

obra ha sido fundamental en la selección de formas constructivas, y como consecuencia de ello, hemos llegado a una simplicidad extraordinaria para la ejecución de los encofrados mediante el empleo exclusivo de secciones rectangulares; también se ha tenido presente en todo lo que se refiere al trabajo del hierro, disponiendo el menor número posible de plantillas diferentes, no utilizando hierros de calibre superior a 35 milímetros, y sacrificando en parte el criterio de armado estricto a la claridad y uniformidad del mismo.

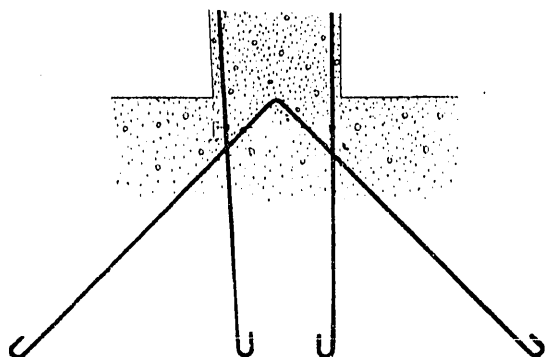


Fig. 5. Detalle de la unión de tabiques y cimientos

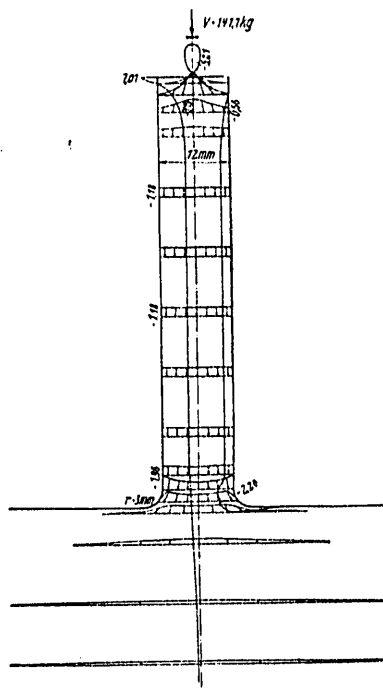
En el cálculo de todas las estructuras hemos tenido en cuenta los siguientes esfuerzos:

- 1) Peso propio, considerando 2 500 kilogramos por metro cúbico.
- 2) Peso del pavimento, a razón de 200 kg/m².
- 3) Sobrecarga móvil, que es la de la Instrucción vigente, repartida en el ancho de vía de 3 m e incrementada en un 30 por 100 por efecto dinámico.
- 4) Variación de temperatura desde +15 a

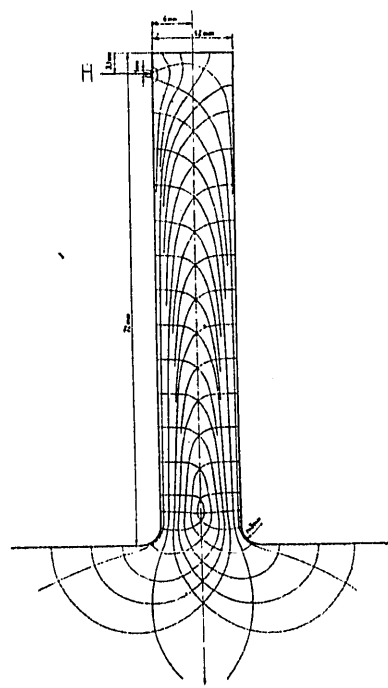
—25° C, con relación a la de construcción, incluyendo en el descenso la retracción de fraguado.

Además, según los casos, empuje de tierras y asiento de los apoyos.

Las máximas cargas admitidas han sido:
Hormigón: 60 kg/cm².



Figs. 6 y 7. Experiencias fotoelásticas de la bre sobre muros empotrados



Hierro: 1 100 kg/cm².

Se ha supuesto una relación de coeficientes de elasticidad $m = 12$ y se ha prescindido en los cálculos de las siguientes influencias favorables: trabajo a tracción del hormigón y efecto arco por variación de situación de la fibra neutra.

Carlos FERNANDEZ CASADO
Ingeniero de Caminos

Medición de potencias

En el concepto más amplio, la energía se presenta de diversas formas, y en todas ellas la medida de su magnitud se tiene que verificar, pues sería imposible querer utilizar una cosa que no se conoce su valor; pero en sus diferentes manifestaciones, unas presentan más dificultad de medición que otras; por ejemplo, la energía eléctrica se mide con una gran facilidad; la hidráulica y la térmica son más complicadas de medir. ¿Y la energía mecánica? No se puede decir que la energía mecánica no es importante, que sea una energía de menos valor práctico; al contrario, la energía mecánica es el intermedio necesario para la transformación de energía de una clase a otra; árboles de transmisión, correas, engranajes, etcétera, son necesarios para cada cambio de clase de energía, hasta para permutar, dentro de una clase, la forma en que se manifieste, como, por ejemplo, si se quiere pasar de energía eléctrica continua a alterna; para todo esto es necesaria la energía mecánica: es el desfiladero casi obligado para cualquier energía que ha de transformarse.

La manifestación más general de esta energía es la del eje transmisor, la energía que conduce un sólido al girar; parece que el hombre ha mirado con más simpatía a esta manera de engendrar trabajo, sin duda por su sencillez; mediante el movimiento giratorio ha resuelto un problema de capital importancia: la locomoción en su triple aspecto de aérea, marítima y terrestre. Hasta cuando es necesario un movimiento rectilíneo se recurre a la transformación en giratorio mediante correas o cables sin fin, tornos, etcétera. En toda clase de transformación de energía mecánica está la giratoria acusando su presencia; se puede decir que la energía mecánica se acuña en forma de árbol giratorio. El hombre es, sin duda, esclavo de la rueda.

Una vez vista su importancia, veamos las maneras de hallar su valor. Se trata en concreto de medir la energía mecánica giratoria que puede suministrar una máquina, si ésta es motor, o que llega a ella, si es un receptor. Este problema se ha resuelto en parte con criterios diferentes: uno es transformar la ener-

gría en otra más fácilmente medible y evaluar su cuantía, teniendo en cuenta el rendimiento de la máquina transformadora; otro criterio es el de absorber la energía después de transformada en térmica; de ahí los frenos de absorción. Basándose en que la acción tiene el mismo valor que la reacción, la máquina Sprague constituye un adelanto sobre los demás sistemas; supera al primer criterio, pues no es necesario conocer ningún rendimiento, cosa que nunca se determina exactamente, y es mejor que el segundo, porque en cuanto hay potencias medianas, la absorción mediante rozamiento se hace prácticamente imposible. Existen muchos frenos de este tipo, algunos corrientes, tales como el Prony, el de corrientes de Foucault, el Alden, el Reynolds-Frude, etc.; aunque el único popular es el Prony, no está acreditado como un sistema de medida exacto. Hasta ahora, pues, se puede asegurar que con la dinamo Sprague se tiene la máxima precisión en esta clase de medidas.

Pero con todos estos procedimientos el problema no se ha resuelto más que en su parte menos interesante; con cualquiera de estos métodos se puede me-

un momento de torsión medido en $m \cdot kg$ u otra unidad de momento.

Tanto los torsiómetros como todos los sistemas indicados antes, lo que miden son valores del momento de torsión, y como la potencia tiene por fórmula $P = K \cdot M \cdot W$, en que K es una constante (dependiente de los sistemas de unidades), M un momento y W la velocidad angular, resulta que para tener la potencia es necesario conocer esta velocidad angular. La medida de la velocidad es un tanto imprecisa; en general, los tacómetros son de fuerza centrífuga, contrarrestados por un muelle, que no sabemos si varía su fuerza al pasar el tiempo; además, tiene mecanismos de palancas, articulaciones, etc., que hacen que el aparato no pueda ser de precisión. Sin duda, mejor que este sistema es el tacómetro electromagnético, que esencialmente es una magneto, conectada directamente al eje que gira. Al moverse este eje, la magneto engendra una f. e. m. proporcional a la velocidad, y se mide dicha f. e. m. con un voltímetro, pues la caída producida por la corriente que consume el voltímetro,

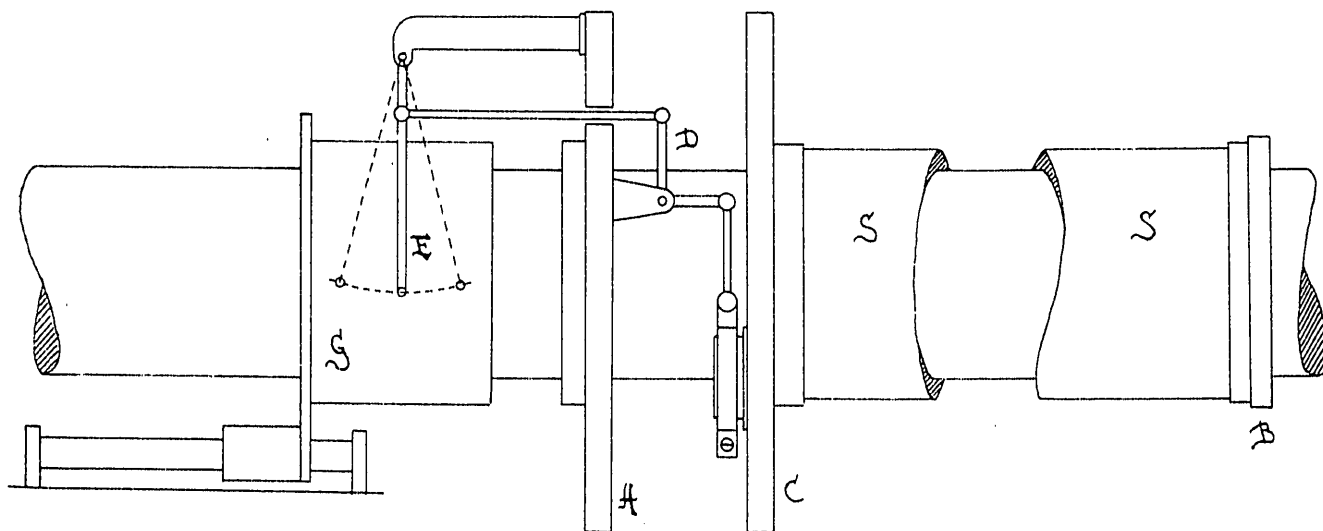


Fig. 1. Torsiómetro Föttinger

dir, en un ensayo, la potencia que está suministrando o recibiendo una máquina con más o menos precisión, ensayo que requiere tiempo, trabajo de instalación si es un freno de absorción, o, lo que es más corriente, exige un viaje hasta el lugar donde esté emplazado el aparato de medida.

Entonces, ¿dónde está el control de funcionamiento en cada instante? En las demás manifestaciones de energía no hay más que mirar al vatímetro, al indicador de nivel o al manómetro para saber, si no muy exactamente, por lo menos tener una idea de la potencia que en cada instante se está utilizando; con los sistemas citados anteriormente no hay manera de conseguir nada análogo, porque ni siquiera son aparatos de marcha normal. Se han buscado soluciones para este último caso y se ha venido al empleo de los torsiómetros. Son aparatos que miden la deformación producida en un eje cuando trabaja a torsión; según la ley de Hooke, existe proporcionalidad entre los esfuerzos y las deformaciones, de forma que con medir la torsión producida mediante una sencilla multiplicación por una cantidad constante tenemos el esfuerzo correspondiente, o sea, en este caso,

dada la elevada resistencia del mismo, ha de ser insignificante. Si, por último, se desea tener mayor aproximación, lo mejor es el contador de vueltas funcionando durante un tiempo determinado. Es más preciso, pero menos práctico que los otros dos sistemas.

Por lo tanto, la cuestión de la velocidad está ya solucionada con más o menos exactitud; admite una medida directa y fácil. Queda por medir el momento de torsión y poder entrar en la fórmula $P = K \cdot M \cdot W$ y tener la potencia. Esto es lo que miden los frenos indicados antes y los torsiómetros; pero como ya se ha visto que los frenos no son aparatos de control, vamos a describir unos cuantos torsiómetros, los más usados:

El Föttinger (fig. 1) fué uno de los primeros; consta de un manguito S , sujeto en B al eje que ha de trabajar; este manguito lleva un disco C en el otro extremo; otro disco A está sujeto al eje a cierta distancia de B ; existe entre los dos un sistema de palancas D , de forma que cuando el eje experimenta una torsión, la palanca E gira; dicha palanca lleva un lápiz, que al dar vueltas con el conjunto del tor-

siómetro indica una línea en el papel que va arrollado en el cilindro fijo *G*. El juego del sistema se anula mediante resortes ligeros, y la posición de *cero* se presenta cuando el eje gira suavemente sin transmitir ningún par.

Otro torsiómetro es el Bevis-Gibson (fig. 2); tiene dos discos blancos, *A* y *B*, montados sobre el árbol motor a una distancia conveniente uno de otro; cada disco tiene una pequeña ranura radial próxima a la periferia (como se indica), y estas ranuras están en el mismo plano radial cuando el árbol no transmite ningún momento. Detrás de *A* existe una lámpara que sólo emite luz hacia el disco mediante una ranura análoga. Detrás del disco *B* está colocado un indicador del par *F*, que se compone de un ocular con tornillo micrométrico que permite el desplazamiento de este ocular según una circunferencia. La extremidad del ocular, lado *B*, tiene un tapón con una ranura exactamente igual a la del disco; cuando se

tactos. Cada "plot" del conmutador *A* comprende a una bobina particular de uno de los inducidos, y cada "plot" del conmutador *B* corresponde igualmente a una bobina análoga en el otro inducido. En cada uno de estos dos circuitos está intercalado un arrollamiento de un auricular telefónico de enrollamiento diferencial y dos resistencias variables de los circuitos *A* y *B*, que permiten tener en el auricular la intensidad de corriente que se desee. La circunferencia del conmutador *A* está dividida en seis partes iguales, correspondientes cada una a un "plot" y a un arrollamiento distinto sobre el inducido correspondiente. La longitud de cinco divisiones del conmutador representa, pues, la longitud circunferencial ocupada por todos los arrollamientos sobre el inducido; cada división corresponde a la distancia que separa dos arrollamientos próximos, que es, generalmente, 5 mm. Lo mismo para el conmutador *B*, sólo que en éste la distancia entre las bobinas es de 0,5

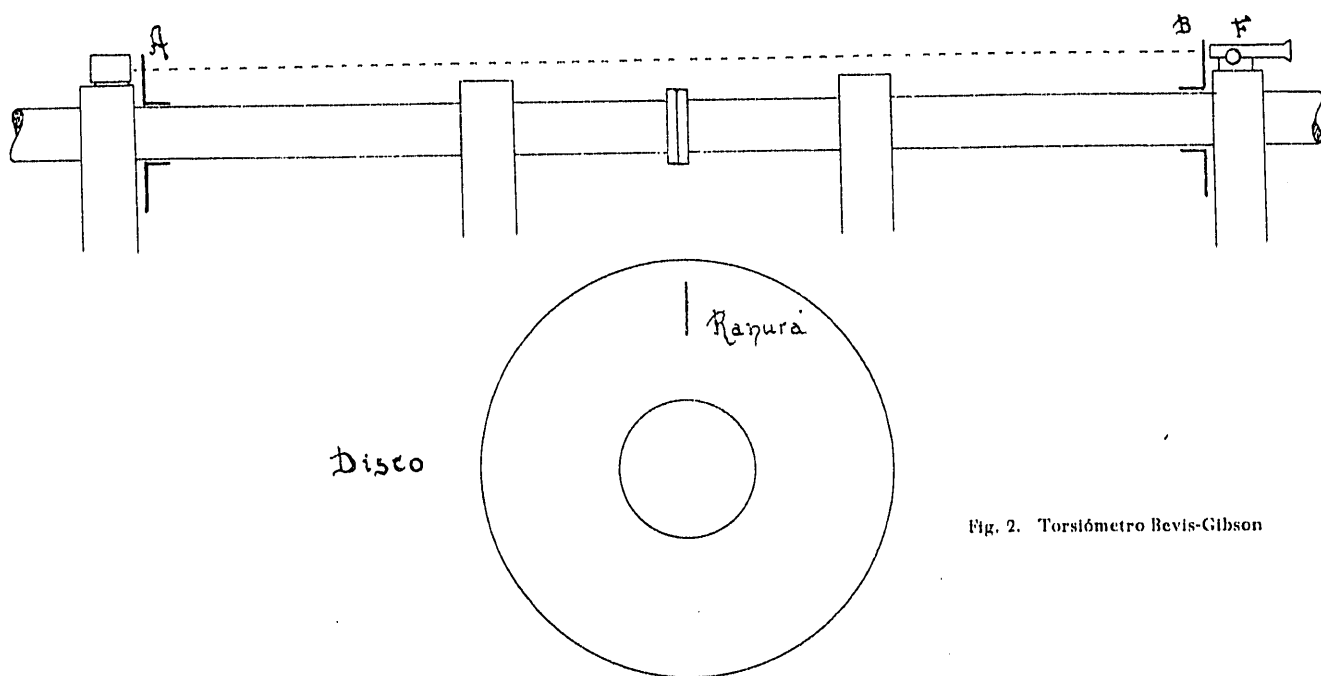


Fig. 2. Torsiómetro Bevis-Gibson

percibe luz con toda claridad es que las cuatro ranuras están en línea recta. Si el árbol transmite algún par, el disco *B* se desplaza respecto al *A*, y las ranuras no estarán en línea recta. Para que así sea hay que mover el tornillo micrométrico hasta que se vea luz clara; el ángulo indicado por el tornillo micrométrico indicará el ángulo de torsión.

El torsiómetro Denny-Johnston está esquematizado en la figura 3, dispuesto para la medición del par desarrollado por una turbina marina. Sobre el árbol, y a cierta distancia uno de otro, están fijados dos discos de bronce, *A* y *B*. Sobre cada uno de estos discos está montado un imán permanente, en el cual uno de los polos termina en forma de V, de manera que tenga en este punto un campo intenso y perfectamente definido. Bajo el árbol, y colocados concéntricamente a los discos, se fijan dos inducidos, *A* y *B*, compuestos cada uno de un sector de hierro dulce, soportado por una pieza de bronce con tornillo de reglaje. Sobre cada una de las piezas de hierro dulce están montadas varias bobinas aisladas, repartidas uniformemente sobre la longitud de estas piezas. También existe una caja que lleva dos series de con-

milímetros. Con auxilio de los tornillos de regulación se dispone que el teléfono no marque ninguna señal, estando las manetas en 0 y el eje en vacío; es decir, sin transmitir ningún par. Esto se consigue cuando las corrientes engendradas en las bobinas son simultáneas, y es cuando el eje no trabaja a torsión. Pero cuando se produce una torsión, el teléfono recibirá corrientes no simultáneas y marcará crujidos violentos; entonces no hay más que desplazar la maneta del circuito *B*, hasta que se llegue a una posición de silencio. Si la torsión fuese muy grande, tendríamos también que desplazar la maneta del circuito *A*. La torsión es la suma de los desplazamientos de *B* y de *A*.

El torsiómetro más usado en España es, sin duda, el Hopkinson-Thring (fig. 4). En él, el anillo *A* está sujeto al eje en el lugar indicado; lleva otro anillo *B*, con un manguito *S*, que conduce el movimiento en *B* respecto al *A*; tiene en *C* un sistema de palancas, de modo a hacer girar un espejo, que cuando el árbol está sin transmitir momento es paralelo al eje, y va girando a medida que el eje trabaja a torsión. También existe una lámpara *L*, y una escala graduada,

como la de los galvanómetros. Cuando el torsiómetro trabaja, el espejo refleja la luz de la lámpara, que se recibe instantáneamente en la escala, y se mide la torsión contando el número de divisiones que ha marcado. También suelen tener estos aparatos un espejo fijo, que da igual indicación que el móvil cuando no hay momento, y sirve para poder tener en cada instante las indicaciones del torsiómetro en funcionamiento y en reposo.

Hay, además de éstos, otros torsiómetros menos usados, de funcionamiento mecánico, como el Denny-Edgecombe, pero que no tienen una elevada precisión.

Un torsiómetro muy interesante es el Moullin; el funcionamiento de este aparato es el siguiente: se dispone de un circuito magnético

tal, que cuando se produce una torsión en el eje aumenta su entrehierro; si hacemos circular una corriente alterna por una bobina que enlace el circuito magnético, como variará el entrehierro de éste cuando el eje sufre una torsión, la corriente que circule, que será puramente corriente magnetizante, variará también; si se consigue, mediante apropiadas dimensiones, que la intensidad de corriente sea proporcional al entrehierro, como éste lo es a la torsión, midiendo la corriente se determina la torsión. Es interesante, más que el valor medio de la corriente, que es lo que marca el amperímetro, el valor instantáneo cuando se trata de una máquina de movimiento alternativo; esto se obtiene sencillamente sacando un oscilograma. La fig. 5 es uno correspondiente a un motor Diesel 6 cilindros, trabajando en un ciclo de cuatro tiempos a 74 r. p. m. Las indicaciones inferiores corresponden cada una a una vuelta.

Por lo expuesto se deduce que los torsiómetros descritos no pueden ser de precisión; el primero, porque lleva un sistema de palancas, que implica errores de consideración; hay que medir la torsión en un gráfico trazado no muy exactamente, y además no puede someterse a elevadas velocidades.

El Bevis-Gibson, además de necesitar un montaje especial, pues no es frecuente disponer los ejes de tal modo que se pueda colocar un anteojo sobre un cojinete, con la dificultad correspondiente en la medida, no previene la posible existencia de distorsión en los rayos luminosos debida a la diferencia de temperaturas que puedan existir en diferentes puntos del eje y los fenómenos de difracción que presente el paso de la luz por ranuras.

El Denny-Johnston presenta como mayor desventaja que las bobinas están separadas a 0,5 mm, y esto no se puede asegurar, pues presenta dificultades prác-

ticas de construcción, y no hay que olvidar que pequeños desplazamientos suponen esfuerzos muy grandes. También exige un silencio grande en la sala donde se opere, lo cual no es corriente.

El Hopkinson-Thring parece que es el mejor; pero tiene juegos de palancas, articulaciones, pequeños muelles, etc., que implican errores que no se pueden subsanar, y se puede decir lo mismo que en los anteriores: que un pequeñísimo error en la parte del espejo influye en la escala de una manera enorme.

Respecto al Moullin, baste decir que sólo sirve para escaso número de revoluciones, por el peso de los electroimanes, y si se quiere conocer la variación del par, indicada en la fotografía, que es lo más in-

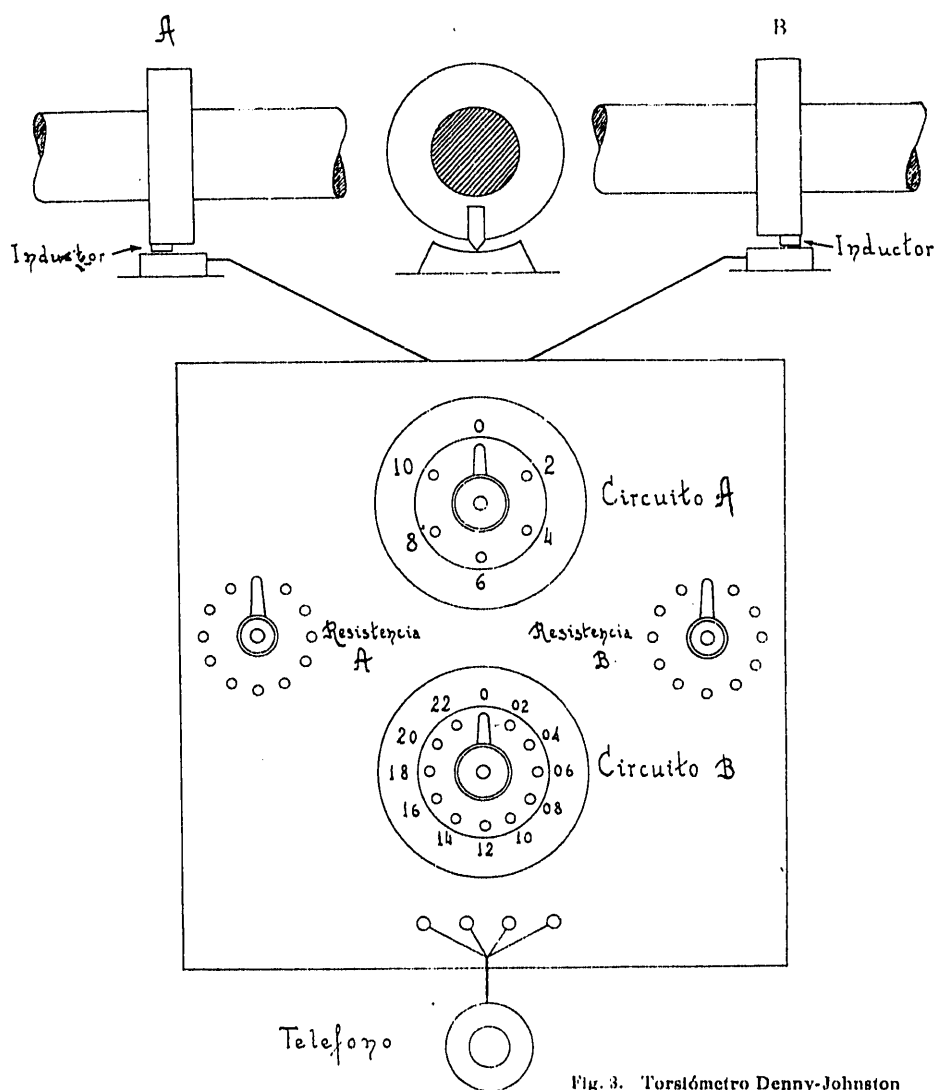


Fig. 3. Torsiómetro Denny-Johnston

teresa de este aparato, necesitamos un oscilógrafo, que es un aparato caro y no suelen tener las industrias en donde se ha de instalar un torsiómetro.

Habiendo hecho patentes los defectos de los torsiómetros anteriores, se deduce que ninguno de ellos es un aparato de precisión, y, por otro lado, no hay que olvidar que tienen ventajas enormes sobre los otros sistemas de medida. Sea el caso frecuente de la recepción de una máquina eléctrica, que, naturalmente, hay que probar a diferentes cargas, hallar los rendimientos, potencia en vacío, etc. Si la queremos probar con freno Sprague tendríamos que llevarla a un sitio que tenga instalación adecuada; además de los gastos de porte, instalación, tiempo perdido, etc.,

nos encontramos con una limitación: que la máquina a probar sólo puede ser de pequeña potencia, pues no

Pero ¿y después? ¿Se debe perder en absoluto el control del funcionamiento de la máquina? Es evidente que no; caso de utilizar estos sistemas, si queremos observar su marcha de vez en cuando, sería necesario repetir, con todos sus inconvenientes, el ensayo de recepción.

Pueden, por lo tanto, descartarse estas soluciones y tratar de resolver la del torsiómetro; como parece que los descritos antes son aparatos para máquinas lentas, especialmente para las de movimiento alternativo y de poca precisión, se puede intentar construir un torsiómetro sencillo, seguro y preciso como solución satisfactoria.

Con él vamos a poder medir la potencia cuando queramos, en las mismas condiciones que ha de funcionar siempre y sin más coste que el del torsiómetro; además, se ha de poder medir con precisión, sin ninguna atención especial. Para el caso de recepción citado antes no hay más que hacer la instalación de la máquina donde ha de estar siempre e ir poniendo carga, que ha de ser la que ha de soportar siempre, y no exigirá ninguna instalación especial para el ensayo.

Para satisfacer esta idea últimamente expresada se me ocurrió proyectar el torsiómetro de precisión que se detalla en la figura 6, proyecto que, presentado a mi ilustre profesor D. José Armero, mereció su aprobación, alentándome a su construcción, que fué realizada por su orden y bajo mi dirección en el Laboratorio de Automática Torres-Quevedo, afecto a la Escuela de Caminos, y a los

es corriente disponer de dinamos Sprague mayores de 100 CV.

Otra solución, instalar un freno de absorción, no requiere desplazar la máquina, pero exige instalar el freno; tiene más limitaciones que la solución anterior, porque la potencia que puede medir medianamente un freno de absorción es escasísima, y además de que la utilidad práctica tiene mucho de convencional, tenemos otro inconveniente muy grande: que con frenos de absorción no se pueden ensayar los generadores.

Por si aún fueran pocos los obstáculos que se presentan para la adopción de estas soluciones, queda otro no despreciable: que ninguno sirve para eje vertical. Si, a pesar de todo, se hiciese el ensayo por cualquiera de los métodos citados, tendríamos un ensayo de la máquina correspondiente a la recepción.

que debo gratitud, que hago aquí muy expresa, por-

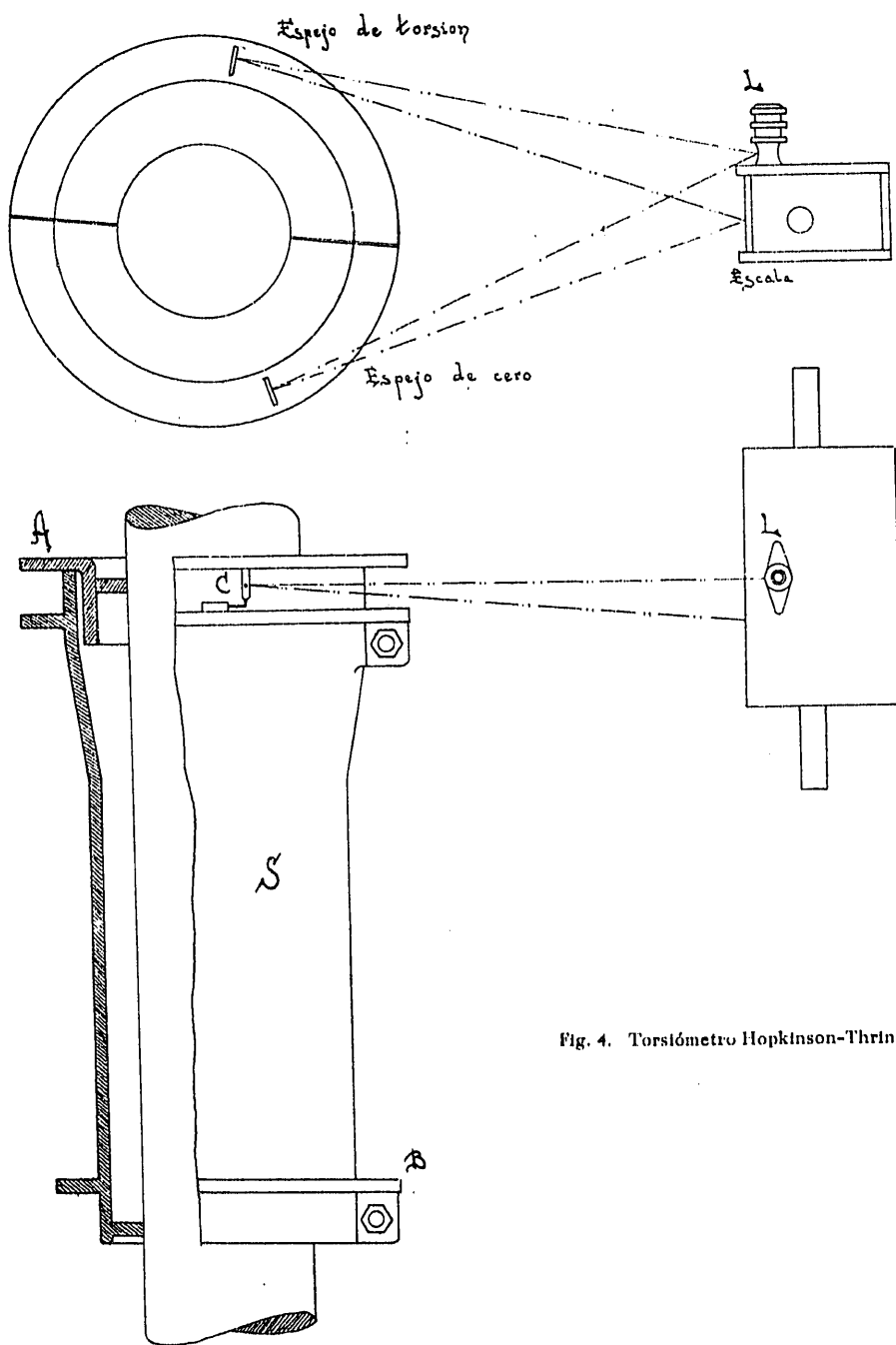


Fig. 4. Torsiómetro Hopkinson-Thring

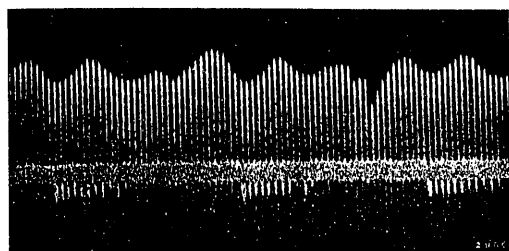


Fig. 5.

que de otro modo no hubiera podido ver convertido en realidad ni con resultados tan lisonjeros este mi

primer trabajo, que, como primogénito, tenía en él puestas todas mis ilusiones.

El torsiómetro de precisión consiste en un eje tarado, con dos ensanchamientos laterales, que unen el torsiómetro en sí a las máquinas entre las que ha de

Realizadas en la Escuela de Caminos (fig. 7) las pruebas con este aparato, encontrábamos un inconveniente de índole práctica: que el par máximo (que es el que marca el aparato) se produce, para las pequeñas potencias con que se ha ensayado, al arrancar.

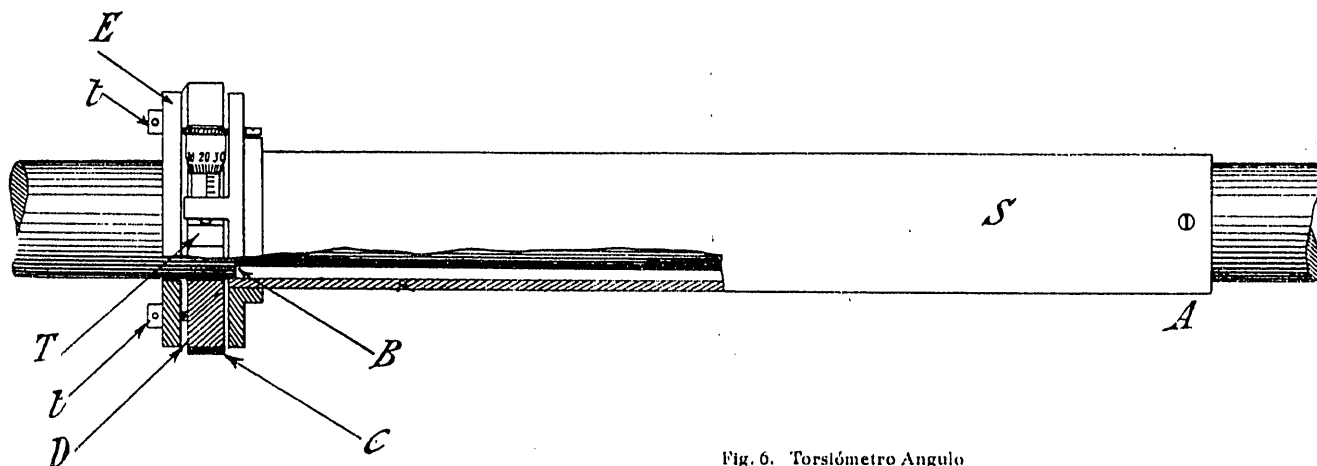


Fig. 6. Torsiómetro Angulo

trabajar. En uno de estos ensanchamientos A lleva fijo un manguito S, que llega hasta el ensanchamiento B, aunque en éste sólo está superpuesto, sin ningún elemento de unión. Este manguito lleva dos tornillos micrométricos de eje perpendicular al del árbol. El ensanchamiento B lleva un disco fijo D de mayor diámetro, y sobre el exterior de este disco puede resbalar el anillo C; este resbalamiento ha de ser suave, y para ello lleva un tornillo de regulación; también lleva este anillo un saliente o tope T, de poco espesor y con caras laterales, que han de ser planos que pasen por el eje del árbol. Como elemento auxiliar existe un disco E con tornillos t, que dejan rígidamente unidos al disco y al anillo.

El funcionamiento del aparato es el siguiente: Se pone el anillo de manera que el tope esté tocando con el palpador del tornillo micrométrico y dicho tornillo marque 0. Se hace funcionar la máquina, y por efecto de la torsión, el palpador del tornillo empuja al tope del anillo, el cual resbala sobre el disco del ensanchamiento B. Cuando se para la máquina, por efecto de la elasticidad del eje, el palpador se separa del tope, quedando entre ellos una distancia que medirá el ángulo de torsión, y como estos ángulos son muy pequeños, se sustituye el arco por la tangente y se mide ésta haciendo avanzar al tornillo micrométrico hasta que se ponga en contacto con el tope; lo que haya avanzado el tornillo (que se mide con toda exactitud) será proporcional al momento de torsión máximo producido en el eje. Antes de hacer esta medición es conveniente tener fijo el tope, lo que se consigue apretando los tornillos de fijación t, indicados antes.

Para obviar este inconveniente se puso posteriormente un manguito loco, de tal modo dispuesto, que para tener el par en cualquier instante no hay más que sostenerlo ligeramente con la mano, con lo cual ejerce una suave presión sobre el tope, llevándole hasta que toque con el palpador, y estamos en las condiciones de funcionamiento.

Se han hecho en el taller de Precisión de Artillería (figura 8) ensayos para el tarado; han sido ensayos comparativos, montando el torsiómetro entre un motor y una dínamo Sprague capaz de medir hasta 20

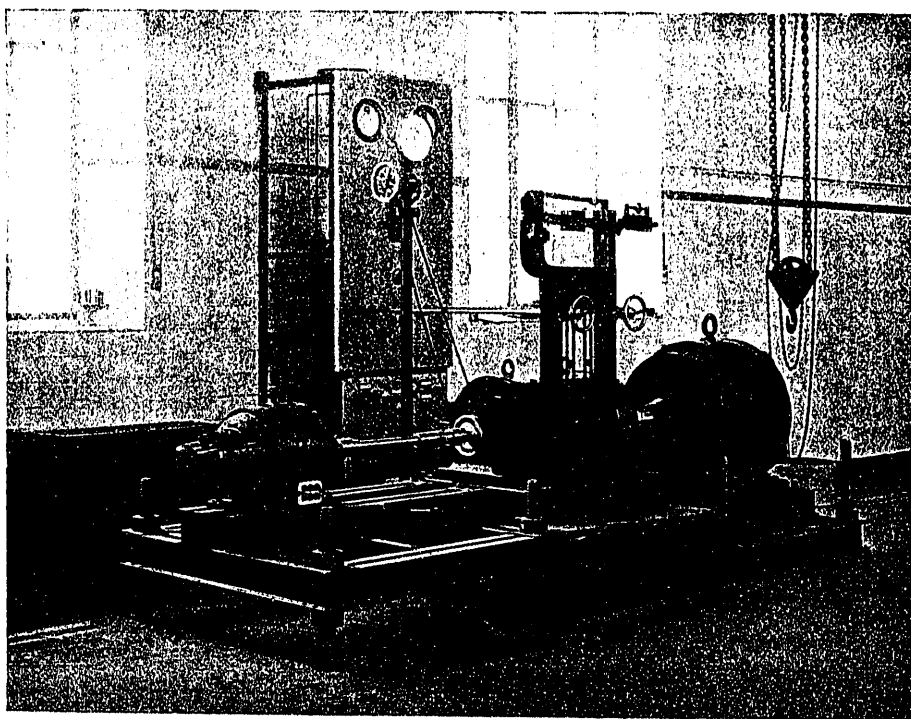


Fig. 7.

metros · kilogramo, y el resultado ha sido excelente. Se probó hasta 9 m · kg, no excediendo de este valor para no estar próximos a la tensión de fluencia, y se hizo el gráfico m · kg · milímetros leídos en el torsiómetro. Este gráfico debiera ser una recta (ley

de Hooke), y en realidad difiere tan poco de ella, que el error máximo observado es el 1 por 100 para 6 m/kg, siendo prácticamente nulo el error para los

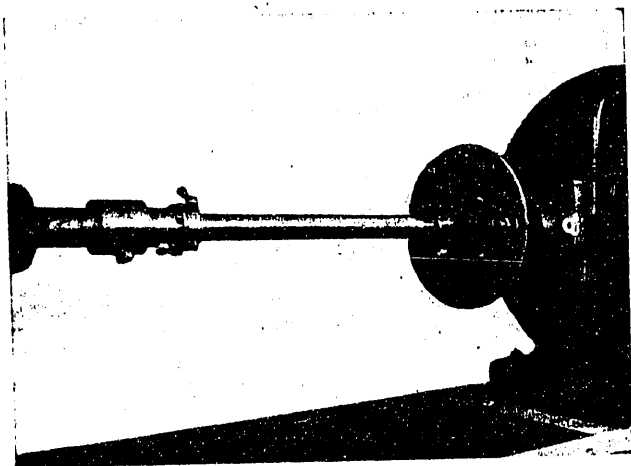


Fig. 8.

demás puntos; pero no hay que admitir que ese error es del torsiómetro, porque la dínamo Sprague tiene un sistema de palancas, cojinetes, articulaciones, que pueden ser causas de error, además de que se trata de un aparato que puede medir hasta 20 m/kg. ¿Tiene de extraño que dé ese pequeño error para 6 m/kg, que es menos del tercio de la carga? Otro motivo de esta pequeña diferencia es que la tensión que alimenta el motor varía constantemente en un taller, que es donde se han hecho los ensayos, pues puede aumentar o disminuir el número de motores en marcha y no observar los aparatos simultáneamente.

Por otra parte, el torsiómetro no tiene motivos de error, porque únicamente se concreta a medir con gran precisión una longitud; no tiene ni palancas, ni masas giratorias, ni un cojinete, ni un pivote que puedan causar error; además, se ha probado con gran cuidado, poniendo el mismo momento, exactamente el mismo, lo cual no es fácil prácticamente, para dos ensayos, y el torsiómetro marcó el mismo número de milímetros, de décimas y de centésimas. ¿Se puede pedir más? Pudiendo, como puede, medir hasta 2,2 mm, ¿no es un aparato de precisión, sabiendo que el error es menor que una centésima de milímetro?

Con este aparato, todos los errores que, por cues-

ción de mecanismos, tengan los demás torsiómetros, se han eliminado; no hay más que medir una longitud perfectamente determinada, para lo cual dispone de un tornillo micrométrico análogo a un Palmer, que es, como sabemos, un aparato de gran precisión; no puede tener holguras, ni desajustes; en fin: las causas de error se han reducido al mínimo.

¿Limitaciones de uso? Ninguna: lo mismo mide el par en un motor que en un generador, tenga el eje vertical, horizontal, inclinado, sea de poca potencia, de mucha...: cuantos casos se presenten. La única condición que exige es que haya sitio donde ponerle.

Los ensayos hechos en el taller de Precisión de Artillería, con el aparato construido, han sido concluyentes y definitivos; de ellos resultó que el torsiómetro marca 2,21 mm para un momento de 9 m · kg; de forma que la potencia en caballos, poniendo la velocidad n en r. p. m., y haciendo intervenir al número m de milímetros leídos en el torsiómetro, será:

$$P = \frac{1}{75} \cdot \frac{9}{2,21} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot m \cdot n = \frac{m \cdot n}{175,85} \text{ CV}$$

Y en kilovatios:

$$P = 9,81 \cdot \frac{9}{2,21} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{1}{1000} = \frac{m \cdot n}{239,03} \text{ Kw}$$

Estas fórmulas son muy manejables para la regla

TORSIOMETRO ANGULO

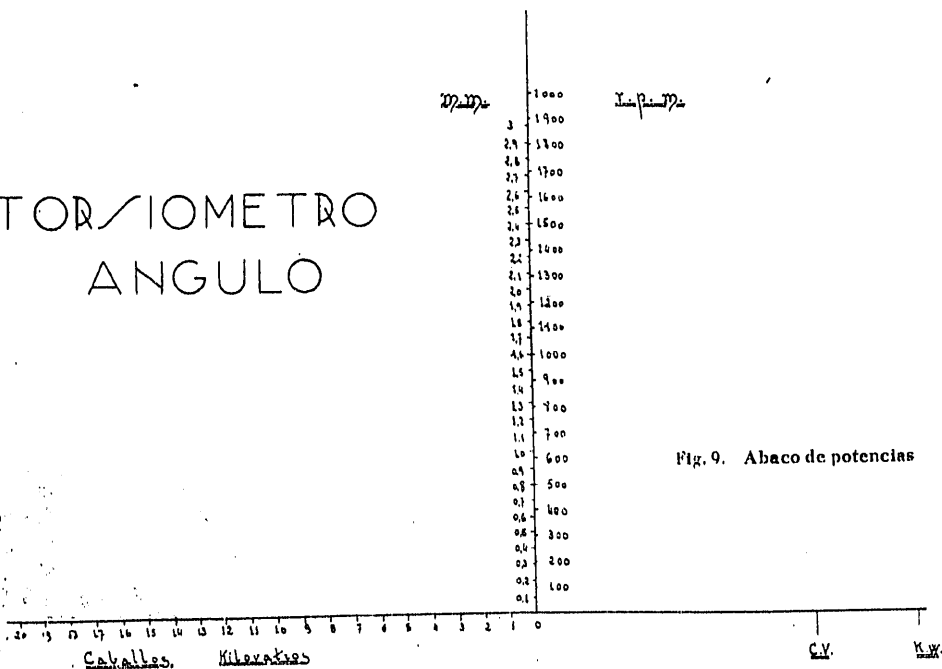


Fig. 9. Abaco de potencias

de cálculo, no obstante lo cual puede ser útil el ábaco de potencias (fig. 9), de líneas perpendiculares, con dos abscisas constantes, para poder utilizar el resto de las escalas y tener el resultado en CV o en Kw.

Antonio ANGULO
Alumno de cuarto año de la Escuela
de Caminos