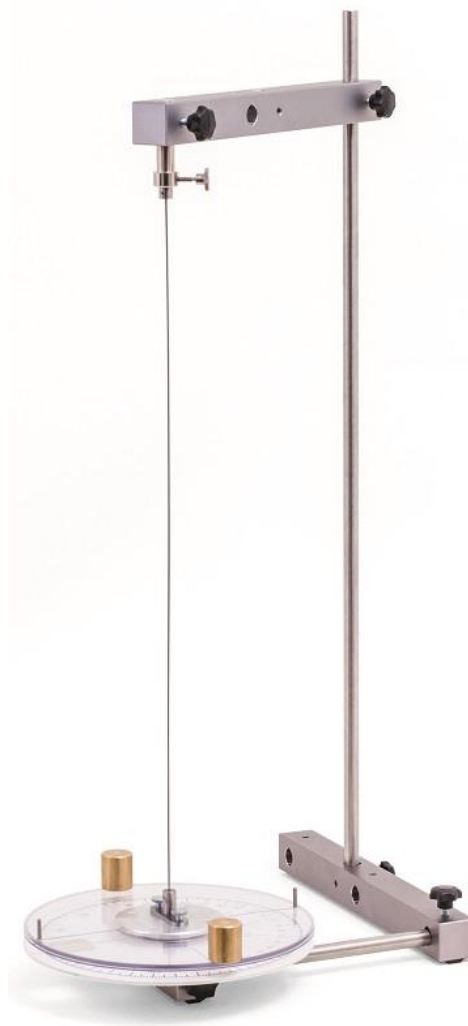


## Aparato de torsión 1018550 Juego de ampliación para el aparato de torsión 1018787

### Instrucciones de uso

11/15 TL/UD



#### 1. Descripción

El aparato de torsión sirve para la determinación del momento de restauración y el módulo de cizalladura de varillas metálicas redondas partiendo de mediciones estáticas del ángulo de torsión y de la fuerza de torsión así como de mediciones dinámicas del período de oscilación del péndulo de torsión.

La fuerza de torsión se le transmite a la muestra de material sujeta en un punto, por medio de un disco pendular; el ángulo de torsión y la fuerza de torsión resp. el período de oscilación se miden por medio de un disco graduado y con un dinamómetro de muelle, utilizando una puerta fotoeléctrica y un contador digital.

## 2. Volumen de suministro

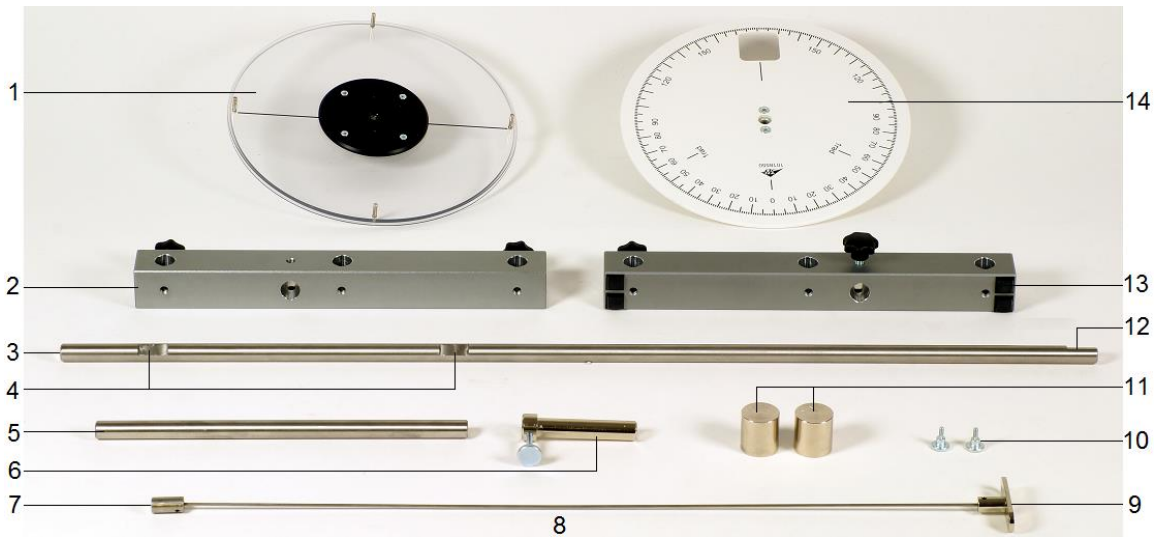


Fig. 1: Volumen de suministro.

- |                                                                                    |                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1 Disco pendular con 4 espigas de colocación                                       | 8 Varilla redonda de acero ( $\varnothing$ : 2 mm, L: 500 mm) |
| 2 Travesaño superior                                                               | 9 Estribo de retención para varilla redonda                   |
| 3 Varilla vertical                                                                 | 10 Tornillos de fijación para estribo de retención            |
| 4 Fresados en el travesaño superior (para varillas redondas con L: 500 mm, 300 mm) | 11 Masas adicionales a superponer                             |
| 5 Varilla transversal                                                              | 12 Fresado para el travesaño inferior                         |
| 6 Casquillo tensor                                                                 | 13 Travesaño inferior (con pies de goma)                      |
| 7 Cilindro para casquillo tensor                                                   | 14 Disco con escala                                           |
- Placa soporte p. puerta fotoeléctrica 1000563 (sin Fig.)

El aparato torsión se compone de un disco graduado superpuesto a un disco pendular, el cual está unido a una varilla vertical por medio de una barra transversal y a un travesaño inferior. La varilla vertical está provista de fresados, los cuales sirven como superficies de retención para los tornillos de fijación de los travesaños. Un travesaño superior, junto a un casquillo tensor sirve como punto de suspensión del péndulo. La varilla vertical está dotada de fresados que sirven de superficies de retención para los tornillos de fijación de los travesaños. El travesaño de arriba y el de abajo se orientan el uno al otro automáticamente en la posición correcta.

El disco pendular está provisto de cuatro espigas de colocación, en las cuales se pueden colocar las masas de superposición simétricamente de dos en dos.

La muestra de material es una varilla redonda de acero, la cual está dotada en un extremo de un estribo de bloqueo para la fijación en el disco pendular y en el otro extremo de un cilindro de casquillo tensor para la fijación del casquillo tensor. El estribo de bloqueo y el cilindro de casquillo tensor están fijados a la varilla redonda por medio de tornillos de rosca interna hexagonal.

### 3. Se recomienda adicionalmente

Juego de ampliación para el aparato de torsión  
 Volumen de suministro:  
 1 Varilla redonda de acero ( $\varnothing$ : 2 mm, L: 300 mm)  
 6 Varillas redondas de: Latón / Cobre / Aluminio ( $\varnothing$ : 2 mm, L: 300 / 500 mm)  
 2 Varillas redondas de aluminio ( $\varnothing$ : 3 / 4 mm, L: 500 mm)

### 4. Aparatos requeridos adicionalmente

1 Dinamómetro de precisión, 2,5 N	1003105
1 Dinamómetro de precisión, 5 N	1003106
1 Puerta fotoeléctrica	1000563
1 Contador digital @230 V	1001033
o	
1 Contador digital @115 V	1001032

## 5. Datos técnicos

### Aparato de torsión

Varilla redonda

Material: Acero  
 Longitud: 500 mm  
 Diámetro: 2 mm

Masa a superponer

Altura: 27 mm  
 Diámetro: 24 mm  
 Masa: 100 g  
 Dimensiones: 700x400x400 mm<sup>3</sup>  
 Masa: aprox. 2,9 kg

### Juego de ampliación

Materiales	Diámetros	Longitudes
Latón	2 mm	300 / 500 mm
Cobre		
Aluminio		
Aluminio	3 / 4 mm	500 mm



Fig. 3: Montaje de la varilla vertical.

## 6. Puesta en funcionamiento



Fig. 2: Montaje del disco graduado y del travesaño inferior en la varilla transversal.



Fig. 4: Montaje del travesaño superior (para varilla redonda con L: 500 mm), casquillo tensor y disco pendular.



Fig. 5: Atornillado de la varilla redonda en el disco pendular, por medio del estribo de fijación y engastado del casquillo tensor en el cilindro del casquillo tensor.

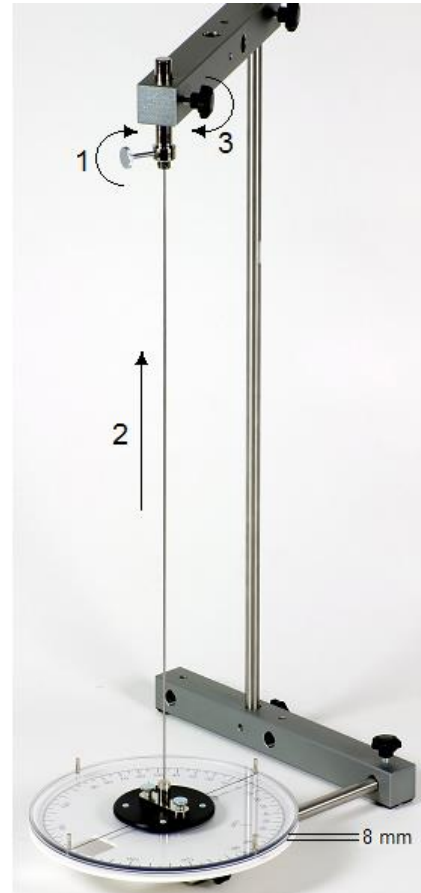


Fig. 6: Fijación de la varilla redonda en el casquillo tensor y ajuste de la distancia de trabajo ( $\approx 8$  mm) entre el disco pendular y el disco graduado.

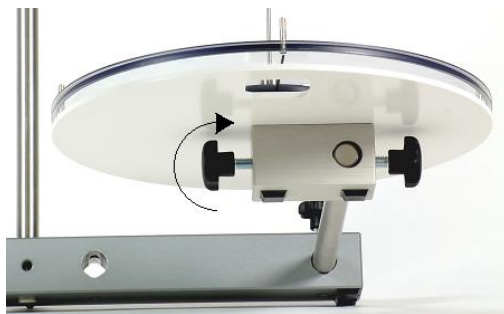


Fig. 7: Fijación del disco pendular.

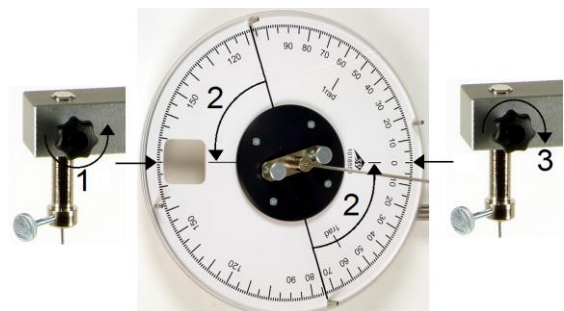


Fig. 8: Ajuste de la posición cero del disco pendular.

### Cambio de las varillas redondas

El desmonte de las varillas redondas del aparato de torsión ya listo a funcionar se realiza en la secuencia inversa de los pasos de trabajo mostrados en la Fig. 6 y en Fig. 5. la vuelta a montar se realiza exactamente como se muestra en la Fig.5 y en Fig. 6. La distancia de trabajo ya una vez ajustada (paso de trabajo 2 en la Fig. 6) no se tiene que ajustar cada vez, porque una vez que esté fijo el disco pendular, (Fig. 7) ésta no cambia.

## 7. Manejo

### 7.1 Medición estática

En la medición estática se le transmite un momento angular de acción tangencial al disco pendular utilizando un dinamómetro de muelle.

- Se compensa el punto cero del dinamómetro de muelle de 5 N.
- Se cuelga el dinamómetro de 5 N en el disco pendular, en la espiga de aplique que se encuentra la marca  $0^\circ$  del disco graduado.
- Se tira el dinamómetro de muelle hasta que la marca en el disco pendular concuerde con la marca de 1 rad del disco graduado (Fig. 9). Es necesario tener en cuenta que la fuerza que actúa sobre el disco pendular debida al dinamómetro de muelle sea siempre tangencial. Se debe tener cuidado que la marca en el disco pendular y el eje del dinamómetro de muelle siempre formen un ángulo de  $90^\circ$ .
- Se lee el valor de la fuerza ejercida por el dinamómetro y se anota.

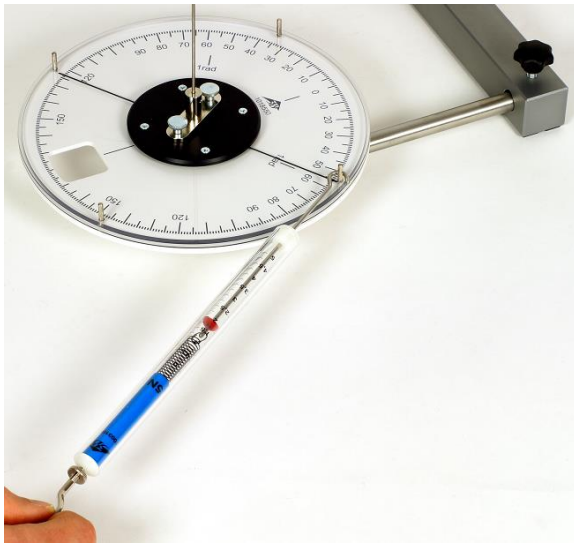


Fig. 9: Medición estática con un dinamómetro de muelle.

#### Observaciones:

Después de cada medición se comprueba si la marca en el disco pendular se puede llevar a concordancia con la marca  $0^\circ$  del disco graduado. Si es necesario se ajusta nuevamente el disco pendular.

Al utilizar varillas redondas del juego de ampliación se recomienda que, dependiendo de la longitud y el diámetro de la varilla redonda, se ajuste una desviación más pequeña.

### 7.2 Medición dinámica

- Se atornilla la puerta fotoeléctrica en la placa soporte para la puerta fotoeléctrica. La puerta fotoeléctrica montada en la placa soporte se posiciona por encima de la escotadura en el disco graduado un poco a la derecha o a la izquierda de la marca en el disco pendular (Fig. 10).
- La puerta fotoeléctrica se conecta en la entrada A del contador digital. En el contador digital se ajusta el conmutador selector en el símbolo para la forma de trabajo establecida para la medición de la duración del período de un péndulo.
- El disco pendular sin las masas adicionales se desvia de la posición inicial, de tal forma que la marca en el disco pendular coincida con la marca de 1 rad del disco graduado.
- En el contador digital se pulsa sobre "Start" y se libera el disco pendular. Se lee en la indicación del contador digital y se anota el primer valor de medida para la medición de la duración del período  $T_0$ .

#### Observaciones:

Al utilizar varillas redondas del juego de ampliación se recomienda que, dependiendo de la longitud y el diámetro de la varilla redonda, se ajuste una desviación más pequeña.

Dependiendo de la longitud y el diámetro de las varillas redondas, las oscilaciones de torsión están fuertemente amortiguadas, por lo tanto se recomienda, para la evaluación, tomar como valor de medida el primer valor indicado por el contador digital.

- Las masas adicionales se colocan, sobre las espigas de colocación que se encuentran en las marcas de  $90^\circ$  del disco graduado y se repite la medición descrita arriba. Se lee y se anota la duración del período  $T_{02m}$  del péndulo de torsión con masas colocadas indicada por el contador digital.



Fig. 10: Medición dinámica con una puerta fotoeléctrica y un contador digital.

## 8. Ejemplo de medición

Fuerza  $F$  ejercida por el dinamómetro de muelle para desviar el disco pendular en 1 rad.  
: 2,05 N

Duración del período  $T_0$  del péndulo de torsión sin las masas colocadas: 461 ms

Duración del período  $T_{02m}$  del péndulo de torsión con las masas colocadas: 767 ms

## 9. Evaluación

### 9.1 Momento de inercia de las masas adicionales colocadas

En buena aproximación, las masas adicionales a colocar se pueden considerar como cilindros macizos porque los orificios para la inserción de las espigas de localización se pueden despreciar. El momento de inercia  $J$  de un cilindro macizo se puede calcular como:

$$(1) J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 .$$

$m$ : Masa del cilindro macizo

$r$ : Radio del cilindro macizo

El momento de inercia  $J_m$  de cada una de las masas colocadas se obtiene a partir de la ley de Steiner, porque estas masas oscilan a una distancia  $R = 10$  cm alrededor del eje del péndulo:

$$J_m = J + m \cdot R^2$$

$$(2) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 + m \cdot R^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r^2 + 2 \cdot R^2) .$$

El momento de inercia de  $J_{2m}$  de las dos masas juntas será el doble:

$$J_{2m} = 2 \cdot J_m = m \cdot (r^2 + 2 \cdot R^2)$$

$$(3) = 100 \text{ g} \cdot ((12 \text{ mm})^2 + 2 \cdot (10 \text{ cm})^2) .$$

$$= 0,002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

### 9.2 Medición estática

El dinamómetro de muelle ejerce una fuerza  $F$  tangencial a una distancia  $R = 10$  cm del eje del péndulo, generando así un momento angular  $M$ :

$$(4) M = R \cdot F .$$

El momento angular  $M$  es directamente proporcional a la desviación del péndulo de torsión en un ángulo  $\varphi$ . La constante de proporcionalidad es el momento de restauración  $D$ :

$$(5) M = D \cdot \varphi .$$

De las ecuaciones (4) y (5) y del valor de medida de 8 se obtiene:

$$(6) D = \frac{R \cdot F}{\varphi} = \frac{10 \text{ cm} \cdot 2,05 \text{ N}}{1 \text{ rad}} = 0,205 \text{ Nm} .$$

El módulo de cizalladura  $G$  es una constante del material, el cual describe cuantitativamente la deformación elástica y lineal del material por medio de una fuerza y una tensión de cizalladura. Para una varilla redonda de longitud  $L$  y diámetro  $d$  viene dado por:

$$(7) G = \frac{2 \cdot L \cdot D}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^4} .$$

Para una varilla redonda de acero, por ello se obtiene:

$$(8) G = \frac{2 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 0,205 \text{ Nm}}{\pi \cdot \left(\frac{2 \text{ mm}}{2}\right)^4} = 65,3 \text{ GPa} .$$

El valor se encuentra en el orden de magnitud del valor bibliográfico ( $\approx 80$  GPa dependiendo de la clase de acero).

### 9.3 Medición dinámica

La duración del período  $T$  del péndulo de torsión se da en general como sigue:

$$(9) \quad T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}} \Leftrightarrow D = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{J}{T^2}.$$

$J$ : Momento de inercia

$D$ : Momento de restauración

Como el momento de inercia del disco pendular es desconocido, el momento de restauración se determina a partir de la medición de las duraciones de los períodos  $T_0$  y  $T_{02m}$  sin y con masas superpuestas (ver 7.2 y 8), con los momentos de inercia conocidos de las masas superpuestas (ver 9.1). A partir de la ecuación (9) se obtiene:

$$(10) \quad D = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{J_{2m}}{T_{02m}^2 - T_0^2}.$$

$J_{2m}$ : Momento de inercia de las masas adicionales

$T_{02m}$ : Duración del período con las masas superpuestas

$T_0$ : Duración del período sin las masas superpuestas

Con los momentos de inercia para las masas superpuestas calculados en 9.1 y los valores de medida de 8 se obtiene, al introducirlos en la ecuación (10):

$$(11) \quad D = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{0,002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}{(767 \text{ ms})^2 - (461 \text{ ms})^2} = 0,210 \text{ Nm}$$

El módulo de cizalladura se obtiene de la ecuación (7):

$$(12) \quad G = \frac{2 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 0,210 \text{ Nm}}{\pi \cdot \left(\frac{2 \text{ mm}}{2}\right)^4} = 66,8 \text{ GPa}.$$

El valor se encuentra en el orden de magnitud del valor bibliográfico ( $\approx 80 \text{ GPa}$  dependiendo de la clase de acero).

Los valores para el momento de restauración  $D$  y para el módulo  $G$  de cizalladura determinados por medio de las mediciones estática y dinámica concuerdan hasta en aprox. un 2%.

### 10. Almacenamiento, Limpieza, Desecho

- El aparato se almacena en un lugar limpio, seco y libre de polvo.
- No se debe usar ningún elemento agresivo ni disolventes para limpiar el aparato.
- Para limpiarlo se utiliza un trapo suave húmedo.
- El embalaje se desecha en los lugares locales para reciclaje.
- En caso de que el propio aparato se deba desechar como chatarra, no se debe deponer entre los desechos domésticos normales. Se deben cumplir las prescripciones aplicables.

