también independientemente del estado meteorológico. Para este objeto son necesarios medios auxiliares que permitan al piloto la navegación sin visibilidad de tierra cuando el suelo queda oculto por una capa de nubes bajas o por una densa niebla. Para el vuelo sin visibilidad ya se han inventado toda una serie de instrumentos y artificios que han resuelto prácticamente el problema con toda perfección. Para el aterrizaje sin visibilidad, si bien es cierto que se han inventado toda una serie de procedimientos objetivos (1), sin embargo, hasta ahora, ninguno ha entrado en la práctica cotidiana. La causa de esto radica en la dificultad del aterrizaje considerado en sí mismo, pues aun con magníficas condiciones meteorológicas el aterrizaje es mucho más difícil que el vuelo. Claro es, que ya se ha utilizado con buen resultado un procedimiento subjetivo (denominado procedimiento ZZ), para aterrizar con mala visibilidad. Este procedimiento presupone un difícil aprendizaje y una estrecha colaboración entre tierra, el radio de a bordo y el piloto.

El radiofaro de onda ultracorta como procedimiento sencillo y objetivo viene a sustituir al procedimiento subjetivo antes citado. Se trata, por lo tanto, no de un procedimiento de aterrizaje completamente a ciegas, sino que presupone que el piloto a partir de una determinada altura tiene que divisar el suelo, y entonces, realizar el aterrizaje visualmente y no por instrumentos. Tales condiciones meteorológicas, que se caracterizan por una visibilidad de 400 a 500 metros y capas de nubes que no descienden a menos de 50 metros, son muy frecuentes en nuestras latitudes, comparándolas con los días de niebla cerrada, que son una excepción, de modo que dominando el aterrizaje en estas condiciones, ya está conseguido un elevado porcentaje de regularidad. La dificultad está, por lo tanto, en conseguir la orientación antes de atravesar la capa de nubes. Como en la mayoría de los casos los aeropuertos se encuentran en terreno urbanizado, el piloto tan sólo puede atreverse a traspasar la capa de nubes bajas cuando esté completamente seguro de que se encuentra sobre el campo de aterrizaje o sobre el sector libre de obstáculos que a él aboca.

El nuevo radiofaro señala, en consecuencia, la línea de entrada al aeropuerto por medio de un *rayo-guia* (trayectoria radioeléctrica), y da una determinada señal en el momento de entrar en vuelo sobre el límite del campo de aterrizaje. Si en este momento el piloto se dispone a aterrizar, y comienza el vuelo planeado, entonces aterrizará sin duda en el campo en el caso de que no se encuentre a mayor altura que una máxima determinada por la extensión del mismo. Durante el vuelo planeado el faro indica al piloto por medio del *rayo-guia*, como antes, la dirección hasta que el aparato atraviesa las nubes bajas y

entonces se efectúa el aterrizaje normalmente. El alcance del faro es de unos 20 a 30 kilómetros. La orientación del avión hasta llegar a esta distancia se realiza del modo usual.

El principio del radiofaro para la producción de una radiotrayectoria por el método denominado *a-n*, ya fué propuesto y patentado por O. Sheller hace veinticinco años. En tiempos recientes (en Alemania por la Casa C. Lorenz, A. G.) ha sido notablemente perfeccionado y utilizado en gran escala por los norteamericanos para balizar sus principales líneas aéreas. Unos 58 radiofaros de dirección con un alcance medio de 250 a 300 kilómetros señalan el camino a los pilotos, además de numerosas radiobalizas con mucho menor alcance. Todos estos radiofaros trabajan en ondas largas alrededor de los 1.000 metros.

El radiofaro de onda ultracorta, también perfeccionado por C. Lorenz. A. G., que tiene la ventaja de que, por utilizar ondas de unos ocho metros de longitud, necesita antenas de dimensiones mucho más pequeñas, es más sencillo que los radiofaros de onda larga y muy apropiado para su empleo en el aterrizaje sin visibilidad. Su funcionamiento en detalle es el siguiente:

Una emisora (longitud de onda ocho metros) modulada con una frecuencia de 1.000 Herz alimenta, a través de un corto cable de alta frecuencia, un conductor mantenido verticalmente (dipolo), cuya longitud es aproximadamente la mitad de la longitud de onda, es decir, cuatro metros. Un tal dipolo radia hacia todas las direcciones con la misma intensidad dentro de un determinado plano horizontal. Su característica horizontal es por lo tanto circular (fig. 2). Si al lado de este dipolo y a una distancia apropiada se coloca otro que posea aproximadamente la misma longitud, entonces este último actúa como reflector y la radiación se propaga con preferencia en un determinado sentido, obteniéndose una característica de propagación como la de la figura 3.^b Del mismo modo se obtienen curvas simétricas

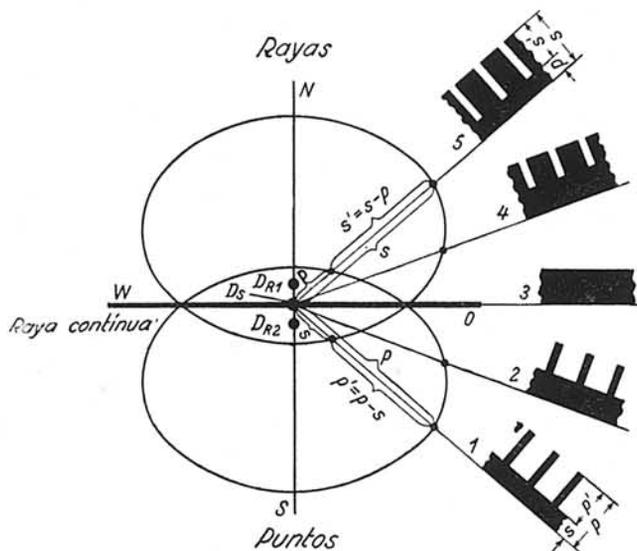


Fig. 1.—Mecanismo de la obtención del *rayo-guia*. El reflector D_{R1} es manipulado con puntos, el reflector D_{R2} con rayas recíprocas. En las direcciones 0° y 180° los puntos y las rayas se presentan con la misma intensidad y componen, por tanto, una *raya continua*. Los diagramas de la derecha muestran la imagen auditiva de la radiorecepción cuando el aparato se encuentra en las posiciones 1, 2, 3, 4 y 5.

(1) Véase REVISTA DE AERONÁUTICA, pág. 196.

cuando el reflector es colocado al otro lado del dipolo emisor. Si se divide en su parte central el conductor que sirve de reflector ya no actúa prácticamente como tal y la característica de radiación vuelve a ser circular. De esta forma se puede conseguir que, por apertura y cierre de uno o varios reflectores dispuestos en la proximidad del dipolo emisor, con longitudes

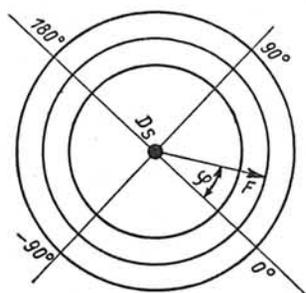


Fig. 2.—Característica horizontal de un dipolo vertical. Cada curva da la intensidad del campo F para una dirección dada φ presuponiendo una determinada altura y un determinado alejamiento de la emisora. Las curvas son círculos y en consecuencia la intensidad es la misma en cualquier dirección.

y distancias que pueden variar, varíe la forma de las curvas del campo electromagnético.

Esta propiedad se utiliza colocando a la derecha y a la izquierda del dipolo emisor y en un mismo plano dos reflectores D_{r1} y D_{r2} (figuras 4 y 1), que se abren y cierran de tal modo que D_{r1} se cierra, cuando D_{r2} está abierto y viceversa. Para abrir y cerrar los dipolos sirven unos relevadores situados en el centro de los reflectores, los cuales, por medio de un pequeño motor con polea de contacto a la conducción, son reglados tal como se indica en las figuras 4 y 5. Se origina entonces en el ritmo de puntos, una distribución de la intensidad del campo

proporcional a la curva inferior de la figura 5, y en el ritmo de rayas la superior. Un receptor sintonizado con la onda emisora que se encuentre en el sector correspondiente al reflector D_{r2} del radiofaro (por ejemplo, en la posición 1 en la figura 1), recibe, por lo tanto, con más intensidad los puntos correspondientes a la curva inferior, y con menos intensidad las rayas correspondientes a la curva superior.

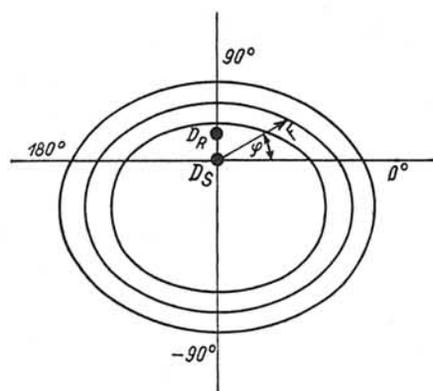


Fig. 3.—Característica horizontal de los dipolos situados a una distancia aproximada de $1/4$ de λ . Uno de los dipolos D_S , está directamente alimentado por la emisora y el otro, D_R , entra en oscilación simplemente por la radiación emitida por D_S . El dipolo D_R actúa aquí como reflector obteniéndose curvas de forma elipsoidal. La intensidad mínima corresponde a la dirección de 90° .

La imagen auditiva del sonido que se percibe con el receptor corresponde al diagrama inferior de la figura 1. Se oye un sonido continuado s y unos puntos p' , que se destacan claramente, que corresponden a la diferencia entre la intensidad de los puntos p y la de las rayas s . Si se aproxima el receptor a la dirección perpendicular al plano de los tres dipolos (dirección Este en la figura 1), entonces disminuye la intensidad del sonido de los puntos y aumenta la de las

rayas hasta que la diferencia p' se anula al llegar exactamente a la dirección Este. Aquí, en el punto de interferencia de la curva superior con la inferior, los puntos y las rayas se presentan con la misma intensidad de sonido, y componen, por lo tanto, un sonido prolongado sin interrupción alguna. Si nos desplazamos hacia el lado del reflector D_{r1} (hacia el Norte en la figura 1), entonces las rayas se destacan cada vez más claras del fondo del sonido continuo a medida que el aparato se aleja

de la dirección Este. Un avión que vuela siguiendo la línea Este-Oeste, es decir, siguiendo el llamado *rayo-guia* del radiofaro, recibe por lo tanto un sonido continuo en tanto que no se aparta de dicho *rayo-guia*. Si se desvía hacia el Norte, recibe sonidos prolongados y bruscamente interrumpidos (rayas), y si se desvía hacia el Sur, sonidos cortos muy destacados (puntos). Esto se verifica igualmente para las posiciones anteriores al faro como posteriores al mismo.

Naturalmente, las diferencias p' y s' deben sobrepasar un cierto valor liminar hasta que sean percibidas por el oído en forma de puntos o rayas. La región próxima a la dirección Este-Oeste en la cual no se pueden distinguir claramente ni puntos ni rayas, se denomina zona de dirección. Es expresada en grados cuando p' o s' representan un 5 por 100 de la intensidad del campo, es decir, un valor para el cual según la experiencia el oído puede diferenciar los diversos signos. La zona de dirección tiene actualmente $\pm 5^\circ$. Dando otras dimensiones a los dipolos reflectores se puede hacer esta zona mucho más ancha o más estrecha según las exigencias de la práctica. Según los resultados de la experiencia no debe ser muy estrecha, pues el avión que va siguiendo el *rayo-guia*, oscila a la derecha y a la izquierda de la trayectoria y a causa de la velocidad del vuelo y la estrechez de la zona habría que realizar con tal frecuencia los zigzags que no se podría sostener con seguridad la ruta.

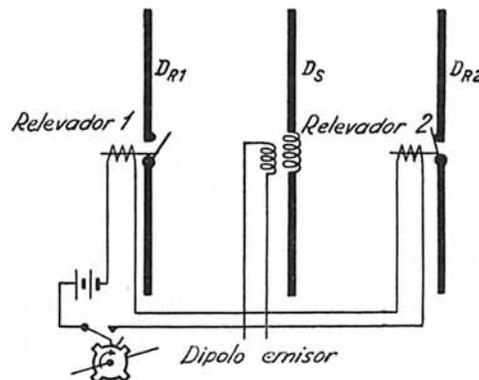


Fig. 4.—Esquema de las antenas del radiofaro. En el centro se encuentra el dipolo emisor D_S a cuyos lados se encuentran los reflectores D_{R1} y D_{R2} los cuales por medio del relevador situado en su parte central se abren y cierran alternativamente siguiendo el ritmo del manipulador.

En vez de los puntos y rayas se pueden emplear otras señales para el ritmo de emisión de los reflectores. Hay que elegirlos de modo que en la zona de dirección puedan completar una raya continua (por ejemplo, los signos morse a y n , d y u , etcétera). De aquí procede la denominación de método $a-n$. Por la asignación de distintos signos a los diversos radiofaros podrían diferenciarse fácilmente los diversos aeropuertos.

La señal para apercibirse que se sobrevuela el radiofaro está dada por la característica de propagación vertical de los dipolos que se emplean (véase la fig. 6). Se observa que la intensidad crece más y más a medida que el aparato se va acercando al radiofaro, pero al aproximarse más vuelve a decrecer hasta anularse cuando está precisamente sobre el faro, repitiéndose a la inversa esta gradación cuando el avión vuelve a alejarse del radiofaro. Este proceso no puede ser confundido en modo al-

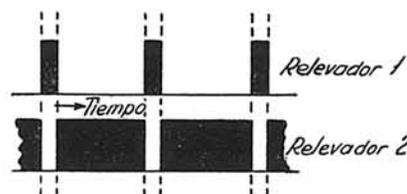


Fig. 5.—Esquema del funcionamiento de los relevadores situados en el centro de los dipolos reflectores. El relevador 1.º es manipulado con puntos y el 2.º con rayas que corresponden a los espacios entre los puntos de modo que por la acción combinada de ambos se puede obtener un sonido continuo.

gundo con una interrupción accidental en el receptor, pues la curva de su marcha, como puede apreciarse por la figura 6, es muy característica.

Además, da lo mismo que el avión en vez de sobrevolar el radiofaro llegando de una dirección completamente normal lo sobrevuele con una ligera desviación lateral, pues la característica del diagrama vertical (relativa a que en la situación ver-

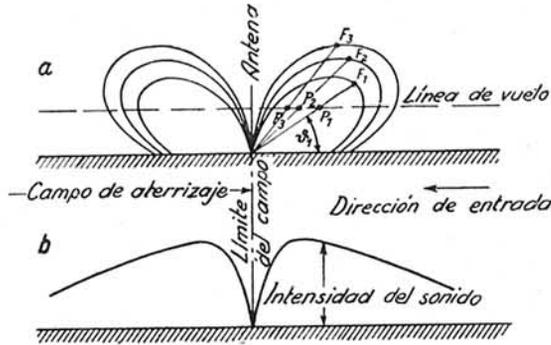


Fig. 6.—a) Característica vertical de un dipolo perpendicular al suelo. Cada curva da la intensidad F para cada ángulo θ para una determinada distancia a la emisora. Con la combinación de antenas del radiofaro, el diagrama tan sólo es válido para una dirección determinada, es decir, para la del *rayo-guia*. Un avión que se aproxima al faro recibe en P_1 , P_2 y P_3 , las intensidades correspondientes F_1 , F_2 y F_3 .
b) Curso de la intensidad auditiva deducida aproximativamente de la característica vertical.

tical sobre la antena la intensidad se anula) es la misma para cualquier dirección aunque naturalmente la forma de la curva varía. La región cero tiene por lo tanto la forma de un cono vertical abierto hacia arriba y cuyo vértice es el centro de la antena. Por lo tanto, la desviación lateral puede ser tanto más grande cuanto mayor sea la altura a que vuela el avión. En condiciones normales, no obstante, no suele existir desviación alguna, pues el avión conducido por el *rayo-guia* llega directamente sobre el radiofaro.

Por lo dicho se puede juzgar que las instalaciones de tierra necesarias para la realización de este procedimiento no son muy voluminosas. Consisten en una emisora relativamente de pequeña potencia y una antena vertical cuya superficie es de 4×4 metros cuadrados y que sobresale unos cinco metros del

nivel del suelo. Por lo que respecta a la parte de instalación correspondiente al avión, las condiciones son mucho más ventajosas todavía, pues el aparato es pequeño, poco pesado y de fácil manejo, debido a que se trata de un receptor para una onda de ocho metros con una pequeña antena receptora. Como las ondas radiadas están verticalmente polarizadas a causa de la verticalidad del dipolo emisor, la recepción se efectúa con la máxima intensidad aun utilizando una antena vertical. En consecuencia, como antena sirve una varilla vertical que sólo necesita tener un metro de longitud y carenada en toda su longitud para evitar la resistencia parásita. El conmutador de encendido, el control de intensidad y el casco de auriculares se encuentran al lado del asiento del piloto, mientras que el aparato, cuya sintonía se ha fijado de antemano con toda exactitud, va instalado en otro lugar adecuado del avión.

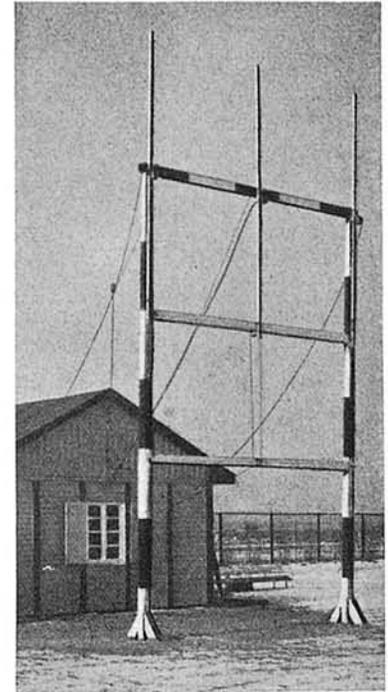


Fig. 7.—La antena del radiofaro experimental de onda ultracorta instalado en otro lugar adecuado del avión.

No existe dificultad alguna en sustituir el casco de auriculares por un instrumento indicador de aguja, librando así el oído del piloto de la consiguiente molestia.

Desde el mes de noviembre de 1932 está instalado en el aeropuerto de Tempelhoff un radiofaro de onda ultracorta, basado en el procedimiento descrito para facilitar el aterrizaje con mala visibilidad y que hasta ahora viene funcionando con la completa satisfacción de los pilotos.

Nueva aplicación de las ondas ultracortas

CADA vez se va imponiendo más en la práctica de la telecomunicación la utilización de las ondas ultracortas por sus especiales propiedades, en particular por lo que se refiere a su capacidad direccional. Estas propiedades son en efecto utilizables con ventaja para la comunicación tanto telegráfica como telefónica entre aeropuertos, y entendiéndolo así, se ha inaugurado en Inglaterra el 26 de enero, bajo la presidencia de Sir Philip Sassoon, la primera comunicación de este tipo entre los aeropuertos de Lympne y Saint Inglevert, situados, respectivamente, en Inglaterra y Francia. Esta comunicación tiene por principal objeto la protección del vuelo en los servicios aéreos a través del Canal de la Mancha. La comunicación es doble, y las antenas están constituidas por reflectores con espejo parabólico en los cuales la antena propiamente dicha no pasa de una pulgada de longitud. Los reflectores tienen que estar ópticamente orientados hacia la estación receptora. La longitud de onda utilizada es de 17 y $17 \frac{1}{2}$ centímetros respectivamente, siendo la más pequeña empleada en la práctica hasta la fecha.



Vista mostrando las torres de los reflectores de onda ultracorta (*micro-ray*) instalados en el aeropuerto de Lympne.