

# AEROTECNIA

---

## La Ingeniería Aeronáutica

Por EMILIO HERRERA

*Director de la Escuela Superior Aerotécnica.*

EL incesante progreso de los conocimientos humanos va necesariamente unido al aumento continuo de sus aplicaciones a las industrias que el hombre aprovecha para el más cómodo, agradable o provechoso desarrollo de su vida.

Hace un siglo, la técnica necesaria para dominar con suficiente eficacia la mayoría, si no la totalidad, de las aplicaciones industriales de las ciencias, se reducía a la matemática elemental, a los principios fundamentales de la mecánica racional, de la física y de la química, y a unas cuantas reglas de construcción y sobre obtención y preparación de las escasas variedades de materiales entonces empleados. Con estos conocimientos, una persona algo inteligente, podía titularse «ingeniero» y considerarse con capacidad para intervenir en cualquiera de las actividades industriales.

Hoy la vida de un hombre es insuficiente para llegar a dominar la técnica peculiar de una cualquiera de las especialidades más concretas de las aplicaciones de la ciencia a la industria, por lo cual, la ingeniería ha debido desmembrarse y ramificarse, creándose tantas especialidades de ella como modalidades de la industria pueden imaginarse.

Sin embargo, no todas las ramas de la ingeniería que se admiten en la actualidad, guardan igual relación de dependencia con el tronco general; unas se separan de las anteriores en las últimas ramificaciones, mientras que otras arrancan aisladamente, casi desde las raíces: este es el caso de la «Ingeniería Aeronáutica», de carácter peculiar, no sólo por la utilización especial de las máquinas y estructuras a que está dedicada, sino por serle indispensable orientaciones básicas distintas que a las demás ramas de la ingeniería, en cada una de las

materias que la comprenden, incluso en las más fundamentales.

La «Ingeniería Aeronáutica» se diferencia de todas las demás ramas de la ingeniería: primero, por operar con materiales especiales; segundo, por tener que luchar con fuerzas de carácter también especial, y tercero, por necesitar procedimientos especiales de cálculo.

En efecto: el objeto principal de la «Ingeniería Aeronáutica» es aprovechar la acción de las fuerzas que el aire puede producir, para vencer la de la gravedad sobre un vehículo que se desea mantener en equilibrio sin apoyarse en la superficie de la tierra. Es necesario, pues, reducir al mínimo la acción de la gravedad, y para ello, emplear materiales del menor peso posible y de la mayor resistencia, haciéndoles trabajar al límite compatible con la seguridad que sus cualidades mecánicas ofrezcan. Las reacciones dinámicas del aire, de las que nos hemos de valer para impulsar el vehículo aéreo y sostenerlo en la atmósfera, tienen el carácter especial de ser vibratorias, y la aplicación de estas fuerzas periódicas a unas estructuras constituidas por materiales de poco peso y tenso hasta el límite, como un sistema de cuerdas vibrantes, introduce los complejíssimos efectos de resonancia mecánica, de capital importancia en la «Ingeniería Aeronáutica», aunque despreciables en las demás especialidades de la ingeniería, y que exigen la aplicación de orientaciones peculiares en el estudio de materias tan fundamentales como la mecánica racional y aplicada, la resistencia de materiales y hasta el análisis matemático.

Siendo la materia base de todas las ramas de la ingeniería la ciencia de la construcción, la división más fundamental que puede hacerse de ellas, es según el carácter que se dé a esta ciencia.

En la historia de la humanidad, la ciencia de la construcción, y con ella la ingeniería en general, ha pasado por tres épocas: primero, aquella en que sólo se consideraba el equilibrio de los pesos y de los esfuerzos soportados por los materiales que intervenían en la construcción, y que podríamos llamar *ingeniería estática*; después, cuando se apreció la influencia que las deformaciones de los materiales pueden ejercer en el cálculo de la construcción, hubo que crear la teoría de la elasticidad y considerar las estructuras, no como formadas por piezas rígidas e indeformables, sino susceptibles de variar de forma y posición hasta llegar al equilibrio, resultando la que denominaremos *ingeniería cinemática*, y, por último, al aumentarse los esfuerzos y aplicarse fuerzas de carácter vibratorio, intervienen las masas de los materiales empleados y entran en juego las fuerzas de inercia correspondientes, apareciendo la *ingeniería dinámica*, que es la que caracteriza a la técnica de las construcciones aerodinámicas.

Para poner de manifiesto la diferencia entre estas tres acepciones fundamentales de la ingeniería, resolveremos un sencillo problema con arreglo a los procedimientos de cada una de ellas.

«Un cilindro homogéneo, rígido y horizontal, de un metro de diámetro, 2,50 de longitud y 250 kilogramos de peso está colgado por cinco puntos de una generatriz, que son los centros de los segmentos que resultan de di-

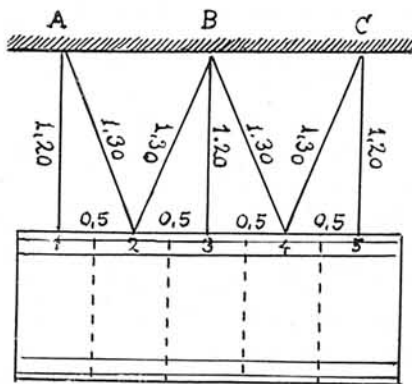


Fig. 1.

vidirla en cinco partes iguales, por medio de siete hilos de acero de un milímetro cuadrado de sección, tres normales al cilindro y de 1,20 metros de longitud y cuatro inclinados de 1,30 metros de longitud, que penden de tres puntos fijos A, B, C, situados en una recta horizontal paralela al cilindro, en la forma indicada en la figura 1. Se supone al cilindro sometido a un viento horizontal de 32 metros por segundo, y se pide el esfuerzo sufrido por cada uno de los hilos.»

Con arreglo a la *ingeniería estática* se razonaría del siguiente modo: dividiendo el cilindro en cinco partes de

medio metro de distancia entre las bases, como está indicado en las líneas de puntos, cada una de estas partes quedaría suspendida por el centro de su generatriz, puntos 1, 2, 3, 4 y 5; luego en cada uno de estos puntos actuaría verticalmente el peso de la sección correspondiente, o sea 50 kilogramos, más la quinta parte de la acción del aire sobre el cilindro, que obraría horizontalmente y tendría una intensidad igual al producto de la superficie opuesta al viento (2,5 metros cuadrados) por el cuadrado de la velocidad ( $32^2 = 1.024$ ) y al coeficiente aerodinámico de resistencia al avance de un cilindro, que en este caso es de 0,049. La acción del viento resulta, pues, igual a

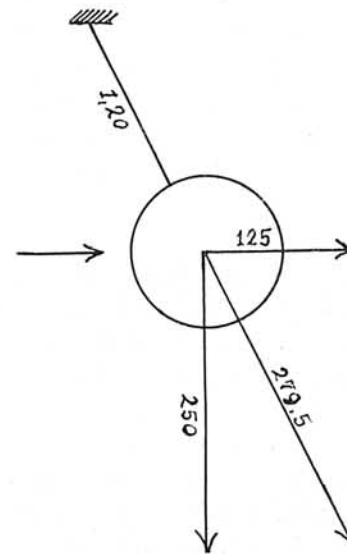


Fig. 2.

$2,5 \times 1.024 \times 0,049 = 125$  kilogramos, cuya quinta parte es 25 kilogramos.

El cilindro será empujado por el viento hasta que el plano de los hilos de suspensión tome una inclinación de  $\frac{1}{2}$  con relación a la vertical (fig. 2) y en cada punto de suspensión sobre el cilindro actuará una fuerza igual a la resultante del peso con la del viento, o sea  $\sqrt{50^2 + 25^2} = 55,9$  kilogramos, que será sostenida enteramente por los hilos normales al cilindro, y en la proporción  $\frac{6}{13}$  por cada uno de los inclinados. Aquéllos trabajarán a 55,9 kilogramos por milímetro cuadrado, y éstos a  $\frac{6}{13} 55,9 = 25,8$  kilogramos por milímetro cuadrado. Si los hilos resisten 60 kilogramos por milímetro cuadrado, la suspensión no debería romperse.

Veamos ahora qué resultados obtendría un técnico que se valiera de los principios de la *ingeniería cinemática*. Con arreglo a ellos, la fuerza total que actúa sobre el cilindro, igual a  $\sqrt{250^2 + 125^2} = 279,5$  kilogramos, quedaría

sostenida por los siete hilos, sufriendo cada uno un esfuerzo proporcional a la deformación que experimentara, pero siendo rígido el cilindro, y por lo tanto, su generatriz 1, 2, 3, 4, 5, y también indeformable la línea A, B, C, paralela a aquélla, de los tres puntos de donde penden, las deformaciones de todos los hilos bajo la acción de las fuerzas que actúan sobre el cilindro y que se suponen uniformemente repartidas, serán proporcionales a sus longitudes, y, siendo iguales las secciones, los esfuerzos de todos los hilos serán también iguales. Si llamamos  $T$  al esfuerzo de tensión común a todos los hilos, se tendrá:

$$3T + 4 \frac{12}{13} T = \frac{87}{13} T = 279,5 \quad T = \frac{13}{87} 279,5 = 41,76.$$

El resultado obtenido en este caso es, pues, de 41,76 kilogramos por milímetro cuadrado de esfuerzo igual para todos los hilos, normales e inclinados. Se confirma la seguridad de que la suspensión no se romperá, aunque los hilos inclinados resultan más cargados y los normales más descargados.

Para un ingeniero aeronáutico, que deberá aplicar los principios de la *ingeniería dinámica*, el problema no se presenta tan sencillo. En efecto; tendría que considerar que los 125 kilogramos de acción del viento sobre el cilindro, no es una fuerza uniforme, sino el valor medio de una fuerza oscilante producida por el desprendimiento periódico de dos series de torbellinos de aire, de ejes paralelos al cilindro, una formada en su parte superior y la otra en su parte inferior, de tal modo que aparecen, alternati-

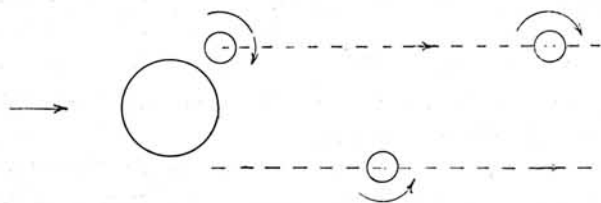


Fig. 3.

vamente, un torbellino superior y otro inferior (fig. 3). De acuerdo con la teoría de Karman, la velocidad con que se separan del cilindro estos torbellinos es igual a

$$1 - \frac{1}{\sqrt{6}} = 0,592$$

de la del viento, y la separación entre dos torbellinos de la misma serie resulta igual a 3,425 veces el diámetro del cilindro, por lo que debe desprenderse un torbellino cada  $\frac{3,425}{2 \times 0,592 \times 32} = 9$  centésimas de segundo. Este será el período de vibración de la acción del viento sobre el cilindro.

Al mismo tiempo, la masa del cilindro con su sistema de

suspensión tiene un período propio de vibración que se calcula por la fórmula:

$$t = 2\pi \sqrt{m : \frac{dR}{dl}},$$

siendo  $m$  la masa del cilindro, y  $\frac{dR}{dl}$  la variación de la reacción de los hilos sobre el cilindro con relación a la separación de éste de los puntos de suspensión, o sea al alargamiento de los hilos normales.

Llamando  $E$  al módulo de elasticidad de los hilos, que en el acero es de  $22 \cdot 10^9$  kilogramos por metro cuadrado,  $l$  la longitud de cada hilo en un momento determinado,  $l_0$  la longitud inicial y  $s$  su sección transversal, se tendrá:

$$R = 3 \frac{sE(l-l_0)}{l_0} + 4 \frac{12}{13} \frac{sE(l-l_0)}{l_0} = \frac{87}{13} \frac{sE(l-l_0)}{l_0},$$

puesto que para todos los hilos será constante la relación entre su longitud  $l$  en cada momento y la inicial  $l_0$ .

De aquí se deduce:  $\frac{dR}{dl} = \frac{87}{13} \frac{sE}{l_0}$ , y sustituyendo los valores correspondientes a este caso, tomando por unidades metros, kilos y segundos:

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{250}{9,8} \frac{13}{87} \frac{1,20}{10^{-6} 22 \cdot 10^9}} = 0,09.$$

Vemos, pues, que hay coincidencia entre los valores del período de la oscilación propia del cilindro suspendido y del de la fuerza creada por el viento sobre él, lo que originará el fenómeno de la resonancia mecánica creciendo la amplitud de las oscilaciones hasta producir la rotura, si no intervienen fuerzas amortiguadoras que no se han supuesto.

Resulta, por tanto, que un problema tan sencillo como el propuesto, da lugar a soluciones muy diferentes, según esté apreciado con arreglo a los principios de una o de otra clase de ingeniería, hasta el punto de que, pudiéndose asegurar que el sistema resistirá con exceso la acción de las fuerzas supuestas con arreglo a los principios clásicos del cálculo de estructuras, la «Ingeniería Aeronáutica» asegura, por el contrario, que el sistema de suspensión no podrá soportar los esfuerzos de origen dinámico creados en él por la acción del viento, bastando para que la resonancia, y con ella el peligro de rotura, desaparezca, con sólo variar las secciones de los hilos o el peso del cilindro, aunque sea en el sentido de aumentar el esfuerzo estático, sin alcanzar, naturalmente, el límite de resistencia admitido.