

Análisis de ayudas radio para navegación

Por LUIS DE AZCARRAGA PEREZ-CABALLERO

(Primer premio del tema de Técnica y Material Aéreo de nuestro V Concurso de Artículos.)

Entre los diversos aspectos de la técnica compleja de la Aeronáutica, ninguno, probablemente, ha sufrido en un período tan corto de tiempo una renovación tan extensa y por caminos tan diversos como las ayudas radioeléctricas; en los últimos cinco años se han producido tantas instalaciones nuevas, que el navegante aéreo necesita forzosamente repasar y encuadrar de nuevo sus ideas en este respecto.

El tema atrae por su interés técnico y por la significación que hoy día las ayudas en tierra tienen en el rendimiento definitivo de la navegación. En el orden militar, como en el orden civil, la regularidad del vuelo y la continuidad potencial del mismo son condiciones imprescindibles. Vencer los obstáculos atmosféricos por mejora de los sistemas de navegación, ha sido, y sigue siendo, un propósito tenaz del navegante aéreo desde que se comenzó a volar; tanto como ha sido el propósito del constructor de aviones y motores el lograr seguridad de funcionamiento y radio de acción tales que el avión pudiera vencer los obstáculos geográficos. Hasta hace poco tiempo se había avanzado más en el logro de aviones y motores que en el de equipos auxiliares de la navegación; pero en estos últimos cinco años se ha producido tal cantidad de nuevas instalaciones, que la dificultad de hoy consiste en una selección adecuada del material.

Entendemos que en este tema predomina el interés general. Se nos presentaba la duda entre elegir un examen general del problema o, por el contrario, el análisis técnico de alguna de las instalaciones aprovechables. Este último camino nos ha parecido árido, demasiado extenso y de interés relativo, salvo para los muy especializados en el problema; en general, interesa de la técnica aquello que se refiere a la economía del servicio, pero no al razonamiento matemático por el que se deduce una instalación. Por esto hemos elegido el camino del examen general de las condiciones y de las tendencias, y, a fin de centrar el examen en lo posible, he-

mos tomado como meta la deducción de cuál sistema puede ser más útil para la red española.

El problema tiene los siguientes aspectos a considerar:

- 1.º Elección del sistema de navegación desde el punto de vista del navegante, es decir, atendiendo la presentación de los datos a bordo de la aeronave, para que su interpretación sea lo más rápida y automática posible, eludiendo, en lo que cabe, el error de interpretación o cálculo por parte del hombre.
- 2.º Dentro del sistema de navegación y del género de ayuda que se requiera, elección del tipo de esta ayuda en cuanto a sus características propias, de tal manera que produzca el equipo un funcionamiento seguro, estable y económico.
- 3.º Finalmente, posibilidad de establecer un sistema coherente para vigilancia y gobierno de la circulación aérea, con la consiguiente diversidad de medios, según se trate de la navegación en vuelo de crucero o, por el contrario, se trate de las maniobras de recalada y aterrizaje, o de las de despegue y alejamiento, en la jurisdicción propia de un aeródromo.

Damos por admitido que la base es una sola cuando no es posible la observación directa del terreno; nos referimos a la navegación a estima, en la cual, y dentro de la precisión de los medios que se tengan, se estima la posición de un plan de vuelo previamente concebido. Sobre esa base entran los diversos métodos que comprueban si la estima es o no acertada: métodos radioeléctricos, astronómicos, etc. En un planteamiento total del caso cabría un procedimiento diferente, que consiste, no en comprobar una estima, sino en presentar gráficamente y a la vista del navegante todo el camino recorrido, de tal manera que en cada momento se supiera el lugar donde se encuentra; equivaldría esto a suplir la observación directa del suelo. Esto ya se ha intentado en los buques, con relativamente

poco éxito, y no es fácil que en el avión pueda obtenerse mejor resultado, dadas las causas de error para medir la ruta y la distancia recorrida, ya que intervienen el viento, la altura, la temperatura y presión ambiente y los errores instrumentales de los aparatos de medida. En cierto modo, éste es el método de navegación que se sigue con los proyectiles y aviones dirigidos desde el suelo; pero por el momento no le dedicamos atención, por creer que en algún tiempo no tendrá inmediato aprovechamiento en el avión corriente.

Examinamos aquí solamente—y ya es bastante, por su extensión—el caso de las ayudas radioeléctricas tales que proporcionan a la navegación informes independientes en cada momento, aunque puedan ser de constante lectura a bordo. Se trata de lograr medios que de una

manera inmediata y automática, si es posible, obtengan el dato exacto de la posición en el momento que se desee y sin necesidad de ligar esa operación a otros momentos anteriores o posteriores. Aun reducido así el problema, el campo es demasiado extenso, y procede comenzar con cierta clasificación que encaje las líneas del estudio.

En lo que al navegante concierne, es decir, en lo que respecta a la primera de las consideraciones que hemos señalado como base del problema, interesa clasificar los equipos según el género de coordenadas con las que se determina la posición de la aeronave. En realidad, son cuatro los tipos: coordenadas angulares, o sea, líneas de posición por simple medición de ángulos; coordenadas por mediciones absolutas de distancias a dos lugares conocidos; coordenadas

CUADRO NUM. 1.—CLASIFICACION DE AYUDAS DE NAVEGACION

<p>1.^a Zona.—DE NAVEGACIÓN A LARGA DISTANCIA.</p> <p>a) <i>Coordenadas angulares o radiales:</i> Adcock de onda corta. Radiofaro Sol. Consol. Federal omni-beacon.</p> <p>b) <i>Coordenadas hiperbólicas:</i> Loran L. F. Decca. P. O. P. I.</p>	<p>Radio-guía omnidireccional. Navaglobo. Rebecca-Eureka.</p> <p>b) <i>Coordenadas hiperbólicas convertidas en radiales:</i> Gee corta base. P. O. P. I.</p> <p>c) <i>Coordenadas polares:</i> BABS. GCA. Teleran. Navascopio. Omni-range con DME.</p> <p>d) <i>Líneas de distancia (círculos de espera):</i> Shoran. Computadores DME. Todos los radiotelémetros.</p>
<p>2.^a Zona.—DE NAVEGACIÓN A CORTA DISTANCIA.</p> <p>a) <i>Coordenadas angulares o radiales:</i> Radiogoniómetro normal. Adcock de onda media. Radio-faros no direccionales. Radio-guía omnidireccional. Navaglobo.</p> <p>b) <i>Coordenadas de distancia:</i> Oboe.</p> <p>c) <i>Coordenadas hiperbólicas:</i> Standard Loran. Gee. Raydist.</p> <p>d) <i>Coordenadas polares:</i> Omni-range con DME.</p> <p>DE RECALADA.</p> <p>a) <i>Coordenadas angulares o radiales:</i> Radiogoniómetro normal. Adcock onda media. Radio-guía de cuatro haces. Radio-faro no direccional. Radio-faro Sol.</p>	<p>3.^a Zona.—DE AERÓDROMO (ATERRIZAJES Y VIGILANCIA DEL ESPACIO).</p> <p>a) <i>Coordenadas angulares:</i> Radiogoniómetro normal. Radiogoniómetro de onda corta.</p> <p>b) <i>Coordenadas angulares y balizas de distancia:</i> Radio-faro de aterrizaje Bake, o SBA. Radio-faro de aterrizaje SCS-51.</p> <p>c) <i>Materialización de camino:</i> Aterrizaje instrumental ILS. Navalglide.</p> <p>d) <i>Coordenadas polares:</i> BABS. G. C. A. P. P. I.</p>

CUADRO NUM. 2.—COMPARACION DE EQUIPOS DE NAVEGACION

REFERENCIAS	SISTEMAS DE ANGULO				SISTEMAS DE DISTANCIA			
	Recepción direccional		Emisión direccional		Medición absoluta		Medición de diferencias	
Emisor principal colocado.....	Sí en tierra.	Sí en avión.	Sí en tierra.	Sí en avión.	Sí en tierra.	Sí en avión.	Sí en tierra.	Sí en avión.
Tipos.....	Radiogoniómetro; Radio-compás.	Radiogoniómetro.	Radioguías; Sol; Navalglobo.	Parte direccional del radar.	Oboe.	DME, Shoran.	Gee; Loran; Decca; Popi.	Micro-H.
¿Independiente de la brújula?.....	No.	Sí.	Sí.	No.	Sí.	Sí.	Sí.	Sí.
¿Observación directa en avión?.....	Sí.	No.	Sí.	Sí.	No.	Sí.	Sí.	No.
¿Se basta el sistema por sí mismo?.....	No.	No.	Sí.	No.	No.	Sí.	Sí.	No.
Número de maniobras (o enlaces de radio) para decidir una línea de posición:								
De tierra al avión.....	1	1	1	1	2	1	2	1
De tierra a otra en tierra.....	0	0	0	0	0	0	1	1
Del avión a tierra.....	1	1	0	1	1	1	0	2
TOTALES.....	2	2	1	2	3	2	3	4
Idem para decidir posición.....	2	4	2	4	3	4	3	4
¿Util para larga distancia?.....	No.	No.	Sí.	No.	No.	No.	Sí.	No.

polares, es decir, ángulos y distancia sobre un solo lugar, y, finalmente, coordenadas hiperbólicas, es decir, familias de hipérbolas correspondientes a lugares diferentes. Sin embargo, no se obtiene así un esquema completamente claro con arreglo al principio hoy en uso en la navegación moderna, y por esto hemos intentado una mayor subdivisión.

La navegación aérea, en su carácter moderno, es decir, supuesta una ordenación o una acumulación del tráfico, divide, como ya es sabido, el espacio aéreo en tres zonas esenciales: la zona de navegación propiamente dicha, la zona de recalada y la zona de aeródromo. Esta división es igualmente útil para el vuelo con carácter comercial, sobre una ruta concurrida, que para

el vuelo con carácter militar cuando se trata de acumular gran cantidad de aviones sobre un determinado objetivo; en el fondo, en uno y otro caso se resuelve el mismo problema, que es el de economía de medios, economía de combustible y economía de aeródromos, para evitar saturaciones. A cada una de esas zonas corresponden requerimientos diferentes, los cuales pueden servirse con diferentes sistemas de coordenadas. El propósito del cuadro núm. 1 ha sido el de clasificar así todas las ayudas de navegación que hoy existen en uso normal.

Un examen detenido de cada una de estas instalaciones nos daría evidentemente un índice de utilidad desde el punto de vista de la navegación aérea. No es este un problema que se

pueda acometer íntegramente en el marco de estas líneas, porque su extensión rebasa con mucho el actual propósito; pero sí, a modo informativo, puede resumirse el problema de la zona de navegación en un cuestionario relativamente simple, como es el que corresponde al cuadro número 2.

En el cuadro núm. 2, las preguntas se limitan a considerar: si el navegante necesita o no el concurso de la brújula; si obtiene él mismo la observación o si, por el contrario, se la deben dar desde tierra; si el sistema se basta o no por sí mismo para obtener totalmente una posición; y, finalmente, si el sistema es o no útil para largas distancias; porque, según esta respuesta, podría servir como base de integración para una red de conjunto que resolviera todos los problemas de la navegación. Para complemento de esas preguntas se indica también el número de operaciones necesarias para decidir una línea de posición, y una posición completa.

A diferencia de las instalaciones de navegación, las de recalada, según se advierte en el cuadro núm. 1, corresponden, en su mayor parte, a coordenadas angulares o coordenadas polares, porque la maniobra de recalada se favorece si el navegante tiene una referencia gráfica para dirigirse al punto de destino. Esto es lo que hace nuestra Escuela Superior del Vuelo con las marcaciones QDM.

Hecha esta clasificación, viene después la segunda consideración, es decir, cuáles son los tipos de ayudas que por sus características propias pueden satisfacer mejor, proporcionando un equipo que técnicamente sea seguro, estable y económico. Aparecen así cinco grupos de ayudas radioeléctricas, que son, respectivamente: los sistemas de recepción direccional, los de emisión direccional, los que miden distancias absolutas, los que miden diferencias o relación de valores y, finalmente, los que permiten una representación gráfica del suelo y del espacio aéreo, dando al piloto la ocasión de "ver" o de imaginar la posición suya respectivamente al terreno o a otros aviones. No es necesario subdividir más esta clasificación, pues para nuestro objeto no importa cuál es el principio radioeléctrico en que se funda la instalación; por ejemplo, si es emisión de onda continua o si es emisión de impulsos tipo radar. Así hemos compuesto el cuadro núm. 3.

Con estos tres esquemas de clasificación entramos ya de lleno en el tema, sin perder de vista la tercera de las consideraciones citadas, es

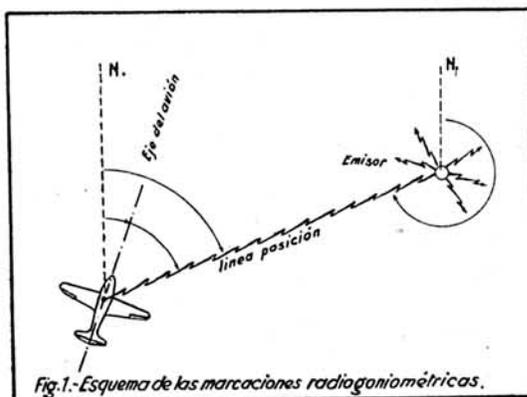
decir, la posibilidad de coordinar los diversos equipos en un sistema coherente, para vigilancia y gobierno de la circulación aérea.

Instalaciones radiogoniométricas. — La base hoy de casi todas las redes europeas, y entre ellas la española, se encuentra en las instalaciones que tienen por fundamento la recepción direccional, es decir, la obtención de línea de posición por medio de radiogoniómetros o radiocompases, como se ve en la figura 1.^a. Por ser equipos muy conocidos, no precisa definirlos técnicamente. Puede tomarse como ecuación básica:

$$V = \text{amplitud} = \frac{2 \pi S}{\lambda} E \cdot \cos \alpha,$$

con λ longitud de onda y α ángulo entre el plano de antena y la dirección de propagación. Esta ecuación da, en función de α , el diagrama típico en forma de ocho con dos máximos y dos mínimos.

En el orden técnico, los radiogoniómetros adolecen de falta de precisión y de falta de regularidad; en la OACI se reconoce útil una marcación con 14° de error. Acusan, además, notable diferencia según la relativa posición de la antena móvil del avión, y también según las perturbaciones atmosféricas y la hora del día; tal es el efecto crepuscular. Entre los equipos modernos en tierra que tratan de evitar estos errores, el radiogoniómetro Adcock tiene gran aceptación, y podría resolver el problema si no es por otra dificultad genérica, como es que en la red de tierra es preciso coordinar el trabajo simultáneo por lo menos de dos radiogoniómetros, con riesgo de saturación relativamente fácil. Usando radiocompases a bordo es posible el uso de dos radiofaros a la vez y no están sujetos a saturación; pero persisten las causas de falta de precisión.



CUADRO NUM. 3.—CLASIFICACION TECNICA DE AYUDAS DE NAVEGACION

Primer grupo.—SISTEMAS DE RECEPCIÓN DIRECCIONAL.

Posición por intersección de líneas (marcaciones) determinadas por medición de ángulos.

EN TIERRA

A BORDO

a) *Receptor en tierra, emisor a bordo:*

Radiogoniómetro de aro de onda media (O. M.)	Emisor normal de onda media.
Radiogoniómetro Adcock de O. M.	Idem íd.
Radiogoniómetro Adcock onda corta (O. C.)	Idem onda corta.
Radiogoniómetro onda muy corta con marcación visual automática	Idem onda muy corta.

b) *Receptor a bordo, emisor en tierra:*

Radio-faro no direccional (O. M.)	Radiogoniómetro de aro o de bobina.
Estación normal de radiodifusión	Idem íd.
Radio-faro no direccional (O. M.)	Radiogoniómetro automático o radio-compás.

c) *Receptor y emisor a bordo:*

Eureka, emisor radar de respuestas	Rebecca, emisor radar y receptor de la respuesta.
--	---

Segundo grupo.—SISTEMAS DE EMISIÓN DIRECCIONAL.

Posición por intersección de líneas (marcaciones) determinadas por medición de ángulos.

a) *De cobertura limitada:*

Radio-guía de dos haces (O. M.)	Receptor normal.
Radio-faro de aterrizajes (O. C.), tipos Bake, SBA, SCS-51, ILS, Navalglide	Receptor especial con indicación visual y por sonido.
Balizas verticales	Receptor especial.

b) *De cobertura total:*

Radio-guía omnidireccional (C. A. A.) Omni-Range	Receptor con contador azimutal.
Navalglobo	Idem íd.

c) *De cobertura mixta, según periodos:*

Radio-faro Sol (Sonne)	Receptor normal O. M.
Consol	Idem íd.
Federal Omni-beacon	Idem íd.
Orfordness-Range (radio-faro giratorio)	Receptor normal y cronómetro.

Tercer grupo.—A) SISTEMAS DE MEDICIÓN DE DISTANCIAS.

Posición por intersección de líneas de distancia a dos o más lugares.

a) *De impulsos por eco:*

Nada	Shoran, emisor y receptor.
Oboe, con radiocalizadores y retransmisión de resultado	Receptor.
Radiocalizadores normales con retransmisión de resultados	Receptor de comunicaciones.
Radiocalizador con antena de circunvalación (P. P. I.), con retransmisión de resultados	Idem íd.

b) *De impulsos con respuestas:*

Emisor de respuesta	Computador de distancias, emisor principal y receptor de la respuesta.
Emisor y receptor para identificación de aviones (I. F. F.)	Emisor de respuesta.

c) *Por modulación de fase o frecuencia:*

Nada	Radio-altímetro, con emisor y con receptor visual.
Emisor de respuesta	Computador de distancias (D. M. E.),

Tercer grupo.—B) SISTEMAS QUE MIDEN A LA VEZ ÁNGULO Y DISTANCIA.

Posición en coordenadas polares en un solo lugar.

EN TIERRA	A BORDO
a) <i>Obtención a bordo:</i>	
BABS, emisor de respuesta	BABS, emisor principal y receptor con indicación visual de la respuesta.
Nada	Radiotelémetro.
Emisor de respuesta	Navalglide, receptor con indicador visual.
b) <i>Obtención en tierra:</i>	
G. C. A., para vigilancia general del espacio aéreo, con medición de alturas y distancias y retransmisión de resultados.	Receptor normal en fonía.
Radio-telémetro, con retransmisión de resultado	Idem íd.

Cuarto grupo.—SISTEMAS QUE MIDEN DIFERENCIAS DE DISTANCIAS.

a) <i>Por emisión de impulsos:</i>	
L. F. Loran, una emisora principal y dos esclavas	Receptor especial.
Standard Loran y GEE (O. C.), una emisora y dos esclavas ...	Idem íd.
GEE de corta base	Idem íd.
b) <i>Por diferencia de fase:</i>	
DECCA, una emisora principal y dos esclavas	Receptor especial por computadores.
P. O. P. I., tres emisoras muy próximas	Idem íd.
Raydist, tres estaciones receptoras trabajando en parejas ...	Micro-H., emisor.

Quinto grupo.—SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ESPACIO AÉREO.

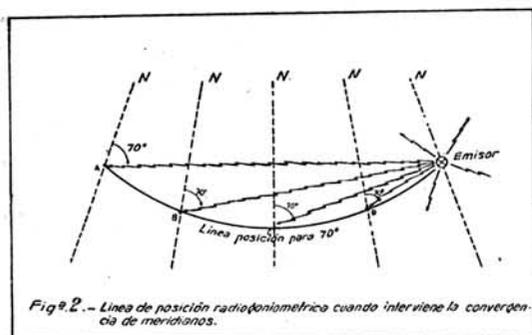
Posición relativa a otros aviones o a lugares identificados en tierra.

a) <i>Obtención de a bordo:</i>	
Nada	H2.S, emisor y receptor de eco con representación gráfica del terreno.
Nada	Radar de tormentas.
Nada	Radar anti-colisiones, con representación gráfica del espacio aéreo.
b) <i>Obtención en tierra con retransmisión a bordo:</i>	
Telerán, radiolocalizador o P. P. I., con emisor de televisión ...	Receptor de televisión.
Navascopio, radiolocalizador o P. P. I., con retransmisor radar a distancia	Pantalla radar.

En orden a la navegación, son aún mayores las dificultades. En primer lugar, no se obtiene una indicación automática de posición, puesto que se precisa la intersección de dos o más marcaciones que previamente hay que trasladar al plano. En segundo lugar, no es la posición en sí lo único que interesa al navegante, sino la rapidez con que de esta posición puede deducir los datos de navegación para el recorrido que le falta por realizar, y esto, a ser posible, evitando cálculos sujetos a error; esto lo puede proporcionar el radiogoniómetro a cortas distancias, cuando prácticamente se transforma en radioguíta trabajando por el método QDM.

Existe hoy acusada tendencia al uso de radiofaros en tierra, con radio-compases a bordo;

pero a largas distancias, entre avión y radiofaro, hay que contar con la convergencia de meridianos, puesto que siguiendo la emisión radio un arco de círculo máximo, forma ángulos diferentes con los diversos meridianos. A bordo del avión la marcación es el ángulo de la emisión radio con el N., previa corrección del cambio de brújula; para trasladar el dato al punto conocido, que es la estación en tierra, cuando se trata de distancias mayores de 300 kilómetros interviene la esfericidad de la Tierra, y es necesario corregir por la convergencia de meridianos, pero puesto que no se conoce la posición del avión y su diferencia de longitud con la estación de tierra, no puede ser exacta dicha corrección. El radiocompás así resulta más útil para comprobar la estima, cuando se conoce



aproximadamente la posición del avión, que para determinar automáticamente dicha posición.

Resulta también una diferencia sustancial entre las marcaciones radiogoniométricas halladas en tierra, o en el avión. En tierra la línea de posición coincide con la marcación; es, pues, el arco de círculo máximo, cuyo trazado se facilita empleando cartografía en proyección gnomónica, salvo para cortas distancias en que puede emplearse la Lambert. Desde el avión, en cambio, la línea de posición no es un círculo máximo, como lo aclara la fig. 2, sino la línea que une los puntos de tierra que marcarían al emisor con el mismo ángulo; dicha nueva línea es, en general, difícil de trazar en la cartografía al uso.

Podemos deducir, en consecuencia, que no son los procedimientos radiogoniométricos, es decir, los equipos de recepción dirigida los que pueden tomarse como base fundamental de un sistema, aunque, desde luego, y por la simplicidad del equipo de a bordo, pueden ser siempre excelentes auxiliares. Frente a ellos llevan ventaja los sistemas de emisión dirigida o los de navegación hiperbólica.

Radio-guías.—Los sistemas de emisión direccional se fundan en la emisión de señales, que son diferenciables según la dirección en que se propagan. La propiedad direccional de la emisión se consigue por antenas especiales o por conjuntos de antenas convenientemente espaciadas y diferenciadas en fase, como en forma análoga sucede en óptica y en acústica, cuando movimientos ondulatorios de orígenes diversos se anulan o se refuerzan entre sí, según las combinaciones de fase a lo largo de una dirección.

Empleando ondas de muy alta frecuencia—como en el radar—se consiguen antenas directivas, que producen un haz estrecho, y que son

a la vez de tamaño físico bastante reducido para poder girar cambiando la orientación del haz. En cambio, la emisión, por tratarse de ondas muy cortas, viene limitada por los obstáculos físicos.

Para frecuencias más bajas, el efecto direccional se consigue por la relación de intensidades con que llegan al observador, señales emitidas por dos o más antenas. La rotación física se sustituye por variación de la excitación eléctrica de las antenas, cambiando la intensidad o la fase. El receptor trabaja, a su vez, con las dos o más señales emitidas, a cuyo fin de diferenciación cada señal tiene una modulación característica, o cualquier otro medio de identificación.

El más empleado hasta hoy de los emisores direccionales es el radio-guía de cuatro haces, que indica la figura 3; en España lo tiene el aeropuerto de Barajas. Utiliza las direcciones en que las señales son de igual intensidad. Su precisión viene dada por

$$\omega \approx \arctan \frac{(1 - \eta) \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\eta \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta};$$

siendo η la relación de intensidades con que se reciben las señales en la dirección en que se valora la precisión. En la figura 3, siendo igual la potencia en las dos antenas y éstas perpendiculares entre sí, $\alpha = \pi - \beta = 45^\circ$. Las señales se diferencian por letras complementarias en Morse; por ejemplo, *a* y *n*.

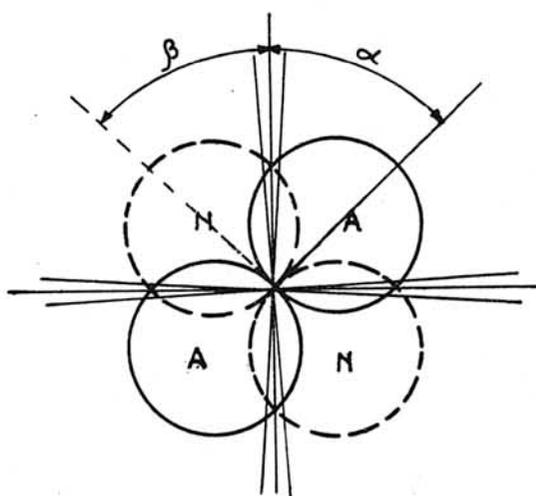


Fig. 3.—Radio-guía de cuatro haces, con dos emisiones en forma de ocho.

Para fines de navegación no es suficiente el radio-guía de cuatro haces, ni por su limitación de direcciones, ni porque, siendo iguales los cuatro haces, un piloto desorientado necesita tiempo y maniobra para aclarar su situación. Si en lugar de utilizar para el radio-guía solamente las direcciones en que las señales alternativas son iguales, utilizamos todos los puntos en los cuales las señales alternativas se conservan en una relación mensurable, aparecen otros tipos de radio-guías que proporcionan gran número de direcciones útiles. No puede conseguirse la vuelta completa de horizonte con sólo un par de antenas, porque, por ejemplo, en las zonas de emisión de valores mínimos las señales resultan demasiado débiles. Esto es lo que sucede con el radiofaro "Sol" usado en España, cuya descripción, desde el punto de vista del navegante, podemos ahorrar, porque está contenida en un folleto especialmente publicado por la Dirección General de Protección de Vuelo. Basta simplemente con aclarar que a fines de identificación la radiación de señales complementarias se hace alternando rayas y puntos, mientras que gradualmente, y a lo largo de un cierto tiempo—que en unos equipos es un minuto y en otros medio minuto—, se producen también graduales cambios de fase, y el resultado es que, según el lugar en que el observador se encuentre, oye una particular proporción de puntos y de rayas. La figura 4 indica para este radiofaro "Sol" la representación de la ecuación

$$E = E_0 \left[1 + 2 q C \cdot \text{sen} \left(\Phi - 2 \pi \frac{l - \text{sen } \varphi}{l} \right) \right]$$

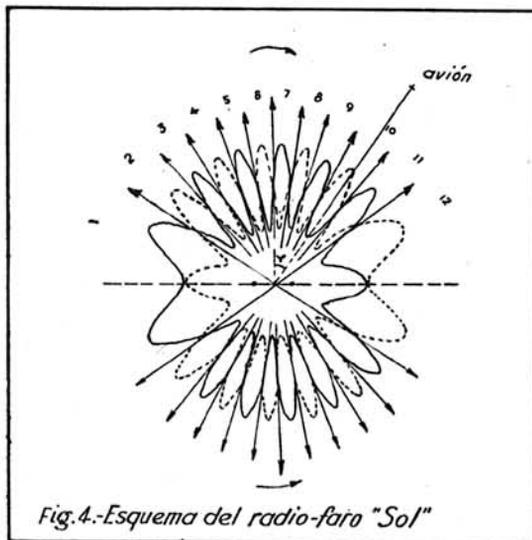


Fig. 4.-Esquema del radio-faro "Sol"

que es la amplitud del campo en la antena receptora, correspondiendo Φ a la variación de fase en el emisor, y φ al azimut respecto a la perpendicular a la línea de antenas. La curva llena es para $C = +1$; de puntos, $C = -1$.

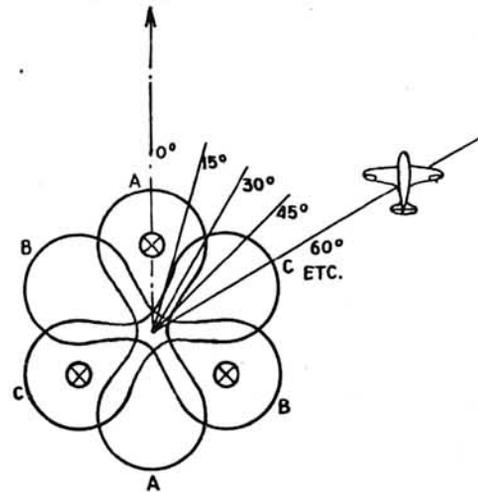


Fig. 5.—Esquema característico del Navalglobo.

Si se quieren recubrir completamente los 360° de horizonte, son necesarias, como mínimo, tres antenas. La Civil Aeronautics Administration, de los Estados Unidos, tiene ya en uso un radio-guía omnidireccional. Emplea ondas de frecuencia mucho más elevada que las que se usan en el radioguía típico de cuatro haces. Usa cuatro antenas, formando un cuadro, y una más en el centro, y el efecto de rotación uniforme se obtiene eléctricamente por rotación de pequeños goniómetros. Por excitación de cada par de antenas en diagonal, junto con la central, resulta un efecto similar al de un cardioide girando uniformemente. A la vez que este efecto direccional, hay otra emisión modulada en frecuencia procedente de la antena central, que no tiene efecto direccional y que sirve de referencia.

Este radio-guía omnidireccional de la CAA es hoy, y según los acuerdos de la OACI, el reglamentario a fines de recalada en todos los aeropuertos internacionales. Sin embargo, a causa de la onda que emplea, no sirve para largas distancias, como en cambio sirve el radiofaro "Sol", y como servirá en su día cuando esté completamente desarrollado, el sistema Navalglobo. El Navalglobo, como lo muestra la figura 5, tiene como origen tres antenas formando triángulo; la separación entre ellas es más o

menos 0,4 de la longitud de onda. Cada par de antenas está igualmente excitado, resultando tres señales radiadas en rápida sucesión. La intensidad relativa de cada eco depende de la dirección del receptor respecto al centro de gravedad del triángulo formado por las antenas. A lo largo de cada línea recta desde ese centro de gravedad, la intensidad relativa de las tres señales permanece constante, tanto si las señales son fuertes como si son débiles, según la distancia.

Descrita así de modo general, en que consiste la técnica del radio-guía, se advierten fácilmente las ventajas desde el punto de vista operativo o de la navegación. En primer lugar, y a diferencia de lo que pasa con los radiogoniómetros, la información para el piloto viene directa y automáticamente dada por la emisión que el avión recibe, proporcionando así una línea de posición, que es un arco de círculo máximo y que puede llevarse fácilmente a una carta en proyección Lambert o en proyección gnomónica.

En segundo lugar, y puesto que la posición está dada por la intersección de dos marcaciones que se obtienen directamente, puede lograrse un procedimiento mecánico para que de una manera también automática se lean la longitud y latitud correspondiente a la posición geográfica, supuesto se conoce la situación de las estaciones en tierra. En tercer lugar, puesto que las líneas de posición son arcos de círculo máximo, o bien prácticamente líneas rectas para cortas distancias, sirven para que el piloto las siga como líneas de tráfico, utilizándose perfectamente para recaladas. Finalmente, si el radio-guía empleado es omnidireccional, como el CAA o como el Navalglobo, el piloto puede, para llegar a su punto de destino, elegir el camino que desee; lo que es muy importante a fines de gobierno de la circulación aérea, para dar diferente entrada a los aviones cuando coincidan muchos de estos con mal tiempo sobre un mismo lugar.

Esto último no puede hacerse con el radiofaro "Sol" más que en determinados sectores, pero cubren éstos tanta parte del horizonte, que prácticamente resuelven por completo el mismo problema. Por otra parte, el radiofaro "Sol" ha demostrado en la práctica que aprovecha de tal modo la energía en la antena, que los alcances son considerablemente grandes. Además, con el radiofaro "Sol" no es necesario hacer uso de

ningún receptor especial a bordo del avión, basando con el receptor corriente de onda normal. Tiene, sin embargo, el inconveniente de que la marcación no es directa, y hasta ahora no se ha podido dar al piloto de una manera automática en un instrumento a bordo de la cabina.

Con el radio-guía siguen siendo necesarias dos instalaciones para obtener la posición de la aeronave, puesto que son necesarias dos líneas de posición que se cruzan. En una red normal esto no tiene mayor importancia, ya que, generalmente, habrá ocasión de lograr este apareamiento de estaciones, pero en ciertas circunstancias ello puede ser imposible. Por ejemplo, lo es cuando se trata de grandes espacios marítimos, con pocas islas o con islas alejadas entre sí. En el aspecto militar, asimismo, puede convenir en muchas ocasiones que no sea necesario situar dos instalaciones, sino que una sola resuelva el problema. Es de esta manera como entran en consideración los sistemas de navegación por coordenadas polares, o sea aquellos que con un sólo equipo y emplazamiento consiguen el dato de dirección y el de distancia.

Radio-localización de distancias.—El principio en cuanto a la dirección es muy parecido al de los radio-guías, puesto que consisten en la emisión direccional de un rayo. En esto, pues, no es necesario que nos entretengamos especialmente.

La distancia se determina siempre midiendo el tiempo que tarda una onda radio en recorrer el camino entre el avión y un lugar conocido en el suelo; el tipo de instalación depende del procedimiento para medir ese tiempo. Si no nos preocupamos en el equipo de medir direcciones, sino solamente distancias, resulta la navegación por distancia absoluta; las líneas de posición son círculos centrados en el lugar desde donde se mide la distancia. El sistema típico es el Shoran, y se representa en esquema en la figura 6; en el Shoran, el emisor está a bordo del avión. Podría estar en la estación de tierra y ser ésta la que midiera la distancia y la trasladara al avión, o podría, finalmente, no utilizarse el eco, sino que al emisor de a bordo o de tierra respondiera otro emisor diferente situado, respectivamente, en tierra o a bordo. Aparecen así los sistemas Oboe, empleado en bombardeo; los IFF para identificación de amigo o enemigo, y los Raccon, de identificación de objetivos.

Puesto que la medición a distancia consiste

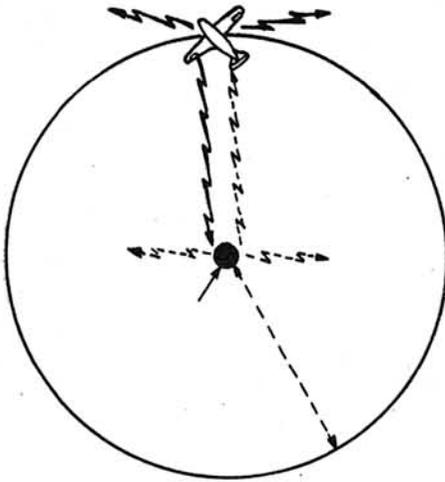


Fig. 6.—Shoran mide distancias (líneas de posición circulares) por el eco en tierra de una emisión del avión.

en la medición del tiempo que tarda una onda radio en recorrer un cierto camino, es necesario conseguir la identificación de esa onda por radio. La identificación puede hacerse por emisión de impulsos; pero puede hacerse también por emisión de onda continua, midiendo en este caso la diferencia de fase, o variando constantemente en la emisión la frecuencia de la onda. Es decir, que podemos identificar un impulso, una frecuencia o una fase, y así aparecen sistemas diferentes.

El radar se distingue porque usa impulsos que se recogen, después del eco o la respuesta, por medio de una pantalla de rayos catódicos. Siendo ya conocido el principio fundamental del radar, podemos ahorrarnos un examen detenido. La figura 7 es el esquema de la emisión de impulsos o destellos, característica del radar,

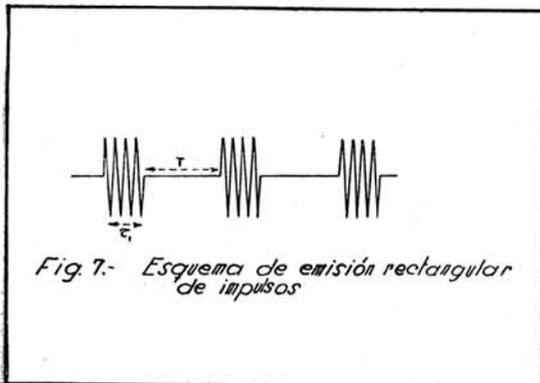


Fig. 7.— Esquema de emisión rectangular de impulsos

que permite acumulación de energía en determinados momentos con arreglo a la fórmula

$$W_m = W_o \frac{\tau}{T}$$

que liga la potencia media W_m con la máxima W_o . El tiempo se mide directamente en la pantalla por la distancia que existe entre la marcha luminosa del eco y una referencia fija, en una escala que puede ser horizontal, vertical o circular. Si para una estación situada en tierra

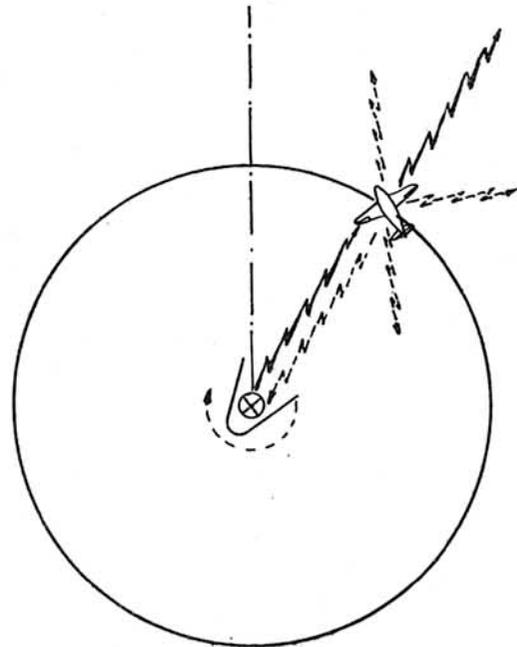
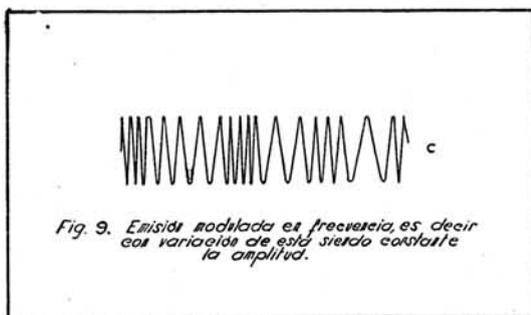


Fig. 8.—Una estación en tierra con antena giratoria mantiene en vigilancia el espacio aéreo, obteniendo, a la vez, dirección y distancia a los aviones.

la antena gira físicamente, tal como se indica esquemáticamente en la figura 8, aparece así el llamado radar de vigilancia, o también pantalla de circunvalación, en la que se representan visualmente los ecos que aparecen en los 360° de horizonte. Esto mismo puede obtenerse a bordo del avión, como en el equipo H2.S, pero entonces las direcciones vienen dadas en relación al eje del avión, y será necesario introducir la corrección de brújula.

En la modulación de frecuencia están basados los radio-altímetros. Consisten, como ya se ha dicho, en la identificación de la onda, por su especial longitud o frecuencia, supuesto que



el emisor lanza una onda continua, cuya frecuencia o longitud va variando gradualmente. Véase a este respecto la figura 9. En este caso la ecuación básica es:

$$\text{Distancia} = r = \frac{1}{2} c T \frac{\Delta \nu}{\nu_2 - \nu_1};$$

donde $\frac{\nu_2 - \nu_1}{T}$ es la constante de modulación que identifica a la estación emisora.

El Raydist es un sistema que identifica la onda por la fase. La fase con que llega una onda continua, después de recorrer el camino que se trata de medir, depende evidentemente de la longitud de este camino, es decir, del número de inversiones totales de fases y de la fracción de esa inversión que hayan cabido en la distancia a recorrer, puesto que la fase sufre una variación completa por cada longitud de onda. Resulta así que la diferencia de fase entre dos puntos es siempre constante, y dependiente sólo de la distancia entre ellos, o mejor dicho del número y fracción de longitud de onda que esa distancia contenga.

Cualquiera de estos sistemas, que consisten en medir la distancia absoluta, tienen relativamente poco valor para figurar por sí en una red general de navegación aérea. Incluso la combinación de medir distancias y direcciones, proporcionando coordenadas polares, tiene sólo una relativa aplicación en cuanto a la navegación propiamente dicha, porque debido a que se requiere el uso de onda de muy corta frecuencia para conseguir antenas orientables, el alcance queda a su vez limitado a distancias relativamente pequeñas. No hay que buscar, en consecuencia, la aplicación de este sistema, desde el punto de vista general de la navegación; pero sí en lo que atañe a ciertos aspectos particulares, como son la recalada y los aterrizajes, así como la vigilancia general del espacio aéreo y la previsión contra colisiones.

La figura 10 nos da idea del aprovechamiento

de un equipo de coordenadas polares para un aterrizaje instrumental. Se refiere concretamente al BABS inglés, y como la propia figura indica, consiste en el emisor a bordo y un faro radar de respuesta en tierra. Con el faro de respuesta, el avión recibe indicación directa de la distancia que lo separa del aeródromo, y a su vez utilizando antenas en los extremos de las alas, sabe también su posición relativa a la derecha o a la izquierda de la línea que debe seguir para llegar a la pista de aterrizaje. El BABS está hoy en prueba en la Escuela Superior del Vuelo en Salamanca. Su principal ventaja está en que en tierra el equipo es muy pequeño y fácilmente transportable, y, por tanto, sirve para aeródromos militares en primera línea y todavía no bien organizados.

Salvo aplicaciones concretas del aterrizaje y de la vigilancia del espacio aéreo para evitar colisiones, el radar, aun combinando las marcaciones de distancia con las de dirección, es más útil para propósitos militares que para propósitos civiles; para aquéllos tiene la ventaja de que la estación de tierra no necesita cooperación por parte de la aeronave. La medición absoluta de distancia se emplea hoy, asimismo, como complemento de los radio-guías omnidireccionales, como indica la figura 11, que muestra esquemáticamente las diferentes posibilidades que tiene el uso de un radio-guía omnidireccional, con un DME o un medidor de distancias, deducido del tipo Shoran antes citado. Es así posible regular la espera para el aterrizaje, usando las líneas de posición circulares del medidor de distancias, o bien orientar la recalada haciendo uso de las líneas de posición radiales del radio-guía; o bien

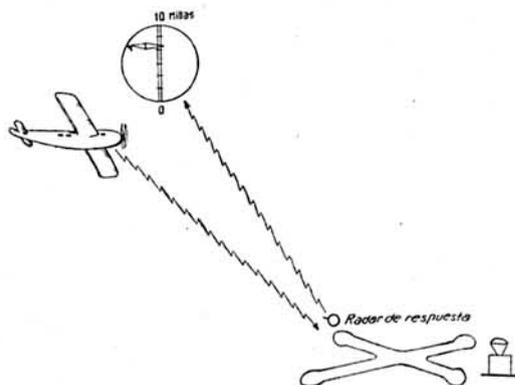


Fig. 10.—BABS. Emisor en el avión; respuesta en tierra. El indicador a bordo da distancias y posición relativa del avión respecto a la línea de recalada. (En la figura, por ejemplo, el avión va hacia la derecha.)

ejecutar la navegación general, haciendo uso a la vez del radio-guía y del medidor de distancias. Esta combinación ha sido aceptada por la OACI como reglamentaria en todos los aeropuertos internacionales; pero, sin embargo, no está técnicamente el medidor de distancia tan conseguido como el radio-guía, y habrá que esperar algún tiempo hasta que definitivamente pueda usarse la combinación de los dos.

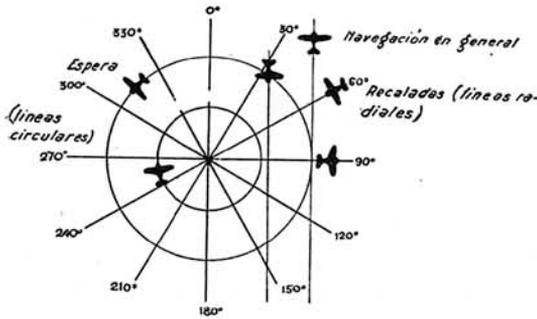


Fig. 11.—Integración de movimientos en un radio-guía con medidor de distancias.

Sistemas de relación de distancias.—La medición de diferencias de distancias nos proporciona un método de navegación que es todavía más flexible y de mayor cobertura que el del radio-guía. El esquema está en la figura 12. Así como hemos explicado en el caso de medición de distancias absolutas, igualmente en este caso se producen equipos diferentes, según el método que se emplee para identificar la onda radio que recorre el camino: si es por impulsos, aparecen el Loran americano y el Gee inglés; si es por identificación de fase, aparecen el Raydist y el Decca.

Desde el punto de vista operativo, hay dos ventajas sustanciales del método de diferencia de distancias respecto al de distancias absolutas. Una es que aquél no se satura, sea cualquiera el número de aviones que lo emplee; la otra ventaja, aún más importante, es que, por no necesitarse reflejos de la onda emitida, el alcance aumenta considerablemente.

Técnicamente es también ventajoso que no son necesarias emisiones direccionales. En cambio, es obligado sincronizar las emisiones de cada pareja de estaciones. A su vez, y para obtener una posición completa del avión, son necesarias dos familias de hipérbolas, es decir, dos parejas de estaciones, de las que una misma estación puede ser común a las dos parejas.

Puesto que no es necesario que las antenas sean giratorias ni direccionales, no es obligado

emplear ondas de muy alta frecuencia, y así, los primitivos sistemas Gee y Standard Loran se han transformado en Loran L. F. de frecuencia media, con la consiguiente ventaja desde el punto de vista del radio de acción.

El equipo en tierra es complicado técnicamente y requiere personal muy especializado y numeroso para su entretenimiento. El equipo a bordo es, a su vez, también de cierta complicación técnica, por la naturaleza del equipo, y operativa, porque las informaciones se reciben en una pantalla de rayos catódicos que no pueden colocarse directamente en la cabina del piloto y exige un operador especial; el peso y el volumen son excesivos para los aparatos comerciales. La indicación de la hipérbola correspondiente a cada familia sobre la que está situado el avión, no es tampoco automática, sino que requiere cierto número de observaciones y de manipulación en la pantalla de rayos catódicos por parte de personal especializado. Esto es un problema de ingeniería, y probablemente lleva camino de resolverse; pero, por ahora, la indicación, si bien es visual, no es automática.

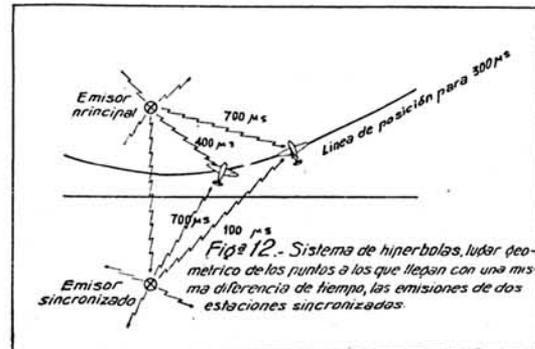


Fig. 12.—Sistema de hipérbolas. Lugar geométrico de los puntos a los que llegan con una misma diferencia de tiempo, las emisiones de dos estaciones sincronizadas.

Sistemas de representación del espacio.—Como posterior desarrollo al radar PPI de circunvalación está el GCA, en cuyo equipo en tierra se plantea simultáneamente el problema de aterrizaje de todos los aviones que están sobre el aeródromo. El equipo de tierra puede así seleccionar los aviones que sucesivamente deben aterrizar, suministrar a cada uno de ellos los datos de distancia y de posición, y, en fin, sugerir al piloto todas las maniobras necesarias para llegar al definitivo aterrizaje. Tiene este equipo el inconveniente serio de que el piloto tiene que fiarse de lo que le dicen desde tierra, sin que vea nada por su propia cuenta.

Para solucionarlo existe hoy en prueba el Navascopio, mostrado en la figura 13, y que consiste, como la misma indica, en la reproducción

en una pantalla especial, situada en la aeronave, de todo cuanto aparece en la pantalla de la estación de tierra. Por este sistema el piloto tiene a la vista exactamente los mismos datos que la estación de tierra, es decir, la situación respectiva de los aviones entre sí y de cada uno de ellos respecto a la estación de tierra. Esto mismo se pretende, por otro procedimiento diferen-

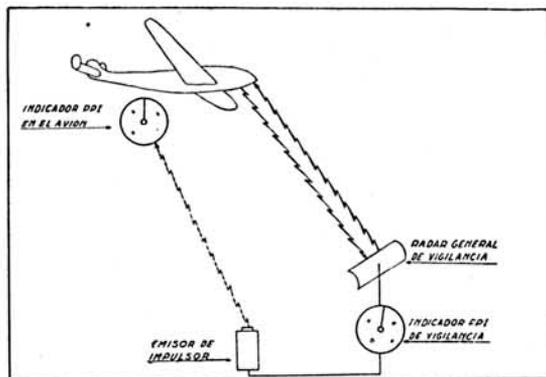


Fig. 13.—Navascopio. La red radar en tierra vigila y su resultado se transmite a cada avión, proporcionando en éste la misma representación PPI, donde están las posiciones relativas de todos los aviones entre sí y en relación a la estación de tierra.

te, en el equipo Teleran, que emplea principios de televisión normal. En éste, la vigilancia de la estación terrestre se produce en una pantalla PPI a la manera corriente, pero es enviada al avión por una cámara de televisión. El Teleran tiene alguna ventaja sobre el Navascopio, como es la posibilidad de dar al piloto no solamente la posición relativa entre los aviones, sino también referencias ajenas a los ecos radar, como puede ser, por ejemplo, un mapa.

Radio-guías frente a navegación hiperbólica. El problema que fundamentalmente se presenta hoy en la definición de una red general de navegación consiste en la elección, para larga y media distancia, entre los sistemas que miden diferencias de distancia y los que emplean emisiones direccionales; en otras palabras, la discusión está entre el sistema de coordenadas hiperbólicas o el de canalización de rutas por medio de radio-guías. Todos los demás métodos y equipos que aquí mencionamos son auxiliares de estos dos, bien a fines de recalada y aterrizaje, bien para vigilancia del espacio aéreo, bien para resolución de un caso particular. La red general de navegación tiene que estar forzosamente fundada en uno de estos dos sistemas, que sustituirán definitivamente al antiguo de radiogoniometría en tierra, o al de radio-faros en

tierra y radio-guías a bordo, los cuales funcionan hoy realmente como si se tratase de radio-guías o de sistemas universales de coordenadas; pero sin dar a bordo de la aeronave automáticamente la posición de la misma.

Examinado el problema en el aspecto técnico, es mayor la complejidad de los sistemas de navegación hiperbólica que los de coordenadas polares, y esto tanto en tierra como en el aire, particularmente en lo que concierne a los equipos de avión cuyo peso y volumen pueda influir mucho en la carga económica que el avión puede tolerar. También es menos ventajoso el sistema de coordenadas hiperbólicas, por necesitar sincronización de estaciones en tierra muy separadas entre sí, mientras que en el otro cada estación funciona individualmente. Por el contrario, hasta ahora, la determinación de una posición completa a bordo ha exigido menos tiempo en el sistema de coordenadas hiperbólicas que en el de emisión direccional; pero se advierten grandes posibilidades técnicas para lograr en este último mecanismos automáticos.

En lo que a la navegación propiamente dicha concierne, la situación respectiva es como sigue: el sistema de coordenadas hiperbólicas permite que el avión pueda elegir la ruta que desee; pero no tiene a bordo indicación específica más que para seguir una ruta particular a lo largo de una hipérbola, que es, naturalmente, difícil desde el punto de vista del piloto; por el contrario, el sistema de coordenadas polares puede permitir seguir fácilmente uno cualquiera de los radios, porque son rutas rectas, y esto le hace más útil que el anterior para recaladas.

La consecuencia de este breve examen comparativo está reflejada en el cuadro núm. 2, que figura al principio de este escrito. Este cuadro aconsejará al operador en su elección. En la actualidad son muchos más los esfuerzos técnicos en pro del sistema de emisión direccional que en favor del otro sistema.

Desde el punto de vista, muy importante, de integración de todas las ayudas de navegación, tiene también más probabilidades el sistema de coordenadas polares, particularmente si para ciertas distancias se dota a los aviones de medidores de distancia. (Véase fig. 11.) En efecto, a un mismo tono operativo responden los radio-faros Sol y los Navalglobo, para largas distancias; los radio-guías, para cortas distancias, y los equipos de aterrizaje instrumental I. L. S. y Navalglide; la figura 14 nos indica este último. Existe ya hoy una efectiva integración entre los radio-guías omnidireccionales y los

I. L. S. de aterrizaje, de tal modo que es común el indicador en la cabina del piloto. En parte, esta integración ha sido también intentada entre el sistema Loran y el Gee, ambos de coordenadas hiperbólicas, procurando que un solo receptor sirviera para largas y para pequeñas distancias; pero aunque esto se consiguiera, quedaría todavía por resolver el problema del aterrizaje instrumental, que forzosamente tendría que recurrir a otro método operativo, completamente diferente, aun dentro de la misma técnica del radar.

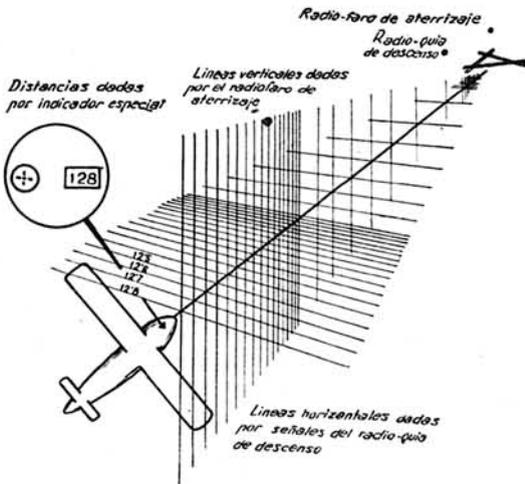


Fig. 14.—Navalglide. A diferencia del actual equipo ILS, proporciona constante y directamente las distancias del avión a la cabeza de la pista.

En las figuras 15 y 16 hemos intentado esquemas de programas para España: el primero, con equipo Gee, y el segundo, con radio-guías omnidireccionales, ambos para cortas distancias. La comparación de las figuras hace ver el número de equipos que se consideran necesarios para cubrir el territorio y más o menos la distribución relativa de los equipos. Sería preciso un estudio más a fondo para pronunciarse definitivamente. Pero, en principio, los mapas muestran que si bien el sistema Gee daría una cobertura de la totalidad del territorio nacional, con igual valor sea cualquiera la ruta elegida, por el contrario, los radio-guías permiten una canalización de caminos; quiere esto decir que en un planteamiento estrictamente militar, el Gee podría tener mayor aprovechamiento que los radio-guías, salvo consideraciones de tipo económico, y en cambio, los radio-guías serían preferibles en el orden comercial para cubrir rutas permanentemente organizadas. El problema, sin embargo, no debe quedarse en este empate. En orden a la navegación a larga distancia, en

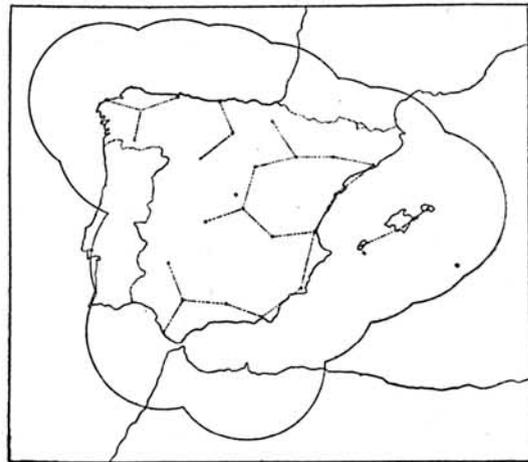


Fig. 15.—Posible plan Gee, con 9 cadenas y 26 estaciones. Separación entre estaciones 150 kilómetros. Cobertura aérea, 250 kilómetros a 300 metros de altura.

España la red española cuenta ya con radio-faros Sol, y obtiene de ellos un resultado excelente; en cierto modo, su uso prejuzga ya en gran parte el de los radio-guías, también para distancias medias; pero, además, la solución definitiva no la podemos obtener por la simple consideración de los equipos individualmente comparados, sino por la integración de ellos en un sistema coherente de gobierno de la circulación aérea.

Sistemas de circulación aérea.—Hay dos teorías sobre esto: una sostiene que la mejor manera de activar el ritmo de entrada y salida de los aeródromos, sin peligro de choque, consiste

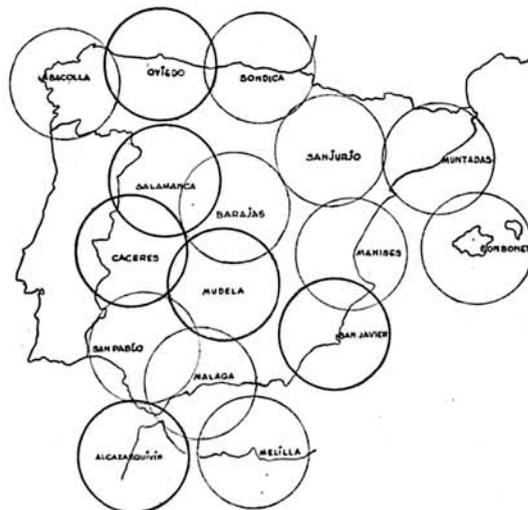


Fig. 16.—Plan radio-guías con medidor de distancia. Círculos con trazo fino: Aeropuertos principales; con trazo grueso: Radio-guías complementarios.

en hacer llegar los aviones a su debido tiempo, sin variar las condiciones de su vuelo en crucero, y particularmente, la velocidad, pero determinando una ruta diferente para cada uno de los aviones, de tal modo que la llegada al punto de espera se haga sucesivamente y con el intervalo deducido de las diferentes rutas seguidas. Otro criterio, en cambio, sostiene que es preferible variar las condiciones del vuelo en crucero, haciendo que un avión acelere o retarde la velocidad de su marcha sin salirse de la ruta previamente canalizada. Ambos criterios pueden mantenerse; el primero es más flexible desde el punto de vista de gobierno de la circulación aérea; el segundo, en cambio, permite una mejor vigilancia, puesto que se obliga a todos los aviones a permanecer dentro de rutas canalizadas, que pueden ser balizadas, y en las

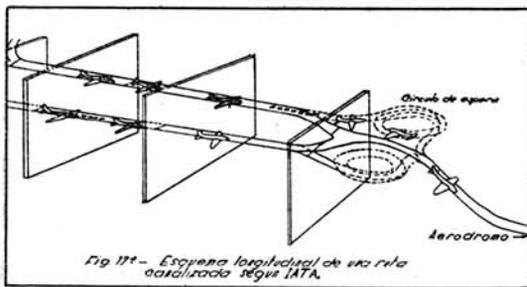


Fig. 17 - Esquema longitudinal de una ruta canalizada según IATA.

que, por tanto, puede comprobarse la distancia en que el avión se encuentra.

La Asociación Internacional de Transportistas Aéreos se ha pronunciado con preferencia por el segundo de los criterios. La figura 17 nos muestra el esquema general de su idea, que consiste en dividir el espacio aéreo en canales y en bloques o tramos; los canales equivalen, en cierto modo, a las vías o caminos de circulación, mientras que los tramos equivalen a los enclaves o agujas dentro de un sistema ferroviario. La figura 18 nos muestra la presentación de los informes en el avión y en tierra, de tal manera que se conoce si el avión va dentro o fuera de su ruta, si va adelantado o retrasado sobre el plan de vuelo previsto, y en cuanto al piloto, sabe si el tramo en que va a entrar está ocupado por otro avión que le precede. Este plan de gobierno de la circulación aérea resuelve, en teoría, todos los problemas, salvo, quizá, el de bifurcación de rutas; en la práctica no es difícil realizarlo con los medios técnicos actuales, puesto que los canales vienen marcados simplemente por radio-guías, mientras que para la separación de tramos bastan unas balizas verticales.

Sólo queda a este respecto por decidir la cuestión del material. Los radio-guías omnidireccionales, y particularmente los medidores de distancia, no son hoy equipos fáciles de construir en todas partes, aunque sí más fáciles que la

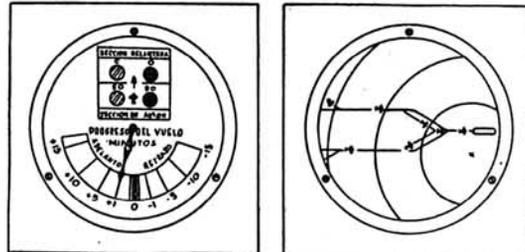


Fig. 18. - Presentación de los datos en el sistema IATA.

mayor parte de los equipos radar; la nacionalización de estos equipos en España parece todavía prematura, y, en consecuencia, contar o no con el material necesario será un problema de divisas disponibles. Sin embargo, como, en definitiva, el logro de un buen sistema es un deseo universal, todo pudiera quedar relativamente resuelto si se llegara, por acuerdo internacional, a la fijación de un sistema único y mundialmente aceptado; como consecuencia vendría la ayuda mutua internacional para dar forma a esta universalización.

Entre tanto, en la figura 19 se presenta un plan que resuelve en parte el problema canalizando las rutas que se consideran fundamenta-

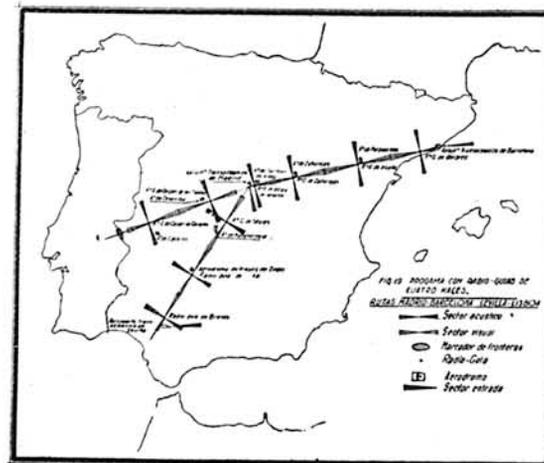


Fig. 19.

les entre Madrid, de una parte, y Barcelona, Sevilla y Lisboa. Se utilizan los antiguos radio-guías de cuatro haces, combinándolos en los terminales de ruta con los radio-faros de aterrizaje instrumental.