P2 CALOR

P2.1 DILATACIÓN TÉRMICA 59

P2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR 62

P2.3 EL CALOR COMO FORMA DE ENERGÍA 64

P2.4 TRANSICIONES DE FASE 68

P2.5 TEORÍA CINÉTICA DE LOS GASES 71

P2.6 CICLOS TERMODINÁMICOS 74

P2 CALOR

P2.1 DILATACIÓN TÉRMICA
P2.1.1 Dilatación térmica de sólidos 59
P2.1.2 Dilatación térmica de líquidos 60
P2.1.3 Anomalía térmica del agua 61

P2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR
P2.2.1 Conducción de calor 62
P2.2.2 El colector solar 63

P2.3 EL CALOR COMO FORMA DE ENERGÍA
P2.3.1 Temperaturas de mezclas 64
P2.3.2 Capacidades caloríficas 65
P2.3.3 Conversión de energía mecánica en calor 66
P2.3.4 Conversión de energía eléctrica en calor 67

P2.4 TRANSICIONES DE FASE
P2.4.1 Calor de fusión y calor de evaporación 68
P2.4.2 Medición de la presión de vapor 69
P2.4.3 Temperatura crítica 70

P2.5 TEORÍA CINÉTICA DE LOS GASES
P2.5.2 Leyes de los gases 71
P2.5.3 Calor específico de gases 72
P2.5.4 Los gases reales 73

P2.6 CICLOS TERMODINÁMICOS
P2.6.1 Motor de aire caliente: Experimentos cualitativos 74
P2.6.2 Motor de aire caliente: Experimentos cuantitativos 75-76
P2.6.3 La bomba térmica 77

Dilatación térmica de sólidos - Medición con el aparato de dilatación (P2.1.1.2)

DILATACIÓN TÉRMICA DE SÓLIDOS

P2.1.1.2
Dilatación térmica de sólidos - Medición con el aparato de dilatación

P2.1.1.3
Medición de la dilatación longitudinal de sólidos en función de la temperatura

P2.1.1.4
Dilatación térmica de sólidos - Registro y evaluación con CASSY

N° de cat.	Descripción	P2.1.1.2	P2.1.1.3	P2.1.1.4
381 341	Aparato de dilatación lineal D	1	1	
361 152	Calibre de dial con soporte	1	1	
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1	1	1
303 28	Generador de vapor	1		
664 185	Platillo de Petri, vidrio, 150 mm Ø	1		
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	1	2	1
666 7681	Termostato de circulacion		1	
675 3410	Agua, destilada, 5 l		2	
381 332	Tubo Al, l = 44 cm, d = 8 mm			1
381 333	Tubo Fe, l = 44 cm, d = 8 mm			1
667 2545	Tapón de goma con agujero, 17 ... 23 mm Ø			1
664 248	Matraz de Erlenmeyer, vidrio al borosilicato 3.3, 50 ml, cuello estrecho			1
665 226	Empalme, 6/8 mm Ø			1
686 53	Lata redonda con tapa			1
524 013	Sensor-CASSY 2			1
524 220	CASSY Lab 2			1
524 082	Sensor de giro S			1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm			1
301 21	Base de soporte MF			2
301 27	Varilla de soporte 50 cm, 10 mm Ø			2
301 09	Mordaza doble S			2
666 615	Nuez universal			1
666 555	Pinza universal 0...80 mm			1
666 573	Anillo soporte con varilla 100 mm Ø			1
666 685	Rejilla de protección térmica 160 mm x 160 mm			1
666 711	Quemador de cartucho de gas Butano			1
666 712ET3	Cartucho de butano, 190 g, juego de 3			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)			1

En buena aproximación, la longitud s de un cuerpo sólido depende linealmente de la temperatura ϑ

$$s = s_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$$

s_0: longitud para 0 °C, ϑ: temperatura en °C

en donde el coeficiente de dilatación lineal α depende a su vez del material del cuerpo sólido. Aquí se pueden realizar, por ejemplo, mediciones en tubos delgados, por los que circula vapor de agua o agua caliente.

En el experimento P2.1.1.2 se mide el incremento de longitud de diferentes tubos entre temperatura ambiente y la temperatura del vapor utilizando el aparato de dilatación. La longitud efectiva s_0 de los tubos se puede fijar a 200, 400 ó 600 mm.

En el experimento P2.1.1.3 un termostato de circulación sirve para calentar agua y hacerla circular por los tubos de prueba. Con el aparato de dilatación se mide el cambio de longitud de los tubos en función de la temperatura ϑ.

En el experimento P2.1.1.4 el vapor se canaliza a través del tubo de priueba. La dilatación térmica se registra mediante el sensor de giro.

DILATACIÓN TÉRMICA DE LÍQUIDOS

P2.1.2.1
Determinación de los coeficientes de dilatación volumétrica de líquidos

P2.1.2.2
Determinación de los coeficientes de dilatación volumétrica de líquidos - Medición con Mobile-CASSY

Determinación de los coeficientes de dilatación volumétrica de líquidos - Medición con Mobile-CASSY (P2.1.2.2)

N° de cat.	Descripción	P2.1.2.1	P2.1.2.2
382 15	Dilatómetro de volumen	1	1
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1	
666 767	Placa calentadora	1	1
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja	1	1
315 05	Balanza escolares y de laboratorio 311	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	2	2
666 555	Pinza universal 0...80 mm	2	2
671 9720	Etanol - solvente, 1 l	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1

En general, cuando los líquidos se calientan sufren una mayor dilatación que los sólidos. En buena aproximación el volumen V de un líquido a una temperatura ϑ sigue la relación lineal

$$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \vartheta)$$

V_0: volumen a 0 °C, ϑ: temperatura en °C

En la determinación de los coeficientes de dilatación γ, hay que considerar que el recipiente que contiene al líquido calentado también se dilata.

En el experimento P2.1.2.1 et P2.1.2.2 se determinan los coeficientes volumétricos del agua y del etanol con un dilatómetro volumétrico de vidrio. Para medir la variación del volumen se emplea un tubo de ascensión con sección transversal conocida, es decir, el cambio de volumen se determina a partir de la altura de ascensión del líquido.

Determinación del coeficiente de dilatación volumétrica de los líquidos (P2.1.2.1)

Estudio de la densidad máxima del agua - Medición con Mobile-CASSY (P2.1.3.2)

ANOMALÍA TÉRMICA DEL AGUA

P2.1.3.1
Estudio de la densidad máxima del agua

P2.1.3.2
Estudio de la densidad máxima del agua - Medición con Mobile-CASSY

N° de cat.	Descripción	P2.1.3.1	P2.1.3.2
667 505	Aparato para anomalía del agua	1	1
382 35	Termómetro -10 ...+50°C	1	
666 8451	Agitador magnético	1	1
602 725	Plato de laboratorio, 140 mm diam., 900 ml	1	1
665 009	Embudo PP 75 mm Ø	1	1
307 66	Tubo de goma, Ø 8/12 mm	1	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1	1
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	1
608 100	Anillo soporte con manguito 70 mm	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1

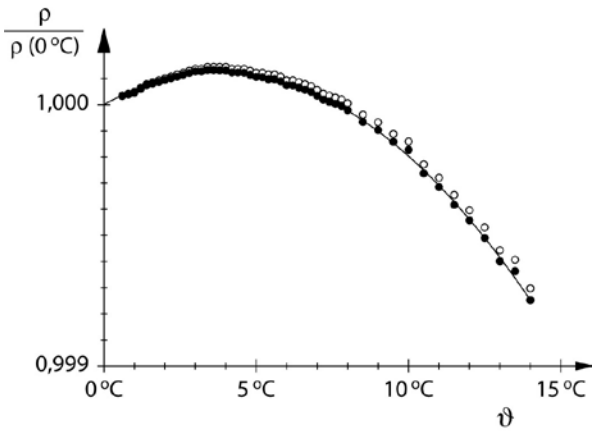
El agua muestra una de sus más importantes anomalías al ser calentada desde 0 °C: Hasta una temperatura de 4 °C el agua tiene un coeficiente de dilatación negativo, es decir, se contrae cuando es calentada. Después del paso del cero en 4 °C el coeficiente de dilatación toma valores positivos. Como la densidad corresponde a la inversa del volumen de una cantidad de sustancia, el agua tiene una densidad máxima a 4 °C.

En el experimento P2.1.3.1 se verifica la existencia del máximo de la densidad del agua midiendo la dilatación en un recipiente con tubo de ascensión. Todo el montaje experimental se enfría agitando un baño de agua con hielo desde la temperatura ambiente hasta cerca de 1 °C, ose enfría en la heladera de un refrigerador para después calentarse lentamente al ser expuesto a la temperatura del ambiente. Se mide la altura del tubo h en función de la temperatura del agua ϑ Como la variación de volumen en comparación al volumen total V_0 es pequeña, se obtiene para la densidad la siguiente relación:

$$\rho(\vartheta) = \rho(0\ °C) \cdot \left(1 - \frac{A}{V_0} \cdot h(\vartheta)\right)$$

A: sección transversal del tubo de ascensión

El experimento P2.1.3.2 verifica también la anomalía del agua. La temperatura se mide con un sensor de temperatura y Mobile-CASSY.



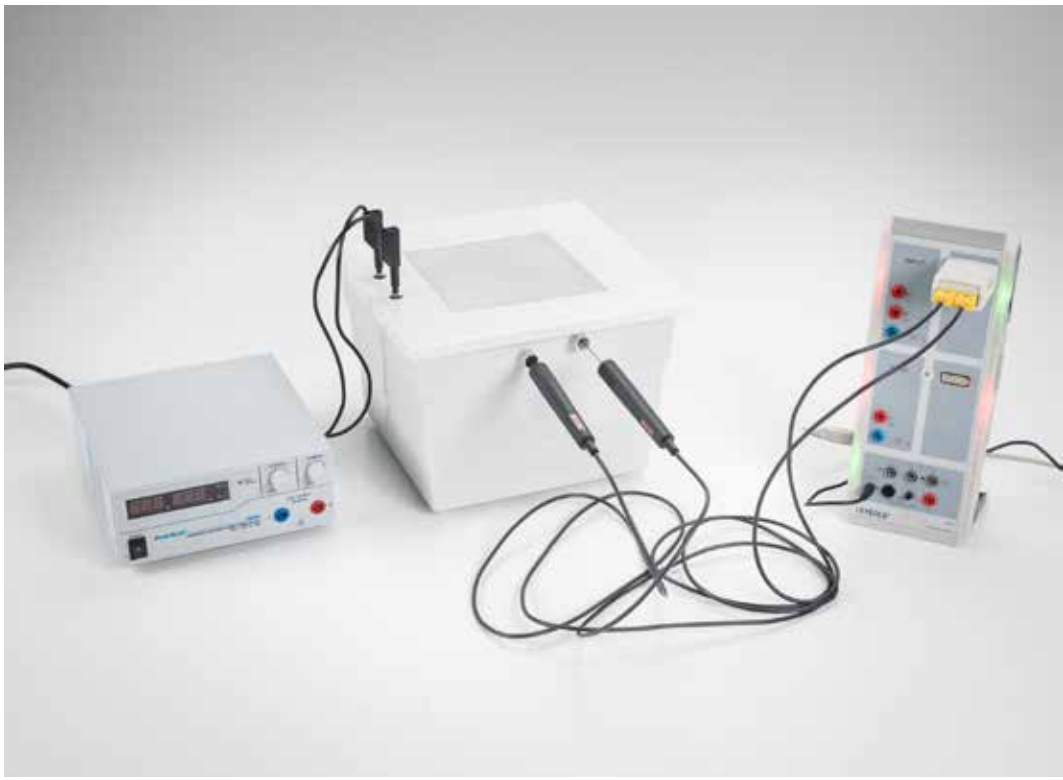
Densidad relativa del agua en función de la temperatura (P2.1.3.1-2)

CONDUCCIÓN DE CALOR

P2.2.1.1
Determinación de la conductividad térmica de materiales de construcción según el método de placa simple

P2.2.1.2
Determinación de la conductividad térmica de materiales de construcción según el principio del flujo térmico con placa de medición

P2.2.1.3
Atenuación de fluctuaciones de temperatura mediante paredes de varias capas



Determinación de la conductividad térmica de materiales de construcción según el método de placa simple (P2.2.1.1)

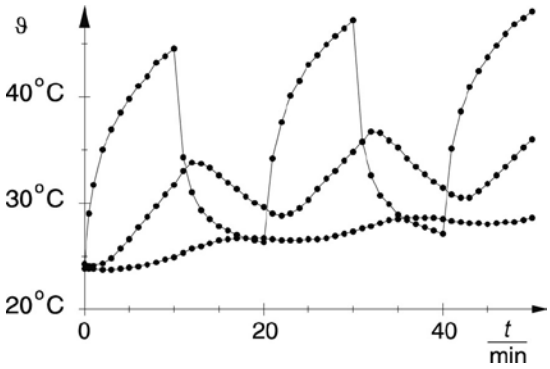
N° de cat.	Descripción	P2.2.1.1	P2.2.1.2	P2.2.1.3
389 29	Cámara de medición térmica	1	1	1
389 30	Juego muestras materiales de construcció	1	1	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1	1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K	1	2	2
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm	2	3	3
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	1	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2		2
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	4	2	
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W			1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/			1
300 11	Zócalo			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1

En equilibrio, el flujo de calor a través de un plato con un área transversal A y un espesor d depende de la diferencia de temperatura $\vartheta_2 - \vartheta_1$ entre el extremo delantero y trasero del plato, y de la conductividad térmica λ del material del que esta hecho el plato:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \cdot A \cdot \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{d}$$

El objetivo de los experimentos P2.2.1.1 y P2.2.1.2 es la determinación de la conductividad térmica de materiales de construcción. A tal efecto se colocan placas de material de construcción en la cámara de medición térmica y se las calienta por el lado superior. Con sondas de medición se mide las temperaturas ϑ_1 and ϑ_2. El flujo térmico se determina, o bien, a partir de potencia eléctrica de la placa calentadora, o por medio de la medición de temperatura en una placa de medición de flujo térmico, presionada detrás de la placa de material de construcción y cuya conductividad térmica λ_0 es conocida.

En el experimento P2.2.1.3 se estudia la amortiguación de fluctuaciones de temperaturas a través de paredes de dos capas. Con los continuos encendidos y apagados de una lámpara que irradia la pared exterior se simulan los cambios de temperatura del día y de la noche. Esto produce una «onda» de temperatura que penetra en la pared y cuya amplitud se debe amortiguar en la pared. Aquí se miden las temperaturas ϑ_A en el lado exterior, ϑ_Z entre ambas capas y ϑ_I en el lado interior en función del tiempo.



Fluctuationes de temperatura en paredes de varias capas (P2.2.1.3)

Eficiencia de un colector solar (P2.2.2.1)

EL COLECTOR SOLAR

P2.2.2.1
Eficiencia de un colector solar

N° de cat.	Descripción	P2.2.2.1
389 50	Colector solar	1
579 220	Bomba de agua STE 10 V	1
450 73	Lámpara halógena de 1000 W	1
521 491	Unidad de alimentación CA/CC 0...12 V/3 A	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K	1
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm	2
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	2
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1
300 43	Varilla de soporte, 75 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	2
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1
590 06	Jarra de plástico, 1000 ml	1
604 431	Tubo silicona, Ø 5 mm	1
604 432	Tubo silicona, Ø 6 mm	1
604 434	Tubo silicona, Ø 8 mm	1
665 226	Empalme, 6/8 mm Ø	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1

Un colector solar absorbe energía de irradiación para calentar el agua que fluye por él. Cuando el colector está más caliente que el ambiente le entrega al ambiente energía por radiación, convección y conducción. A causa de estas pérdidas disminuye su eficiencia

$$\eta = \frac{\Delta Q}{\Delta E}$$

es decir, el cociente entre la cantidad de calor entregado ΔQ y la energía de irradiación absorbida ΔE.

En el experimento P2.2.2.1 se determina la cantidad de calor entregado ΔQ por unidad de tiempo a partir del incremento de temperatura del agua que fluye y se calcula aproximadamente la energía de irradiación absorbida por unidad de tiempo a partir de la potencia de la lámpara y su distancia al absorbente. El volumen de agua por unidad de tiempo o el aislamiento térmico del colector solar pueden ser variados.

TEMPERATURAS DE MEZCLAS

P2.3.1.1
Medición de temperatura de una mezcla de agua

P2.3.1.2
Medición de temperatura de una mezcla de agua - Medición con Mobile-CASSY

Medición de temperatura de una mezcla de agua - Medición con Mobile-CASSY (P2.3.1.2)

N° de cat.	Descripción	P2.3.1.1	P2.3.1.2
384 161	Tapa para vaso dewar	1	1
386 48	Vaso de Dewar, 250 ml	1	1
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1	
315 23	Balanza de laboratorio escolar 610 Tara	1	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	
666 767	Placa calentadora	1	1
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja	2	2
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1

Si se mezcla el agua fría a una temperatura ϑ_1 con agua caliente a una temperatura ϑ_2 se produce un intercambio de calor hasta que ambas hayan alcanzado la misma temperatura. Si no se entrega calor al medio ambiente, la temperatura de la mezcla viene dada por:

$$\vartheta_m = \frac{m_1}{m_1 + m_2}\vartheta_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2}\vartheta_2$$

m_1, m_2: masa del aqua fría y caliente respectivamente

La temperatura de mezcla ϑ_m corresponde a un valor medio ponderado de ambas temperaturas ϑ_1 y ϑ_2.

En el experimento P2.3.1.1 se utiliza un recipiente Dewar para evitar la entrega de calor al medio ambiente. Este recipiente tiene una pared doble. El volumen encerrado por ellas ha sido evacuado y además su lado interior es reflector. Para garantizar el intercambio completo de calor el agua, se debe agitar cuidadosamente. Aquí se mide la temperatura de la mezcla ϑ_m para diferentes valores de ϑ_1, ϑ_2, m_1 y m_2.

En el experimento P2.3.1.2 se miden las diferentes temperaturas con el sensor de temperatura y el Mobile-CASSY.

Determinación del calor específico de sólidos - Medición con Mobile-CASSY (P2.3.2.2)

CAPACIDADES CALORÍFICAS

P2.3.2.1
Determinación del calor específico de sólidos

P2.3.2.2
Determinación del calor específico de sólidos - Medición con Mobile-CASSY

N° de cat.	Descripción	P2.3.2.1	P2.3.2.2
384 161	Tapa para vaso dewar	1	1
386 48	Vaso de Dewar, 250 ml	1	1
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1	
384 34	Calentador de Noak	1	1
384 35	Granalla de cobre, 200 g	1	1
384 36	Perlas de vidrio, 100 g	1	1
315 76	Granalla plomo, 200 g, Ø 3 mm	1	1
315 23	Balanza de laboratorio escolar 610 Tara	1	1
303 28	Generador de vapor	1	1
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja	1	1
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1	1
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1	1
667 614	Guantes protectivas contra el calor	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1

La cantidad de calor ΔQ absorbida por un cuerpo al calentarse o enfriarse es proporcional a la variación de temperatura $\Delta\vartheta$ y a la masa del cuerpo según la relación:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$$

El factor de proporcionalidad c, el calor específico del cuerpo, es una magnitud que depende del material.

Para determinar el calor específico del cuerpo en el experimento P2.3.2.1 se pesan diferentes sustancias en forma de granallas. Luego se las calienta a la temperatura ϑ_1 con vapor de agua y se las vacía en una cantidad determinada de agua a una temperatura ϑ_2. Luego de agitar cuidadosamente, las granallas y el agua alcanzan la misma temperatura ϑ_m por intercambio de calor. La cantidad de calor entregada por la granalla

$$\Delta Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_1 \cdot \vartheta_m)$$

m_1: masa de los granos

c_1: calor espectifico de los granos

es igual a la cantidad de calor absorbida por el agua

$$\Delta Q_2 = c_2 \cdot m_2 \cdot (\vartheta_m \cdot \vartheta_2)$$

m_2: mase del agua

El calor específico del agua c_2 se asume como un dato. La temperatura ϑ_1 concuerda con la temperatura del vapor de agua. Por esta razón el parámetro buscado c_1 se calcula a partir de ϑ_2, ϑ_m, m_1 y m_2.

En el experimento P2.3.2.2 se miden las diferentes temperaturas con el sensor de temperatura y el Mobile-CASSY.

CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA EN CALOR

P2.3.3.1
Conversión de energía mecánica en energía calorífica - Registro manual y evaluación de los valores medidos

P2.3.3.2
Conversión de energía mecánica en energía calorífica - Medición con CASSY

Conversión de energía mecánica en energía calorífica - Registro manual y evaluación de los valores medidos (P2.3.3.1)

N° de cat.	Descripción	P2.3.3.1	P2.3.3.2
388 00	Aparato básico del equivalente mecánico	1	1
388 01	Calorímetro de agua	1	1
388 02	Calorímetro de cobre	1	1
388 03	Calorímetro de aluminio	1	1
388 04	Gran calorímetro de aluminio	1	1
388 051	Termómetro para calorímetro, +15...35 °C/0,2 K	1	
388 24	Pesa con gancho 5 kg	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
524 074	Timer S		1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K		1
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm		1
337 46	Barrera de luz en horquilla		1
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m		1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño		1
301 11	Mordaza con pinza cilíndrica		1
300 40	Varilla de soporte, 10 cm, 12 mm Ø		1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		1
301 07	Mordaza de mesa, sencilla		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

La energía es una de las magnitudes fundamentales de toda la física. Esto se basa, por un lado, en el hecho que la energía se transforma a otras formas de energía diferentes y equivalentes entre sí, y por otro lado, porque la energía total de un sistema cerrado permanece constante.

En el experimento P2.3.3.1 et P2.3.3.2 se verifica la equivalencia entre energía mecánica y energía térmica. Con una manivela se hace girar diferentes calorímetros sobre su mismo eje. Estos se calientan por la fricción de una cuerda de nylon. La fuerza de fricción corresponde al peso *G* de una pesa que cuelga. Para *n* vueltas del calorímetro el trabajo mecánico realizado es:

$$W_n = G \cdot n \cdot \pi \cdot d$$

d: diámetro del calorímetro

El trabajo mecánico eleva la temperatura en el calorímetro transformándose en calor calculado mediante: Para verificar la relación

$$Q_n = m \cdot c \cdot (\vartheta_n - \vartheta_0)$$

c: calor especifico, *m*: masa,

ϑ_n: temperatura después de *n* vueltas

en un diagrama se grafican ambas magnitudes una respecto a la otra. El registro y la evaluación se realizan de manera manual por el experimentador.

Conversión de energía eléctrica en energía calorífica - Medición con Mobile-CASSY (P2.3.4.4)

CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CALOR

P2.3.4.1
Conversión de energía eléctrica en energía calorífica - Medición con voltímetro y amperímetro

P2.3.4.2
Conversión de energía eléctrica en energía calorífica - Medición con juliómetro y vatímetro

P2.3.4.3
Conversión de energía eléctrica en energía calorífica - Medición con CASSY

P2.3.4.4
Conversión de energía eléctrica en energía calorífica - Medición con Mobile-CASSY

N° de cat.	Descripción	P2.3.4.1	P2.3.4.2	P2.3.4.3	P2.3.4.4
384 20	Aparato para determinar el equivalente eléctrico del calor	1			
386 48	Vaso de Dewar, 250 ml	1			
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1			
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1			
664 103	Vaso, 250 ml, forma baja	1			
665 755	Cilindro graduado 250 ml, con base de plástico	1			
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1			
501 28	Cable de experimentación, 50 cm, negro	1			
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1	1	1	1
388 02	Calorímetro de cobre		1	1	1
388 03	Calorímetro de aluminio		1	1	1
388 04	Gran calorímetro de aluminio		1	1	1
388 051	Termómetro para calorímetro, +15...35 °C/0,2 K		1		
388 06	Par de cables de conexión		1	1	1
531 831	Juliómetro y vatímetro		1		
521 491	Unidad de alimentación CA/CC 0...12 V/3 A		1	1	1
524 013	Sensor-CASSY 2			1	
524 220	CASSY Lab 2			1	
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K			1	
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm			1	
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi				1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)			1	

La energía eléctrica se puede convertir en calor tal como sucede con la energía mecánica. Como ejemplo se utiliza un calorímetro con un bobinado al que se aplica una tensión. Cuando la corriente circula por el alambre se genera calor (calor de Joule) que calienta al calorímetro.

La energía eléctrica entregada

$$W(t) = U \cdot I \cdot t$$

es determinada en el experimento P2.3.4.1 midiendo la tensión U, la corriente I y el tiempo t. Esta corriente hace que varíe la temperatura en el calorímetro la cual corresponde a la cantidad de calor

$$Q(t) = m \cdot c \cdot (\vartheta(t) - \vartheta(0))$$

c: capacidad calorífica especifica

m: masa

$\vartheta(t)$: temperatura en el tiempo t

Para verificar la equivalencia

$$Q(t) = W(t),$$

ambas magnitudes se grafican en un diagrama una con respecto a la otra.

En el experimento P2.3.4.3 se verifica experimentalmente la equivalencia entre la energía eléctrica E_{el} y la energía térmica E_{th}. A tal efecto, en el experimento la energía eléctrica E_{el} suministrada a un filamento calefactor es transformada en calor E_{th}. Esto conduce a un incremento de temperatura del calorímetro (o agua, en la cual el filamento se encuentra sumergido). La medición en paralelo de la intensidad de corriente I y la temperatura ϑ en función del tiempo t, conocida la tensión constante U, posibilita el registro cuantitativo de las dos formas de energía con las unidades Vatiosegundo (Ws) y Joule (J). De esta forma se verifica experimentalmente y en números la equivalencia: $E_{el} = E_{th}$.

La energía eléctrica suministrada se determina en el experimento P2.3.4.4 midiendo con el Mobile-CASSY.

CALOR DE FUSIÓN Y CALOR DE EVAPORACIÓN

P2.4.1.1
Determinación del calor específico de evaporación del agua

P2.4.1.2
Determinación del calor específico de fusión del hielo

P2.4.1.3
Determinación del calor específico de evaporación del agua - Medición con Mobile-CASSY

P2.4.1.4
Determinación del calor específico de fusión del hielo - Medición con Mobile-CASSY

Determinación del calor específico de evaporación del agua - Medición con Mobile-CASSY (P2.4.1.3)

N° de cat.	Descripción	P2.4.1.1	P2.4.1.2	P2.4.1.3	P2.4.1.4
386 48	Vaso de Dewar, 250 ml	1	1	1	1
384 17	Colector de condensados	1		1	
382 34	Termómetro -10 ...+110°C	1	1		
315 23	Balanza de laboratorio escolar 610 Tara	1	1	1	1
303 28	Generador de vapor	1		1	
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	1		1	
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja	1	1	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1		1	
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1		1	
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	2		2	
666 555	Pinza universal 0...80 mm	2		2	
303 25	Calefactor de inmersión		1		1
590 06	Jarra de plástico, 1000 ml		1		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi			1	1

Generalmente, si a una sustancia se le entrega calor a presión constante, aumenta su temperatura. Si en la sustancia se presenta una transición de fase, la temperatura no aumenta a pesar de seguir suministrándole calor, ya que el calor es requerido para la transición de fase. Tan pronto como la transición de fase concluye la temperatura aumenta nuevamente al suministrársele más calor. Así por ejemplo, para evaporar agua por unidad de masa se requiere un calor específico de evaporación Q_V y para fundir hielo por unidad de masa se requiere un calor específico de fusión Q_S.

Para determinar el calor específico de evaporación Q_V del agua en el experimento P2.4.1.1 et P2.4.1.3 se hace pasar vapor de agua pura hacia un calorímetro, en el que se calienta agua fría hasta la temperatura de mezcla ϑ_m. El vapor de agua se condensa a agua entregando calor de evaporación y enfriándose a la temperatura de la mezcla. Aquí se mide la temperatura inicial ϑ_2 y la masa m_2 del agua fría, la temperatura de mezcla ϑ_m y la masa total

$$m = m_1 + m_2$$

De la comparación entre cantidad de calor entregada y absorbida se tiene que

$$Q_V = \frac{m_1 \cdot c \cdot (\vartheta_m - \vartheta_1) + m_2 \cdot c \cdot (\vartheta_m - \vartheta_2)}{m_1}$$

$\vartheta_1 \approx 100$ °C, c: calor especifico del agua

En el experimento P2.4.1.2 et P2.4.1.4 se determina el calor específico de fusión. Para ello se llena hielo puro en un calorímetro, en el cual se enfría agua caliente hasta la temperatura de mezcla ϑ_m. El hielo se funde a agua absorbiendo calor de fusión y aumenta su temperatura hasta la temperatura de mezcla. Análogo al experimento P2.4.1.3, el calor específico de fusión viene dado por:

$$Q_S = \frac{m_1 \cdot c \cdot (\vartheta_m - \vartheta_1) + m_2 \cdot c \cdot (\vartheta_m - \vartheta_2)}{m_1}$$

$\vartheta_1 = 0$ °C

En los experimentos P2.4.1.1 y P2.4.1.2 la temperatura se mide con un termómetro. En los experimentos P2.4.1.3 y P2.4.1.4 la temperatura se mide con el Mobile-CASSY y el correspondiente sensor de temperatura.

Registro de la curva de presión de vapor de agua con presiones de hasta 50 bar (P2.4.2.2)

MEDICIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR

P2.4.2.1
Registro de la curva de presión de vapor de agua con presiones de hasta 1 bar

P2.4.2.2
Registro de la curva de presión de vapor de agua con presiones de hasta 50 bar

N° de cat.	Descripción	P2.4.2.1	P2.4.2.2
664 315	Matraz fondo redondo, 2 bocas, 250 ml	1	
665 305	Pieza de reducción	1	
667 186	Tubo de goma para vacío, 8 mm Ø	1	
665 255	Llave de tres pasos, forma T	1	
378 031	Brida DN 16 KF con boquilla	1	
378 045	Anillo de centra DN 16 KF	1	
378 050	Collarin apriete DN 10/16 KF	1	
378 701	Grasa para alto vacío P, 50 g	1	
524 013	Sensor-CASSY 2	1	
524 220	CASSY Lab 2	1	
524 065	Sensor de presión absoluta S, 0...1500 hPa	1	
501 11	Cable de extensión, 15 polos	1	
688 808	Varilla de suporte, 10 x 223 mm, con rosca M6	1	
524 045	Unidad Temperatura NiCr-Ni/NTC	1	
666 216	Elemento thermoeléctrico NiCr-Ni	1	
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	
300 43	Varilla de soporte, 75 cm, 12 mm Ø	1	
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1	
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	3	
666 573	Anillo soporte con varilla 100 mm Ø	1	
666 685	Rejilla de protección térmica 160 mm x 160 mm	1	
666 711	Quemador de cartucho de gas Butano	1	1
666 712ET3	Cartucho de butano, 190 g, juego de 3	1	1
667 614	Guantes protectivas contra el calor	1	1
385 16	Aparato de vapor de alta presión		1
664 109	Vaso, 25 ml, forma baja		1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande		1
667 6131	Gafas de seguridad para usar sobre las gafas		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	

La presión de vapor p de una mezcla líquido y vapor en un sistema cerrado que depende de la temperatura T. Por encima de la temperatura crítica la presión de vapor no está definida, la sustancia es gaseosa y no puede hacerse líquida a tan alta presión. La pendiente de la curva de la presión de vapor $p(T)$ se determina por el calor de evaporación molar q_v de la sustancia:

$$T \cdot \frac{dp}{dT} = \frac{q_v}{v_1 - v_2} \quad \text{(Clausius-Clapeyron)}$$

T: temperatura absoluta

v_1: volumen molar del vapor

v_2: volumen molar del líquido

En general, la fórmula v_2 se ignora, mientras que q_v no varía con T, obteniendo así la expresión

$$\ln p = \ln p_0 - \frac{q_v}{R \cdot T}$$

que es una buena aproximación a la ley de los gases ideales

En el experimento P2.4.2.1 se registra la curva de presión de vapor del agua por debajo del punto de ebullición normal utilizando el sistema de adquisición de datos asistido por ordenador CASSY. El agua se encuentra en un émbolo de vidrio, cerrado mientras que el agua ebulle a presión normal. La medición de la presión de vapor p en función de la temperatura T se efectúa cuando el sistema se enfría y cuando es calentado posteriormente.

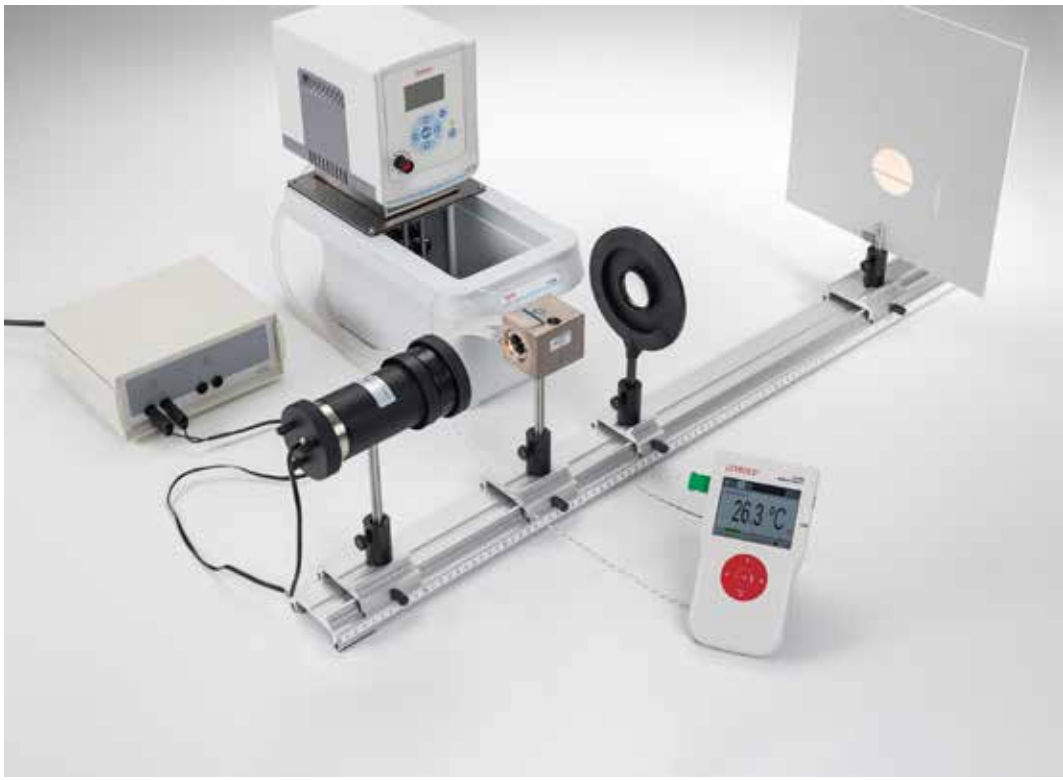
Para medir presiones de hasta 50 bar en el experimento P2.4.2.2 se implementa un dispositivo de vapor de alta presión en cuyo manómetro se puede leer directamente la presión de vapor. Un termómetro suministra la temperatura respectiva. Los valores de la medición son registrados y evaluados manualmente.

Registro de la curva de presión de vapor del agua - Presiones hasta 1 bar (P2.4.2.1).

TEMPERATURA CRÍTICA

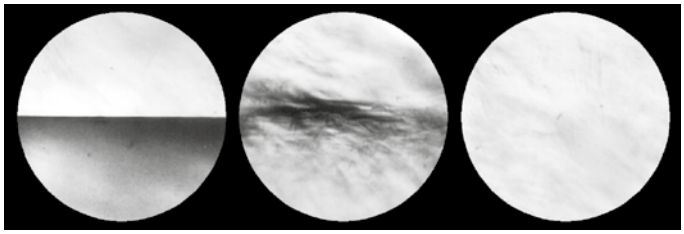
P2.4.3.1
Estudio de una mezcla entre el líquido y vapor en el punto crítico

P2.4.3.2
Estudio de una mezcla entre el líquido y vapor en el punto crítico - Medición con Mobile-CASSY



Estudio de una mezcla entre el líquido y vapor en el punto crítico (P2.4.3.1)

N° de cat.	Descripción	P2.4.3.1	P2.4.3.2
371 401	Cámara de compresión	1	1
450 60	Carcasa de lámpara	1	1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1	1
460 20	Condensador asférico con porta diafragma	1	1
521 210	Transformador 6/12 V	1	1
460 03	Lente en montura f = +100 mm	1	1
441 53	Pantalla traslúcida	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	3	3
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	1	1
382 21	Termómetro agitador -10...+110 °C	1	
303 28	Generador de vapor	1	
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	2	2
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja	1	
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1
666 7681	Termostato de circulacion		1
675 3410	Agua, destilada, 5 l		2



Ilustraciones del contenido de la cámara de presión: por debajo, estando por encima de la temperatura crítica (P2.4.3.1-2)

El punto crítico de un gas real está caracterizado por la presión crítica p_c, la densidad crítica ρ_c y la temperatura crítica T_c. Por debajo de la temperatura crítica la sustancia es gaseosa cuando el volumen molar es suficientemente grande en este estado se le denomina vapor y para un volumen molar suficientemente pequeño es líquida. Entre ellas se encuentra una mezcla líquido y vapor, cuyo porcentaje de vapor aumenta cuando el volumen molar crece. Como el líquido y el vapor poseen densidades diferentes, en el campo gravitacional se separan. Con el incremento de la temperatura la densidad del líquido disminuye y la del vapor aumenta, hasta que en la temperatura crítica ambas densidades alcanzan el valor de la densidad crítica. Líquido y vapor se mezclan completamente entre sí, el límite de transición de fase desaparece. Por encima de la temperatura crítica la sustancia no depende del volumen molar.

En el experimento P2.4.3.1 et P2.4.3.2 se estudia el comportamiento del hexafluoruro de azufre SF_6 en las cercanías del punto crítico. La temperatura crítica de esta sustancia es T_C = 318.7 K y la presión crítica p_c = 37.6 bar. La sustancia se encuentra en una cámara de presión, por cuya cubierta fluye agua caliente o vapor de agua. Con el propósito de observar el fenómeno, a través de dos visores se proyecta sobre una pared la desaparición de la superficie de transición de fase entre líquido y gas al calentar la sustancia. De igual manera al enfriarse la sustancia se observa la formación de la superficie. En la cercanía del punto crítico la sustancia difunde una luz de onda corta particularmente intensa, el contenido de la cámara a presión toma un color rojo-marrón. Esta opalescencia crítica es causada por las fluctuaciones de la densidad que en las inmediaciones del punto crítico es muy intensa. *Nota:* La desaparición de la superficie límite entre fases durante el calentamiento se puede observar de manera óptima cuando la cámara a presión es calentada lo más lento posible con un termostato de circulación.

LEYES DE LOS GASES

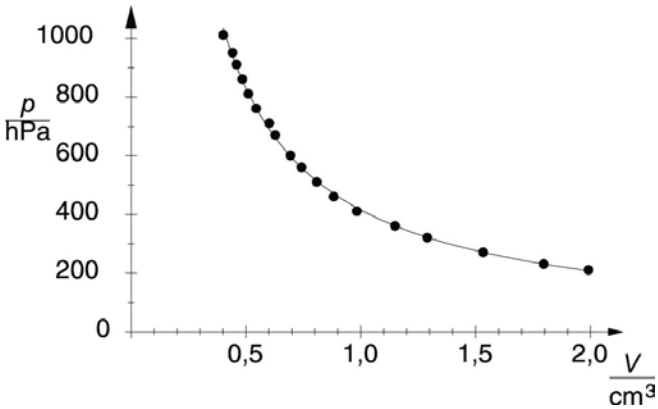
P2.5.2.1
Dependencia del volumen de un gas con respecto a la presión a temperatura constante
(Ley de Boyle-Mariotte)

P2.5.2.2
Dependencia del volumen de un gas con respecto a la temperatura a presión constante
(Ley de Gay-Lussac)

P2.5.2.3
Dependencia de la presión de un gas con respecto a la temperatura a volumen constante
(Ley de Amonton)

Dependencia del volumen de un gas con respecto a la presión a temperatura constante (Ley de Boyle-Mariotte) (P2.5.2.1)

N° de cat.	Descripción	P2.5.2.1	P2.5.2.2	P2.5.2.3
382 00	Termómetro de gas	1	1	1
375 58	Bomba manual de vacío	1	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1	1
524 064	Sensor de presión S, ±2000 hPa	1		1
665 223ET10	Empalme, forma en T, 8 mm Ø, 10 piezas	1		1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	1	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1	1	1
301 11	Mordaza con pinza cilíndrica	2	2	2
666 767	Placa calentadora		1	1
664 103	Vaso, 250 ml, forma baja		1	1



Presión en función del volumen a temperatura constante (P2.5.2.1)

Un termómetro de gas consiste de un tubo de vidrio cerrado en su parte inferior y en el que un tapón de mercurio en la parte superior encierra una cantidad de aire dentro. El volumen de la columna de aire está determinado por la altura y la sección transversal del tubo de vidrio. Si mediante una bomba manual se hace variar la presión en el lado abierto, entonces en el lado encerrado también varía la presión. Con un baño de agua se varía la temperatura de todo el termómetro.

En el experimento P2.5.2.1 la columna de aire mantiene constante la temperatura ambiente T. La columna tiene un volumen V_0 para una presión exterior p_0, el cual es encerrado por el tapón de mercurio. Haciendo evacuar aire por el lado abierto la presión p en la columna de aire disminuye y se puede determinar el volumen V incrementado de la columna de aire para diferentes valores de la presión p. La evaluación verifica la relación

$$p \cdot V = p_0 \cdot V_0 \text{ para } T = \text{ const. (Ley de Boyle-Mariotte)}$$

En el experimento P2.5.2.2 el termómetro de gas se encuentra en un baño de agua temperado el cual se enfría lentamente. El lado abierto está expuesto a la presión exterior, por esta razón la presión en la columna de aire permanece constante. Aquí se mide el volumen V de la columna de aire en función de la temperatura T del baño de agua. La evaluación permite verificar la relación

$$V : T \text{ para } p = \text{ const. (Ley de Gay-Lussac)}$$

En el experimento P2.5.2.3 se reduce constantemente la presión p de la columna de aire en el lado abierto evacuándolo hasta que el volumen V de la columna de aire permanezca constante aún cuando la temperatura disminuye. Se mide la presión p en la columna de aire en función de la temperatura T del baño de agua. La evaluación permite confirmar la relación

$$p : T \text{ para } V = \text{ const. (Ley de Amontons)}$$

CALOR ESPECÍFICO DE GASES

P2.5.3.1
Determinación del exponente adiabático c_p/c_V del aire según Rüchardt

P2.5.3.2
Determinación de los exponentes adiabáticos c_p/c_V de diferentes gases con el aparato de resonancia de columna de gas

Determinación del exponente adiabático c_p/c_V del aire según Rüchardt (P2.5.3.1)

N° de cat.	Descripción	P2.5.3.1	P2.5.3.2
371 051	Tubo de oscilación con botella de Mariot	1	
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	
317 20	Barómetro aneroide de precisión	1	
590 06	Jarra de plástico, 1000 ml	1	
675 3120	Vaselina, 100 g	1	
371 07	Aparato de resonancia de columna de gas		1
531 120	Multímetro LDanalog 20		1
522 561	Generador de funciones P		1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño		1
660 980	Válvula reguladora de gas		1
660 985	Botella de gas Minican Neón		1
660 999	Botella de gas Minican Dióxido de car		1
665 255	Llave de tres pasos, forma T		1
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m		1
604 481	Tubo de goma, Ø 4/7 mm		1
604 510	Empalme de goma PP, 4...15mm		1
500 422	Cable de experimentacion 50 cm azul		1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul		1

En los cambios de estado adiabáticos para la presión p y el volumen V de un gas se cumple la relación:

$$p \cdot V^{\kappa} = \text{const.}$$

en donde el exponente adiabático

$$\kappa = \frac{c_p}{c_V}$$

es la relación de los calores específicos c_p and c_V del gas.

En el experimento P2.5.3.1 se determina el exponente adiabático del aire a partir del periodo de oscilación de una bola que encierra hacia arriba un volumen de gas en un tubo de ascensión, vertical, y que causa cambios adiabáticos del gas alrededor de la posición de reposo: En la posición de reposo la fuerza del peso y la fuerza resultante de la presión del gas encerrado se encuentran en equilibrio. Una desviación de la posición de reposo hace variar la presión

$$\Delta p = -\kappa \cdot p \cdot \frac{A \cdot \Delta x}{V}$$

A: sección transversal del tubo de ascensión

que hace que la esfera retorne a la posición de reposo. Por esta razón la esfera oscila con una frecuencia

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{\kappa \cdot p \cdot A^2}{m \cdot V}}$$

alrededor de su posición de reposo.

En el experimento P2.5.3.2 se determina el exponente adiabático con el aparato de resonancia de columna de gas. En este aparato un émbolo magnético cierra la columna de aire, la cuales excitada por un campo electromagnético alterno para producir oscilaciones forzadas. Aquí se busca la frecuencia propia f_0 del sistema, esto es, la frecuencia con la que el émbolo oscila con máxima amplitud. En lugar de aire también se puede llenar otros gases, por ej. dióxido de carbono y neón.

Determinar el exponente adiabático c_p/c_V de varios gases utilizando el aparato de resonancia elástica de gases (P2.5.3.2).

Efecto de Joule-Thomson (P2.5.4.1)

LOS GASES REALES

P2.5.4.1
Efecto de Joule-Thomson

N° de cat.	Descripción	P2.5.4.1
371 56	Joule-Thomson-aparato	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 045	Unidad Temperatura NiCr-Ni/NTC	1
666 216	Elemento thermoeléctrico NiCr-Ni	2
524 064	Sensor de presión S, ±2000 hPa	1
667 186	Tubo de goma para vacío, 8 mm Ø	1
667 184	Abrazaderas para manguera	1
661 017	Válvula reductora	1
661 018	Válvula reductora	1
664 569	Llave de horquilla par botella de gas a	1
661 0082	Botella de gas, dióxido de carbono, 2 l	1
661 0083	Botella de gas, nitrógeno, 2 l	1
661 021	Soporte para botella de gas de 2 l	1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

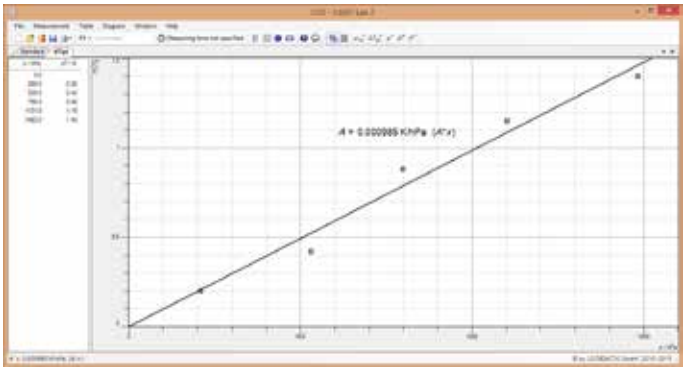
El efecto de Joule-Thomson ocurre cuando un gas real o una mezcla de gases experimenta un cambio en la temperatura por la reducción de la presión *p*. La fuerza y dirección del cambio de temperatura se describe por el coeficiente μ:

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H$$

$$H : \text{enthalpy} = \text{const.}$$

de Joule-Thomson.

En el experimento P2.5.4.1, el gas que fluye se regula a través de una membrana y se expande detrás de ella. El volumen ocupado por el gas puede aumentar detrás del obstáculo, por lo que se incrementa la distancia media de las partículas. Esto provoca un cambio en la temperatura del gas. En este experimento se mide la diferencia de presión y temperatura antes y después de la membrana.



Cambio de temperatura contra presión (P2.5.4.1)

MOTOR DE AIRE CALIENTE: EXPERIMENTOS CUALITATIVOS

P2.6.1.5
Funcionamiento del motor de aire caliente P como máquina térmica, bomba térmica y máquina frigorífica

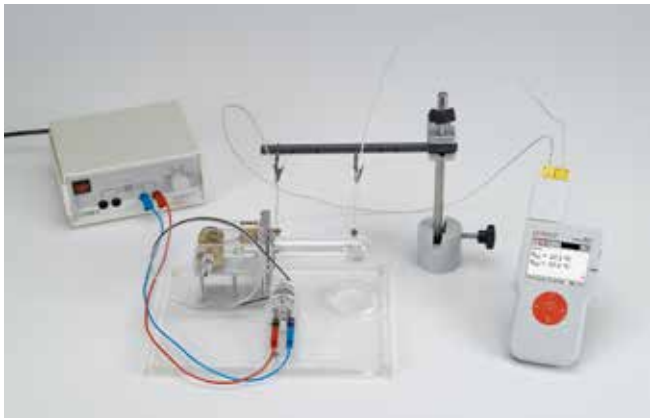
Funcionamiento del motor de aire caliente P como máquina térmica, bomba térmica y máquina frigorífica (P2.6.1.5)

N° de cat.	Descripción	P2.6.1.5
388 176	Motor de aire caliente P	1
303 22	Mechero de alcohol, metálico	1
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K	1
666 1261	Sonda rápida para gases y líquidos, tipo K	1
300 11	Zócalo	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm	1
340 89	Enchufe de acoplamiento 4 mm	2
501 861	Pinzas cocodrilo, desnudas, Juego de 6	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1

Al lado de la máquina de vapor, el motor de aire caliente (*R. Stirling*, 1816) es una de las máquinas térmicas más antiguas. Idealmente su ciclo termodinámico está compuesto de una compresión isotérmica a baja temperatura, una alimentación térmica isócora, una expansión isotérmica a alta temperatura y una entrega de calor isócora. Los émbolos desplazador y de trabajo están unidos a un cigüeñal mediante bielas motrices, en donde el émbolo desplazador se adelante al émbolo de trabajo en 90°. Mientras que el émbolo de trabajo se encuentra en el punto muerto superior (a), el émbolo desplazador se mueve hacia atrás y desplaza el aire hacia la parte caliente del cilindro. Aquí, el aire es calentado, se expande y empuja el émbolo de trabajo hacia abajo (b). Al mismo tiempo se entrega trabajo mecánico al disco volante. Mientras que el disco de trabajo se encuentra en el punto muerto inferior (c), el émbolo desplazador se mueva hacia delante y desplaza el aire hacia la parte fría del cilindro. El aire es enfriado y comprimido por el émbolo de trabajo (d). El trabajo mecánico lo suministra el disco volante.

El motor de aire caliente trabaja según el sentido de giro del cigüeñal como bomba térmica o máquina frigorífica, si su rueda volante es accionada mecánicamente o desde el exterior. Si el émbolo se mueve hacia atrás mientras que el émbolo de trabajo se encuentra en el punto muerto inferior, éste desplaza al aire hacia la parte superior del cilindro. Finalmente, el aire es comprimido por medio del émbolo de trabajo y entrega calor a la cabeza del cilindro, es decir, el motor de aire caliente trabaja como bomba térmica. En el sentido de giro contrario, el aire se expande por el émbolo de trabajo; en caso se encuentre en la parte superior del cilindro, el motor de aire caliente trabaja como máquina frigorífica.

El experimento P2.6.1.5 estudia de manera cualitiva el funcionamiento del motor de aire caliente P como motor térmico. El motor de aire caliente P es un modelo transparente que muestra los conceptos básicos de la transformación energética. El motor de aire caliente P funciona con un quemador de alcohol y se transforma mediante un pequeño generador &t nbsp; la energía mecánica en un voltaje que se puede medir. Además, se muestra el funcionamiento del motor de aire caliente P como una bomba de calor y una máquina de refrigeración. Variando la velocidad del motor eléctrico, es decir, la potencia mecánica suministrada al motor de aire caliente P, se observa el impacto sobre la potencia de calefacción o refrigeración.



Funcionamiento del motor de aire caliente P como bomba de calor y refrigerador (P2.6.1.5)

Determinación calórica de las pérdidas por fricción del motor de aire caliente (P2.6.2.1)

MOTOR DE AIRE CALIENTE: EXPERIMENTOS CUANTITATIVOS

P2.6.2.1
Determinación calórica de las pérdidas por fricción del motor de aire caliente

P2.6.2.2
Determinación de la eficiencia del motor de aire caliente como máquina térmica

P2.6.2.3
Determinación de la eficiencia del motor de aire caliente como máquina frigorífica

N° de cat.	Descripción	P2.6.2.1	P2.6.2.2	P2.6.2.3
388 182	Motor de aire caliente	1	1	1
388 221	Accesorio para el motor de aire caliente	1	1	1
347 38	Motor de experimentación de 93 W	1		1
521 547	Fuente de alimentación CC 0 ... 30 V / 0 ... 5 A	1		1
575 471	Contador S	1	1	1
337 46	Barrera de luz en horquilla	1	1	1
501 16	Cable de unión, de 6 polos, 1,5 m	1	1	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1	1	1
382 35	Termómetro -10 ...+50°C	1	1	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1	2	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1	1	1
590 06	Jarra de plástico, 1000 ml	1	1	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1		1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1		1
388 181	Bomba de inmersion	1*	1*	1*
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V	1*	1*	1*
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	2*	2*	2*
604 3131	Cisterna de gollete ancho 10 l	1*	1*	1*
562 11	Núcleo en forma de U con yugo		1	
562 121	Dispositivo de sujeción con pinza de resorte		1	
562 21	Bobina de red con 500 espiras		1	
562 18	Bobina de tensión extrabaja de 50 espira		1	
531 120	Multímetro LDanalog 20		1	
531 130	Multímetro LDanalog 30		1	
314 141	Dinamómetro de precisión 1,0 N		1	
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø		1	
300 51	Varilla de soporte, doblada en 90°		1	
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		2	
342 63	Pesa 50 g		3	
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par		1	

N° de cat.	Descripción	P2.6.2.1	P2.6.2.2	P2.6.2.3
501 33	Cable de experimentación, 100 cm, negro		3	2
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A			1

* se requiere adicionalmente

El motor de aire caliente como máquina térmica toma de un reservorio 1 por ciclo una cantidad de calor Q_1 y genera un trabajo mecánico W y suministra a un reservorio 2 la diferencia $Q_2 = Q_1 - W$. El motor funciona, en el mismo sentido de giro, como máquina frigorífica si se aplica desde fuera un trabajo mecánico W sobre él. En ambos casos se debe considerar el trabajo W_F que se convierte en calor por ciclo debido al fricción del émbolo.
Frecuentemente los ciclos termodinámicos son descritos como curvas cerradas en un diagrama pV(p: presión, V: volumen). El trabajo tomado del sistema o aplicado al sistema según el sentido del ciclo corresponde a la superficie encerrada por la curva.
En el experimento P2.6.2.1 se determina el incremento de temperatura ΔT_F en el agua de refrigeración para determinar el trabajo de la fricción W_F, mientras que el motor de aire caliente es accionado por un motor eléctrico estando la cabeza del cilindro abierta.
En el experimento P2.6.2.2 se determina la eficiencia

$$\eta = \frac{W}{W + Q_2}$$

del motor de aire caliente como máquina térmica. El trabajo mecánico W por ciclo entregado en el eje, puede ser calculado a partir del momento de rotación externo N de un freno de Prony, que frena al motor de aire caliente al número de revoluciones f. La cantidad de calor entregada Q_2 corresponde a un incremento de temperatura ΔT en el agua de refrigeración.
En el experimento P2.6.2.3 se determina la eficiencia

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

del motor de aire caliente como máquina frigorífica. Con tal propósito el motor de aire caliente es accionado con un motor eléctrico estando la cabeza del cilindro cerrada y se determina Q_1 como la energía eléctrica de calentamiento que mantiene constante la temperatura de la cabeza del cilindro a la temperatura del ambiente.

MOTOR DE AIRE CALIENTE: EXPERIMENTOS CUANTITATIVOS

P2.6.2.4
El motor de aire caliente como máquina térmica: Registro y evaluación del diagrama pV con CASSY

El motor de aire caliente como máquina térmica: Registro y evaluación del diagrama pV con CASSY (P2.6.2.4)

N° de cat.	Descripción	P2.6.2.4
388 182	Motor de aire caliente	1
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1
562 121	Dispositivo de sujeción con pinza de resorte	1
562 21	Bobina de red con 500 espiras	1
562 18	Bobina de tensión extrabaja de 50 espira	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 082	Sensor de giro S	1
524 064	Sensor de presión S, ±2000 hPa	1
309 48	Sedal	1
352 08	Resorte helicoidal 25 N/m	1
501 33	Cable de experimentación, 100 cm, negro	2
388 181	Bomba de inmersion	1*
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V	1*
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	2*
604 3131	Cisterna de gollete ancho 10 l	1*
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

* se requiere adicionalmente

El motor de aire caliente como máquina térmica toma de un reservorio 1 por ciclo una cantidad de calor Q_1 y genera un trabajo mecánico W y suministra a un reservorio 2 la diferencia $Q_2 = Q_1 - W$. El motor funciona, en el mismo sentido de giro, como máquina frigorífica si se aplica desde fuera un trabajo mecánico W sobre él. En ambos casos se debe considerar el trabajo W_F que se convierte en calor por ciclo debido al fricción del émbolo.

Frecuentemente los ciclos termodinámicos son descritos como curvas cerradas en un diagrama pV(p: presión, V: volumen). El trabajo tomado del sistema o aplicado al sistema según el sentido del ciclo corresponde a la superficie encerrada por la curva.

En el experimento P2.6.2.4 se registra el diagrama pV del motor de aire calienta como máquina térmica con el sistema de adquisición de datos CASSY asistido por ordenador: un sensor mide la presión p en el cilindro en función del tiempo t y un transductor de desplazamiento mide la posición s, a partir de la cual se calcula el volumen encerrado. Los datos son representados directamente en un diagrama pV en la pantalla del ordenador. Para la evaluación subsiguiente se calcula, a partir del trabajo mecánico realizado por la fricción del émbolo

$$W = -\int p \cdot dV$$

en un ciclo, la potencia mecánica

$$P = W \cdot f$$

f: número de revoluciones en marcha al vacío

y la representa en un diagrama en función del número de revoluciones para la marcha en vacío.

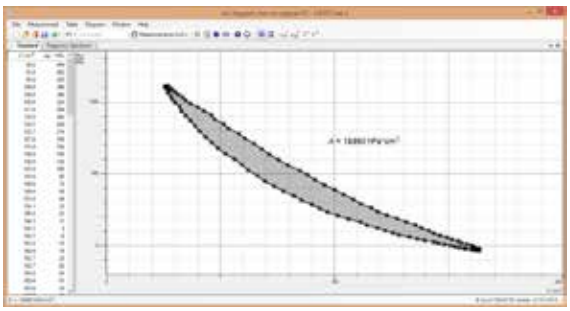


Diagrama pV del motor de aire caliente (P2.6.2.4)

Determinación del índice de rendimiento de la bomba térmica en función de la diferencia de temperaturas (P2.6.3.1)

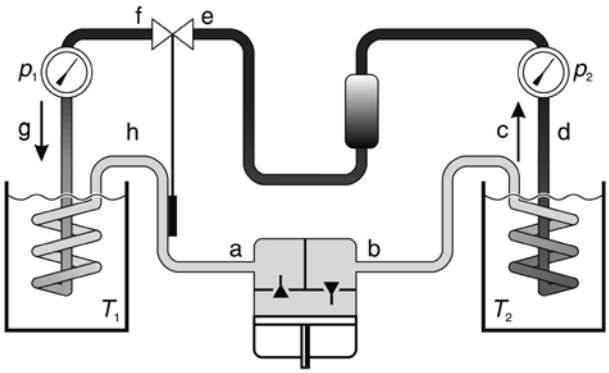
LA BOMBA TÉRMICA

P2.6.3.1
Determinación del índice de rendimiento de la bomba térmica en función de la diferencia de temperaturas

P2.6.3.2
Estudio de la función de la válvula de expansión de la bomba térmica

P2.6.3.3
Análisis del ciclo de la bomba térmica con el diagrama de Mollier

N° de cat.	Descripción	P2.6.3.1	P2.6.3.2	P2.6.3.3
389 521	Bomba de calor PT	1	1	1
531 831	Juliómetro y vatímetro	1		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1	1
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K	1	1	1
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm	2	2	3
313 12	Cronometro digital manual	1	1	1



Bomba de calor (389 521) con representación esquemática de sus elementos funcionales (P2.6.3.1)

Una bomba térmica toma calor de un reservorio de temperatura T_1 al evaporarse un medio refrigerante y entrega calor a un reservorio de temperatura T_2 al condensarse el refrigerante. Para ello se calienta un refrigerante (en estado gaseoso) en un compresor (a-b) mediante una compresión. El refrigerante se condensa en el licuefactor (c-d) y entrega el calor de condensación liberado ΔQ_2 al reservorio T_2. El refrigerante licuefactado es filtrado y pasa sin burbujas a la válvula de expansión (e-f). En esta se dosifica el suministro de refrigerante al evaporizador (g-h). En el evaporizador el refrigerante pasa nuevamente a la fase gaseosa, tomando del reservorio T_1 el calor de compensación ΔQ_1 requerido.

El objetivo de ensayo P2.6.3.1 es la determinación del índice de rendimiento

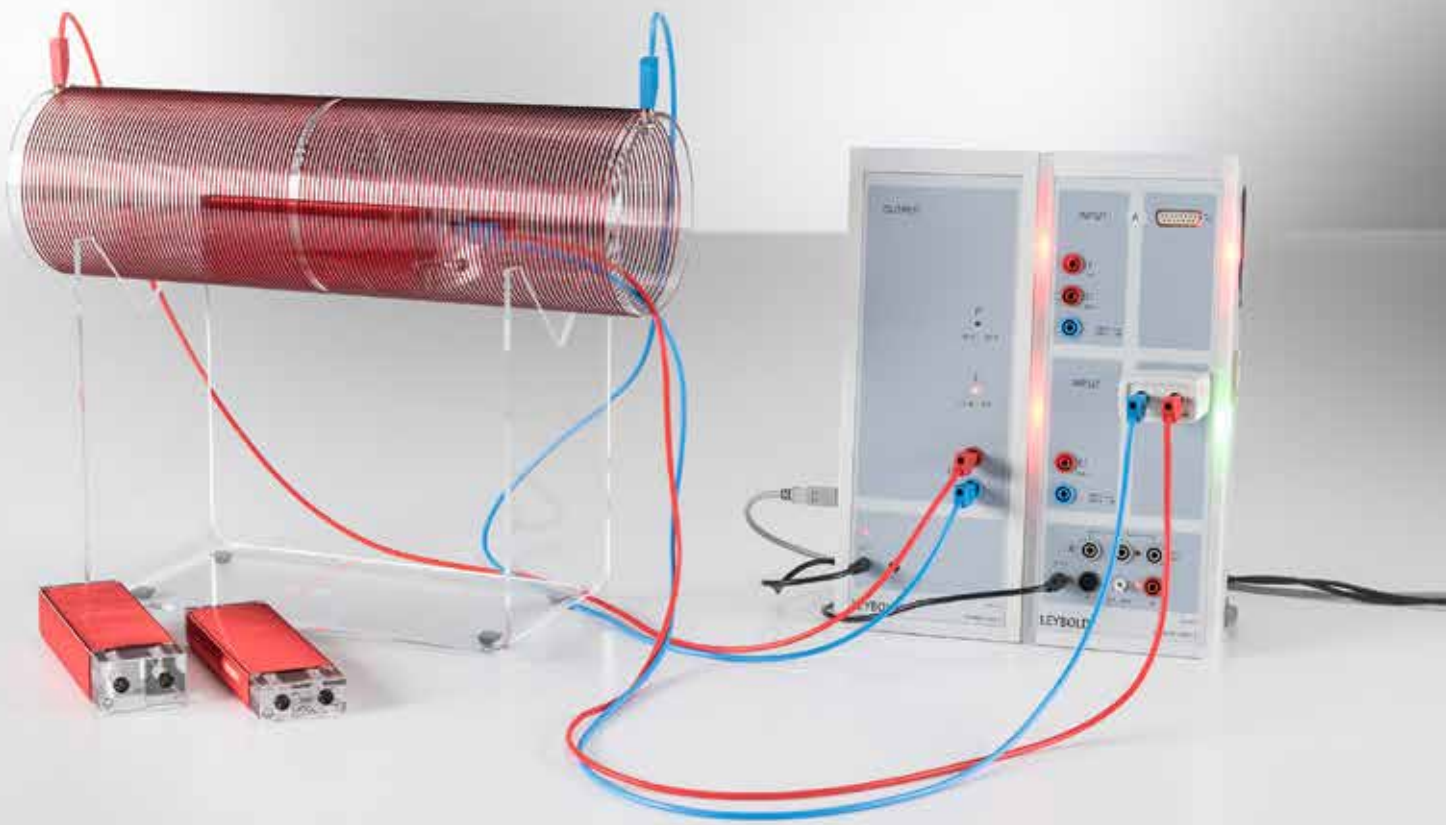
$$\varepsilon = \frac{\Delta Q_2}{\Delta W}$$

de la bomba térmica en función de la diferencia de temperatura $\Delta T = T_2 - T_1$. Del calentamiento del reservorio de agua T_2 se determina la cantidad de calor ΔQ_2 entregada y con un juliómetro y vatímetro se determina la energía eléctrica utilizada ΔW.

En el experimento P2.6.3.2 se registran las temperaturas T_f y T_h en las salidas de la válvula de expansión y del evaporador. Si el valor de la diferencia de ambas temperaturas está por debajo de un cierto valor límite, la válvula de expansión estrangula la alimentación del refrigerante hacia el evaporador. De esta manera se garantiza que el refrigerante en el evaporador siempre se evapore completamente.

En el experimento P2.6.3.3 se grafica un diagrama de Mollier. En este diagrama se representa la presión p en función de la entalpía específica h del refrigerante siendo muy útil para seguir las transformaciones energéticas que se dan en la bomba térmica. De las presiones p_1 y p_2 en el evaporador y licuefactor y de las temperaturas T_a, T_b, T_e y T_f del refrigerante se determinan las entalpías respectivas h_a, h_b, h_e y h_f. También se miden las cantidades de calor ΔQ_2 y ΔQ_1 entregadas y tomadas por unidad de tiempo. De aquí se determina la cantidad de refrigerante procesado Δ</FONT>*m*</I> por unidad de tiempo.

P3.4.3.2

Medición de la tensión de inducción en un lazo conductor con un campo magnético variable - con PowerCASSY como fuente de corriente variable

Para más información sobre este experimento, vaya a la página 105.