



## A PESAR DE CORIOLIS, VOLVAMOS AL CIELO

¡General AYMAT

Es más frecuente de lo que se cree la repetición del caso de Mr. Jourdain, personaje de Molière, sorprendidísimo de que hubiera estado hablando toda su vida en prosa, ¡sin saberlo!

En más de una ocasión, al comentar las grandes velocidades a que van llegando los aviones, hemos oído decir que eso, antes de que se alcanzaran velocidades que permitan trasladarnos a la Luna, ha de tener un límite, ya que "repugna a la razón" que las velocidades astronómicas puedan ser compatibles con la condición humana. Pues bien; nuestros interlocutores, como el pro-sista de marras, desconocían, por lo visto, que a ellos son arrastrados por la Tierra, en el giro alrededor de su eje, a velocidad mayor de los 330 metros por segundo de la del sonido, y a la friolera de 30 kilómetros por segundo, ó 108.000 kilómetros por hora, en su movimiento alrededor del Sol, y es que, al nacer, ya las llevaban y no han cambiado ni en el transcurso de su vida, ni a través de las generaciones sucesivas. Otra cosa ocurre cuando varía la velocidad, ya en cuantía, ya en dirección. Vemos correr el tren por la vía, y, salvo un violento frenazo para entrar en la estación o tratar de

evitar un choque, no sentimos la violencia de la irregularidad del movimiento de la plataforma de los potentes nuevos tranvías en arrancadas, paradas, toma veloz de curvas y cese del giro al salir de ellas.

Al ver el tren, fijémonos en el movimiento del punto de la rueda de la locomotora en que se ve empujada por la barra de acoplamiento o de un punto de la llanta. Este queda detenido en el instante en que se apoya en el carril, empieza a subir, torciendo su movimiento hacia delante para alcanzar en su máxima altura velocidad doble de la general del tren; disminuyendo ésta mientras desciende hasta parar de nuevo al contacto con el riel. El movimiento es, pues, por saltos tan brutales, que han de ser acusados de algún modo, y, en efecto, una oruga o gusano que pudiera agarrarse al interior de la llanta, se vería sometido a la acción centrífuga del giro de la rueda, fuerza que varía constantemente de dirección absoluta, pero que constantemente es radical, y nuestro pobre gusano sentiría una enorme fuerza que le empujaría contra la llanta, aplanando su blando organismo hasta dejarlo hecho una oblea.

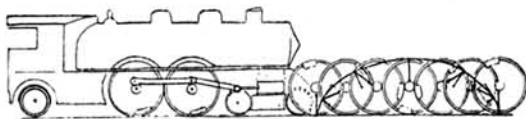


FIGURA 1.

*Relatividad de los movimientos. La marcha de un punto de la llanta de la rueda—giro uniforme respecto al tren—es a saltos, con aceleraciones de dirección e intensidad indicadas por las flechas en cada posición de la cicloide.*

El aviador de los bombarderos en picado siente los trastornos fisiológicos cuando extrema su maniobra, por la rapidez con que disminuye, y, sobre todo, levanta la dirección de su enorme velocidad.

Esas fuerzas de inercia que ocasionan todo cambio de cuantía o dirección (aceleraciones) de una velocidad son lo único sensible a la materia, y, por tanto, a los seres vivos, que no notan la velocidad, sólo capaz de ser tomada en consideración en relación con un sistema de puntos que consideraremos fijos en el espacio.

Con ocasión del establecimiento de las líneas aéreas nacionales a América, hemos tenido ocasión de ver el equipo de elementos para la navegación trasatlántica, y, de modo particular, en su aspecto astronómico.

El Almanaque Náutico americano trae una tabla para corregir las alturas tomadas con el sextante, corrección que designa con la letra "Z", y cuya causa atribuye al efecto Coriolis (1).

No trae nuestro Almanaque, editado por el Observatorio Astronómico de San Fernando, tal corrección, y por ello vamos a dar cuenta al detalle de qué se trata.

Aquel giro de la Tierra alrededor de su eje, referido a un sistema que conservándose paralelo a sí mismo se viera arrastrado por los movimientos del centro de la Tierra, produce en los Polos terrestres el efecto de un giro, de velocidad uniforme, dentro del plano horizontal, pero sin velocidad lineal. En el ecuador desaparece el efecto de giro, pero aparece una velocidad lineal circular que origina una pequeña fuer-

za centrífuga, que hace menos sensible la fuerza de la gravedad. En latitudes medias, el giro crece con la latitud proporcionalmente al seno de ella, y es, naturalmente, de sentido opuesto en uno y otro hemisferio. En nuestra latitud de 40° representa un giro a velocidad de una vuelta en treinta horas.

No sorprenda esta extraña velocidad. El giro terrestre, por la diversa oblicuidad de los horizontes respecto al eje del giro, produce en el ecuador un basculamiento del plano horizontal alrededor de la dirección del eje N.-S., que se conserva paralelo a sí mismo. En los Polos no hay basculamiento y sí giro del horizonte alrededor de la dirección vertical. En latitudes medias, se dan ambos efectos en cuantía diferente, aunque su composición produzca siempre el efecto resultante de un giro alrededor de la dirección paralela al eje del mundo, y ésa sí, de una vuelta en veinticuatro horas sidéreas. Algo parecido a la variable velocidad y dirección que vimos del movimiento del punto de una rueda, la resultante de cuyas aceleraciones, aunque fuera sólo respecto a ella misma, era constante.

Estos giros producen unas fuerzas adicionales, llamadas fuerzas de Coriolis, y cuya cuantía y dirección en relación con las velocidades se determinan en la Física mecánica con toda la precisión que ha permitido calcular la corrección "Z", que comentamos.

Efectos análogos son ya muy conocidos, y vamos a recordar algunos de ellos.

Si de lo alto de una elevada torre colgamos una plomada hasta el suelo, ésta señalará en él la vertical rigurosa. Si acortamos el cordel hasta dejar unos pocos centímetros, y éste embebido de alcohol le prendemos fuego, el peso no cae en la vertical antes señalada, sino más a Levante; 18 mm. desde una altura de 80 metros, pero sólo 7,7 desde 45, lo que comprueba que no se trata de una desviación de la vertical, sino por ser los desvíos proporcionales a los cuadrados de los tiempos de caída, tres y cuatro minutos, de una verdadera aceleración que curva la trayectoria relativa a la Tierra. La razón es que la mayor longitud de la vertical en lo alto de la torre imprime, al peso de la plomada, traslación mayor allí que al suelo que va a recibirlo.

(1) Coriolis, físico e ingeniero de Caminos, francés, de primera mitad del siglo XIX, el mismo que es famoso por sus estudios sobre el billar.

Las brisas de mar o terrales, en las largas costas rectas, no soplan en nuestro hemisferio normalmente a ella, sino oblicuamente a la derecha. Los alisios no soplan del Norte perpendicularmente al ecuador, sino del Nordeste, más a la derecha.

En los ciclones, la baja de presión atmosférica que los caracteriza atrae al arco de la periferia, y el viento en vez de precipitarse radialmente hacia el centro, toma por inercia en nuestro hemisferio una dirección hacia la derecha, que al dejar el centro de atracción a la izquierda, y cada vez más hacia atrás, produce el giro en sentido opuesto al de las agujas del reloj (y al contrario, en

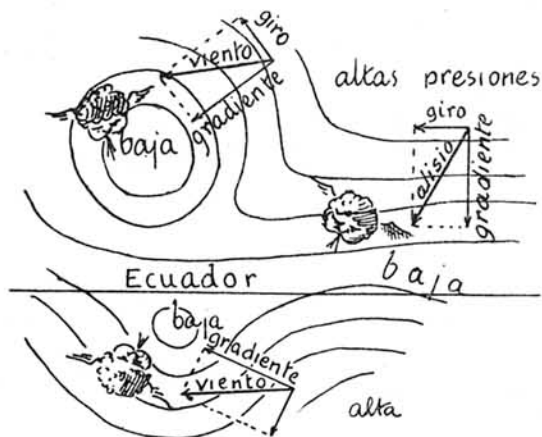


FIGURA 3.

El viento no sigue el gradiente, sino que se dirige a la derecha en el hemisferio Norte y a la izquierda en el hemisferio Sur.

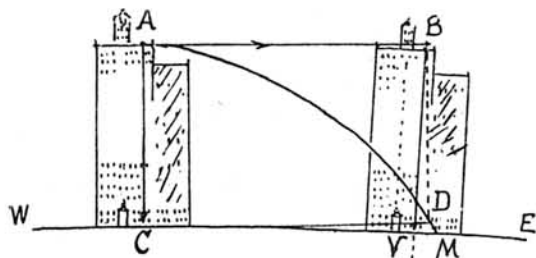


FIGURA 2.

Los cuerpos no caen en la vertical. La composición de la velocidad uniforme,  $AB > CV$ , con la caída vertical, AC, produce la trayectoria, ADM, que lleva el cuerpo a M, al Este de la vertical BV.

el hemisferio Sur). Esa es la ley meteorológica de Buys Ballot.

Por esta misma razón los proyectiles de artillería sufren en el hemisferio Norte una desviación a la derecha, y a la izquierda, en el Sur.

Al salir el avión de una latitud elevada con rumbo hacia el Norte, en cuanto despegar toma el movimiento resultante de su impulsión hacia el Norte, y de la que lleva hacia Levante por el giro de la Tierra; a medida que encuentra paralelos de mayor latitud que giran con menor velocidad lineal, él se encuentra lanzado hacia la derecha, y si por observar el suelo o tener referencias de su ruta se esfuerza en seguirla, tiene que ir oblicuando a la izquierda, describiendo un giro hacia este costado, con igual velocidad angular que la con que gira el plano horizontal de su suelo. De tal giro se origina una fuerza centrífuga de inercia  $G$ , que compuesta con la vertical de la gravedad  $V$ , origina una resultante  $R$ , oblicua, que lleva

la burbuja del nivel del sextante al plano del falso horizonte  $H$ . Si medimos, a partir de él, la altura  $\alpha$  de un astro situado a nuestra derecha o estribor, ésta será más chica que la verdadera en un pequeño ángulo igual al que forman  $V$  y  $R$ . Si con él trazamos la recta de altura, ésta quedará más alejada del astro que la debida, por lo que para llevarla a su precisa posición deberemos correrla a estribor. Si el astro apareciera del lado interior del giro, la altura observada resultaría mayor que la debida; deberíamos alejar del astro la recta de altura y vendríamos a hacer lo mismo: correrla a nuestro estribor. En direcciones intermedias respecto a nuestra marcha, la influencia de la inclinación de nuestro horizonte aparente disminuye hasta anularse si el astro está en el plano de nuestra marcha; pero en igual forma variará el corri-

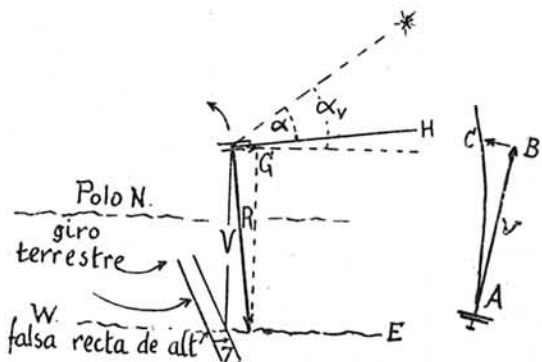


FIGURA 4.

Corrección "Z" (Coriolis) al sextante de burbuja. Aplíquese corriendo la recta de altura una distancia Z hacia estribor (derecha), en latitudes N., y a babor, en las S.

Velocidad M/h	LATITUDES									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2
150	0	0	1	2	2	3	3	3	3	3
200	0	1	2	2	3	3	4	4	4	5
250	0	1	2	3	4	4	5	5	6	6
300	0	1	2	3	4	5	6	6	7	7
350	0	1	3	4	5	6	7	7	8	8
400	0	1	3	5	6	7	8	9	9	9

Tabla de los Almanagues inglés y norteamericano.

miento transversal de la recta de altura, al correrla hacia estribor, la cantidad constante y proporcional al ángulo entre V y R, consecuente a la fuerza centrífuga dependiente del giro horizontal de la Tierra y de la velocidad del avión.

En el hemisferio austral, el cambio de sentido del giro horizontal del suelo hace que el corrimiento de la recta de altura deba hacerse a babor.

El ángulo entre V y R, que a milla náutica por minuto angular nos definirá la corrección "Z" de nuestras rectas de altura, tiene por tangente la relación entre la fuerza centrífuga y la gravedad, o la de las aceleraciones que producen.

La velocidad angular en radianes por segundo del giro de la Tierra es de

$$\frac{2\pi}{1 \text{ día} = 86400 \text{ seg.}} = 0,0000727.$$

Por tanto, si en un segundo recorre nuestro avión  $AB = V$ , entre tanto el punto alcanzado habrá, por su giro, recorrido  $CB = 0,0000727 \cdot V$ , efecto de una aceleración doble, o sea  $0,0001454 V$ . El ángulo entre la vertical V y la resultante R, antes consideradas, vendrá definido por la relación entre este valor y el de 9,8 m. de la gravedad; o sea

$$\frac{0,0001454}{9,8} V = 0,0000147 V,$$

en radianes, que en minutos de arco será de  $0,0508 V$ .

Aplicada la fórmula a la máxima velocidad de 400 millas itinerarias = 643 kilómetros/hora = 178 m/s., tabulada en los Almanagues norteamericano y británico, nos sale  $0,0508 \cdot 178 = 9,05$ , valor que coincide con los números dígitos que aparecen al variarlo proporcionalmente a las velocidades y al seno de las latitudes (1).

La existencia de este fenómeno y su corrección no justifica algo sumamente pintoresco que leímos hace años. Suponiendo en meridianos opuestos los Cabos Norte y Barrow, de Noruega y Canadá, y alejados  $18^\circ$  del Polo, un avión sale del primero

Desplazamiento "Z" de las rectas de altura por efecto del giro terrestre.

Velocidad Km./h.	LATITUDES									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
100	0	1	1	2	2	2	2	3	3	
200	1	2	3	3	4	5	5	5	5	
300	1	3	4	5	6	7	7	8	8	
400	2	4	5	7	8	9	10	10	10	
500	2	4	7	8	10	11	12	13	13	
600	3	5	8	10	12	14	15	15	15	
700	3	6	9	12	14	16	17	17	18	

Córranse esos kilómetros hacia estribor en el hemisferio N. y hacia babor en el S.

Velocidades y corrimiento en kilómetros.

con rumbo Norte para llegar al otro con velocidad de 333 kilómetros =  $3^\circ$  por hora; se aseguraba que sobre lo desconocido del mar polar, a las doce horas, se encontraría el avión sobre el mismo punto de salida, porque durante el viaje la Tierra, en su giro, había llevado el Cabo Norte adonde se encontraba el Barrow en el momento de la salida. Esto equivale a asegurar que si se elevaba uno en globo, y sobre un mar de nubes permaneciera en espera doce horas, se encontraría, al descender, en Cabo Barrow y nos habríamos ahorrado la gasolina.

(1) Sin embargo, el valor para la V de 400 millas a  $10^\circ$  de latitud nos resulta de  $1'54$ , que correspondería más a  $2'$  que a  $1'$ , que da la tabla.

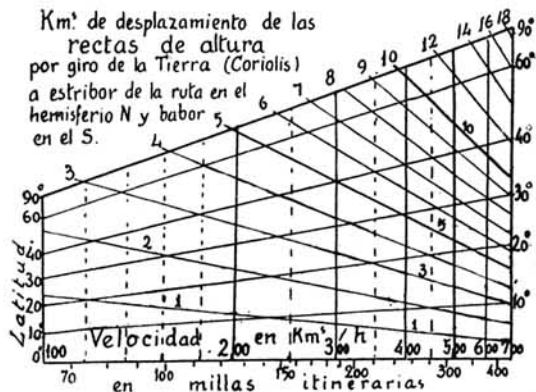


FIGURA 7.

Gráfico del efecto Coriolis.

Hay que tener en cuenta que al elevarse no queda uno quieto en absoluto, sino que se desprende del suelo con la velocidad lineal hacia Levante, con que gira la Tierra a la latitud de salida, si bien porque ésta varía con la latitud se produce el efecto que nos ha ocupado.

Al leer estas complicaciones, en días en que el "radar" parece haber resuelto todos los problemas, podrá alguien creer que nos movemos en el campo de la "elucubración complicatoria". Un Almirante amigo, aficionado de ha muchos años a la simplificación de los métodos de cálculo de situaciones astronómicas, se siente cada día más escéptico de sus preocupaciones, temiendo que la navegación astronómica esté, como la forma poética, llamada a desaparecer. Aunque nos cueste un poco creerlo, se nos ha asegurado que el portaviones "F. D. Roosevelt", cuando tocó en Lisboa, no llevaba a bordo ni un sólo sextante, pues navegaba únicamente con auxilio de la radio.

En los mismos recientes vuelos de "Iberia" a América se ha puesto de manifiesto lo enorme del alcance preciso de nuestros Radiofaro Sol (traducción del Sonne, alemán; los anglosajones le llaman CONSOL), que vale la pena de que sean conocidos, precisamente porque su procedencia germana los ha puesto un poco en baja en las últimas Conferencias internacionales frente a los métodos Lorán y otros, de origen anglosajón.

El Radio-Sol es un faro de sectores de punto y raya, como los clásicos de la red norteamericana; pero en vez de cuatro sec-

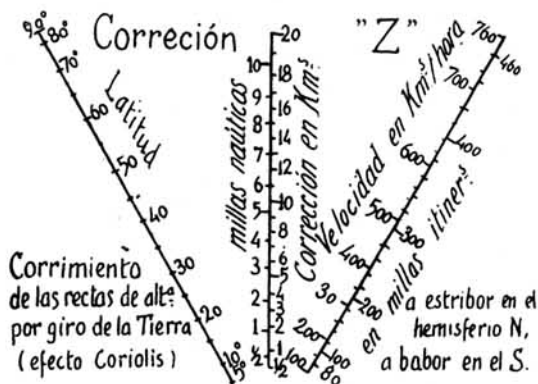


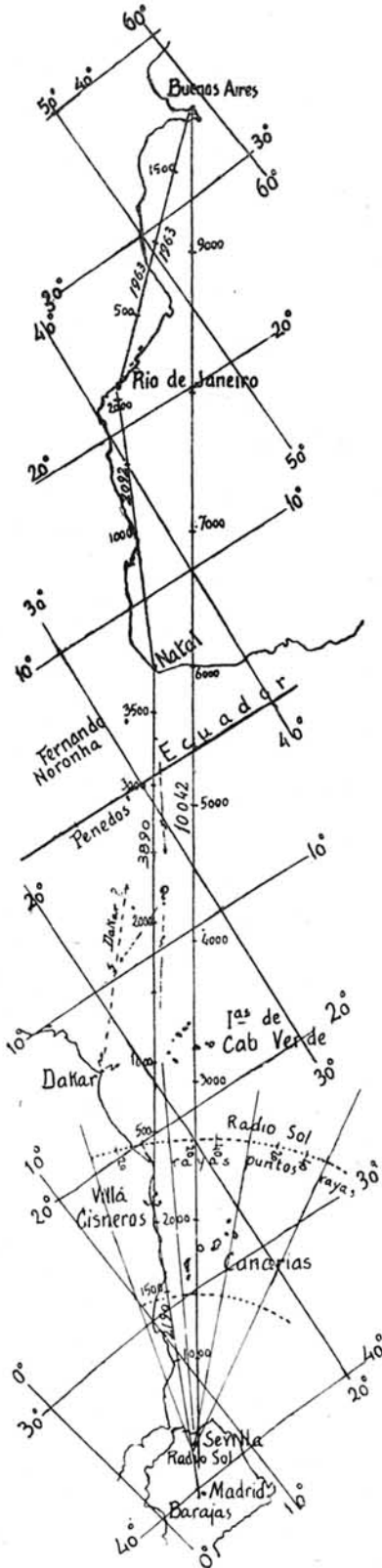
FIGURA 8.

Monograma de puntos alineados.

tores, da 24, de una amplitud del orden de 15°, suficiente para que el aviador no dude de en cuál de ellos se encuentra. De tiempo en tiempo todo el sistema gira en el sentido del reloj, previa una señal especial que indica el arranque del movimiento. Al oír la el aviador empieza a contar los puntos, hasta que se transforman en rayas (o puntos). Este número indica la fracción en sesentaavos del sector en que nos encontramos y que se tienen señalados en el mapa. La distinción entre puntos o rayas es tan clara, que apenas excede del segundo la indeterminación del instante, y por tanto, la precisión teórica de la dirección del orden de 15' de arco, o sea de 1/240 de la distancia.

En el salto Villa Cisneros-Natal llegó a oírse el faro situado junto a Sevilla, a más de 3.500 kilómetros desde más de medio Atlántico, con lo que desde uno y otro lado se cubre, de sobra, la travesía. No llegaron a comprobar la precisión y utilidad de la marcación, porque las indicaciones del mapa no alcanzaban más allá de nuestra región sahariana. Un éxito formidable, pues, representa una precisión del orden de los 20 kilómetros a 3 ó 4.000.

Pero... hay un pero. En el mismo viaje, durante media travesía atlántica, se llevó perfectamente la marcación de cola del gonio de Villa Cisneros, que indicaba la buena ruta, ligeramente a la derecha de ella. Observaciones astronómicas concordaban con la anterior. Al perder ya el alcance de la marcación de Villa Cisneros alcanzaron oír señales de Dakar; pero la marcación les



desconcertó, porque les llevaba a suponerse a un centenar largo de kilómetros más a la izquierda. Sin embargo, *tuvieron fe en las observaciones astronómicas*, y poco después la marcación radio de Natal les dió la razón.

Sin riesgo alguno, en cambio, hemos tenido ocasión de ver que después de volar cierto tiempo sobre mar de nubes, y viendo el suelo, aunque sin reconocerlo, por los boquetes, la estación costera de destino nos marcaba como volando sobre el mar. Luego se aclaró todo: una limpieza del gonio había montado invertido el indicador de rumbo.

La famosa busca del avión perdido hace poco en los Alpes, por la región próxima a Turín, cuando estaba en el macizo bernés de la Jungfrau, indica que la radio puede tener fallos.

El profesor Sosa, de la Embajada española a Colombia, comentó, en una conferencia, la admiración por nuestros pilotos de "Iberia", que a su vuelta en Río de Janeiro supieron evitar riesgo muy serio, a que en aquellas difíciles circunstancias podía conducirles la guía radio, poniendo a contribución su singular pericia en cualquier manera de navegar.

De cómo influyen en las marcaciones radio montañas como las que rodean Río, es muestra el caso que cita un "Manual Oficial N. A. de Navegación" de la entrada oriental al aeródromo de la ciudad del Lago Salado, cuyo "brazo" (1) o haz-guía de zumbido continuo entre letras *A* y *N*, en vez de ser único y de unos 3° de amplitud, se ve ampliado hasta 17°, y en él alternan caprichosamente estrechísimos haces, entre los que se producen nada menos que catorce cambios de característica.

Aparte de que la crisis de actividad de manchas solares provoca tormentas, a ve-

(1) Los americanos llaman "pierna", traduciendo literalmente del inglés "leg", la circunlocución: haz, sector o zona de equiseñal, superposición de letras complementarias, y preferimos "brazo", que envuelve idea acogedora de sostén y ayuda más noble y humana que pierna, de la que más puede recelarse la patada. Si el ser cuatro o más hace pensar en el cuadrúpedo o en las patas de la araña, la multiplicidad de brazos nos llevaría, en todo caso, a la divinidad de Siva, y siempre es una ventaja.

ces duraderas, del magnetismo y perturbaciones en la radio, de modo singular en sus marcaciones.

Mientras, por perfectos que sean los instrumentos, los hombres que los manejan como tales puedan sufrir distracciones o haya posibilidad de interrupción o perturbación en su funcionamiento, no deben despreciarse métodos como el astronómico, que "es la fija", ya que por algo al maravillosamente armónico conjunto estelar se le llama "Firmamento".

El que nubes altas puedan impedir la observación no debe alegrarse, pues en los más

Hasta latitudes de 50°, o poco más, que pueden llegar a interesarnos, a la velocidad discreta de 400 kilómetros hora no pasa de 4' la corrección "Z".

Por otra parte, ya vemos cómo un giro tan lento como es el de una vuelta por día o de un cuarto de grado por minuto de tiempo nos perturba la vertical en la cuantía de algunos minutos de arco. Si el piloto no puede, a pesar de la sensibilidad, siempre limitada, de los indicadores de viraje o altura, asegurar la rectitud de su vuelo ni que no se hacen ligerísimas montañas rusas, ni aun de que no se produzcan variaciones de velo-



*Avión Douglas "DC-4", de la Compañía "Iberia", con el que se realizó el vuelo de inauguración de la línea Madrid-Buenos Aires.*

que largos, larguísimos, recorridos es rarísimo que no lleguen a presentarse, de vez en cuando, boquetes por donde poder observar el cielo, bien que entonces tal vez necesitemos identificar el astro y disponer de las coordenadas de más de las 22 estrellas, que suelen tomarse en las tabulaciones que faciliten el cálculo. En casos tales hay que acudir a métodos de absoluta generalidad.

Vimos que nuestro Almanaque no incluía esa corrección Coriolis, y es que tal vez haya cierto escepticismo en el orden de precisión, por otra parte, no demasiado necesaria.

idad, originadas por la falta de constancia absoluta en la fuerza y dirección del viento, la vertical sensible, resultante de la gravedad y de las pequeñas pero revoltosas fuerzas de inercia, puestas en danza más que en juego, es sumamente movediza, y las alturas no pueden menos de ser erróneas en varios minutos, en cuantía difícil de precisar, a pesar de lo maravilloso de los sextantes, de burbuja, claro está, porque los marinos que observan el horizonte no son sensibles a estos efectos de Coriolis ni requieren la corrección "Z".

Ya en las punterías de bombardeo se ob-

servaba que la precisión dependía, más que de los instrumentos de puntería, de la finura con que el piloto "supiera o pudiera" conservar su marcha recta y uniforme. La instrucción de sextante presenta una diferencia esencial entre la fase de azotea y la en vuelo, que da series de resultados desconcertantes.

Por cierto que los últimos sextantes promediadores de lecturas en este orden ofrecen el inconveniente de que no presentan a la vista las diferentes alturas que sucesivamente se van observando, y por ello no permiten, por sus diferencias, juzgar de la bondad probable de la observación, ni prescindir, por errónea, de alguna excepcionalmente discrepante.

Pero aun así, con todos sus errores, muy aceptables a grandes distancias de la salida y recalada, la situación astronómica ofrece una garantía inmovible.

No abandonemos, pues, los métodos de navegación astronómicos. Ello, además, nos volverá a elevar los ojos al cielo; a admirar

la maravillosa armonía de los variados movimientos de los astros; a distinguir unas estrellas de otras, para no confundirlas cuando las veamos aisladas, sin sus compañeras de constelación, y para ello apreciemos las encantadoras peculiaridades que las personifican y les dan individualidad más notables, dignas y agradables de conocer que los fríos números con que figuran en catálogo sus coordenadas.

No olvidemos que mirando al cielo se eleva el alma a Dios, se adora su divinidad al ver lo admirable de su gloriosa obra y se aparta el espíritu del materialismo de este pobre y prosaico mundo y de sus pasiones y vanidades.

Si al obtener el bien supremo de la gracia de Dios todo lo demás se nos da de añadidura, aquí, en orden inverso, de la preocupación de un provecho material, cual es la seguridad de nuestro vuelo, obtenemos como premio de nuestro trabajo la preciosa añadidura de un verdadero don espiritual.

