

Métodos e instrumentos utilizados en los sondeos aerológicos

JOSE MARIA RODRIGUEZ MAYQUEZ
Del Servicio Meteorológico Nacional.

Uno de los métodos empleados por los Servicios Meteorológicos de todo el mundo para la formación de mapas sinópticos del tiempo, la representación esquemática de cortes verticales de la atmósfera, las predicciones aeronáuticas, y, en fin, para todo lo que sea investigación termodinámica de la capa atmosférica que cubre a la tierra hasta una altura de 30 ó 35 kilómetros, es el sondeo aerológico, utilizando para ello aparatos de medida apropiados, que son elevados en la atmósfera por diferentes procedimientos, de los cuales y de esos instrumentos vamos a hacer breve reseña.

La historia de la Aerología (conjunto de estudios físicos de la alta atmósfera) es muy corta, y casi queda restringida a los últimos años del siglo pasado y a lo que va del presente. Aún se acorta más si deseamos la descripción de métodos de sondeo del tipo de globo tripulado. La misión de los globos tripulados no puede ser la de suministrar datos profusos en el tiempo y en el espacio, sino la de realizar medidas exactas, comprobaciones, y, en último lugar, llevar la inteligencia humana, superior a todo método mecánico o eléctrico, a conocer directamente cuanto ocurre en esas regiones de la atmósfera. Citaremos tan sólo, pues son de todos conocidas, las ascensiones de Tissandier, Glaishers, etc., en el siglo pasado, alcanzando solamente los primeros kilómetros de altura. Las de Assmann y Bergson, en Alemania, al comenzar el presente siglo, y en las que ya se logró alcanzar la capa inferior de la estratosfera. Y, por último, las más recientes de Piccard, del Explorer, en los Estados Unidos; las ascensiones rusas, las de Syrius (que ostentan la marca mundial de altura, con 22.000 metros), etc., en las que consiguieron alturas comprendidas entre los 15 y 22 kilómetros.

En todas estas ascensiones (que siempre tenían un carácter mucho más amplio que el puramente meteorológico) se empleaba, en lo que respecta al registro de datos meteorológicos, el instrumento fundamental de medida y registro: el "meteorógrafo".

Es el meteorógrafo un aparato indicador y registrador de las tres variables meteorológicas (presión, temperatura y humedad), que nos son medidas por elementos sensibles a ellas, siendo para la presión una cápsula aneroide de Vidi o de Boudron; para la temperatura, la lámina bimetálica curvada o recta, y para la humedad, el haz de cabellos. Estos elementos sensibles, mediante un sencillo sistema de palancas, multiplicador del pequeño movimiento producido por ellos, traza sobre una banda de papel o metal ahumado, que se desliza uniformemente, curvas representativas de los cambios sufridos por las tres variables. De las dos coordenadas de las curvas, una es común a las tres, el tiempo, medido por un aparato de relojería que lleva el meteorógrafo, y que hace girar con movimiento uniforme al cilindro donde va enrollada la banda registradora. Las otras tres coordenadas, una para cada curva, nos miden los valores alcanzados por cada variable meteorológica.

En la figura 1 puede verse un meteorógrafo de este tipo. *P*, palanca de presión, que es medida por las cápsulas de Vidi que se ven debajo; *T*, palanca de temperatura, que es medida por la lámina bimetálica que se ve a la derecha; *H*, palanca de la humedad, que es medida por el haz de cabellos colocado detrás de la lámina bimetálica. Las palancas auxiliares *A* y *B* nos determinan trazos fijos de referencia, pudiendo hacerse en una de ellas (en la superior de la figura) pequeños movimientos verticales para indicar ciertos fenómenos cuyo momento de aparición o cese nos interese conocer.

Se idearon posteriormente algunas simplificaciones en el meteorógrafo. Para ello se utilizó el elemento de presión (por ser el que varía con más regularidad y en un solo sentido, salvo excepciones accidentales) como motor del movimiento para deslizar la banda uniformemente delante de las palancas de temperatura y humedad. La simplificación obtenida era muy notable, ya que bastaba con que sobre la misma cápsula

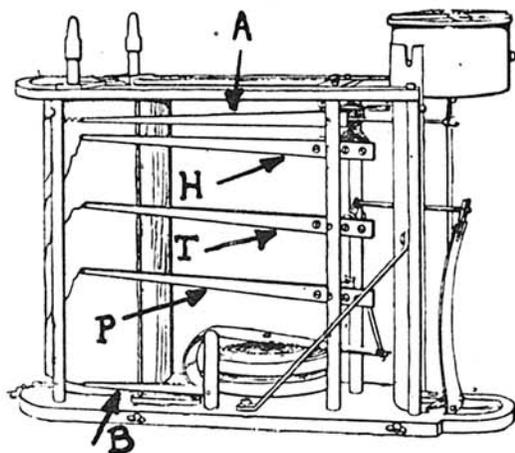


Fig. 1.—El meteorógrafo.

sula aneroides se montase la banda registradora (en este caso una simple plaquita, generalmente metálica, con un depósito de otro metal blando en su superficie); al ir avanzando esta placa metálica, había una aguja fija que marcaba un trazo recto de referencia, y a ambos lados el termómetro y el higrómetro iban señalando con sendos estiletos las curvas representativas de sus variaciones.

En la figura 2 puede verse un esquema de este principio, que por su claridad nos dispensa de mayores explicaciones.

Puede utilizarse también, como motor de la banda registradora, un pequeño molino de viento. En la figura 3 queda ilustrado el procedimiento.

Ahora bien, entre los procedimientos empleados para la elevación del meteorógrafo, el más sencillo es el de colgar el aparato pendiente de un globo inflado de hidrógeno, que asciende en la atmósfera libremente y a una velocidad que oscila entre los 200 y los 400 metros por minuto. El conocimiento de los datos obtenidos con el sondeo había de llevarlo a cabo esperando que el aparato cayera en algún lugar habitado y en buenas manos, y luego, enterado el que lo hallaba, por medio de unas instrucciones que se acompañaban al instrumento, de cuanto tenía que hacer, se procedía a su recogida y estudio, gratificándose con una cantidad fija al que halló el aparato con objeto de interesar su pronto aviso de hallazgo.

Como puede comprenderse fácilmente,

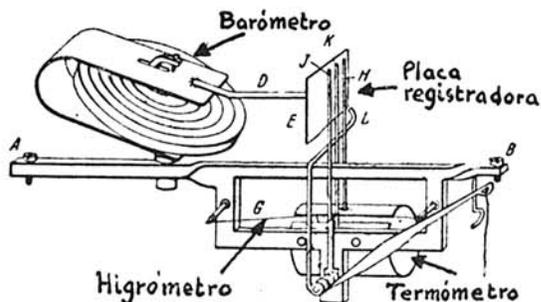


Fig. 2.—Meteorógrafo de globo-sonda libre, de diseño simplificado (sin cronómetro).

este método de sondeo tenía el grave inconveniente de suministrar los datos con un retraso enorme, a veces de un mes y más aún. No podían ser empleados, por tanto, en los servicios de protección a la navegación aérea o de la predicción, que precisan sondeos rápidos y seguros. Su valor consistía tan sólo en los datos que proporcionaban para el estudio posterior que en ellos se llevaba a cabo.

Debido a estas dificultades, pronto se pensó en hacer el sondeo por métodos más rápidos, sobre todo en lo que respecta a la utilización de los datos conseguidos en dichos sondeos.

Se idearon entonces las cometas-sonda, cuyo nombre mismo indica su forma de trabajar. Consistían en una superficie de gran tamaño, contruida con seda y maderas ligeras, que expuesta al viento con una inclinación determinada y retenida por un cable fuerte y ligerísimo, era elevada por el aire

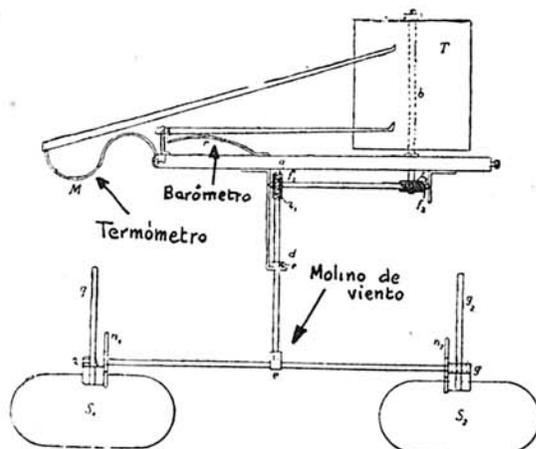


Fig. 3.—Meteorógrafo de globo-sonda libre, con el registrador movido por un pequeño molino de viento.

que chocaba contra ella. Llevaban colgado un meteorógrafo especial que poseía, además de los elementos sensibles ordinarios, un anemómetro para conocer la velocidad y recorrido del viento a diferentes alturas. Una vez que se había conseguido la altura apetecida (que generalmente no era superior a los 5 o 6 kilómetros) se recogía la cometa y se procedía a utilizar los datos registrados en el meteorógrafo.

Igualmente fué utilizado y sigue utilizándose en la actualidad con bastante intensidad el sondeo con avión, subiendo éste provisto del meteorógrafo correspondiente hasta alturas que normalmente oscilan entre los 5 y 8 kilómetros. El gasto es bastante grande, pero tiene la inmensa ventaja, aparte de su quizá discutible exactitud (por la velocidad del avión, con la consiguiente turbulencia de la corriente de aire empleada para mantener a los elementos sensibles en condiciones de ventilación forzada, necesaria para los cambios rápidos sufridos por la masa atmosférica atravesada, y variaciones de otro orden motivadas por la salida de gases a altas temperaturas y presiones, aparte de la vibración general producida por los motores), de permitir el examen directo de la visibilidad a diferentes alturas y en distintas direcciones, y el de las diferentes capas de nubes que pueda encontrar en su ascensión la aeronave. La rapidez en el cálculo es muy grande también, ya que una vez que el avión ha llegado a su máxima cota, puede desmontarse el meteorógrafo y comenzar el cálculo de los valores medidos por él. Inmediatamente que se termina este cálculo, se cifra el telegrama correspondiente, que es transmitido por la emisora del avión. El vuelo ha de hacerse sobre la vertical del punto de salida, describiendo círculos de 15 ó 20 kilómetros de diámetro como máximo, para que puedan ser homologables los datos conseguidos a diferentes alturas.

Modernamente, al mismo tiempo que se efectúan sondeos verticales con aviones, se utilizan éstos para efectuar sondeos horizontales a alturas convenientes y fijas y con un recorrido conocido e igualmente fijo. Suelen describir triángulos de 1.500 ó 2.000 kilómetros de lado, o efectuar trayectos rectos de igual magnitud, realizando en puntos fijos del itinerario sondeos verticales. Con estos sondeos se puede tener una idea

bastante exacta del corte vertical y horizontal de los frentes meteorológicos atravesados y de las masas de aire recorridas.

En algunos casos también se ha utilizado el globo cautivo para el sondeo. Debido al peso del cable de retención, la altura no puede hacerse muy grande para no aumentar enormemente el tamaño del globo, para darle mayor fuerza ascensional.

De las tres figuras primeras, la 1 es el esquema de un meteorógrafo de avión modelo alemán de la casa Bosch; la figura 2 es un meteorógrafo de globo-sonda libre tipo francés; y el de la figura 3 es un modelo ruso, de Moltchanoff, también de globo-sonda libre.

Conocidos estos antecedentes, fácil es comprender la utilidad de un instrumento que nos mida la presión, temperatura y humedad, y automáticamente y de la manera más simple posible, nos vaya transmitiendo su valor por un procedimiento instantáneo. Este instrumento de sondeo es el "radiosonda", que junto con el sondeo en avión son los dos únicos procedimientos que en la actualidad se utilizan en gran escala.

En España, con anterioridad al Movimiento Nacional, se lanzaban globos-sonda libres desde Madrid. Y en el Observatorio de Izaña (Tenerife), enclavado a 2.700 metros de altitud, en las faldas del Teide, se utilizó durante algún tiempo la cometa-sonda. Con posterioridad al Movimiento Nacional (y durante la misma Guerra de Liberación) se han efectuado en Barajas sondeos en avión y radiosondas; en Santa Eugenia de Riveira (en la ría de Villagarcía de Arosa), hay instalada una estación de radiosondas que ha funcionado hasta hace algo más de un año con gran regularidad, efectuando dos sondeos diarios. En la actualidad, y desde hace casi dos años, existe otra estación de radiosondas en Barajas, que efectúa un lanzamiento diario y colabora con las estaciones extranjeras en la red internacional de radiosondeos.

A continuación vamos a exponer de una manera rápida y concisa los diferentes tipos y sistemas de radiosondas que se han lanzado.

Varios son los sistemas que pueden emplearse para transmitir eléctricamente a distancia las variaciones que un elemento me-

teorológico puede sufrir. Pero en el caso de los radiosondas, que han de ser instrumentos ligerísimos y que han de estar sometidos, en el corto intervalo de una o dos horas, a las mayores variaciones posibles (la presión puede variar entre 1.000 mb. y 40 ó 50 mb.; la temperatura, entre +40° C. y -70° C.; y la humedad, entre 5 ó 10 por 100 y 100 por 100), el mecanismo empleado para la traducción de las variaciones de elementos meteorológicos en variaciones de un elemento de fácil medida en el receptor situado en tierra, ha de ser sencillo y resistente, sin emplear complicados contactos ni instalaciones eléctricas delicadas, de difícil construcción y costo excesivo.

Por todo ello, los investigadores y fabricantes de radiosondas se han decidido por procedimientos como los que a continuación se describen:

En uno de ellos se utiliza como elemento de traducción y enlace, el tiempo. Y al efecto lleva un mecanismo de relojería que explora por medio de un brazo giratorio u otro sistema análogo, una serie de palancas móviles y otras fijas. Las móviles reciben su movimiento de otros tantos órganos sensibles a las variables meteorológicas. La emisión se interrumpe cada vez que el brazo explorador toca a una palanca, tanto móvil como fija. En la recepción, que se efectúa sobre una banda que gira en sincronismo con el aparato de relojería del radiosonda, se van situando los contactos (o momentos sin emisión) correspondientes a las palancas móviles entre los de las fijas. Y la posición relativa de aquéllos con respecto a éstos nos determinará la cuantía del elemento medido.

En otro sistema cada variable meteorológica actúa sobre un elemento sensible, que forma parte del circuito de sintonía de la emisora del radiosonda. Y bien por un procedimiento de selección automática cualquiera, o porque cada elemento tenga emisora y transmisión independiente, se viene en conocimiento del valor del elemento medido por la frecuencia con que en cada momento emite el radiosonda.

Otro sistema, intermedio, hace depender una frecuencia audible (moduladora de la frecuencia fija portadora) del valor de la temperatura y humedad, seleccionándose en un orden predeterminado y fijo por el ba-

rómetro, y de una manera sucesiva y continua, alternativamente contactos de temperatura y humedad, junto con otros fijos de referencia.

En algunos sistemas se utilizan procedimientos algo complicados de conmutación, que nos producen una serie de puntos fijos de las variables, conocidos e identificados, los cuales es fácil ya interpolar otros puntos intermedios.

Pasemos ahora a describir cada modelo, aunque de una manera simple. Empezaremos primeramente por el de exploración mecánica, que cronológicamente fué el primero en utilizarse.

El que hemos denominado sistema mecánico o de interrupciones en la emisión, puede aún subdividirse en dos grupos. Uno, en el que las interrupciones, en un orden predeterminado y fijo, van siendo motivadas por un brazo movido por un aparato de relojería que "explora" las distancias relativas de las palancas correspondientes a los elementos meteorológicos con respecto a una o varias palancas o contactos fijos, de referencia. En el otro grupo se encuentran los radiosondas, en los cuales la medida del elemento meteorológico nos la dan las interrupciones sufridas por la emisión al mover cada elemento sensible una palanca que apoya sobre una serie de contactos (previamente calibrados); la determinación de los puntos fijos señalados por cada contacto, nos suministra, por interpolación, una curva de los valores reales en cada momento. Veamos algunos de ambos grupos.

El radiosonda alemán "Askania" posee un brazo explorador que gira en un plano y va sucesivamente tocando cada una de las palancas móviles correspondientes a los tres elementos sensibles, e intercalados entre ellos otros tres contactos fijos de referencia. La emisión radioeléctrica se efectúa con una longitud de onda de 52 metros, y se recibe en un receptor ordinario, cuya salida va conectada a un tambor giratorio en cuya superficie van quedando señaladas las interrupciones fijas y las móviles. El sincronismo de los relojes del radiosonda y del tambor se consigue a mano, cuidando que las marcas fijas se desarrollen sobre una generatriz del cilindro.

El radiosonda americano de Curtiss y Astin posee iguales características que el

anterior, y su aspecto puede apreciarse en la figura 4 (meteorógrafo solamente). Emite con una longitud de onda de cinco metros, y su recepción se efectúa sobre una cinta de papel, que se desliza uniformemente delante de una aguja, la cual nos marca, en los momentos de interrupción en la emisión, una señal. La comparación para cada punto de las distancias relativas a un mismo origen, nos dará la magnitud de los elementos medidos.

El modelo del Guggenheim Aeronautics Laboratory am California Institute of Technology (GALCIT), americano, aunque posee idénticas características que el anterior, la longitud de onda con que emite, de 1,67 metros, lo hace muy apto para ser recibido por un radiogoniómetro, con lo cual puede determinarse, mediante el uso de otro receptor análogo situado a algunos kilómetros de distancia, la posición en el espacio, ya que se tienen: los ángulos azimutales de los dos radiogoniómetros para determinar la proyección vertical sobre el suelo, y la altura, que nos la da el barómetro del radiosonda. Con estos datos podremos utilizar el sondeo, además de termodinámicamente, como sondeo de viento o sondeo piloto. Su recepción se efectúa por un procedimiento análogo al descrito para el radiosonda anterior.

El radiosonda suizo Hasler, fundado también en el mismo principio mecánico, puede asimismo ser recibido por un radiogoniómetro, ya que su longitud de onda, de 3,15 metros, así lo permite. Es de una construcción muy esmerada y reciente, y aunque resulta caro, las ventajas inherentes a la uti-

lización como sondeo de viento lo hacen muy útil. La recepción se efectúa sobre cinta.

Un modelo antiguo, el radiosonda francés de Bureau, realiza la exploración mediante un brazo, en idénticas condiciones de funcionamiento que los anteriores; pero para evitar las posibles alteraciones durante la marcha del reloj entre dos contactos fijos (posibles siempre, y más cuando el delicado mecanismo de relojería está sometido a bajísimas temperaturas), lleva un sistema de transmisión algo distinto. En cada exploración del brazo, una rueda, engranada con el eje de aquél, va girando a mucha mayor velocidad; lleva esta rueda diez dientes largos, que se hacen deslizar delante de una plaquita, formando entre cada diente y la plaquita un pequeño condensador. La capacidad del mismo irá variando alternativamente a medida que vayan colocándose delante de la plaquita fija los dientes. Este condensador actúa sobre la sintonía del circuito oscilante, variando en muy pequeña proporción su frecuencia. En el receptor, estas fluctuaciones alternativas de frecuencia se convierten en variaciones de intensidad de recepción, que quedan marcadas sobre una cinta de papel, que se desliza como en los sistemas vistos anteriormente. Con objeto de poder determinar con mayor exactitud y rapidez el número de oscilaciones que han transcurrido desde el comienzo de la exploración, para cada elemento, uno de los diez dientes de la rueda-condensador está partido, con lo cual la variación de frecuencia, al pasar ese diente por delante de la plaquita, será nula, y podrán contarse fácilmente en la cinta las decenas de dientes o alteraciones de frecuencia. Con este sistema la valoración de los elementos meteorológicos ya no está subordinada al regular funcionamiento del reloj del radiosonda y al sincronismo entre este reloj y el del registrado, sino que basta simplemente contar el número de alteraciones de frecuencia que hay para cada elemento medido. La longitud de onda con que emite este radiosonda es de 14 metros.

El radiosonda norteamericano del Blue Hill Observatory utiliza para la exploración una espiral metálica desarrollada sobre un cilindro aislante. Las palancas correspondientes a los elementos sensibles y una fija

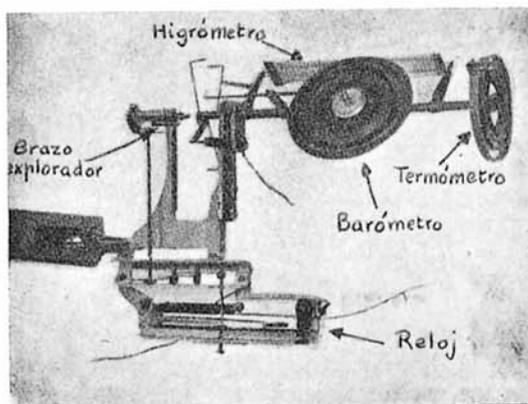


Fig. 4.—Radiosonda de "Curtiss y Astin".

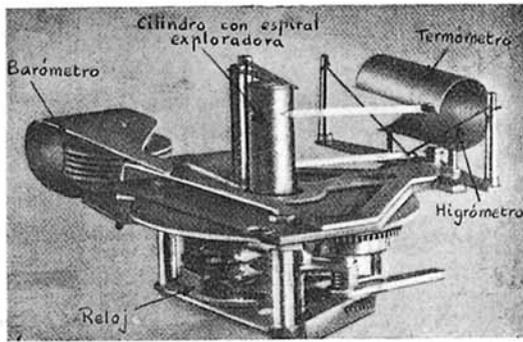


Fig. 5.—Radiosonda del "Blue Hill Observatory".

de referencia, están situadas sobre cuatro generatrices. El desarrollo de la espiral es de más de una vuelta completa, por lo que hay siempre dos puntos, en cada exploración, de cada uno de los tres elementos. La recepción se efectúa sobre un tambor giratorio. La longitud de onda de su emisora es de cinco metros. En la figura 5 puede verse el aspecto exterior del meteorógrafo.

El modelo del Weather Bureau, norteamericano también, efectúa la exploración de los tres brazos de palanca mediante una espiral metálica de desarrollo plano, montada en el aire, cuyo movimiento está producido por una pequeña turbina de aire, tomando el producido por la ascensión del globo-sonda. La recepción se efectúa también sobre cilindro giratorio.

Algunos otros radiosondas de menor importancia completan este grupo, que indudablemente es el más numeroso. En todos ellos, los elementos sensibles utilizados para la medida de las variables meteorológicas son los clásicos que hemos indicado tantas veces. Veamos ahora el otro grupo de radiosondas, que, aunque poseen movimientos mecánicos, las interrupciones de la emisión no son cronológicas o periódicas.

El modelo alemán de Lang, utilizado por la Aviación alemana, ha sido lanzado en España, aunque no con un carácter periódico, durante algún tiempo. Utiliza este aparato para la medida de los elementos meteorológicos, los órganos comunes, y la radiotransmisión de esta medida se realiza de diferente manera para cada elemento. La presión mueve una palanca, cuyo brazo se desliza sobre una serie de contactos situados en una placa aislante. Estos contactos introducen en el circuito de sintonía una

variación tal que motivan prácticamente una interrupción en la recepción. La previa calibración de cada uno de estos puntos fijos nos dará posteriormente una curva de variación de la presión. La temperatura mueve un termómetro bimetalico que actúa sobre una rueda con ocho brazos, que se apoyan sobre un cilindro aislante movido uniformemente, en el que hay desarrollada una espiral metálica (dividida en dos semiespirales equidistantes); cada brazo se mueve sobre una generatriz (aproximadamente, puesto que su trazo es curvo y no recto), y nos dará un contacto en el punto correspondiente a su posición. El intervalo de temperatura que corresponde a cada brazo es de unos 10 ó 12 grados. Por tanto, la exactitud en este radiosonda, para la temperatura, es bastante aceptable, ya que este intervalo de temperatura es explorado en el mismo tiempo que en casi todos los demás sistemas: aproximadamente en un minuto. Hay un contacto fijo, colocado en una generatriz del cilindro, que nos dará una interrupción en la emisión en cada vuelta exploradora, y la duración de esta interrupción de referencia será mayor o menor, según que una palanca móvil que se apoya sobre el cilindro se deslice en el sentido de la marcha más o menos movida por el haz de cabello, y que nos determinará, por tanto, la humedad. La recepción se efectúa sobre un tambor giratorio. Las dos semiespirales de que consta la espiral exploradora hacen la determinación de dos puntos de temperatura en lugar de uno para cada vuelta. La humedad viene determinada por la longitud del trazo de referencia a lo largo de una generatriz del cilindro registrador, generatriz cuyo comienzo debemos mantener lo más recto posible, regulando para ello la marcha del reloj del registrador, al objeto de no tener que efectuar correcciones luego en el comparador o calculador de longitudes. La transmisión en este radiosonda se realiza en una longitud de onda de 45 metros.

El radiosonda holandés posee una serie de contactos, tanto para la presión como para la temperatura (no transmite humedad), sobre los cuales se van deslizando los respectivos brazos de palancas de los elementos sensibles. Un sistema de motor combinado con una caja de contactos va conmutando y poniendo en circuito simultánea-

mente el barómetro y el termómetro, con lo que se obtienen puntos fijos, tanto para una como para otra medida. Una interpolación posterior permite el conocimiento de la curva real de variación de cada elemento. La transmisión se efectúa con una longitud de onda de seis metros.

Existe en este grupo un modelo bastante complicado: el ruso de Moltchanoff. Posee esta radiosonda una estructura muy compleja, pero merece la pena anotar algunas particularidades del mismo. El órgano de temperatura mueve una palanca cuyo extremo se apoya sobre un grupo de contactos distribuidos en varias capas de peines, cuyos dientes van siendo sucesiva y separadamente conectados a masa. La distribución de estos dientes se hace en forma de capas o peines, tal como indica la figura 6. Un eje con cinco levas, de uno, dos, tres, cuatro y cinco dientes, respectivamente, va haciendo contacto con unas placas que están conectadas, cada una, a un peine de contactos distinto. Un sexto peine, con distribución de contactos diferente (con objeto de controlar la marcha del órgano de temperatura), pero conocida y fija, está conectado a una sexta placa, sobre la que se hace contacto otra leva con nueve dientes. Por último, una séptima leva, con un solo diente, hace contacto con la placa que conecta a los contactos correspondientes a la presión, cuyo órgano también posee un brazo que se desliza sobre otro grupo de contactos. Todos los comienzos de las diferentes levas están en una misma generatriz del eje, y todas menos la última de la presión poseen dientes que producen una interrupción en la emisión de duración muy corta; la leva de la presión posee un diente extendido, cuyo contacto produce una interrupción larga, varias veces mayor que las de temperatura. Fácilmente se comprende el funcionamiento: al ir girando el eje de levas, movido por un molino de viento, va estableciendo contacto con todas las placas; pero solamente en una de ellas estará el circuito abierto a masa, y en ese caso se emitirán tantas interrupciones cortas como dientes tenga la leva correspondiente (y, por tanto, conoceremos el peine a que corresponde). Si la presión ha movido el órgano sobre un contacto, entonces la interrupción (aunque haya una de temperatura) será larga y "tapará" a las posibles interrupcio-

nes cortas. Ahora bien: para la humedad, el sistema es distinto. Una prolongación del eje de levas, por medio de un engranaje en hélice, hace girar una rueda dentada con su eje, que da una vuelta para veinte del eje primero. El segundo eje explora por un lado una serie de dientes conectados a otro grupo de contactos, en los cuales resbala el brazo de palanca del órgano indicador de la humedad. Tiene diez contactos de humedad, más otro de referencia al comienzo; los diez contactos de humedad pueden producir cada uno una interrupción larga durante toda una vuelta del eje primero, y el contacto de

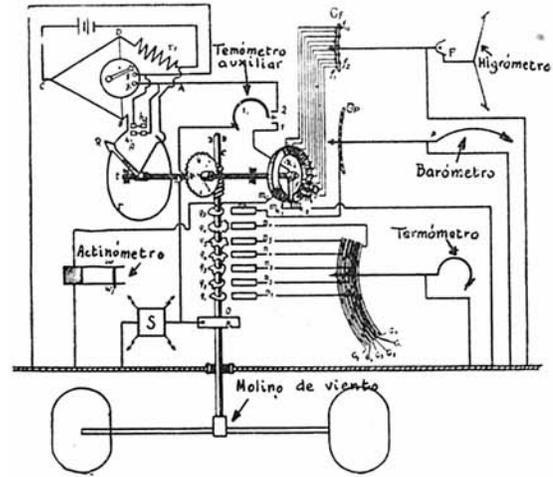


Fig. 6.—Radiosonda de "Moltchanoff".

referencia conecta un aparato especial, compuesto de un actinómetro de Michelson, que nos indica si el radiosonda está dentro o fuera de una nube (por diferencia en la radiación solar) al cerrar o abrir un circuito. Por el otro lado, este segundo eje se desliza sobre una resistencia intercalada en un puente de Wheatstone, y nos indica, por medio de otros contactos y de un galvanómetro intercalado en ellos, el momento en que se iguala esta resistencia con la introducida por un hilo de platino que funciona como termómetro. Este termómetro comienza a funcionar cuando otro tercer termómetro auxiliar, al llegar el radiosonda a una altura donde la temperatura sea de alrededor de -30° C., quita de circuito al indicador de humedad (que ya no nos interesa medir, por su insignificancia) y conecta, en cambio, a este termómetro. Como puede verse, es complejo este radiosonda, pero a la vez ingenioso. Es muy antiguo, y

por ello la longitud de onda con que transmite, de 130 a 150 metros, sólo lo hace apto para regiones como Rusia, donde las comunicaciones radioeléctricas son en extremo reducidas y poco densas, a causa de las enormes distancias.

Todavía existen algunos modelos más, en que se utilizan principios de interrupción mecánica de la transmisión. Pero con los reseñados es suficiente para una idea de conjunto. Pasemos ahora a indicar algunos de los del tipo segundo, o de variación de la frecuencia de emisión. Son éstos más interesantes desde el punto de vista físico, ya que necesitan de emisores y receptores mucho más precisos y mejor contruidos, pues de esa precisión depende la exactitud de las medidas. Veamos algunos.

El radiosonda alemán de Duckert-Telefunken hace variar su frecuencia de transmisión por la temperatura actuando el termómetro bimetálico como mando de un condensador variable que está colocado en el circuito de sintonía. El órgano de presión mueve una palanca, y ésta, a un pequeño cilindro de contactos, que gira frente a una escobilla. Los contactos del cilindro, al entrar en circuito, hacen variar la frecuencia de emisión de una manera brusca y fuerte, permaneciendo durante un cierto número de segundos en esa nueva frecuencia, y dependiendo el tiempo de permanencia en la misma del valor de la humedad, cuyo órgano medidor mueve una palanca que se desliza perpendicularmente a la generatriz del cilindro y motiva una mayor o menor duración del contacto (de igual forma que en el radiosonda de Lang). La nueva frecuencia de emisión sigue durante este intervalo las fluctuaciones de la temperatura en una curva de distribución paralela a la anterior, de manera que se puede decir que la temperatura se conoce de una forma continua. La longitud de onda es de 42-47 metros.

El radiosonda finlandés Väisälä posee un órgano rotativo movido por un molino de viento que va explorando cinco contactos distintos, correspondiendo tres de ellos a la presión, temperatura y humedad, y los dos restantes son contactos que proporcionan dos frecuencias fijas de referencia. El circuito oscilante varía su frecuencia, introduciendo distintos valores en la capacidad.

Para ello, los instrumentos de medida actúan mecánicamente sobre tres condensadores, con lo cual aumentan o disminuyen sus capacidades en mayor o menor proporción. En la recepción van siguiéndose, a mano, estas fluctuaciones de la frecuencia, registrándose sobre un tambor acoplado al mando del condensador de sintonía. La longitud de onda varía entre 19,8 y 21,5 metros, y el peso del aparato es pequeñísimo.

El modelo japonés, del cual apenas se tienen noticias, utiliza para la transmisión de la presión y de la temperatura emisoras diferentes (no transmite humedad), y se reciben en dos receptores distintos de una manera continua. La longitud de onda es de 22 metros para la presión, y de 20 metros para la temperatura.

El radiosonda inglés que actualmente se lanza en Gibraltar, y del cual se poseen en nuestro Servicio algunas noticias, utiliza un procedimiento análogo al finlandés, con la diferencia de que la emisión, en vez de ser en onda sin modular, está modulada por un tono que varía para cada elemento. Esta variación se consigue por la diferencia de autoinducción introducida en una pequeña bobina con núcleo magnético, al variar la separación que a la misma tiene una pequeña lámina de hierro. El circuito oscilante, de muy baja frecuencia (audible), formado por un condensador de gran capacidad, y cada una de estas tres inductancias, introducidas sucesivamente por un conmutador movido por el viento, nos producirá un tono audible distinto al variar la autoinducción de la bobina. Emite en una longitud de onda de unos cinco metros.

El modelo alemán de Kolzer-Graw utiliza un procedimiento análogo a los descritos para la temperatura, variando la frecuencia por los cambios de capacidad introducidos en un condensador variable, cuyo eje está movido por el órgano de temperatura.

El radiosonda de la Marina alemana posee algunas particularidades, sobre todo en lo que respecta a los órganos de medida. El barómetro consta de un tubo de vidrio, cerrado por un extremo y abierto por el otro; este tubo posee, de trecho en trecho, pares de contactos incrustados en el vidrio y unidos entre sí, como indica la figura 7. Casi en el fondo del tubo hay una gota de mercurio que "tapona" el gas encerrado en el

interior del tubo. Al ir disminuyendo la presión exterior y dilatarse el gas para igualar las presiones, este gas interior empuja al mercurio, y éste va cerrando el circuito exterior al poner en contacto, sucesiva y separadamente, los pares de contactos. La temperatura se mide con un termómetro de mercurio-talio, con objeto de que al disminuir ésta hasta los -60° C. ó -70° C., no se solidifique el mercurio. Posee el tubo capilar del termómetro una serie de contactos incrustados en el vidrio, pero unidos cada uno de ellos a una toma distinta de una resistencia. Al ascender o descender el mercurio, por efecto de los cambios de temperatura, va poniendo en corto circuito las diferentes tomas de la resistencia, con lo que se obtiene una variación de ésta de una manera brusca, según la temperatura. La variación existente entre cada dos puntos fijos nos la dan los cambios experimentados en la frecuencia por el aumento o disminución de la capacidad de un condensador (C, en la figura 7), cuyo valor cambia con la temperatura. La humedad se mide en este radiosonda por el principio del psicrómetro, esto es, de conocer la diferencia que hay entre las temperaturas marcadas por un termómetro con depósito normal y descubierto, y la de otro igual, pero con el depósito cubierto con una tela impregnada de agua. El esquema de la emisora está representado en la figura 7, donde vemos que en la lámpara empleada, doble triodo, cada sección posee circuito de sintonía distinto. El

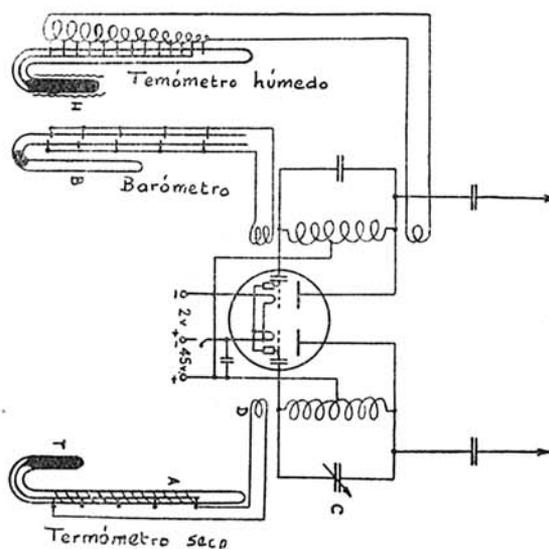


Fig. 7.—Radiosonda de la Marina alemana.

de la derecha transmite señales del termómetro seco (que nos da la temperatura real) y de la capacidad variable con la temperatura. Estas variaciones están controladas en varios puntos por el termómetro "seco", cuyos contactos de temperaturas fijas nos rectifican cualquier error. La introducción de los saltos de resistencia se hace colocando en uno de los extremos de la bobina de sintonía una espira, que va conectada a los terminales del termómetro, y que producirá cambios de la impedancia del circuito de sintonía, con lo que obtendremos paralelamente cambios de frecuencia. El circuito de sintonía de la parte izquierda, idéntico al anterior, transmite señales del barómetro y del termómetro "húmedo", y posee muchos contactos incrustados, ya que no hay condensador de variación continua. Los contactos del termómetro "húmedo" y del barómetro se diferencian por su duración, mucho mayor en el último que en el primero. La primera emisora funciona a una frecuencia de 8.000 kc. (37,5 metros), y la segunda lo hace a 10.700 kc. (28 metros). Se recibe en dos receptores distintos, uno para cada emisora, y se registra su frecuencia a mano sobre un cilindro acoplado al mando de sintonía. De este tipo de radiosonda se han venido efectuando lanzamientos en Santa Eugenia de Riveira durante casi cinco años.

Algunos radiosondas quedan todavía de este sistema; pero para no alargar excesivamente este resumen, bastante extendido ya para poder siquiera dar nociones sobre los tipos más importantes, vamos a terminar por estudiar el último radiosonda: el norteamericano AN/AMQ-1. Actualmente se lanzan en España radiosondas de este tipo, y dan un resultado excelente.

El esquema del circuito eléctrico está indicado en la figura 8, en el cual puede verse que dispone de un doble triodo, del que una parte actúa como lámpara osciladora de baja frecuencia y moduladora del paso siguiente, que es el de salida y oscilador de alta frecuencia. Es, en suma, un pequeño emisor modulado a una frecuencia audible de 15 ó 200 pps., y con portadora de 72 Mc. (4,16 metros). La baja frecuencia, en forma de impulsos triangulares, se produce al formarse en la impedancia de rejilla una tensión inducida por la impedancia de placa. Esta

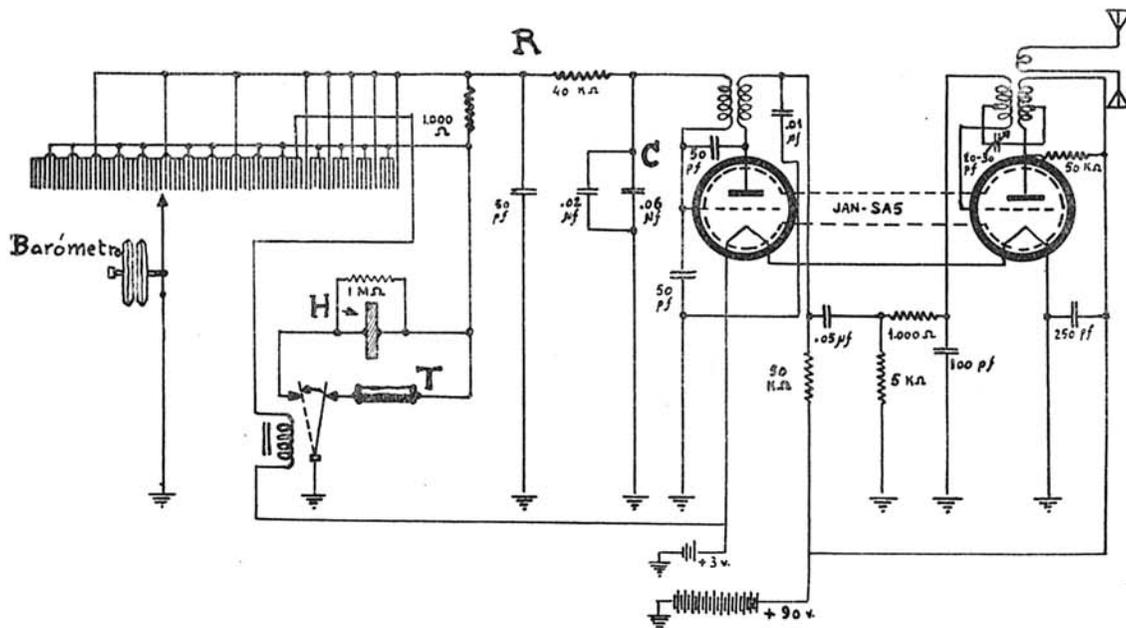


Fig. 8.—Radiosonda americano, modelo AN/AMQ-1.

tensión empieza a cargar el grupo de condensadores *C* con la tensión que se desarrollará la resistencia *R* (y en las restantes que entren en circuito). Cargado por completo el grupo de condensadores con la polaridad apropiada, nos pondrá la rejilla a un potencial de aproximadamente -8 v., con lo que la corriente de placa quedará cortada por completo. Al cortarse esta corriente, la tensión que ha motivado la carga de los condensadores disminuye hasta anularse rápidamente, con lo cual estos últimos se descargarán a través de la resistencia *R*. Más adelante se verá el por qué de esta explicación. Veamos ahora el funcionamiento del radiosonda. Como hemos dicho antes, en la sección moduladora (de baja) quedan cargados un grupo de condensadores por la diferencia de potencial existente entre los extremos de una resistencia. El tiempo de carga de estos condensadores será igual a la constante de tiempo $C \times R$. Como el valor de *C* no cambia, haremos que lo haga el de *R*, y para ello, además de la resistencia fija de 40.000 ohms, van intercaladas, en serie con ella, una de 1.000 fija y otras dos, que vamos a hacer variables con la temperatura y la humedad, respectivamente.

Ahora bien: para poder medir ambos elementos, tenemos que ir conectando sucesi-

vamente, y con un ritmo bastante rápido para que haya suficientes medidas de ambos elementos, las dos resistencias. Esto lo hace automáticamente el barómetro, el cual, por medio de una aguja que se desliza sobre una pila de contactos montados en serie, va introduciendo en circuito: 1.º, el higrómetro eléctrico por medio de un relai; 2.º, el termómetro en los momentos en que pasa de un contacto a otro (ya que entre contacto y contacto hay una placa de material aislante que los separa); 3.º, la resistencia de 1.000 ohms. cada cinco contactos de humedad (al principio, pues al final, que no interesa medir ésta, los contactos de humedad se sustituyen por los de la resistencia de 1.000 ohms.); 4.º, cada quince contactos al principio, y cada cinco al final, introduce directamente el extremo de la resistencia de 40.000 ohms. a masa. A los contactos que sólo llevan a masa la resistencia de 1.000 ohms. se les llama de referencia baja, que producen un tono fijo, de control, y que es de 190 pps. Y a los que llevan directamente a masa a la resistencia de 40.000, se les llama de referencia alta, y producen un tono algo mayor (de diferencia imperceptible al oído) de 195 pps.

El termómetro eléctrico está formado por una barrita de material cerámico, en cuya composición entra el carbón, y que es su-

mamente sensible a la temperatura, variando su resistencia con ésta. Produce en este circuito frecuencias comprendidas entre 50 y 150 pps.

El higrómetro eléctrico está formado por una lámina de material plástico transparente, con los bordes metalizados para ofrecer un buen contacto, y con su superficie ligeramente pintada de un barniz compuesto de cloruro de litio, sal altamente higroscópica, que, al absorber la humedad, hace variar la resistencia eléctrica ofrecida por la lámina. Genera una frecuencia comprendida entre 30 y 150 pps., pero es muy inestable, debido a que también es sensible a la temperatura y a otras causas de índole eléctrica.

La recepción se efectúa en un aparato de tipo normal, al cual se ha adaptado un frecuencígrafo y un frecuencímetro: el primero, para registrar los datos, y el segundo, para comprobaciones.

El frecuencímetro, por ser electrónico y no de los tipos mecánicos comúnmente empleados en la industria para frecuencias de 50 pps., merece una ligera explicación. Como dijimos antes, el tipo de onda empleado en la modulación es de impulsos o dientes triangulares. Pues bien: mediante diferentes aparatos reguladores y amplificadores, hacemos llegar la oscilación de baja frecuencia al frecuencímetro a un nivel constante; esto es, que las crestas o picos de oscilación alcancen constantemente un mismo valor en voltaje. El traductor frecuencia-corriente se compone de una o varias válvulas de las llamadas "tyrathrones", que están llenas de gas de mercurio y que tienen la propiedad de no dejar pasar corriente alguna hasta tanto no alcanza la rejilla un potencial determinado (0 v. generalmente, con relación al cátodo), conseguido el cual, deja pasar bruscamente una fuerte corriente en la placa. Pues bien: el pico más alto de la oscilación de baja frecuencia tiene calculada su amplificación de manera que alcance exactamente, y durante un tiempo extremadamente pequeño, el valor de la polarización precisa para hacer conductoras a las lámparas de gas. En este corto espacio de tiempo (cuyo valor no depende de la frecuencia), la resistencia de placa de las lámparas, al ser recorridas por una corrien-

te de gran intensidad, nos producirán en sus extremos una diferencia de potencial muy apreciable, pues en el caso de este frecuencímetro llega a bajar, desde 150 v. normales a 15 v. en estos picos solamente; con lo cual la lámpara de gas deja de ser conductora nuevamente (pues también posee la propiedad de no conducir en el caso de una tensión baja en la placa, que en nuestro caso es cercana a los 15 v.). Con todo esto obtenemos unas diferencias de potencial que podemos rectificar mediante una lámpara diodo, o mejor dicho, podremos aún aprovechar solamente la parte superior de la curva de tensión. Obtenidos los impulsos de corriente necesarios, cuyas dimensiones (tanto en tensión y corriente máxima, como en duración) son idénticas y dependen solamente de las constantes del circuito del frecuencímetro, podremos emplearlo en un instrumento de medida cualquiera, pues éste nos medirá "áreas" de corriente, que son por completo independientes de la frecuencia, y cuya suma en una misma unidad de tiempo será, en cambio, directamente proporcional al número de impulsos, que a su vez es igual a la frecuencia de entrada en el frecuencímetro.

Aunque todavía queda mucho por decir acerca de éste o de otros radiosondas, baste con lo que ligeramente se ha apuntado para dar una idea clara acerca de su misión, y, por tanto, de su importancia para la protección a la navegación aérea.

Mirando los sondeos aerológicos y los medios utilizados desde el siglo pasado para su realización, vemos los constantes esfuerzos realizados y el enorme trabajo llevado a cabo por investigadores y constructores, que no han dejado ni un momento de idear nuevos perfeccionamientos. Es de esperar que en un futuro no muy lejano también cuente España con modelos propios de radiosondas, fabricados íntegramente por la industria nacional; y que en el ámbito internacional, la pasada guerra, con los grandes descubrimientos que en el campo de la radio se han llevado a cabo, aporte nuevos principios y métodos a esta rama de la Meteorología, quizá la más importante de todas, por lo que tiene de verificación de observaciones en un espacio de tres dimensiones y no en la superficie solamente.