

Aterrizaje a ciegas

Por F. CASADO, Ingeniero de Telecomunicación.

Si grande ha sido el desarrollo alcanzado por la técnica aeronáutica, máxime hoy en que ha adquirido con la guerra velocidad de vértigo, lanzándose en plazo de meses solamente modelos cada vez más rápidos, seguros y completos, causándonos maravilla el grado de perfección conseguido en la corta existencia de esta nueva ciencia, no menos rápido ha sido el conseguido por la telecomunicación, nacida casi en la misma época.

Grandes han sido los problemas que la navegación aérea en su tremenda evolución ha presentado a la investigación radioeléctrica, como también se puede afirmar con Franck que "sin la eficaz ayuda de esta última, en especial en su rama de la radiotelegrafía, la aviación no hubiese podido alcanzar este grado de perfección".

De la multitud de problemas resueltos a la aviación por esta también nueva técnica, unos han sido de transmisión y otros relativos a la navegación. Todos ellos, por otra parte, se renuevan y al ritmo como lo hace el material volante, el que al conseguir nuevos modelos o mayores alcances y "performances" presenta nuevas cuestiones a resolver, que encuentran soluciones cada vez más perfectas al mejorarse también el material de radio o encontrando nuevas aplicaciones en sus nuevos adelantos.

Los problemas relativos a la comunicación, puede decirse que están hoy resueltos satisfactoriamente dada la perfección conseguida en el material, tanto de transmisión como de recepción, y hoy no se concibe un avión sin el correspondiente equipo radioeléctrico.

En cuanto a los nuevos adelantos para la navegación, son numerosísimos, pudiendo citarse los radiofaros, radioalineaciones, aterrizaje sin visibilidad, etcétera, etc., donde se han conseguido aparatos tan eficientes como la radioalineación de doce direcciones, fundada en la modulación múltiple, tan en boga ya en los grandes aeropuertos de los Estados Unidos.

En el presente artículo vamos a ocuparnos del aterrizaje, fase sin duda la más delicada de un vuelo, como acertadamente se afirma en el magnífico manual "El Piloto de Aviación", y nos permitimos agregar el calificativo de la "más peligrosa", teniendo en cuenta que tanto en una línea regular de tipo comercial como en la aeronáutica militar, se presenta frecuentemente el tener que tomar tierra sin visibilidad, a causa de la bruma o por razón de la hora, cual sucede tan a menudo en escuadrillas de cazas y bombarderos nocturnos.

Muy variadas han sido las soluciones presentadas para resolver este problema vital, y hoy todos los países que se precian de poseer una potente Armada

aérea han dotado a sus aerodromos de estos sistemas de seguridad.

No debemos olvidar que todos estos sistemas son de instalación delicada, y ésta debe ser muy juiciosa, ya que de su acertado estudio depende el éxito o el fracaso. Por ejemplo, obtendríamos un resultado muy precario pretendiendo instalar el "aterrizaje a ciegas" en aerodromos provisionales de un frente de guerra, ya que variando de unos a otros la constitución del suelo, variarían, por tanto, las constantes de éste, y las superficies de radiación de sus antenas adquirirán las formas más diversas. Como, por otra parte, la puesta a punto de un tal sistema exige medidas muy laboriosas de campo electromagnético, que en el caso citado faltará las más de las veces tiempo para realizarlas, este aparato de seguridad pudiera transformarse en un arma peligrosísima para el aviador, y quizá a esto sean achacables los presuntos fracasos que a veces se leen en revistas extranjeras.

Por todo esto resulta muy difícil pretender que un mismo material dé resultados apetecibles en toda clase de campo y tiempo, y no olvidemos la importancia que hoy tiene la unificación de material.

Como consecuencia deducimos que donde estos sistemas darán su máximo rendimiento será en campos estables, tales como los de líneas comerciales o aerodromos militares nacionales, y hasta sería conveniente dedicar cada instalación a utilizarla en un determinado tipo de avión, pues a nadie se escapa que de unos a otros varía enormemente la curva descrita durante el aterrizaje, bien por sus diferentes características aerodinámicas, o porque ellos posean dispositivos especiales de hipersustentación.

Hoy, a pesar de todo, podemos afirmar que los magníficos resultados conseguidos han superado las razones aducidas por sus detractores, y todos los aerodromos extranjeros de importancia se han decidido por su instalación.

Debiéndose exigir para más seguridad una minuciosa revisión periódica del buen estado del sistema, así como no escatimar las ya dichas medidas de campo, sobre todo hechas en diferentes épocas del año y con diferentes estados meteorológicos.

Hechas estas salvedades, pasemos a describir un sistema de los llamados de "aterrizaje a ciegas".

Los problemas a resolver por éste son los siguientes:

Navegación en sentido horizontal.

Navegación en sentido vertical.

Y localización exacta de la pista de aterrizaje.

Navegación en sentido horizontal.—Cuando un avión arriba al aeropuerto dirigido por una ruta balizada (claro está, siempre de tal forma que en sus evoluciones para localizar el campo no pase nunca sobre las pistas de despegue), debe su piloto conocer perfectamente los accesos al campo más convenientes, tanto por lo que se refiere a la determinación exacta de la pista, como a existencia de edificios de altura peligrosa, y a ser posible, orientado todo ello según la dirección más probable de los vientos, con objeto de que el aterrizaje pueda realizarse con viento de cara.

Para este objeto se utiliza lo que pudiéramos llamar radiogoniometría a corta distancia, en que por medio de transmisores llamados "radiofaros de entrada o de recalada", y con una potencia solamente del orden de los 200 vatios, nos proporcionan un alcance de unos 30 kilómetros, distancia que corresponde a unos ocho o diez minutos de vuelo, suficiente para dar tiempo al piloto a elegir el camino balizado.

Estos radiofaros se construyen fundados en multitud de sistemas, tales como por entrecruzamiento, modulación múltiple, haces interferentes, por cable, etc.

Sea cual fuere el artificio empleado, debemos adoptar en su instalación antenas verticales, para evitar el llamado "efecto nocturno", consistente en la desviación de los haces dirigidos, de efecto tan nocivo.

Desde luego, tendiendo siempre a la unificación de material, tanto del terrestre como del situado a bordo de las aeronaves, conviene la utilización de una sola longitud de onda en todos los aeropuertos.

Esto presentaría graves inconvenientes debido a las interferencias de los radiofaros de campos distintos, caso de usarse ondas que proporcionasen grandes alcances debido al rayo indirecto, ya que la propagación de superficie siempre será pequeña dado lo exiguo de la potencia empleada; felizmente las ondas ultracortas ($\lambda < 10$ metros) se propagan casi análogamente a como lo hace la luz, y rara vez lo hacen por la alta atmósfera, llevando anexas multitud de ventajas que las hacen especialmente aptas para este objeto, tales como el poder ser las antenas de muy pequeñas dimensiones, el estar inmunizadas contra los parásitos atmosféricos y quedar libre el aparato de onda media, que puede servir durante los momentos que preceden al aterrizaje para recibir señales y advertencias.

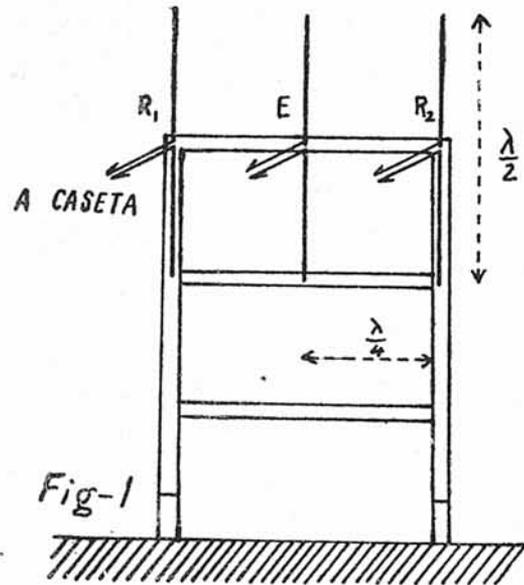
Por todas estas razones, los convenios internacionales europeos han adaptado la longitud de onda de nueve metros, que goza de una propagación aceptable en malas condiciones meteorológicas, aun faltando la visibilidad por efecto de lluvia, nieve o niebla, en las distancias para las que las vamos a utilizar, siempre muy reducidas.

Como el más usado en Europa, describiremos el sistema de la casa alemana Lorenz, que no es sino un método de radioalineación por entrecruzamiento.

La antena emisora consiste (fig. 1) en un dipolo emisor vertical, vibrando en $\frac{\lambda}{2}$, de longitud real cuatro metros (teniendo en cuenta que la propagación no es en el vacío y que está en presencia de otros dos di-

polos reflectores, uno a cada lado), constituyendo este dipolo emisor con cada uno de los reflectores (ER_1 y ER_2), los dos sistemas emisores que proporcionan el entrecruzamiento.

Estos tres dipolos van sujetos a un bastidor de madera, pintado de vivos colores para aumentar su visibilidad, que puede elevarse o descender por medio de unas poleas con objeto de regular, como veremos, la superficie de radiación, según el estado del suelo y al tipo de aviones a aplicar el sistema; en todo caso, los puntos más altos de los dipolos no suelen estar nunca a más de ocho metros de altura, para no constituir elevaciones peligrosas; los centros de los dipolos suelen montarse a $\frac{3\lambda}{4}$ sobre el suelo.



Para determinar la alineación conseguida estudiaremos la radiación de uno de los conjuntos emisores, ya que la del otro será la simétrica de ésta respecto al plano vertical que pasa por el dipolo emisor y perpendicular al plano de los dipolos; la intersección de ambas radiaciones será la radioalineación pedida.

Sabemos que un dipolo vertical posee una radiación horizontal omnidireccional, o sea sin ninguna dirección azimutal privilegiada.

En efecto: suponiendo al dipolo vibrando en $\frac{\lambda}{2}$, así como una distribución de corriente sinusoidal en igualdad de fase, y considerando la acción debida a su imagen; suponiendo también el suelo como perfectamente conductor, la función radiación correspondiente es:

$$F(\varphi, \Psi) = \frac{2 \cdot \cos(\alpha a \cdot \text{sen } \varphi) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \text{sen } \varphi\right)}{\cos \varphi}$$

Habiendo llamado:

φ al ángulo de elevación (complemento de la distancia cenital).

a distancia a tierra del punto medio del dipolo.

α constante de fase del conductor empleado.

Esta función vemos representa una superficie de revolución, y por tanto, sin dirección azimutal privilegiada.

Para darnos una idea más física de la forma que adquiere la superficie de radiación en el espacio, después de sencillas transformaciones algo laboriosas, que omito para no cansar a nuestros lectores, se llega a la fórmula aproximada:

$$F(\varphi \Psi) = 2 \cdot \cos \varphi \cdot \cos(\alpha \cdot a \cdot \sin \varphi),$$

donde apreciamos la carencia de haz sobre la vertical del dipolo, ya que para

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \quad \dots \quad F(\varphi \Psi) = 0.$$

También se observa la analogía con la de un solo dipolo infinitamente pequeño, colocado a una altura a sobre el suelo, lo que nos da ya una idea bastante aproximada.

Si deseáramos mayor exactitud, se ha comprobado que la asimilación del radiador finito al dipolo equivalente, infinitamente pequeño, es bastante exacta hasta una longitud eléctrica del radiador tal que

$$\alpha l < 70^\circ,$$

o sea

$$l \leq \frac{\lambda}{5}.$$

Como en nuestro caso $l = \frac{\lambda}{2}$ deberíamos descomponer en secciones de $\frac{\lambda}{5}$ al dipolo emisor y sustituir cada sección de éstas por su dipolo equivalente, situando cada uno de ellos en el centro de gravedad de la parte de distribución de corriente correspondiente a cada sección; nosotros nos conformaremos con la aproximación dicha.

Tengamos muy presente la influencia que ejerce la altura sobre el suelo del centro del dipolo, el cual generalmente se suele montar con un valor de

$$a = \frac{3\lambda}{4},$$

corrigiendo prácticamente, como ya hemos adelantado, por medio de las poleas, según el diagrama de radiación a obtener.

Si ahora colocamos en presencia de este dipolo emisor otro dipolo reflector sin excitación, también vertical y a una distancia de $\frac{\lambda}{4}$, la función radiación del

conjunto así constituido se obtendrá multiplicando la $F(\varphi \Psi)$, ya calculada por la característica del grupo así formado, y que el cálculo demuestra ser para estos dos radiadores dispuestos lateralmente

$$G(\varphi \Psi) = 2 \cdot \cos(\delta - \alpha \cdot d \cdot \cos \varphi \cdot \cos \Psi),$$

siendo:

δ la diferencia de fase de las corrientes en ellos.

$2d$ su separación lateral.

Ψ el azimut, contado a partir de su alineación.

Como el dipolo reflector se excita por radiación

$2\delta = \frac{\pi}{2}$, y como hemos asignado una separación de

$$2d = \frac{\lambda}{4} \quad \text{y} \quad \alpha = \frac{2\pi}{\lambda},$$

$$G(\varphi \Psi) = 2 \cos \frac{\pi}{4} (1 - \cos \varphi \cdot \cos \Psi).$$

Ecuación en donde se aprecia la directividad conseguida por la adición del reflector, ya que en el plano horizontal, por ejemplo ($\varphi = 0$), si

$$\Psi = 0 \quad \dots \quad G(\varphi \Psi) = 2;$$

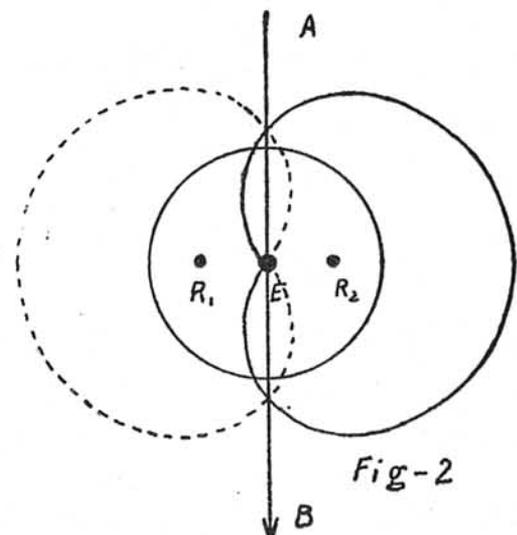
y si

$$\Psi = 180^\circ \quad \dots \quad G(\varphi \Psi) = 0.$$

Obteniéndose un diagrama de radiación de tipo cardioide (fig. 2). La radiación total del sistema vendrá dada por la fórmula

$$F_s(\varphi \Psi) = \frac{2 \cos(\alpha a \sin \varphi) \cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \varphi\right)}{\cos \varphi} \times \\ \times 2 \cdot \cos(\delta - \alpha d \cos \varphi \cdot \cos \Psi).$$

Análogamente, el conjunto constituido por el dipolo emisor y el otro radiador será idéntico a éste, pero simétrico respecto al eje AB , eje que será el balizado por este entrecruzamiento.



El dipolo emisor está alimentado por su centro, transmitiendo con onda modulada a la frecuencia musical de 1150 c/s., y funcionando solamente oíríamos continuamente esta nota; pero si por medio de un conmutador continuo y automático interrumpimos (por su punto medio) alternativamente uno u otro de los dipolos reflectores, interrupción que generalmente se hace de tal forma que un reflector esté en funcionamiento 7/8 de segundo, separados por intervalos de silencio de 1/8 de segundo, mientras que el otro funciona durante este silencio, y viceversa, el resultado será como si uno de los haces dirigidos transmitiese puntos solamente y el otro a rayas, artificio de los que mejor se prestan al empleo de indicadores visuales a bordo, y que permiten con toda comodidad advertir al piloto si sufre alguna desviación del eje de ruta balizada.

Navegación en sentido vertical.—Con este objeto se utilizan las líneas de igual intensidad de campo en el plano vertical que contiene la radioalineación, ya que mientras el avión resbale por una de ellas la salida del receptor será también constante, ya que suponemos también fija la sensibilidad de éste, y por tanto, si conectamos un aparato de medida a la salida del receptor, a cada curva de igual intensidad corresponderá una determinada desviación de este aparato.

Estas curvas debemos seleccionarlas durante la instalación, conociendo lo más aproximadamente posible la curva determinada por el avión en su descenso, la cual suele diferenciarse, en un aterrizaje normal, muy poco de una recta, y en el momento de contacto en que la velocidad debería ser la mínima de sustentación, esta trayectoria debería ser tangente al plano de la pista.

Las curvas de igual intensidad que podemos conseguir con el radiofaro dicho, debido a los efectos de la tierra y por emplear ondas ultracortas, son aproximadamente parabólicas, pero que dan suficiente aproximación en la práctica, pues además es muy raro que en los últimos momentos el piloto no logre ya distinguir el terreno.

Deduciríamos de la función radiación ya calculada, haciendo en ella $\Psi = \frac{\pi}{2}$ para situarnos en el plano

de balizamiento, la forma de estas líneas de igual intensidad, y por medio de medidas de campo, podríamos referir al terreno cada una de ellas y predeterminar la salida en el receptor de a bordo.

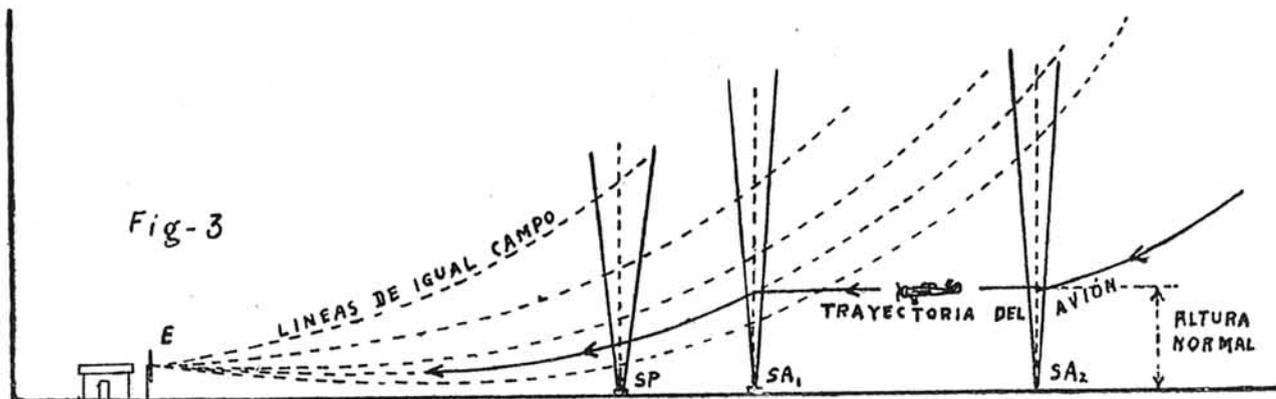
Una vez seleccionada una de estas líneas, si el avión vuela más alto la desviación será mayor, y viceversa.

Falta aún dar medios al piloto para saber cuándo debe cerrar gases o reducir el régimen del motor, lo cual se consigue por medio de las llamadas "señales de entrada", señales necesarias, ya que además el método de dirección vertical explicado exige que sea constante la potencia radiada por el radiofaro e invariable la sensibilidad absoluta del receptor, y esto no sólo durante el aterrizaje, sino de manera permanente, ya que se debe exigir aquella curva que sin exigir una inclinación excesiva del aparato al comenzar el descenso permita tomar tierra antes de 500 ó 600 metros del radiofaro para evitar una colisión; como ambos requisitos son imposibles de verificar en la práctica, las lecturas absolutas de campo se sustituyen por otras relativas, suponiendo que el avión se acerca según la radioalineación, pero a una determinada altura.

El momento en que el piloto debe comenzar a descender es aquel en que percibe la primera señal o señal auxiliar, siendo la desviación del aparato de medida en ese momento el punto de referencia; las lecturas superiores indican volar demasiado alto y al revés, dependiendo, por tanto, la selección de la línea de igual intensidad, de que el momento de paso sobre la señal auxiliar se verifique a determinada altura, dada con suficiente exactitud por los altímetros de a bordo.

Localización exacta de la posición del campo.—Una vez que el piloto, guiándose por el radiofaro de entrada, se acerca convenientemente al aeropuerto, puede estimar a "grosso modo" su distancia a éste por el aumento progresivo de la intensidad de la señal, ya que, como sabemos, el campo varía inversamente proporcional a la distancia, pero es necesaria mayor exactitud.

Para conseguirla se disponen a lo largo del camino balizado, generalmente, dos o tres transmisores (figura 3) para obtener las ya dichas señales de entrada; éstos suelen ser de ultracorta también (7,89 m.) y de-



ben producir haces muy estrechos en dirección del plano vertical que los contiene, diferenciándose estas señales por su modulación.

Si se usan dos señales, la primera, o señal auxiliar, se suele modular a 1700 c/s. con rayas de una duración de 4/10 de segundo, separadas por silencios de 1/10 de segundo.

Como el avión tarda en pasar esta "pared" formada por el haz de siete a diez segundos, hay tiempo más que suficiente para que la señal no pase inadvertida.

El emisor de esta señal se coloca a unos tres kilómetros del límite del campo y sirve como de aviso.

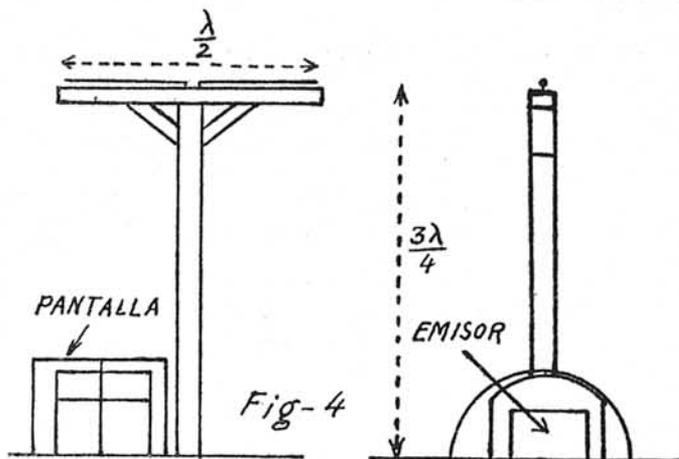
La segunda señal, o señal principal, modulada a 700 c/s. y emitiendo puntos de 1/10 de segundo separados por silencios de la misma duración, se coloca a unos 400 metros del campo, y ya hemos visto que constituye este haz el punto de referencia para seleccionar la línea que le acompañará hasta el suelo.

Con objeto de obtener gran precisión, la abertura de los haces de estas dos señales debe ser lo más estrecha posible, compatible con el tiempo que el avión tarda en atravesarlos y los tiempos de los silencios.

Estos haces se obtienen por medio de dipolos vibrando en $\frac{\lambda}{2}$, colocados horizontalmente, en cuya base va colocado el emisor bajo una contraantena cilíndrica (fig. 4).

La función radiación de una tal clase de dipolos es:

$$F(\varphi, \Psi) = \frac{2 \cdot j \cdot \text{sen}(\alpha a \text{sen} \varphi) \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \varphi \cdot \cos \Psi\right)}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \Psi}}$$



Donde apreciamos que la radiación es máxima verticalmente cuando

$$\alpha a = (2K + 1) \frac{\pi}{2};$$

o sea para

$$a = (2K + 1) \frac{\lambda}{4},$$

por lo que suele colocarse a una distancia del suelo de $\frac{3\lambda}{4}$ y en la dirección del vuelo.

De esta función se deduciría el espesor de la pared conseguido para cada altura.

La descripción del equipo situado a bordo merece artículo aparte, por lo que no prolongo más esta brevísima descripción.

