

## REVISTA EXTRANJERA

**Nuevo método para la regulación de la tensión de los cables de los aeroplanos por medio de un vibrómetro.**

Se sabe que la regulación de la tensión de los hilos y cables tiene por objeto dar al aeroplano una buena rigidez y una simetría perfecta.

Estas condiciones son necesarias si se quiere obtener durante el vuelo una distribución racional de los esfuerzos, la única que permite manejar el aparato con confianza y seguridad. Toda imperfección en la regulación puede, por el contrario, causar variaciones en la incidencia de las alas, lo que produce una disminución en el rendimiento aerodinámico y una irregularidad en la distribución de los esfuerzos, pudiendo producir una sobrecarga imprevista y peligrosa en algunos órganos esenciales del aparato (cables, montantes, largueros).

La ligereza excepcional de los aeroplanos modernos se ha obtenido gracias á la introducción de procedimientos de cálculo más perfectos, al empleo de materiales más ligeros y más resistentes y á la tendencia á reducir el coeficiente de seguridad con relación al adoptado hace algunos años.

Se puede, pues, decir que si en los antiguos aparatos no ejercía gran influencia sobre la estabilidad de la construcción la regulación de la tensión de los cables, en los aviones modernos el coeficiente de seguridad no tendrá el valor necesario para la estabilidad más que cuando las tensiones de todos los hilos y cables estén regulados de una manera bastante perfecta.

En la mayor parte de las fábricas de construcciones aeronáuticas, la regulación de los aparatos se realiza por montadores especialistas. Pero esta operación sigue un procedimiento completamente empírico; se aplica á que las distancias entre los extremos de cada cable sean constantes; á que la simetría de la construcción sea verificada, en fin, á que la tensión, medida ó juzgada, sea la que la práctica ó el cálculo hayan aconsejado.

En estas condiciones, diferencias de 30 á 40 por 100 en las tensiones de los cables simétricos de un mismo aparato son corrientes, porque estas diferencias no producen muchas veces ninguna alteración sensible en la simetría del aparato en reposo. Una aproximación mayor no es por otra parte posible más que con el empleo de un método de regulación más racional.

El procedimiento de regulación que vamos á exponer, y que ha sido experimentado con feliz éxito, se describe por el Ingeniero electricista y aeronauta M. Carlo Maurilio Leriche en *Le Génie Civil* y el *Giornale del Genio Civile*, publicaciones ambas que tenemos á la vista para redactar esta nota. Este procedimiento es susceptible de una gran precisión y, por su sencillez, se encuentra al alcance de todo el mundo; podrá, pues, generalizarse fácilmente con el objeto de aumentar las condiciones de seguridad de los aeroplanos modernos.

**Medida de las vibraciones de los cables por medio del vibrómetro.**—El método empleado para medir la tensión de los cables utiliza los fenómenos bien conocidos de la resonancia vibratoria. Su principio es análogo al adoptado hace algunos años por el Capitán Largier en su tensiómetro musical y por el Duque de Guiche en varios experimentos por él realizados.

La aplicación que ha hecho M. Maurilio es, según su parecer, expuesto en los artículos que extractamos, considerablemente simplificada con relación á las precedentes y puede introducirse sin dificultades en la práctica corriente de las fábricas.

Se sabe que para un hilo dado sometido á una tensión  $T$ , la

frecuencia  $n_1$  de la vibración fundamental está unida á la tensión por la fórmula siguiente:

$$t_1 = \frac{1}{n_1} = 2l \sqrt{\frac{p}{gT}}$$

en la que

$t_1$  es el período de oscilación.

$n_1$  la frecuencia.

$l$  la longitud del hilo.

$p$  el peso del hilo por unidad de medida.

$g$  la aceleración de la pesantez.

$T$  la tensión.

mientras que la frecuencia de las vibraciones de segundo, tercer orden, etc., es respectivamente:

$$n_2 = 2 n_1,$$

$$n_3 = 3 n_1, \text{ etc.}$$

En general se tiene la relación:

$$T = \frac{4 l^2 p n_1^2}{g} = K n_1^2.$$

Para cada hilo dado basta, pues, conocer  $n_1$  para deducir el valor de  $T$ .

El aparato adoptado por el autor para la medida directa de  $n_1$  no es otro que un vibrómetro análogo al que se adopta, generalmente, para la medida de la frecuencia de las corrientes alternas reducido á su forma más sencilla y más manuable.

Este aparato, representado en la figura 1.<sup>a</sup>, está formado por

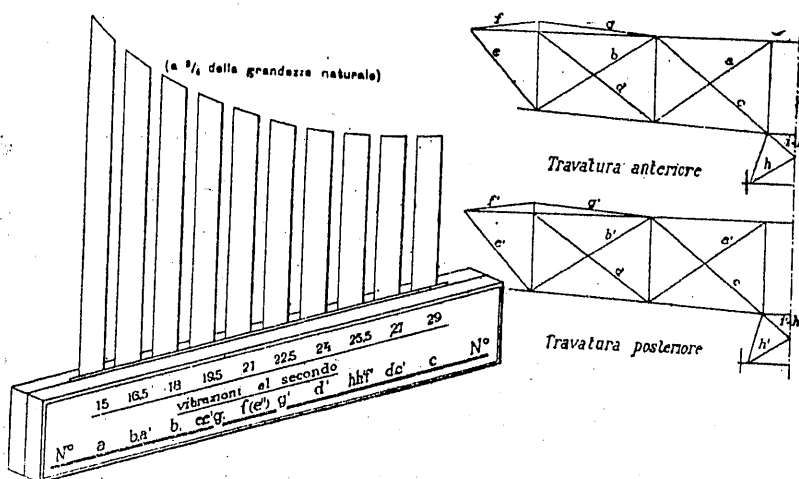


Fig. 1.<sup>a</sup>

una serie de láminas de acero de longitudes diferentes, incrustadas por uno de sus extremos.

La dimensión de cada lámina está en relación con su período propio de oscilación, según la relación:

$$t = \frac{1}{n} = \frac{8 L^3}{\pi b (1.198)^2} \sqrt{\frac{5 d}{6 g E}}$$

en la que

$L$  es la longitud de la lámina.

$b$  el radio de inercia de la sección.

$g$  la aceleración de la pesantez.

$d$  la densidad.

$E$  El módulo de elasticidad.

Su funcionamiento, según el principio de la resonancia, permite a una lámina incrustada por un extremo y colocada en ligero contacto con un hilo vibrante, presentar un movimiento vibratorio muy sensible y máximo, si su período propio de oscilación es igual al del hilo.

El contacto de la lámina con el hilo no tiene necesidad de ser directo; basta colocar el soporte de la serie de láminas del vibrómetro en contacto con un extremo del hilo; esto permite distinguir mejor y sin ninguna dificultad la lámina cuyo período propio es el más aproximado al del cable.

Una elección apropiada de la serie de láminas permite obtener una sensibilidad y una precisión que no se consiguen jamás con los métodos empíricos adoptados en un gran número de fábricas de construcciones aeronáuticas.

Es evidente que el empleo de una sola lámina de longitud variable (ya adoptado en algunos instrumentos científicos, tales como el vibrómetro de Jullarton) puede dar también buenos resultados; pero en este caso la medida exige mucho más tiempo y pueden fácilmente confundirse las vibraciones fundamentales con las de segundo orden.

Es verdad que, en el tipo de vibrómetro empleado por el autor, se puede obtener a la vez la vibración fundamental y la de segundo orden, si la serie de láminas contiene dos, de las cuales el período de una es doble del de la otra; hemos visto, en efecto, que la vibración de segundo orden tiene una frecuencia doble de la fundamental. Pero es necesario observar que la serie de láminas necesarias en la práctica corriente no rinde más que un número limitado de vibraciones. Por otra parte, el caso de la resonancia múltiple no perjudicaría, porque bastaría considerar solamente la indicación de la lámina de período menor.

Se nota que para la regulación del tren de aterramiento de los aparatos modernos de potencia media (de 100 a 300 caballos), es suficiente emplear una serie de láminas de 20 a 40 vibraciones. En la práctica, una docena de láminas permite obtener una precisión suficiente. El error medio, debido a la presencia de los tensores, es de 5 por 100 por exceso.

Para el uso del tipo con cables, para la emplumadura y para los hilos de pequeña longitud, en general, es necesario una serie de 40 a 60 vibraciones.

En fin, para los aparatos muy grandes, y en general para los cables de gran longitud (4 a 6 metros) es necesario a menudo emplear láminas de 12-13 vibraciones.

El vibrómetro puede tener una graduación en kilogramos para cada tipo de cables. Si cada lámina lleva la indicación exacta de su frecuencia, se puede deducir la tensión correspondiente de los cables por medio de diagramas que dan las relaciones entre la frecuencia, la longitud del hilo, el diámetro (ó el peso por metro) y la tensión (figuras 2.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup>).

En la práctica basta indicar sobre cada lámina del vibrómetro el número ó la letra del cable que debe vibrar en resonancia (fig. 1.<sup>a</sup>).

Importa, en efecto, que el montador sepa solamente que la resonancia con una lámina de longitud menor indica un exceso de tensión y la con una lámina mayor una falta de tensión.

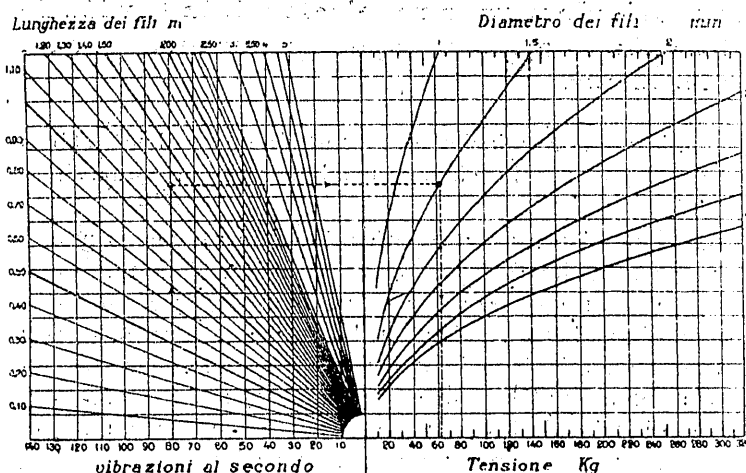
**Resultados obtenidos.**—Antes de emplearse para la regulación corriente se ha experimentado este vibrómetro en los ensayos estáticos de rotura de varios tipos nuevos de aparatos.

Se sabe que en la primera prueba estática de rotura se presenta casi siempre algún fenómeno debido a irregularidades en las deformaciones, que el cálculo no puede siempre prever. Es de la mayor importancia poder analizar desde el principio la distribución de los esfuerzos en todos los cables con el objeto de conocer la causa de toda imperfección.

El vibrómetro permite siempre sacar de cada ensayo de rotura enseñanzas muy interesantes; permite, en efecto, seguir con rapidez y sin ninguna dificultad ó peligro la variación de la tensión en cada cable de la célula; el trabajo de los cables de refuerzo del tren de aterramiento; el de los hilos que arriostan los

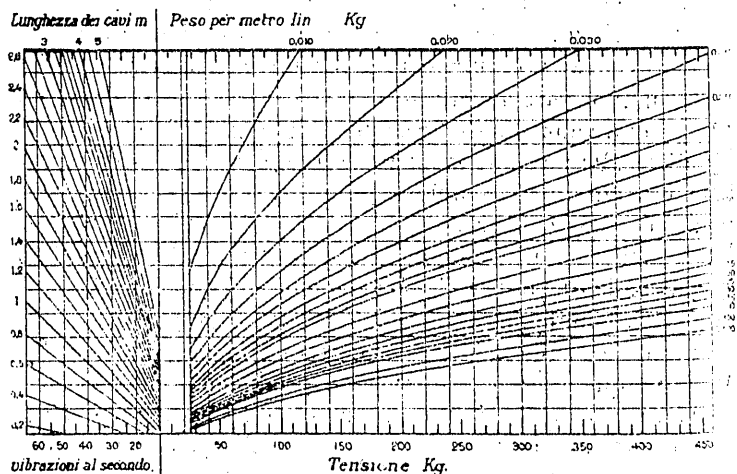
montantes homólogos anterior y posterior (cruces longitudinales) y cuyo trabajo indica la torsión de la célula bajo carga. Este último fenómeno merece una gran atención. Se sabe, en efecto, que en las células biplanas de alas rectilíneas y paralelas la torsión bajo carga es debida a que la resistencia de las dos vigas anterior y posterior no es igual con relación a la carga.

Resulta de aquí que la viga que está más cargada cederá más

Fig. 2.<sup>a</sup>

que la otra, que será arrastrada por el trabajo de uno de los hilos de cada cruce longitudinal. Los montantes y los cables de la viga, relativamente menos cargada, estarán, pues, sometidos a una sobrecarga debida a la acción de estos hilos; fenómeno que puede acelerar de una manera imprevista el momento de la rotura.

Durante un ensayo estático, cuando el aparato está sometido

Fig. 3.<sup>a</sup>

a su carga normal, que corresponde al trabajo previsto durante el vuelo, es siempre interesante verificar si hay órganos (cables, hilos, montantes) cuyo período propio de vibración se aproxima al fundamental del motor en marcha normal (de 20 a 25 vueltas por segundo para los motores fijos). Se sabe que, en estas condiciones, estos órganos podrán vibrar continuamente durante el vuelo, y que es preferible modificar algunas dimensiones a fin de evitar un fenómeno tal de resonancia que puede producir una disminución peligrosa en la resistencia de ciertos materiales.

El vibrómetro que hemos descrito dice M. Maurilio que le ha permitido prever este fenómeno en varios casos, confirmando la experiencia todas las previsiones.

Claro es, concluye el autor, que esto no tiene importancia más que en los aparatos de un solo motor. Es, en efecto, evidente que dos ó varios motores, que, en general, no marchan jamás sincrónicamente, forman en su conjunto un origen de vibraciones de período siempre variable que no es entonces peligroso.