

NAVEGACIÓN AÉREA ASTRONÓMICA

LOS ERRORES DE OBSERVACIÓN CON EL SEXTANTE DE BURBUJA

Por el Teniente CÉSPEDES

El alto grado de simplificación alcanzado actualmente por los Almanques y Tablas de Navegación Astronómica ha reducido en tal modo la primitiva complejidad del cálculo, que hoy día la determinación del punto, dentro de un grado de precisión media de cinco millas, puede hacerse en cuatro minutos. A esta rapidez contribuye también decisivamente el gran perfeccionamiento del material de observación, del que es elemento esencial el sextante de burbuja, que hasta el momento sigue siendo insustituible a bordo de los aviones.

En general las Tablas de Navegación admiten hasta un grado de error en la posición estimada y aún más; un caso tal es poco probable que llegue a darse con una estima medianamente atendida; pero aunque se diese, hay medios auxiliares capaces de dar un punto estimado con precisión sobradamente necesaria para utilizar las Tablas. Es en la observación donde se cometen los mayores errores, y aunque en los aviones se tiene ya en cuenta la observación astronómica, la instalación de cúpulas y puestos de observación no ha hecho en realidad más que facilitarla, pues los errores de mayor consideración se deben principalmente a factores externos que por el momento no han podido ser anulados.

Los sextantes de burbuja afectan las lecturas de errores, que para su exposición dividiremos primeramente en dos grandes grupos: errores de observación propiamente y errores de burbuja.

En el primer grupo están incluidos los que se producirían en la observación con un sextante de horizonte natural, y comprende los de lectura, personal y de refracción. Son todos de tipo sistemático y haremos una breve reseña de ellos.

Errores de lectura.—Dependen exclusivamente del material y son producidos por el sextante como mecanismo. El más importante es el "error de índice", debido generalmente al decalaje del espejo índice respecto al nonio o sistema equivalente. Otra causa de error es la construcción, que por cuidadosa que sea nunca es perfecta, y, finalmente, el uso continuo, los golpes, etc., introducen también errores, a veces considerables, que deben ser tenidos en cuenta.

Corrección.—El mejor método es el de englobar todos los errores anteriores en uno solo y aplicar a las lecturas una corrección determinada del siguiente modo:

- 1.º Centrar la burbuja exactamente y fijar el sextante.
- 2.º Tomar series de diez alturas a puntos de altura conocida, espaciando las series de 10º en 10º, hasta 80º.
- 3.º Hallar la media de cada serie y restarla de la altura verdadera correspondiente. Este será el error de lectura para cada altura.

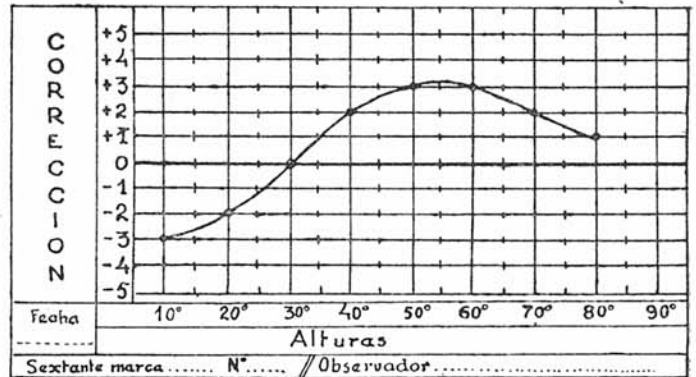


fig 1ª

4.º Cambiar el signo al error de lectura para convertirlo en "corrección de lectura".

5.º Con las alturas verdaderas y sus correcciones trazar un gráfico como el de la figura 1.

También podrían tabularse las correcciones, pero la representación gráfica facilita y mejora la interpolación.

Error personal.—Depende exclusivamente del observador, y es de difícil determinación por la casi imposibilidad de separarlo de otros errores simultáneos. Es debido a la tendencia, distinta para cada individuo, a hacer la coincidencia de astro y burbuja de un modo determinado, centrandolo el astro un poco por encima o por debajo de la burbuja en una cantidad tan pequeña que ni él mismo se da cuenta de ello.

Corrección.—El único sistema práctico de eliminar el error personal es el de utilizar sextantes corregidos de lectura personalmente por el observador. De este modo el error personal se incluye en el de lectura y, por tanto, en la corrección de lectura.

Error de refracción.—Es debido, como se sabe, al cambio de densidad en el medio atravesado por el rayo luminoso, o bien al paso de un medio a otro de la misma densidad a través de un tercer medio de separación curvado (o de caras no paralelas) y distinta densidad.

El primer caso corresponde a la refracción atmosférica, y para cada altura varía con la elevación del observador y el grado de humedad de la atmósfera. Alcanza el máximo valor para 0º de altura, y se anula para alturas de 90º.

El error de refracción es de signo positivo, puesto que aumenta la altura real y puede ser tabulado para cada altura, o mejor, representado gráficamente mediante nomogramas o ábacos.

Corrección.—El error de refracción atmosférica viene generalmente incluido en los valores de las alturas de las Tablas de Navegación, en las que se ha tomado una refracción media para una altura de vuelo media también, y las correcciones que han de introducirse por variaciones en estos elementos medios son muy pequeñas, aun dentro de las mayores perturbaciones que puedan normalmente presentarse. Del mismo modo que el error, la corrección de refracción atmosférica puede ser tabulada o representada gráficamente sin más que cambiar el signo, que es siempre negativo.

A la refracción por curvatura corresponden los errores producidos por la observación a través de cristales planos, y más generalmente a través de las cúpulas de observación.

Corrección.—Para los cristales planos, si están precisamente destinados a la observación y son, por tanto, de densidad homogénea y caras perfectamente paralelas, no hay lugar a corrección, puesto que no hay error, ya que el rayo luminoso solamente se desplaza paralelamente a sí mismo dentro del plano vertical de observación, con lo cual la dirección del rayo luminoso, que es lo que interesa, se conserva. Para otra clase de cristales planos lo que debe hacerse es no observar a su través, ya que la refracción puede variar en magnitud y signo muy distintamente para los diversos puntos del cristal.

En las cúpulas curvadas debe determinarse primeramente el centro de curvatura y después el índice de refracción correspondiente, y hacer la observación de modo que el espejo índice coincida con el centro de curvatura. En la práctica, las cúpulas son de tipo "standard", de características conocidas, y el sextante va suspendido en forma que el centro de curvatura coincida en el modo dicho. Conviene, no obstante, observar a su través a puntos de altura real conocida y construir una tabla o diagrama de corrección para las distintas alturas.

Los tres tipos de errores reseñados correspondientes al primer grupo son todos de carácter sistemático y pueden, por tanto, ser corregidos sistemáticamente también, e incluso en la preparación del vuelo tenerlos previstos ya en los formularios de observación.

Los errores correspondientes al segundo grupo, errores de burbuja, reconocen todos un origen único: el desplazamiento del plano horizontal aparente que indica la burbuja respecto al plano horizontal verdadero. Este desplazamiento puede ser motivado por causas variadísimas, cuyos efectos pueden resumirse en uno sólo: producción de aceleraciones de dirección no coincidente con la de la gravedad terrestre.

Este grupo puede ser subdividido en dos: errores accidentales y sistemáticos. Los dos son igualmente interesantes, y por su importancia haremos un somero estudio de ellos.

Errores accidentales.—El nombre de accidentales debe ser entendido en el sentido de no previsibles, pues por la frecuencia con que se presentan a bordo de los aviones son prácticamente normales. Alcanzan valores notables, y como se verá, son imponderables, por lo que su compensación sólo se consigue mediante una estrecha colaboración del piloto con el observador.

La vertical real es una consecuencia de la aceleración gravitatoria, y la vertical aparente, el resultado de la com-

posición de la aceleración gravitatoria con cualquier otra aceleración de dirección no coincidente. Con los sextantes de burbuja las alturas se toman respecto al plano horizontal aparente que señala la burbuja al ser centrada, o sea respecto a la superficie del líquido en que se halla la burbuja; ahora bien: este plano es normal a la vertical aparente, y cuando por cualquier motivo la vertical aparente no coincide con la real, el plano horizontal del sextante y el del horizonte real, formando un ángulo igual al de las respectivas verticales y las alturas tomadas con el sextante en estas condiciones, tendrá un error igual al valor de este ángulo. Así, pues, siempre que por cualquier causa se produzca una aceleración que desvíe la vertical aparente del avión de la dirección de la vertical real, las alturas tomadas a bordo quedarán afectadas de un error igual al ángulo de las dos verticales (fig. 2).

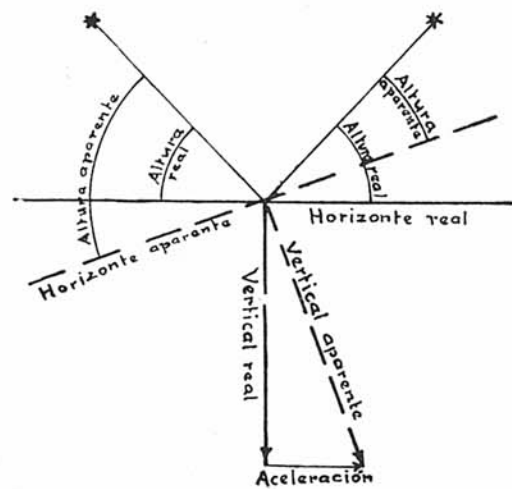


fig 2

Refiriendo a tres ejes coordenados la posición del avión en el espacio, cualquier aceleración que sobre él actúe podrá ser descompuesta en tres componentes, según estos ejes; de modo que para el estudio sucesivo pueden tomarse: aceleraciones sobre el eje ZZ' , aceleraciones sobre el eje XX' y aceleraciones sobre el eje YY' . En lo que respecta al sentido, tomaremos solamente el positivo, teniendo en cuenta que para sentidos negativos basta cambiar el signo de los resultados.

Aceleraciones ZZ' .—Coincidentes en dirección con la aceleración gravitatoria, su estudio no interesa desde nuestro punto de vista, ya que sus efectos se traducen en modificaciones de la intensidad y extremadamente en el sentido de dicha aceleración, sin llegar a producir inclinaciones relativas entre los horizontes natural y aparente. Únicamente deben actuar directamente sobre la burbuja, ya que la inercia del líquido provocará presiones que la deformen y hasta la eliminen momentáneamente; pero este efecto de inercia es común a todas las aceleraciones, y prescindiremos de él por ajeno a nuestro estudio.

Aceleraciones XX' .—Coincidentes en dirección con la ruta del avión, corresponden a incrementos o disminuciones en su velocidad respecto al suelo, originadas generalmente por variaciones en la dirección o intensidad del viento o en el número de revoluciones de la hélice.

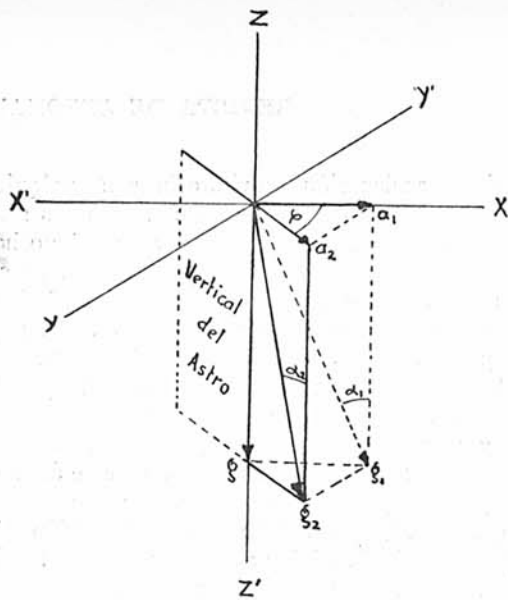


Fig 3

En la figura 3 suponemos aplicadas en el centro de gravedad de un avión que sigue la ruta $X'X$, una aceleración instantánea a_1 ; llamando V a la velocidad del avión, la expresión analítica será:

$$a_1 = \frac{dV}{dt}$$

y el ángulo α_1 , que la vertical aparente g_1 formará con la velocidad real $-g$, expresado en función de la tangente

$$\text{tg } \alpha_1 = \frac{a_1}{-g} = -\frac{\frac{dV}{dt}}{g}$$

Este ángulo se encuentra en el plano ZX , y para generalizarlo y referirlo al plano de observación (vertical del astro) habrá que determinar la componente a_2 de la aceleración en este plano, y luego el ángulo α_2 , formado por la vertical aparente g_2 , correspondiente a a_2 , con la vertical real.

Tendremos que

$$a_2 = a_1 \cos \varphi = \frac{dV}{dt} \cos \varphi$$

y

$$\text{tg } \alpha_2 = -\frac{\frac{dV}{dt}}{g} \cos \varphi;$$

o sea

$$a_2 = f(-\cos \varphi),$$

que para

$$\varphi = \begin{cases} 0^\circ \\ 180^\circ \end{cases} = \pm \text{máximo}$$

$$\varphi = \begin{cases} 90^\circ \\ 270^\circ \end{cases} = \text{se anula}$$

Suponiendo que el eje del avión coincide con la ruta, puede decirse que los errores de observación por cambio de velocidad (aumento de velocidad en este caso) son máximos observando en la dirección popa-proa y nulos al través. La altura observada es menor que la verdadera cuando se observa por la proa, y mayor cuando se observa por la popa; en direcciones intermedias los errores son proporcionales a $\cos \varphi$, y en las observaciones al través no hay error. Las correcciones serán de signo contrario al error. Si la aceleración hubiera sido negativa y se tratase, por tanto, de una disminución de velocidad, los resultados serían de

signo contrario, como se dijo, y los errores en las direcciones de observación, los opuestos precisamente a los anteriores.

Aceleraciones YY' .—Corresponden principalmente a la aceleración centrífuga de los virajes, y desde nuestro punto de vista accidental nos referimos a aquellas que se originen en los cambios involuntarios de rumbo por perturbaciones atmosféricas o defectos de pilotaje.

Si se sigue un punto del terreno a través de los hilos de un derivómetro, se verá que una vez corregida la deriva el punto no desfila constantemente paralelo a los hilos, sino que se desvía a un lado y otro en forma tal que recorre una línea sinuosa que tiene por eje el hilo central. Prescindiendo de los pequeños movimientos de oscilación del avión al largo de su eje longitudinal, la trayectoria del avión reflejada en la aparente del punto se explica del siguiente modo: Si un avión en vuelo con movimiento uniforme y rectilíneo, es decir, con rumbo y velocidad constantes, se desvía de su rumbo por la causa accidental que sea, el piloto trata de enderezar el rumbo virando en sentido contrario, y el avión, obedeciendo al mando, cambia de dirección nuevamente; pero por inercia sobrepasa la línea de rumbo y el piloto vira nuevamente en sentido contrario, y así el proceso se repite a un lado y otro hasta que el avión regresa al rumbo primitivo después de una serie de oscilaciones amortiguadas que podrían ser representadas como en la figura 4. Esto sucede rápidamente, superponiéndose aceleraciones de magnitudes y signos diversos, y el piloto reacciona automáticamente sin que, salvo en los desvíos notables, tenga conciencia de ello.



Fig 4

En la figura 4 se representa una de estas oscilaciones amortiguadas debida a una sola aceleración. En cada instante la dirección de la velocidad V del avión que permanece constante, es la de la tangente a la curva en el punto correspondiente, y habrá una aceleración centrífuga b_1 , que es función de la velocidad y del radio de curvatura ρ en ese punto; su dirección es la de la normal a la velocidad, y está dirigida de dentro a fuera de la curva.

El valor de b_1 será

$$b_1 = \frac{V^2}{\rho};$$

este valor es instantáneo, puesto que el radio de curvatura es continuamente variable y tiende a infinito. Esta aceleración está constantemente contenida en el plano transversal del avión, ya que pertenece simultáneamente al plano de la curva, que es horizontal y es normal a la velocidad del avión, que es paralela al eje $X'X$ (fig. 5).

El valor de la tangente del ángulo β_1 , de la vertical real $-g$ y la aparente g_1 , viene expresado por

$$\text{tg } \beta_1 = \frac{b_1}{-g} = -\frac{\frac{V^2}{\rho}}{g};$$

y ahora, lo mismo que en el caso anterior para determinar

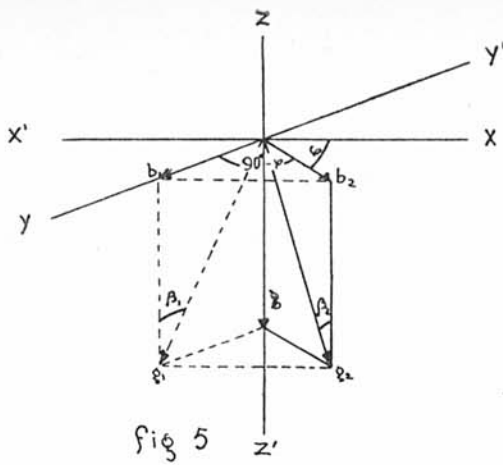


Fig 5

el ángulo β_2 , correspondiente al plano de observación, se calcula la componente de b_1 :

$$b_2 = b_1 \cos (90^\circ - \varphi)$$

y el ángulo β_2 buscado vendrá expresado por

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{b_2}{-g} = -\frac{V^2}{g} \operatorname{sen} \varphi,$$

que para un entorno tal que $\rho = \text{constante}$

$$\beta_2 = f(-\operatorname{sen} \varphi),$$

donde si

$$\varphi = \begin{cases} 0^\circ \\ 180^\circ \end{cases} = \text{se anula}$$

$$\varphi = \begin{cases} 90^\circ \\ 270^\circ \end{cases} = \mp \text{máximo}$$

Suponiendo que el eje del avión coincide con la ruta, puede decirse que los errores de observación por cambios de rumbo son máximos observando al través y nulos en la dirección popa-proa. La altura observada es menor que la verdadera cuando se observa hacia afuera del viraje y menor cuando se observa hacia dentro del viraje; en direcciones intermedias los errores son proporcionales a $-\operatorname{seno}$ de φ , y en las observaciones en dirección popa-proa no hay error. Las correcciones serán de signo contrario al error. Este resultado es general, puesto que el sentido de la aceleración y el signo de los errores y correcciones están todos referidos al centro de curvatura.

El tiempo de actuación de las dos aceleraciones estudiadas depende en gran parte del período de ondulación propia del avión, pues la experiencia demuestra que los aviones no vuelan en equilibrio perfecto, sino que ondulan sobre su ruta a través del aire, resultando de ello, además, aceleraciones del mismo tipo que las anteriores y que influyen del mismo modo en las alturas. En general, en el vuelo no se da aisladamente una de estas aceleraciones, sino todas simultáneamente, y el error producido por la resultante oscila entre $\pm 30'$ y $\pm 100'$, en períodos irregulares de tiempo, que varían entre diez y noventa segundos de tiempo.

Si se acude a una representación gráfica como la de la figura 6, en la que se ha trazado un diagrama, tomando como ordenadas las alturas señaladas por el sextante en los distintos tiempos representados en el eje de abscisas, vemos que los períodos de estabilidad aparente de la burbuja corresponden, por lo general, a los vértices de la curva, donde precisamente se estacionan los errores máximos, y que el instante a que corresponde la altura verdadera es muy difícil de precisar.

Debe notarse que a todos los aviones del mismo tipo corresponde aproximadamente el mismo diagrama, variando éste totalmente para los distintos tipos. El valor de este dia-

grama es puramente especulativo, ya que los elementos de su trazado son accidentales y varían dentro de límites muy amplios; no obstante, tiene gran interés por deducirse de él el procedimiento para reducir a un mínimo los errores que representa.

Corrección.—Como ya se ha dicho, los errores accidentales son prácticamente imponderables y, por tanto, a lo más que puede aspirarse es a compensarlos, siendo el único medio viable una íntima colaboración entre el piloto y el observador. Para una mejor ponderación del procedimiento volveremos a clasificarlos atendiendo a los agentes productores; de este modo los errores pueden achacarse a:

- a) Condiciones meteorológicas.
- b) Errores de pilotaje.
- c) Ondulación del avión.

A) Pueden ser compensados hasta cierto punto por la maniobra del piloto, el cual, durante el período de la observación, debe esforzarse en mantener constante el rumbo y la velocidad, maniobrando del modo conveniente cuando varíen, a fin de provocar aceleraciones de sentido contrario. Si los baches son tan fuertes que lleguen a ser un verdadero obstáculo para la observación, no olvidar que 300 metros por encima o por debajo (probablemente por encima) las condiciones meteorológicas son seguramente mejores. Afortunadamente, por la noche los baches son raramente fuertes.

B) Prescindiendo de la habilidad del piloto, no tiene más compensación que la concentración de éste en su misión, con el decidido propósito de colaborar íntimamente con el observador; el piloto debe darse cuenta de que su falta de atención puede falsear gravemente las observaciones y malograr del todo el trabajo del observador. Si se aparta del rumbo y velocidad inicial, inmediatamente de advertirlo debe maniobrar en modo de retroceder al rumbo y velocidad primitiva. Lo mejor es un cuidadoso vuelo instrumental durante la observación, prestando gran atención a su control.

C) Nos referimos aquí, no a la ondulación propia del avión, sino a la resultante de la composición de todas las aceleraciones que actúan sobre el avión en un momento determinado, es decir, el error con que el observador ha de enfrentarse directamente como consecuencia de la curva alabeada sobre la que se mueve el avión.

Si pudiera precisarse el instante de altura verdadera, entonces no habría problema; pero de la inspección del diagrama de la figura 6 se deduce inmediatamente que además de ser muy corto el tiempo de altura verdadera, es muy difícil el precisar cuando esto sucede. La única solución es hacer un gran número de observaciones durante un período de tiempo bien estudiado y tomar la media de alturas y tiempos correspondientes.

La duración del tiempo de observación es difícil de fijar, pues los diagramas de ondulación varían con los distintos tipos de avión en función del propio período de ondulación de éstos. Si la toma de altura se hace en poco tiempo, puede suceder que corresponda a un tramo AB del diagrama, en el que el error medio en los 30 segundos de la observación es de $25'$; esto puede suceder utilizando sextantes con promediador automático. El aprovechar un momento de coincidencia exacta entre astro y burbuja y tomar la altura correspondiente como buena, puede parecer una ocasión excelente para evitar el promediar alturas y tiempos y acor-

tar las observaciones, y, sin embargo, es en este caso cuando precisamente deben alargarse, pues la estabilidad de la burbuja corresponde muy probablemente a un máximo de error, que puede sostenerse mucho tiempo si el período de ondulación del avión es grande. Tal sucede en el tramo *CD* del diagrama, en el que la altura se ha estacionado en un mínimo, y si se precipitan las observaciones durante el tiempo que permanece fija la burbuja, el error medio de la observación será mucho mayor que el que se obtiene espaciándolas más.

Así, no debe esperarse a que la burbuja aparezca completamente inmóvil para comenzar la observación; los momentos de error cero son invariablemente cortos, y la manera más segura de reducir los errores es la de extender las observaciones sobre un período de tiempo que dependerá del tipo de diagrama de ondulación que se considere. Por regla general, dos minutos es el período de observación más eficaz, y durante él deben anotarse el mayor número de alturas posible, a fin de que los errores por defecto y por exceso queden bien mezclados y la altura media obtenida esté razonablemente próxima a la altura verdadera. Por lo regular, se hacen dos series de seis alturas, a razón de seis alturas por minuto, y aun es preferible tomar tres series, especialmente cuando se disponga de sextante con promediador mecánico (por desmultiplicación), que ahorra un tiempo de cálculo que puede dedicarse a mejorar la altura; en los sextantes con promediador de relojería, la duración de la observación debe ajustarse a las circunstancias, si es de tiempo regulable, pudiendo reducirse en el tiempo hasta cuarenta segundos en buenas condiciones y alargarlo hasta cinco o seis minutos en ocasiones de gran turbulencia. En condiciones normales, y como regla general para los distintos aviones, dos minutos es el tiempo óptimo de observación.

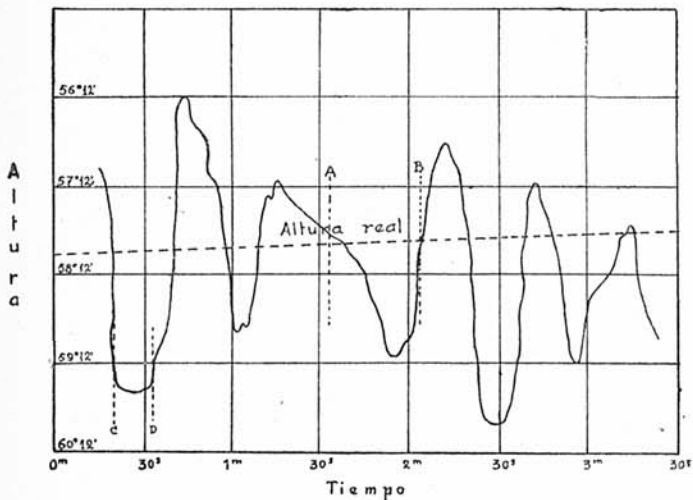


Fig 6

Errores sistemáticos.—Las crecientes velocidades de los aviones y el alto valor alcanzado ya actualmente obligan a tomar en consideración un nuevo error del mismo tipo que los anteriores, originado por la “aceleración complementaria” que se engendra en la composición de la velocidad lineal del avión sobre su trayectoria con la velocidad angular de la Tierra.

Sea un avión que parte del punto *A* del ecuador con una velocidad *V* y sigue hacia el N. la ruta de un meridiano

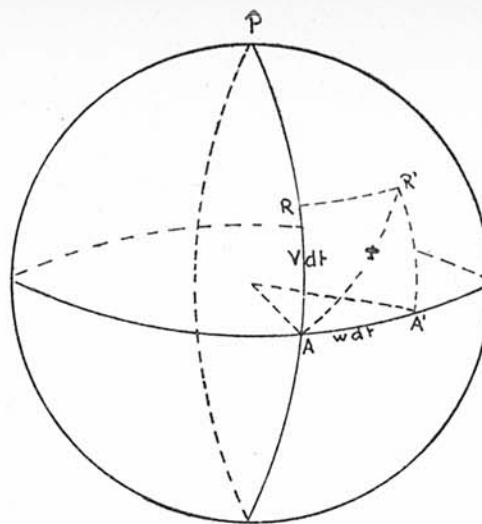


Fig 7

(fig. 7): en el elemento de tiempo *dt* ha recorrido sobre la Tierra un camino *AR* y se encuentra, por tanto, en *R*; pero en el mismo elemento de tiempo la Tierra ha girado un ángulo *w dt* y todos los puntos del meridiano *AP* y el *R*, entre ellos, han girado el mismo ángulo y recorrido un camino en el espacio con velocidades directamente proporcionales a los radios. En consecuencia, el avión recorre el camino *AR* respecto a la Tierra y el *AR'* respecto al espacio.

Examinando la figura 8 se ve que el movimiento absoluto del avión sobre *AR'* puede descomponerse en los tres movimientos relativos siguientes:

- 1.º Trayectoria relativa *AR*.
- 2.º Arrastre de la trayectoria en el sentido de la rotación de la Tierra, trasladándose a ocupar la posición *A' R'*.
- 3.º Rotación de la trayectoria alrededor de un eje *A' O* que le hace pasar de la posición *A' R''* a la *A' R'*.

De la composición de las velocidades relativa y de arrastre se obtiene la velocidad absoluta, a la que corresponde una aceleración absoluta que puede descomponerse en tres aceleraciones: aceleración relativa y de arrastre (como consecuencia de la continua variación que experimentan las respectivas velocidades al considerarlas como componentes de la velocidad absoluta); y aceleración complementaria o de Coriolis como consecuencia de la rotación *R'' R'*.

De las tres aceleraciones, la que a nosotros nos interesa, por su dirección y la magnitud que puede alcanzar, es la aceleración complementaria, y su valor puede ser calculado fácilmente del siguiente modo:

Tracemos el eje instantáneo de la rotación *A' O* que pasa necesariamente por *A'*. En el elemento *dt* de tiempo que se considera, tanto *R'' R'* como *A' R'* son también elementos de arco que pueden asimilarse a las tangentes a las respectivas curvas, verificándose así que

$$l = \text{ángulo de la trayectoria relativa} = \text{latitud de } R'$$

$$R'' O R' = \text{ángulo de rotación} = \text{ángulo de arrastre} = w dt.$$

$$O R'' = \text{radio de giro en la rotación} = A' R'' \text{ sen } l.$$

$$A' R'' = A' R' = A R = V \cdot dt.$$

Se tiene inmediatamente:

$$\text{arco } R'' R' = w dt \cdot O R'' = w dt \cdot A' R'' \cdot \text{sen } l$$

$$\text{arco } R'' R' = w dt \cdot V dt \cdot \text{sen } l$$

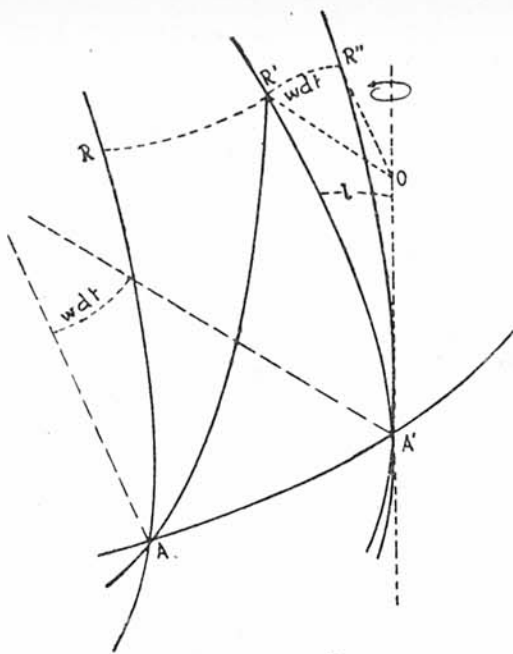


Fig 8

y la aceleración

$$A \cdot C = 2 V \cdot w \cdot \text{sen } l$$

De la fórmula se sacan dos consecuencias que nos interesan:

- 1.º El valor absoluto de la aceleración es directamente proporcional a la velocidad del avión y el seno de la latitud.
- 2.º El sentido de la aceleración es positivo en el hemisferio N. (+l), negativo en el hemisferio S. (-l).

Y así, un avión que vuele en el hemisferio N. tendrá su trayectoria absoluta desviada hacia la derecha respecto a la trayectoria relativa, y en el hemisferio S., el desvío será hacia la izquierda. Obsérvese que el desvío es independiente de la inclinación de la trayectoria relativa (rumbo), pues el arrastre la traslada paralelamente a sí misma, y a los efectos de la rotación el valor de $R'' - R'$ es el mismo.

Corrección.—Nos encontramos en el caso ya estudiado de una aceleración centrífuga, pero ahora su valor está perfectamente determinado dentro del plano transversal; para hallar el valor correspondiente al plano de observación se multiplica por el seno del ángulo de los dos planos, como hicimos allí.

Para la aplicación práctica a las distintas velocidades y latitudes, así como a los distintos valores de la marcación relativa entre el plano longitudinal del avión (en el que suponemos se encuentra la ruta) y el vertical del astro, dividiremos la corrección en dos partes tabuladas: en la primera, entrando con la velocidad del avión y la latitud se tiene el valor absoluto de la corrección, y en la segunda, con el valor absoluto de la corrección y el valor de la marcación relativa, se tiene la corrección a aplicar.

En cuanto al signo, teniendo en cuenta que si la dirección del vuelo es hacia el N. la velocidad es positiva, y negativa si la dirección es S., resulta que en latitudes N. el sentido de la aceleración es siempre hacia la derecha de la ruta, y en latitudes S. hacia la izquierda. Examinando la figura 9 se ve que si en latitud N. el desvío es siempre hacia la derecha, el error, observando por babor, es siempre negativo, puesto que se lee una altura menor que la verdadera, y observando por estribor es al revés, que se toma una altura mayor que la verdadera; luego en latitud N., al

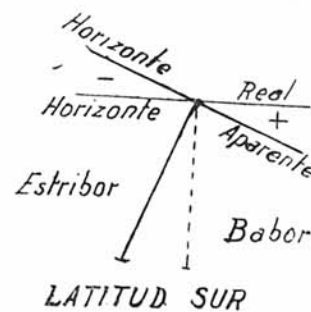
observar por babor, la corrección será positiva, y observando por estribor, la corrección es negativa. En latitudes S., puesto que el desvío es siempre hacia la izquierda, sucede todo lo contrario, y la corrección por babor es negativa y positiva por estribor. Con las tablas se incluye un esquema para la determinación del signo a aplicar.

La corrección "C" puede ser preparada antes del vuelo e incluso anotada en los formularios de observación, ya que los límites de variación por latitud son muy amplios y el ángulo de marcación da también margen suficiente para quedar dentro del rumbo y azimut previstos para un instante y un astro determinado en un vuelo normal; no obstante, para aplicar rápidamente en cualquier momento y a cualquier astro durante el vuelo bastará extraer de la tabla I el valor correspondiente a la velocidad y latitud de vuelo, y de la tabla II los que para el valor encontrado corresponden a las distintas marcaciones relativas, aplicándoles el signo propio resultante de la combinación del nombre de la latitud con la marcación relativa.

Por ejemplo, para una latitud de 40° N. y 450 kms/h. de velocidad:

La velocidad que se toma es la media de crucero que se calcule para la altura de vuelo, puesto que las variaciones de velocidad por influencia del viento serán siempre despreciables dentro del orden que se considera para la corrección "C". La marcación relativa puede calcularse fácilmente entre el azimut del astro y la ruta geográfica del avión; pero puede simplificarse aún más mediante señales hechas en el lugar de observación que faciliten la marcación relativa entre la dirección del morro del avión y la dirección de observación.

Acaso sea más práctico aunque tenga el inconveniente de tener que trasladar la recta de altura al hacer la corrección del siguiente modo (fig. 10):



ERROR

Fig - 9



TABLA I

Kms/h	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
250	0'	1'	2'	2'	3'	3'	3'
300	0'	1'	2'	3'	3'	4'	4'
350	1'	2'	2'	3'	3'	4'	5'
400	1'	2'	3'	3'	4'	5'	5'
450	1'	2'	3'	4'	5'	5'	6'
500	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'
550	1'	2'	4'	5'	6'	7'	7'
600	1'	3'	4'	5'	6'	7'	8'

0°		360°	
30°	+ 2	330°	- 2
60°	+ 3	300°	- 3
90°	+ 4	270°	- 4
120°	+ 3	240°	- 3
150°	+ 2	210°	- 2
180°		180°	

TABLA II

	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
1'	0	0	0	1	0	0	0
2'	0	1	2	2	2	1	0
3'	0	1	3	3	3	1	0
4'	0	2	4	4	4	2	0
5'	0	2	5	5	5	2	0
6'	0	3	5	6	5	3	0
7'	0	3	6	7	6	3	0
8'	0	4	7	8	7	4	0

Latitud	Babor	Estribor
N	+	-
S	-	+

Nota.—Las tablas han sido calculadas considerando la Tierra esférica y tomando para la aceleración gravitatoria un valor de 9,81 m/s.; se ha prescindido, pues, del aplastamiento terrestre y de las variaciones de g por elevación y latitud. Al redondear los resultados se ha procurado compensar las pequeñas diferencias, de modo que en nuestra latitud y para velocidades de 500 kms. pueden tomarse los datos de las tablas como exactos, con un error inferior al medio minuto de arco, lo que basta a nuestro propósito.

Si en dirección normal a la ruta se lleva un segmento que a la escala del plano represente el valor absoluto de la corrección y en el mismo sentido del desvío, sucede que si se traslada la recta de altura en el mismo sentido y por la misma magnitud, queda gráficamente hecha la corrección, pues esto equivale a trasladar la recta sobre la línea de azimut, por un importe igual a la proyección del error sobre la línea de azimut, que es precisamente el valor del error correspondiente al plano de observación, y en lo que respecta al sentido de la corrección, se ve en la figura que esta condición queda satisfecha.

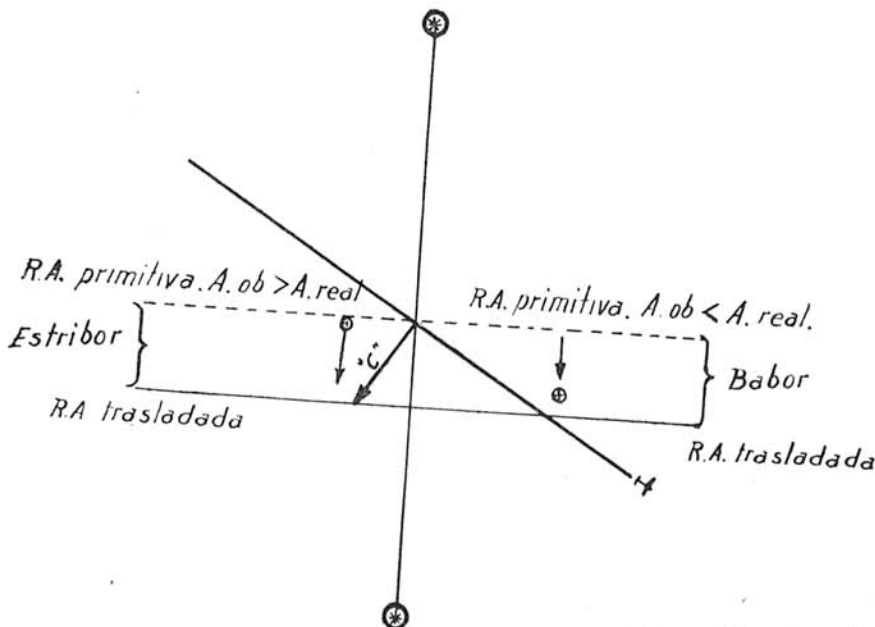
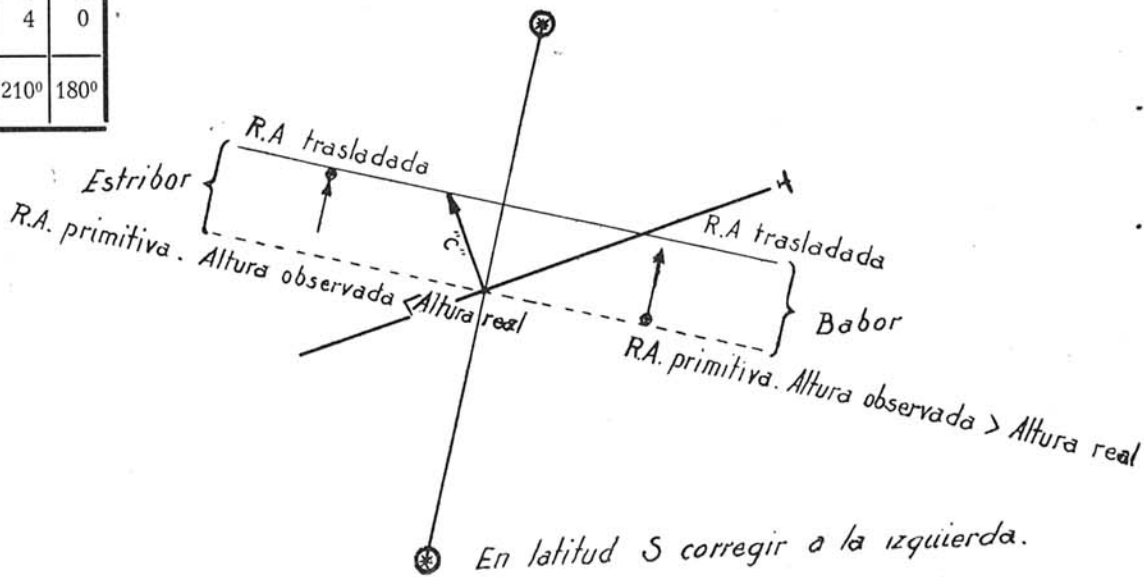


Fig- 10

En latitud N corregir a la derecha