

Procedimientos para facilitar el aterrizaje sin visibilidad

Por M. H. Glöckner

Informe 284 del D. V. L.—Sección de electrotecnia y radio (De Z. F. M.)

Desde la introducción del vuelo sin visibilidad en el tráfico aéreo, la realización del aterrizaje a ciegas en lugares adecuados es uno de los problemas más urgentes, para cuya solución se colabora con tenacidad en todas partes. En lo que sigue, resumiremos todos los procedimientos conocidos que pueden servir para posibilitar la realización de dicho aterrizaje.

I.—PARTICULARIDADES DEL ATERRIZAJE A CIEGAS

LA viabilidad económica del tráfico aéreo depende esencialmente de la regularidad y seguridad con que puedan realizarse los servicios. De la exigencia de esta regularidad se desprende la necesidad del vuelo a ciegas. Sin embargo, para realizar esto se necesitan una serie de medidas que garanticen la seguridad del avión y de sus ocupantes. Estas medidas se refieren por una parte a la navegación *interna*, es decir, a la observación instrumental del vuelo, y por otra parte a la navegación *externa*, es decir, a la determinación de una o varias coordenadas para la situación del avión. Aun cuando hoy ya existen procedimientos seguros de navegación y una organización de aeropuertos y campos de aterrizaje que permite al piloto entrenado llegar a su destino en vuelo sin visibilidad, en cambio para la realización del aterrizaje a ciegas se presentan todavía considerables dificultades. Hasta ahora el hecho de que el aeropuerto de destino estuviese envuelto en niebla significaba irremisiblemente el fallo o demora del vuelo proyectado; pero es fácil comprender que ninguna empresa de transportes puede, sin graves perjuicios, depender en tal modo de las circunstancias meteorológicas.

Que el aterrizaje a ciegas no es en sí una cosa quimérica, lo demuestran no tan sólo algunos casos de la práctica en los cuales encontrándose los pilotos con malas condiciones meteorológicas imprevistas han conseguido aterrizar sin accidente en aeropuertos cubiertos por la niebla, con el único auxilio de la instalación normal de vuelo sin visibilidad y radiogoniometría, sino también el caso de los tan sonados vuelos del americano Doolittle [1, 2]. No obstante, en todos estos casos se debe atribuir el éxito, en su mayor parte, a las excepcionales aptitudes del piloto así como a la buena colaboración entre el personal del avión y el personal de tierra e incluso a la idoneidad de los instrumentos y métodos empleados.

El aterrizaje, aun con visibilidad, es la maniobra más difícil del vuelo. Para poder aterrizar del modo previsto es indispensable el conocimiento exacto de las condiciones del avión y la dirección e intensidad del viento. Así como en el vuelo con visibilidad el manejo de los mandos se efectúa con arreglo a las impresiones inmediatas obtenidas por la observación del suelo, en el caso del vuelo sin visibilidad es necesario obtener los datos precisos para el mando del avión por medio de instrumentos auxiliares. Para la invención de tales instrumentos debe procurarse en general una adaptación en lo posible a las condi-

ciones normales del aterrizaje con visibilidad. Esto nos llevaría a inventar instrumentos que permitiesen ver a través de la niebla; pero tales «gafas para la niebla» no pueden ser una realidad, por lo menos en el estado actual de la técnica. Lo mismo puede decirse de las proposiciones de R. Mandl y E. M. Torkelson [1], referentes a desarrollar en una pantalla por medio de los rayos infrarrojos imágenes reales del suelo, lo cual, según el resultado de nuevos experimentos [3, 4], apenas si puede ser realizado, y en consecuencia es todavía aventurado pensar en la posibilidad del aterrizaje a ciegas en lugares no acondicionados de antemano.

Como el empleo de los procedimientos de visión indirecta a distancia, actualmente conocidos, no permite todavía una solución satisfactoria, se ha pensado, en general, en tratar por separado los puntos principales del complejo de problemas que constituyen el aterrizaje a ciegas en un lugar cualquiera, para ir creando las previsiones técnicas necesarias al aterrizaje sin visibilidad en aeropuertos preparados para ello. Entre estas tentativas de solución ocupan el primer lugar los métodos basados en técnica de la alta frecuencia. Al lado de éstos, también desempeña un papel considerable el cambio recíproco de información por medio de la telegrafía sin hilos. La determinación de la velocidad y dirección del viento a nivel del suelo, la corrección barométrica de la altura, la notificación del momento oportuno para el aterrizaje, la comunicación mutua entre aeronaves próximas de la ruta y altura respectivas constituyen datos indispensables para el vuelo sin visibilidad y son al mismo tiempo condiciones previas para un seguro aterrizaje a ciegas.

Lo mismo el vuelo sin visibilidad que el aterrizaje a ciegas presuponen el absoluto dominio de la *navegación interna*. El piloto debe tener en todo momento la certeza de la situación de su aparato. Desde el punto de vista de la *navegación externa*, el aterrizaje a ciegas exige un control de ruta fundamentalmente más exacto, ganando en este caso considerable importancia las coordenadas de altura.

El origen del sistema de coordenadas espaciales que sirven para determinar la situación del avión, es aquel punto en el cual se quiere aterrizar. Por lo tanto, es necesario (dentro de las posibilidades aeronáuticas) seguir en el espacio una curva tangente al plano horizontal en el origen de coordenadas. En la práctica y según las circunstancias del emplazamiento, existen más o menos posibilidades de desviarse del punto previsto, con lo cual se tiene para cada aterrizaje una serie de haces de curvas que dan al piloto una relativa «elasticidad» en la ejecución definitiva de la toma de tierra.

Los procedimientos hasta ahora conocidos para facilitar los aterrizajes a ciegas están sometidos sin embargo a determinadas limitaciones en tanto que fijan (aunque dentro de ciertas tolerancias) la trayectoria del vuelo, con lo cual queda relegado a la habilidad del piloto el seguir la trayectoria prescrita valiéndose de las indicaciones de los instrumentos de a bordo, accionando en consecuencia los mandos y regulando el número de revoluciones del motor.

En particular se dividen en dos categorías los problemas que plantea el aterrizaje a ciegas: los relativos a la orientación respecto al aeropuerto y los relativos a la orientación cercana para aterrizar. Estos últimos exigen el conocimiento de la navegación horizontal y la vertical. A la navegación horizontal pertenecen la determinación de la dirección del aterrizaje y la fijación de los límites del aeropuerto, y a la navegación vertical la determinación de la distancia al suelo y la fijación de la línea de planeo. Para la práctica es necesario que los procedimientos y aparatos correspondientes a ellos sean de funcionamiento seguro y de indicaciones precisas y fundamentales, siendo de especial interés que los aparatos de a bordo tengan poco peso, reducidas dimensiones y que exijan la menor vigilancia posible.

II. — BUSCA DEL AEROPUERTO

(Señalamiento de ruta.)

Al problema del aterrizaje a ciegas propiamente dicho pertenece también el buscar sin visibilidad el aeropuerto de destino. Este punto está hoy resuelto de un modo satisfactorio por medio de numerosos procedimientos radiogoniométricos de los cuales no hablaremos en detalle por ser conocidos [5, 6]. En el servicio europeo de protección de vuelos se da una marcada preferencia al procedimiento de *radiogoniometría desde tierra*, mientras que en Norteamérica predomina el sistema de la *radiogoniometría mixta*.

Bajo el concepto de *radiogoniometría desde tierra*, se consideran las instalaciones receptoras fijas mediante las cuales puede ser determinada la dirección de las radiaciones emitidas por emisoras móviles. El sistema más ventajoso para encaminar el avión hacia el aeropuerto es instalando la estación de radiogoniometría en el mismo aeropuerto de destino. Al establecerse el intercambio de señales variadas el avión emite determinados signos y la estación fija le comunica los resultados, indicándole generalmente la ruta al aeropuerto. La operación puede repetirse con la frecuencia que se desee y por lo tanto se facilita el control de la dirección del avión. La posibilidad de verificar la marcación en todo momento, para un determinado avión, se conserva hasta la proximidad de la estación fija; así, por ejemplo, se puede verificar la ruta de un avión que vuela a una altura de 150 metros, hasta distancias de unos 100 metros de la estación fija. También con el sistema de la *radiogoniometría desde el avión*, en el cual el receptor de dirección se encuentra a bordo de la aeronave, son análogas las condiciones para la emisora [7]. La instalación a bordo de los instrumentos de orientación tiene la ventaja además de suministrar una indicación continua, de que los resultados de las observaciones son rápidos e inmediatos. Como desventaja, en cambio, hay que señalar la necesidad de antenas especiales y el peso de los aparatos suplementarios.

En los procedimientos de *radiogoniometría mixta*, corre a cuenta de la emisora el momento que suministra la dirección. En el avión se encuentra un receptor apropiado, conectado a una antena cuya característica de recepción sea en lo posible circular. Siempre que la trayectoria de vuelo fijada por el procedimiento de emisión no sea controlada por procedimientos auditivos (métodos A-N), puede obtenerse una indicación objetiva utilizando dispositivos especiales.

El procedimiento más conocido para la fijación de la trayectoria del vuelo por medio del llamado *rayo-guía*, utiliza dos antenas verticales colocadas en posición cruzada cuyas radiaciones tienen una característica especial. Esto en la forma más primitiva puede realizarse por medio de signos alternativos de modo que las antenas son puestas en oscilación la una a continuación de la otra, es decir, la una está en reposo mientras la otra emite. Con el objeto de dar una característica objetiva a cada una

de las radiaciones, se emplean frecuencias especiales de modulación, con lo cual en vez de excitar alternativamente las antenas, pueden ser excitadas de un modo simultáneo (1). En todos los casos, la característica de la emisión del *rayo-guía*, está definida como la serie de todos los puntos de recepción para los cuales las emisiones de ambas antenas se reciben con la misma intensidad (fig. 1). Un avión que sigue una trayectoria radioeléctrica así fijada reconoce toda

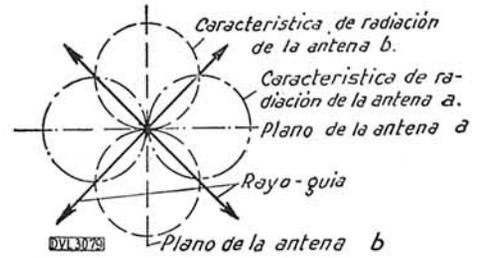


FIG. 1.—Representación esquemática de una emisión de rayo-guía. (Procedimientos basados en la amplitud.)

desviación al apartarse del rayo hacia los lados, por el aumento en la intensidad de recepción de la característica de una de las antenas.

En el momento de volar por encima del *radiofaro* pasa la recepción por un mínimo.

Todos estos procedimientos de señalamiento de ruta, reseñados tan brevemente, son elementos esenciales y muy comprobados en el moderno funcionamiento del tráfico aéreo. Con su ayuda es posible llevar con toda certeza el avión hacia el aeropuerto de destino, y situarlo ya en el campo de acción de los procedimientos que permitirán y facilitarán el aterrizaje a ciegas.

III. — MÉTODOS DE ORIENTACIÓN CERCANA Y ATERRIZAJE

I. — PROCEDIMIENTOS PARA LA NAVEGACIÓN HORIZONTAL

a) Fijación de la trayectoria

En la proximidad del aeropuerto se necesitan procedimientos para la navegación horizontal que, en lo posible, suministren en todo momento datos exactos sobre la situación del avión. Estos procedimientos son tanto más necesarios cuanto más elevados sean los obstáculos que hagan peligroso el vuelo bajo.

El procedimiento más sencillo consiste en mantener al avión dentro de un sector apropiado para el vuelo bajo, utilizando un aparato de radiogoniometría situado en el aeropuerto. De este modo se ha facilitado actualmente, en muchas ocasiones, el paso

sin peligro a través de una capa de nubes a muchos aviones que a causa de nubes bajas se habían visto obligados a volar a poca altura. Este procedimiento no excluye, de todos modos, la necesidad de que a tiempo oportuno sea visto el suelo para realizar con visibilidad el aterrizaje propiamente dicho. De modo análogo puede realizarse valiéndose de los procedimientos de la radiogoniometría desde a bordo y de la radiogoniometría mixta.

Una importante ventaja significa el empleo de la *marcación cruzada*. Según se ve en la figura 2, el avión F está constantemente orientado por medio de dos o tres estaciones radiogoniométricas, A, B, C. La inter-

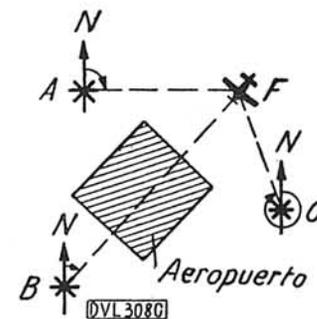


FIG. 2. — Esquema de una marcación cruzada.

(1) Un procedimiento objetivo de *rayo-guía* debido a Kramar (C. Lorenz A. G.) adopta una posición intermedia.

sección de las líneas que representan los rayos de marcación, referidos a la línea Norte-Sur dan en el mapa la situación del avión. Todas las estaciones de radiogoniometría pueden estar dotadas de aparatos autónomos, con lo cual los datos de cada estación secundaria pueden ser transmitidos por T. S. H. a la llamada estación principal. La situación de los aparatos gemelos puede estar señalada en un plano del terreno, con lo cual la situación se obtiene inmediatamente y pueden seguirse con facilidad los cambios de posición del avión (procedimientos Berndorfer-Dieckmann). La situación puede ser comunicada al avión por T. S. H., haciendo uso, por ejemplo, de planos cuadrículados. El procedimiento puede estar basado, ya en la radiogoniometría desde a bordo o en la radiogoniometría mixta.

Si bien es cierto que en los procedimientos anteriormente reseñados tan sólo se emplean los sistemas de orientación de ruta, propiamente dicha, aplicados a la orientación cercana, en cambio no falta para esto una gran cantidad de procedimientos basados en nuevos fundamentos.

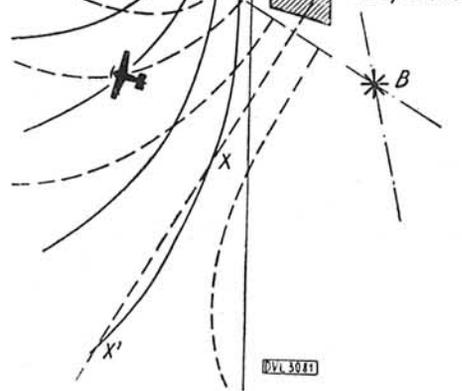


FIG. 3. — Procedimiento de orientación por medio de las líneas de marcación, según Valoris. (Las situaciones X y X' son confundibles por sus indicaciones.)

J. Valoris utiliza la relación entre la intensidad de recepción y el alejamiento de la emisora para conseguir la determinación de la situación. Para evitar la medida de la intensidad absoluta se calcula el gradiente de intensidad de recepción para cada par de emisoras. En la figura 3, A y B son dos emisoras

de radiación no dirigida, que con la misma potencia de radiación oscilan alternativamente en la misma onda. La frecuencia de modulación en ambas emisoras es distinta. En el circuito de salida del receptor del avión hay dos filtros que, por el lado de la recepción, separan las emisiones de A y B, de modo que, con arreglo a la distancia de las emisoras, señalan en dos instrumentos separados las respectivas indicaciones de intensidad. Ambos instrumentos se acoplan como se ve en la figura 4.

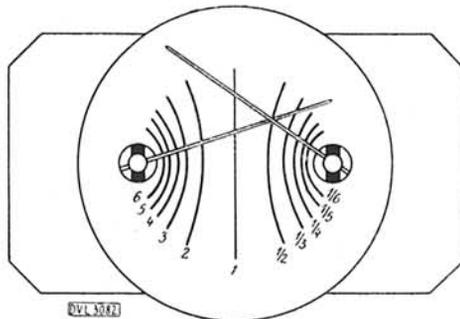


FIG. 4. — Instrumento indicador de las líneas de marcación, según Valoris. Los números dan la proporción de las distancias a dos emisoras.

La escala se puede entonces graduar de modo que el punto donde se cortan las dos agujas indicadoras da la proporción de las distancias a ambas emisoras. Si se emplea un segundo par emisor, por ejemplo: A, C, entonces, por la intersección de ambas líneas de situación se obtiene la situación del avión. Contra este pro-

cedimiento sólo cabe la objeción de que es muy difícil conservar constantes las características de funcionamiento. Tampoco debiera emplearse en la práctica ni la radiación de característica circular ni la amortiguación progresiva.

Otro procedimiento de líneas de situación que utiliza la interferencia espacial de dos emisiones coherentes para señalar la situación de un avión, ha sido propuesto por H. Harms. No obstante, éste tiene poca importancia para el caso de la orientación cercana.

Además de los procedimientos basados en las líneas de situación, que permiten averiguar la marcación del avión y, por lo tanto, dan al piloto la suficiente libertad en la navegación, existe también la posibilidad de asegurar el vuelo bajo, señalándole al piloto con exactitud la trayectoria del vuelo. Esto se realiza por medio de los procedimientos del rayo-guía y la radio-ruta. En ellos es indispensable, desde el punto de vista de la navegación, que no solamente permitan conocer una desviación de la trayectoria prefijada, sino que señalen también hacia qué lado se verifica este desvío.

Los procedimientos del rayo-guía sirven preferentemente para fijar la dirección del aterrizaje. En la mayoría de los casos se emplean los mismos dispositivos que se han perfeccionado para la navegación a distancia. La diferencia en las emisoras consiste únicamente en su menor potencia y más reducidas dimensiones de las antenas. Un dispositivo descrito por H. Diamond y F. W. Dunmore [8], consiste, en principio, desde el punto de vista de la emisora, en dos antenas verticales de cuadro colocadas perpendicularmente entre sí y excitadas en la misma onda, la misma fase y la misma potencia, pero moduladas con distintas frecuencias, por ejemplo: con 65 y 87,7 Herz.

Esta emisora presenta entonces un diagrama de emisión tal como el representado en la figura 5. El rayo-guía viene definido, otra vez, como el conjunto de todos los lugares de recepción, para los cuales las emisiones de ambas antenas son recibidas con la misma amplitud. Por la parte receptora se emplea una pantalla de protección contra la supersensibilidad de recepción, en cuya salida se coloca un filtro para la resolución de la mezcla de frecuencias. En un dispositivo más antiguo cada una de estas dos frecuencias excita unos muelles de lengüeta seleccionados por resonancia. El piloto entonces tiene que llevar los mandos de modo que las desviaciones de las lengüetas sean de la misma magnitud. Cuando las lengüetas oscilan con diferente magnitud hay que llevar el avión hacia el lado contrario a la lengüeta que oscila con mayor amplitud (véase fig. 5). Un

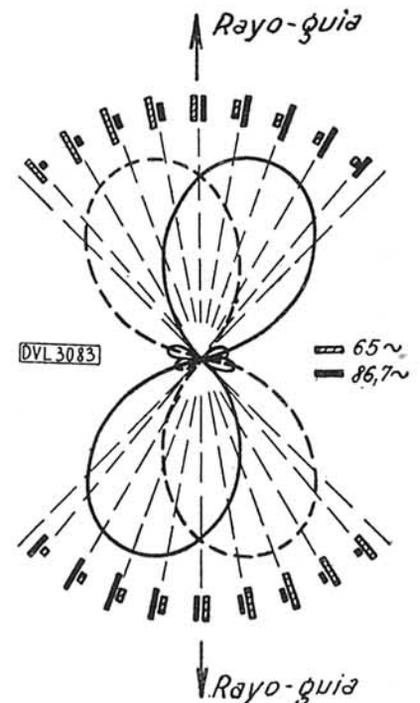


FIG. 5. — Característica del rayo-guía para una ruta rectilínea. Están indicadas las intensidades de recepción en dependencia del azimut del observador. Las desviaciones del aparato a los lados del rayo-guía son indicadas por la diferencia de oscilación de dos lengüetas.

nuevo dispositivo [9, 10], que viene a ser un perfeccionamiento del medidor de frecuencias por medio de lengüetas, trabaja mediante la intercalación de un filtro electromecánico de resonancia en un indicador de aguja. Este dispositivo es de modo muy especial insensible a las perturbaciones.

Un procedimiento perfeccionado en Alemania por E. Kramar (C. Lorenz A. G.) y que funciona con indicaciones objetivas, está basado, también, en dispositivos de amplitud, aunque aquí se trata de un nuevo método del empleo simultáneo de los procedimientos de pulsación continua y alterna. Las emisiones de ambas antenas de cuadro, colocadas perpendicularmente entre sí, se diferencia porque la modulación de alta frecuencia tiene lugar según una curva dentada, con lo cual, y empleando una bobina magnética en alta frecuencia, son excitadas ambas antenas simultáneamente con simetría especular (véase la fig. 6). Después de verificar una doble

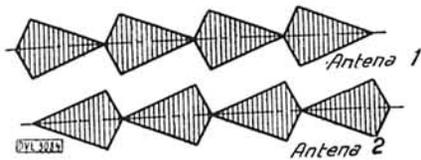


FIG. 6. — Procedimiento de pulsación para emisiones de *rayo-guía*, según Kramar (C. Lorenz A. G.). Curvas marginales de los signos de alta frecuencia en cada una de las antenas.

rectificación por el lado de las bajas frecuencias, empleando el método de la contrapulsación, resulta, por el lado de la recepción, una indicación de dirección lateral procedente de la marcha de la curva asimétrica en el tiempo, según la medida de la intensidad de recepción de las emisiones de ambas antenas.

Mientras que el *rayo-guía* determina siempre una trayectoria recta, el procedimiento de *radio-ruta*, propuesto por W. Loth [11], permite conducir al avión siguiendo trayectorias alabeadas. En ciertas circunstancias esto tiene gran importancia, por ejemplo: en el caso de aeropuertos rodeados de múltiples y elevados obstáculos, tal como sucede en los países montañosos.

Lo fundamental de este dispositivo es que desde dos puntos diferentes son emitidos dos rayos circulares, cuya velocidad está regulada de tal modo que el punto de intersección de ambos rayos describa la curva de vuelo deseada. Estos rayos pueden ser, en esencia, del tipo más diferente. Como tienen que atravesar la niebla, la bruma, la nieve, etc., no sirven todas aquellas oscilaciones que no cumplen con esta condición. Las oscilaciones eléctricas de alta frecuencia cumplen estos requisitos de un modo más apropiado.

Si las emisiones de ambos radio-faros son diferenciadas por características adecuadas, entonces el observador sabe si se encuentra a la derecha o a la izquierda de la trayectoria prescrita, según reciba con antelación las señales de uno u otro de los radios-faros. Del intervalo entre la recepción de ambos signos se deduce la distancia a la *radio-ruta* cuando las velocidades de giro de ambos rayos están elegidas de tal modo que a un mismo intervalo de tiempo corresponda una misma desviación lateral en la trayectoria. En la figura 7, AB es la

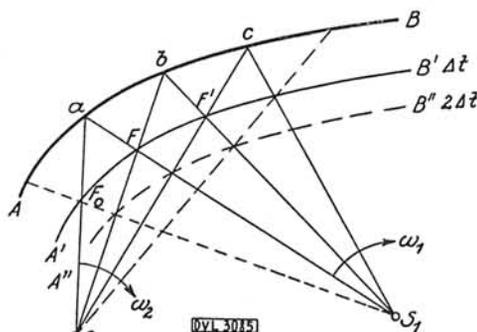


FIG. 7. — Procedimiento de *radio-ruta*, según Loth.

radio-ruta prescrita por las emisoras S_1 y S_2 , y $A'B'$ es una equidistante. Un avión que se encuentra en F recibe el rayo S_1 cuando éste se corta en a con el rayo S_2 en la trayectoria de vuelo prevista. Según lo supuesto, en la equidistante del segundo rayo se recibe antes o después que en el primero con intervalos de tiempo constantes Δt . Por lo tanto, al cabo del tiempo Δt el rayo S_2 debe pasar por F al mismo tiempo que corta en b a la trayectoria prevista. También, por condición, debe pasar al mismo tiempo el rayo S_1 por b , puesto que la trayectoria de vuelo viene señalada por los puntos de encuentro de ambos rayos. Mientras S_2 ha ido desde F_0 a F , o desde a a b , en el mismo intervalo S_1 ha ido desde a a b o desde F a F' . En consecuencia; los segmentos F_0F y FF' de la equidistante corresponden a intervalos de tiempo iguales Δt , pero a velocidades angulares distintas. De aquí se deduce con facilidad, para una trayectoria dada por medios gráficos, la ley para las velocidades angulares de los rayos S_1 y S_2 , pues para Δt como unidad de tiempo los ángulos aS_2b , bS_2c , etc., o aS_1b , bS_1c , son la medida directa de la velocidad. Es además fácil de ver que en la equidistante $A''B''$ del rayo 2, se percibe retrasado en dos unidades Δt con respecto a S_1 . Por lo tanto, empleando mapas de ruta preparados *ad hoc* se puede deducir exactamente la línea de posición a partir de observaciones de los intervalos de tiempo.

Los límites dentro de los cuales un determinado par de emisoras puede prescribir una trayectoria de vuelo inconfundible, están dados por la condición de que ningún rayo debe ser tangente a la curva ni cortarla dos veces.

Como la velocidad de giro de ambos rayos está en dependencia mutua, su regulación se verifica por medio de una estación central. Para este objeto, según la proposición de W. Loth, las alternancias se verifican por medio de un interruptor que es puesto en funcionamiento por los impulsos de la corriente. Estos impulsos son transmitidos por medio de un manipulador controlado por una tira de papel perforado. Cada perforación corresponde a un impulso. Las perforaciones son de distinto tamaño y determinan las velocidades de giro de los rayos correspondiéndose con la ley de movimiento prevista.

La obtención del rayo de dirección puede realizarse o basándose en los procedimientos de amplitud o empleando ondas extracortas con antenas especiales. Cuando las antenas no permiten un giro inmediato puede conseguirse fácilmente esto por medio de un goniómetro (Bellini-Tosi). La recepción de las emisiones en el avión se realiza sin rectificar.

Los sistemas de emisión dirigida, ya descritos, presuponen un determinado azimut de derrota. Para dirigirse centralmente al aeropuerto desde una posición cualquiera, se dispone de los numerosos procedimientos de la *radiogometría desde a bordo*, tal como han sido inventados para la orientación de ruta por J. Robinson [12], Berndorfer-Dieckmann [13], R. Hell [14], H. Busignies [15 y 16], etc. Sobre estos procedimientos, sin embargo, no entraremos aquí en detalles.

Para dirigirse a un punto determinado pueden ser utilizados también los rayos de la región infrarroja del espectro. No obstante, su capacidad de penetración para la niebla depende mucho del tamaño de las gotas en relación con la longitud de onda [3, 4].

De los muchos métodos propuestos para emplear los rayos ultrarrojos en la orientación cercana, el de mayor interés es un dispositivo ideado por F. W. Westendorp (General Electric C.^o). Como emisora se emplea una lámpara de neon conectada a una corriente de tensión alterna de frecuencia sonora. La cuestión de la frecuencia de modulación es de importancia, desde el punto de vista de la recepción, para poder buscar, sin confundirse, el foco luminoso. El receptor consiste especialmente en

una célula fotoeléctrica, en combinación con la cual, y con una inclinación aproximada de 45 grados, gira un espejo a 100 revoluciones por minuto. A ambos lados del fuselaje se encuentran dos ventanillas que sirven de acceso al espejo para los rayos. Las corrientes fotoeléctricas originadas por la luz (invisible) incidente van a un comparador. Si las corrientes de ambos lados son iguales, el foco luminoso que sirve de faro de dirección está situado hacia el frente, mientras que en el caso de corrientes desiguales está situado hacia el lado del avión que muestra la mayor densidad de corriente fotoeléctrica. Este dispositivo da todavía indicaciones bastante buenas aun en el caso de luz relativamente difusa, pero aun no se han dado a conocer los resultados de las experiencias prácticas en vuelo.

Uno de los primeros medios empleados para introducir a ciegas un avión en el aeropuerto de destino, según una trayectoria fija, ha sido el cable Loth. Por éste se entiende, en general, un cable alimentado con corriente alterna y cuyo campo electromagnético actúa sobre el receptor del avión. Por la intensidad y clase de las señales recibidas se deduce la posición del avión respecto al cable.

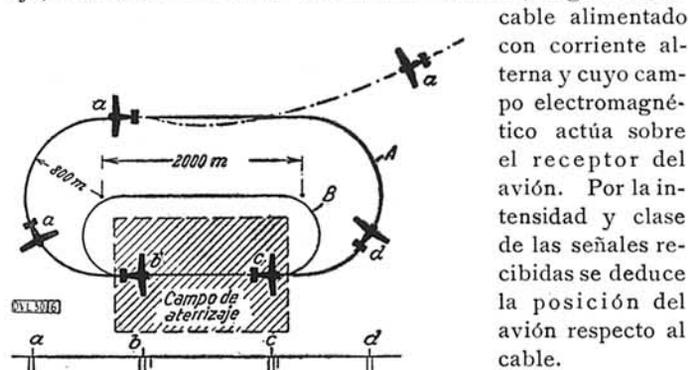


FIG. 8.—Procedimiento de cable Loth, según Cooch. A, cable Loth para la arribada. B, cable Loth para el aterrizaje propiamente dicho. (Las flechas marcan las indicaciones del instrumento de a bordo para cada una de las diferentes posiciones del avión.)

La utilización de cables o conducciones para la orientación de los aviones en los aeropuertos, tiene poca importancia comparada con la de los métodos de orientación ya citados, en tanto que para la instalación de estos cables se necesita disponer de terreno suplementario fuera del aeropuerto. Según investigaciones del D. V. L. [17], no es recomendable el alimentar los cables con frecuencias usuales en la telegrafía sin hilos, pues, por la resonancia de las ondas en otros cables, se perturban extensas regiones, y las variaciones del suelo y accidentes del terreno causan modificaciones en el campo de recepción que no permiten hacer referencias sobre la posición del avión respecto al cable. Estos fenómenos nos fuerzan a realizar determinadas limitaciones en la elección de la frecuencia, dándole preferencia al espectro audible, en el cual la región más baja es a su vez más desfavorable que la alta desde el punto de vista de la recepción. Por lo tanto, las frecuencias de trabajo estarán en su mayoría comprendidas entre 10^3 hasta 10^4 Herz.

Muchos de los procedimientos que se han dado a conocer no han sido todavía experimentados prácticamente. En la mayoría de los casos los resultados para su aplicación práctica se han deducido de experiencias efectuadas con modelos.

Uno de los primeros dispositivos para la orientación de los aviones, por medio de cables o conducciones, con el objeto

especial de facilitar los aterrizajes a ciegas, ha sido propuesto por C. Cooch [18]. En la figura 8 se muestra la disposición del cable. El cable A sirve para asegurar la entrada del avión en el campo de aterrizaje propiamente dicho, mientras que el cable B asegura el aterrizaje. Ambos cables están

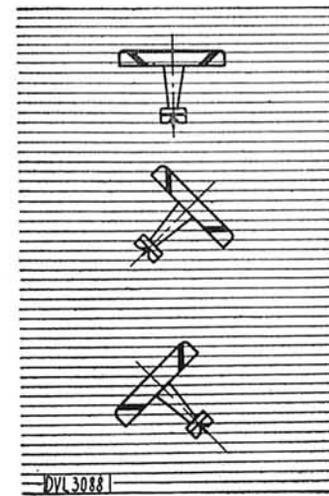


FIG. 10.—Procedimiento de cable Loth, según Cooch. Disposición de las antenas de cuadro para la determinación de la posición angular respecto al cable.

recorridos por corrientes de distintas frecuencias; por ejemplo, el cable A con 34 Herz y el cable B con 68 Herz. Para seguir a lo largo del cable A el avión está provisto de las antenas de cuadro supletorias, representadas en las figuras 9 y 10, y que están simétricamente colocadas respecto al eje longitudinal del avión. Según la figura 9, en dichas antenas son inducidas las mismas tensiones cuando el avión se encuentra en la posición a. En las posiciones b y c la mayor tensión resulta inducida en aquellas antenas que miran hacia el conductor O. Según se ve en la figura 10, toda modificación de la ruta a babor o estribor produce en el citado dispositivo de las dos antenas,

una elevación de la tensión inducida sobre aquel lado del avión hacia el cual debe verificarse la corrección de ruta, para volver otra vez a la trayectoria marcada por el cable conductor. Por este motivo las antenas de cuadro de babor y estribor están combinadas entre sí y conectadas al correspondiente instrumento indicador. Este tiene por misión el permitir reconocer de un modo preciso la posición del avión respecto al cable conductor, sirviendo para este objeto instrumentos dinamométricos. Cada uno de ellos está provisto de un pequeño espejo sobre el cual se proyecta un foco luminoso. Los rayos luminosos reflejados actúan sobre la escala transparente común, tal como está representada en la figura 11. La posición O se encuentra en el extremo superior de la escala. Las escalas de izquierda a derecha son las siguientes: la escala de babor, la escala de altura, la escala de estribor y la escala de aterrizaje. Esta última se describirá a continuación con más detalles. Los cuadros de estribor y babor están conectados al aparato indicador por medio de un conmutador especial que da 32 cambios por segundo, y como el cable conductor está alimentado con 34 Herz, resultan puntos luminosos que oscilan con el período de 2 Herz. Es fácil de comprender que los puntos luminosos, en las escalas de babor y estribor, oscilan con la misma fase y amplitud cuando el avión se encuentra en posiciones donde el campo electromagnético está horizontalmente orientado, es decir, cuando el avión se encuen-

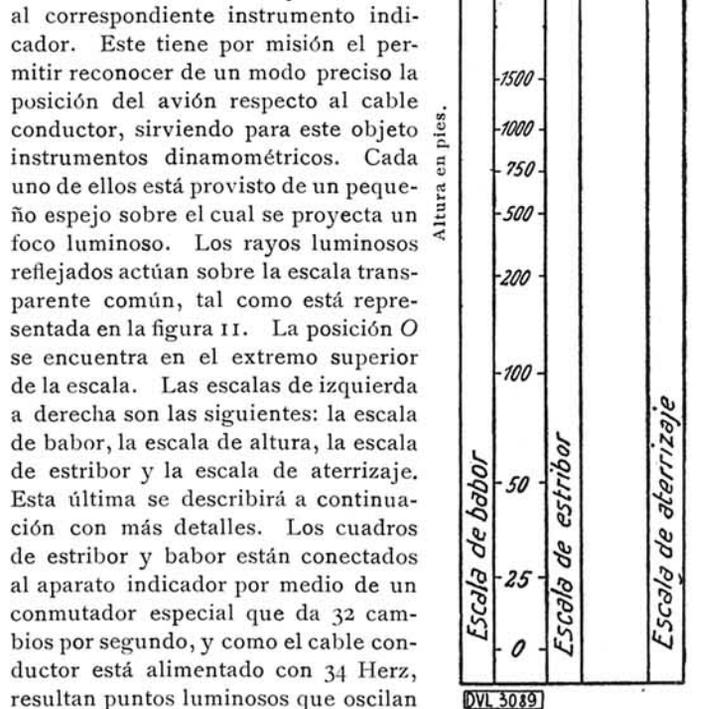


FIG. 11.—Escala del instrumento de a bordo, según Cooch.

tra aproximadamente sobre el cable. Al desplazarse el avión hacia babor respecto al cable, la escala de estribor mostrará la máxima amplitud, y, en cambio, al desplazarse hacia estribor mostrará la máxima amplitud la escala de babor. En la figura 12

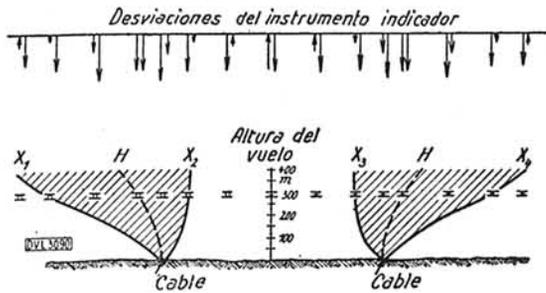


FIG. 12. — Modo de funcionar el cable Loth (cable A de la fig. 8), según Cooch. En X_1 , X_2 , X_3 y X_4 las líneas del campo electromagnético están inclinadas 45° respecto a la horizontal (superficies de cambio de fase). En H las líneas del campo electromagnético tienen curso horizontal.

está gráficamente explicado este punto para las diversas posiciones del avión. La línea de puntos designada con la letra H constituye el lugar geométrico de todos los puntos para los cuales las intensidades del campo están horizontalmente orientadas, siendo las líneas X_1 , X_2 , X_3 y X_4 el lugar geométrico de todos los puntos, para los cuales las líneas del campo electromagnético están inclinadas 45 grados respecto a la horizontal. Para la citada disposición de los cuadros (fig. 8), esta línea hace relación a una superficie de cambio de fase, para la cual la fase sufre una variación brusca de 180 grados. La figura materializa la regla tan importante para la conducción del avión, que el cable conductor siempre está situado hacia aquel lado que muestra mayor amplitud en las oscilaciones. Tanto las indicaciones correspondientes de las escalas a babor y estribor, así como las direcciones de movimiento (fases), están indicadas en la figura para las diversas posiciones del avión. Si el avión se encuentra sobre el cable conductor o sobre la línea H , entonces se puede deducir la altura del vuelo de la magnitud de la amplitud para señales de emisión constantes.

Por un balanceo lateral se eleva la tensión inducida en el cuadro situado del lado hacia el cual se verifica el balanceo (fig. 8). Sin embargo, al tomar una curva se marca poco esta elevación de la tensión, pues al girar el avión la tensión desciende por la parte interior de la curva. De este modo, los datos necesarios para pilotar el avión son suministrados de un modo intuitivo por el cable.

Si el avión entra ya en la región del cable de aterrizaje propiamente dicho B (fig. 8), entonces pueden apreciarse las indicaciones correspondientes sobre una escala especial del instrumento (fig. 11). El instrumento correspondiente está conectado por intermedio de un conmutador, con una antena de cuadro, cuyo plano es paralelo al eje longitudinal del avión. La conmutación se realiza con 64 Herz, mientras que el cable está alimentado con 68 Herz, oscilando entonces la mancha luminosa con un período de 4 Herz, diferenciándose así del indicador de babor y estribor. Como cada instrumento indicador es excitado con frecuencia propia, resulta que las indicaciones se verifican prácticamente con independencia mutua. Por consiguiente, tan sólo se presentan indicaciones acentuadas en la escala de aterrizaje cuando el avión se aproxima a la situación para aterrizar. Este procedimiento, que se sepa, sólo ha sido probado en experiencias con modelos en una escala de $1 : 200$. Una desventaja consiste en el vuelo a ciegas de curvas relativamente tan pronunciadas.

b) Demarcación de los límites del aeropuerto

Por medio de un dispositivo propuesto por Hanson [19], se han realizado en el aeropuerto americano de Lansing (Illinois) varias investigaciones para posibilitar el reconocimiento de los límites del aeropuerto, además de la dirección de vuelo para entrar en el mismo. Los fundamentos del dispositivo pueden verse gráficamente en la figura 13. Los dos circuitos A y B son

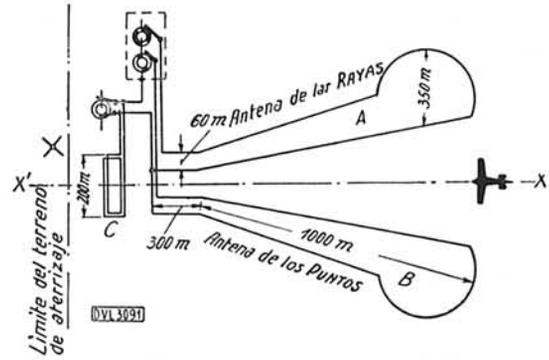


FIG. 13. — Procedimiento de cable Loth, según Hanson.

pulsados alternadamente con signos diferentes: el circuito A , con rayas, y el circuito B , con puntos. El observador de un avión que se encuentre en la línea central $X-X'$ oye un sonido continuo, al desviarse hacia la derecha oye el signo $t (-)$, y a la izquierda el signo $e (.)$. Al pasar volando sobre el circuito horizontal C , por medio del cual se indica el límite del campo de aterrizaje, la intensidad del sonido crece considerablemente. La altura del vuelo sobre C se puede determinar por la medida de la intensidad de recepción por medio de un instrumento indicador.

W. Loth [20] emplea una conducción alimentada con corriente de frecuencia media de $7,5$ a 10 Kiloherz, para hacer al piloto indicaciones precisas sobre su posición respecto al campo de aterrizaje y en la proximidad del suelo. El dispositivo, estudiado en un experimento de modelo, consiste esencialmente en una conducción circular, tal como está representada en el esquema de la figura 14. La conducción está conectada al

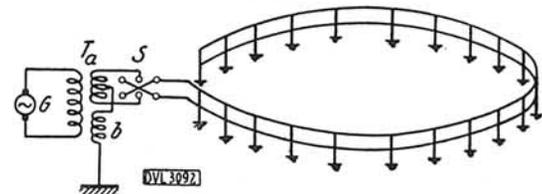


FIG. 14. — Procedimiento para demarcar los límites del aeropuerto, según Loth.

generador G por intermedio del conmutador S y el transformador T . (Los aparatos de reglaje no se indican en la figura para mayor claridad.) La conducción circular representa una antena de cuadro vertical, cuyo plano está arrollado cilíndricamente. Las pulsaciones de la corriente en este circuito provocan un campo electromagnético, que en una sección a través del mismo presenta la estructura aproximada de la figura 15. La conducción circular constituye además, en su conjunto, una antena abierta derivada a tierra por intermedio del arrollado de excitación b . El dispositivo actúa, por lo tanto, como un condensador, en el cual una armadura está constituida por el sistema conductor y la otra por la tierra. Si por intermedio del conmutador S se conmuta la corriente del cuadro, entonces la

fase del campo magnético originado por dicha corriente varía en 180 grados respecto al campo eléctrico procedente de la antena abierta, pues la corriente de desplazamiento no está prácticamente influida por el proceso de la conmutación.

El avión posee una antena de cuadro colocada horizontalmente y una antena abierta, estando ambas conectadas al mismo circuito receptor. Si se emplean, como característica de pulsación, signos complementarios como en el caso del *rayo-guía*, entonces, y según el tipo de sistema de recepción, se puede deducir de las indicaciones la dirección momentánea del campo magnético, sabiendo así la situación del avión. Esta disposición se puede comprender mejor viendo la figura 15, en

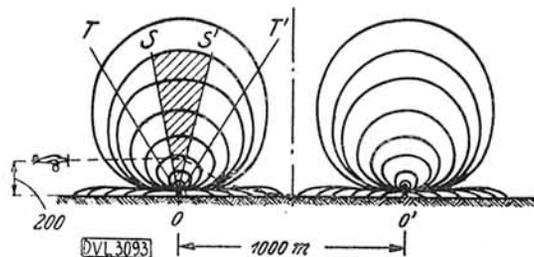


Fig. 15. — Representación esquemática de la estructura del campo electromagnético del cable anular.

la cual el campo magnético está producido por una conducción anular de 1.000 metros de diámetro. Un avión siguiendo las indicaciones de su altímetro barométrico, puede, en la mayoría de los casos, volar sin peligro a 150 ó 200 metros de altura. Para la trayectoria dibujada en la figura, la porción de campo electromagnético situada a la izquierda de la línea OS, inducirá al cuadro receptor con bastante intensidad. Si los signos característicos de pulsación atribuidos a ambos campos polares de la antena anular son la letra D (— . .) y la U (. . —), entonces, por ejemplo, en la primera parte de la trayectoria se recibirá el signo D, si se supone en el receptor del avión las tensiones inducidas por ambos campos oscilan en fase. Dentro del campo de TOT', a causa de la componente de la intensidad magnética paralela al plano, el cuadro horizontal no recibe prácticamente inducción alguna. También el campo eléctrico posee verticalmente sobre la conducción anular un mínimo, que empleando una antena abierta vertical se destacará más que empleando una antena remolcada. En el campo TOT' se pierde en consecuencia la diferencialidad de los signos D y U, lo cual sirve como característica para reconocer los límites del campo. El tiempo que se tarda en pasar la zona entrando centralmente a la conducción anular, da una apreciación *grosso modo* de la altura del vuelo. Más tarde, al llegar el avión a la línea OS', ya debe comenzar el vuelo planeado. Más allá de la línea OS', se recibirá el signo U. Al aproximarse al suelo, el signo se convertirá primeramente en una raya prolongada, pues

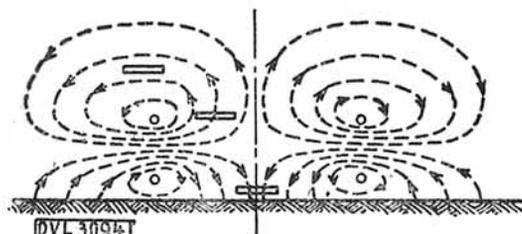


Fig. 16. — Representación esquemática de la variación de recepción a diversas alturas.

el campo magnético actúa sobre el receptor, y, finalmente, a una distancia de pocos metros del suelo, se recibirá el signo D, por lo cual el avión puede comenzar a tomar tierra. (Véase fig. 16.)

Aunque este procedimiento nos da la idea de que suministra indicaciones exactas, sin embargo, para su aplicación se oponen, en cierto modo, objeciones considerables (1). En primer lugar, la antena anular que rodea al aeropuerto (cuyos postes de retención se suponen de una altura de unos 10 metros), supone un serio peligro para los aviones que vuelan bajo, y, además, en la práctica, la estructura del campo electromagnético es fundamentalmente mucho más complicada que lo que aquí se ha expuesto con el objeto de hacer comprensible el fundamento del proceso. También la antena de cuadro propiamente dicha tiene un campo eléctrico, y éste varía de fase con la conmutación, poseyendo, además, el campo eléctrico del «sistema abierto», una estructura diferente en el espacio que la del campo magnético del cuadro. Pero como de la acción mutua de ambos resultan los datos críticos para el piloto, se presentan dificultades en la sintonía óptima del receptor. De la pequeña distancia de los hilos de la antena se deriva, además, la corta acción de distancia, pues para cada punto alejado se compensan los campos y las intensidades resultan casi iguales. Esto constituye una desventaja, en especial por lo que se refiere a la entrada en el aeropuerto. Tan sólo en las proximidades del suelo los campos resultan de más intensidad. Si se trata de atenuar esta desventaja empleando una mayor cantidad de energía, entonces es necesario tomar ciertas medidas para evitar la supersensibilidad del receptor en la proximidad del suelo.

En tiempo muy reciente ha sido dado a conocer un perfeccionamiento de este proceso por la American Loth Corporation [21], cuyas pruebas se están realizando actualmente en el aerodromo de Wright Field. En este dispositivo, la conducción libre está reemplazada por un sistema de cables concéntricos ocultos bajo el suelo. El observador de un avión que entre sobre los límites del aeropuerto, oye primero el signo D, y después de haberlos atravesado oye una raya continua. En el campo interior del aeropuerto se recibirá el signo U, y a una altura de unos seis metros sobre el suelo se cambia en el signo I (. .). Con esto se le indica al piloto que debe disponer su aparato al aterrizaje. Los aparatos de recepción instalados en el avión consisten en una antena de cuadro vertical para la orientación central respecto al campo de aterrizaje, y una antena de cuadro horizontal para la recepción de las referencias de situación. Cuando se dejan de oír estas últimas, la verificación de la ruta se realiza por medio de un instrumento indicador. La posibilidad de orientación respecto al campo de aterrizaje comienza a unos ocho kilómetros de distancia del mismo, utilizando 15 kilovatios para la alimentación del cable.

Otro procedimiento para *dibujar* en el aire los límites de un aeropuerto, fué inventado por H. Gromoll y H. Johannson, bajo el patronato del D. L. V., y comprobado con experiencias de laboratorio [22]. El campo externo e interno del aeropuerto se da a conocer de un modo preciso por medio de indicaciones destacadas, pues al volar sobre los límites cambia la dirección de las desviaciones de un índice. La precisión de las indicaciones se basa en el empleo de curvas, asimétricas respecto al eje de los tiempos, en el campo del receptor.

El cable que rodea al campo de aterrizaje es alimentado por una corriente de frecuencia sonora de la forma:

$$1 (\text{sen } \omega t + K \text{sen } 2 \omega t),$$

de modo que la tensión inducida en el cuadro horizontal R del avión, tiene aproximadamente el curso indicado en la figura 17. Esta tensión es conducida a un rectificador de contragolpe, en cuya salida está conectado un instrumento diferencial. Por la

(1) En la citada publicación [20], ya se hace especial referencia a estas objeciones.

rectificación se originan en el circuito de salida, a consecuencia de las tensiones asimétricas de entrada, corrientes rectificadas diferentes, las cuales determinan la dirección de las desviaciones del indicador. Al volar sobre los límites del aeropuerto (campo de recepción = O , véase fig. 17), cambia de dirección

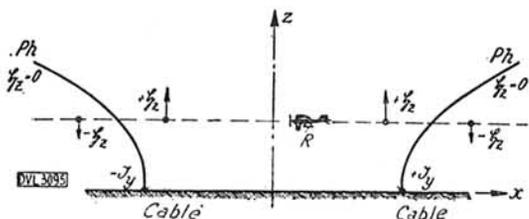


FIG. 17. — Demarcación de los límites del aeropuerto, según Gromoll-Johannson. Los límites del aeropuerto vienen indicados por la superficie de cambio de fase Ph . Para la recepción se emplea el cuadro horizontal R .

el campo magnético en relación con el cuadro receptor horizontal del avión, y en consecuencia también varía la tensión inducida. Esta actúa de tal modo sobre el instrumento indicador, que la aguja se desvía en la dirección opuesta. Para conseguir la recepción de la altura de vuelo del modo más independiente posible, se emplea un dispositivo amplificador automático.

Para una demarcación parcial y rectilínea de los límites de un aeropuerto, se pueden utilizar intuitivamente los métodos de orientación general. Así, por ejemplo, en Norteamérica se utilizan bajo el nombre de *gun coil* dispositivos de antena de cuadro en los cuales se emplean la mayoría de las veces, como criterio direccional, los sectores de radiación mínima (8). Estos sistemas tienen, respecto a los métodos de cables, el inconveniente de que sólo demarcan una dirección de aterrizaje.

2. — PROCEDIMIENTOS PARA LA NAVEGACIÓN VERTICAL

a) Determinación barométrica de la altura

Los altímetros corrientes que funcionan basados en el principio barométrico son en general poco apropiados para el aterrizaje a ciegas (1). De hecho un avión que cruza sobre el aeropuerto puede corregir su altura barométrica recibiendo por radio la indicación de su verdadera altura de modo que el piloto puede conocer su distancia al suelo, pero las influencias momentáneas que se ejercen sobre el estado de la presión en la cabina (influencia de la hélice, atmosférica, etc.), hace lo suficientemente inseguras las indicaciones barométricas de altura para pensar en su utilización para el aterrizaje, que requiere bastante precisión en el conocimiento de este dato. Se ha intentado hallar solución a este problema por la aplicación de medios acústicos, eléctricos y ópticos.

b) Determinación de la altura por reflexión del sonido

Entre los procedimientos acústicos, el más antiguo y más conocido es el sondaje de la profundidad por el eco, sistema Behm [23, 24]. Al dispararse una pistola instalada a bordo del avión se pone en movimiento un indicador luminoso de tal modo que el punto luminoso se mueve sobre la escala con la velocidad correspondiente a la mitad de la velocidad del sonido. El sonido reflejado en el suelo llega a un micrófono instalado en el avión y origina un golpe de corriente que desvía lateralmente al punto luminoso en movimiento. El valor numérico leído en la escala corresponde a las alturas sobre el suelo.

(1) Para sus vuelos con aterrizaje a ciegas, el americano Doolittle utilizó un instrumento especial en el cual una división de la escala (0,2 mm.) correspondía a una diferencia de altura de tres metros [2].

En la aplicación especial de este método para el caso del aterrizaje a ciegas, el proceso tiene la enorme desventaja de no suministrar datos continuos y en consecuencia exige una observación muy atenta de la escala para no pasar inadvertido el momento preciso de las indicaciones. Además, las indicaciones intermitentes debidas a la diferencia de altura de los obtáculos de todo género y a los accidentes del terreno, dan lugar fácilmente a falsas representaciones sobre la verdadera altura del vuelo, debidas a la diferente distancia de los puntos de reflexión. Por lo tanto, especialmente en los últimos tiempos, se han hecho esfuerzos en todos los terrenos para intentar un procedimiento electroacústico con indicación continua de la altura del vuelo. Para esto son enviados, la mayoría de las veces con intervalos cortos (utilizando, por ejemplo, sirenas), impulsos sonoros que actúan sobre el instrumento indicador por medio de las ondas reflejadas recibidas a través de filtros apropiados. Todos los procedimientos acústicos exigen un detenido análisis de los ruidos producidos en el avión por la marcha y los motores, así como el estudio de la variación de las condiciones de recepción para poder elegir de un modo apropiado la frecuencia de vibración conveniente. Según las experiencias hechas en vuelo hasta ahora, las alturas de vuelo más pequeñas que todavía pueden ser indicadas con seguridad por este procedimiento están alrededor de unos dos metros [25].

Para la determinación de la altura se han propuesto también procedimientos de reflexión basados en las oscilaciones de alta frecuencia. (En general resulta que las ondas cortas se reflejan mejor que las largas.) Entre los procedimientos que se han hecho más conocidos [1], el de mayor interés inmediato es el propuesto por W. L. Everitt. Everitt propone radiar desde el avión emisiones de frecuencia modulada. Estas emisiones alcanzan a un receptor apropiado instalado a bordo, el cual a su vez es excitado por las ondas reflejadas en el suelo. Por la interferencia de ambas ondas (la directa y la reflejada) se origina entonces un sonido heterodino cuya frecuencia es función de la altura. Sin embargo, queda aún por investigar hasta qué punto es posible una aplicación práctica de este procedimiento con el objeto especial de medir pequeñas alturas. Respecto a los otros métodos de reflexión eléctrica que determinan la distancia al suelo a partir del número de nodos que se forman por la presencia de ondas estacionarias (T. Alexanderson [26]), tiene el método antes citado la ventaja de dar indicaciones inmediatas. Por lo demás, hoy no se puede juzgar todavía acerca del valor práctico de estos procedimientos, porque no existen las suficientes experiencias sobre las distintas condiciones de reflexión para la diferente conformación del suelo.

c) Medida de la altura por modificación de la capacidad

La aproximación de un avión a tierra puede ser apreciada por la variación de la capacidad de un condensador construido de modo adecuado. Todos los procedimientos de capacidad pueden ser reducidos fundamentalmente al dispositivo representado en la figura 18.

Como armaduras del condensador funcionan dos planchas de metal a y b situadas en el fuselaje y conectadas a un circuito medidor c . La capacidad de este condensador está

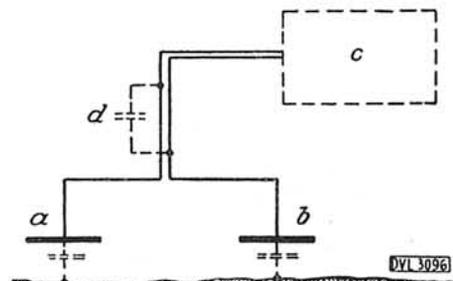


FIG. 18. — Esquema de la medida de la altura por variación de capacidad. a y b son los electrodos del condensador, c el instrumento de a bordo y d la capacidad de los conductores.

esencialmente determinada por las dimensiones de las placas y del dieléctrico (el aire que las rodea). La capacidad de las conducciones está conectada en paralelo al instrumento de medida (representado por d). Por la aproximación al suelo crece la capacidad a consecuencia de la disminución de la distancia de las placas, así como de la mayor constante dieléctrica en la proximidad del suelo. Ahora bien, como la constante dieléctrica del aire varía con la humedad y la presión atmosférica, el altímetro de capacidad es especialmente apropiado para pequeñas alturas en las cuales las influencias del estado del aire son pequeñas respecto a las del suelo y sirve muy bien para la correcta apreciación de la *altura inicial* del avión antes de comenzar el aterrizaje propiamente dicho. Los aparatos apropiados para esto se han propuesto en Alemania por H. Wigge y List e investigados gracias al especial apoyo de la fábrica Junkers. Todos estos procedimientos se diferencian en la estructura del circuito medidor c . Unos emplean métodos de puente (1) y otros métodos de la interferencia y resonancia [27, 28]. La disposición de las placas del condensador en el fuselaje, tal como se empleó en las experiencias de R. Gunn [29], puede verse en la figura 19. La medida de la altura por el método de la



FIG. 19. — Disposición de las placas del condensador para la determinación de la altura, según el método basado en la capacidad.

capacidad tan sólo puede realizarse a partir de 30 metros para abajo. Como la constante dieléctrica del suelo se modifica con el estado meteorológico, el método sólo es viable con ciertas limitaciones.

d) *Determinación de la altura por la intensidad del campo electromagnético*

La altura de vuelo puede también ser deducida a partir de la medida de la intensidad de recepción. De esto ya se ha hecho frecuente uso en los procedimientos del cable conductor ya mencionados (por ejemplo: en los procedimientos de Cook, Hanson, Loth y otros). Sin embargo, es preciso que para esto se cumpla la condición de que el avión se encuentre en una posición tal, que la distribución del campo electromagnético sea fija, es decir, que para una distribución constante del campo a lo largo del cable el avión se mantenga sobre éste. Otra condición es que el campo electromagnético se mantenga independiente de las influencias atmosféricas, ya directas, ya indirectas. En general, la distribución del campo a lo largo del cable no es la prevista, de modo que sólo puede ser alcanzada de un modo

muy condicional la exactitud suficiente para la determinación de la altura, necesaria para la maniobra del aterrizaje.

3. — PROCEDIMIENTOS PARA DETERMINAR LA TRAYECTORIA DE PLANEO

En Norteamérica fué inventado por H. Diamond y F. W. Dunmore [9] un procedimiento que señala al avión la trayectoria de planeo, siendo ésta, en el citado procedimiento, idéntica a una curva de intensidad de recepción constante. Para este objeto se crea un rayo de dirección del modo expuesto en la figura 20. En dicha figura se expone el curso de la intensidad de recepción en dependencia del ángulo de elevación, cuando el avión se mueve sobre un arco de círculo en el plano vertical que pasa por el eje medio del rayo y la posición O de la emisora. Por ángulo de elevación, δ , se entiende el ángulo bajo, en el cual aparece el avión visto desde O . A diferentes distancias de la emisora se conservan análogas características direccionales. Los valores absolutos de la intensidad de recepción en estos haces de curvas están relacionados entre sí para ángulos de elevación iguales, por medio de la ley de propagación. En mayor aproximación las intensidades para $\delta = \text{const.}$ son inversamente proporcionales a las distancias.

Ahora bien, como en la figura 20 el ángulo de elevación δ está introducido como

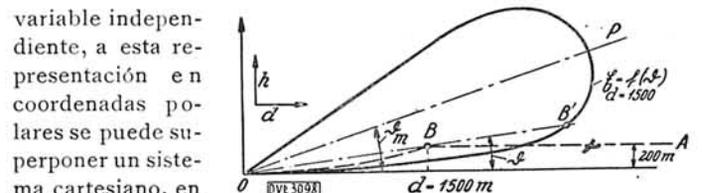


FIG. 20. — Representación esquemática del procedimiento de trayectoria de planeo.

variable independiente, a esta representación en coordenadas polares se puede superponer un sistema cartesiano, en el cual las abscisas sean las distancias d y las ordenadas las alturas de vuelo h . Pero para esto hay que tener en cuenta que la característica de radiación dada sólo es válida para una determinada distancia d , por ejemplo: para $d = 1.500$ metros. Si ahora un avión que viene de A entra a una altura de 200 metros aproximadamente, entonces, a medida que aumenta la intensidad de recepción, crecerán las desviaciones en el instrumento conectado a la salida del circuito receptor. Hay dos motivos para el aumento de la intensidad: la aproximación progresiva a la emisora ($\delta = \text{const.}$) y la aproximación al eje de la característica de radiación ($\Delta \delta > 0$ para $\delta < \delta_m$). Cuando ya el instrumento ha alcanzado una determinada desviación, por ejemplo: la mitad de la escala, entonces se manda el avión de tal modo que la posición del indicador (aguja) permanezca constante. Esta posición constante corresponde entonces a la constancia de la intensidad de recepción. En consecuencia, el avión debe moverse de modo que el aumento de la intensidad de recepción por aproximación a la emisora sea igual a la disminución de la intensidad por alejamiento del eje de la radiación OP (disminución del ángulo de elevación δ). De aquí resulta una curva de planeo que por aproximación al suelo se aplana considerablemente.

La solución práctica de esta idea se basa en la utilización de ondas ultracortas, pues éstas facilitan mucho la instalación a causa de las pequeñas dimensiones de la antena. En las experiencias realizadas en College Park, fueron empleadas longitudes de onda de 3,2 metros (93.700 Kiloherz). Para la concentración de la energía fueron utilizados ocho dipolos horizontales de la longitud de una semionda dispuestos en profundidad, de los cuales el más posterior constituye el reflector mientras que los seis anteriores son los destinados a la dirección. La séptima

(1) Otro procedimiento para la medida de capacidades muy pequeñas ha sido utilizado por H. Löwy [27] para la medida de la altura de vuelo.

antena está inmediatamente acoplada a la emisora y todas las demás son excitadas por acoplamiento de radiación (fig. 21). El eje principal de la característica de radiación *OP* está incli-

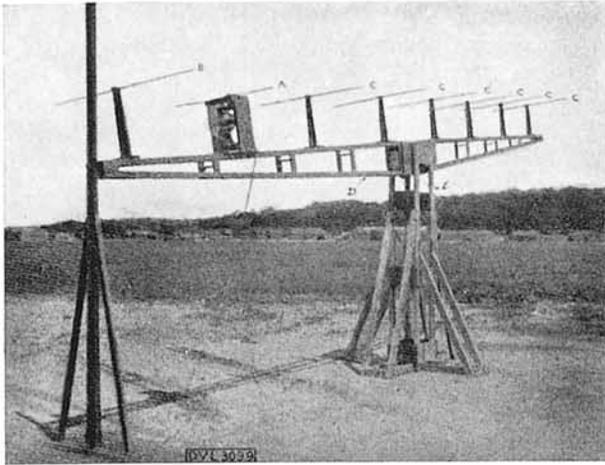


FIG. 21. — Dispositivo de emisión dirigida para el procedimiento de la trayectoria de planeo. A emisora con el dipolo, B reflector y C dipolos de dirección.

nado 8 grados respecto a la horizontal. Respecto al consumo de energía, para un alcance de diez kilómetros se consumen 500 vatios.

El dispositivo receptor consiste, como puede verse en la figura 22, en un dipolo horizontal que está conectado directamente



FIG. 22. — Receptor con dipolo horizontal para el procedimiento de la trayectoria de planeo y con antena vertical para el procedimiento del rayo-guía.

al audión receptor. Este está encerrado en una cubierta fuselada y situado sobre la superficie del ala y en la parte central de la misma. Las oscilaciones de frecuencia sonora son rectificadas a la salida del circuito receptor por medio de un rectificador de óxido de cobre, enviándose la corriente rectificada, así obtenida, al instrumento indicador.

Este dispositivo posee la ventaja de su gran sencillez. Durante el proceso del aterrizaje no hace falta realizar manejo alguno en dicho instrumento. La trayectoria de planeo puede ser adecuadamente seleccionada, bien modificando la sensibilidad del instrumento indicador o disminuyendo la amplificación.

En combinación con este procedimiento que marca la trayectoria de planeo, todavía se necesitan dispositivos que aseguren la dirección de entrada en vuelo al aeropuerto, es decir, que mantengan orientado al avión en el plano vertical en el cual yace el eje del rayo-guía. De tales dispositivos ya hemos hablado más arriba (véase la página 201).

En Alemania fué investigado y perfeccionado por el D. V. L. un procedimiento que marca la trayectoria de planeo, basándose en los trabajos de Diamond y Dunmore. Las experiencias de vuelo, empleando una instalación que trabajaba con una longitud de onda de 4,7 metros, fueron en todo lo fundamental satisfactorias, aunque las condiciones de la práctica exigen ciertas modificaciones sobre las cuales se está trabajando en la actualidad.

IV. — RESUMEN

La enorme importancia que para el tráfico aéreo tiene la realización a ciegas de un aterrizaje seguro, ha conducido a la invención de numerosos procedimientos cuyo objeto es facilitar el aterrizaje sin visibilidad. La mayoría de los procedimientos expuestos aquí no significan sino soluciones parciales a la totalidad compleja del problema. Así, por ejemplo, existen procedimientos especiales para fijar la trayectoria de vuelo, para determinar los límites del aeropuerto, para determinar la altura del vuelo, la altura inicial del aterrizaje y la determinación de la trayectoria de planeo; no obstante, para hacer un juicio de conjunto sobre todos estos procedimientos, haremos las siguientes observaciones con un carácter del todo general:

Por la propia naturaleza del asunto se comprende que el aterrizaje a ciegas valiéndose de instrumentos exige, si se le compara con el aterrizaje con visibilidad, una participación mucho más activa del piloto y, por lo tanto, para la valoración puramente práctica de cada uno de los procedimientos reseñados jugará un papel principalísimo lo intuitivo de las indicaciones y su claridad y precisión. Además, una condición imprescindible para su utilización es la seguridad en el funcionamiento, debiendo ser todos los instrumentos de a bordo ligeros y de reducidas dimensiones y no siendo necesario para su puesta en marcha más que el manejo de un sencillo conmutador para ponerlos en servicio o fuera de él.

En un gran número de los procedimientos y dispositivos experimentales aquí descritos falta todavía la comprobación práctica en vuelo, pero aunque no pueda decirse que ya se tiene una solución técnicamente satisfactoria se ha realizado hasta ahora un considerable trabajo preparatorio.

BIBLIOGRAFÍA

1. — *The Daniel Guggenheim Fund for the Promotion of Aeronautics, Inc.*: Solving the problem of flying. New York City, 1929.
2. — *The Daniel Guggenheim Fund for the Promotion of Aeronautics, Inc.*: Equipment used in experiments to solve the problem of fog flying. New York City, 1930.
3. — S. H. ALEXANDERSON: «The penetration of light through fog.» *Aviation*, New York, tomo 22 (1930), páginas 930-936.
4. — W. KÜLB: «Die Schwächung sichtbarer ultraroter Strahlung durch künstlichen Nebel und ihre Wirkung auf die Sicht.» *Ann. Physik*, 5 serie, tomo 11 (1931), páginas 679-726.
5. — H. FASSBENDER: *Hochfrequenztechnik in der Luftfahrt*. Berlín, 1932, Verlag von Julius Springer, páginas 307 y siguientes.
6. — M. H. GLOECKNER: *Ueber Flugfunkpeilungen*. DVL-Jahrbuch, 1930, páginas 571-578.
7. — M. H. GLOECKNER: *Beiträge zur Flugfunkpeilung*. DVL-Jahrbuch, 1931, páginas 672-678.
8. — H. DIAMOND, F. W. DUNMORE: «A radio beacon and receiving system for blind landing in aircraft.» *Bur. Stand. J. Res.*, tomo 5 (1930), páginas 897-931 — *Res. Pap.* Número 238. *Proc. Instn. Radio. Engr.*, tomo 19 (1931), páginas 585-626.
9. — «Pointer type course indicator for use with visual type radio range beacon developed.» *Air Commerce Bulletin* (1931), páginas 526-529.
10. — H. FASSBENDER: *Hochfrequenztechnik in der Luftfahrt* Berlín, 1932. Verlag von Julius Springer, páginas 386 y siguientes.
11. — M. BOURGONNIER: «Le guidage par ondes dirigées ou radio-routes.» *L'Onde Electrique*, tomo 8 (1929), páginas 469-484.
12. — J. ROBINSON: «Method of direction finding of wireless waves and its application to aerial and marine navigation.» *Radio Rev.*, tomo 1 (1920), páginas 213 y 265.

13. — F. BERNDORFER, M. DIECKMANN: «Unilaterales Peilwinkelzeigergerät mit rotierender Goniometer-Ankopplungsspule.» *Z. Hochfrequenztechn.*, tomo 35 (1930), núm. 3, páginas 98 a 105.

14. — R. HELL: «Direkt zeigendes funkentelegraphisches Peilverfahren.» *Z. Hochfrequenztechn.*, tomo 33 (1929), número 4, páginas 158-145.

15. — H. BUSIGNIES: «Appareils indicateurs donnant par lecture directe la direction d'une onde.» *L'Onde Electrique*, tomo 6 (1927), páginas 277-303.

16. — H. BUSIGNIES: «Un nouveau radio compass.» *L'Onde Electrique*, tomo 9 (1930), páginas 397-415.

17. — H. FASSBENDER, G. KURLBAUM: *Untersuchung der Leitkabelmethode zur Flugzeugpeilung.* DVL-Bericht. Entrega 14/I-3 (1928).

18. — C. COOCH: «Landing Aircraft in fog.» *J. Roy. Aeron. Soc.*, tomo 30 (1926), número 186, páginas 365-393.

19. — «Hanson announces fog landing device.» *Aviation.* New York, tomo 28 (1930), número 8, página 402.

20. — A. VERDURANT, J. BLAUCARD: «Utilisation des procédés Loth pour le guidage des avions par ondes Hertiennes.» *L'Aéronautique*, tomo 8 (1930), número 94, páginas 363-375.

21. — F. CELLER: «Landing blind.» *Aviation*, New York, tomo 30 (1931), número 12, páginas 699-700.

22. — H. GROMOLL: «Ueber ein elektrisches Verfahren für Flugplatzbegrenzungen zur Erleichterung von Blindlandungen.» *Hochfrequenztechn. und Elektroakustik*, tomo 40 (1932), núm. 2.

23. — E. SCHREIBER: *Das Behmlot für Flugzeuge und die ihm erzielte Genauigkeit.* 185. DVL-Bericht. DVL-Jahrbuch, 1930, páginas 483-490.

24. — E. SCHREIBER: *Messgenauigkeit des Behmlotes für Flugzeuge bei geringen Flughöhen.* 205. DVL-Bericht. ZFM., tomo 50 (1931), número 3, páginas 77-79, y DVL-Jahrbuch, 1931, páginas 591-593.

25. — C. F. GREEN: «Airplane flight aided by electricity.» *Electr. Engng.*, tomo 50 (1931), número 8, páginas 654-657.

26. — E. F. W. ALEXANDERSON: «Height of airplanes above the ground by radio echo.» *Radio Eng.*, tomo 9 (1929), páginas 34-35.

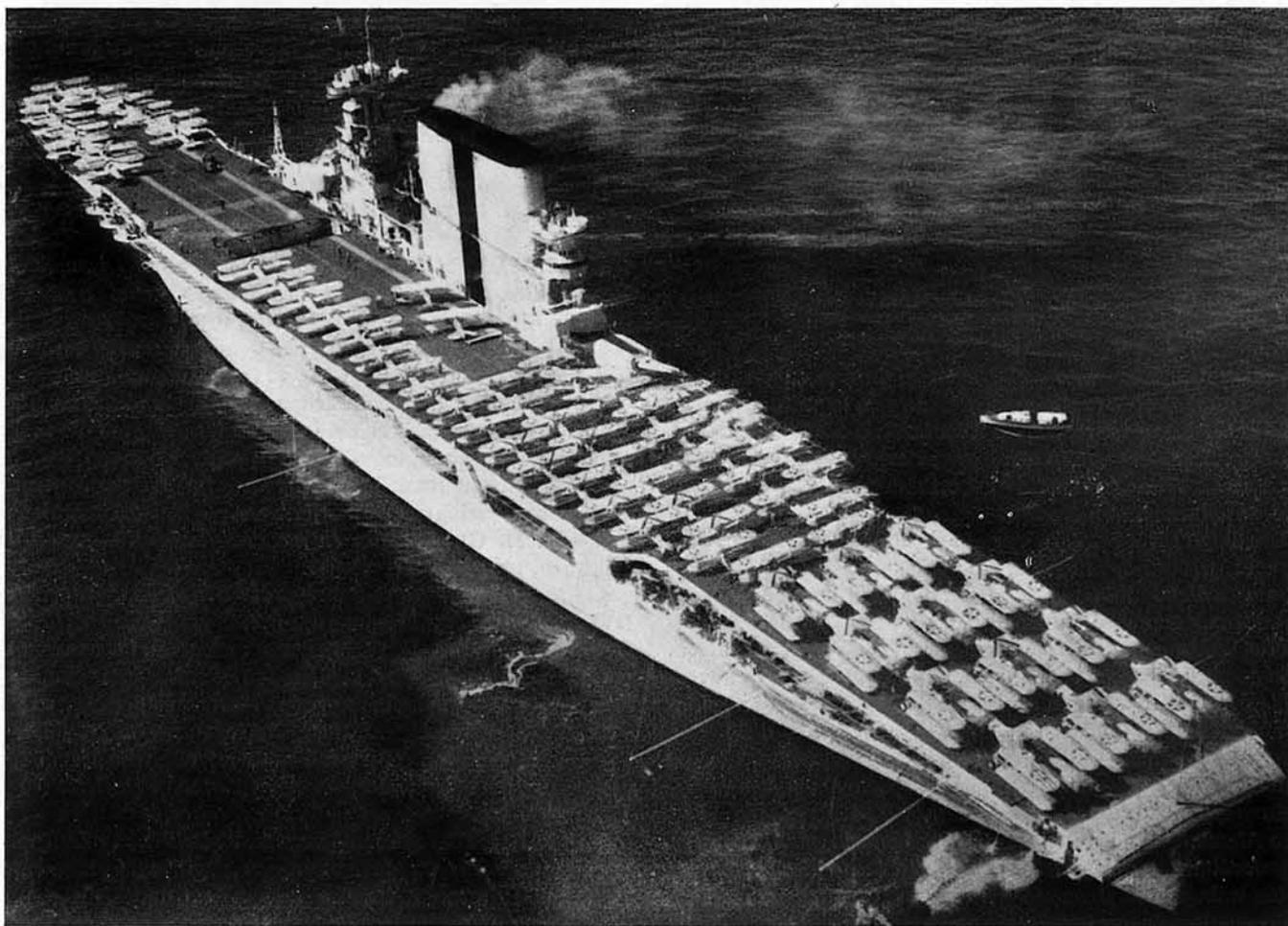
27. — H. LÖWY: «Bodendistanzmessung vom Luftschiff mittels Kapazitätsmethode.» *Physik. Z.*, tomo 26 (1925), número 18, páginas 646-654.

28. — L. A. HYLAND: «True altitude meters.» *Aviation*, New York, tomo 25 (1928), número 18, páginas 1.322-1.362.

29. — E. ALBERTI, W. KLEMPERER, H. LÖWY: «Ballonversuche über die Abhängigkeit der Antennenkapazität von der Bodendistanz.» *Physik. Z.*, tomo 26 (1925), número 18, páginas 644-646.

30. — E. FROMY: *Le guidage et le sondage aériens.* Premier Congrès international de la sécurité aeriennne, rapport 11, páginas 31-34.

31. — P. BESSON: «Procédés de radio alignement.» *L'Onde Electrique*, tomo 10 (1931), número 117, páginas 369-424.



La cubierta del portaviones norteamericano *Saratoga*, vista desde el aire en las recientes maniobras del Pacífico.