

El "radar" como sistema de acercamiento al campo y aterrizaje sin visibilidad

(EL GCA.)

Por J. P. TORRALBA

Las necesidades de la guerra obligaron a los ingleses, y en particular a los americanos, a aumentar el número de aviones, que salieron por miles de sus fábricas, dispuestos a luchar en todos los espacios aéreos de la contienda. En esta enorme pugna se crearon nuevos tipos de aviones, impuestos por las necesidades de la lucha, desde el *Mosquito* hasta las gigantescas *Superfortalezas*, dotándolas de perfectos sistemas para darles mayor perfección y seguridad en el vuelo.

Uno de los inventos más notables, que cooperó grandemente en los momentos más críticos, fué el "radar", cuya eficacia salvó a muchas tripulaciones de los cazas y bombarderos, no sólo en su lucha y localización contra las formaciones enemigas, sino guiándolos hasta los campos de sus bases, con visibilidad cero, como en las operaciones del Pacífico, que al volver de sus arriesgadas y lejanas misiones, llenos a veces de averías y con bajas en sus tripulaciones, aterrizaron en el aeródromo de Maple, en Iwo Jima, cuando la visibilidad era de unos 30 metros escasamente.

Esta propiedad del "radar" es aplicable para el aterrizaje a ciegas, con toda seguridad y precisión, demostrada durante la pasada contienda, que se está aplicando también con grandes éxitos en la aviación comercial de la postguerra.

Dado el incremento que han tomado los servicios de la aviación comercial, han hecho que tanto los aviones como los aeropuertos estén dotados de dispositivos que permitan tomar tierra, con escasa o nula visibilidad, desterrando para siempre la palabra "cerrado", lo que se consigue con el utilísimo GCA (Ground Controlled Aircrafts). Control de Aviones desde Tierra, equipo basado en el "radar", que "abre", a todos los rumbos, "las puertas" de entrada al campo a los aviones, sea cualquiera la hora del día y condiciones de tiempo.

Los nuevos aviones transatlánticos llevan ya un equipo combinado de GCA y televisión, denominado TELERAN, que hace tan perfecto el aterrizaje, que funcionando perfectamente no puede haber más error que el personal del piloto.

Sin entrar en consideraciones técnicas sobre el "radar", que han sido divulgadas profusamente por la prensa nacional, haremos una ligera exposición sobre el "radar" moderno.

Sabido es que este invento está basado en el principio físico en que funciona la detección, por lo cual sea cualquiera el medio o naturaleza en que se propaguen los fenómenos u ondulaciones vibratorias, éstas pueden refractarse, reflejarse, difractarse y dispersarse, lo cual puede realizarse cuando la onda cambia de medio.

Considerando estos fenómenos, según el empleo que ha de dársele al "radar", hay que tener en cuenta, además del alcance máximo para su mayor eficacia:

- 1.º La máxima potencia que queremos obtener.
- 2.º Su alcance máximo.
- 3.º Tipos de antenas y longitud de onda que se han de usar.

Todas estas consideraciones están estrechamente relacionadas con la ecuación del "radar" y basadas en los principios de la sonda ecoica, de los submarinos y los radio-altímetros, la cual es:

$$d = \sqrt[4]{\frac{P \cdot s \cdot A^2 \cdot a}{n \cdot K \cdot T \cdot 4\pi R^2}}$$

en la que: $d = a$ la distancia en metros.

La amplitud de banda es aproximadamente $= \frac{f}{s}$ Mc/s.

Donde:

P = es la potencia del transmisor en Wts.

s = duración del pulso por segundo.

s' = duración del pulso en segundo.

A = área de la antena transmisora en m².

a = área de reflexión en m².

n = número de perturbaciones o ruidos en el receptor en decibels (dB).

$K = 1,38 \times 10^{-22}$ (grado Kelvin por ciclo de amplitud de banda) $KT - 4 \times 10^{-22}$.

$T = 290^{\circ}$ Kelvin (17° C. temperatura ambiente).

$\lambda =$ Longitud de onda en metros.

De donde resulta que aumentando la fuerza o potencia de emisión, aumenta lógicamente el alcance, y cuanto mayor sea el área de la antena emisora, habrá más aumento en proporción, ya que este valor está afectado en función de la raíz cuadrada, pero solamente con respecto a la distancia de alcance, sucediendo lo mismo con el área reflejada, pero en menor escala. Por tanto, como en toda consideración aritmética, cuanto menores sean los factores que integran el denominador, mayor será el alcance que se obtenga. De los cuales podemos controlar solamente dos, n y λ . A n se le puede controlar aumentando la sensibilidad del receptor, de forma que la relación señal-ruido sea lo más pequeña posible, y la λ se hace tan corta como técnicamente se necesite (teniendo en cuenta las consideraciones de carácter táctico), que determinarán cuál es la frecuencia más conveniente para evitar las interferencias o captaciones de sus emisiones por los equipos enemigos. Hay que tener en cuenta que las λ influyen grandemente en el rendimiento del transmisor, cuando se trata de muy altas frecuencias UAF (ultra-alta-frecuencia), que aunque por una parte es un inconveniente, ya que aumenta en igual proporción la potencia, por otra, la disminución de la potencia es más rápida con el de las λ .

Para obtener la consideración primera, es decir, una potencia máxima, no se pueden emplear ciertas clases de circuitos que proporcionen escasa potencia, como los dobladores o triplicadores de frecuencia, ni lámparas ordinarias de radio. Estas fueron sustituidas, para conseguir los efectos que se buscaban, por tipos especiales de lámparas denominadas KLYSTRON, MAGNETRON y RESNATRON.

La primera contiene un espacio entre las dos rejillas conectadas a una cavidad resonante (figura 1), a donde llegan incesantemente los electrones desde un cátodo, que se aglomeran en las rejillas en nubes espesas, que se disparan dentro de un espacio separador, hasta llegar a otro grupo de rejillas cargadas muy positivamente, en forma alternativa, pues están también conectadas a otra cavidad resonante, como se indica en la figura. La MAGNETRON tiene el resonador en su interior, y el tiempo de paso de los electrones está muy reducido al emplear un campo magnético de gran potencia. En el interior del tubo sólo hay placas fraccionadas

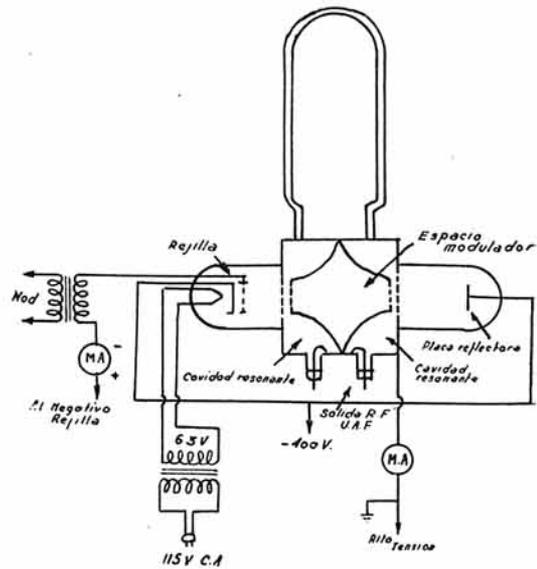


Figura 1.

y un cátodo, siendo reforzadas las propias oscilaciones de placa por la descarga alternativa de electrones del cátodo.

La RESNATRON.—Esta válvula de vacío tiene las notables características de que es capaz de ser sintonizada en una amplia banda de frecuencia, con la cual se pudo construir un dispositivo contra-radar denominado TUBA, y que podía obtenerse una potencia comparable a la emisora de los Estados Unidos 50 Kws., pero operando con frecuencia de unas trescientas veces más elevada, con la cual se pudo controlar todos los cambios de frecuencia de los emisores radar alemanes.

Tales son las cualidades y características de estas lámparas, con las cuales se pueden obtener elevadísimas frecuencias; con la magnetron pueden conseguirse oscilaciones superiores a 3×10^4 megaciclos por segundo, creando λ de 0,01 m.

Sabiendo que los "radar" no emiten una energía continua, sino impulsos de ella, entre éstos existe una serie de silencios cuya duración nos sirve para aumentar el poder utilizable, cuya importancia se ha podido apreciar en la ecuación "radar". Por tanto, podemos utilizar la gran potencia durante ese pequeño espacio de tiempo, que no pase del límite del calentamiento excesivo, superior a la resistencia del material.

En consideración a la potencia por ciclo, te-

nemos $\frac{P_m}{P_n} = \frac{s}{T}$, de donde P_m es la potencia media, es decir, la potencia máxima tolerable por ciclo; P_n representa la potencia capaz de resistir en un espacio determinado de tiempo; s , la duración del "pulso", y T , el tiempo de los intervalos entre los impulsos. Vemos que cuanto más pequeño es el valor de la duración del "pulso" s , mayor es la proporción de potencia que se puede necesitar.

Los últimos equipos de "radar" de gran alcance emplean un sistema de mayor potencia, que descargan una línea de formación de impulsos por medio de un interruptor mecánico.

Con respecto al punto tercero, es indispensable que las antenas del "radar" las podamos orientar en la dirección que se desee, existiendo varios tipos. Unos sistemas de antenas lo constituyen múltiples dipolos, que anulan la emisión lateral; otras son de forma parabólica, a fin de obtener la máxima concentración de la energía. y otras están provistas de elementos reflectores y directores.

Con las antenas giratorias podemos tener un gran espacio de exploración e información en el horizonte al combinar su giro con el barrido, de forma que el ángulo de posición, respecto a un punto dado de este barrido, corresponda a la posición que ocupe la antena, pues no hay duda que por esta posición puede ser determinado el blanco, por el azimut y altura. En el tiro anti-aéreo las antenas parabólicas hacen en el cielo una exploración en un recorrido en espiral.

En algunos "radar" se emplean dos antenas separadas, pero en los últimos modelos sólo están equipados con una sola.

Como hemos mencionado anteriormente, la televisión se puede emplear acoplada al GCA, ampliándose con nuevas pantallas de gran retención, que permiten reducir al mínimo los espacios muertos, obteniéndose con ellas la televisión del horizonte, haciendo del conjunto total del sistema un instrumento de imprescindible necesidad y precisión a bordo de cualquier avión.

Tal es la utilidad y perfección técnica del GCA, que permite la orientación y aterrizaje perfecto de los aviones en campos con visibilidad cero, y cuyo importantísimo cometido bien merece el honor de su divulgación.

Los pilotos siempre han sentido la necesidad de poder aterrizar en los campos en cualquier momento, pero se tropezaba con el inconveniente de la visibilidad. Se idearon varios métodos;

pero esta guerra hizo más apremiante esta necesidad, por lo cual el Comité de Investigación de Defensa Aliada nombró una Comisión de científicos que, reunidos en los laboratorios radio de Cambridge y Massachusetts, estudiaron la forma de emplear el "radar" como medio de aterrizaje a ciegas de los aviones. Lo cual llegaron a conseguir en 1943 con el modelo "Mark 1", que demostró sus excelencias en las pruebas efectuadas en los vuelos de las escuadrillas desde los Estados Unidos a Inglaterra, que demostró la potencia y eficacia del célebre y después indispensable GCA, que consiste en un equipo móvil completo, equipado con dos sistemas de "radar" terrestres, con todo el material de comunicación correspondientes.

De estos "radar", uno está destinado a la exploración, trabajando en la banda de las ultrafrecuencias, y destinado para ayuda o control del aterrizaje o aproximación al campo, así como para establecer contacto y tráfico con un avión que se encuentre a unos 50 kilómetros.

El otro "radar" es considerado como sistema de precisión, trabajando sobre una frecuencia más alta en la banda de la ultrafrecuencia.

Este tipo de aproximación, controlado por "radar", posee como única característica la ventaja de que no es necesario ningún equipo especial en el avión, diferente del ordinariamente empleado entre las comunicaciones establecidas entre tierra y aire.

El "radar" de exploración suministra a los que manejen el GCA una información sobre la demora y distancia desde el aeropuerto al avión, a una distancia de 50 kilómetros y hasta una altura de 1.200 metros. Para esta misión la antena de exploración empleada, en este sistema, está constituida de un número de dipolos horizontales alineados verticalmente, cuya disposición se indica en la figura 2 A. Esta antena de exploración, durante su giro con el reflector, hace la exploración en el espacio alrededor del GCA, estando sincronizada con la antena la exposición visual del indicador. La antena emite un haz de rayos de unos seis metros de ancho, en azimut (la relación al plano de posición, al indicador, desde donde el operador obtiene una información, se indica en las figuras 2 B y 2 C). La amplitud que se necesita del estrecho haz se obtiene por medio de un receptor parabólico situado detrás de la hilera de los dipolos, a fin de enfocar el haz.

Como el giro de la antena es muy lento, en comparación al tiempo que tarda un impulso

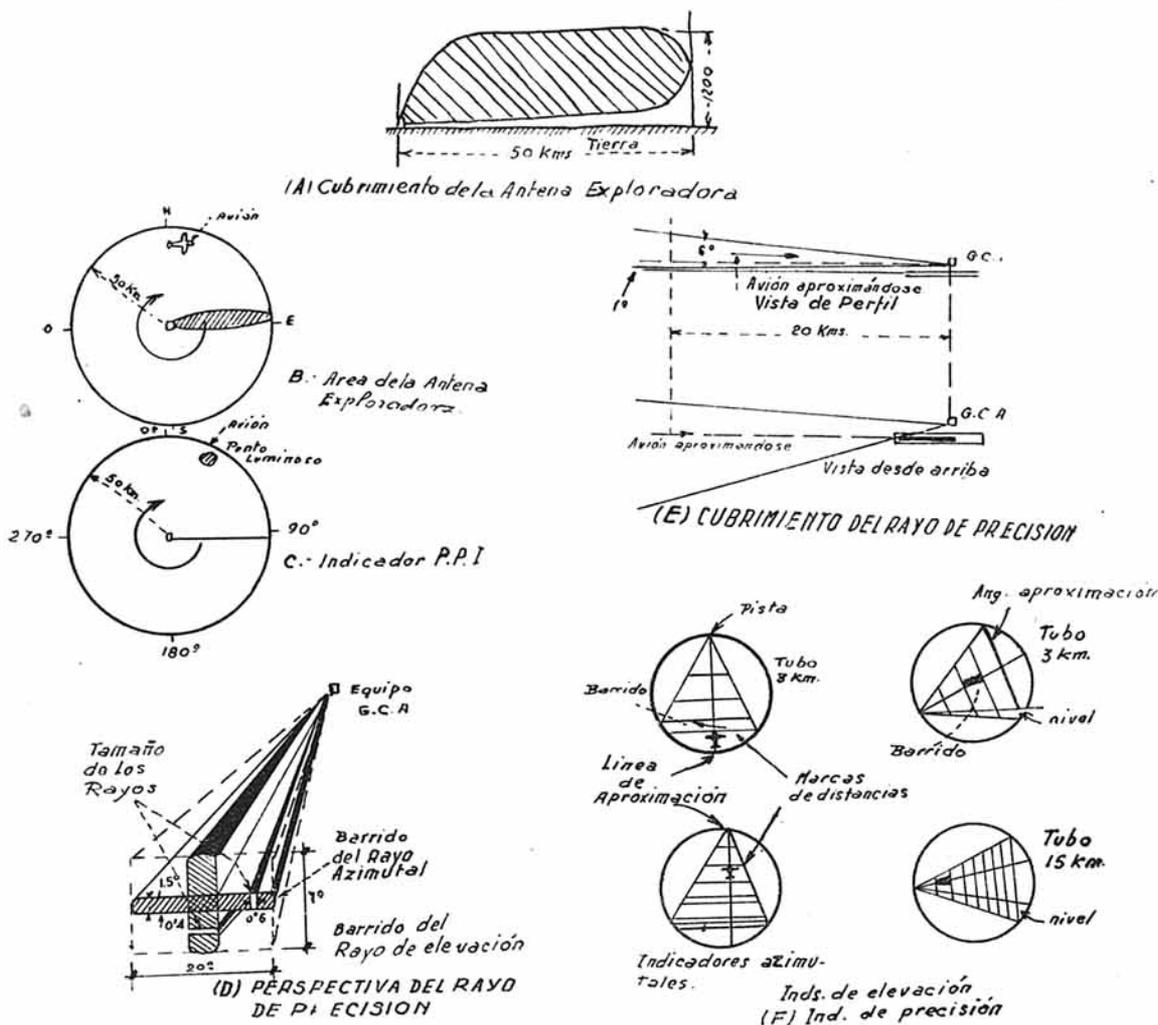


Fig. 2.—Características de los rayos en el GCA, y señales obtenidas en los tubos. Los indicadores P. P. I. marcan la posición del avión cuando se encuentra a distancia de la estación inferior a 50 Hms. Los indicadores de precisión muestran la posición relativa del avión, tanto en dirección horizontal como en vertical.

de energía en ir desde la antena a un objetivo y ser reflejado (300.000 kc/s.), la energía vuelve antes que la antena haya podido sufrir una pe- queñísima variación. Por lo cual la antena trans- mitora puede utilizarse también como recepto- ra, conectando después, es decir, cambiándola a la entrada del receptor durante el tiempo neces- ario para que el impulso pueda llegar hasta 50 kilómetros (167 micro-segundos) y tardar en reflejarse la misma cantidad de microsegundos.

La duración de los "puños" de la energía de elevada frecuencia es de 0,5 microsegundos, a razón de 2.000 por segundo, habiendo entre im- pulsos 500 microsegundos, el tiempo suficiente para recorrer 50 kilómetros en ida y vuelta.

pues el impulso en su trayectoria de ida y vuelta tiene un consumo de 333 microsegundos de los 500 que se suelen emplear.

Sobre el transmisor.

Este está colocado próximo a la cavidad osci- ladora del tubo Magnetron, que tiene la sufi- ciente potencia de salida para que la onda emi- tida llegue al receptor con la suficiente energía para que puedan interpretarse sus indicaciones, no obstante las pérdidas de potencia sufridas durante el viaje de ida de la onda, reflexión en el objetivo y regreso al receptor. Hay que tener en cuenta que la energía radiada disminuye inversamente con el cuadrado de las distancias, pues para 50 kilómetros disponemos solamen-

te $\frac{1}{2500}$ de la energía correspondiente a un kilómetro, y también que cada objetivo tiene sus cualidades especiales de reflexión, de la cual sólo refleja de la energía recibida una mínima porción de ésta, que está sometida en su viaje de ida y vuelta o reflexión a las mismas disminuciones de potencia.

Los defectos actuales de potencia del "pulso" y sensibilidad de los transmisores y receptores actuales están subsanados, en su mayor parte, por la lámpara Magnetron, que suministra oscilaciones moduladas, cuyo impulso es aproximadamente de 10 a 15 kv. y 0,5 microsegundos de duración, y orientada esta energía, dentro de los 6° mencionados, pues un objetivo refleja la suficiente cantidad de energía para poder obtener la concentración necesaria.

Como hemos dicho anteriormente, la antena puede conectarse alternativamente al transmisor o al receptor, por medio de un interruptor, a razón de 2.000 veces por segundo. Los impulsos de ecos recibidos por la antena son amplificados y llevados sobre el indicador del plano de posición, que consiste en un tubo de rayos catódicos de tipo "standards", cuyo funcionamiento se basa en el empleo de un fino haz de electrones de unos 1,5 mm. de diámetro, que se puede mover dentro del tubo en forma de embudo en cualquier dirección de la pantalla fluorescente, que al ser golpeada por los electrones origina un punto luminoso; como los electrones son partículas cargadas de electricidad negativa, pueden ser desviados de su trayectoria, introduciendo un campo electrostático perpendicular a la misma, ya que los electrones se desviarán hacia el lado positivo del mismo. Aunque la velocidad de esas partículas es muy elevada (tensiones de unos pocos voltios), pueden proporcionar una componente de desviación suficiente, en virtud de dos pares de placas electrostáticas, colocadas de tal forma que sus desviaciones estén en dos planos perpendiculares entre sí, cuya pantalla muestra en su centro el eco del impulso transmitido, y tiene una línea iluminada desde el centro del tubo hasta su borde exterior, para indicar el azimut de la exploración, mientras el receptor está conectado al circuito de la antena. En realidad, de esta línea quebrada o de puntos de sierra, o rota, con respecto al centro del tubo, es un chorro de electrones que golpea la pantalla, formando un punto luminoso que, partiendo del centro de dicho tubo, se desplaza hacia su borde, para regresar rápidamente al centro, y así sucesivamente,

2.000 veces por segundo, tan rápidamente que hace el efecto en la pantalla del tubo de una línea continua, donde los ecos aparecen como puntos brillantes.

El diagrama o señal de corazón es la resultante de la sincronización suministrada por el transmisor-receptor, modulador o indicador.

Receptor.

Los receptores empleados hasta ahora en los sistemas "radar" son del tipo superheterodino, cuyas características son superiores a los de los demás receptores, ya que con él se obtiene lo que se necesita: una gran sensibilidad a la par que buena estabilidad de la señal.

Los circuitos tanques usados normalmente son los del sistema de líneas coaxiales, por poseer elevado coeficiente "Q", ideales para conseguir la mayor sensibilidad y estabilidad de las señales recibidas.

Antenas de exploración.

Para la exploración de precisión se emplean dos sistemas de antenas. En uno de ellos la antena de elevación barre un área de 3° de ancho en azimut y 7° en elevación. En el otro la antena azimutal barre un área de 1,5 en elevación y 20° en ancho en azimut.

Para la antena azimutal la amplitud del haz es de 1,5° en altura y 0,6 de anchura. El barrido del área azimutal de 20° está previsto eléctricamente, por la propia fase de la alimentación de la energía de los dipolos del conjunto horizontal, siendo de 3° de ancho y 0,4° de altura la amplitud del haz de la antena de elevación. El barrido del área de elevación de 7° es afectado también eléctricamente por la misma fase de alimentación de la energía de los dipolos verticales.

En la figura 2 D se muestra un sector rectangular, que es el área cubierta por ambas antenas cuando sus haces están barridos en elevación y azimut.

La propia fase de la energía alimenta a los dipolos horizontales y verticales, lo cual ha hecho posible condensar y lanzar la onda-guía que alimenta las antenas, que están provistas de reflectores que enfocan la radiación del impulso de la energía.

Las antenas transmisoras de precisión son también empleadas para recibir la energía reflejada, a igual que las de los sistemas de exploración, como las antenas de elevación y azimut pueden ser alternativamente conectadas desde el

receptor al transmisor a gran velocidad, en comparación a la condensación de la guía del haz, transportado a través del sector del barrido. Por tanto, el ciclo se explica:

Primero.—Por la antena de elevación cargada.

Las "guías" de radio-ondas son comprimidas mediante un sistema que levanta el haz de elevación desde menos 1° a 6°. En este punto la antena de elevación se descarga mediante la acción de un interruptor de R. F.

Segundo.—La antena azimutal, cargada.

La "guía" de ondas que alimenta esta antena es también comprimida por un sistema, el cual barre con el haz azimutal desde más de 15° (izquierda) a menos 5° (derecha). Entonces la antena azimutal es descargada y el sistema deja la antena azimutal en su máxima posición derecha.

Tercero.—La antena de elevación, descargada.

La orientación de ondas de elevación es esparcida para hacer descender el haz a menos 1°, donde la antena es descargada, y queda en esa posición hasta el próximo ciclo.

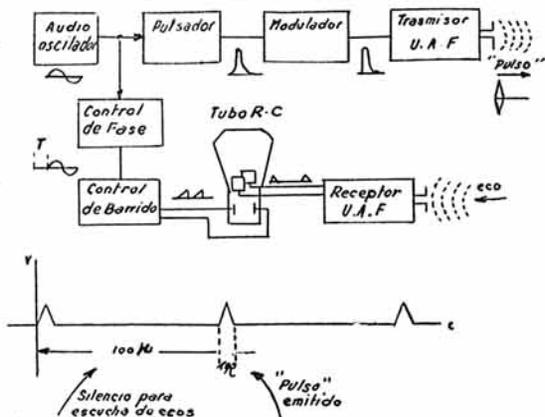
Cuarto.—La antena azimutal, descargada.

La "guía" de ondas azimutal es extendida para invertir el barrido del haz (menos 5° a más 15°), donde la antena es descargada, quedando hasta el próximo ciclo.

Para el sistema anterior se requiere solamente un tubo de magnetron. Para realizar las adecuadas señales, la magnetron oscila en la banda de las ultrafrecuencias, que en unión de la amplitud del haz obtenido da una exactitud aproximada de un metro por kilómetro. De esta forma el área del haz de elevación (3° de ancho por 7° de altura), y el haz azimutal de 1,5° de alto por 20° de ancho, recibe una amplia concentración de impulsos de radar. El haz de elevación puede desplazarse en azimut, para localizar aviones, y azimut girando dentro del área, en una elevación de 7° de altura por 20° de amplitud. Este desplazamiento se efectúa mecánicamente, conectando las antenas e indicadores de forma que los operadores que manejen el aparato pueden dirigir los barridos de los haces hacia el punto de contacto deseado, es decir, al objetivo.

Vemos que los últimos sistemas de "radar" proyectados dan a los operadores una adecuada información del azimut, altura y distancia hasta 15 kilómetros; y para distancias menores de unos tres kilómetros también hay su indicación correspondiente.

ESQUEMA GENERAL



Tensiones aplicadas al Modulador

Las antenas de precisión del área de descubrimiento tienen 23° de ancho, en azimut: 1,5° a la izquierda de la línea paralela a la pista y 5° a la derecha también de la misma, así como 7° en elevación (6° sobre el horizonte y 1° debajo del mismo). Estas áreas se indican en las figuras 2 D y 2 E.

Los indicadores panorámicos del sistema de exploración y precisión funcionan idénticamente. La única diferencia es la forma de interpretar la información en los tubos de rayos catódicos. Tanto las informaciones azimutales y de elevación son suministradas a los indicadores juntamente con los alcances.

Por medio del curso de los "ecos", los indicadores eléctricos de los aviones registran los errores en grados azimutales, y la desviación en elevación, en pies, en relación con la línea correcta y el ángulo de aproximación. Dicha información es llevada, o transmitida, al piloto por medio de los sistemas de comunicaciones, y éste puede hacer las debidas correcciones en el rumbo y velocidad de descenso.

El control del tráfico.

Los operadores solamente efectúan la exploración buscando blancos sobre el indicador, empleando el sistema de comunicación entre tierra y avión, guiando la ruta de éste en la dirección y a la distancia que se desee, cuando se aproxima al campo, por medio del GCA, con el cual el aparato lo podemos, como hemos dicho, orientar a la altura previa para el aterrizaje, sirviendo, además, dicho GCA para alinear los aviones en azimut con el equipo y saber cuándo ha de empezar el descenso, haciendo el aterrizaje aun con visibilidad cero con toda normalidad.