P3 ELECTRICIDAD

P3.1 ELECTROSTÁTICA 81

P3.2 FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD 93

P3.3 MAGNETOSTÁTICA 98

P3.4 INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA 103

P3.5 MÁQUINAS ELÉCTRICAS 109

P3.6 CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA Y ALTERNA 112

P3.7 OSCILACIONES ELECTROMAGNÉTICAS Y ONDAS 118

P3.8 PORTADORES DE CARGA MOVIÉNDOSE EN EL VACIO 124

P3.9 CONDUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN GASES 127

P3 ELECTRICIDAD

P3.1 ELECTROSTÁTICA
P3.1.1 Experimentos básicos de electrostática 81
P3.1.2 Ley de Coulomb 82-83
P3.1.3 Líneas de fuerza y líneas equipotenciales 84-85
P3.1.4 Interacción eléctrica 86-87
P3.1.5 Distribuciones de cargas en conductores eléctricos 88
P3.1.6 Definición de capacitancia eléctrica 89
P3.1.7 Condensador de placas 90-92

P3.2 FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD
P3.2.2 Ley de Ohm 93
P3.2.3 Ley de Kirchhoff 94-95
P3.2.4 Circuitos con instrumentos de medición eléctricos 96
P3.2.5 Conducción de electricidad por electrólisis 97

P3.3 MAGNETOSTÁTICA
P3.3.1 Experimentos básicos de magnetostática 98
P3.3.3 Interacción magnética 99-100
P3.3.4 Ley de Biot-Savart 101-102

P3.4 INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA
P3.4.1 Impulso de tensión 103
P3.4.2 Inducción en un lazo conductor en movimiento 104
P3.4.3 Inducción causada por un campo magnético variable 105
P3.4.5 Transformador 106-107
P3.4.6 Medición del campo magnético de la tierra 108

P3.5 MÁQUINAS ELÉCTRICAS
P3.5.2 Generadores eléctricos 109
P3.5.3 Motores eléctricos 110
P3.5.4 Máquinas de corriente trifásica 111

P3.6 CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA Y ALTERNA
P3.6.1 Circuito con condensador 112
P3.6.2 Circuito con bobina 113
P3.6.3 Resistencias de corriente alterna 114
P3.6.4 Circuitos de medición con puente 115
P3.6.6 Trabajo eléctrico y potencia eléctrica 116-117

P3.7 OSCILACIONES ELECTROMAGNÉTICAS Y ONDAS
P3.7.1 Circuito de oscilación electromagnético 118
P3.7.2 Ondas decimétricas 119
P3.7.3 Propagación de ondas decimétricas en líneas 120
P3.7.4 Microondas 121
P3.7.5 Propagación de microondas en líneas 122
P3.7.6 Característica direccional de la radiación dipolar 123

P3.8 PORTADORES DE CARGA MOVIÉNDOSE EN EL VACIO
P3.8.3 Tubo con cruz de Malta 124
P3.8.4 Tubo de Perrin 125
P3.8.5 Tubo de Thomson 126

P3.9 CONDUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN GASES
P3.9.2 Descarga de gases con presión reducida 127

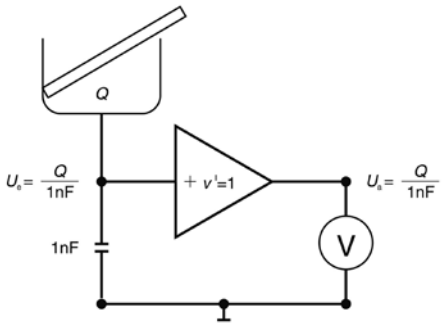
Experimentos básicos de electrostática con el electrómetro amplificador (P3.1.1.2)

EXPERIMENTOS BÁSICOS DE ELECTROSTÁTICA

P3.1.1.2
Experimentos básicos de electrostática con el electrómetro amplificador

N° de cat.	Descripción	P3.1.1.2
532 14	Amplificador de electrómetro	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1
578 25	Condensador 1 nF, 160 V	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1
532 16	Barra de conexión	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1
541 00	Varillas de frotación, PVC y vidrio acrílico	1
541 22	Paño de cuero	1
686 63	Bolsas de polietileno (cargada por frotamiento), juego de 10	1
546 12	Vaso de Faraday	1
590 011	Enchufe de sujeción	1
542 51	Placa de influencia 8 cm x 4 cm	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1
500 424	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, negro	1
666 711	Quemador de cartucho de gas Butano	1*
666 712ET3	Cartucho de butano, 190 g, juego de 3	1*

* se requiere adicionalmente



Medición de la carga con el amplificador del electrómetro (P3.1.1.2)

El electrómetro amplificador es un transductor de impedancia. Se caracteriza por tener una impedancia de entrada extremadamente alta ($\geq 10^{13}\ \Omega$) y una impedancia de salida baja ($\leq 1\ \Omega$). Este dispositivo es apropiado para medir cargas muy pequeñas si la entrada está conectada a un circuito capacitivo y si se emplea un vaso de Faraday para la acumulación de cargas. Aquí se pueden realizar experimentos con bastante confiabilidad sobre electricidad por contacto y electricidad por fricción.

En el experimento P3.1.1.2 se estudia la separación de cargas por fricción entre dos materiales: Se demuestra que un material porta las cargas positivas y el otro las cargas negativas, en donde el valor absoluto de las cargas es la misma. Si se miden simultáneamente las cargas de ambos materiales, entonces el efecto de los mismos desaparece. El signo de las cargas de uno de los materiales no sólo depende de la sustancia misma, sino también de la sustancia del otro material.

LEY DE COULOMB

P3.1.2.2
Verificación de la ley de Coulomb - Medición con el sensor de fuerzas

Verificación de la ley de Coulomb - Medición con el sensor de fuerzas (P3.1.2.2)

N° de cat.	Descripción	P3.1.2.2
314 263	Juego de cuerpos electrostáticos	1
337 00	Carro de medición	1
460 82	Riel métalico de precisión, 50 cm	1
460 95	Jinetillo con pinza	2
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 N	1
521 721	Fuente de alimentaticion de alta tension	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm	1
300 11	Zócalo	1
590 02	Soporte con muelle prensor	1
532 14	Amplificador de electrómetro	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1
578 25	Condensador 1 nF, 160 V	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1
546 12	Vaso de Faraday	1
590 011	Enchufe de sujeción	1
532 16	Barra de conexión	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1
500 424	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, negro	1
501 42	Cable de experimentación, 100 cm, amaril	1
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1
500 640	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, amarillo/verde	1

Entre dos cargas eléctricas puntuales Q_1 y Q_2 separadas una distancia r actúa una fuerza que esta dada por la ley de Coulomb

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$\text{con } \varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \text{ (constante dieléctrica del vacío)}$$

La misma fuerza actúa entre dos esferas cargadas, si la distancia r entre los centros de las esferas es mucho mayor que el diámetro de las esferas, de tal manera que no sea influenciada la distribución homogénea de las cargas de las esferas. Es decir, en esta geometría se puede suponer que las esferas son puntos.

La fuerza entre dos esferas cargadas también se puede medir con un sensor de fuerzas. Este consiste de dos elementos de flexión en paralelo con cuatro bandas extensiométricas conectadas en un circuito de puente, sus resistencias eléctricas cambian cuando se aplica una carga. La variación de las resistencias es proporcional a la fuerza actuante.

Para la medición asistida por ordenador de la fuerza de Coulomb entre dos esferas cargadas se debe conectar el sensor de fuerzas a la interfaz CASSY. Además, para medir la distancia entre las esferas cargadas se debe implementar un sensor de movimiento (Sensor de giro S).

En el experimento P3.1.2.2 el sensor de fuerzas está conectado a un instrumento de medición que directamente indica la carga medida. No se requiere calibración alguna. Aquí se mide la fuerza de Coulomb en función de la distancia r entre los centros de las esferas, que va desde la carga Q_1 de la primera bola hasta la carga Q_2 de la segunda bola. Las cargas de las esferas se miden con el electrómetro amplificador conectado como medidor de coulombios. La medición y la evaluación se realizan punto a punto. El objetivo de la evaluación es la verificación de las proporcionalidades

$$F \propto \frac{1}{r^2}, \quad F \propto Q_1 \text{ y } F \propto Q_2$$

y el cálculo de la constante dieléctrica del vacío $\varepsilon_{0<}$/SUB>.

Verificación de la ley de Coulomb - Registro y evaluación con CASSY (P3.1.2.3)

LEY DE COULOMB

P3.1.2.3
Verificación de la ley de Coulomb - Registro y evaluación con CASSY

N° de cat.	Descripción	P3.1.2.3
314 263	Juego de cuerpos electrostáticos	1
337 00	Carro de medición	1
460 82	Riel métalico de precisión, 50 cm	1
460 95	Jinetillo con pinza	2
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 N	1
524 082	Sensor de giro S	1
521 721	Fuente de alimentaticion de alta tension	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm	1
300 11	Zócalo	1
590 02	Soporte con muelle prensor	1
532 14	Amplificador de electrómetro	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1
578 25	Condensador 1 nF, 160 V	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1
546 12	Vaso de Faraday	1
590 011	Enchufe de sujeción	1
532 16	Barra de conexión	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
337 04	Pesas de impulsión, juego	1
301 07	Mordaza de mesa, sencilla	1
309 48	Sedal	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1
500 424	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, negro	1
501 43	Cable de experimentación, 200 cm, amaril	1

N° de cat.	Descripción	P3.1.2.3
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1
500 640	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, amarillo/verde	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

Para la medición asistida por ordenador de la fuerza de Coulomb entre dos esferas cargadas se debe conectar el sensor de fuerzas a la interfaz CASSY. Además, para medir la distancia entre las esferas cargadas se debe implementar un sensor de movimiento (Sensor de giro S).

En el experimento P3.1.2.3 se utiliza el programa CASSY Lab para registrar y evaluar los valores medidos. Aquí se mide la fuerza de Coulomb para diferentes cargas Q_1 y Q_2 de ambas esferas en función de la distancia r. Las cargas de las esferas se miden con el electrómetro amplificador conectado como medidor de coulombios. El objetivo de la evaluación es la verificación de la proporcionalidad

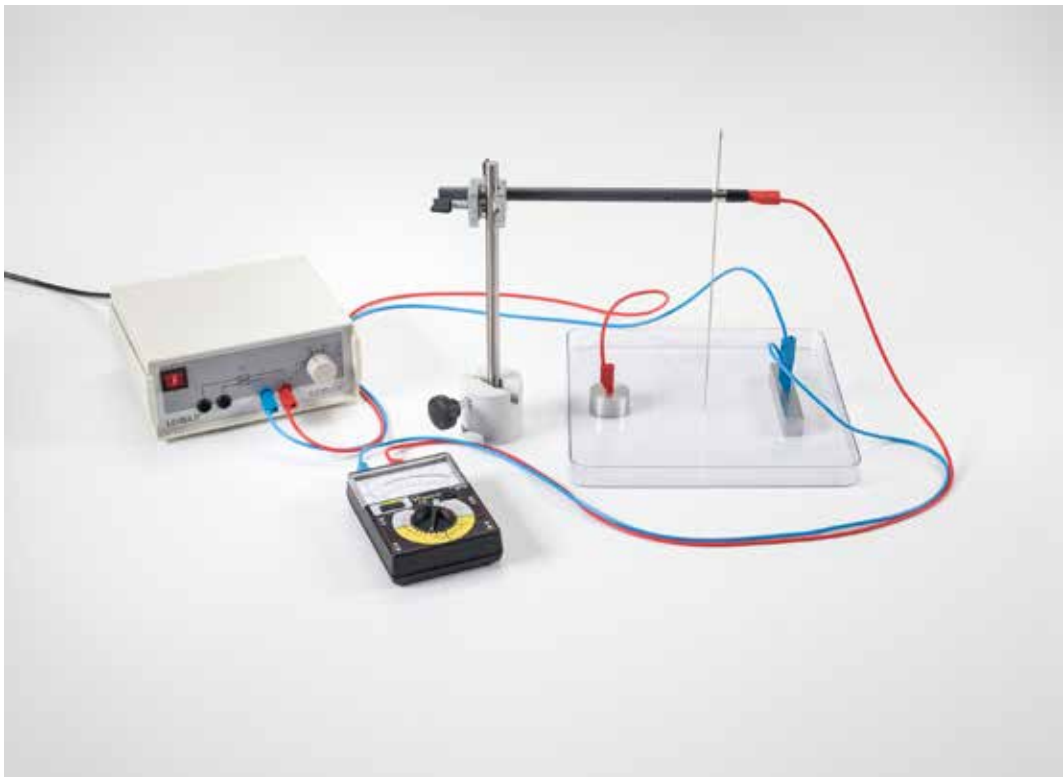
$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

y el cálculo de la constante dieléctrica del vacío $\varepsilon_{0<}$/SUB>.

LÍNEAS DE FUERZA Y LÍNEAS EQUIPOTENCIALES

P3.1.3.1
Representación de las líneas de campo eléctrico

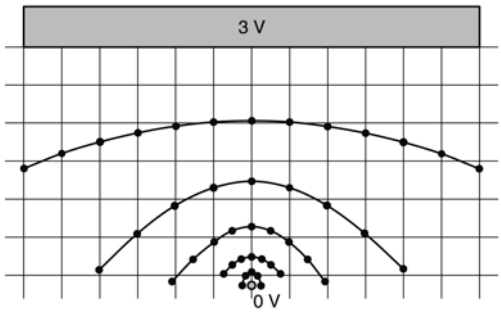
P3.1.3.2
Representación de las líneas equipotenciales de campos eléctricos



Representación de las líneas equipotenciales de campos eléctricos (P3.1.3.2)

N° de cat.	Descripción	P3.1.3.1	P3.1.3.2
541 06	Equipo para líneas de campo eléctrico	1	
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	2	
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	
MIK 747085	BMS SyncCam 12MP	1*	
545 09	Cubeta electrolítica		1
501 861	Pinzas cocodrilo, desnudas, Juego de 6		1
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V		1
531 120	Multímetro LDanalog 20		1
686 66	Aguja de acero		1
590 011	Enchufe de sujeción		1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm		1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		1
300 11	Zócalo		1
501 461	Par de cables, 100 cm, negro		2
	Adicionalmente se requiere: Computadora o aparato de visualización de imágenes	1	

* se requiere adicionalmente



Ejemplo de medición: líneas equipotenciales alrededor de la punta de una aguja (P3.1.3.2)

El efecto de fuerza mutua entre las cargas eléctricas puede ser descrito por un campo eléctrico. El campo eléctrico está también presente aún si no es detectado por la fuerza sobre una carga de prueba. Este puede ser descrito con líneas de campo que siguen la dirección de las líneas de campo eléctrico. El curso de las líneas de campo está determinado por el ordenamiento espacial de cargas que generan el campo.

En un corte bidimensional a través de un campo eléctrico, los puntos del mismo potencial conforman una línea. El curso de tales líneas equipotenciales, como el curso de las líneas de campo, está determinado por el ordenamiento espacial de las cargas eléctricas que generan el campo eléctrico.

Usando una muestra inflamable, el potencial eléctrico alrededor de un objeto cargado eléctricamente puede ser investigado en las tres dimensiones y las superficies equipotenciales también se pueden determinar.

En el experimento P3.1.3.1 se emplean granos de arena en una cubeta llena de aceite para representar las líneas de campo. Los granos de arena se orientan en el campo eléctrico y se ordenan encadenas a lo largo de las líneas de campo. Para generar campos eléctricos con distintas distribuciones espaciales se dispone de 4 pares de electrodos diferentes montados debajo de la cubeta y en los cuales se aplica una alta tensión de 10 kV. Se trata de imágenes de secciones transversales de: dos esferas, una bola delante de una placa, un condensador de placas paralelas y un condensador esférico.

En el experimento P3.1.3.2 se miden las líneas equipotenciales para diferentes cuerpos cargados. A tal fin se aplica una tensión al par de electrodos situados en una cubeta electrolítica llena de agua destilada. Para evitar los desplazamientos del potencial por electrólisis en los electrodos se trabaja con voltaje alterno. Un voltímetro mide la diferencia de potencial entre el electrodo de 0 V y una aguja de acero sumergida en el agua. Para representar las líneas equipotenciales se busca los lugares con la misma diferencia de potencial para registrarlos en papel milimetrado. De esta manera es posible observar un corte bidimensional del campo eléctrico en: un condensador de placas, en un vaso de Faraday, en un dipolo, en una carga imagen y en una pequeña curvatura.

Medición del potencial alrededor de una esfera cargada (P3.1.3.4)

LÍNEAS DE FUERZA Y LÍNEAS EQUIPOTENCIALES

P3.1.3.3
Medición del potencial dentro de un condensador de placas

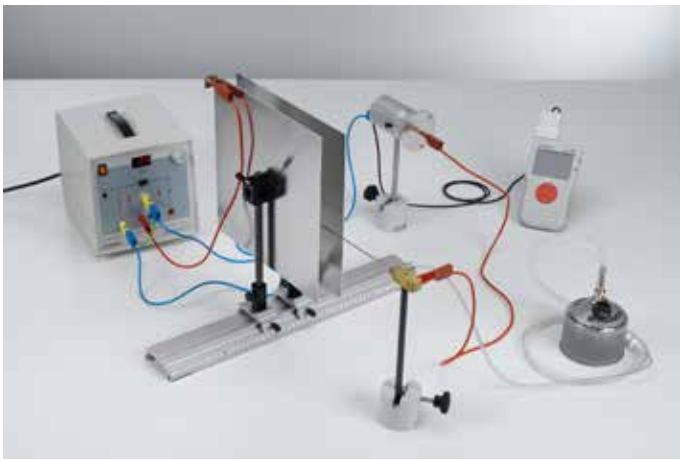
P3.1.3.4
Medición del potencial alrededor de una esfera cargada

N° de cat.	Descripción	P3.1.3.3	P3.1.3.4
524 080	Sensor del campo eléctrico S	1	1
540 540	Accesorios para el sensor del campo eléc	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	1
460 317	Banco óptico, S1 pérfil, 0,5 m	1	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	2	
300 11	Zócalo	2	3
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	2	
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1	
500 600	Cable de seguridad, 10 cm, amarillo/verd	1	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1	
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	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
667 193	Tubo PVC, 7 x 1,5 mm, 1 m	1	1
666 716	Válvula para cartucho de gas	1	1
666 715	Cartucho	1	1
543 021	Esfera sobre soporte aislante		1
500 95	6 Casquillos adaptador. de protección en		1

Usando una muestra inflamable, el potencial eléctrico alrededor de un objeto cargado eléctricamente puede ser investigado en las tres dimensiones y las superficies equipotenciales también se pueden determinar.

En el experimento P3.1.3.3 se estudia el potencial eléctrico de un condensador de placas. Las superficies equipotenciales paralelas a las placas del condensador son identificadas midiendo el potencial eléctrico en diferentes posiciones pero manteniendo la misma distancia a las placas del condensador. Además, la relación entre la variación del potencial eléctrico y la distancia a las placas del condensador es determinada y usada para calcular la intensidad de campo eléctrico.

El objetivo del experimento P3.1.3.4 es investigar el potencial eléctrico alrededor de una esfera cargada eléctricamente. Las superficies equipotenciales son capas esféricas concéntricas alrededor de la esfera cargada. Estas se identifican al medir el potencial eléctrico en diferentes posiciones pero manteniendo la misma distancia a la superficie de la esfera. Además, la relación entre la variación del potencial eléctrico y la distancia a la superficie de la esfera se determina y se usa para calcular la intensidad de campo eléctrico.



Medición del potencial dentro de un condensador de placa (P3.1.3.3)

INTERACCIÓN ELÉCTRICA

P3.1.4.2
Balanza de tensión de Kirchhoff: Medición de la fuerza entre las placas cargadas de un condensador de placas - Medición con el sensor de fuerzas

P3.1.4.3
Medición de la fuerza entre una esfera cargada y una placa de metal - Medición con el sensor de fuerzas

Balanza de tensión de Kirchhoff: Medición de la fuerza entre las placas cargadas de un condensador de placas - Medición con el sensor de fuerzas (P3.1.4.2)

N° de cat.	Descripción	P3.1.4.2	P3.1.4.3
516 37	Accesorios electrostáticos	1	1
516 31	Soporte de altura ajustable	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 N	1	1
314 265	Soporte de espira conductora	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	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
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1	
500 620	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, amarillo/verde	1	
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2	
541 00	Varillas de frotación, PVC y vidrio acrílico		1
541 22	Paño de cuero		1
500 440	Cable de experimentación 100 cm amarillo		1

En un campo eléctrico homogéneo la fuerza *F* sobre un cuerpo cargado es proporcional a la carga total *Q* y al campo eléctrico *E*. La fuerza viene dada por la relación

$$F = Q \cdot E$$

La fuerza en un campo eléctrico puede ser medida con un sensor de fuerzas conectado a un instrumento de medición. El sensor de fuerzas está compuesto de dos elementos de flexión montados en paralelo y con cuatro bandas extensométricas conectadas en puente, y que bajo carga cambian sus resistencias eléctricas. El cambio de las resistencias es proporcional a la fuerza actuante. El instrumento de medición indica directamente la fuerza que se está midiendo.

En el experimento P3.1.4.2 se monta una balanza de tensión de Kirchhoff para medir la fuerza

$$F = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{U^2}{d^2} \cdot A$$

$$\text{con } \varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \text{ (constante dieléctrica del vacío)}$$

entre las placas cargadas de un condensador de placas. La medición se lleva a cabo en función de la distancia *d* entre placas y de la tensión *U* para una determinada superficie *A* de placas. El objetivo de la evaluación es la verificación de las proporcionalidades

$$F \propto \frac{1}{d^2} \;\; y \;\; F \propto U^2$$

y la determinación de la constante dieléctrica del vacío ε_0.

En el experimento P3.1.4.3 se estudia experimentalmente el principio de la carga imagen. Con tal finalidad se mide la fuerza de atracción sobre una esfera cargada que está situada delante de una placa metálica. La fuerza corresponde a la fuerza de una carga igual situada a una distancia 2*d* al otro lado de la placa. Esta fuerza esta dada por

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{(2d)^2}$$

En primer lugar se mide la fuerza sobre una determinada carga *Q* en función de la distancia *d*. Finalmente se repite la medición con media carga. El objetivo del experimento es la verificación de las proporcionalidades

$$F \propto \frac{1}{d^2} \text{ y } F \propto Q^2$$

Medición de la fuerza sobre una carga eléctrica en un campo eléctrico homogéneo - Medición con el sensor de fuerzas (P3.1.4.4)

INTERACCIÓN ELÉCTRICA

P3.1.4.4
Medición de la fuerza sobre una carga eléctrica en un campo eléctrico homogéneo - Medición con el sensor de fuerzas

N° de cat.	Descripción	P3.1.4.4
544 22	Condensador de placas	1
314 263	Juego de cuerpos electrostáticos	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 N	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1
541 00	Varillas de frotación, PVC y vidrio acrílico	1
541 22	Paño de cuero	1
590 02	Soporte con muelle prensor	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1
500 640	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, amarillo/verde	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1

En el experimento P3.1.4.4 se deposita una carga *Q* sobre una plaquita metálica circular. La carga es la mayor carga posible obtenida por frotación de una varilla de plástico. La plaquita se encuentra en el campo eléctrico de un condensador de placas, paralela a éstas. Para verificar la proporcionalidad entre la fuerza y la intensidad de campo, se mide la fuerza *F* sobre la plaquita en función de la tensión del condensador, siendo conocida la distancia *d* entre placas. El campo eléctrico se obtiene de la relación

$$E = \frac{U}{d}$$

DISTRIBUCIONES DE CARGAS EN CONDUCTORES ELÉCTRICOS

P3.1.5.1
Estudio de la distribución de cargas sobre la superficie de conductores eléctricos

P3.1.5.2
Experimentos sobre influencia con las semiesferas de Cavendish

Experimentos sobre influencia con las semiesferas de Cavendish (P3.1.5.2)

N° de cat.	Descripción	P3.1.5.1	P3.1.5.2
543 071	Conductor cónico sobre soporte aislante	1	
546 12	Vaso de Faraday	2	
542 52	Plaquita de prueba de metal	1	
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	1	1
532 14	Amplificador de electrómetro	1	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1	1
578 25	Condensador 1 nF, 160 V	1	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1
590 011	Enchufe de sujeción	1	
532 16	Barra de conexión	1	1
540 52	Aislador de experimentación	1	
501 861	Pinzas cocodrilo, desnudas, Juego de 6	1	
300 11	Zócalo	1	3
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1	1
500 424	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, negro	1	1
501 42	Cable de experimentación, 100 cm, amaril	1	1
543 021	Esfera sobre soporte aislante		1
543 05	Par de hemisferios de Cavendish		1
340 89	Enchufe de acoplamiento 4 mm		1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		2
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		2
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm		1

En equilibrio estático, el interior de un conductor metálico o de un cuerpo hueco no contiene campos eléctricos y tampoco cargas eléctricas libres. Sobre la superficie conductora exterior se distribuyen las cargas libres, de tal manera que el campo eléctrico está distribuido por todo lugar perpendicular a la superficie y toda la superficie tiene el mismo potencial.

En el experimento P3.1.5.1, se recoge una carga eléctrica de una esfera metálica hueca cargada con una cuchara de carga y se mide con un medidor de culombio. Aquí se muestra que la densidad de carga es mayor, cuanto más pequeño es el radio de curvatura de la superficie. Además se verifica que del interior del cuerpo hueco no se puede tomar carga.

En el experimento P3.1.5.2 se lleva a cabo el histórico experimento de Cavendish. Sobre una base aislada se coloca una esfera de metal que está rodeada de dos semiesferas pero sin que estas se toquen. Si una de las semiesferas es cargada, entonces la carga se distribuye homogéneamente por ambas semiesferas, mientras que la esfera interior permanece sin carga. Si por el contrario se carga a la esfera interior y luego se la rodea con ambas semiesferas, entonces ambas semiesferas indican la misma carga; y la esfera interior, ninguna carga.

Determinación de la capacitancia de una esfera en el espacio libre (P3.1.6.1)

DEFINICIÓN DE CAPACITANCIA ELÉCTRICA

P3.1.6.1
Determinación de la capacitancia de una esfera en el espacio libre

P3.1.6.2
Determinación de la capacitancia de una esfera delante de una placa de metal

N° de cat.	Descripción	P3.1.6.1	P3.1.6.2
543 00	Juego de 3 esferas conductoras	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	1	1
532 14	Amplificador de electrómetro	1	1
562 791	Adaptador de alimentación, 12 V CA	1	1
578 25	Condensador 1 nF, 160 V	1	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1
546 12	Vaso de Faraday	1	1
590 011	Enchufe de sujeción	1	1
532 16	Barra de conexión	1	1
590 13	Varilla de soporte taladrada, 25 cm	1	1
300 11	Zócalo	2	3
500 610	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, amarillo/verde	1	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1	1
500 424	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, negro	1	1
501 43	Cable de experimentación, 200 cm, amaril	1	1
587 66	Placa de reflexión		1
501 861	Pinzas cocodrilo, desnudas, Juego de 6		1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø		1
501 33	Cable de experimentación, 100 cm, negro		1

La diferencia de potencial U de un conductor cargado, aislado, situado en el espacio libre, respecto a un punto de referencia situado en el infinito es proporcional a la carga Q del cuerpo. Se escribe

$$Q = C \cdot U$$

en donde C es la capacidad del cuerpo. Así por ejemplo la capacidad de una esfera cargada de radio r en el espacio libre es

$$C = 4\pi\varepsilon_0 \cdot r$$

pues la diferencia de potencial de la esfera cargada respecto a un punto de referencia situado en el infinito está dada por:

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$$

$$\text{con } \varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \text{(constante dieléctrica del vacío)}$$

En el experimento P3.1.6.1 se determina la capacidad de una esfera en el espacio libre, cargando primero una esfera con una alta tensión U conocida y luego midiendo su carga Q con un electrómetro amplificador conectado como medidor de coulombios. La medición se lleva a cabo con diferentes radios de esfera r. El objetivo de la evaluación es la confirmación de las proporcionalidades

$$Q \propto U \text{ y } C \propto r$$

En el experimento P3.1.6.2 se muestra que la capacidad de un cuerpo depende también de su entorno, como por ejemplo, de la distancia a otros conductores puestos a tierra. Para ello se colocan esferas de radio r, situadas a distancias s de la placa de metal puesta a tierra, para luego cargarlas con una alta tensión U. La capacidad de todo el montaje es entonces:

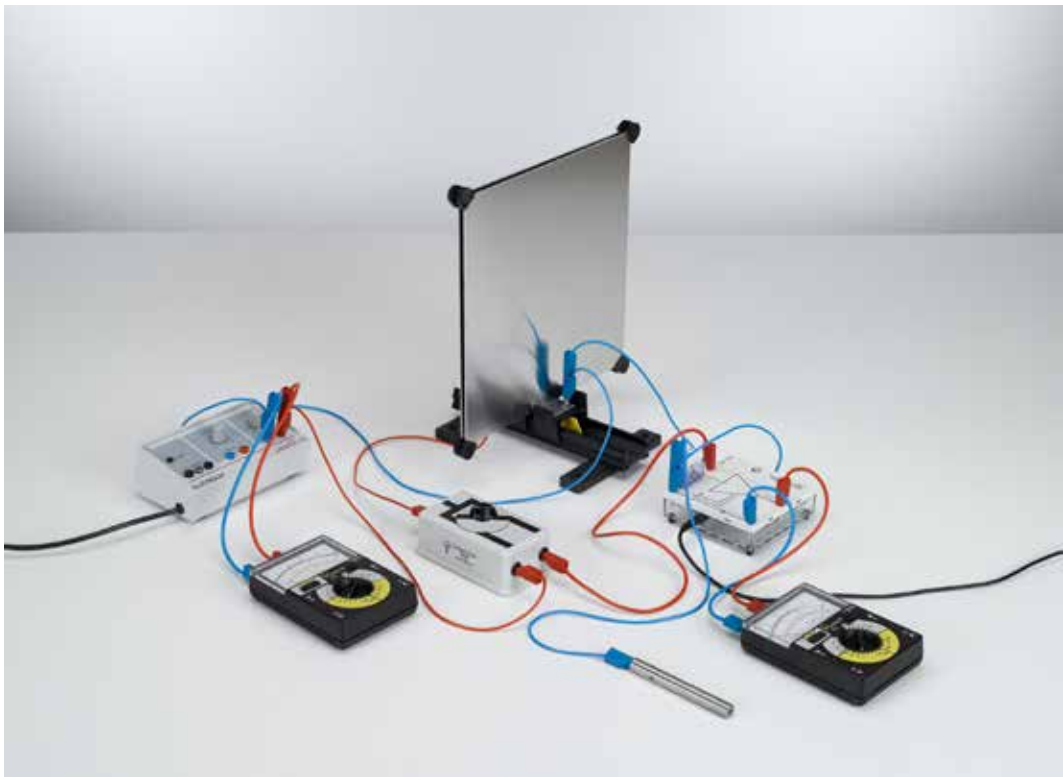
$$C = 4\pi\varepsilon_0 \cdot r \cdot \left(1 + \frac{r}{2s}\right)$$

El objetivo de la evaluación es la verificación de las proporcionalidades entre la carga Q y la diferencia de potencial U para una distancia s</EM> cualquiera de las esferas a la placa de metal.

CONDENSADOR DE PLACAS

P3.1.7.1
Determinación de la capacitancia de un condensador de placas - Medición de la carga con el amplificador de electrómetro

P3.1.7.2
Conexión en paralelo y en serie de condensadores - Medición de la carga con el amplificador de electrómetro



Determinación de la capacitancia de un condensador de placas - Medición de la carga con el amplificador de electrómetro (P3.1.7.1)

N° de cat.	Descripción	P3.1.7.1	P3.1.7.2
544 23	Condensador desmontable	1	1
522 27	Fuente de alimentación 450 V	1	1
504 48	Conmutador de inversión	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	2
532 14	Amplificador de electrómetro	1	1
578 10	Condensador 10 nF, 250 V	1	1
578 31	Condensador 0,1 µF, 100 V	1	1
532 16	Barra de conexión	1	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	4	5
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1	1

La forma más simple de construcción de un condensador es la de un condensador de placas. Su capacidad depende de la superficie de las placas A y de la distancia d entre ellas. Esta capacidad aumenta cuando se coloca un material entre las placas cuya constante dieléctrica es ε_r. La capacidad viene dada entonces por:

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

$$\text{con } \varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \ \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \text{ (constante dieléctrica del vacío)}$$

Esta relación es estudiada en el experimento P3.1.7.1 con una construcción de condensador de geometría variable. Aquí se dispone de condensadores de superficies A = 40 cm² y A = 80 cm² y de diferentes materiales dieléctricos que tienen forma de placas. La distancia entre placas se puede variar en pasos milimétricos.

En el experimento P3.1.7.2 se determina la capacidad total C del condensador montado, conectando ambos condensadores de placa en paralelo y luego en serie para una distancia fija entre placas para luego compararla con las capacidades C_1 y C_2 de cada uno. La evaluación verifica la conexión en paralelo de la relación

$$C = C_1 + C_2$$

y para la conexión en serie

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Determinación de la capacitancia de un condensador de placas - Medición de la carga con el amplificador D de medida I (P3.1.7.3)

CONDENSADOR DE PLACAS

P3.1.7.3
Determinación de la capacitancia de un condensador de placas
- Medición de la carga con el amplificador D de medida I

N° de cat.	Descripción	P3.1.7.3
544 22	Condensador de placas	1
522 27	Fuente de alimentación 450 V	1
504 48	Conmutador de inversión	1
532 00	Amplificador D de medida I	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	2
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	3
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1

En el cálculo de la capacidad de un condensador plano según la expresión

$$C = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

A: superficie de las placas

d: distancia entre placas

con $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$ (constante dieléctrica del vacío)

se desprecia una parte del campo eléctrico que sobresale por sobre el borde del condensador y el hecho de que la energía almacenada sea mayor para una diferencia de potencial entre las placas dadas. Así por ejemplo, para un condensador de placas, con una de ellas puesta a tierra, y una superficie

$$A = \pi \cdot r^2$$

la capacidad viene descrita por

$$C = \varepsilon_0 \left(\frac{\pi \cdot r^2}{d} + 3{,}7724 \cdot r + r \cdot \ln\left(\frac{\pi r}{d}\right) + K \right).$$

En el experimento P3.1.7.3 se mide, de la manera más precisa posible, la capacidad C de un condensador de placas en función de la distancia d entre placas. La medición se realiza en un condensador de placas de 13 cm de radio, cuya distancia entre placas se puede variar continuamente entre 0 y 70 mm. El objetivo de la evaluación es la representación de los valores medidos en la forma

$$C = f\left(\frac{1}{d}\right)$$

y su comparación con los valores teóricos.

CONDENSADOR DE PLACAS

P3.1.7.4
Medición de la intensidad de campo eléctrico dentro de un condensador de placas

P3.1.7.5
Medición de la intensidad de campo eléctrico dentro de un condensador de placas en función de dieléctricos

P3.1.7.6
Medición de la intensidad del campo de una esfera cargada frente a una placa conductora (Carga de imagen)

Medición de la intensidad de campo eléctrico dentro de un condensador de placas (P3.1.7.4)

N° de cat.	Descripción	P3.1.7.4	P3.1.7.5	P3.1.7.6
524 080	Sensor del campo eléctrico S	1	1	1
540 540	Accesorios para el sensor del campo eléc	1	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1		1
460 317	Banco óptico, S1 pérfil, 0,5 m	1	1	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	2	2	
500 600	Cable de seguridad, 10 cm, amarillo/verd	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
531 120	Multímetro LDanalog 20		1	
522 27	Fuente de alimentación 450 V		1	
504 45	Conmutador monopolar		1	
500 421	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, rojo		3	
500 422	Cable de experimentacion 50 cm azul		1	
500 442	Cable de experimentacion 100 cm azul		1	
543 021	Esfera sobre soporte aislante			1
311 02	Regla de metal, l = 1 m			1
300 11	Zócalo			2
500 95	6 Casquillos adaptador. de protección en			1

Con ayuda del medidor de campo eléctrico S, la intensidad de campo eléctrico *E* puede ser medida en un condensador de placas. La intensidad de campo eléctrico depende de la tensión aplicada *U* y de la distancia entre las placas del condensador:

$$E = \frac{U}{d}$$

Alternativamente, la intensidad de campo eléctrico *E* puede ser calculada a partir de la carga *Q* que recae sobre las placas del condensador:

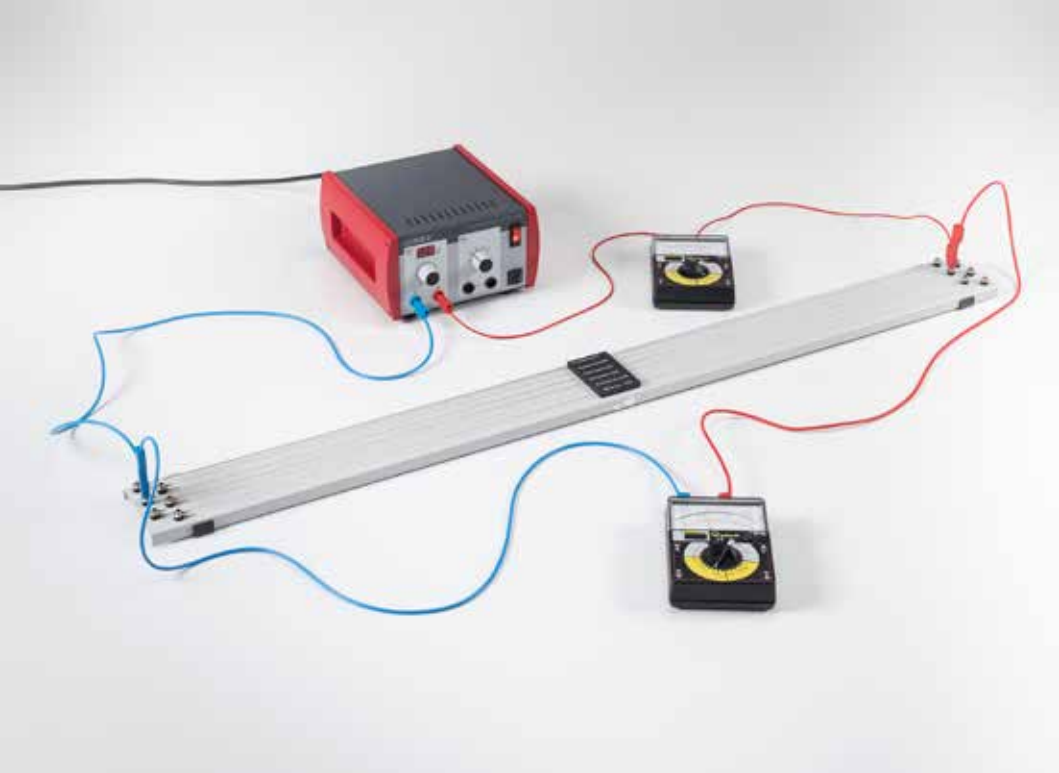
$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}$$

En esta relación, *E* depende del área de las placas *A* y también de la permitividad$_r$ del medio que se encuentra entre las placas del condensador.

En el experimento P3.1.7.4, la dependencia entre la intensidad de campo eléctrico E, la tensión aplicada *U* y la distancia entre las placas del condensador *d*, es determinada. Primero, manteniendo la distancia *d* a un valor constante, el valor de la tensión aplicada *U* es variado y la intensidad de campo eléctrico es medido. Luego, la tensión *U* se mantiene a un valor constante y la relación entre la intensidad de campo eléctrico *E* y se determina la distancia entre las placas del condensador d.

El objetivo del experimento P3.1.7.5 es investigar la influencia de la permitividad $\varepsilon_r$sobre la intensidad de campo eléctrica. Primero, manteniendo el voltaje aplicado *U* constante, un material dieléctrico (vidrio, plástico) es colocado entre las placas del condensador, y la intensidad de campo eléctrico es medida. Luego, el condensador ya cargado eléctricamente es desconectado de la fuente de energía. Finalmente, el material dieléctrico es retirado y la intensidad de campo eléctrico es medida una vez más.

En el experimento P3.1.7.6 se mide la intensidad de campo eléctrico sobre la superficie de una placa conductora, colocada a una distancia *r* de una esfera cargada eléctricamente. El gradiente de campo en la parte anterior del la placa es equivalente al caso cuando una esfera con carga opuesta es situada a una distancia dos veces mas larga (carga imagen). Esto conduce a que la intensidad de campo eléctrico se duplique en comparación a una esfera independiente.



Comprobación de la ley de Ohm y medición de resistencias específicas (P3.2.2.1)

LEY DE OHM

P3.2.2.1
Comprobación de la ley de Ohm y medición de resistencias específicas

P3.2.2.2
Comprobación de la ley de Ohm - Medición con CASSY

N° de cat.	Descripción	P3.2.2.1	P3.2.2.2
550 57	Aparato para mediciones de resistencia	1	
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	
501 25	Cable de experimentación, 50 cm, rojo	2	
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1	
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	2	
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10		2
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10		1
567 18	Placa de bobinado de alambre		1
550 46	Alambre de cromo-níquel, 0,25 mm Ø		1
579 331	Soporte enchufable STE		2
579 13	Interruptor basculante STE 2/19		1
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19		1
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		2
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros		1

En circuitos eléctricos de conductores metálicos se cumple la ley de Ohm con una muy buena aproximación:

$$U = R \cdot I$$

Es decir, la caída de tensión U en un conductor es proporcionala la corriente I del conductor. A la constante de proporcionalidad R se le denomina resistencia del conductor. Esta resistencia viene expresada por:

$$R = \rho \cdot \frac{s}{A}$$

ρ resistencia espicífica del material conductor
s longitud del alambre
A sección transversal del alambre

En el experimento P3.2.2.1 se verifica la proporcionalidad entre corriente y tensión en alambres metálicos diversos, de espesor y longitudes diferentes. También se calcula la resistencia específica del material de prueba.

En el experimento P3.2.2.2 se verifica la proporcionalidad entre corriente y tensión en alambre metálico mediante el sistema CASSY .

LEY DE KIRCHHOFF

P3.2.3.1
Medición de corriente y tensión en resistencias conectadas en paralelo y en serie

Medición de corriente y tensión en resistencias conectadas en paralelo y en serie (P3.2.3.1)

N° de cat.	Descripción	P3.2.3.1
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1
577 36	Resistencia 220 Ohmios, 1,4 W	1
577 38	Resistencia 330 Ohmios, 1,4 W	1
577 40	Resistencia 470 Ohmios, STE 2/19	1
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19	1
577 53	Resistencia 5,6 kOhmios, 1,4 W	1
577 56	Resistencia 10 kOhmios, STE 2/19	1
577 68	Resistencia 100 kOhmios, 0,5 W	1
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	1

Para el cálculo de corrientes y tensiones parciales en circuitos ramificados son fundamentales las leyes de Kirchhoff. La llamada ley de los nudos nos dice que la suma de todas las corrientes que llegan a un punto de ramificación es igual a la suma de todas las corrientes que salen de este punto. De acuerdo con la ley de mallas, en el recorrido de un lazo cerrado en un sentido cualquiera, la suma de todas las tensiones es cero. La aplicación de las leyes de Kirchhoff consiste en establecer un sistema de ecuaciones lineales cuyas soluciones son las corrientes y tensiones parciales.

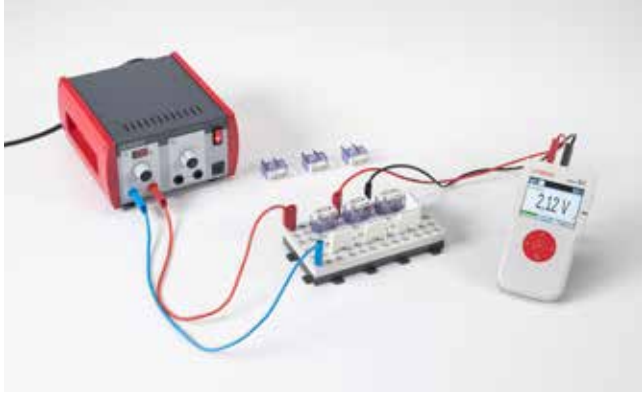
Normalmente para medir resistencias eléctricas se utiliza casi exclusivamente el circuito de puente elaborado por *Ch. Wheatstone* en 1843.

En el experimento P3.2.3.1 se verifica la validez de las leyes de Kirchhoff en circuitos de corriente con resistencias conectadas en paralelo y en serie. Se muestra que dos resistencias conectadas en serie tienen una resistencia total R

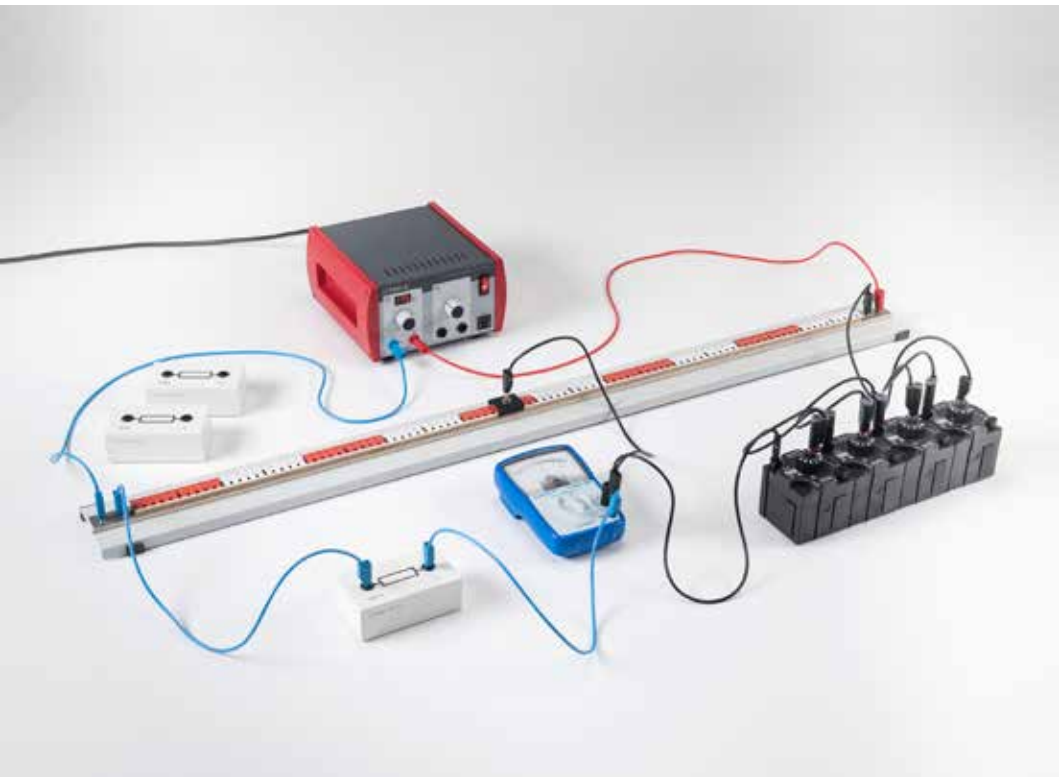
$$R = R_1 + R_2$$

mientras que para dos resistencias conectadas en paralelo la resistencia total R viene dada por la expresión

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



Medición de la corriente y el voltaje en una conexión en serie (P3.2.3.1)



Determinación de resistencias con el puente de Wheatstone (P3.2.3.4)

LEY DE KIRCHHOFF

P3.2.3.4
Determinación de resistencias con el puente de Wheatstone

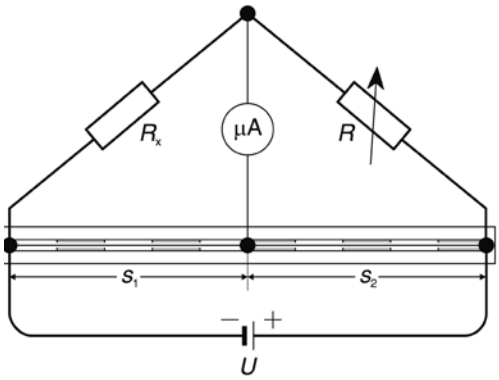
N° de cat.	Descripción	P3.2.3.4
536 02	Puente de medida	1
536 121	Resistencia de medida 10 Ohmios	1
536 131	Resistencia de medida 100 Ohmios	1
536 141	Resistencia de medida 1 kOhmio	1
536 776	Resistencia regulable por décadas 0...1	1
536 777	Resistencia regulable por décadas 0...10	1
536 778	Resistencia regulable por décadas 0...10	1
536 779	Resistencia regulable por décadas 0...1	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1
531 131	Galvanómetro PT 3204	1
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul	2
501 28	Cable de experimentación, 50 cm, negro	3
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	1

Normalmente para medir resistencias eléctricas se utiliza casi exclusivamente el circuito de puente elaborado por *Ch. Wheatstone* en 1843.

En el experimento P3.2.3.4 se aplica una tensión U a un alambre de 1 m de largo con sección transversal constante. Los extremos del alambre están unidos a una resistencia R_x desconocida y a una resistencia conocida R y variable conectada en serie a la anterior. Un contacto deslizante divide el alambre de medición en dos longitudes parciales s_1 y s_2. El contacto deslizante está unido con el punto nodal entre R_x y R a través de un amperímetro usado como instrumento indicador del cero. Si la corriente en el amperímetro es cero entonces se cumple que

$$R_x = \frac{s_1}{s_2} \cdot R$$

Para este montaje experimental la mayor precisión en la medición se alcanza cuando el montaje es simétrico, es decir, cuando el contacto deslizante se encuentra en la mitad del alambre, o mejor dicho, cuando s_1 y s_2 tienen la misma longitud.



Esquema de conexiones del puente de Wheatstone (P3.2.3.4)

CIRCUITOS CON INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN ELÉCTRICOS

P3.2.4.1
El amperímetro como resistencia óhmica en un circuito

P3.2.4.2
El voltímetro como resistencia óhmica en un circuito

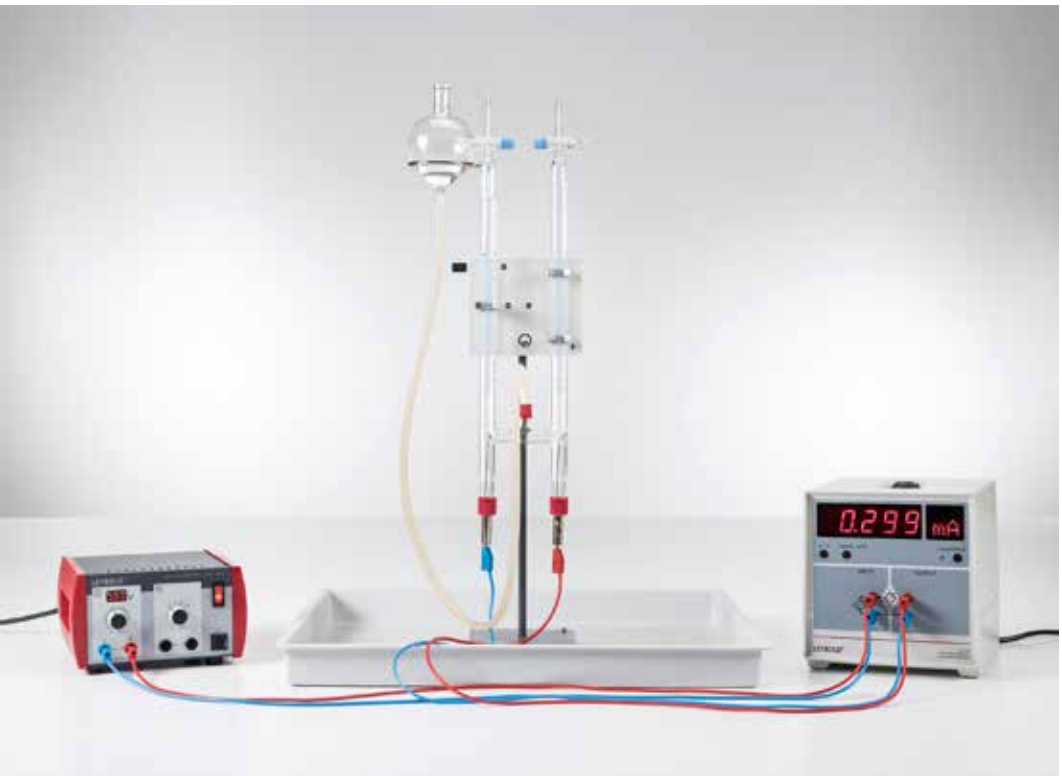
El amperímetro como resistencia óhmica en un circuito (P3.2.4.1)

N° de cat.	Descripción	P3.2.4.1	P3.2.4.2
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	1
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	1
577 33	Resistencia 82 Ohmios, 1,4 W	3	
577 52	Resistencia 4,7 kOhmios, STE 2/19	1	1
531 110	Multímetro LDanalog 10	2	2
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	3	3
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	3	3
577 75	Resistencia 680 kOhmios, 0,5 W		1
577 71	Ressitencia 220 kOhmios, 0,5 W		1

Una consecuencia importante de las leyes de Kirchhoff es el hecho de que la resistencia interna de los instrumentos de medición de corriente y tensión influye sobre la medición. Esto hace que un amperímetro aumente la resistencia total de un circuito eléctrico a causa de su propia resistencia interna y que por esta razón se mida una corriente más pequeña cuando la resistencia interna no es lo suficientemente pequeña como para ser despreciada. Un voltímetro mide una tensión más pequeña cuando su resistencia interna no es mayor que la resistencia en donde se mide la caída de tensión.

En el experimento P3.2.4.1 se determina la resistencia interna de un amperímetro midiendo la tensión que cae en el amperímetro durante la medición de la tensión. Por último se muestra que al conectar en paralelo al amperímetro una segunda resistencia cuyo valor concuerda con la resistencia interna, la desviación del amperímetro disminuye a la mitad, es decir, el rango de medición es ampliado al doble.

En el experimento P3.2.4.2 se determina la resistencia interna de un voltímetro midiendo la corriente que fluye a través de ella. Para ampliar el rango de medición al voltímetro se le conecta enserie una segunda resistencia de igual valor a su resistencia interna.



Determinación de la constante de Faraday (P3.2.5.1)

CONDUCCIÓN DE ELECTRICIDAD POR ELECTRÓLISIS

P3.2.5.1
Determinación de la constante de Faraday

N° de cat.	Descripción	P3.2.5.1
664 350	Aparato de Hofmann para electrólisis	1
382 35	Termómetro -10 ...+50°C	1
531 832	Multímetro digital P	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1
649 45	Bandeja 6 x 5 RE	1
674 7920	Acido sulfúrico, diluido, 500 ml	1

En una electrólisis los procesos de conducción están asociados con la precipitación de sustancias. La cantidad de sustancia precipitada es proporcional a la carga transportada Q que fluida hacia los electrolitos. Esta carga puede ser calculada por medio de la constante de Faraday F, una constante universal que está vinculada a la carga elemental e mediante el número de Avogadro N_A

$$F = N_A \cdot e$$

Si para la cantidad de sustancia se coloca el número de moles n y si se considera la valencia z de los iones precipitados se obtiene la relación

$$Q = n \cdot F \cdot z$$

En el experimento P3.2.5.1 se genera una determinada cantidad de hidrógeno con el aparato de Hofmann para determinar la constante de Faraday. Para los iones de hidrógeno la valencia z es igual a 1. El número de moles n de los átomos de hidrógeno precipitados se calcula con ayuda de la ecuación de gases ideales a partir del volumen V del hidrógeno molecular recolectado para una presión exterior p y una temperatura ambiente T:

$$n = 2 \cdot \frac{pV}{RT}$$

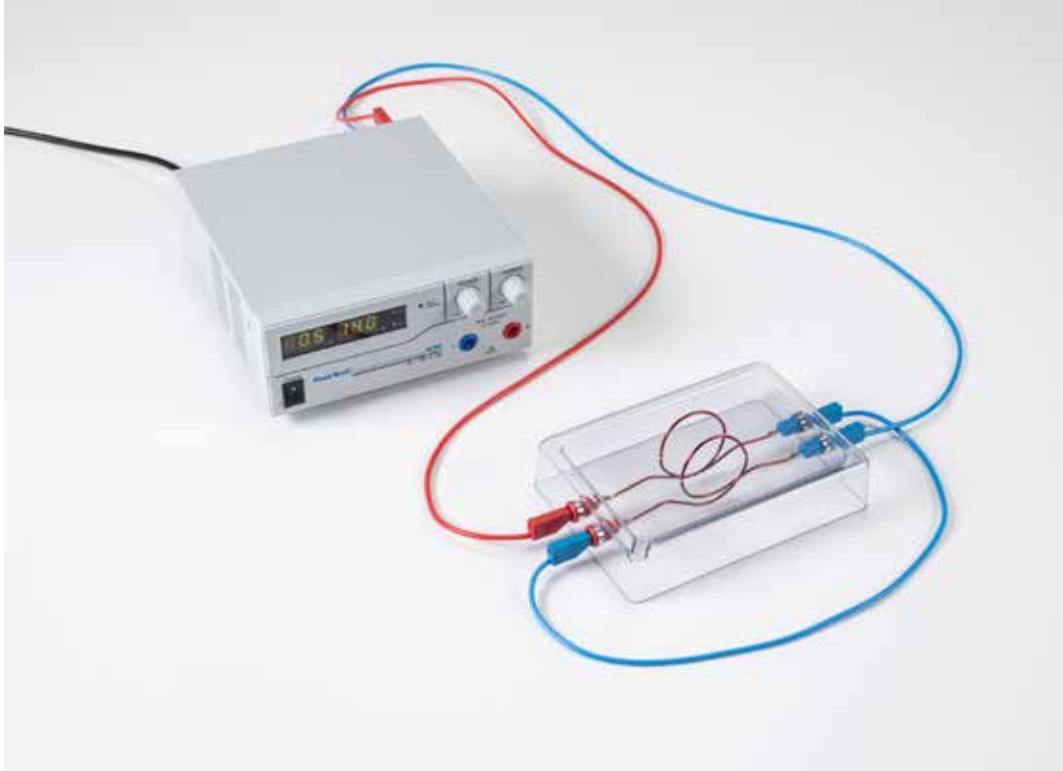
$$\text{con } R = 8{,}314 \ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \ \text{(constante universal de los gases)}$$

Simultáneamente se mide el trabajo eléctrico W que se aplica en la electrólisis manteniendo una tensión constante U_0. La cantidad de carga buscada resulta entonces de la relación:

$$Q = \frac{W}{U_0}$$

EXPERIMENTOS BÁSICOS DE MAGNETOSTÁTICA

P3.3.1.1
Representación de las líneas de campo magnético



Representación de las líneas de campo magnético (P3.3.1.1)

N° de cat.	Descripción	P3.3.1.1
560 701	Juego de Aparatos para demostracion de c	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul	1
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	1
MIK 747085	BMS SyncCam 12MP	1*
	Adicionalmente se requiere: Computadora o aparato de visualización de imágenes	1

* se requiere adicionalmente

En la magnetostática se estudia la distribución espacial de campos magnéticos en las inmediaciones de imanes permanentes y corrientes estacionarias, así como el efecto de la fuerza del campo magnético sobre imanes y corrientes. Aquí se pueden llevar a cabo experimentosbásicos con un equipo experimental muy simple.

Para representar campos magnéticos En el experimento P3.3.1.1 se utilizan limaduras de hierro dispersas sobre una superficie plana, para que estas se orienten a lo largo de las líneas de campo. De este modo se visualiza mejor el campo magnético de un conductor recto, el de un lazo conductor y el de una bobina.

Representación de las líneas de campo magnético (P3.3.1.1)

Medición de la fuerza sobre conductores con corriente eléctrica en el campo de un imán de herradura (P3.3.3.1)

INTERACCIÓN MAGNÉTICA

P3.3.3.1
Medición de la fuerza sobre conductores con corriente eléctrica en el campo de un imán de herradura

P3.3.3.2
Medición de la fuerza sobre conductores con corriente eléctrica en un campo magnético homogéneo - Registro con CASSY

N° de cat.	Descripción	P3.3.3.1	P3.3.3.2
510 22	Gran imán de herradura, incluye yugo	1	
314 265	Soporte de espira conductora	1	1
516 34	Juego de bucles conductores para la medi	1	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 N	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
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1	2
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	1	2
562 11	Núcleo en forma de U con yugo		1
562 14	Bobina de 500 espiras		2
562 25	Dispositivo adicional de zapata polar		1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
524 0431	Caja de 30 amperios		1
531 183	Multimetro Digital 3340		1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A		1
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul		3
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

A un sensor de fuerzas se sujetan lazos conductores para la medición de las fuerzas sobre conductores que transportan corriente y que están situados en un campo magnético. El sensor de fuerzas contiene dos elementos de flexión en paralelo con cuatro bandas extensométricas conectadas en puente, que bajo carga cambian su resistencia eléctrica de forma proporcional a la fuerza actuante. El sensor es conectado a la interface del sistema CASSY. Con el interfaz de la computadora CASSY se recomienda el uso de la unidad 30 Amperios para medir la corriente.

En el experimento P3.3.3.1 los lazos conductores se encuentran en el campo magnético de un imán de herradura. Aquí se mide la fuerza F en función de la intensidad de corriente I, de la longitud del conductor s y del ángulo α entre el campo magnético y el conductor. Se verifica la siguiente relación

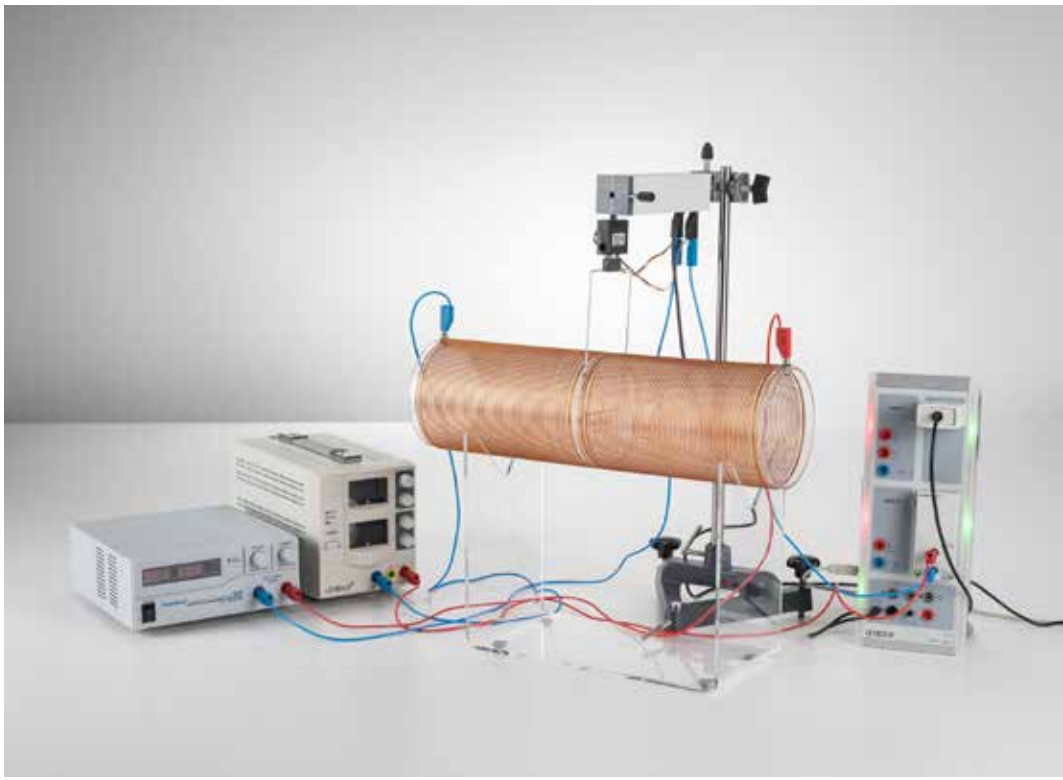
$$F = I \cdot s \cdot B \cdot \sin\alpha$$

En el experimento P3.3.3.2 se genera un campo magnético homogéneo mediante un electroimán con núcleo en U y un dispositivo adicional de zapata polar. Se mide la fuerza F en función de la intensidad de corriente I. Los resultados obtenidos de la medición con diferentes longitudes de conductor s se representan en conjunto en una gráfica para ser evaluados posteriormente.

INTERACCIÓN MAGNÉTICA

P3.3.3.3
Medición de la fuerza sobre conductores con corriente eléctrica en el campo magnético de una bobina - Registro con CASSY

P3.3.3.4
Mediciones básicas para la definición electrodinámica del amperio



Medición de la fuerza sobre conductores con corriente eléctrica en el campo magnético de una bobina - Registro con CASSY (P3.3.3.3)

N° de cat.	Descripción	P3.3.3.3	P3.3.3.4
314 265	Soporte de espira conductora	1	1
516 34	Juego de bucles conductores para la medi	1	
516 244	Bobina de excitación, 120 mm de diámetro	1	
516 249	Soporte para tubos y bobinas	1	
524 013	Sensor-CASSY 2	1	
524 220	CASSY Lab 2	1	
524 0431	Caja de 30 amperios	1	
524 060	Sensor de fuerza S, ±1 N	1	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1	
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	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
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul	1	1
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	2	1
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	2	1
516 33	Bucles conductores para la definición el		1
516 31	Soporte de altura ajustable		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	

A un sensor de fuerzas se sujetan lazos conductores para la medición de las fuerzas sobre conductores que transportan corriente y que están situados en un campo magnético. El sensor de fuerzas contiene dos elementos de flexión en paralelo con cuatro bandas extensométricas conectadas en puente, que bajo carga cambian su resistencia eléctrica de forma proporcional a la fuerza actuante. El sensor es conectado a la interface del sistema CASSY. Con el interfaz de la computadora CASSY se recomienda el uso de la unidad 30 Amperios para medir la corriente.

En el experimento P3.3.3.3 se implementa una bobina sin núcleo para generar un campo magnético. El campo magnético es calculado a partir de los parámetros de la bobina y luego comparado con el resultado obtenido de la medición de la fuerza.

El objetivo del experimento P3.3.3.4 es la definición electrodinámica del amperio. Aquí se define la intensidad de corriente como la fuerza ejercida entre dos conductores paralelos de largo infinito, por los que fluye la misma corriente. Si r es la distancia entre conductores, la fuerza por unidad de longitud del conductor está dada por:

$$\frac{F}{s} = \mu_0 \cdot \frac{I_2}{2\pi \cdot r}$$

En este ensayo se utilizan dos conductores de unos 30 cm de largo con una distancia entre ellos de algunos milímetros. Se mide la fuerza F para diferentes intensidades de corriente I y distancias r.

Medición del campo magnético en conductores rectilíneos y en lazos conductores circulares (P3.3.4.1)

LEY DE BIOT-SAVART

P3.3.4.1
Medición del campo magnético en conductores rectilíneos y en lazos conductores circulares

P3.3.4.2
Medición del campo magnético en una bobina sin núcleo

P3.3.4.4
Medición del campo magnético en conductores rectilíneos y en lazos conductores circulares a bajas corrientes

P3.3.4.5
Medición del campo magnético en una bobina sin núcleo a bajas corrientes

N° de cat.	Descripción	P3.3.4.1	P3.3.4.2	P3.3.4.4	P3.3.4.5
516 235	Juego de 4 conductores de corriente	1		1	
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1	1	1
524 0381	Sonda B multiuso S	1			
501 11	Cable de extensión, 15 polos	1	1	1	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1		
460 21	Soporte para elemento enchufable	1		1	
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1		1	
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1		1	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	1		1	
501 644	Juego de 6 acopladores, negros	1		1	
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1	1	1	1
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	1	1	1	1
516 242	Bobina con densidad de espiras variable		1		1
516 249	Soporte para tubos y bobinas		1		1
524 0382	Sonda B axial S, ±1000 mT		1		
300 11	Zócalo		1		
524 0383	Sonda B axial S, ±0,3 mT			1	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A			1	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD			1	
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø			1	

En principio, aplicando la ley de Biot y Savart se puede calcular el campo magnético de cualquier conductor por donde fluye corriente. Sin embargo, también es posible especificar soluciones analíticas sólo para conductores con determinadas simetrías, por ejemplo, para un alambre recto de largo infinito, para un lazo conductor circular o para una bobina cilíndrica. En tales conductores es posible verificar fácilmente la ley de Biot y Savart.

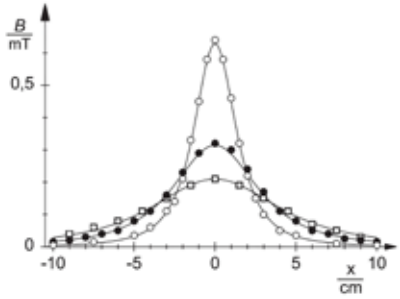
En el experimento P3.3.4.1 y P3.3.4.4 se mide el campo magnético de un conductor rectilíneo, con diferentes intensidades de corriente I, en función de la distancia r al conductor. Cuantitativamente se verifica la relación:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}$$

Además, también se mide el campo magnético de bobinas circulares con diferentes radios R en función de la distancia x sobre un eje que pasa por el centro de la bobina. Los valores medidos se comparan con la relación

$$B = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{I \cdot R^2}{\left(R^2 + x^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$

Las mediciones se pueden llevar a cabo con una sonda B multiuso. Esta contiene dos sensores Hall: uno paralelo al eje de la sonda sensible y el otro perpendicular al eje de la sonda.

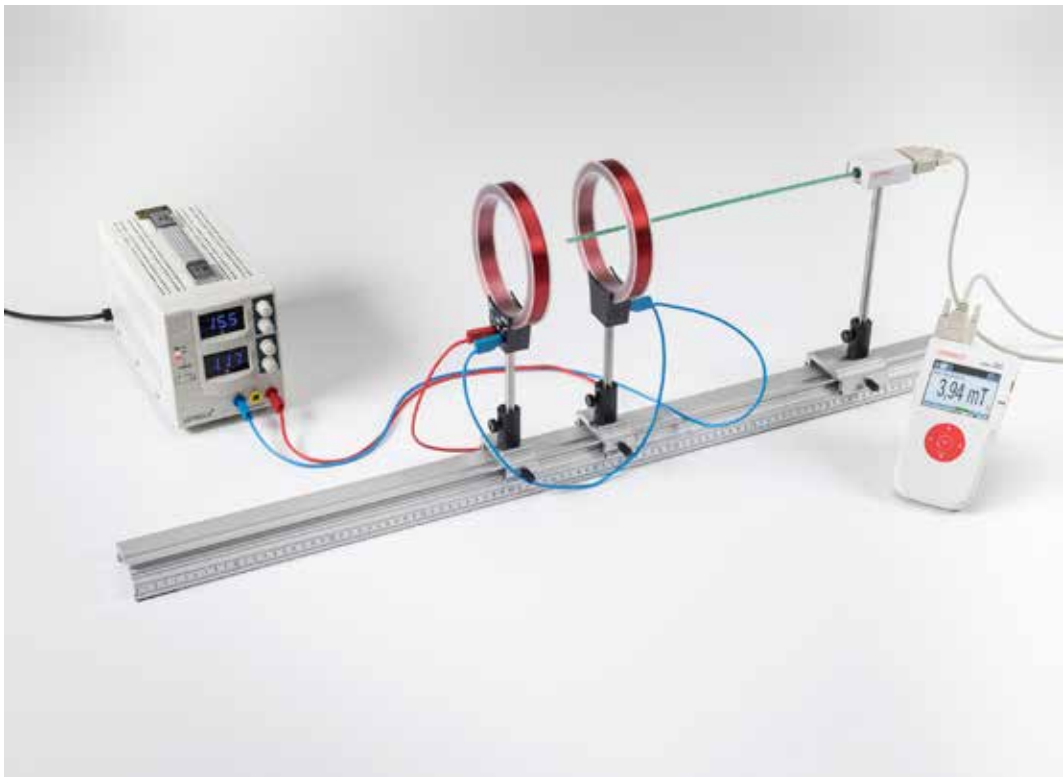


El conductor circular del campo magnético B forma bucles con el radio R en función de la coordenada espacial x (P3.3.4.1)

LEY DE BIOT-SAVART

P3.3.4.3
Medición del campo magnético de un par de bobinas en la configuración de Helmholtz

P3.3.4.6
Medición del campo magnético de un par de bobinas en la configuración de Helmholtz a bajas corrientes



Medición del campo magnético de un par de bobinas en la configuración de Helmholtz (P3.3.4.3)

N° de cat.	Descripción	P3.3.4.3	P3.3.4.6
555 604	Par de bobinas de Helmholtz	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1
524 0382	Sonda B axial S, ±1000 mT	1	
501 11	Cable de extensión, 15 polos	1	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1	1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	2	2
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul	1	1
501 30	Cable de experimentación, 100 cm, rojo	1	1
501 31	Cable de experimentación, 100 cm, azul	1	2
524 0383	Sonda B axial S, ±0,3 mT		1

En principio, aplicando la ley de Biot y Savart se puede calcular el campo magnético de cualquier conductor por donde fluye corriente. Sin embargo, también es posible especificar soluciones analíticas sólo para conductores con determinadas simetrías, por ejemplo, para un alambre recto de largo infinito, para un lazo conductor circular o para una bobina cilíndrica. En tales conductores es posible verificar fácilmente la ley de Biot y Savart.

En el experimento P3.3.4.3 y P3.3.4.6 se estudia la homogeneidad del campo magnético en un par de bobinas de Helmholtz. Con tal propósito se registra el campo magnético en varias series de mediciones a lo largo del eje por el centro de la bobina, en donde la distancia a entre las bobinas varía de una serie de mediciones a otra. Si la distancia a concuerda con el radio de la bobina, entonces el campo magnético es independiente de la posición x del eje de la bobina.

Generación de un impulso de tensión en un lazo conductor con un imán permanente en movimiento (P3.4.1.1)

IMPULSO DE TENSIÓN

P3.4.1.1
Generación de un impulso de tensión en un lazo conductor con un imán permanente en movimiento

N° de cat.	Descripción	P3.4.1.1
510 12	Par de barras imantadas	1
562 13	Bobina de 250 espiras	1
562 14	Bobina de 500 espiras	1
562 15	Bobina de 1000 espiras	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

Cada variación del flujo magnético Φ a través de un lazo conductor induce una tensión U, cuya intensidad es proporcional a la variación del flujo. Tal variación del flujo es causada, por ejemplo, por el desplazamiento de un imán permanente a través de un lazo conductor fijo. En este caso es usual observar la tensión en función del tiempo

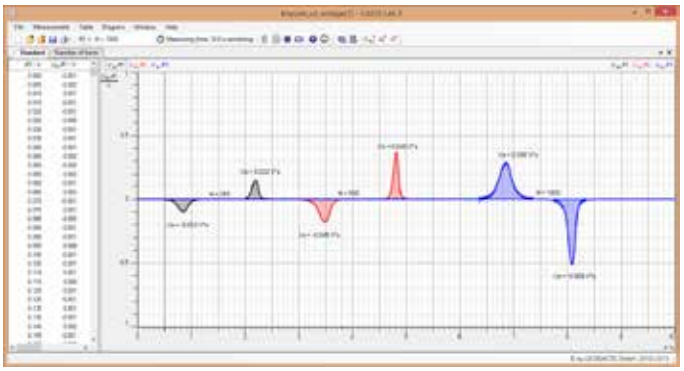
$$U = -\frac{d\Phi}{dt}$$

y el transitorio de tensión

$$\int_{t_1}^{t_2} U(t)\,dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2)$$

Este transitorio corresponde a la diferencia de flujos magnéticos antes y después de la variación.

En el experimento P3.4.1.1 se genera un transitorio de tensión introduciendo con la mano un imán de barra al interior de una bobina sin núcleo o sacándolo de la misma. Se mide la tensión U en función del tiempo y se evalúa el área bajo la señal. Esta área es independiente de la velocidad con que el imán se mueve, y es siempre igual al flujo Φ del imán permanente en el interior de la bobina, esto es, si la superficie de la bobina es la misma, el área bajo la curva es proporcional al número de espiras de la bobina.



Voltajes inducidos de un imán en movimiento (P3.4.1.1)

INDUCCIÓN EN UN LAZO CONDUCTOR EN MOVIMIENTO

P3.4.2.1
Medición de la tensión de inducción en un lazo conductor movido por un campo magnético

Medición de la tensión de inducción en un lazo conductor movido por un campo magnético (P3.4.2.1)

N° de cat.	Descripción	P3.4.2.1
516 40	Aparato inductor con bucles	1
510 48	Par de imanes	6
347 38	Motor de experimentación de 93 W	1
521 547	Fuente de alimentación CC 0 ... 30 V / 0 ... 5 A	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 0401	Sensor de µV S	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1

Si un lazo conductor de ancho constante b se desplaza con la velocidad

$$v = \frac{dx}{dt}$$

hacia fuera de un campo magnético B, el flujo magnético cambia en el tiempo dt en el valor

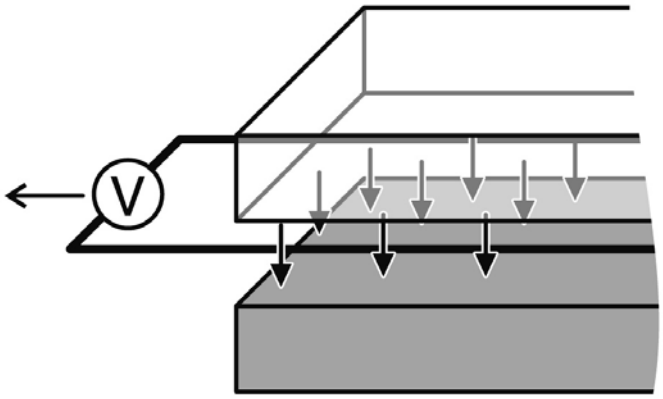
$$d\Phi = -B \cdot b \cdot dx$$

Debido a la variación del flujo en el lazo conductor se induce una tensión

$$U = B \cdot b \cdot v$$

En el experimento P3.4.2.1 un carrito es desplazado entre dos zapatas polares de un imán, sobre las cuales se han montado lazos inductores de diferentes anchos. Se mide la tensión de inducción U en función de la densidad de flujo magnético B, así como del ancho b y la velocidad v de los lazos inductores. El objetivo de la evaluación es la verificación de las proporcionalidades:

$$U \propto B,\ U \propto b,\ U \propto v$$



Tensión de inducción en un bucle conductor desplazado (P3.4.2.1).

Medición de la tensión de inducción en un lazo conductor con un campo magnético variable - con Power-CASSY como fuente de corriente variable (P3.4.3.2)

INDUCCIÓN CAUSADA POR UN CAMPO MAGNÉTICO VARIABLE

P3.4.3.2
Medición de la tensión de inducción en un lazo conductor con un campo magnético variable - con Power-CASSY como fuente de corriente variable

N° de cat.	Descripción	P3.4.3.2
516 249	Soporte para tubos y bobinas	1
516 244	Bobina de excitación, 120 mm de diámetro	1
516 241	Juego de 3 bobinas de inducción	1
524 011USB	Power-CASSY USB	1
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 220	CASSY Lab 2	1
524 0401	Sensor de µV S	1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul	2
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

Una variación temporal del campo magnético homogéneo B en el interior de una bobina con espiras N_1 y el área A_1 induce en la bobina la tensión

$$U = N_1 \cdot A_1 \cdot \frac{dB}{dt}$$

En el experimento P3.4.3.2 las bobinas de inducción de diferentes áreas y número de espiras son colocadas dentro de una bobina de forma cilíndrica, por la cual fluyen corrientes alternas de diferente frecuencia, amplitud y forma de señal. En la bobina las corrientes generan el campo magnético

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N_2}{L_2} \cdot I$$

$$\text{con } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \quad \text{(permeabilidad magnética absoluta del vacío)}$$

en donde $I(t)$ es la intensidad de corriente que depende del tiempo, N_2 es el número de espiras y L_2 es la longitud total de la bobina. El curso temporal $U(t)$ de las tensiones inducidas en las bobinas inductoras es registrado con el sistema CASSY. Se estudia la dependencia del área y el número de espiras de las bobinas inductoras, así como la frecuencia, amplitud y forma de señal de la corriente de excitación.

TRANSFORMADOR

P3.4.5.1
Conversión de tensión y corriente con un transformador

P3.4.5.2
Transformación de tensión con un transformador bajo carga

P3.4.5.3
Registro de la tensión y corriente en función del tiempo de un transformador bajo carga

Voltage and current transformation with a transformer (P3.4.5.1)

N° de cat.	Descripción	P3.4.5.1	P3.4.5.2	P3.4.5.3
562 801	Transformador para prácticas de laborato	1	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	2	
521 391	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 5 A	1	1	
500 444	Cable de experimentación 100 cm negro	6	7	6
537 34	Reóstato de cursor 100 ohmios		1	1
459 23	Pantalla de vidrio acrílico sobre mango		1	
514 72	Rociador para limadura de hierro		1	
514 73	Limadura de hierro		1	
524 013	Sensor-CASSY 2			1
524 011USB	Power-CASSY USB			1
524 220	CASSY Lab 2			1
500 414	Cable de experimentación 25 cm negro			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)			1

Transformación de la tensión con un transformador en carga (P3.4.5.2)

La transformación de tensión en un transformador sin carga está dada por la relación entre el número de espiras

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{en el caso que } I_2 = 0)$$

independientemente de la construcción del transformador. La transformación de corriente cuando el transformador funciona en cortocircuito es inversamente proporcional a la relación entre el número de espiras

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_2}{N_1} (\text{en el caso que } U_2 = 0)$$

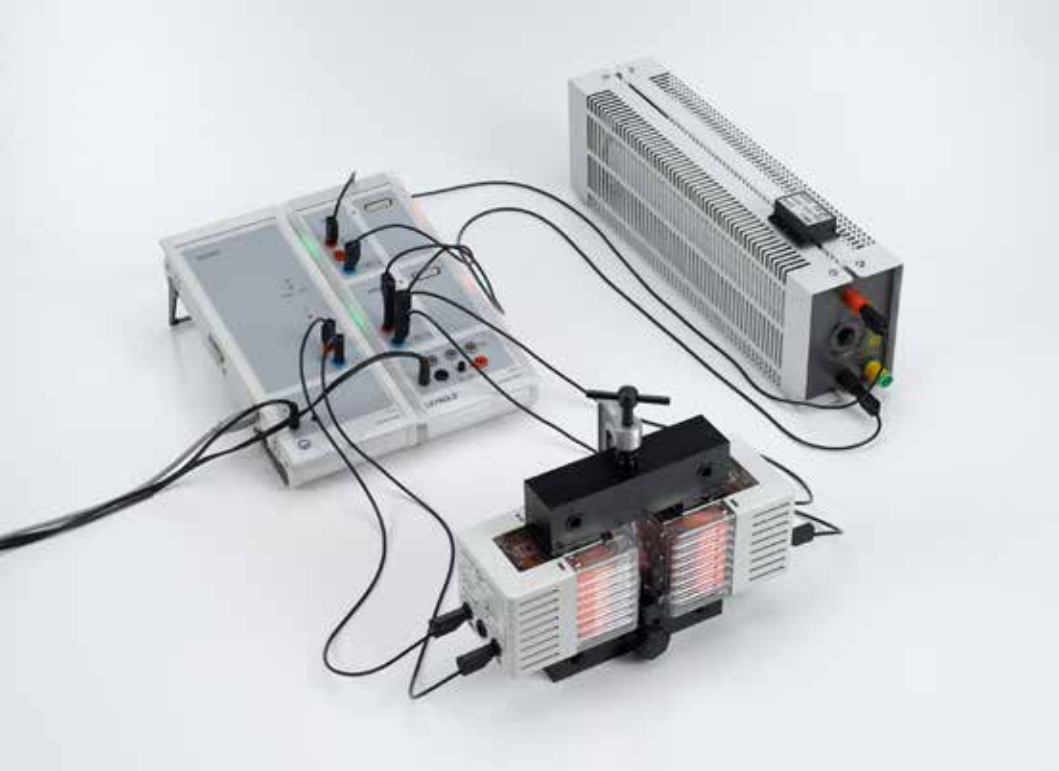
Por el contrario, el comportamiento bajo carga depende de la construcción especial del transformador. Este hecho puede ser muy bien explicado utilizando el transformador para prácticas.

Como alternativa al transformador para prácticas se dispone de un transformador desmontable con numerosas bobinas que se pueden ensamblar e intercambiar con facilidad por sobre la columna del núcleo en U. Naturalmente, los experimentos especificados para el transformador de prácticas (véase P3.4.5.1-3) también se pueden llevar a cabo en el transformador desmontable, junto con otros tres experimentos adicionales.

El objetivo del experimento P3.4.5.1 es la medición de la transformación de tensión de un transformador sin carga y la transformación de corriente de un transformador funcionando en cortocircuito. Simultáneamente se demuestra la diferencia entre un transformador de separación y un autotransformador.

En el experimento P3.4.5.2 se estudia la relación entre la tensión del primario y la tensión del secundario en el caso de un transformador cargado «duro» y uno «blando». En ambos casos las líneas de campo magnético se visualizan mediante hierro en polvo sobre una placa de vidrio colocada sobre el transformador.

En el experimento P3.4.5.3, en un transformador con carga se registra la tensión del primario y del secundario, así como la corriente del primario y del secundario como variables dependientes del tiempo utilizando el sistema CASSY. El software de CASSY determina directamente las relaciones de fase entre las cuatro variables y calcula además, las potencias dependientes del tiempo en el circuito del primario y en el del secundario.



Transferencia de la potencia de un transformador (P3.4.5.4)

TRANSFORMADOR

P3.4.5.4
Transferencia de la potencia de un transformador

N° de cat.	Descripción	P3.4.5.4
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1
562 121	Dispositivo de sujeción con pinza de resorte	1
562 13	Bobina de 250 espiras	2
524 013	Sensor-CASSY 2	1
524 011USB	Power-CASSY USB	1
524 220	CASSY Lab 2	1
537 34	Reóstato de cursor 100 ohmios	1
500 414	Cable de experimentación 25 cm negro	1
500 444	Cable de experimentación 100 cm negro	6
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

La transformación de tensión en un transformador sin carga está dada por la relación entre el número de espiras

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{en el caso que } I_2 = 0)$$

independientemente de la construcción del transformador. La transformación de corriente cuando el transformador funciona en cortocircuito es inversamente proporcional a la relación entre el número de espiras

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_2}{N_1} (\text{en el caso que } U_2 = 0)$$

Por el contrario, el comportamiento bajo carga depende de la construcción especial del transformador. Este hecho puede ser muy bien explicado utilizando el transformador para prácticas.

Como alternativa al transformador para prácticas se dispone de un transformador desmontable con numerosas bobinas que se pueden ensamblar e intercambiar con facilidad por sobre la columna del núcleo en U. Naturalmente, los experimentos especificados para el transformador de prácticas (véase P3.4.5.1-3) también se pueden llevar a cabo en el transformador desmontable, junto con otros tres experimentos adicionales.

En el experimento P3.4.5.4 se estudia la transformación de potencia de un transformador. Con el sistema CASSY se mide simultáneamente los valores eficaces de la tensión del primario y la del secundario, así como la corriente del primario y la del secundario para una resistencia de carga variable *R* de 0 a 100 &t#937 usando el sistema CASSY; al mismo tiempo se determina el desplazamiento de fase entre la tensión y la corriente en el lado del primario y del secundario. Para la evaluación se calcula la potencia del primario P_1, la potencia del secundario P_2 y la eficiencia

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

para construir después una gráfica en función de la resistencia de carga *R*</I>.

MEDICIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA

P3.4.6.2
Medición del campo magnético terrestre con una bobina de inducción que gira y CASSY

Medición del campo magnético terrestre con una bobina de inducción que gira y CASSY (P3.4.6.2)

N° de cat.	Descripción	P3.4.6.2
555 604	Par de bobinas de Helmholtz	1
348 22	Eje de giroscopio	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 0401	Sensor de µV S	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
666 615	Nuez universal	1
501 44	Par de cables 25 cm, rojo/azul	1

Un lazo inductor de forma circular de *N* espiras y de radio *R* gira en un campo magnético homogéneo *B* alrededor de su diámetro como eje, de manera que es atravesada por el flujo

$$\Phi(t) = N \cdot \pi \cdot R^2 \cdot n(t) \cdot B$$

$n(t)$: vector normal al lazo que gira

Para el caso de velocidad angular constanteω se cumple

$$\Phi(t) = N \cdot \pi \cdot R^2 \cdot B_\perp \cdot \cos\omega t$$

Aquí *B* es el componente efectivo del campo magnético perpendicular al eje de giro. De la amplitud de la tensión inducida

$$U_0 = N \cdot \pi \cdot R^2 \cdot B_\perp \cdot \omega$$

se puede determinar el componente del campo magnético. Para aumentar la precisión en la medición se elige la bobina más grande posible y una mayor velocidad angular posible.

En el experimento P3.4.6.2 el voltaje *U*(*t*), inducido en el campo magnético de la tierra, se mide en el sistema giratorio y se almacena o transmite de forma inalámbrica utilizando el sistema de medición del Mobile-CASSY basado en computadora. La amplitud y frecuencia de las señales registradas se utilizan para calcular el componente horizontal del campo magnético terrestre.

Generación de tensión alterna con un generador de central eléctrica (generador con polo interior electromagnético) (P3.5.2.3)

GENERADORES ELÉCTRICOS

P3.5.2.1
Generación de tensión alterna con generador de polos interiores (dínamo) y un generador de polos exteriores

P3.5.2.2
Generación de tensión continua con generador de polos exteriores

P3.5.2.3
Generación de tensión alterna con un generador de central eléctrica (generador con polo interior electromagnético)

P3.5.2.4
Generador de tensión con un generador de CA y CC (generador con polo exterior electromagnético)

N° de cat.	Descripción	P3.5.2.1	P3.5.2.2	P3.5.2.3	P3.5.2.4
563 480	ELM Colección básica	1	1	1	1
727 81	Unidad Basica de Maquina	1	1	1	1
563 303	ELM Accionamiento manual	1	1	1	1
726 19	Bastidor SL85, de un nivel	1	1	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	1	2	2
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1			
537 36	Reostato de cursor 1000 ohmios	1			
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1		1	1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1		1	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	2	1	2	2
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	2	1	1	2
563 23	ELM Rotor tripolar		1*		
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265		1*		
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm		1*		
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A			1	1

* se requiere adicionalmente

Los generadores eléctricos utilizan la inducción electromagnética descubierta por Faraday para convertir energía mecánica en energía eléctrica. Se diferencia entre generadores de polos exteriores (excitación del campo magnético en el estator, inducción en el rotor) y generadores de polos interiores (excitación del campo magnético en el rotor, inducción en el estator).

En el experimento P3.5.2.1 se montan ambas variantes de generadores con imanes permanentes y se mide la tensión alterna inducida *U* en función del número de revoluciones *f* del rotor. Además, para un número de revoluciones fijo se determina la potencia eléctrica *P* entregada en función de la resistencia de carga *R*.

En el experimento P3.5.2.2 se demuestra el uso de un conmutador para la rectificación de una tensión alterna generada en el rotor de un generador de polos exteriores. El número de semiondas rectificadas por vuelta del rotor aumenta si el rotor de dos polos se reemplaza por uno de tres polos.

En los experimentos P3.5.2.3 y P3.5.2.4 se estudian generadores en los que se ha sustituido a los imanes permanentes por electroimanes. En este caso la tensión inducida depende de la corriente de excitación. Con la corriente de excitación se puede variar la potencia entregada sin tener que variar el número de revoluciones del rotor y la frecuencia de la tensión alterna. Este principio se utiliza en los generadores de las centrales hidroeléctricas. En los generadores de corrientes alterna y continua, se puede tomar la tensión mediante un conmutador e incluso se puede rectificar.

MOTORES ELÉCTRICOS

P3.5.3.1
Estudio de un motor de corriente continua con rotor de dos polos

P3.5.3.2
Estudio de un motor de corriente continua con rotor de tres polos

P3.5.3.3
Estudio de un motor universal en conexión en derivación

P3.5.3.4
Montaje de un motor síncrono de corriente alterna

Estudio de un motor universal en conexión en derivación (P3.5.3.3)

N° de cat.	Descripción	P3.5.3.1	P3.5.3.2	P3.5.3.3	P3.5.3.4
563 480	ELM Colección básica	1	1	1	1
727 81	Unidad Basica de Maquina	1	1	1	1
726 19	Bastidor SL85, de un nivel	1	1	1	1
521 391	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 5 A	1	1	1	1
451 281	Estroboscopio	1	1	1	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1	1	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1	1	2
563 23	ELM Rotor tripolar		1	1*	
531 120	Multímetro LDanalog 20		1	1	
314 151	Dinamómetro de precisión 2,0 N		1	1	
314 161	Dinamómetro de precisión 5,0 N		1	1	
309 50	Hilo para demostraciones, l = 20 m		1	1	
666 470	Soporte CPS con mordaza, regulable en al		1	1	
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø		1	1	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		1	2	
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul			2	
563 303	ELM Accionamiento manual				1
726 501	Placa de enchufe de seguridad, 297 mm x 200 mm				1
579 13	Interruptor basculante STE 2/19				1
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba				1
505 181	Lámparas de incandescencia 24 V/3 W, E10, juego de 5				1

* se requiere adicionalmente

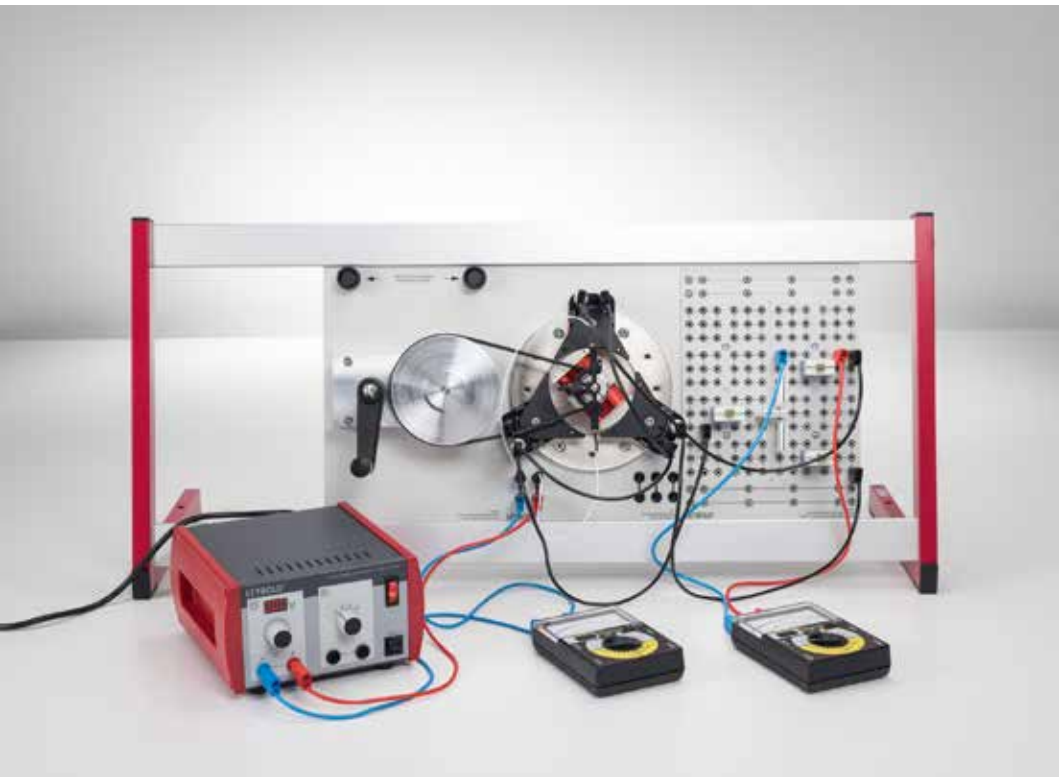
Para convertir energía eléctrica en energía mecánica los motores eléctricos utilizan la fuerza de los campos magnéticos sobre conductores por donde fluye corriente. Existe una diferencia entre motores asíncronos, en los cuales se suministra corriente alterna o continua al rotor mediante un conmutador, y motores síncronos que no tienen un conmutador y cuya frecuencia de giro está sincronizada con la frecuencia de la tensión aplicada.

En el experimento P3.5.3.1 se estudia el funcionamiento básico de un motor eléctrico con conmutador. El motor está construido de un imán permanente como estator y de un rotor de dos polos. El sentido de giro del rotor queda fijado debido a la polaridad de la corriente del rotor. Se mide la relación entre la tensión aplicada U y el número de revoluciones f_0 .

El objetivo del experimento P3.5.3.2 es el empleo de un rotor de tres polos. El rotor marcha independiente, ya que para cada posición del rotor en el campo magnético actúa un torque sobre el motor. Para registrar la curva del torque $M(f)$ se mide el número de revoluciones f del rotor en función de un contratorque M. Además se compara la potencia mecánica entregada con la potencia eléctrica absorbida.

En el experimento P3.5.3.3 se estudia el denominado motor universal, para el cual el campo del estator y el del rotor son excitados eléctricamente. Las bobinas del rotor y del estator se conectan en serie (excitación en serie) o en paralelo (excitación en derivación) a una fuente de alimentación común. El motor puede funcionar con tensión continua y con tensión alterna, ya que al cambiar la polaridad, el torque sobre el rotor no cambia. Para ambas conexiones se registra la curva del torque $M(f)$. Se muestra que el número de revoluciones de un motor excitado en derivación depende mucho menos de la carga que un motor conexcitación en serie.

En el experimento P3.5.3.4 se sincroniza la bobina del rotor del motor síncrono de corriente alterna a la frecuencia de la tensión aplicada mediante un accionamiento manual para que siga marchando por sí solo.



Comparación entre conexiones en estrella y delta en un generador trifásico (P3.5.4.3)

MÁQUINAS DE CORRIENTE TRIFÁSICA

P3.5.4.1
Estudio de un generador de polos exteriores de corriente trifásica

P3.5.4.2
Estudio de un generador de polos interiores de corriente trifásica

P3.5.4.3
Comparación entre conexiones en estrella y delta en un generador trifásico

P3.5.4.4
Montaje de motores síncronos y asíncronos de corriente trifásica

N° de cat.	Descripción	P3.5.4.1	P3.5.4.2	P3.5.4.3	P3.5.4.4
563 480	ELM Colección básica	1	1	1	1
563 481	ELM Colección suplementaria	1	1	1	1
727 81	Unidad Basica de Maquina	1	1	1	1
563 303	ELM Accionamiento manual	1	1	1	
726 19	Bastidor SL85, de un nivel	1	1	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	3	3	2	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	6	6	7	4
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1*	1*		
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2*	2*		
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1*	1*		
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A		1	1	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		1	3	1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		1	2	1
726 501	Placa de enchufe de seguridad, 297 mm x 200 mm			1	
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba			3	
505 14	Juego 10 lamparas de incandescencia 6V/3			1	
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10			1	
500 614	Cables de seguridad para experimentación, 25 cm, negros			3	3
563 12	ELM Rotor de cortocircuito				1
521 291	Transformador trifásico de tensión extrabaja				1

* se requiere adicionalmente

La realización técnica del suministro energético continúa siendo la generación de corriente alterna trifásica denominada comúnmente „corriente trifásica". De aquí la importancia práctica de generadores y motores trifásicos. En principio, su funcionamiento concuerda totalmente con el de la máquina de corriente alterna. Como en las máquinas de corriente alterna, los generadores de polos exteriores se diferencian de los generadores de polos interiores, y los motores síncronos se diferencian de los motores asíncronos.
En el experimento P3.5.4.1 se realiza un montaje experimental simple para generar corriente trifásica con un generador de polos exteriores a partir de un rotor de tres polos que gira dentro de un campo magnético permanente.

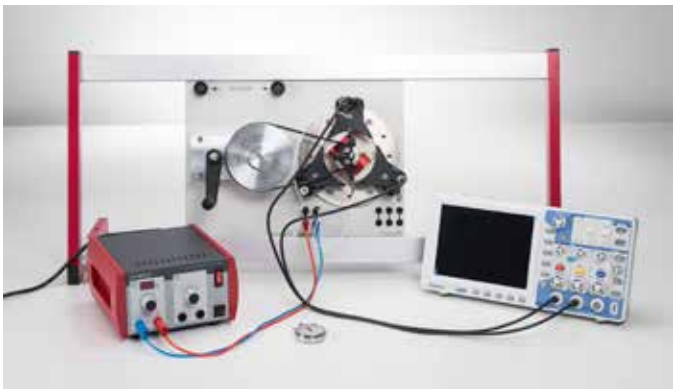
En el experimento P3.5.4.2 se estudia la variante más frecuente del generador de polos interiores, en el que el campo magnético del rotor induce tensiones alternasen las bobinas del estator con desplazamiento de fase contrarias. En ambos casos se conecta un instrumento de medición entre dos tomas para medir la corriente y la tensión y observar el desplazamiento de fase cuando el rotor gira lentamente. Cuando el número de revoluciones es alto se utiliza un osciloscopio.
En el experimento P3.5.4.3 a un generador trifásico se le conectan cargas en circuitos estrella y delta. En la conexión en estrella se verifica la relación

$$\frac{U_{aa}}{U_{a0}} = \sqrt{3}$$

para las tensiones U_{aa} entre dos conductores exteriores y las tensiones U_{a0} entre una línea exterior y la línea neutra. Para las corrientes I_1 que fluyen por la carga en un circuito delta y las corrientes I_2 que fluyen por las bobinas del generador se obtiene:

$$\frac{I_1}{I_2} = \sqrt{3}$$

En el experimento P3.5.4.4 se estudia el comportamiento de motores asíncronos y síncronos al variar el sentido de giro.
The experiment P3.5.4.4 examines the behavior of asynchronous and synchronous machines when the direction of rotation is reversed.



La visualización también puede hacerse con un osciloscopio (P3.5.4.2)

CIRCUITO CON CONDENSADOR

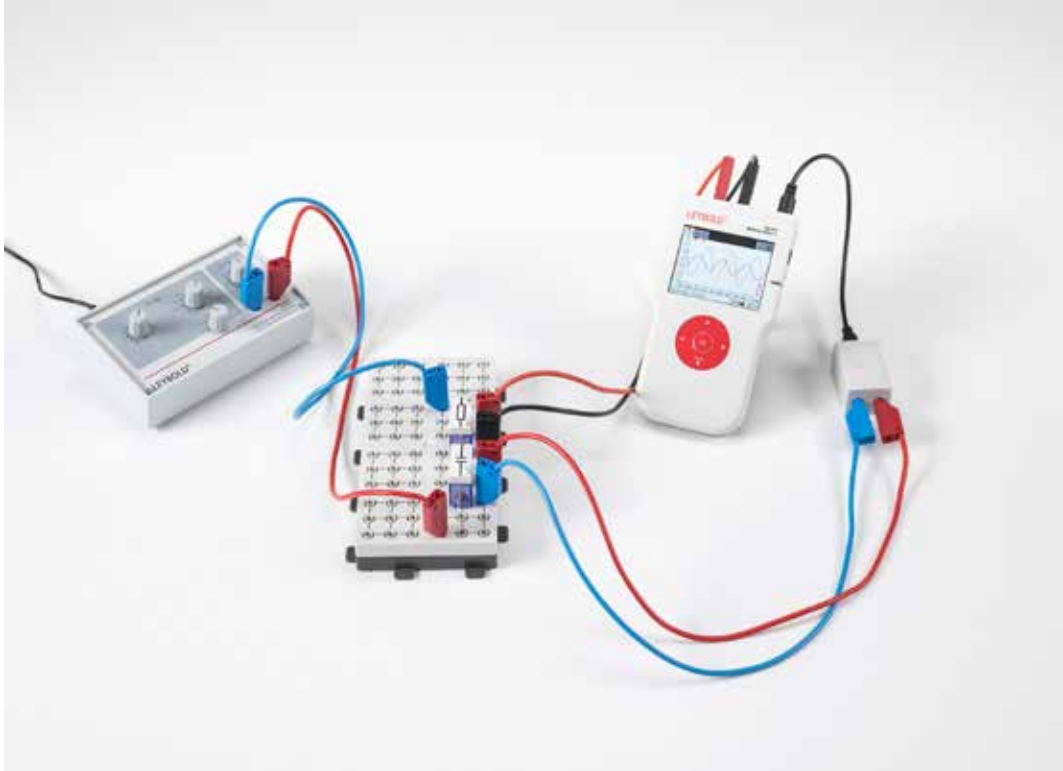
P3.6.1.1
Carga y descarga de un condensador al conectar o desconectar una corriente continua

P3.6.1.2
Determinación de la resistencia capacitiva de un condensador en un circuito de corriente alterna

P3.6.1.3
Carga y descarga de un condensador al conectar o desconectar una corriente continua - Medición con un multímetro

P3.6.1.4
Carga y descarga de un condensador al conectar o desconectar una corriente continua - Medición con Mobile-CASSY

P3.6.1.5
Determinación de la resistencia capacitiva de un condensador en un circuito de corriente alterna - Medición con Mobile-CASSY



Determinación de la resistencia capacitiva de un condensador en un circuito de corriente alterna - Medición con Mobile-CASSY (P3.6.1.5)

N° de cat.	Descripción	P3.6.1.1	P3.6.1.2	P3.6.1.3	P3.6.1.4	P3.6.1.5
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	1	1	1	1
578 15	Condensador 1 µF, 100 V	3	3		3	3
577 40	Resistencia 470 Ohmios, STE 2/19	1			1	
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19	1			1	
577 48	Resistencia 2,2 kOhmios, 1,4 W	1			1	
522 621	Generador de funciones S 12	1	1		1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1			
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	2			
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1		3	3
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1		2	2
577 19	Resistencia 1 Ohmio, 2 W		1			
577 20	Resistencia 10 Ohmios, 1,4 W		1			1
578 16	Condensador 4,7 µF, 63 V			1		
578 12	Condensador 10 µF, 100 V			1		
577 76	Resistencia 1 MOhmio, 0,5 W			1		
582 81	Conmutador STE 4/50			1		
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10			1		
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A			1		
531 120	Multímetro LDanalog 20			1		
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s			1		
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo			2		
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul			2		
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi				1	1
524 438	Sensor de tensión M, ± 30 V				1	1
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros				1	1

Para estudiar el comportamiento de condensadores en circuitos de corriente continua y corriente alterna con un osciloscopio de dos canales se mide la tensión U_C en un condensador y la corriente I_C que fluye por el condensador a partir de la caída de tensión en una resistencia óhmica R conectada en serie. Los circuitos requeridos para El experimento son montados sobre un tablero de conexiones del sistema de elementos de conexión STE. Un generador de funciones sirve como fuente de tensión de amplitud y frecuencias variables.

En el experimento P3.6.1.1 el generador de funciones genera señales rectangulares periódicas que simulan el encendido y apagado de una tensión continua. Las señales rectangulares son representadas en el canal I del osciloscopio, la tensión o la corriente del condensador en el canal II. Experimentalmente se determina la constante de tiempo

$$\tau = R \cdot C$$

para diferentes capacidades C a partir de la curva exponencial de la corriente de carga y descarga I_C.

En el experimento P3.6.1.2 a y P3.6.1.5 a est condensador se le aplica una tensión alterna de amplitud U_0 y frecuencia f. La tensión $U_C(t)$ y la corriente $I_C(t)$ se representan simultáneamente en el osciloscopio. Se muestra que la corriente está adelantada a la tensión en 90°.

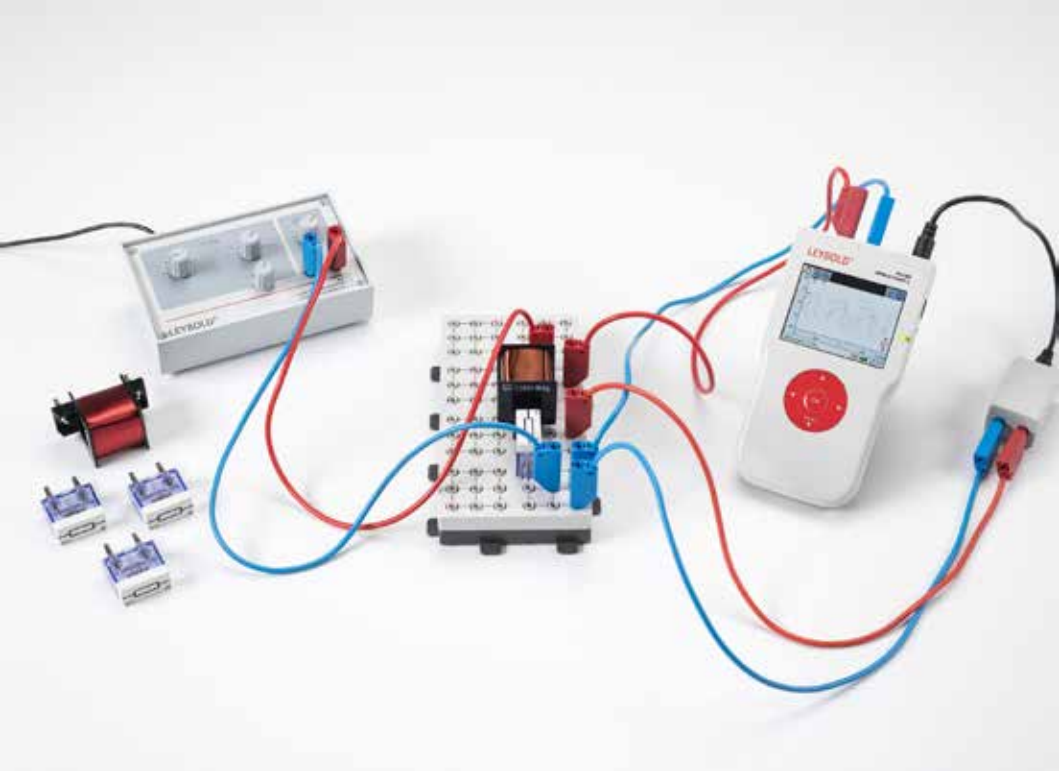
En el experimento P3.6.1.3 un gran condensador con una constante de tiempo largo se carga y se descarga lentamente. La curva de tensión se registra utilizando un multímetro y un cronómetro.

En el experimento P3.6.1.4 el generador de funciones genera señales de ondas cuadráticas periódicas que simulan el encendido y apagado de una tensión continua. La corriente y la tensión se registran con el Mobile-CASSY 2. Experimentalmente se determina la constante de tiempo

$$\tau = R \cdot C$$

para diferentes capacidades C a partir de la curva exponencial de la corriente de carga y descarga I_C.

En el experimento P3.6.1.5 a un condensador se le aplica una tensión alterna de amplitud U_0 y la frecuencia f. La tensión $U_C(t)$ y la corriente $I_C(t)$ se registran en el Mobile-CASSY 2. Se muestra que la corriente está adelantada a la tensión en 90°.



CIRCUITO CON BOBINA

P3.6.2.1
Medición de la corriente en una bobina al conectar y desconectar la corriente continua

P3.6.2.2
Determinación de la resistencia inductiva de una bobina en un circuito de corriente alterna

P3.6.2.3
Medición de la corriente en una bobina al conectar y desconectar la corriente continua - Medición con Mobile-CASSY

P3.6.2.4
Determinación de la resistencia inductiva de una bobina en un circuito de corriente alterna - Medición con Mobile-CASSY

Medición de la corriente en una bobina al conectar y desconectar la corriente continua - Medición con Mobile-CASSY (P3.6.2.3)

N° de cat.	Descripción	P3.6.2.1	P3.6.2.2	P3.6.2.3	P3.6.2.4
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	1	1	1
590 84	Bobina de 1000 espiras STE 2/50	2	2	2	2
577 19	Resistencia 1 Ohmio, 2 W	1	1		
577 20	Resistencia 10 Ohmios, 1,4 W	1	1	1	1
577 24	Resistencia 22 Ohmios, 1,4 W	1		1	
577 28	Resistencia 47 Ohmios, STE 2/19	1		1	
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	1		
522 621	Generador de funciones S 12	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1		
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	2		
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1	3	3
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1	2	2
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi			1	1
524 438	Sensor de tensión M, ± 30 V			1	1
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros			1	1

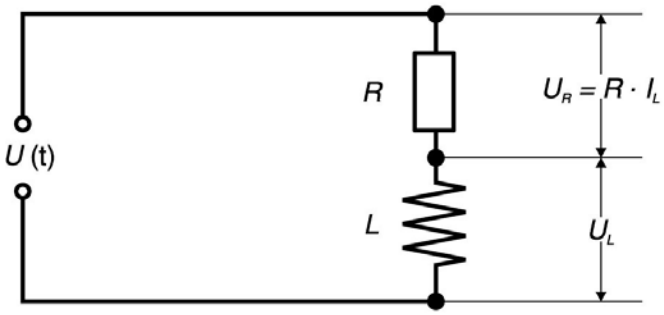
En el experimento P3.6.2.1 el generador de funciones genera señales rectangulares periódicas que simulan el encendido y apagado de una tensión continua. Las señales rectangulares son representadas en el canal I del osciloscopio, la tensión de la bobina o la corriente de la bobina en el canal II. Experimentalmente se determina la constante de tiempo

$$\tau = \frac{L}{R}$$

para diferentes inductancias L a partir de la curva exponencial de la tensión U_L en la bobina.

En el experimento P3.6.2.2 a y P3.6.2.4 est una bobina se aplica una tensión alterna de amplitud U_0 y frecuencia f. La tensión $U_L(t)$ y la corriente $I_L(t)$ se representan simultáneamente en el osciloscopio. Se muestra que la corriente está atrasada respecto de la tensión en 90°.

En el experimento P3.6.2.3 el generador de funciones genera señales de ondas cuadráticas periódicas que simulan el encendido y apagado de una tensión continua. La corriente y la tensión se registran con el Mobile-CASSY 2.



Esquema del cicuito básico (P3.6.2.2+4)

RESISTENCIAS DE CORRIENTE ALTERNA

P3.6.3.1
Determinación de la impedancia en circuitos con condensadores y resistencias óhmicas

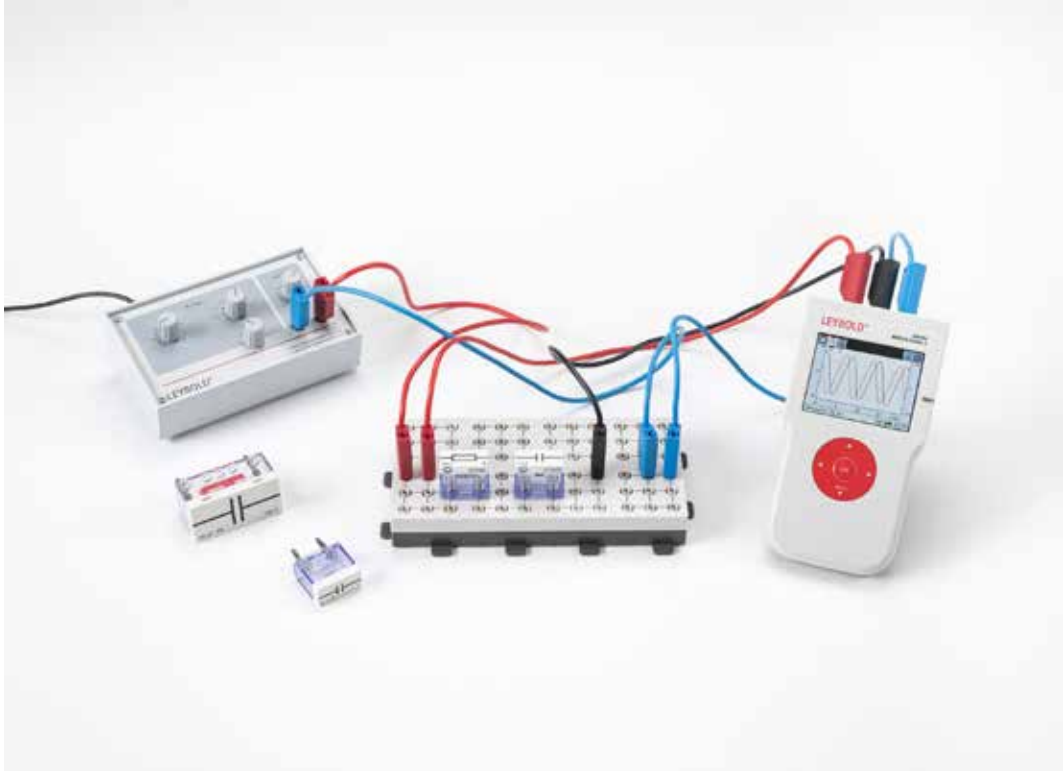
P3.6.3.2
Determinación de la impedancia en circuitos con bobinas y resistencias óhmicas

P3.6.3.3
Determinación de la impedancia en circuitos con condensadores y bobinas

P3.6.3.4
Determinación de la impedancia en circuitos con condensadores y resistencias óhmicas - Medición con Mobile-CASSY

P3.6.3.5
Determinación de la impedancia en circuitos con bobinas y resistencias óhmicas - Medición con Mobile-CASSY

P3.6.3.6
Determinación de la impedancia en circuitos con condensadores y bobinas - Medición con Mobile-CASSY



Determinación de la impedancia en circuitos con condensadores y resistencias óhmicas - Medición con Mobile-CASSY (P3.6.3.4)

N° de cat.	Descripción	P3.6.3.1	P3.6.3.2	P3.6.3.3	P3.6.3.4	P3.6.3.5	P3.6.3.6
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	1	1	1	1	1
577 19	Resistencia 1 Ohmio, 2 W	1	1				
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19	1	1	1	1	1	1
578 12	Condensador 10 µF, 100 V	1			1		
578 15	Condensador 1 µF, 100 V	1		1	1		1
578 31	Condensador 0,1 µF, 100 V	1			1		
522 621	Generador de funciones S 12	1	1	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1	1			
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	2	2			
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1	1	2	2	3
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1	1	2	2	2
590 83	Bobina de 500 espiras STE 2/50		1	1		1	1
590 84	Bobina de 1000 espiras STE 2/50		1	1		1	1
577 20	Resistencia 10 Ohmios, 1,4 W			1			1
578 16	Condensador 4,7 µF, 63 V			1			1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi				1	1	1
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros				1	1	1
524 438	Sensor de tensión M, ± 30 V						1

En un circuito de corriente alterna se mide con un osciloscopio de dos canales la corriente $I(t)$ y la tensión $U(t)$ como variables dependientes del tiempo. Un generador de funciones sirve como fuente de tensión de amplitud U_0 variable y frecuencia f variable. A partir de las variables medidas se determina el valor absoluto de la resistencia total

$$Z = \frac{U_0}{I_0}$$

y el desplazamiento de fase φ entre la corriente y la tensión.

En el experimento P3.6.3.1 se combina una resistencia R con una capacidad C y en el experimento P3.6.3.2 con una inductancia L Para una conexión en serie se verifica la relación

$$Z_s = \sqrt{R^2 + Z_I^2} \text{ y } \tan\varphi_s = \frac{Z_I}{R}$$

$$\text{con } Z_I = -\frac{1}{2\pi f \cdot C} \text{ o } Z_I = 2\pi f \cdot L$$

y para una conexión en paralelo se verifica la expresión

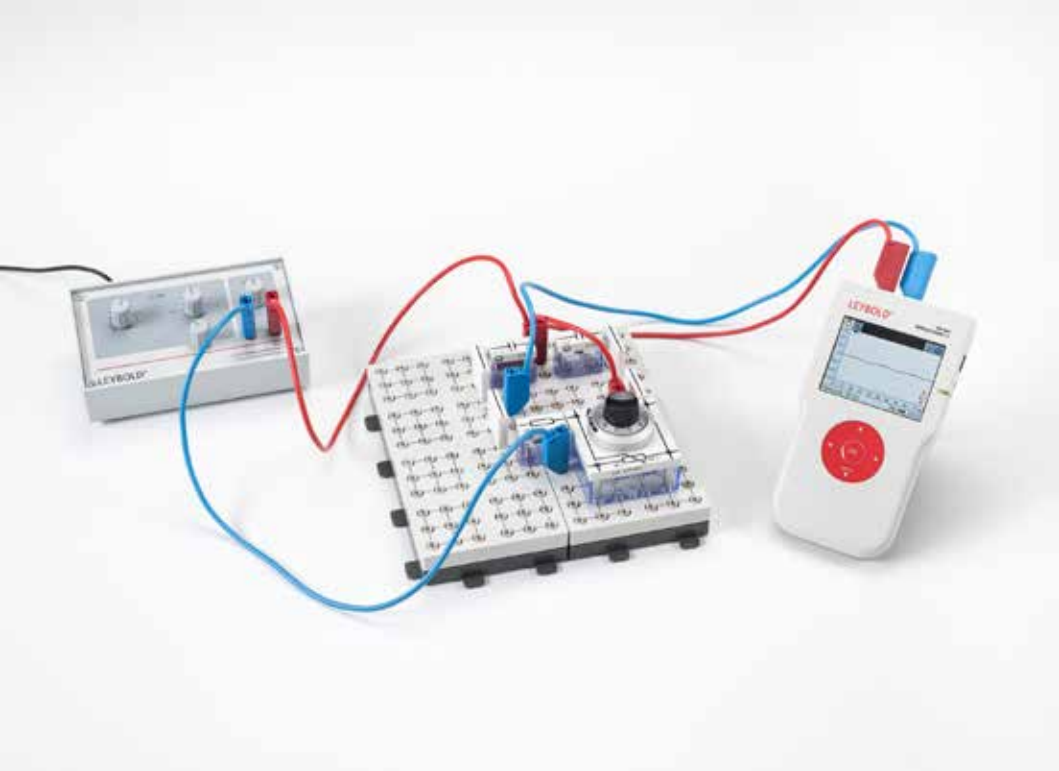
$$\frac{1}{Z_P} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{Z_I^2}} \text{ y } \tan\varphi_P = \frac{R}{Z_I}$$

En el experimento P3.6.3.3 se estudia un circuito oscilatorio conectando en serie y en paralelo una capacidad y una inductancia.

Su resistencia en el caso de resonancia es infinita, es decir, para una tensión dada U la corriente total I en la alimentación es cero, ya que las corrientes individuales I_C y I_L son iguales y están en sentido contrario una respecto a la otra.

En el experimento P3.6.3.4 se combina una resistencia R con una capacidad C y en el experimento P3.6.3.5 con una inductancia L Para una conexión en serie se verifica la relación y para una conexión en paralelo se verifica la expresión.

En el experimento P3.6.3.6 se estudia un circuito oscilatorio conectando en serie y en paralelo una capacidad y una inductancia. La resistencia total de la conexión en serie desaparece para el caso de resonancia es decir, para una corriente dada I, la tensión total U en el condensador y bobina es cero, porque las tensiones individuales U_C y U_L son iguales y tienen sentidos opuestos. Para la conexión en paralelo se cumple.



CIRCUITOS DE MEDICIÓN CON PUENTE

P3.6.4.1
Determinación de las resistencias capacitivas con un puente de medición de Wien

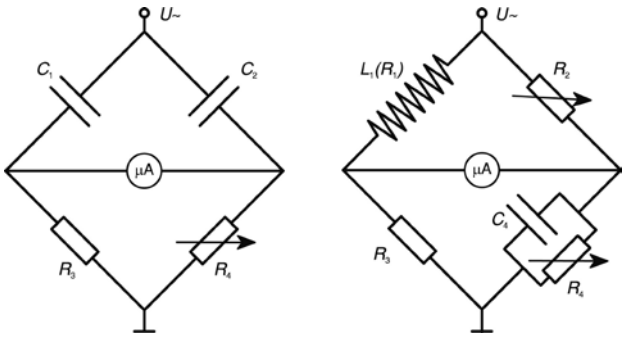
P3.6.4.2
Determinación de las resistencias inductivas con un puente de medición de Maxwell

P3.6.4.3
Determinación de las resistencias capacitivas con un puente de medición de Wien - Medición con Mobile-CASSY

P3.6.4.4
Determinación de las resistencias inductivas con un puente de medición de Maxwell - Medición con Mobile-CASSY

Determinación de las resistencias capacitivas con un puente de medición de Wien - Medición con Mobile-CASSY (P3.6.4.3)

N° de cat.	Descripción	P3.6.4.1	P3.6.4.2	P3.6.4.3	P3.6.4.4
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	2	2	2	2
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19	1	1	1	1
577 93	Potenciometro de 10 pasos 1 kOhmios	1	2	1	2
578 15	Condensador 1 µF, 100 V	1		1	
578 16	Condensador 4,7 µF, 63 V	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1		
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1	1		
522 621	Generador de funciones S 12	1	1	1	1
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	1	1	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1	1	2	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1	1	1	1
590 83	Bobina de 500 espiras STE 2/50		1		1
590 84	Bobina de 1000 espiras STE 2/50		1		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi			1	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros			1	1



Circuitos conceptuales: Puente de Wien - Puente de Maxwell (P3.6.4.1-4)

El puente de medición de Wheatstone es óptimo para determinar resistencias óhmicas en circuitos de corriente continua o alterna. En circuitos analógicos de puentes se pueden determinar resistencias capacitivas e inductivas. Estos puentes de medición se componen de cuatro ramas pasivas conectadas en forma de un rectángulo; una rama medir el cero con un instrumento indicador y otra rama de alimentación con la fuente de tensión. Ajustando los elementos variables en la rama del puente, la corriente del indicador de la rama de medición es puesta a cero. Entonces para las resistencias participantes la condición fundamental del ajuste a cero es

$$Z_1 = Z_2 \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$$

de la cual se calcula la variable a medir.

En el experimento P3.6.4.1 y P3.6.4.3 se estudia el principio del puente de medición de Wien para medir una resistencia capacitiva Z_1. Aquí Z_2 es una resistencia capacitiva fija, Z_3 una resistencia óhmica fija y Z_4 es una resistencia óhmica y Z_4 una resistencia variable óhmica. Independiente de la frecuencia de la tensión alterna, en el ajuste a cero se cumple que

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_2} \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

Como indicador del cero también se puede utilizar Mobile-CASSY.

En el experimento P3.6.4.2 y P3.6.4.4 se monta un puente de medición de Maxwell para determinar una resistencia inductiva Z_1. El circuito es un poco más complicado porque se debe compensar la componente óhmica de Z_1. Aquí Z_2 es una resistencia óhmica variable, Z_3 es una resistencia óhmica fija y Z_4 un circuito en paralelo compuesto de una resistencia capacitiva y una resistencia óhmica variable. En el ajuste a cero se cumple para la componente inductiva

$$2\pi f \cdot L_1 = R_2 \cdot R_3 \cdot 2\pi f \cdot C_4$$

f: frequencia de la tensión alterna

TRABAJO ELÉCTRICO Y POTENCIA ELÉCTRICA

P3.6.6.1
Determinación de la potencia térmica de una carga óhmica en un circuito de corriente alterna en función de la tensión aplicada

Determinación de la potencia térmica de una carga óhmica en un circuito de corriente alterna en función de la tensión aplicada (P3.6.6.1)

N° de cat.	Descripción	P3.6.6.1
384 21	Funda para calorímetro	1
384 22	Alambre calefactor para tapa de calorímetro	1
384 52	Calorímetro de aluminio	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
521 391	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 5 A	1
590 06	Jarra de plástico, 1000 ml	1
501 28	Cable de experimentación, 50 cm, negro	4

Entre la potencia P, en una resistencia R óhmica, y la tensión continua aplicada U existe la relación

$$P = \frac{U^2}{R}.$$

Lo mismo se cumple para tensiones alternas, si P es la potencia promediada en el tiempo y donde U es reemplazada por su valor de media cuadrática

$$U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

U_0: amplitud de la tensión alterna.

La relación

$$P = U \cdot I$$

también puede ser aplicada a resistencias óhmicas en circuitos de corriente alterna, si la corriente continua I es reemplazada por el valor de media cuadrática de la corriente

$$I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

I_0: amplitud de la corriente alterna

La potencia eléctrica de una tensión $U(t)$ en una resistencia de carga también depende del tiempo:

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

$I(t)$: corriente dependiente del tiempo que pasa a través de la resistencia de carga.

Para tensiones y corrientes periódicas mayormente se toma en cuenta la potencia promediada en un periodo T. Estas magnitudes denominadas frecuentemente potencia activa P_W y se puede medir electrónicamente cualquier tensión continua y alterna con el juliómetro y vatímetro .

En el experimento P3.6.6.1 se determina la potencia eléctrica de un calefactor de inmersión, apropiado para pequeñas tensiones, a partir del calor del juliómetro emitido por unidad de tiempo. Esta potencia es comparada con la tensión U_{rms} aplicada. Se verifica la relación

$$P : U_{ef}^2$$

Determinación de la potencia activa y la potencia reactiva en circuitos de corriente alterna (P3.6.6.5)

TRABAJO ELÉCTRICO Y POTENCIA ELÉCTRICA

P3.6.6.3
Comparación cuantitativa entre las potencias de corriente continua y de corriente alterna en una lámpara incandescente

P3.6.6.4
Determinación de los factores de cresta de diferentes formas de señales de corriente alterna

P3.6.6.5
Determinación de la potencia activa y la potencia reactiva en circuitos de corriente alterna

N° de cat.	Descripción	P3.6.6.3	P3.6.6.4	P3.6.6.5
531 831	Juliómetro y vatímetro	1	1	1
505 14	Juego 10 lamparas de incandescencia 6V/3	1		
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba	2		
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1		
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1		
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1		
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1		
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	2		
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	2		
522 621	Generador de funciones S 12		1	
536 131	Resistencia de medida 100 Ohmios		1	
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265		1	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm		1	1
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par		2	1
521 391	Fuente de alimentación de corriente alterna/corriente continua 0 ... 24 V / 5 A			1
537 35	Reóstato de cursor 330 ohmios			1
517 021	Condensador 40 µF			1
562 11	Núcleo en forma de U con yugo			1
562 121	Dispositivo de sujeción con pinza de resorte			1
562 15	Bobina de 1000 espiras			1
575 35	Adaptador BNC/clavijero de 4 mm, 2 polos			1
504 45	Conmutador monopolar			1
500 421	Cable de experimentación, 19A, 50 cm, rojo			2
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul			2

En el experimento P3.6.6.3 se encienden dos lámparas incandescentes del mismo tipo y que tienen la misma potencia eléctrica: una de ellas con tensión continua y la otra con tensión alterna. La igualdad de la potencia se verifica directamente con el juliómetro y vatímetro y también al comparar las intensidades luminosas. Esta igualdad se obtiene cuando el valor de la tensión continua es igual al valor eficaz de la tensión alterna.

En el experimento P3.6.6.4 se determina experimentalmente los factores de cresta, es decir, los cocientes de la amplitud U_0 y el valor eficaz U_{rms} para diferentes formas de señales de tensión alterna generadas con un generador de funciones. La amplitud se mide con un juliómetro y vatímetro conectados a una PC. El valor de la media cuadrática se calcula de la potencia P medida con el juliómetro y vatímetro en una resistencia óhmica R según

$$U_{eff} = \sqrt{P \cdot R}$$

En el experimento P3.6.6.5 se mide la corriente I_{rms} que fluye por una carga manteniendo la tensión alterna P_W constante y se mide también la potencia U_{rms}. Para verificar la relación:

$$P_w = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos\varphi$$

se determina el desplazamiento de fase φ entre la tensión y la corriente. El experimento muestra además que la potencia activa es cero en el caso de una carga puramente inductiva o capacitiva, ya que el desplazamiento de fase es φ = 90°. En este caso, la potencia aparente

$$P_s = U_{ef} \cdot I_{ef}$$

es denominada también potencia reactiva.

CIRCUITO DE OSCILACIÓN ELECTROMAGNÉTICO

P3.7.1.1
Oscilaciones electromagnéticas libres

Oscilaciones electromagnéticas libres (P3.7.1.1)

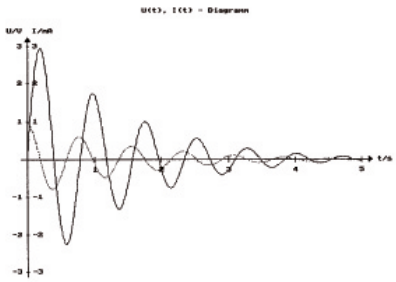
N° de cat.	Descripción	P3.7.1.1
517 011	Bobina de alta inductividad	1
517 021	Condensador 40 µF	1
301 339	Par de pies de soporte	2
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	2
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	2

Las oscilaciones electromagnéticas tienen lugar normalmente en rangos de frecuencia en las que el ojo humano no puede observarlas. Otra es la situación en un circuito oscilatorio montado con un condensador de alta capacidad (C = 40 µF) y una bobina de alta inductancia (L = 500 H). Aquí el periodo de las oscilaciones es de 1 s, de tal forma que las oscilaciones de tensión y corriente se pueden observar directamente con un instrumento indicador.

El experimento P3.7.1.1 tiene por objeto el estudio de las oscilaciones electromagnéticas libres. La atenuación es tan pequeña que es posible observar varios periodos oscilatorios y su duración puede ser medida. Aquí se comparan las desviaciones entre el periodo medido y el calculado a partir de la ecuación de Thomson

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}\ .$$

Las desviaciones se deben a que la inductancia depende de la corriente, ya que la permeabilidad del núcleo de hierro de la bobina depende de la intensidad del campo magnético.



Oscilación electromagnética amortiguada en el rango de 1 Hz (P3.7.1.1)

Estimación de las constantes dieléctricas del agua en el rango de las ondas decimétricas (P3.7.2.4)

ONDAS DECIMÉTRICAS

P3.7.2.1
Características de radiación y polarización de ondas decimétricas

P3.7.2.2
Amplitud modulada de ondas decimétricas

P3.7.2.4
Estimación de las constantes dieléctricas del agua en el rango de las ondas decimétricas

N° de cat.	Descripción	P3.7.2.1	P3.7.2.2	P3.7.2.4
587 551	Generador de ondas decimétricas	1	1	1
531 110	Multímetro LDanalog 10	1		
300 11	Zócalo	2	3	1
501 38	Cable de experimentación, 200 cm, negro	2		
522 621	Generador de funciones S 12		1	
532 20	Amplificador de c.c./c.a. 30 W		1	
587 08	Altavoz de banda ancha		1	
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm		1	
501 33	Cable de experimentación, 100 cm, negro		4	
587 54	Dipolos en cubeta de agua			1

En un conductor rectilíneo se pueden excitar oscilaciones electromagnéticas tal como sucede en un circuito oscilatorio. Tales osciladores emiten ondas electromagnéticas, en donde la intensidad irradiada es máxima cuando la longitud del conductor es equivalente a media longitud de onda (aquí se habla de un dipolo $\lambda/2$). Los experimentos sobre este tema dan muy buenos resultados con longitudes de onda en el rango decimétrico. La detección de tales ondas decimétricas se consigue con un segundo dipolo, cuya longitud es igualmente $\lambda/2$ y cuya tensión es aplicada a una lámpara incandescente o a un instrumento de medición a través de un rectificador de alta frecuencia.

En el experimento P3.7.2.1 se estudian las características de irradiación de un dipolo $\lambda/2$ para ondas decímétricas. Para ello se coloca al receptor en paralelo con el emisor y al mismo tiempo se le desplaza alrededor del mismo. Luego, se gira al receptor respecto al emisor para verificar la polarización de las ondas decimétricas emitidas.

El objetivo del experimento P3.7.2.2 es la transmisión de señales de audio frecuencia mediante ondas decimétricas moduladas en amplitud. En el caso de la modulación de amplitud a una señal de onda decimétrica

$$E(t) = E_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$$

se superpone la señal con frecuencia de sonido u(t) de la forma

$$E_{AM}(t) = E_0 \cdot (1 + k_{AM} \cdot u(t)) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$$

k_{AM}: factor de acoplamiento

En el experimento P3.7.2.4 se demuestra la propiedad dieléctrica del agua. En el agua, las ondas decimétricas se propagan con la misma frecuencia pero con longitudes de onda más cortas que en el aire. Aquí se cumple que un dipolo receptor sintonizado óptimamente a la longitud de onda en el aire no lo es para el agua.

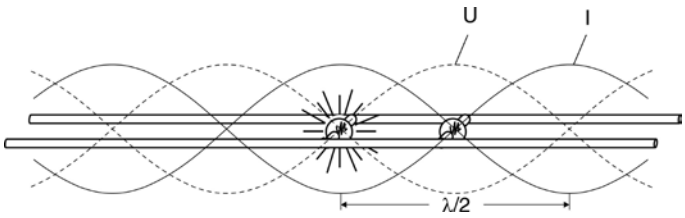
PROPAGACIÓN DE ONDAS DECIMÉTRICAS EN LÍNEAS

P3.7.3.1
Determinación de los máximos de corriente y de tensión en una línea de Lecher

P3.7.3.2
Estudio de la corriente y tensión en una línea Lecher con dipolo en bucle

Determinación de los máximos de corriente y de tensión en una línea de Lecher (P3.7.3.1)

N° de cat.	Descripción	P3.7.3.1-2
587 551	Generador de ondas decimétricas	1
587 56	Sistema lecher con accesorios	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1
300 11	Zócalo	3



Máximos de corriente y tensión en una linea de Lecher (P3.7.3.1)

E. Lecher (1890) propuso la utilización de la transmisión dirigida de ondas electromagnéticas mediante dos hilos paralelos. Con tal línea de Lecher es posible guiar ondas electromagnéticas hacia un lugar cualquiera en el espacio. Estas se miden a lo largo de la línea como una tensión que se propaga en forma de onda $U(x,t)$ o como corriente $I(x,t)$.

En el experimento P3.7.3.1 se estudia una línea de Lecher con extremo abierto y otra en cortocircuito. En los extremos de la línea se reflejan las ondas formándose ondas estacionarias. En el extremo abierto la corriente es nula, en el extremo cortocircuitado la tensión es nula. La corriente y la tensión están desplazadas entre sí en $\lambda/4$, es decir, los antinodos de una onda de tensión concuerdan con los nodos de la corriente. Los máximos de la tensión son buscados con una sonda en la cual se ha conectado una lámpara incandescente. Para determinar los máximos de corriente se utiliza una bobina de inducción a la que se le conecta una lámpara incandescente. A partir de las distancias d entre los máximos de corriente o entre los máximos de tensión se determina la longitud de onda λ. Se cumple que

$$d = \frac{\lambda}{2}$$

En el experimento P3.7.3.2 se conecta un segundo dipolo emisor (dipolo $\lambda/2$ plegado) al extremo de la línea de Lecher. Sobre la misma línea de Lecher no se encuentran máximos de tensión ni de corriente. En el centro del dipolo se detecta un máximo de corriente, en los extremos del dipolo máximo de tensión.

Difracción de microondas (P3.7.4.4)

MICROONDAS

P3.7.4.1
Curso del campo y polarización de microondas delante de una antena de bocina

P3.7.4.2
Absorción de microondas

P3.7.4.3
Determinación de la longitud de onda en microondas estacionarias

P3.7.4.4
Difracción de microondas

P3.7.4.5
Refracción de microondas

P3.7.4.6
Estudio de la reflexión total con microondas

N° de cat.	Descripción	P3.7.4.1-2	P3.7.4.3	P3.7.4.4	P3.7.4.5	P3.7.4.6
737 01	Oscilador Gunn	1	1	1	1	1
737 020	Fuente de alimentación Gunn con amplificador	1	1	1	1	1
737 21	Antena de bocina grande	1	1	1	1	1
737 35	Sonda de campo eléctrico	1	1	1	1	1
688 809	Varilla de soporte 245 mm, 10 mm Ø, con rosca M6	1	1	1	1	1
737 27	Accesorios para física de microondas I	1	1	1		
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1	1	1	1
300 11	Zócalo	2	2	4	2	1
501 022	Cable BNC, l = 2 m	2	2	2	2	2
501 461	Par de cables, 100 cm, negro	1	1	1	1	1
737 390	Juego de absorbentes de microondas	1*	1*	1*	1*	1*
737 275	Accessorios para física de microondas II		1	1	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1			
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño					1

* se requiere adicionalmente

Las microondas son ondas electromagnéticas en el rango de longitudes de onda entre 0,1 mm y 100 mm. Estas son generadas, por ejemplo, en una cavidad resonante, en donde la frecuencia está prefijada por el volumen de la cavidad resonante. Como detector se utiliza la sonda de campo eléctrico con la que mide la componente del campo eléctrico paralela a la sonda. La señal de salida de la sonda es proporcional al cuadrado de la intensidad del campo y con ello a la intensidad de las ondas electromagnéticas.

En el experimento P3.7.4.1 se estudia el curso y polarización del campo de microondas delante de la antena de bocina irradiadora. Con tal propósito, con la sonda de campo eléctrico se mide punto a punto el campo delante de la antena de bocina en dirección longitudinal y transversal. Para determinar la polarización se dispone de una rejilla de polarización pivotante compuesta de tiras delgadas de metal, en la que el campo eléctrico sólo puede formarse perpendicularmente a las tiras metálicas. La rejilla de polarización se sitúa entre la antena de bocina y la sonda E. El experimento muestra que el vector de campo eléctrico de la microonda irradiada es perpendicular al lado ancho del radiador de bocina.

El objetivo del experimento P3.7.4.2 es la absorción de microondas. Bajo el supuesto que la reflexión puede ser despreciada se calcula la absorción en diferentes materiales a partir de la intensidad incidente y transmitida. De aquí se obtienen resultados importantes de aplicación práctica en la cocina moderna como la fuerte absorción de microondas por el agua.

En el experimento P3.7.4.3 se generan microondas estacionarias por reflexión en una placa metálica. La intensidad, medida en un punto fijo entre la antena de bocina y una placa metálica, cambia si la placa es desplazada en dirección longitudinal. Aquí la distancia entre dos máximos de intensidad corresponde a media longitud de onda. Pero al colocar un dieléctrico en el recorrido de los rayos la longitud de onda se acorta.

Los dos experimentos P3.7.4.4 y P3.7.4.5 muestran que muchas propiedades de las microondas pueden compararse con las de la luz visible. Por un lado se estudia la difracción de microondas en un borde, en una ranura simple, en una ranura doble y en un obstáculo. Por otro lado se verifica la refracción de microondas y la validez de la ley de refracción de Snell.

En el experimento P3.7.4.6 se estudia la reflexión total de microondas en en medio óptico con índices bajos de refracción. De la mecánica de ondas es conocido que la onda reflectada penetra unas 3 a 4 longitudes de onda en el medio óptico con índices bajos de refracción, y desde allí se propaga superficialmente a lo largo de la superficie límite. Esto se verifica experimentalmente colocando un absorbente (por ejemplo la mano) al lado del medio óptico en la cercanía de la superficie límite y se observa la reducción de la intensidad reflejada.

PROPAGACIÓN DE MICROONDAS EN LÍNEAS

P3.7.5.1
Conducción de microondas a lo largo de una línea de Lecher

P3.7.5.2
Verificación cualitativa de la conducción de microondas a través de una guía de ondas metálicas flexibles

Conducción de microondas a lo largo de una línea de Lecher (P3.7.5.1)

N° de cat.	Descripción	P3.7.5.1	P3.7.5.2
737 01	Oscilador Gunn	1	1
737 020	Fuente de alimentación Gunn con amplificador	1	1
737 21	Antena de bocina grande	1	1
737 35	Sonda de campo eléctrico	1	1
688 809	Varilla de soporte 245 mm, 10 mm Ø, con rosca M6	1	1
737 275	Accessorios para física de microondas II	1	
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1
300 11	Zócalo	2	1
501 022	Cable BNC, l = 2 m	2	2
501 461	Par de cables, 100 cm, negro	1	1
737 390	Juego de absorbentes de microondas	1*	
737 27	Accesorios para física de microondas I		1

* se requiere adicionalmente

La conducción de microondas a través de una línea permite una transmisión cuasi libre de pérdidas en recorridos largos. En este caso se emplean guías de ondas metálicas, y es menos usual utilizar una línea Lecher de dos hilos paralelos.

Sin embargo en el experimento P3.7.5.1 se estudia la conducción de microondas a lo largo de una línea de Lecher. Aquí se mide la tensión a lo largo de la línea mediante una sonda de campo eléctrica. De la distancia de los máximos se determina la longitud de onda.

En el experimento P3.7.5.2 se demuestra la conducción de microondas a través de una guía de ondas metálica. En primer lugar, con la sonda de campo eléctrica se verifica que en una posición al lado de la antena de bocina la intensidad irradiada es muy reducida. Por último se implementa una guía de ondas metálicas flexible y doblada de tal manera que las microondas sean conducidas a la sonda de campo electrética y se mida una mayor intensidad.

Características direccionales de una antena de hélice - Registro a pulso (P3.7.6.1)

CARACTERÍSTICA DIRECCIONAL DE LA RADIACIÓN DIPOLAR

P3.7.6.1
Características direccionales de una antena de hélice - Registro a pulso

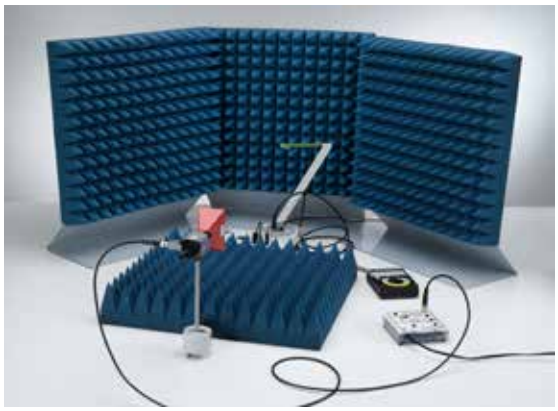
P3.7.6.2
Características direccionales de una antena Yagi - Registro a pulso

N° de cat.	Descripción	P3.7.6.1	P3.7.6.2
737 440	Juego de antenas helicoidales	1	
737 03	Detector coaxial	1	
737 407	Soporte para antenas con amplificador	1	1
737 020	Fuente de alimentación Gunn con amplificador	1	1
737 01	Oscilador Gunn	1	1
737 21	Antena de bocina grande	1	1
688 809	Varilla de soporte 245 mm, 10 mm Ø, con rosca M6	2	2
737 390	Juego de absorbentes de microondas	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	1
300 11	Zócalo	1	1
501 022	Cable BNC, l = 2 m	1	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1	1
501 461	Par de cables, 100 cm, negro	2	2
737 415	Juego de antenas de hilo		1

Las antenas direccionales irradian energía electromagnética en una dirección preferencial y la reciben con preferencia de esa dirección. Todas las antenas direccionales requieren dimensiones en el orden de varias longitudes de ondas. Esta exigencia se puede cumplir en el rango de microondas sin mucha aparatosidad. Por esta razón las microondas son especialmente apropiadas para los experimentos sobre características direccionales de antenas.

En el experimento P3.7.6.1 se registra la característica direccional de una antena de hélice. Como la excitación se realiza con una antena de bocina de polarización lineal, el sentido de rotación de la antena de hélice puede ser cualquiera (en sentido horario o antihorario). Los resultados de la medición se representan en forma de un diagrama polar del cual se puede leer fácilmente el efecto direccional dominante de la antena helicoidal.

En el experimento P3.7.6.2 se implementa una antena dipolar como una antena Yagi utilizando un elemento acoplador radiador para mejorar las características direccionales del montaje experimental. Cuatro elementos cortos situados delante del dipolo sirven de directores y un elemento largo minúsculo situado detrás del dipolo sirve como reflector. En el diagrama polar se determina el factor direccional del montaje.



TUBO CON CRUZ DE MALTA

P3.8.3.1
Demostración de la propagación lineal de los electrones en el espacio libre

P3.8.3.2
Desviación de los electrones en un campo magnético axial

Desviación de los electrones en un campo magnético axial (P3.8.3.2)

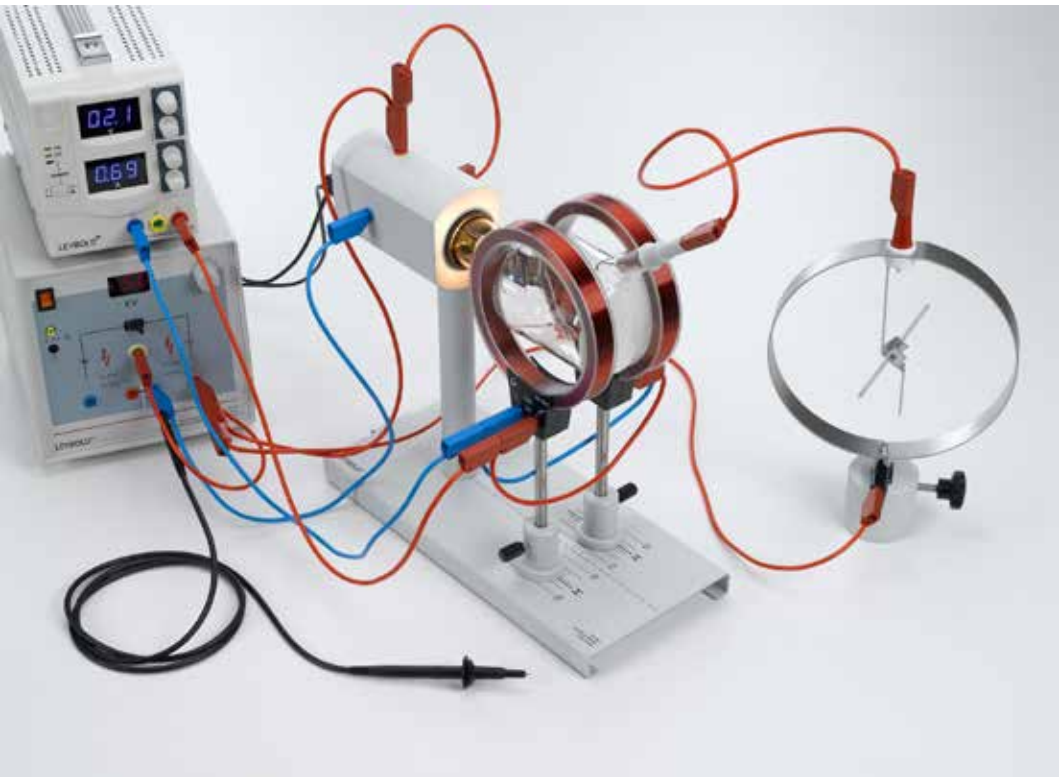
N° de cat.	Descripción	P3.8.3.1	P3.8.3.2
555 620	Tubo con cruz de Malta	1	1
555 600	Portatubo	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	1
510 48	Par de imanes	1	
500 611	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, rojo	1	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1	2
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	2
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	2
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	2	2
555 604	Par de bobinas de Helmholtz		1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A		1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		1

En el tubo con cruz de Malta los electrones son acelerados desde el ánodo hacia una pantalla fosforescente para ser observados como un fenómeno luminoso. Entre el ánodo y la pantalla se encuentra una cruz de Malta, cuya sombra puede ser vista sobre una pantalla. La cruz de Malta puede ser puesta a un potencial cualquiera a través de una conexión externa.

En el experimento P3.8.3.1 se verifica la propagación lineal de los electrones en el espacio libre. La cruz de Malta al potencial está conecta al ánodo y se compara la sombra de la misma en el rayo de electrones con la sombra producida con la luz. De la misma cobertura observada entre ambas sombras se concluye que los electrones se propagan línealmente. Por último, la cruz de Malta permanece sin potencial alguno. En este caso las cargas espaciales que surgen alrededor de la cruz de Malta generan un potencial repulsor que hace que la imagen de la pantalla aumente.

En el experimento P3.8.3.2 se aplica un campo magnético axial con un electroimán. La cruz de Malta gira y su imagen disminuye en tamaño dependiendo de la corriente de la bobina. Si se elige una relación apropiada entre alta tensión y corriente de bobina, se puede focalizar la cruz en casi un punto; para corrientes mayores la cruz empieza a crecer nuevamente. La explicación de la focalización magnética se basa en la trayectoria en espiral de los electrones en el campo magnético.

Sombra de la cruz maltesa en la pantalla fluorescente (P3.8.3.1)



Emisión termoiónica en el vacío: Determinación de la polaridad y estimación de la carga específica de los portadores de carga emitidos (P3.8.4.1)

TUBO DE PERRIN

P3.8.4.1
Emisión termoiónica en el vacío: Determinación de la polaridad y estimación de la carga específica de los portadores de carga emitidos

N° de cat.	Descripción	P3.8.4.1
555 622	Tubo de Perrin	1
555 600	Portatubo	1
555 604	Par de bobinas de Helmholtz	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1
540 091	Electroscopio	1
300 11	Zócalo	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	1
500 611	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, rojo	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	4
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	2
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	2

En el tubo de Perrin los electrones son acelerados por un ánodo con diafragma de agujero hacia una pantalla fosforescente. A la entrada del diafragma de agujero se han colocado placas de desviación horizontal para desviar electrostáticamente el rayo de electrones. A un ángulo de 45° respecto al rayo de electrones se encuentra un vaso de Faraday que puede ser cargado con los electrones desviados en dirección vertical hacia arriba. Mediante una conexión externa se puede medir la corriente de carga.

En el experimento P3.8.4.1 se ajusta la corriente de un par de bobinas de Helmholtz de tal manera que el rayo de electrones incida sobre el vaso de Faraday del tubo de Perrin. El vaso de Faraday está conectado a un electroscopio previamente cargado con una polaridad conocida. De la orientación de la desviación al presentarse el rayo de electrones, se deduce el signo de la carga electrónica. Simultáneamente se puede estimar la carga específica del electrón.

$$\frac{e}{m} = \frac{2U_A}{(B \cdot r)^2} \quad U_A\text{: tensión del ánodo}$$

El radio de curvatura r de la trayectoria circular está predeterminado por la geometría del tubo. El campo magnético B se calcula a partir de la corriente I que fluye por las bobinas de Helmholtz.

TUBO DE THOMSON

P3.8.5.1
Estudio de la desviación de electrones en campos eléctricos y magnéticos

P3.8.5.2
Montaje de un filtro de velocidad (filtro de Wien) para determinar la carga específica del electrón

Estudio de la desviación de electrones en campos eléctricos y magnéticos (P3.8.5.1)

N° de cat.	Descripción	P3.8.5.1-2
555 624	Tubo de desviación de electrones	1
555 600	Portatubo	1
555 604	Par de bobinas de Helmholtz	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	2
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1
500 611	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, rojo	2
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	2
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	4
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros	2

En el tubo de Thomson los electrones pasan por un diafragma de ranura detrás del ánodo e inciden rasantes sobre una pantalla inclinada situada en el trayecto del rayo de electrones, en donde puede verse el curso de los electrones. En la entrada de la ranura del diafragma se coloca un condensador de placas para desviar electrostáticamente los electrones en dirección vertical. Además, con las bobinas de Helmholtz se puede generar un campo magnético externo para desviar el rayo de electrones.

En el experimento P3.8.5.1 se estudia la desviación de los electrones en campos eléctricos y magnéticos. Se observa por un lado, el curso del rayo electrónico al variar la tensión de desviación U_P en el condensador de placas para diferentes tensiones de ánodo U_A. Por otro lado, los electrones en el campo magnético de las bobinas de Helmholtz se desvían al variar la corriente I de las bobinas. El radio de curvatura r de la trayectoria se mide a partir del punto de salida del rayo electrónico en la pantalla. Al aplicar la tensión del ánodo se obtiene un valor experimental para la carga específica del electrón:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U_A}{(B \cdot r)^2}$$

en donde el campo magnético B se calcula a partir de la corriente I

En el experimento P3.8.5.2 se construye un filtro de velocidad (filtro de Wien) con un campo eléctrico y magnético cruzados, que entre otros, permite la determinación exacta de la carga específica del electrón. Si con una tensión del ánodo U_A fija se ajusta la corriente I de las bobinas de Helmholtz y la tensión de desviación U_P de tal forma que los efectos del campo eléctrico y magnético justo se compensen, entonces la trayectoria del rayo es casi una recta y se cumple que:

$$\frac{e}{m} = \frac{1}{2U_A} \cdot \left(\frac{U_P}{B \cdot d}\right)^2$$

d: distancia entre las placas del condensador

Descarga de gas automantenida en el aire en función de la presión (P3.9.2.1)

DESCARGA DE GASES CON PRESIÓN REDUCIDA

P3.9.2.1
Descarga de gas automantenida en el aire en función de la presión

N° de cat.	Descripción	P3.9.2.1
554 161	Tubo de descarga, rayos canales	1
378 752	Bomba de vacío rotativa de paletas D 2,5 E	1
378 023	Esmerilado de acoplamiento macho NS 19/26	1
378 015	Pieza en cruz DN 16 KF	1
378 050	Collarin apriete DN 10/16 KF	5
378 045	Anillo de centra DN 16 KF	5
378 777	Llave p. vacio fino DN 16 KF	1
378 776	Valvula dosificadora DN 16 KF	1
378 5131	Vacuómetro según Pirani con display	1
378 701	Grasa para alto vacío P, 50 g	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	2
378 764	Filtro de escape AF 8	1*

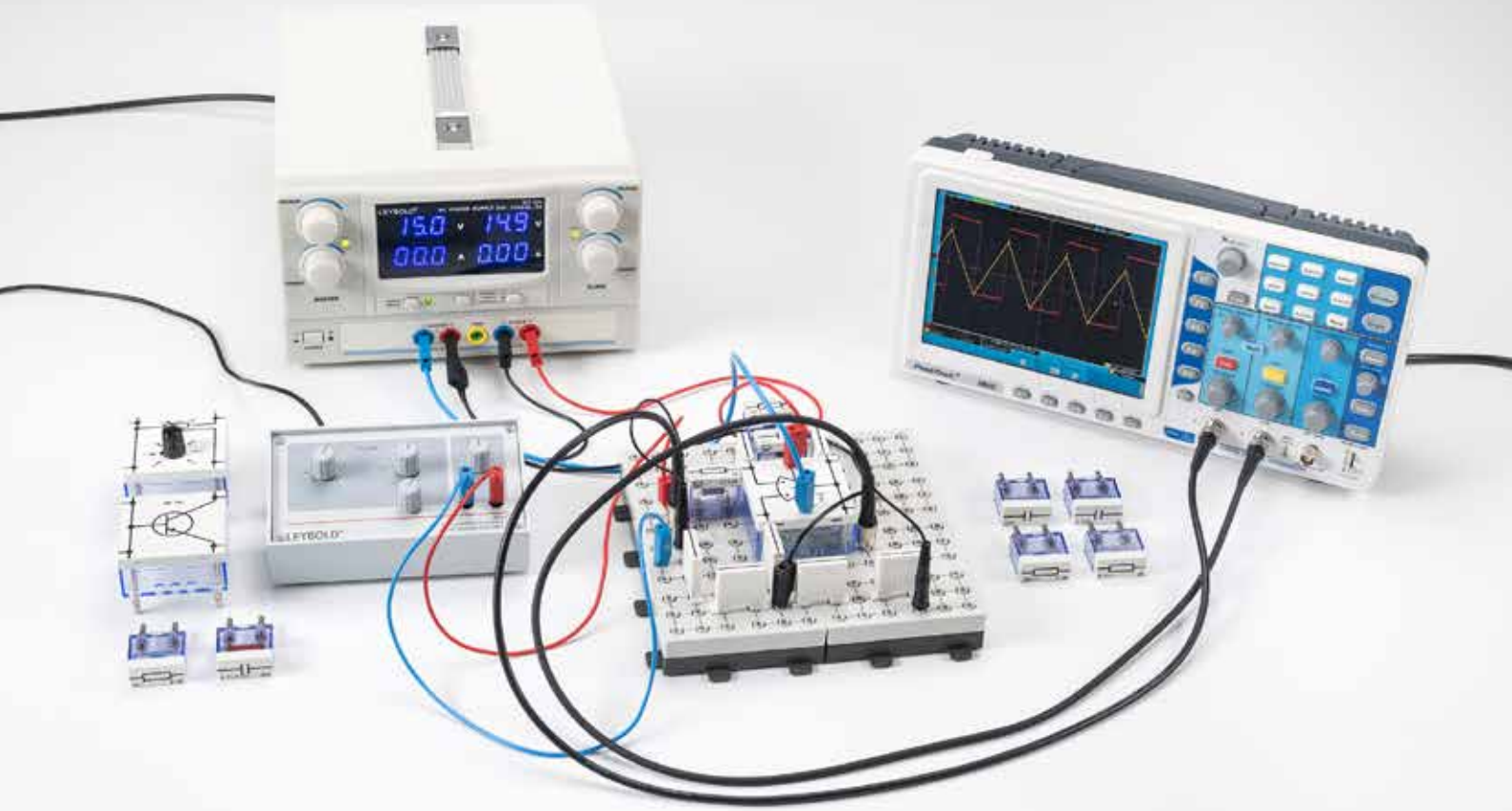
* se requiere adicionalmente

Una forma especial de descarga es la descarga luminiscente que se enciende automáticamente cuando se tienen pequeñas presiones con densidades relativamente bajas. Esta descarga está asociada a un fenómeno luminoso llamativo. La investigación de este fenómeno ha suministrado conocimientos fundamentales sobre la estructura del átomo.

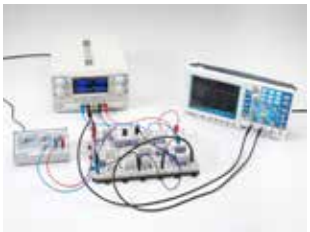
En el experimento P3.9.2.1 se conecta un tubo de vidrio cilíndrico a una bomba de vacío para evacuar el tubo lentamente. Una alta tensión es aplicada en los electrodos situados en el lado frontal del tubo de vidrio. Bajo presión normal no se presenta ninguna descarga. Sólo después de alcanzar una determinada presión se muestra un paso de corriente luminoso. Luego de seguir reduciendo la presión del gas se observan varias fases: En primer lugar se observa un hilo luminoso que va desde el ánodo al cátodo. Luego una columna luminosa llena todo el espacio desde el ánodo. Sobre el cátodo se forma una capa luminiscente. La columna se hace cada vez más corta y se extingue en varias capas, la capa luminiscente aumenta. La estratificación de la zona luminiscente es causada porque los electrones excitados deben recorrer un trayecto de aceleración después del choque excitador, para tener suficiente energía para una nueva excitación de los átomos. La distancia entre capas ilustra la longitud de recorrido libre.

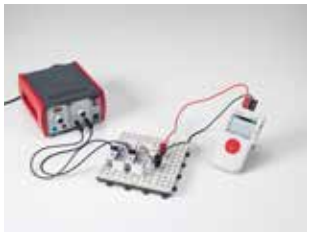
P4.2.2.5
Diferenciador e integrador

Para más información sobre este experimento, vaya a la página 138.



P4 ELECTRÓNICA



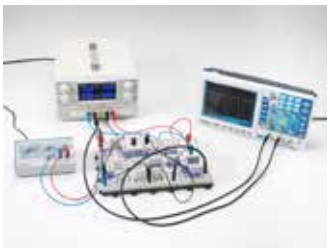


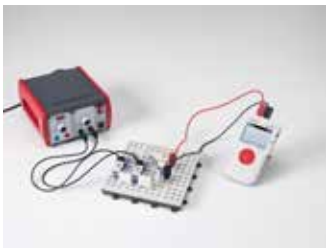
P4.1 COMPONENTES ELECTRÓNICOS, CIRCUITOS BÁSICOS 130

P4.2 AMPLIFICADORES OPERACIONALES 138

P4.5 ELECTRÓNICA DIGITAL 139

P4 ELECTRÓNICA





P4.1 COMPONENTES ELECTRÓNICOS, CIRCUITOS BÁSICOS

P4.1.1 Fuentes de corriente y tensión 131
P4.1.2 Resistencias especiales 132
P4.1.3 Diodos 133
P4.1.4 Circuitos con diodos 134
P4.1.5 Transistores 135
P4.1.6 Circuitos con transistores 136
P4.1.7 Optoelectrónica 137

P4.2 AMPLIFICADORES OPERACIONALES

P4.2.2 Circuitos con amplificadores operacionales 138

P4.5 ELECTRÓNICA DIGITAL

P4.5.1 Combinaciones simples 139
P4.5.2 Circuitos lógicos 140
P4.5.3 Entradas y salidas digitales y analógicas 141

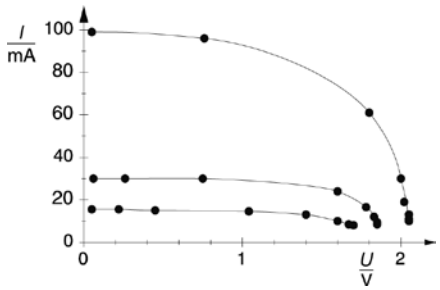
Registro de las curvas características de corriente y tensión de una batería solar en función de la intensidad de irradiación (P4.1.1.3)

FUENTES DE CORRIENTE Y TENSIÓN

P4.1.1.1
Determinación de la resistencia interna de una batería

P4.1.1.3
Registro de las curvas características de corriente y tensión de una batería solar en función de la intensidad de irradiación

N° de cat.	Descripción	P4.1.1.1	P4.1.1.3
576 86	Soporte de celda mono STE 2/50	1	
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	3
685 48	Pila 1,5 V JEC R20	1	
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	2
537 32	Reostato de cursor 10 ohmios	1	
500 614	Cables de seguridad para experimentación, 25 cm, negros	5	
577 90	Potenciómetro 220 Ohmios, STE 4/50		1
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10		1
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W		1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/		1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A		1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande		1
300 43	Varilla de soporte, 75 cm, 12 mm Ø		1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6		1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		2
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros		2



Curvas características de corriente-tensión de una batería para differentes intensidades de iluminación (P4.1.1.3)

Generalmente la tensión U_0 generada por una fuente de tensión se diferencia de la tensión U medida en las bornes, tan pronto como se toma de la fuente una corriente I. Esto se debe a que en la fuente de tensión actúa una resistencia R_i en la que cae una parte del voltaje. A esta resistencia se le denomina resistencia interna de la fuente de tensión.

La celda solar es un fotoelemento semiconductor con una unión pn en donde la energía de irradiación solar es convertida directamente en energía eléctrica. Frecuentemente se combinan varias celdas solares para conformar una batería solar.

En el experimento P4.1.1.1, un reóstato se conecta como carga óhmica a una batería para determinar la resistencia interna. Se mide la tensión U en los bornes de la batería para diferentes cargas y se grafica esta tensión en función de la corriente I que pasa por el reóstato. La resistencia interna R_i se determina con la expresión

$$U = U_0 - R_i \cdot I$$

por medio del ajuste de una recta a los valores medidos. Un segundo diagrama representa la potencia

$$P = U \cdot I$$

en función de la resistencia de carga. La potencia es máxima cuando la resistencia de carga toma el valor de la resistencia interna R_i.

En el experimento P4.1.1.3 se registran las curvas características corriente-tensión de una batería solar para diferentes intensidades de irradiación. Para variar la intensidad de la irradiación se varía la distancia a la fuente de luz. Las curvas características muestran un comportamiento característico: para pequeñas resistencias de carga la batería solar suministra una corriente cuasi constante. Después de sobrepasar una tensión crítica, que depende de la intensidad de la irradiación, la batería solar empieza a trabajar cada vez más como una fuente de tensión constante.

RESISTENCIAS ESPECIALES

P4.1.2.1
Registro de la curva característica de corriente y tensión de una lámpara incandescente

P4.1.2.2
Registro de la curva característica de corriente y tensión de un varistor

P4.1.2.3
Medición de las resistencias PTC y NTC en función de la temperatura

P4.1.2.4
Medición de fotoresistencias en función de la iluminación

Registro de la curva característica de corriente y tensión de una lámpara incandescente (P4.1.2.1)

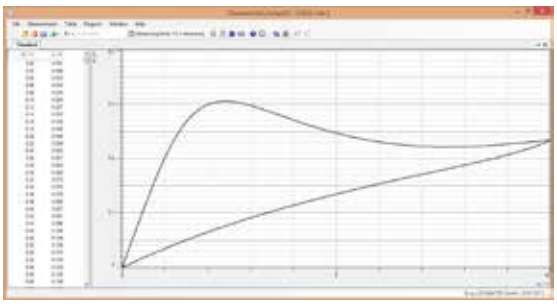
N° de cat.	Descripción	P4.1.2.1	P4.1.2.2	P4.1.2.3	P4.1.2.4
505 08	Lámparas de incandescencia 12 V/3 W, E10, juego de 10	1			
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba	1			
524 011USB	Power-CASSY USB	1			
524 220	CASSY Lab 2	1			
578 00	Resistencia VDR		1		
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10		1	1	
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A		1	1	1
531 120	Multímetro LDanalog 20		2	2	1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		2	2	
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		2	2	
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul		1	1	
578 061	Sonda PTC resistiva STE 2/19			1	
578 04	Sonda resistencia NTC 4,7 kOhmios			1	
666 767	Placa calentadora			1	
382 34	Termómetro -10 ...+110°C			1	
664 104	Vaso, 400 ml, forma baja			1	
578 02	Fotorresistencia LDR 05, STE 2/19				1
579 05	Portalámparas con rosca E10, lateral, STE 2/19				1
505 131	Lámparas de incandescencia 6 V/5 W, E10, juego de 10				1
460 21	Soporte para elemento enchufable				2
521 210	Transformador 6/12 V				1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m				1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35				2
501 45	Cables, 50 cm, rojo/azul, par				2
500 422	Cable de experimentacion 50 cm azul				1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1			

Para el registro de la curva característica de corriente y tensión de una lámpara incandescente, En el experimento P4.1.2.1 se utiliza el sistema CASSY. Como el filamento incandescente se calienta al suministrarse corriente y su resistencia depende de la temperatura, al encender o apagar la corriente se obtienen diferentes curvas características. Además, la curva característica depende de la velocidad de aumento dU/dt de la tensión.

En el experimento P4.1.2.2 se registra la curva característica de la corriente y tensión de un varistor (VDR resistencia depende del voltaje). En el denominado rango de operación la curva característica no es lineal. En corrientes más altas la curva alcanza el denominado rango de aumento, en el que crece la componente óhmica detoda la resistencia.

En el experimento P4.1.2.3 se miden las características de temperatura de una resistencia NTC y de una resistencia PTC. Los valores medidos pueden ser descritos mediante ecuaciones empíricas, en las que aparecen como parámetros el valor nominal R_0, la temperatura de referencia T_0 y una constante del material.

El objetivo del experimento P4.1.2.4 es encontrar la característica de una fotorresistencia de CdS (LDR resistencia depende de la luz): su resistencia varía según la iluminación entre aproximadamente 100 Ω y aproximadamente10 MΩ. La resistencia se mide en función de la distancia a una lámpara incandescente que ilumina a la fotorresistencia.



Características de corriente y voltaje en la bombilla de luz (P4.1.2.1)

Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos luminosos (LED) (P4.1.3.3)

DIODOS

P4.1.3.1
Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos

P4.1.3.2
Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos Zener (diodos-Z)

P4.1.3.3
Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos luminosos (LED)

P4.1.3.4
Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos con CASSY

P4.1.3.5
Registro de las curvas características de corriente y tensión de diodos Zener con CASSY

P4.1.3.6
Registro de las curvas características corriente-tensión de diodos luminosos (LED) con CASSY

N° de cat.	Descripción	P4.1.3.1	P4.1.3.2	P4.1.3.3	P4.1.3.4	P4.1.3.5	P4.1.3.6
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	1	1	1	1	1
578 51	Diodo 1N 4007, STE 2/19	1			1		
578 50	Diodo Ge AA 118	1			1		
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19	1	1	1	1	1	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	1	1			
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	2	2			
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2	2	2	2	2	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2	2	2	2	2	2
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1	1			
578 55	Diodo zener 6,2, STE 2/19		1			1	
578 54	Diodo zener ZPD 9,1		1			1	
578 57	Diodo luminoso verde, STE 2/19			1			1
578 47	Diodo luminoso amarillo, LED3, arriba STE 2/19			1			1
578 48	Diodo luminoso rojo, STE 2/19			1			1
578 49	Diodo luminoso infrarrojo; lateral			1			1
524 013	Sensor-CASSY 2				1	1	1
524 220	CASSY Lab 2				1	1	1
500 644	Cables de seguridad para experimentación, 100 cm, negros				1	1	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)				1	1	1

Los componentes electrónicos semiconductores son parte imprescindible de casi todas las áreas de los circuitos electrónicos. Entre los componentes electrónicos más simples se tiene a los diodos semiconductores. Estos contienen un cristal semiconductor en el que se encuentran colindantes una zona conductora n y una zona conductora p. Por recombinación de los portadores de carga, esto es, los electrones de la zona conductora n y los huecos de la zona conductora p, se forma una zona de juntura de poca conductividad. Esta aumenta cuando se aplica un campo eléctrico que arrastra a los electrones o a los huecos fuera de la juntura. El sentido del campo eléctrico se denomina sentido de bloqueo. En el sentido inverso al campo eléctrico los electrones o los huecos son arrastrados hacia la juntura y facilitan el paso de la corriente por el diodo.

En el experimento P4.1.3.1 se mide manualmente y registra punto a punto la curva característica de corriente y tensión de un diodo de silicio y un diodo de germanio. Se compara la corriente en sentido de bloqueo y la tensión umbral como los datos más importantes de ambos diodos.

El objetivo del experimento P4.1.3.2 es medir la curva característica de corriente y tensión de un diodo Z. La particularidad de este diodo es la tensión de ruptura en el sentido de bloqueo, a partir de la cual la corriente crece en avalancha. La corriente se debe a los portadores en la zona de bloqueo que, acelerados por la tensión aplicada, ionizan por choques de otros átomos del semiconductor.

En el experimento P4.1.3.3 y P4.1.3.6 se comparan las curvas características de diodos luminiscentes infrarrojos, rojos, amarillos y verdes.

En el experimento P4.1.3.1 se mide y registra punto a punto la curva característica de corriente y tensión de un diodo de silicio y un diodo de germanio mediante el CASSY. Se compara la corriente en sentido de bloqueo y la tensión umbral como los datos más importantes de ambos diodos.

El objetivo del experimento P4.1.3.2 es medir la curva característica de corriente y tensión de un diodo Z. La particularidad de este diodo es la tensión de ruptura en el sentido de bloqueo, a partir de la cual la corriente crece en avalancha. La corriente se debe a los portadores en la zona de bloqueo que, acelerados por la tensión aplicada, ionizan por choques otros átomos del semiconductor.

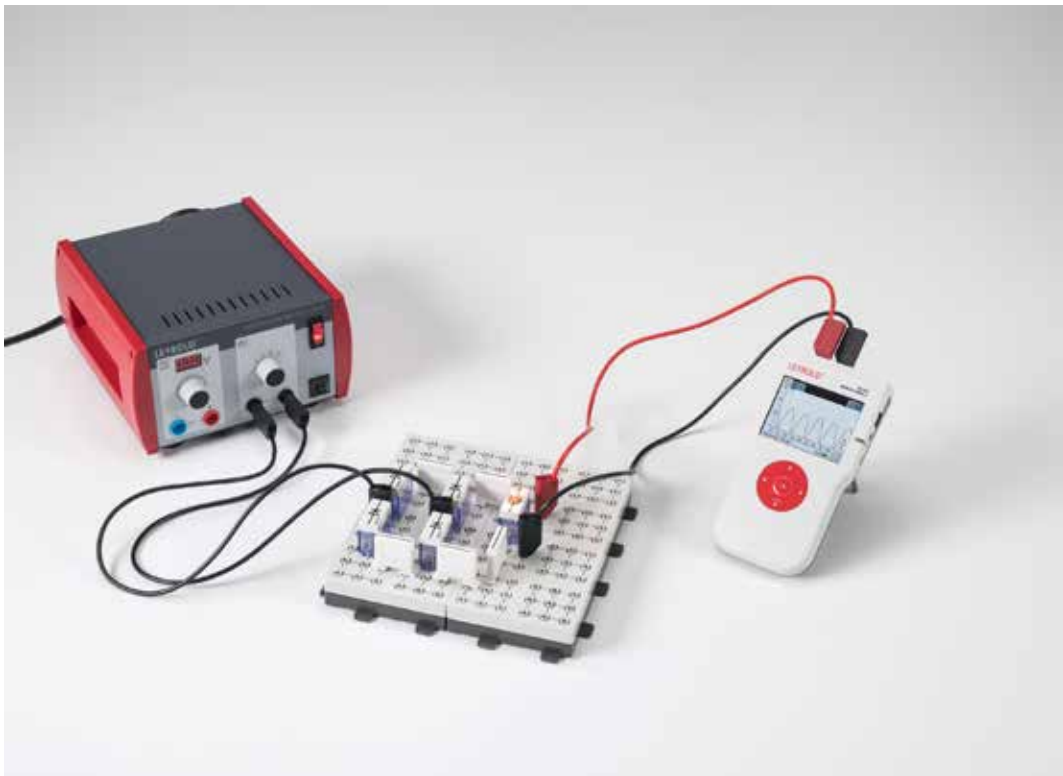
CIRCUITOS CON DIODOS

P4.1.4.1
Rectificación de tensión alterna mediante diodos

P4.1.4.2
Limitación de tensión con un diodo Zener

P4.1.4.3
Verificación de polaridad mediante diodos luminosos

P4.1.4.4
Rectificación de tensión alterna mediante diodos con CASSY



Rectificación de tensión alterna mediante diodos con CASSY (P4.1.4.4)

N° de cat.	Descripción	P4.1.4.1	P4.1.4.2	P4.1.4.3	P4.1.4.4
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	2	1	1	2
578 51	Diodo 1N 4007, STE 2/19	4			4
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba	1	1		1
505 08	Lámparas de incandescencia 12 V/3 W, E10, juego de 10	1	1		1
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1			1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1			
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1			
531 120	Multímetro LDanalog 20	1	2	2	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	1	3	3	1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1	3	3	
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2			3
578 55	Diodo zener 6,2, STE 2/19		1		
577 42	Resistencia 680 Ohmios, 2 W		1	1	
578 57	Diodo luminoso verde, STE 2/19			1	
578 48	Diodo luminoso rojo, STE 2/19			1	
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi				1

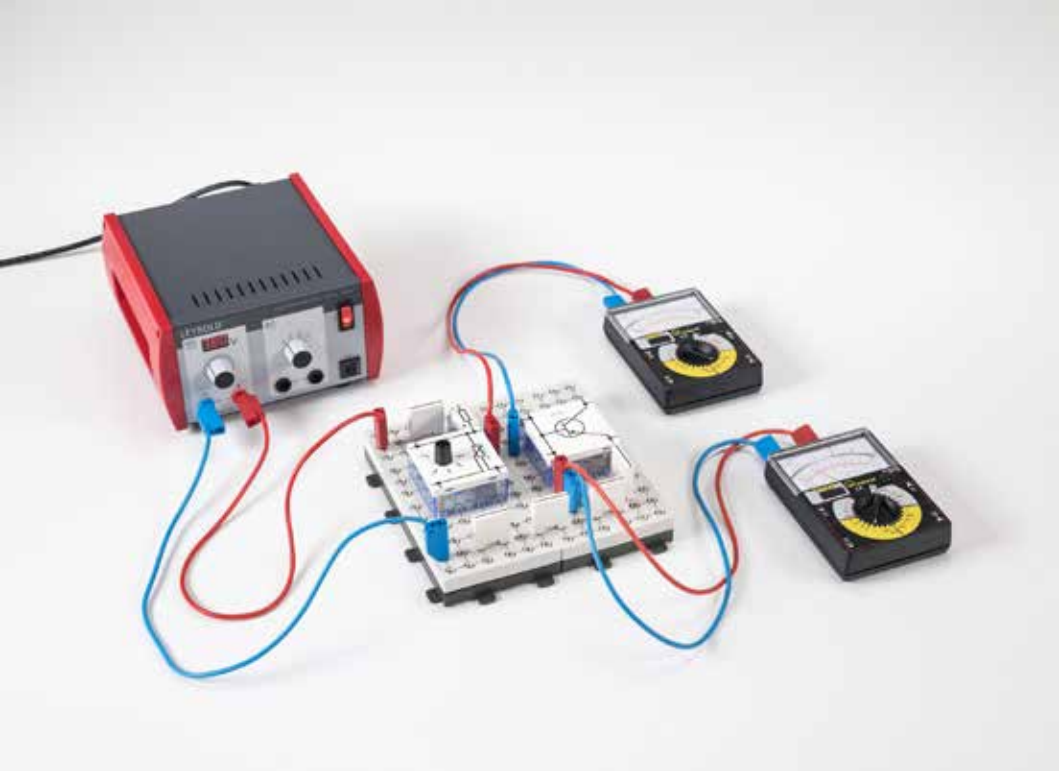
Los diodos, diodos Zener y diodos luminosos se han convertido en componentes elementales de casi todos los circuitos electrónicos.

En el experimento P4.1.4.1 se estudia el funcionamiento de rectificadores de media y de onda completa para la rectificación de una tensión alterna. El rectificador de media onda construido de un solo diodo bloquea, según sea la polaridad del diodo, cada primera media onda de la tensión alterna y deja pasar cada segunda media onda. Por el contrario, el rectificador de onda completa construido con cuatro diodos conectados en puente utiliza ambas semiondas de la tensión alterna.

En el experimento P4.1.4.2 se demuestra el empleo de un diodo Zener como dispositivo de protección contra sobretensiones. Siempre que la tensión esté por debajo de la tensión de ruptura U_Z del diodo Z, el diodo Z actúa como aislador y la tensión U permanece sin cambiar. Si las tensiones están por encima de U_Z entonces fluye una corriente tan alta por el diodo Z, que U es limitada a U_Z.

El objetivo del experimento P4.1.4.3 es el montaje de un circuito para la verificación de la polaridad de la tensión con un diodo luminoso verde y un diodo luminoso rojo (LED). Se prueba el circuito con tensión continua y con tensión alterna.

En el experimento P4.1.4.4 se estudia el funcionamiento de rectificadores de media y de onda completa para la rectificación de una tensión alterna: El rectificador de media onda construido de un solo diodo bloquea, según sea la polaridad del diodo, cada primera media onda de la tensión alterna y deja pasar cada segunda media onda. Por el contrario, el rectificador de onda completa construido con cuatro diodos conectados en puente utiliza ambas semiondas de la tensión alterna. El sistema informático CASSY se utiliza para registrar los voltajes.



Registro de las curvas características de un transistor (P4.1.5.2)

TRANSISTORES

P4.1.5.1
Estudio de las propiedades de diodos de las secciones de transistores

P4.1.5.2
Registro de las curvas características de un transistor

P4.1.5.3
Registro de las curvas características de un transistor de efecto de campo

P4.1.5.4
Registro de las curvas características de un transistor con CASSY

P4.1.5.5
Registro de las curvas características de un transistor de efecto de campo con CASSY

N° de cat.	Descripción	P4.1.5.1	P4.1.5.2	P4.1.5.3	P4.1.5.4	P4.1.5.5
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	2	3	1	1
578 67	Transistor BD 137, NPN, emisor abajo, STE 4/50	1	1		1	
578 68	Transistor BD 138, PNP, emisor abajo, STE 4/50	1				
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19	1		1		
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	1	1		
531 120	Multímetro LDanalog 20	2	3	2		
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2	4	3	1	3
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	3	4	3	2	3
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19		1	1		
577 64	Resistencia 47 kOhmios, 0,5 W		1	1		
577 90	Potenciómetro 220 Ohmios, STE 4/50		1	1		
577 92	Potenciometro 1 kOhmio, 1 W		1	1		
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10		1	2		
578 772	Transistor (efecto de campo), J112			1		1
578 51	Diodo 1N 4007, STE 2/19			1		
521 210	Transformador 6/12 V			1		
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265			1		
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm			2		
577 56	Resistencia 10 kOhmios, STE 2/19				1	1
578 31	Condensador 0,1 µF, 100 V				1	1
524 013	Sensor-CASSY 2				1	1
524 011USB	Power-CASSY USB				1	1
524 220	CASSY Lab 2				1	1
500 611	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, rojo				1	
500 612	Cable de seguridad para experimentación, 25 cm, azul				1	
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)				1	1

Por todos es conocido que los transistores son componentes semiconductores de los más importantes en los circuitos electrónicos. Se diferencia entre transistores bipolares, en los cuales los electrones y huecos participan simultáneamente en la conducción de corriente, y transistores de efecto de campo, en los que los electrones son los responsables por la corriente. Los electrodos del transistor bipolar se denominan Emisor, Base y Colector. Estos están compuestos de tres capas conductoras n y p, en la sucesión npn o pnp. La zona de la base, situada en el centro, es tan delgada que los portadores de carga que parten de una juntura alcanzan la otra. En los transistores de efecto de campo la conductividad del canal conductor de corriente varía sin pérdida de potencia por medio de un campo eléctrico. Este campo es generado por el llamado Gate (puerta). El electrodo de entrada de estos transistores se denomina Source (surtidor) y el electrodo de salida Drain (drenador).

El objetivo del experimento P4.1.5.1 es el estudio de la estructura básica de un transistor bipolar y su comparación con un diodo. Se estudia explícitamente la diferencia entre un transistor npn y un transistor pnp.

En el experimento P4.1.5.2 se estudian las propiedades de un transistor npn a partir de sus curvas características. Se mide la característica de entrada, esto es, la corriente de base I_B en función de la tensión base-emisor U_{BE}, las características de salida, esto es, la corriente del colector I_C en función de la tensión de colector-emisor U_{CE} para una corriente de base constante I_B, y las características de control, esto es, la corriente del colector I_C en función de la corriente de base I_B para una tensión de colector-emisor U_{CE} constante.

En el experimento P4.1.5.3 se miden y registran las características de un transistor de efecto de campo, es decir, la corriente de drenaje I_D en función de la tensión entre drenador y surtidor U_{DS} para un tensión de puerta U_G constante.

En el experimento P4.1.5.2 se estudian las propiedades de un transistor npn a partir de sus curvas características. Se mide la característica de entrada, esto es, la corriente de base I_B en función de la tensión base-emisor U_{BE}, las características de salida, esto es, la corriente del colector I_C en función de la tensión de colector-emisor U_{CE} para una corriente de base constante I_B, y las características de control, esto es, la corriente del colector I_C en función de la corriente de base I_B para una tensión de colector-emisor U_{CE} constante.

En el experimento P4.1.5.5 se registra y se mide la característica de un transistor de efecto de campo como funsión de la tensión U_{DS} entre el drenaje y la fuente a una tensión de puerta U_G constante .

CIRCUITOS CON TRANSISTORES

P4.1.6.1
Transistor como amplificador

P4.1.6.2
Transistor como conmutador

P4.1.6.3
Transistor como generador de señales (oscilador)

P4.1.6.4
Transistor como generador de funciones

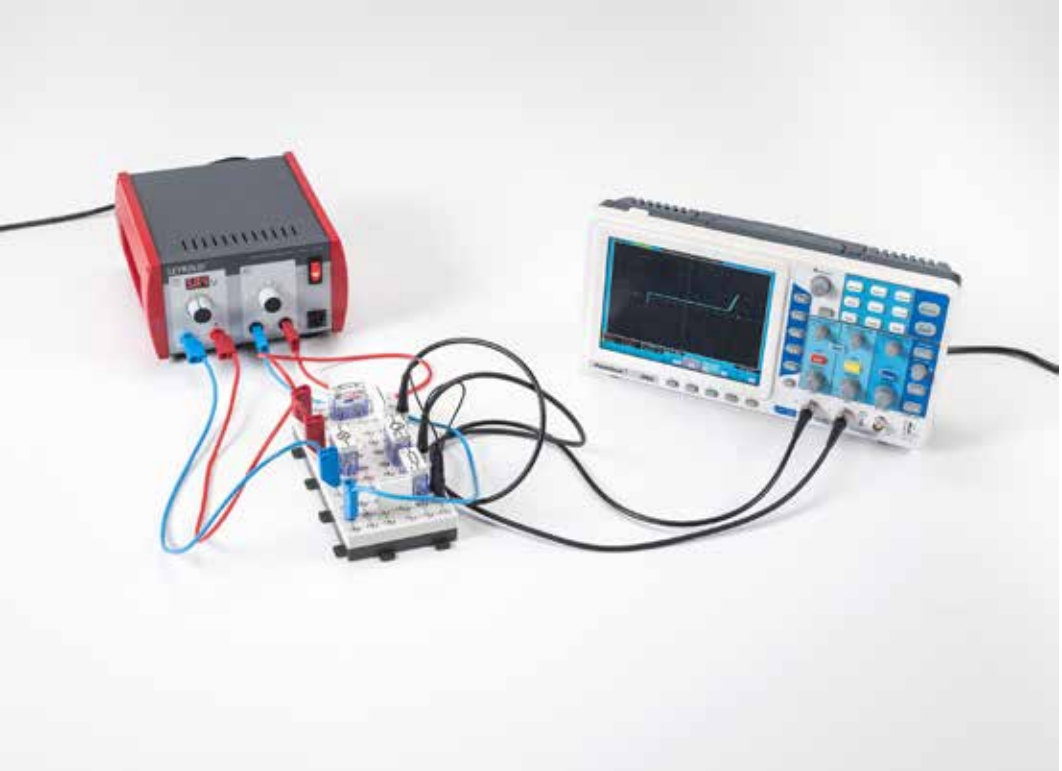
P4.1.6.5
Transistor de efecto de campo como amplificador

P4.1.6.6
Transistor de efecto de campo como conmutador

Transistor de efecto de campo como conmutador (P4.1.6.6)

N° de cat.	Descripción	P4.1.6.1	P4.1.6.2	P4.1.6.3	P4.1.6.4	P4.1.6.5	P4.1.6.6
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	3	2	3	3	3	2
578 67	Transistor BD 137, NPN, emisor abajo, STE 4/50	1	1				
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19	1	1	2			
577 56	Resistencia 10 kOhmios, STE 2/19	1		3		1	1
577 64	Resistencia 47 kOhmios, 0,5 W	1		2			1
577 80	Resistencia variable 10 kOhmios, 1 W	1	1				
577 82	Resistencia variable 47 kOhmios, STE 2/19	1					
578 38	Condensador 47 µF, 40 V	1				1	
578 39	Condensador (electrólito) 100 µF, STE 2/19	1					
578 40	Condensador (electrólito) 470 µF, STE 2/19	1			1		
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	1	1	1	1	1
522 621	Generador de funciones S 12	1				1	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	1	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1		1	1	1	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2		2	2	2	2
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2	3	2	1	2	3
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2	3	3	1	2	3
578 02	Fotorresistencia LDR 05, STE 2/19		1				
578 061	Sonda PTC resistiva STE 2/19		1				
579 06	Portalámparas con rosca E10 arriba		1		2		
505 08	Lámparas de incandescencia 12 V/3 W, E10, juego de 10		1				
579 13	Interruptor basculante STE 2/19		1				
579 38	Elemento calefactor 100 Ohm, 2 W, STE 2/50		1				
531 120	Multímetro LDanalog 20		2	1		1	1
578 76	Transistor BC 140			2	2		

N° de cat.	Descripción	P4.1.6.1	P4.1.6.2	P4.1.6.3	P4.1.6.4	P4.1.6.5	P4.1.6.6
577 58	Resistencia 15 kOhmios, 0,5 W			2	2	1	
577 68	Resistencia 100 kOhmios, 0,5 W			2		1	
577 81	Resistencia de regulación 4,7 kOhmios, 1			2			
578 22	Condensador 100 pF			2			
578 23	Condensador 220 pF, 160 V			2			
578 35	Condensador 1 µF, STE 2/19			2		2	
578 16	Condensador 4,7 µF, 63 V			2			
577 46	Resistencia 1,5 kOhmios, 1,4 W				2		
578 41	Condensador 220 µF, bipolar, 16 V				1		
578 13	Condensador 0,22 µF, 250 V				1		
578 33	Condensador 0,47 µF, 100 V				1		
578 51	Diodo 1N 4007, STE 2/19				2		
505 191	Lámparas de incandescencia 15 V/2W, E10, juego de 5				1		
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros				1	1	
578 772	Transistor (efecto de campo), J112					1	1
577 61	Resistencia 33 kOhmios, 0,5 W					1	
577 657	Resistencia 68 kOhmios, 0,5 W					1	
577 76	Resistencia 1 MOhmio, 0,5 W					1	
578 36	Condensador 2,2 µF, 63 V					1	
577 92	Potenciometro 1 kOhmio, 1 W						1



Registro de las curvas características de un fototransistor conectado como fotodiodo (P4.1.7.1)

OPTOELECTRÓNICA

P4.1.7.1
Registro de las curvas características de un fototransistor conectado como fotodiodo

P4.1.7.2
Montaje de una línea de transmisión óptica

N° de cat.	Descripción	P4.1.7.1	P4.1.7.2
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	1	3
578 61	Fototransistor	1	1
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19	1	
577 56	Resistencia 10 kOhmios, STE 2/19	1	3
579 05	Portalámparas con rosca E10, lateral, STE 2/19	1	
505 08	Lámparas de incandescencia 12 V/3 W, E10, juego de 10	1	
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	1
521 487	Unidad de alimentación CA/CC PRO 0...12 V/3 A	1	
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2	2
578 57	Diodo luminoso verde, STE 2/19		1
578 58	Diodo luminoso rojo, lateral		1
578 68	Transistor BD 138, PNP, emisor abajo, STE 4/50		1
578 85	Amplificador operacional LM 741		1
577 28	Resistencia 47 Ohmios, STE 2/19		1
577 40	Resistencia 470 Ohmios, STE 2/19		1
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19		1
577 48	Resistencia 2,2 kOhmios, 1,4 W		1
577 64	Resistencia 47 kOhmios, 0,5 W		1
578 16	Condensador 4,7 µF, 63 V		2
578 39	Condensador (electrólito) 100 µF, STE 2/19		1
578 40	Condensador (electrólito) 470 µF, STE 2/19		1
521 536	Fuente de alimentación de CC 2 x 0...16 V/2 x 0...5 A		1
522 621	Generador de funciones S 12		1
579 29	Auricular		1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6		1
500 614	Cables de seguridad para experimentación, 25 cm, negros		4
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros		1

La optoelectrónica se ocupa de la aplicación de la interacción entre la luz y los portadores eléctricos en dispositivos ópticos y electrónicos. En los montajes optoelectrónicos se tiene un elemento emisor de luz, un elemento transmisor y un elemento sensible a la luz. El control de un haz de luz es eléctrico.

El objetivo del experimento P4.1.7.1 es el estudio de un fototransistor conectado como fotodiodo sin conexión de la base. Con un osciloscopio se representa las características de corriente y tensión en los casos: no iluminado, poco iluminado y bien iluminado. Se muestra que las características del fotodiodo totalmente iluminado son similares a las de un diodo Zener, mientras que en el estado no iluminado no se observa un comportamiento conductor.

En el experimento P4.1.7.2 se demuestra la transmisión óptica de las señales eléctricas de un generador de funciones hacia un altavoz. Las señales modulan la intensidad de la luz de un diodo luminoso al variar la corriente de conducción. La luz del fotodiodo se suministra a la base de un fototransistor a través de una guía de luz flexible. El fototransistor está conectado en serie con el altavoz para transmitir las señales al altavoz.

CIRCUITOS CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES

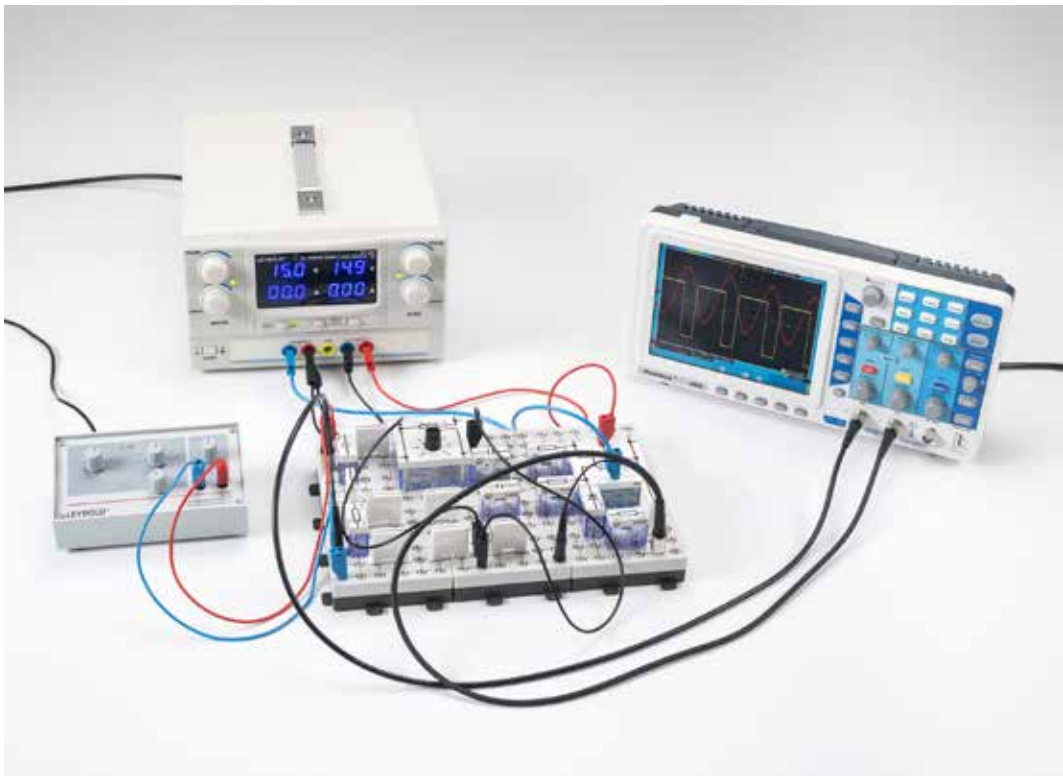
P4.2.2.1
Amplificador operacional no conectado (comparador)

P4.2.2.2
Amplificador operacional inversor

P4.2.2.3
Amplificador operacional no-inversor

P4.2.2.4
Sumador y substractor

P4.2.2.5
Diferenciador e integrador

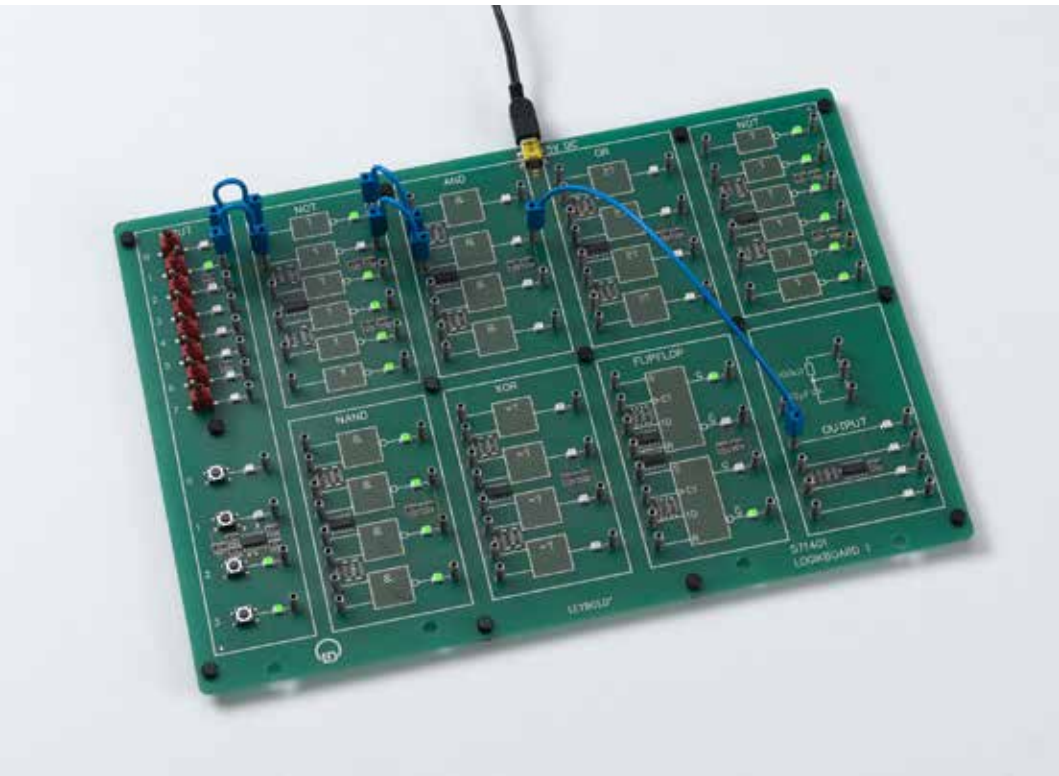


Amplificador operacional no conectado (comparador) (P4.2.2.1)

N° de cat.	Descripción	P4.2.2.1	P4.2.2.2	P4.2.2.3	P4.2.2.4	P4.2.2.5
576 81	Tablero de conexiones casquillo de seguridad, 20/10	3	2	2	3	2
578 85	Amplificador operacional LM 741	1	1	1	1	1
577 56	Resistencia 10 kOhmios, STE 2/19	1	2	2	2	1
577 61	Resistencia 33 kOhmios, 0,5 W	2	1		1	
577 62	Resistencia 39 kOhmios, 0,5 W	1				
577 68	Resistencia 100 kOhmios, 0,5 W	1	1		4	1
577 74	Resistencia 470 kOhmios, 0,5 W	1				
577 96	Potenciometro 100 kOhmios, 1 W	2	1			1
578 26	Condensador 2,2 nF, 160 V	2				1
578 28	Condensador 10 nF	1				1
578 51	Diodo 1N 4007, STE 2/19	1				
501 48	Conectores puente STE 2/19, juego de 10	1	1	1	1	1
522 621	Generador de funciones S 12	1	1	1		1
521 536	Fuente de alimentación de CC 2 x 0...16 V/2 x 0...5 A	1	1	1	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1	1		1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	2	2	2		2
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	1	1	1	1
500 614	Cables de seguridad para experimentación, 25 cm, negros	3	1	2	1	2
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo	2	3	3	3	2
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	2	3	3	3	2
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	1	1	1	1	1
577 44	Resistencia 1 kOhmio, STE 2/19		1		1	1
577 50	Resistencia 3,3 kOhmios, 1,4 W		1			
577 52	Resistencia 4,7 kOhmios, STE 2/19		1	1		1
577 64	Resistencia 47 kOhmios, 0,5 W		2			

N° de cat.	Descripción	P4.2.2.1	P4.2.2.2	P4.2.2.3	P4.2.2.4	P4.2.2.5
577 80	Resistencia variable 10 kOhmios, 1 W		1	1		
531 120	Multímetro LDanalog 20		1	1	1	
577 32	Resistencia 100 Ohmios, STE 2/19			1		
577 40	Resistencia 470 Ohmios, STE 2/19			1	1	
577 46	Resistencia 1,5 kOhmios, 1,4 W			1	1	
577 48	Resistencia 2,2 kOhmios, 1,4 W			1		
577 58	Resistencia 15 kOhmios, 0,5 W			1		
577 38	Resistencia 330 Ohmios, 1,4 W				1	
577 60	Resistencia 22 kOhmios, 0,5 W				1	
577 76	Resistencia 1 MOhmio, 0,5 W					1
578 15	Condensador 1 µF, 100 V					1
578 16	Condensador 4,7 µF, 63 V					1
578 76	Transistor BC 140					1

El amplificador operacional es un componente análogo importante en la electrónica moderna. Diseñado originalmente como un componente de cálculo para computadoras análogas, también ha sido introducido como amplificador en un amplio rango de aplicaciones.



Leyes de De Morgan (P4.5.1.2)

COMBINACIONES SIMPLES

P4.5.1.1
Combinaciones AND, OR, XOR, NOT y NAND de dos variables

P4.5.1.2
Leyes de De Morgan

P4.5.1.3
Combinaciones de tres variables

N° de cat.	Descripción	P4.5.1.1–3
571 4011	Tablero lógico 1	1

El diseño de dispositivos digitales se basa en el simple concepto de la aplicación repetida de pocos circuitos básicos. Para combinarlos son válidas las reglas del álgebra booleana, que en el caso especial de aplicaciones en sistemas digitales se le denomina también álgebra de conmutación.

En el experimento P4.5.1.1 se representan todas las combinaciones de una o de dos variables que se presentan en los sistemas digitales. Se verifica las leyes del álgebra booleana, como la ley conmutativa, la ley de idempotencias, la ley de absorción y la ley de la negación.

En el experimento P4.5.1.2 se hace una descripción experimental de las leyes de Morgan. Donde no (A y B) „es lo mismo que" (no A) o (no B)

El objetivo del experimento P4.5.1.3 es la verificación experimental de la ley asociativa y de la ley distributiva en la combinación de tres variables.

CIRCUITOS LÓGICOS

P4.5.2.1
Combinaciones AND, NAND, OR y XOR de cuatro variables

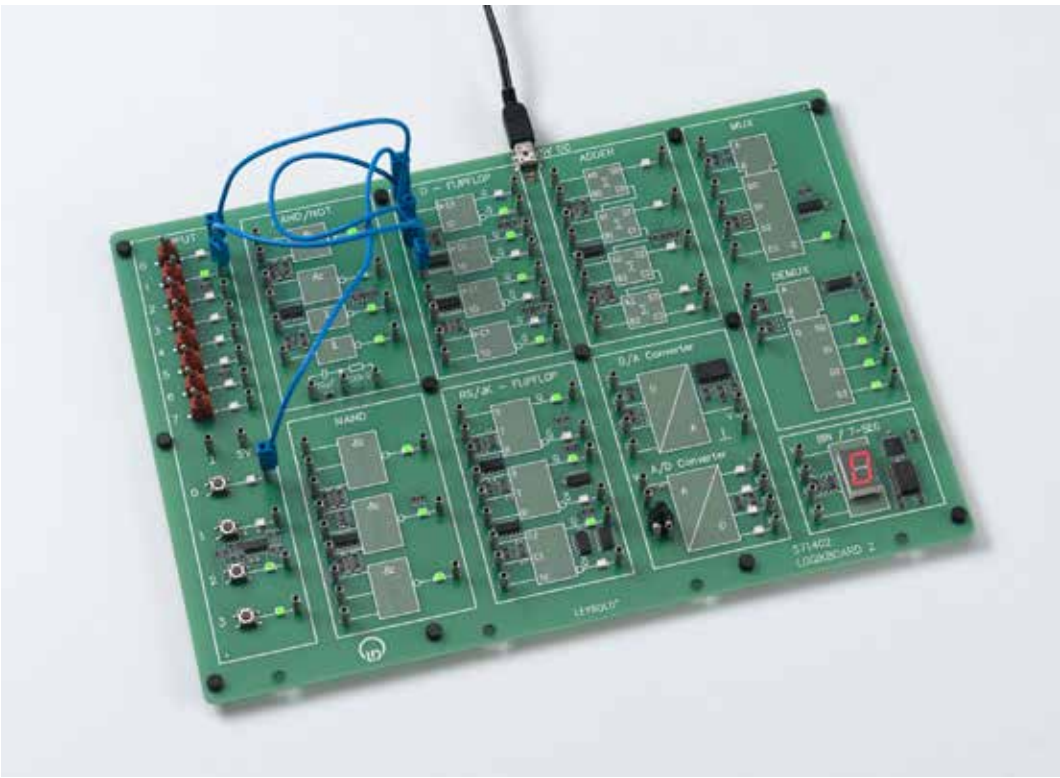
P4.5.2.3
Multiplexores y demultiplexores

P4.5.2.4
Adicionadores

P4.5.2.5
Flip-flops

P4.5.2.6
Contadores

P4.5.2.7
Registros de desplazamiento



Flip-flops (P4.5.2.5)

N° de cat.	Descripción	P4.5.2.1	P4.5.2.3-7
571 4011	Tablero lógico 1	1	
571 4021	Tablero lógico 2		1

Una red lógica combinacional es una combinación de circuitos digitales, en la cual las variables de salida están claramente determinadas por las variables de entrada. En una red lógica combinacional se tiene la posibilidad de almacenar estados individuales de variables. Las variables de salida dependen de la historia anterior representada por el estado de conmutación de flip-flops.

En atención al diseño de redes combinacionales complejas como la combinación lógica de cuatro entradas, En el experimento P4.5.2.1 se aplican los conocimientos ganados en los circuitos lógicos combinacionales básicos.

El experimento P4.5.2.3 demuestra cómo se utiliza un multiplexor para cambiar múltiples entradas a una sola salida y cómo un demultiplexor distribuye las señales de una sola línea de entrada a múltiples líneas de salida.

El experimento P4.5.2.4 estudia sumadores discretoss y complejos como componentesesenciales de una unidad aritmética.

El objetivo del experimento P4.5.2.5 es entender el funcionamiento de los flip-flops y discutir las diferentes exigencias que se hace al comportamiento de éstos como componentes elementales de un circuito secuencial, y que han llevado al desarrollo de flip-flops RS, D y J-K.

El experimento P4.5.2.6 muestra las propiedades de los contadores en diferentes configuraciones.

En el experimento P4.5.2.7 se estudia el registro de desplazamiento.

Conversor de señal analógica a digital (P4.5.3.1)

ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES Y ANALÓGICAS

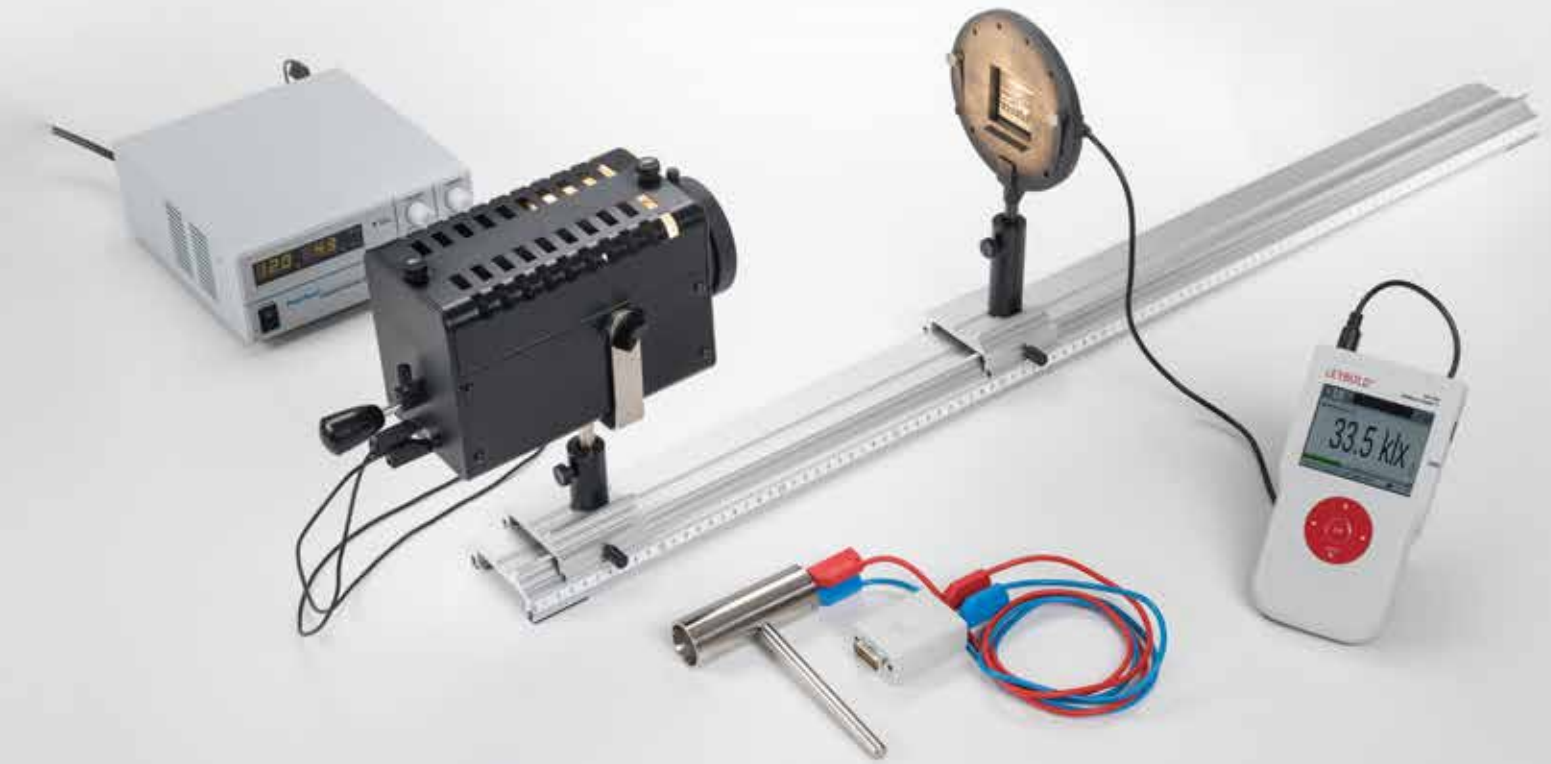
P4.5.3.1
Conversor de señal analógica a digital

N° de cat.	Descripción	P4.5.3.1
571 4021	Tablero lógico 2	1
531 120	Multímetro LDanalog 20	1

La interconexión de los circuitos digitales con el mundo analógico a menudo requiere del uso de convertidores A/D y D/A. En este proceso, las señales continuas se convierten en señales digitales discretas para poder procesarlas posteriormente. Se investigan las características de transferencia.

El experimento P4.5.3.1 muestra la función de conversión de analógico a digital y de digital a analógico.

P5.5.1.1

Determinación de la intensidad de irradiación y la intensidad lumínica de una lámpara halógena

Para más información sobre este experimento, vaya a la página 170.