Año LVII. Madrid 29 de Julio de 1909. Núm. 1.766

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS. CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES **Dirección y Administración: Plaza de Oriente. 6, primero derecha.**

PIRÓMETRO METÁLICO DE FÉRY

Este pirómetro constituye la última creación pirométrica del Profesor C. Féry, de París, inventor del conocido pirómetro óptico que lleva su nombre. Es un instrumento sencillísimo y de una gran aplicación, desde el punto de vista industrial, para determinar con facilidad y rapidez las temperaturas superiores á las del rojo oscuro.

El aspecto general del aparato es parecido al de un anteojo, con la diferencia de que además lleva una escala circular con una aguja indicadora, estando montado sobre un trípode para facilitar su empleo. Para medir temperaturas

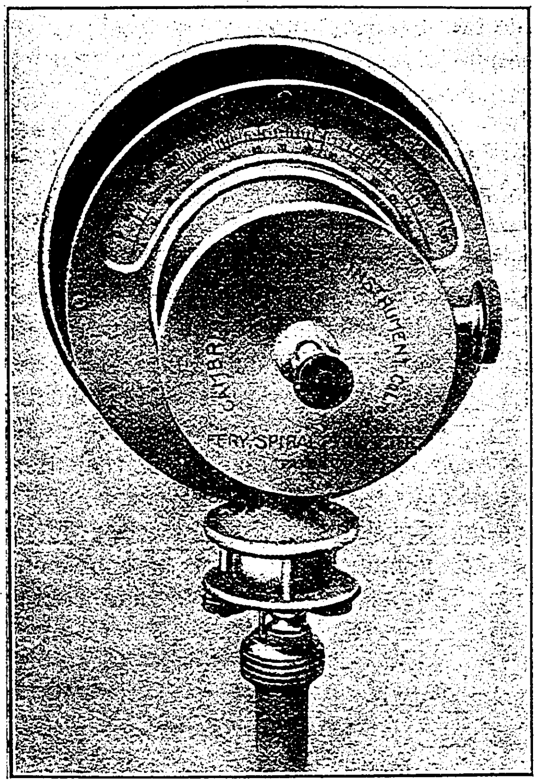

Fig. 1.ª

con este aparato se le dirige hacia el hogar ó cuerpo candente y se lee el número que señale la aguja sobre la escala graduada. El instrumento encierra en sí mismo todo lo que es necesario para su funcionamiento, y su fundamento está constituído única y exclusivamente por principios mecánicos, facilitándose el trabajo del operador, en lo que se refiere á la observación del cuerpo candente, con la aplicación de las leyes ópticas.

Teoría del pirómetro.—El funcionamiento de este aparato se funda en dos leyes muy conocidas; la primera es

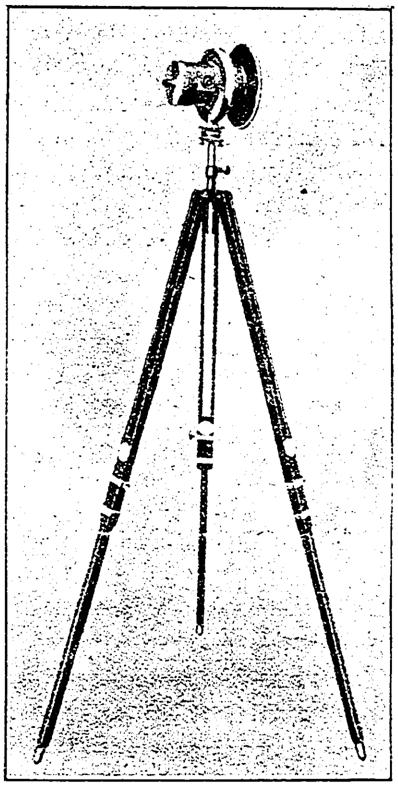

Fig. 2.ª

que todos los cuerpos emiten radiaciones térmicas, y la segunda que todos se dilatan cuando se calientan, aunque entre límites muy distintos en unos y otros. Por lo que se refiere á la primera, la cantidad de calor que un cuerpo emite crece muy rápidamente con la temperatura, tanto que el fenómeno es apreciable antes de que la de aquél sea lo suficiente elevada para producir radiaciones luminosas. Las radiaciones térmicas se pueden reflejar y concentrar en un foco de la misma manera que estas últimas, de tal manera, que siempre que un espejo cóncavo produce la imagen luminosa de un cuerpo candente forma en el mismo sitio la calorífica correspondiente. Un ejemplo de lo que se acaba de exponer le constituye el fenómeno conocidísimo de quemar un papel con una lente de cristal que recibe los rayos del sol, y el cual se realiza también, y mejor, con un espejo cóncavo, razón por la cual Féry ha adoptado este sistema en su pirómetro.

Las radiaciones térmicas que emite el cuerpo candente sobre el cual se ha enfilado el aparato inciden sobre un espejo cóncavo que las concentra en el foco correspondiente. Para medir el calor en este punto se utiliza la dilatación de los metales en la siguiente forma: cuando dos hojas de metales distintos, cuyos coeficientes de dilatación son muy diferentes, se sueldan una con otra, formando una sola hoja, sus dos caras se dilatarán ó contraerán desigualmente, de tal manera, que si uno de los extremos está fijo, el otro se encorvará en cantidad muy apreciable por pequeña que sea la variación de temperatura. Una aplicación corriente de este principio son las ruedas de compensación de los buenos relojes, cuya llanta está constituída con dos metales distintos, dispuestos de tal manera, que cuando la temperatura aumenta y se dilatan los radios de la rueda, la llanta se encorva hacia el centro, en forma tal, que la distribución del peso alrededor del eje permanece constante.

En el pirómetro metálico de Féry la hoja metálica, constituída por dos metales distintos, se lamina hasta que su espesor es suficientemente pequeño y se arrolla en forma de espiral, fijando el borde interior y dejando libre el exterior, el cual lleva una aguja indicadora de aluminio, cuyo extremo se mueve delante de una graduación circular al desarrollarse la hoja metálica por efecto de la elevación de temperatura. Las dimensiones de la espiral son muy pequeñas, 3 milímetros de diámetro y 2 milímetros de ancho. El aparato se calibra de tal manera, que las lecturas de la punta de la aguja son las temperaturas del cuerpo observado.

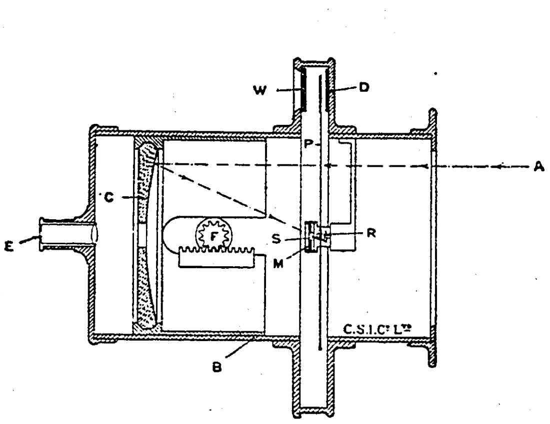

Fig. 3.ª

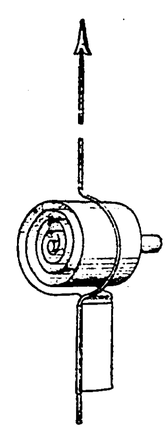

Fig. 4.ª

La figura 4.ª es una sección transversal del instrumento en escala $\frac{1}{3}$, y en ella, S es la espiral, cuya ampliación en escala 4×1 representa la figura 3.ª, A es un rayo calorífico procedente del cuerpo observador, que la cara cóncava del espejo C refleja sobre la espiral, detrás de la cual está el pequeño reflector R, que tiene por objeto reflejar los rayos que hayan podido pasar por las vueltas de la espiral; E es el ocular con el cual se observa la imagen del cuerpo caliente que se forma en el espejo plano M, F es un piñón con su cremallera para regular la distancia entre el espejo cóncavo y la espiral, P la aguja indicadora, D la escala y W la ventana con cristal para hacer las lecturas.

El pirómetro de Féry es un instrumento portátil cuyo funcionamiento se comprende sin dificultad alguna y que se maneja muy fácilmente. Treinta segundos son suficientes para enfilar el objeto observado y medir su temperatura. Su apreciación no es muy grande, pero en instrumentos bien calibrados las temperaturas leídas difieren de las verdaderas en un 1 ó 2 por 100 á 1.000° c., lo cual es muy suficiente en las aplicaciones industriales. No es posible construir este tipo de pirómetro como registrador, al contrario de lo que sucede con el de radiación de par termoeléctrico del mismo Féry.

Para que las indicaciones de cualquier pirómetro correspondan á temperaturas exactas, es indispensable que el cuerpo caliente observado esté contenido en un recinto cuyas paredes tengan la misma temperatura que aquél, circunstancia que se verifica en la mayor parte de las aplicaciones, siendo de muy poca importancia el error que se comete al hacer las observaciones con la puerta del horno ó muflas abiertas, error que puede evitarse adoptando la disposición

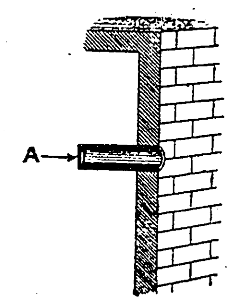

Fig. 5.ª

que representa la figura 5.ª, esto es, colocando en la pared del horno un tubo de hierro ó de arcilla refractaria, cuya base A está cerrada y la otra abierta. Como dicho tubo adquiere la temperatura del horno en una gran parte de su longitud, constituye, con aproximación suficiente, un recinto cerrado cuyas paredes poseen una temperatura muy elevada, de tal manera, que enfilando el pirómetro á la base A, se puede medir su temperatura, y, por consecuencia, la que existe en el interior del horno, sin que en éste penetren corrientes de aire frío y sin que las llamas salgan al exterior. Cuando se observa con el pirómetro un crisol que contiene metal fundido, un lingote de acero ó cualquier otro cuerpo que no está contenido en un recinto con paredes candentes, las temperaturas obtenidas son inferiores á las efectivas, en un grado que depende principalmente de la naturaleza de la superficie de aquéllos; así, por ejemplo, con el carbón, las diferencias entre una y otra temperatura son muy pequeñas, porque esta sustancia reune las condiciones de lo que se llama un *cuerpo negro*, mientras que si se trata de un crisol de cobre con la superficie limpia, aquellas diferencias pueden pasar de 100° c.

Aunque no es posible precisar el valor de este error, porque en él tienen mucha influencia las condiciones locales, sin embargo, si éstas varían poco, será aproximadamente

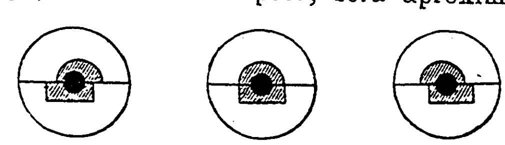

Fig. 6.ª

constante, y puede determinarse experimentalmente, evaluando la temperatura del cuerpo fuera y dentro del horno, ó comparando la lectura del pirómetro con la de un par termoeléctrico.

El pirómetro metálico de Féry tiene una disposición especial para enfocar con facilidad y prontitud, que consiste en dos pequeños espejos en forma de cuña colocados en el interior, en los cuales se refleja el horno ó cuerpo caliente que se observa; si el instrumento está enfocado, la imagen que se ve tiene la apariencia del esquema central de la figura 6.ª, en el cual la circunferencia exterior representa el contorno de los espejos, la superficie rayada la imagen del orificio de la pared del horno, y el círculo negro la espiral; si no se ha enfocado bien, la imagen observada tiene el aspecto de uno de los esquemas de la derecha ó de la izquierda y se corrige este defecto con el piñón F.—Ω.

ESTUDIO DE LA CATENARIA

Y DE SUS APLICACIONES MECANICAS

POR D. JOSÉ TOUS Y BIAGGI

Académico de la Real de Ciencias y Artes de Barcelona.

(CONTINUACIÓN)

Propiedades y aplicaciones mecánicas.

Es la catenaria una curva esencialmente mecánica, y de esta esencia derivan todas sus propiedades geométricas, y siendo tantos los cuerpos y las construcciones en que la única fuerza que sobre ellas actúa es la de la gravedad, de aquí que se preste á muchas aplicaciones. Es verdad que su forma exige que el cuerpo sea absolutamente flexible, cosa que en la realidad nunca sucede; pero son muchos los casos de equilibrio de cuerpos que se aproximan á este estado ó que, á lo menos, la asimilación á él contribuye á formarse un concepto aproximado de sus condiciones de equilibrio.

Si un hilo se suspende por sus extremos en dos puntos cualesquiera, la línea que forma es, entre todas las que pueda formar, la que tiene el centro de gravedad más bajo. Este principio es tan esencial, como el del estado de equilibrio, que generalmente se toma como punto de partida; los dos son inseparables; enunciar el uno es indirectamente enunciar el otro, y ambos parece que son formas particulares de un enunciado más general, que parece ser determinar el estado de un hilo absolutamente flexible sujeto por sus extremos y sometido á la acción de la gravedad sin que ésta pueda modificar dicho estado. Dados los conceptos de centro de gravedad y de estado de equilibrio, se desprende: 1.°, que si la gravedad modificara el hilo sería moviendo en su dirección al centro de gravedad, por razón de efecto ó causa, de modo que si por hipótesis no lo puede modificar, no lo podrá bajar. El teorema de d'Alambert sobre el movimiento del centro de gravedad de un sistema material y el teorema del trabajo virtual aplicados á este caso son formas análogas de la misma proposición; 2.°, que si la gravedad no puede hacer bajar el centro de gravedad del hilo como causa, no producirá efecto, y como se supone que el hilo no está sometido á ninguna otra causa modificadora ó fuerza, el hilo permanecerá siempre en el mismo estado, al que llamamos forma de equilibrio. Son, pues, dos enunciados de un mismo principio: el usual, ó como forma de equilibrio, es más sensible; el que parte del centro de gravedad, más ideal.

La posición del centro de gravedad pocos autores la tratan; Moseley, en la obra citada, la determina para el caso particular de una catenaria cuya cuerda es horizontal. En general, y para un arco cualquiera de ella, cuyas abscisas sean x'' x', sus coordenadas valdrán:

$$x_g = \frac{\int_{x''}^{x'} xd\,.\,s}{s' - s''} \qquad y_g = \frac{\int_{y''}^{y'} yd\,.\,s}{s' - s''}$$

ó sea poniendo en vez de y y de $d\,.\,s$ sus valores, en el supuesto de tomar el parámetro igual á la unidad:

$$x_g = \frac{\frac{1}{2}\int_{x''}^{x'} x\left(e^{x} + e^{-x}\right)d\,.\,x}{s' - s''} \qquad y_g = \frac{\frac{a}{4}\int_{y''}^{y'}\left(e^{x} + e^{-x}\right)^2 d\,.\,x}{s' - s''}$$

ecuaciones que, integradas por los métodos usuales, dan los valores de las coordenadas que se buscan; pero para que sirva de muestra de la facilidad con que estos problemas referentes á la catenaria se resuelven por las funciones hiperbólicas, se integran aquí poniéndolas bajo esta forma, con lo que se reducen á

$$x_g = \frac{\int_{x''}^{x'} x \cos \text{h}.\, xd\,.\,x}{s - s''} \qquad y_g = \frac{\int_{x''}^{x'} \cos \text{h}^2.\, xd\,.\,x}{s' - s''}$$

que integrando por partes dan fácilmente:

$$\int x \cos \text{h}.\, xdx = x \operatorname{sen} \text{h}.\, x - \int \operatorname{sen} \text{h}.\, xdx =$$

$$= x \operatorname{sen} \text{h}.\, x - \cos \text{h}.\, x = xs - y$$

$$\int \cos \text{h}^2.\, xdx = \operatorname{sen} \text{h}.\, x \cos \text{h}.\, x - \int \operatorname{sen} \text{h}^2.\, xd\,.\,x$$

y recordando que: $\cos \text{h}^2.\, x - \operatorname{sen} \text{h}^2.\, x = 1$ resulta:

$$\int \operatorname{sen} \text{h}^2.\, xdx = \int (\cos \text{h}^2.\, x - 1)dx = \int \cos \text{h}^2.\, x - x$$

que sustituída á la anterior da en seguida:

$$2\int \cos \text{h}^2.\, xd\,.\,x = \operatorname{sen} \text{h}.\, x \cos \text{h}.\, x + x = sy + x$$

lo que da para las coordenadas buscadas:

$$(36) \quad x_g = \frac{x's' - x''s'' - y' + y''}{s' - s''}$$

$$(37) \quad y_g = \frac{s'y' - s''y'' + x' - x''}{2(s' - s'')}$$

que para el caso de una catenaria cuya cuerda sea horizontal, por ser $x'' = -x' = \frac{d}{2}$, $s'' = -s'$ y también $y'' = y'$, siendo d la cuerda y poniendo $2s' = s$ resultarán:

$$x_g = 0; \qquad (38) \quad y_g = \frac{2s'y' + 2x'}{2(s' + s')} = \frac{y'}{2} + \frac{d}{2s}$$

llamando f á la flecha de la curva, que vale $y' - 1$ por haber tomado el parámetro igual á la unidad, y restando ésta de ambos miembros, el primero es la distancia del centro de gravedad al vértice y vale:

$$(39) \quad \frac{f - 1}{2} + \frac{d}{2s}$$