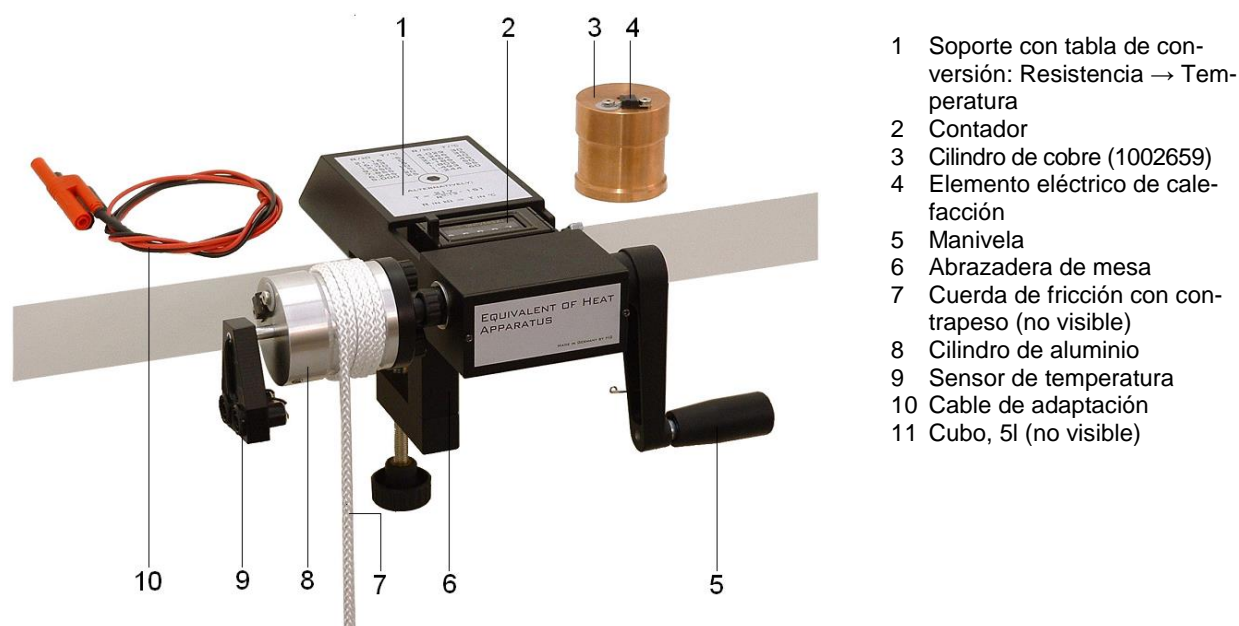


1002658 Equipo de equivalencia térmica 1002659 Cilindro de cobre

Instrucciones de uso

12/15 MH/ALF



- 1 Soporte con tabla de conversión: Resistencia → Temperatura
- 2 Contador
- 3 Cilindro de cobre (1002659)
- 4 Elemento eléctrico de calefacción
- 5 Manivela
- 6 Abrazadera de mesa
- 7 Cuerda de fricción con contrapeso (no visible)
- 8 Cilindro de aluminio
- 9 Sensor de temperatura
- 10 Cable de adaptación
- 11 Cubo, 5l (no visible)

Fig. 1: Componentes

1. Aviso de seguridad

¡Peligro de heridas! La pesa (aprox. 5 kg), sostenida por la cuerda de fricción (7), podría herir a alguna persona en caso de que se desprenda.

- Para su fijación, debe encontrarse sobre el suelo y, durante la experimentación, elevarse un máximo aproximado de 10 cm.

¡Peligro de quemaduras! Durante la experimentación, los cilindros de fricción (3 oder 8) se calientan.

- Se debe observar que la temperatura no ascienda más allá de 40°C. La máxima corriente permitida para el elemento de calefacción es de 3 A y no se debe sobrepasar.

¡Peligro de shock eléctrico!

- La máxima tensión de salida de la fuente de alimentación empleada para la calefacción eléctrica no debe sobrepasar los 40 V.

2. Descripción

Por medio del equipo de equivalencia térmica se puede mostrar la equivalencia entre el trabajo mecánico de fricción (Nm), la energía eléctrica (Ws) y el calor (J). Los valores determinados, en Nm y Ws, concuerdan aproximadamente en un 2%. Si se presupone esta equivalencia, se puede determinar la capacidad térmica del aluminio o del cobre.

Los experimentos se pueden llevar a cabo de la manera más sencilla posible gracias a la construcción estable del equipo, el cual posee un contador de revoluciones incorporado y un eje sobre doble rodamiento de bolas. Para la medición de temperatura se emplea una resistencia con coeficiente negativo de temperatura (NTC), la cual se encuentra asegurada dentro de una cápsula de aluminio. La cápsula de aluminio se inserta en los cilindros de fricción tomando en

cuenta que no resbale hacia fuera de manera no intencionada.

3. Datos técnicos

Datos técnicos de los cilindros de fricción (datos aproximados):

Diámetro D :	48 mm
Altura:	50 mm
Cilindro de aluminio:	peso $m_A = 250$ g, capacidad térmica específica $c_A = 0,86$ kJ/kg K,
Cilindro de cobre:	$m_K = 750$ g, $c_K = 0,41$ kJ/kg K
Conexión eléctrica:	clavijero de 2 mm de diámetro, polo positivo „+“ aislado, polo negativo „-“ puesto a tierra, la permutación de los polos no conduce a daños

4. Servicio

- El equipo de equivalencia térmica se fija a una placa de trabajo estable por medio de la abrazadera de mesa. A continuación, se enrolla la cuerda de fricción – como se muestra en la Fig. 1 – de 4,5 a 5,5 veces alrededor del cilindro de fricción; en este caso, el contrapeso debe pender de la parte posterior y el extremo suelto de la cuerda por delante.
- A manera de pesa se puede emplear el cubo, incluido en el suministro, llenándolo con agua o arena, etc. (peso total, aproximadamente 5 kg). El extremo suelto de la cuerda de fricción se ata al peso que se encuentra sobre el suelo, durante lo cual se debe observar que el contrapeso, con la cuerda tensada, se encuentre a una distancia de 5 cm del suelo. De esta manera se evita que, durante el experimento, el peso se eleve más allá de aprox. 10 cm.
- Si ahora, al accionar la manivela, se observa que la cuerda se mueve hacia la derecha y, dado el caso, permanece en la hendidura, entonces se debe colocar la cuerda alrededor del cilindro de fricción de manera que el extremo de la cuerda que sostiene el peso se encuentre a la derecha, y el que sostiene el contrapeso a la izquierda.
- El sensor de temperatura se debe humedecer con una gota de aceite (¡importante!), y se lo debe colocar, según se muestra en la Fig. 1, en el cilindro de fricción seleccionado, hasta que se enclave notoriamente y se lo pueda

hacer girar con facilidad (si se lo inserta demasiado profundamente o no lo suficiente, no gira con soltura). Ambas conexiones del sensor de temperatura se conducen a un instrumento de medición de resistencia (multímetro), el cual debe disponer, por lo menos, de un display de tres dígitos, en un rango de 2 k Ω bis 9 k Ω . La conversión de la resistencia medida en temperatura se puede realizar empleando la tabla adjunta a la última página de estas instrucciones, o por medio de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{217}{R^{0,13}} - 151 \quad (1)$$

Aquí se debe introducir una R en k Ω , para obtener T en $^{\circ}\text{C}$. Esta ecuación concuerda en $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ con la tabla de indicaciones del fabricante de la resistencia NTC, en un rango de 10 a 40 $^{\circ}\text{C}$.

- Antes de realizar el experimento, el cilindro de fricción se debe enfriar aproximadamente de 5 a 10 $^{\circ}\text{C}$ por debajo de la temperatura ambiente. Para el efecto, se lo puede guardar en una nevera o sumergirlo en agua fría, tomando en cuenta que la perforación del sensor de temperatura apunte hacia arriba y que la profundidad de inmersión solo sea de 2/3 de la altura del cilindro (Consejo: si se introduce el cilindro dentro de una bolsa de plástico, antes de sumergirlo en agua, no será necesario secarlo después del enfriamiento).

El aumento de temperatura, durante un experimento, debe proseguir hasta que la temperatura del cilindro de fricción se encuentre aprox. entre 5 a 10 $^{\circ}\text{C}$ por encima de la temperatura ambiente. Mientras más exactas sean las diferencias de temperatura durante el enfriamiento y el calentamiento (correspondientemente, con relación a la temperatura ambiente), menor será el intercambio neto de calor con el ambiente.

- Para el calentamiento eléctrico de los cilindros de fricción se dispone de cables de adaptación, los cuales poseen, en un extremo, un conector de 2 mm de diámetro y, en el otro, los convencionales conectores de laboratorio de 4 mm de diámetro. Para la alimentación de corriente se debe emplear una fuente de alimentación con limitación de tensión y corriente regulable, observándose que no se sobrepase una tensión máxima de la fuente de alimentación de 40 V. El polo positivo de la fuente de alimentación se conecta al clavijero aislado (reconocible por la plaquita redonda gris de plástico que se encuentra debajo del clavijero) y el polo negativo con el otro clavijero.
- Los elementos eléctricos calefactores en los cilindros de fricción se comportan

similarmenete a resistencias óhmicas de aprox. 11Ω . La máxima capacidad de carga se encuentra alrededor de 36 W , es decir, con la tensión máxima de 20 V y la corriente de aprox. $1,8 \text{ A}$ que se establece. Para el ajuste de un determinado punto de trabajo se recomienda ajustar la limitación de corriente en exactamente 1 A y la de tensión en 15 V . Estos ajustes no se vuelven a cambiar, hasta iniciar la realización del experimento se interrumpe sencillamente la corriente desconectando el cable.

5. Mantenimiento

- En principio, el equipo de equivalencia térmica no necesita mantenimiento. Para su limpieza se lo puede frotar con un paño húmedo (agua con agente de limpieza.) No se deben emplear soluciones para tal efecto. También se debe evitar el sumergimiento en agua.
- Los cilindros de fricción deben presentar un blanco metálico. En el caso de que se haya formado alguna capa, ésta se puede eliminar con algún agente de limpieza de metales.
- Dado el caso, se puede lavar la cuerda de fricción. Como cuerda de recambio módica se puede emplear una cuerda trenzada de poliámda (p. ej. De las adquiribles en ferreterías).

6. Ejecución y evaluación del experimento

6.1 Transformación de trabajo mecánico en calor

6.1.1 Ejecución del experimento

- Primero se determinan los diferentes pesos:
Peso principal (p. ej. cubo lleno de agua)
 $m_H = 5,22 \text{ kg}$
Contrapeso (en la cuerda de fricción)
 $m_G = 0,019 \text{ kg}$
Cilindro de aluminio $m_A = 0,249 \text{ kg}$
- Otras magnitudes que se deben medir previamente:
Temperatura ambiente $T_U = 23,2^\circ\text{C}$
Diámetro del cilindro en la superficie de fricción
 $D_R = 45,75 \text{ mm}$
- Después de que el cilindro de fricción se haya enfriado, se lo atornilla a la placa soporte, se inserta el sensor de temperatura y se enrolla la cuerda de fricción alrededor del cilindro (véase apartado 4). Tras un par de minutos, los cuales deben transcurrir para que se produzca una repartición homogénea de la temperatura, la resistencia del sensor de tem-

peratura es de $R_1 = 8,00 \text{ k}\Omega$ (correspondientemente, $T_1 = 14,60^\circ\text{C}$, de acuerdo con la ecuación 1).

- Después del control del ajuste a cero del contador, se inicia el experimento, para lo cual se da vuelta a la manivela con lo que el peso principal se eleva del suelo. Ahora el contrapeso se asienta en el suelo, on lo que la cuerda de fricción se tensa levemente y jerce algo de fricción sobre el cilindro. El peso principal se mantiene ahora en su altura y debe permanecer así durante todo el experimento.
- Después de $n = 460$ revoluciones finaliza el experimento y se lee el valor de la resistencia: $R_2 = 3,99 \text{ k}\Omega$ ($T_2 = 30,26^\circ\text{C}$).
- Dado que directamente tras la finalización del experimento la temperatura asciende levemente (homogeneización de la distribución de la temperatura), se anota como valor de medida el valor mínimo de Resistencia que se alcanzó unos segundos después de la finalización del experimento. Después, la Resistencia vuelve a ascender, dado que la temperatura del cilindro desciende debido al intercambio de calor con el medio ambiente.

6.1.2 Evaluación del experimento

El trabajo W se define como el producto de la fuerza F y el desplazamiento $W_{\text{eg}} s$

$$W = F \cdot s \quad (2)$$

Durante la fricción actúa la fuerza

$$F = m_A \cdot g \quad (3)$$

(siendo g la aceleración terrestre) a lo largo del desplazamiento:

$$s = n \cdot \pi \cdot D_R \quad (4)$$

- La introducción de las ecuaciones 3 y 4 en 2 conduce:

$$W = m_A \cdot g \cdot n \cdot \pi \cdot D_R = 5,22 \cdot 9,81 \cdot 460 \cdot 3,1416 \cdot 0,04575 = 3386 \text{ Nm} \quad (5)$$

El calor almacenado en el cilindro de fricción ΔQ se obtiene a partir de la diferencia de temperatura ($T_2 - T_1$) y la capacidad térmica específica indicada en el apartado 3:

$$\Delta Q = c_A \cdot m_A \cdot (T_2 - T_1) = 0,86 \cdot 0,249 \cdot (30,26 - 14,60) \text{ KJ} = 3353 \text{ J} \quad (6)$$

En este ejemplo, la discrepancia entre el trabajo mecánico y el calor es de solamente 1%. No obstante, debido a las tolerancias inevitables en la composición del material (el aluminio puro es muy suave y es apenas posible procesarlo mecánicamente, por lo que siempre se emplean aleaciones) se pueden presentar discrepancias notables en la capacidad térmica específica. Ésta se debe determinar individ-

ualmente para cada cilindro de fricción. La manera más sencilla de hacerlo se basa en el calentamiento eléctrico y en la equivalencia del calor y la energía eléctrica.

6.2 Transformación de la energía eléctrica en calor

6.2.1 Ejecución del experimento

- Después del enfriamiento del cilindro de fricción, se lo atornilla al soporte (iguales condiciones de experimentación que en el experimento de fricción) y se inserta el sensor de temperatura. Tras un par de minutos, los cuales deben transcurrir para que se produzca una repartición homogénea de la temperatura, la resistencia del sensor de temperatura es de $R_1 = 8,00 \text{ k}\Omega$ (correspondientemente, $T_1 = 14,60^\circ\text{C}$, de acuerdo con la ecuación 1).
- Ahora se conecta la fuente de alimentación previamente ajustada (véase apartado 4) al elemento de calefacción y se inicia el conteo con un cronómetro.
- Se anota la tensión y la corriente (indicación en la fuente de alimentación):
 $U = 11,4 \text{ V}; I = 1,0 \text{ A}$
Después de $t = 300 \text{ s}$ finaliza el experimento y se lee el valor de la resistencia:
 $R_2 = 3,98 \text{ k}\Omega$ ($T_2 = 30,32^\circ\text{C}$)
En la misma forma se capta la variación (leve) de la tensión: $U = 11,0 \text{ V}$.

6.2.2 Evaluación del experimento

La energía eléctrica E es el producto de la potencia P y el tiempo t . La potencia, por su parte, es el producto de la tensión y la corriente. De acuerdo a lo anterior, es válido (Cálculo con valores promedio de la tensión):

$$E = U \cdot I \cdot t = 11,2 \cdot 1,0 \cdot 300 = 3360 \text{ Ws} \quad (7)$$

En este experimento, el calor suministrado es de

$$\Delta Q = c_A \cdot m_A \cdot (T_2 - T_1) = 0,86 \cdot 0,249 \cdot (30,32 - 14,60) \text{ KJ} = 3366 \text{ J} \quad (8)$$

También aquí la concordancia entre E y ΔQ es bastante buena.

Relación entre resistencia y temperatura en los sensores de temperatura

R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C
7,86	14,97	6,78	18,19	5,70	22,05	4,62	26,84	3,54	33,10
7,84	15,03	6,76	18,26	5,68	22,13	4,60	26,94	3,52	33,24
7,82	15,08	6,74	18,32	5,66	22,21	4,58	27,04	3,50	33,38
7,80	15,14	6,72	18,39	5,64	22,29	4,56	27,14	3,48	33,51
7,78	15,19	6,70	18,45	5,62	22,37	4,54	27,24	3,46	33,65
7,76	15,25	6,68	18,52	5,60	22,45	4,52	27,35	3,44	33,79
7,74	15,31	6,66	18,58	5,58	22,53	4,50	27,45	3,42	33,93
7,72	15,36	6,64	18,65	5,56	22,61	4,48	27,55	3,40	34,07
7,70	15,42	6,62	18,72	5,54	22,69	4,46	27,66	3,38	34,22
7,68	15,47	6,60	18,78	5,52	22,77	4,44	27,76	3,36	34,36
7,66	15,53	6,58	18,85	5,50	22,85	4,42	27,87	3,34	34,50
7,64	15,59	6,56	18,92	5,48	22,94	4,40	27,97	3,32	34,65
7,62	15,64	6,54	18,99	5,46	23,02	4,38	28,08	3,30	34,79
7,60	15,70	6,52	19,05	5,44	23,10	4,36	28,18	3,28	34,94
7,58	15,76	6,50	19,12	5,42	23,19	4,34	28,29	3,26	35,09
7,56	15,81	6,48	19,19	5,40	23,27	4,32	28,40	3,24	35,24
7,54	15,87	6,46	19,26	5,38	23,35	4,30	28,51	3,22	35,39
7,52	15,93	6,44	19,33	5,36	23,44	4,28	28,62	3,20	35,54
7,50	15,99	6,42	19,40	5,34	23,52	4,26	28,72	3,18	35,69
7,48	16,05	6,40	19,46	5,32	23,61	4,24	28,83	3,16	35,84
7,46	16,10	6,38	19,53	5,30	23,69	4,22	28,95	3,14	36,00
7,44	16,16	6,36	19,60	5,28	23,78	4,20	29,06	3,12	36,15
7,42	16,22	6,34	19,67	5,26	23,87	4,18	29,17	3,10	36,31
7,40	16,28	6,32	19,74	5,24	23,95	4,16	29,28	3,08	36,47
7,38	16,34	6,30	19,81	5,22	24,04	4,14	29,39	3,06	36,63
7,36	16,40	6,28	19,88	5,20	24,13	4,12	29,51	3,04	36,79
7,34	16,46	6,26	19,95	5,18	24,21	4,10	29,62	3,02	36,95
7,32	16,52	6,24	20,03	5,16	24,30	4,08	29,74	3,00	37,11
7,30	16,57	6,22	20,10	5,14	24,39	4,06	29,85	2,98	37,28
7,28	16,63	6,20	20,17	5,12	24,48	4,04	29,97	2,96	37,44
7,26	16,69	6,18	20,24	5,10	24,57	4,02	30,09	2,94	37,61
7,24	16,75	6,16	20,31	5,08	24,66	4,00	30,20	2,92	37,78
7,22	16,81	6,14	20,39	5,06	24,75	3,98	30,32	2,90	37,94
7,20	16,88	6,12	20,46	5,04	24,84	3,96	30,44	2,88	38,11
7,18	16,94	6,10	20,53	5,02	24,93	3,94	30,56	2,86	38,29
7,16	17,00	6,08	20,60	5,00	25,02	3,92	30,68	2,84	38,46
7,14	17,06	6,06	20,68	4,98	25,11	3,90	30,80	2,82	38,63
7,12	17,12	6,04	20,75	4,96	25,21	3,88	30,92	2,80	38,81
7,10	17,18	6,02	20,83	4,94	25,30	3,86	31,04	2,78	38,99
7,08	17,24	6,00	20,90	4,92	25,39	3,84	31,17	2,76	39,17
7,06	17,30	5,98	20,97	4,90	25,48	3,82	31,29	2,74	39,35
7,04	17,37	5,96	21,05	4,88	25,58	3,80	31,42	2,72	39,53
7,02	17,43	5,94	21,12	4,86	25,67	3,78	31,54	2,70	39,71
7,00	17,49	5,92	21,20	4,84	25,77	3,76	31,67	2,68	39,90
6,98	17,55	5,90	21,28	4,82	25,86	3,74	31,79	2,66	40,08
6,96	17,62	5,88	21,35	4,80	25,96	3,72	31,92	2,64	40,27
6,94	17,68	5,86	21,43	4,78	26,05	3,70	32,05	2,62	40,46
6,92	17,74	5,84	21,50	4,76	26,15	3,68	32,18	2,60	40,65
6,90	17,81	5,82	21,58	4,74	26,25	3,66	32,31	2,58	40,84
6,88	17,87	5,80	21,66	4,72	26,34	3,64	32,44	2,56	41,04
6,86	17,93	5,78	21,74	4,70	26,44	3,62	32,57	2,54	41,23
6,84	18,00	5,76	21,81	4,68	26,54	3,60	32,70	2,52	41,43
6,82	18,06	5,74	21,89	4,66	26,64	3,58	32,84	2,50	41,63
6,80	18,13	5,72	21,97	4,64	26,74	3,56	32,97	2,48	41,83