



CENTRO ASOCIADO UNED DE CIUDAD REAL
SEDE DE VALDEPEÑAS

GRADO EN FÍSICA
PRACTICAS DE TÉCNICAS EXPERIMENTALES II

Práctica 1.

DETERMINACIÓN DEL MOMENTO DE INERCIA EN SÓLIDOS DE ESPESOR CONSTANTE.

Objetivos de la práctica

- Determinar la constante angular de recuperación de un muelle espiral.
- Calcular experimentalmente el momento de inercia de un disco, una esfera maciza, un cilindro macizo, un cilindro hueco y una barra. Comprobar los resultados con los resultantes de aplicar las expresiones teóricas de los momentos de inercia.
- Determinar el momento de inercia de una barra en función de la distancia del eje de rotación al centro de gravedad.
- Determinar los momentos de inercia de una barra a la que se le añadirán dos masas a diferentes distancias del eje de rotación que pasa por su centro de gravedad.
- Expresar y comentar para todos los resultados obtenidos las posibles causas de error.

Introducción teórica

1.- Determinación de la constante angular de recuperación del muelle espiral

La relación entre el impulso angular L de un sólido rígido en un sistema de coordenadas estacionario con origen en el centro de gravedad, y el momento Γ de la fuerza que se le aplica es:

$$\vec{\Gamma} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

En general, el momento angular L se expresa en función de la velocidad angular y de un tensor de inercia I , como:

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$$

En el caso particular de que el eje de giro coincida con el eje Z , el momento angular L tendrá una única componente que puede expresarse como:

$$L_z = I_z \cdot \vec{\omega} = I_z \cdot \frac{d\varphi}{dt}$$

donde φ es el ángulo girado y I_z es el momento de inercia respecto al eje Z .

Por tanto,

$$\Gamma = I_z \cdot \frac{d\omega}{dt} = I_z \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (1)$$

El momento Γ también puede definirse como la fuerza que es necesario aplicar a un cuerpo, a una distancia d de su eje de giro, para compensar el giro:

Si el cuerpo se encuentra sujeto a un muelle en espiral, el momento de la fuerza puede relacionarse con la constante de recuperación angular del muelle en espiral K y el ángulo girado φ :

$$\Gamma = F \cdot d \quad (2) \qquad \Gamma = -K \cdot \varphi \quad (3)$$

donde el signo menos significa que el momento es contrario al causado por la fuerza que provoca la deformación del muelle. Si se igualan las expresiones (2) y (3), se puede deducir una expresión para calcular la constante de recuperación del muelle torsional K :

$$K = \frac{-F \cdot d}{\varphi} \quad (4)$$

2- Determinación del momento de inercia de un sólido experimentalmente

Si se igualan las expresiones (1) y (3), da la siguiente ecuación del movimiento:

$$I_z \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -K \cdot \varphi$$

La solución de esta ecuación diferencial será del tipo:

$$\varphi(t) = \varphi_0 \cdot \cos(\omega t) = \varphi_0 \cdot \cos\left(\sqrt{\frac{K}{I_z}} \cdot t\right)$$

Ecuación que representa un movimiento periódico con pulsación:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{I_z}}$$

La pulsación (velocidad angular) ω se puede expresar en función de la frecuencia f o del período T , como:

$$\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$$

por tanto, el período puede expresarse en función del momento de inercia y de la constante de recuperación angular del muelle espiral.

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{I_z}{K}} \quad (5)$$

Luego el momento de inercia se puede expresar como:

$$I_z = \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot K \quad (6)$$

De todo lo expuesto se deduce que, conocidos la constante de recuperación angular del muelle en espiral y el período, se puede calcular el momento de inercia de diversos sólidos rígidos.

3.- Determinación del momento de inercia de un sólido respecto de un eje que no pase por su centro de gravedad.

Hasta ahora la teoría se ha desarrollado suponiendo que el origen de coordenadas se encuentra en el centro de gravedad del cuerpo. Esto es cómodo en el caso en el que el torque esté aplicado en dicho punto. En el caso en el que el muelle torsional estuviera aplicado en un punto desplazado una distancia a del centro de gravedad, es necesario definir el momento angular a partir de un nuevo momento de inercia, aplicando el teorema de Steiner:

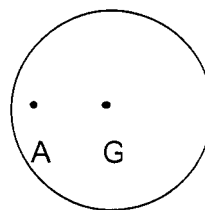
El momento de inercia respecto a un eje cualquiera es igual al momento de inercia respecto a un eje paralelo que pase por su centro de masas, más el producto de la masa del cuerpo por el cuadrado de la distancia entre ambos ejes.

Por tanto:

$$I_A = I_G + m(\overline{AG})^2$$

Y la ecuación (5) quedará

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{I_z + m(\overline{AG})^2}{K}} \quad (7)$$



Desarrollo experimental.

1. Cálculo de la constante de recuperación del muelle espiral

Se monta la barra en el equipo de torsión en espiral situándola en su centro y colocando las masas móviles simétricamente al eje de rotación. Con el dinamómetro situado en uno de los extremos cuya distancia se medirá (d) y formando ángulo recto con la barra, se hace girar la barra distintos ángulos (entre seis y ocho valores tomados desde $\pi/2$ hasta 4π radianes) y se anotan las parejas de valores ángulo-fuerza. Nota: se debe tener cuidado de que la barra está bien unida al eje; en caso contrario puede soltarse a grandes torsiones

Ángulo φ (rad)	Fuerza F (N)	Momento $F \cdot d$ (N·m)

Dibujar en una gráfica el momento angular (eje y) frente al ángulo (eje x) y ajustar por el método de mínimos cuadrados para obtener la ordenada en el origen y la pendiente con sus respectivas desviaciones estándar. La constante angular de recuperación del muelle coincidirá con la pendiente y el error de la misma con su desviación estándar.

2. Cálculo de los momentos de inercia de distintos sólidos.

Para calcular el periodo de oscilación de distintos cuerpos se pegará a cada uno un trozo de papel que se pueda interponer entre las fotocélulas del contador digital. El contador se situará en la posición de medida de periodos –tres pasos por la barrera fotoeléctrica- si el tiempo medido no sobrepasa los 9,99 s o en la posición de semiperiodos –dos pasos- si lo sobrepasa. Se une el sólido en estudio al rotor de torsión y se hace girar un determinado ángulo (algo menos de 180°). Se suelta el sólido se le deja oscilar libremente. Se deja que pase varias veces por el contador, y se pone a cero el contador. Se anota el periodo de oscilación en estas condiciones. Se repite la medida 5 veces para obtener media y desviación estándar.

Se tomarán las dimensiones de cada uno de los objetos y su peso.

Se calculará el momento de inercia experimental aplicando la ecuación (6) y se comparará con el momento de inercia teórico:

$$I_z(\text{esfera}) = \frac{2}{5} m r^2$$

$$I_z(\text{círculo, cilindromacizo}) = \frac{m}{2} r^2$$

$$I_z(\text{cilindrohueco}) = \frac{1}{2} m(r_{\text{interno}}^2 + r_{\text{externo}}^2)$$

$$I_z(\text{varilla}) = \frac{m}{12} l^2$$

3. Cálculo del momento de inercia de una barra respecto de un eje que no pasa por su centro de gravedad.

Del mismo modo que en el apartado anterior se calculará los momentos de inercia experimentales de la barra cuando se sitúa en un extremo ($d=0$) y a una cuarta parte de su longitud total. Se comparará el resultado con el obtenido mediante la ecuación de Steiner (ecuación 7).

	T (s)	I_z exp. ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)	Masa cuerpo (m)	Radio cuerpo	I_z teórico ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)	Error absoluto	Error relativo
Disco							
Esfera							
Cilindro macizo							
Cilindro hueco							
Barra							
Barra (eje de giro $d=0$)							
Barra (eje de giro $d=L/4$)							

4. Variación del momento de inercia de una barra en función de la distancia entre las masas.

Si suponemos que el sistema masa-barra-masa se puede modelar como dos masas puntuales situadas a una distancia a del centro de gravedad, es posible obtener la masa a partir de la ecuación correspondiente.

Se situaran las masas de la barra a distintas distancias entre si (5, 10, 20, 30, 40, 50 cm) y se calculará su momento de inercia. Para una masa puntual m a una distancia a del eje de rotación se cumple:

$$I_z = m a^2$$

$$I_z(\text{sistema}) = m_1 a^2 + m_2 a^2 + \frac{m_b}{12} l^2 = (m_1 + m_2) \cdot a^2 + I_b$$

Dibujar una gráfica del momento de inercia experimental I_z (eje Y) frente a la distancia entre las dos masas al cuadrado (eje X) para comprobar su linealidad. La ordenada en el origen nos dará el valor del momento de inercia de la barra I_b y la pendiente el valor de (m_1+m_2)

Despejando en cada caso, compare el valor obtenido con el valor de las masas $[(m_1+m_2)$ y $m_b]$ medido por pesada, comparando los errores de cada resultado.

Práctica 2

VELOCIDAD Y ACELERACIÓN ANGULAR, MOMENTO DE INERCIA

Objetivos

- El objetivo de esta práctica es el estudio del movimiento de rotación uniformemente acelerado. Se pretende:
- Determinar la velocidad y aceleración angular.
- Obtener la relación entre torque y aceleración angular.
- Calcular el momento de inercia de un cuerpo.

Introducción teórica

La relación entre el momento angular L y el momento de fuerzas momento Γ de un sólido rígido en un sistema de coordenadas inercial, con el origen en el centro de masas del cuerpo, es:

$$\vec{\Gamma} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (1)$$

El momento angular se expresa en función de la velocidad angular ω y el tensor de inercia I

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$$

Si tan solo se permite que la velocidad angular del sólido, ω sea en la dirección de un eje principal de inercia (p.e., el eje z), el momento angular tendrá sólo componente z , es decir:

$$L_z = I_z \cdot \omega$$

siendo I_z el momento de inercia respecto al eje z . La ecuación (1) se reduciría a

$$\Gamma_z = I_z \frac{d\omega}{dt} = I_z \alpha \quad (2)$$

en donde α es la aceleración angular. Si además el torque en esa dirección es constante, la integración de esa ecuación es inmediata, obteniendo la expresión tanto de la velocidad angular como del ángulo. Suponiendo que en el instante inicial tanto la velocidad como el ángulo son nulos, estas expresiones serían:

$$\omega(t) = \frac{\Gamma_z}{I_z} t \quad (3) \quad \phi(t) = \frac{1}{2} \frac{\Gamma_z}{I_z} t^2 \quad (4)$$

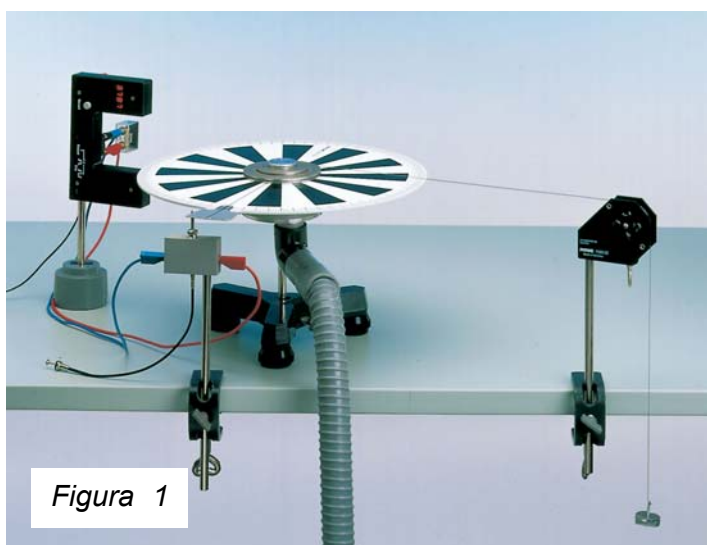


Figura 1

Procedimiento experimental.

El montaje experimental se muestra en la *Figura 1*. Es primordial asegurarse la correcta nivelación del disco y del hilo.

En esta práctica se procederá a medir la evolución del ángulo y de la velocidad angular con el tiempo para un disco que gira debido a un torque aplicado.

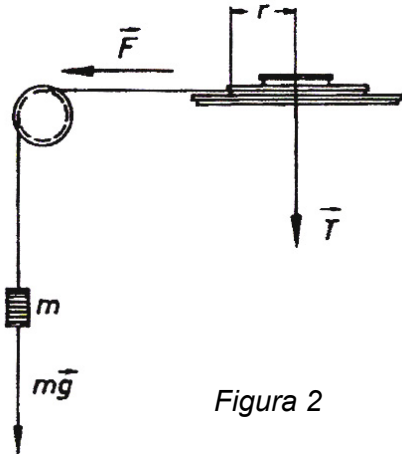


Figura 2

El torque es debido a la tensión de una cuerda aplicada a una distancia r del centro del disco (*Fig. 2*). Si ajustamos la altura de la polea de modo que el hilo quede horizontalmente sobre el disco, la dirección del torque será en la del eje z , de tal manera que

$$\Gamma_z = rF$$

La tensión es debida a una pesa colocada al otro extremo de la polea, por lo que para aceleraciones pequeñas comparadas con la gravedad se puede aproximar la tensión a la fuerza de gravedad, obteniéndose que

$$\Gamma_z = r m g$$

siendo m la masa de la pesa más el portapesas.

Por lo que para las condiciones iniciales de $\omega(0) = 0$ y $\phi(0) = 0$, las ecuaciones (2), (3) y (4) quedan

$$mgr = I_z \alpha \quad (5) \quad \omega(t) = \frac{mgr}{I_z} t \quad (6) \quad \phi(t) = \frac{1}{2} \frac{mgr}{I_z} t^2 \quad (7)$$

Para minimizar el rozamiento se utiliza la maquina soplante, regulando el flujo de aire para que se permita la libre rotación, sin fricción, del cuerpo.

1. Aparatos de medida.

Barrera fotoeléctrica. Uno de sus extremos emite un haz de luz, que incide sobre un sensor en el otro extremo. Monitorizando dicha señal podemos saber cuando algún obstáculo ha cruzado este haz debido a la caída y reestablecimiento de ésta. El contador digital muestra los distintos tiempos entre las variaciones recogidas. El contador tiene un máximo de 9,999 s por lo que siempre debe trabajarse por debajo de estos tiempos. Para verificar su funcionamiento se debe apretar el botón de prueba; el piloto debe encenderse cuando la columna de luz esté bloqueada. Tiene tres conexiones:

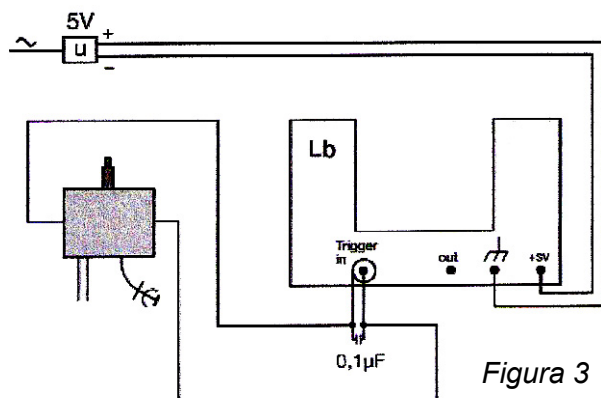


Figura 3

Alimentación de corriente (+5V) y toma de tierra ($\perp$). Se conectan a la conexión homóloga en el contador o en el transformador

Salida de señal. Su conexión depende del tipo de medida que estemos realizando

Diafragma sectorial. Se trata simplemente de un sector de un cierto ángulo. Su paso a través de la columna de luz de la barrera proporciona la señal en el contador digital. Cada cuerpo (disco o varilla) tiene su propio diafragma sectorial cuyos ángulos deben ser medidos inicialmente (compare el valor experimental con el dado por los fabricantes del equipo: 0,262 radianes).

Disparador. Como su nombre indica se utiliza para dar comienzo a la rotación del cuerpo. Debe ajustarse de tal forma que en posición de bloqueo esté solamente en contacto con el diafragma sectorial, con cuidado de no alterar la horizontalidad del cuerpo rotante. Las conexiones del disparador y de la barrera fotoeléctrica se muestran en la *Figura 3*.

2. Toma de medidas

2.1. Medidas ángulo-tiempo.

Se sitúa en el portapesas una masa de unos 10 g, pesada previamente para tener su peso exacto.

La posición de salida del diafragma está fija a la del disparador, por tanto para variar el ángulo barrera-posición inicial del diafragma hace falta mover la barrera fotoeléctrica a distintas posiciones. Se tomarán unos 8 ángulos distintos entre 0 y 2π radianes.

- Seleccionar el modo de medida de semiperiodos $\uparrow\downarrow$ en la barrera fotoeléctrica
- Instalar la barrera fotoeléctrica en el ángulo deseado contado a partir del disparador
- Presionar el botón del disparador para bloquearlo y situarlo en la posición de salida.
- Presionar el botón *Reset* de la barrera fotoeléctrica
- Liberar el disparador para iniciar el movimiento del disco y el inicio del contador
- Una vez que haya pasado el diafragma, volver a presionar el disparador y mantenerlo presionado hasta que el diafragma llegue a la barrera fotoeléctrica
- Cuando el diafragma sectorial pasa por la barrera fotoeléctrica el contador se para.

Para cada ángulo se realiza la medida de la sección 2.2. antes de cambiar la posición de la barrera fotoeléctrica.

2.2. Medidas velocidad angular-tiempo.

Desconectamos el disparador de la barrera fotoeléctrica y mantenemos la misma masa en el portapesas

Para extraer la dependencia de la velocidad angular con el tiempo debemos computar el intervalo de tiempo que tarda el diafragma en pasar a través de la columna de luz partiendo desde los mismos ángulos que hemos utilizado en medidas ángulo-tiempo.

- Seleccionar el modo de medida de semiperiodos $\uparrow\downarrow$ en la barrera fotoeléctrica
- Presionar el botón del disparador para bloquearlo y situarlo en la posición de salida.
- Presionar el botón *Reset* de la barrera fotoeléctrica
- Liberar el disparador para iniciar el movimiento del disco y el inicio del contador
- Cuando el diafragma sectorial comienza a pasar por la barrera fotoeléctrica el contador se inicia y se para cuando el diafragma termina de pasar.

De este modo, conocido el sector del diafragma $\Delta\varphi$ obtendremos indirectamente la variación con el tiempo de:

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta t_i}$$

Por fin, la velocidad angular del cuerpo en el momento de paso del centro del diafragma por la columna de luz será por tanto:

$$\omega_i(t_i + \frac{1}{2}\Delta t_i) = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t_i}$$

Donde t_i es el tiempo medido para el ángulo φ_i (en radianes) en la sección 2.1. y Δt_i es el intervalo de tiempo medido para ese mismo ángulo en esta sección.

Medida de la aceleración angular en función de la fuerza y del radio.

La relación aceleración angular-fuerza se puede obtener situando la barrera fotoeléctrica en una posición fija se medirán t_i y Δt_i para distintas masas pesadas previamente (entre 8 y 10 distintas). La aceleración angular en cada caso será igual a $\alpha = \omega/t_i$.

Del mismo modo cambiando la posición del hilo en los tres posibles cojinetes y repitiendo las medidas con una misma fuerza (pesa), obtendremos la dependencia de la aceleración angular con el radio de aplicación de la fuerza. Utilizando la ecuación (5) se calculará el momento de inercia.

3. Tratamiento de los datos

3.1. Represente el ángulo de rotación en función del tiempo para los distintos casos. ¿A que función se ajusta mejor, lineal o cuadrática? Ajuste por mínimos cuadrados calculando coeficiente de regresión, ordenada en el origen, pendiente y sus correspondientes errores. De la pendiente de la recta calcule el momento de inercia según la ecuación (7).

3.2. Represente la velocidad angular en función del tiempo para los distintos casos. ¿A que función se ajusta? Ajuste por mínimos cuadrados y de la pendiente de la recta calcule el momento de inercia según la ecuación (6).

3.3. Represente la aceleración angular en función de la fuerza. Ajuste por mínimos cuadrados y de la pendiente de la recta calcule el momento de inercia según la ecuación (5).

3.3. Represente la aceleración angular en función del radio de aplicación de la fuerza. Ajuste por mínimos cuadrados y de la pendiente de la recta calcule el momento de inercia según la ecuación (5).

Compare los resultados obtenidos para el momento de inercia del disco junto con el error asociado a cada uno de los cálculos.

4. Cuestiones

Si el hilo hubiese estado ligeramente inclinado con respecto al plano de rotación, ¿Cómo se habrían visto afectados los resultados de la aceleración angular y el momento de inercia?

Comente otras posibles fuentes de error del montaje experimental, mencionando, si es posible, cual es el efecto de las mismas en los resultados.

¿Cómo obtendrías la aceleración angular a partir de una gráfica ángulo-tiempo?

Práctica 3.

CUERDA VIBRANTE.

Objetivos:

- Uso del osciloscopio en el estudio de ondas.
- Discriminación del primer armónico de una cuerda vibrante.
- Estudio de la dependencia de la frecuencia de una cuerda con la longitud y la tensión de la misma.
- Estudio de la dependencia de la frecuencia de la cuerda con el material (densidad).

Fundamentos Teóricos.

Las ondas producidas en la vibración de una cuerda son ondas transversales, y podemos representar la dinámica de un trocito de cuerda según se muestra en la Figura 1. Como las oscilaciones van a ser pequeñas y se puede considerar que la tensión va a ser la misma a lo largo de todo el hilo, la fuerza neta en la dirección longitudinal va a ser nula:

$$F_x = T \cos(\theta + \Delta\theta) - T \cos\theta \approx 0$$

Y la fuerza neta transversal es

$$F_y = T \sin(\theta + \Delta\theta) - T \sin\theta \approx 0$$

Y así pues, la ecuación del movimiento transversal de un pequeño trozo de hilo Δx , de densidad μ , es:

$$T \Delta\theta = (\mu \Delta x) a_y$$

Diferenciando en la relación $\tan\theta = \partial y / \partial x$ y escribiendo la aceleración como la derivada segunda de y con el tiempo, tenemos:

$$T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \Delta x = \mu \Delta x \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

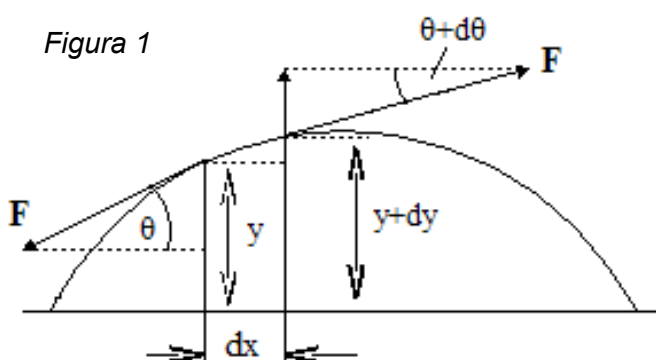
$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\mu}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

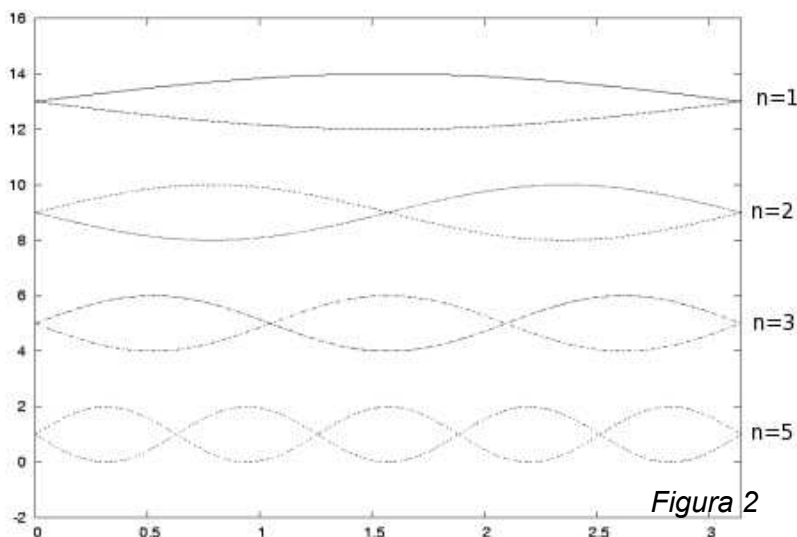
Esta es la ecuación de una onda cuya velocidad de propagación al cuadrado es la inversa del factor que multiplica a la derivada temporal:

$$v^2 = \frac{T}{\mu}$$

o bien, podemos relacionarla con la densidad volumétrica del material ρ y con su sección s :

$$v = \sqrt{\frac{T}{s \rho}}$$





Esa velocidad de fase (o de propagación) es el cociente entre la longitud de una onda completa (λ) y el periodo de una oscilación (T), luego la frecuencia (f) será la velocidad dividida por la longitud de la onda. La velocidad es constante para cada material, sin embargo, la longitud de la onda dependerá de cómo perturbemos la cuerda.

En el caso de la cuerda vibrante los dos extremos del hilo están fijos (nodos) dando lugar a ondas estacionarias, y por tanto, la longitud del hilo ha de contener un

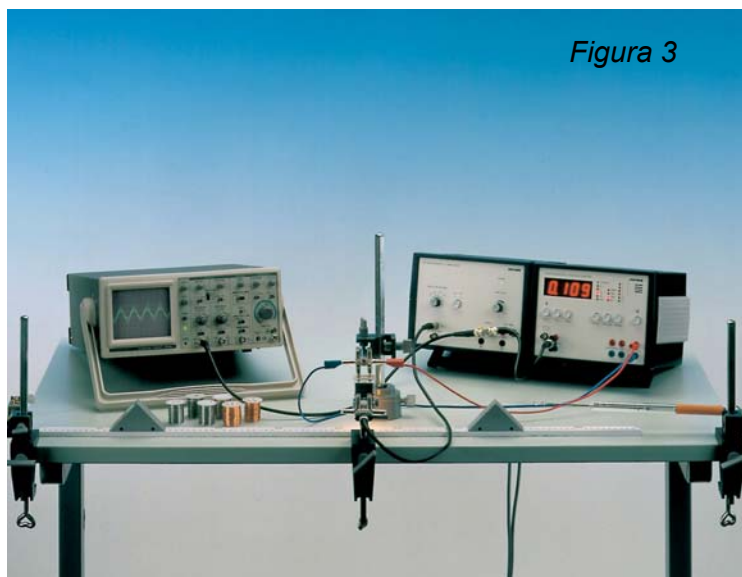
numero entero de medias ondas ($n \cdot \lambda / 2$); a cada una de estas posibles formas de vibrar se le denomina modo, y la correspondiente a $n=1$, modo fundamental o primer armónico, que sería el caso en el que la totalidad del hilo constituyese sólo media onda (ver figura 2), es decir, $\lambda = 2 \cdot L$. Como la frecuencia es:

$$f = \frac{n v}{2 L} = \frac{1}{2 L} \sqrt{\frac{T}{s \rho}} \quad (1)$$

Vemos así cómo la frecuencia depende directamente de la longitud del hilo, la tensión y del material (densidad y sección).

Procedimiento experimental

1. Montaje experimental.



El aspecto general del montaje es el de la *Figura 3*. La cuerda apoya dos puntos sobre dos pasadores triangulares (los extremos en reposo) y se mantiene tensa (para empezar unos 15 N) entre un gancho fijo y un dinamómetro, que a su vez está atado a una palometa regulable. La longitud L (distancia entre los dos puntos fijos) puede variarse desplazando los pasadores triangulares, y medirse sobre una regla. La tensión T se modifica girando la palometa regulable y se mide mediante el dinamómetro. Ha de cuidarse no introducir la cuerda dentro del tornillo al girarlo.

La vibración de la cuerda es estimulada mediante un golpecito seco con el martillo de goma en algún punto céntrico. Debe vigilarse constantemente que la tensión sobre la cuerda sea la deseada, especialmente tras los golpes de martillo y tras los cambios de longitud. Si se detectan vibraciones en la zona de la cuerda que queda fuera de los pasadores triangulares, estas vibraciones deben ser eliminadas apoyando suavemente el dedo. La vibración de la cuerda en

un punto intermedio se detecta ópticamente a partir de las sombras que produce sobre una rendija fotosensible. Es necesario asegurarse de que la sombra de la cuerda caiga exactamente sobre la rendija fotosensible cuando la cuerda esté en reposo. También se debe acercar suficientemente la bombilla a la cuerda (unos 3 cm de separación) porque así se detectarán mejor las vibraciones pequeñas. La señal que se origina en la rendija fotosensible es amplificada y transmitida al osciloscopio para su observación cualitativa, y también a un contador de cuatro dígitos para medir su frecuencia. Para la amplitud habitual de la señal que se genera en la célula fotoeléctrica, es suficiente amplificarla 100 veces para verla en el osciloscopio. El contador debe arrancarse una vez que en el osciloscopio se observe una señal armónica suficientemente pura, es decir, una vez que se hayan eliminado los transitorios.

ATENCIÓN

Antes de conectar la fuente de tensión (en la parte posterior), asegurarse de que el potenciómetro está en el mínimo. De la misma manera, antes de apagar la fuente, bajar al mínimo el potenciómetro.

No sobrepasar los 6 V. para la bombilla.

No sobrepasar los 30 N de tensión, ya que los hilos se partirían.

Conexiones:

- Cable gris de la rendija termina en azul-rojo que se conecta a Input del amplificador.
- Cable azul-rojo de bombilla al Gate 1 del contador universal
- Conexión T output del amplificador: cable amarillo-blanco al input del contador/CH1 osciloscopio

Amplificador: amplificación en 10^2 y amplitud máxima, modo AC

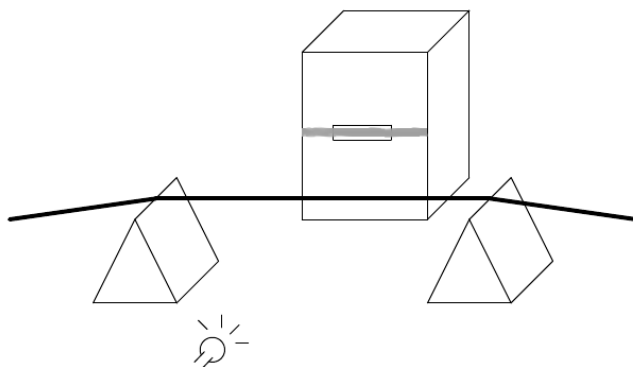
Contador en función Freq, Start, Analog.

Todos los hilos a utilizar se encuentran separados en bolsas rotuladas con el tipo de material y el diámetro.

2. Procedimiento

Atar un extremo del hilo en el dinamómetro, e introducir el otro en el tensador a la vez que se gira para que quede sujeto.

Colocar los triángulos de apoyo sobre la regla y aproximadamente equidistantes del fotodetector, de tal manera que el hilo descansa sobre ellos. Terminar de tensar el hilo.



La sombra del hilo producida por la bombilla debe proyectarse, en reposo, sobre la ranura del diafragma, evitando además que el hilo no toque ni la bombilla ni el diafragma (aunque conviene que esté lo más próximo posible a éste). En caso de necesidad, se puede desplazar ligeramente la regla base o bien el mismo diafragma.

Comprobar las conexiones con el osciloscopio (ver Anexo I). Se recomienda seleccionar la escala más pequeña para el

divisor de voltaje (5mV/división), y un tiempo de barrido del orden de 10 ms , variando un poco según la frecuencia de la onda a medir.

Dar un golpe seco pero suave con el martillo de goma en la parte central del hilo. En el osciloscopio aparecerán una serie de ondas transitorias. Una vez que éstas desaparecen, queda

el modo fundamental, procediendo a anotar el periodo de la onda que aparece en el contador (hacer 3 medidas y promediar). Si la frecuencia decae demasiado rápidamente actuar sobre el nivel de amplificación para ajustarlo.

3. Dependencia del periodo con la longitud

Tomar el hilo de níquel fijando una tensión media (aprox. 20 N).

Colocar los apoyos con una distancia de 20 cm entre ellos, y equidistantes del foto detector.

Obtener el periodo correspondiente a esa distancia.

Repetir el proceso aumentando en 10 cm la distancia, hasta llegar a los 100 cm.

4. Dependencia del periodo con la tensión

Colocar los apoyos con una separación de 50 cm.

Tensar el hilo hasta llegar a 10 N y mida el periodo para dicha tensión.

Repetir el proceso aumentando la tensión 2 N con la precisión máxima del dinamómetro, hasta llegar a los 25 N.

5. Dependencia del periodo con la densidad

Seleccione los hilos con un diámetro de 0,3 mm de níquel ($\rho = 8.9 \text{ g/cm}^3$), constantan ($\rho = 8.8 \text{ g/cm}^3$) y cantal ($\rho = 7.1 \text{ g/cm}^3$).

Para cada uno de ellos, fije la distancia a 50 cm. y la tensión a 20 N y obtenga el periodo.

6. Dependencia con el diámetro.

Para determinar la relación entre la frecuencia fundamental y la sección del hilo ($s = \pi r^2$) repita el proceso con los hilos de cobre ($\rho = 8.9 \text{ g/cm}^3$) de 0,4 y 0,5 mm de diámetro y utilice el hilo de níquel de 0,3 mm que tiene la misma densidad.

Tratamiento de los datos

1. Completa una tabla con los valores de la frecuencia (y sus errores) obtenida para distintas distancias (por lo menos 8 ó 10 datos), para el hilo de níquel y con una tensión fija.

Ajusta una recta por mínimos cuadrados para el logaritmo de la frecuencia frente al logaritmo de la distancia. Representa la recta ajustada. Mediante regresión lineal encontrar el valor de β y su error estándar que ajuste

$$f = \alpha \cdot L^\beta$$

Comenta la desviación obtenida respecto del valor teórico de β deducido de la ecuación (1).

2. Repetir la tabla para una distancia fija y para distintas tensiones, y representar el logaritmo de la frecuencia frente al logaritmo de la tensión, y ajustar por mínimos cuadrados. De igual manera encontrar el exponente β y su error para la relación de la frecuencia con la tensión:

$$f = \alpha \cdot T^\beta$$

Comenta la desviación obtenida respecto del valor teórico de β deducido de la ecuación (1).

3. Representar en una gráfica log-log la frecuencia frente a la densidad (para hilos de igual espesor) y ajustar una recta que deberá tener una pendiente de ...?.

4. Representar en una gráfica log-log la frecuencia frente al radio para hilos del mismo material, e intentar ajustar una recta, teniendo en cuenta la relación entre la sección y el radio: $s = \pi r^2$; y todo para distancia y tensión fija.

Cuestiones

¿Por qué las ondas producidas en el cobre parecen distintas de las que aparecen en el níquel, de igual espesor, si su densidad es casi igual ($\rho = 8,9 \text{ g/cm}^3$)?

Encontrar la relación entre la frecuencia y la sección del hilo, teniendo presente que los datos del espesor que aparecen en las bobinas se refieren al diámetro. ¿Qué relación existe entre la frecuencia y el radio?

Si la 6ª cuerda de una guitarra da como fundamental la nota MI ($f = 329,63 \text{ Hz}$), y a igual tensión la 5ª da LA ($f = 440 \text{ Hz}$), ¿Qué relación hay entre sus diámetros, suponiéndolas del mismo material?

Anexo I

Configuración del osciloscopio

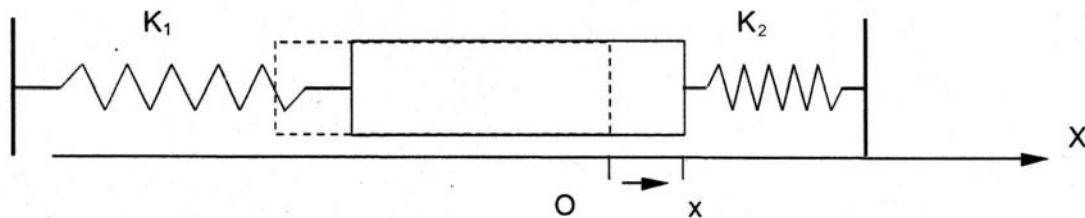
Conectar el cable coaxial en una de las entradas (CH I ó II) haciéndolo encajar y a continuación girando la cabeza hacia la derecha hasta que quede bien ensamblado. El interruptor contiguo se pone en la posición AC para señales alternas (como en nuestro caso), DC para señal continua, y GND anula la entrada y da un valor cero; los botones inferiores sirven para seleccionar el canal a ver, sumarlos o simultanearlos. Con las ruedas grandes se selecciona la escala del eje vertical, en voltios, de cada canal (en nuestro caso en la máxima amplitud: $5 \text{ mV por división}$), y con las ruedecitas de Y-POS se puede subir o bajar la imagen para poderla centrar en la escala graduada del osciloscopio.

Práctica 4.**VIBRACIONES LIBRES CON UNO Y DOS GRADOS DE LIBERTAD****Objetivo de la práctica**

- a) Determinación de la constante elástica k de los resortes
- b) Determinación del periodo del movimiento para cada uno de los dos modos de vibración.

Introducción teórica**Vibraciones libres con un grado de libertad**

Corresponde este caso al supuesto de separar una masa m de su posición de equilibrio y comunicarle una velocidad inicial, dejándola después en libertad, suponiendo además que el amortiguamiento es nulo (fig. 1).

*Figura 1*

En el caso de que $k_1 = k_2$ la ecuación del movimiento toma la forma:

$$m \cdot \ddot{x} + k \cdot x = 0 \quad (1)$$

siendo $k = 2k_1$

Dividiendo esta expresión por la masa m tenemos que:

$$\ddot{x} + \omega_n^2 \cdot x = 0 \quad (2)$$

donde

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

es la frecuencia angular natural de oscilación del sistema.

La ecuación (2) determina el movimiento vibratorio de la masa m y sus variables son el desplazamiento x y el tiempo t . Su solución es del tipo:

$$x = A \cdot \cos(\omega_n t + \phi) \quad (3)$$

Donde A y ϕ son constantes a determinar conocidas las condiciones iniciales de contorno.

Este tipo de solución nos dice que el movimiento es armónico y en la hipótesis establecida de ausencia de amortiguamiento éste continúa indefinidamente.

El período de este movimiento es:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (4)$$

La rigidez o constante elástica del resorte k se determina midiendo los desplazamientos de dicho resorte a fuerzas de distinta intensidad:

$$F = k x \quad (5)$$

Vibraciones con dos grados de libertad

El sistema más general de vibraciones libres sin amortiguamiento con dos grado de libertad es el esquematizado en la figura 1, consistente en dos masas m_1 y m_2 sujetas a dos puntos fijos mediante dos resortes de constantes elásticas k_1 , y k_2 respectivamente y unidas entre sí por un resorte acoplado k_3 .

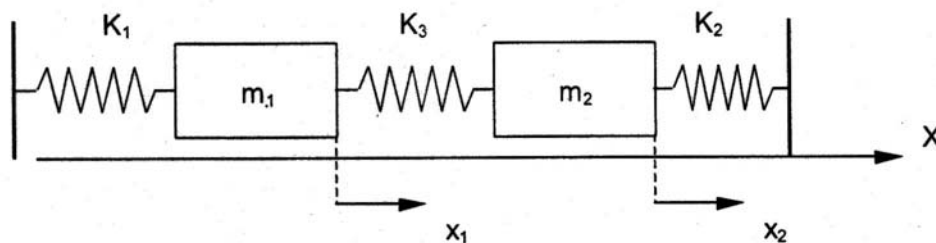


Figura 1

Cada una de las masas está sometida a dos fuerzas diferentes, que son la fuerza principal de su resorte y la debida al resorte acoplado. La fuerza principal en m_1 vendrá dada por $-k_1 \cdot x_1$ en la dirección de x_1 , y la del resorte acoplado será $-k_3 \cdot (x_1 - x_2)$ en la misma dirección. Con esto podemos escribir la ecuación del movimiento para la masa m_1 de la forma:

$$m_1 \ddot{x}_1 = -k_1 \cdot x_1 - k_3 \cdot (x_1 - x_2) \quad (6)$$

Análogamente para m_2 podemos escribir:

$$m_2 \ddot{x}_2 = -k_2 \cdot x_2 - k_3 \cdot (x_2 - x_1) \quad (7)$$

Por tanto, las ecuaciones diferenciales que definen el sistema completo ordenando (1) y (2) son:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + (k_1 + k_3) \cdot x_1 - k_3 \cdot x_2 \\ m_2 \ddot{x}_2 + (k_2 + k_3) \cdot x_2 - k_3 \cdot x_1 \end{aligned} \quad (8)$$

Para resolver este sistema vamos a admitir que las dos masas se mueven con la misma frecuencia pero con distinta amplitud, es decir, probaremos soluciones del tipo:

$$\begin{aligned} x_1 &= A_1 \cos(\omega t + \alpha) \\ x_2 &= A_2 \cos(\omega t + \alpha) \end{aligned} \quad (9)$$

Sustituyendo en (3) obtendremos:

$$\begin{aligned}
& -m_1 \omega^2 A_1 \cos(\omega t + \alpha) + (k_1 + k_3) A_1 \cos(\omega t + \alpha) - k_3 A_2 \cos(\omega t + \alpha) = 0 \\
& -m_2 \omega^2 A_2 \cos(\omega t + \alpha) + (k_2 + k_3) A_2 \cos(\omega t + \alpha) - k_3 A_1 \cos(\omega t + \alpha) = 0
\end{aligned}$$

Simplificando $\cos(\omega t + \alpha)$, ya que la solución debe ser válida para todo t y ordenando llegamos a que:

$$\begin{aligned}
(k_1 + k_3 - m_1 \omega^2) A_1 - k_3 A_2 &= 0 \\
-k_3 A_1 + (k_2 + k_3 - m_2 \omega^2) A_2 &= 0 \quad (10)
\end{aligned}$$

Sistema homogéneo con dos incógnitas, A_1 y A_2 que sólo tendrá solución si el determinante de los coeficientes es nulo.

$$\begin{vmatrix} k_1 + k_3 - m_1 \omega^2 & -k_3 \\ -k_3 & k_2 + k_3 - m_2 \omega^2 \end{vmatrix} = 0$$

$$(k_1 + k_3 - m_1 \omega^2)(k_2 + k_3 - m_2 \omega^2) - k_3^2 = 0 \quad (11)$$

Ecuación bicuadrada que en el caso de una cadena simétrica $k_1 = k_2 = k$; $k_3 = k'$; $m_1 = m_2 = m$ se convertiría en:

$$m^2 \omega^4 - 2(k + k')m\omega^2 + ((k + k')^2 - k'^2) = 0$$

Las soluciones de esta ecuación son:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{k + 2k'}{m}}$$

Estas frecuencias son las dos frecuencias naturales del sistema que substituidas en cualquiera de las ecuaciones de (5) nos permitirían calcular los valores de A_1 y A_2 . En el caso de que ambas masas vibren con la frecuencia ω_1 tendremos dos movimientos en fase $A_1 = A_2$ y en el caso de que vibren con ω_2 las masas se encontrarán en oposición de fase $A_1 = -A_2$. Tenemos, entonces, dos soluciones linealmente independientes para el sistema:

$$\begin{aligned}
x_1^1 &= A \cos(\omega_1 t + \alpha_1) & x_1^2 &= B \cos(\omega_2 t + \alpha_2) \\
x_2^1 &= A \cos(\omega_1 t + \alpha_1) & x_2^2 &= -B \cos(\omega_2 t + \alpha_2)
\end{aligned}$$

Por tanto las soluciones generales del sistema para cada modo de vibración serán la suma de las dos soluciones:

$$\begin{aligned}
x_1 &= A \cos(\omega_1 t + \alpha_1) + B \cos(\omega_2 t + \alpha_2) \\
x_2 &= A \cos(\omega_1 t + \alpha_1) - B \cos(\omega_2 t + \alpha_2) \quad (12)
\end{aligned}$$

Donde A , B , α_1 , α_2 son constantes a determinar por las condiciones iniciales de contorno.

Descripción del aparato utilizado

Para simular un movimiento carente de rozamiento en sistemas con uno o dos grados de libertad se utiliza un carril de aire. Este consiste en un perfil rectangular con uno de sus extremos abiertos por donde se insuflará aire a presión determinada que escapará por unos orificios regularmente distribuidos en la cara de contacto con el deslizador. El aire formará una película entre el carril y un deslizador anulando casi por completo el rozamiento entre éstos durante el movimiento del deslizador a lo largo del carril.

Antes de cada experiencia debe comprobarse la horizontalidad del carril y regularla por medio de un tornillo nivelador situado bajo su base.

Se necesitarán dos deslizadores de masas iguales y tres resortes, dos de los cuales tendrán constantes elásticas iguales (que llamaremos k) y un tercero constante elástica distinta (k').

Descripción de la práctica a realizar

La práctica se compone de dos partes.

Obtención de las constantes elásticas de los resortes estáticamente

En la primera parte se debe determinar la constante recuperadora de dos muelles, de constantes k y k' respectivamente, mediante un procedimiento estático.

Este procedimiento consiste en representar gráficamente el alargamiento que presenta el resorte en cuestión frente a una fuerza aplicada.

Esto se llevará a cabo suspendiendo el muelle de un punto fijo y colocando distintas pesas en un platillo sujeto al otro extremo del muelle. Mediante una escala graduada se determinarán las distintas posiciones que toma el platillo en función de su alargamiento.

Coloque el portamasas en la parte inferior del muelle y añada una masa suficiente para que el muelle quede tenso (en general 10 g serán suficientes). Pese el platillo junto con esta masa y considere esta masa como m_0 . Anote la posición de equilibrio sobre la regla y considere esta posición como y_0 . Tome como referencia el punto inferior del portamasas. Pese a su vez todas las pesas utilizadas en el ensayo para realizar los cálculos con sus masas exactas

Se agregan sucesivamente pesas cada vez mayores (al menos 10 distintas, por ej. 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120 g sin olvidarse de pesar todas ellas en una balanza), midiéndose y anotándose los alargamientos o aumentos de longitud correspondientes a cada sobrecarga

Se representa la fuerza F (eje y) frente a la deformación $x=y-y_0$ (eje x) y mediante el método de Mínimos Cuadrados se ajustan los puntos a una recta de ecuación $y = mx + b$ y se hallan la ordenada en el origen y la pendiente, sus desviaciones típicas correspondientes y el coeficiente de regresión. Esto equivale a representar la ecuación 5 y, por tanto, la constante k se corresponde con la pendiente de la recta y su error con la desviación estándar de la misma.

El alumno deberá incluir, en una misma gráfica, las representaciones gráficas para la determinación de la constante de rigidez de cada muelle, indicando en la misma los valores obtenidos con su unidad correspondiente.

Tabla 1. Constante de recuperación del muelle 1.

Sobrepeso m (kg)	Deformación x (m)	Fuerza: $m \cdot g$ (N)

Tabla 2. Constante de recuperación del muelle 2.

Sobrepeso m (kg)	Deformación x (m)	Fuerza: $m \cdot g$ (N)

Cálculo del periodo T del movimiento

Vibraciones con un grado de libertad

La segunda parte de la práctica consiste en obtener prácticamente la frecuencia natural de oscilación del deslizador de masa m previamente pesado en una balanza y los resortes. Para ello se colocará sobre el carril de aire un deslizador sujeto en sus extremos a los muelles de constante elástica k . Los extremos libres de los muelles se fijarán a posiciones fijas del carril (será necesario utilizar un soporte auxiliar para acortar la distancia del carril).

Posteriormente se pondrá en funcionamiento la bomba de aire y separando el deslizador de su posición de equilibrio una distancia pequeña (aprox. 3 cm) éste se moverá. Tras dejar que se establezca el movimiento se medirá el período de oscilación (hacer la medida para 10 oscilaciones). La frecuencia natural de oscilación del sistema será $\omega = 1/T$. Repetir la medida al menos 5 veces.

Repita estas medidas colocando encima del móvil pesas de 50, 100 y 150 g (obtener el peso de cada una de las pesas y la del deslizador en balanza de 2 decimales).

La ecuación que determina este movimiento es: $m \cdot \ddot{x} + (k_1 + k_2) \cdot x = 0$ (13)

que define, como vimos anteriormente, un movimiento armónico cuyo período es:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_1 + k_2}} \quad (14)$$

donde m es la masa del deslizador.

1. Para cada uno de los pesos del deslizador se calcula el T teóricamente mediante la expresión (14) y comparándolo con los obtenidos experimentalmente se calculan los errores y los valores medios y desviaciones típicas.

Periodo del movimiento

T experimental (s)	T teórico (s)	Error absoluto (s)	Error relativo (%)
<i>media ± desv. estándar.</i>		<i>media ± desv. estándar.</i>	<i>media ± desv. estándar.</i>

2. Represente el periodo experimental frente a la raíz de la masa del deslizador. Esto equivale a representar la ecuación 14. ¿Se corrobora dicha ecuación? ¿Por qué? Obtenga la ecuación de la recta, el coeficiente de regresión y los errores de la pendiente y la ordenada en el origen. Del valor de la pendiente despeje el valor de k y compárelo con el obtenido mediante el método estático. Halle las diferencias en valor absoluto y relativo

Vibraciones con dos grados de libertad.

A continuación se calcularán las dos frecuencias naturales de oscilación del sistema, para lo cual colocaremos, como indica la *Figura 2*, las dos masas y los resortes sobre el carril de aire, poniendo en funcionamiento la bomba para evitar el rozamiento.

Para provocar que el sistema oscile según la primera frecuencia natural $\omega_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ basta separar las masas la misma distancia en el mismo sentido de su posición de equilibrio, ya que si tomamos $x_1(0) = x_2(0)$ la expresión (12) se nos convierte en:

$$A \cos \alpha_1 + B \cos \alpha_2 = A \cos \alpha_1 - B \cos \alpha_2 \quad (15)$$

Igualando los coeficientes de los cosenos: $A = A$ y $B = -B$, por tanto $B = 0$, por lo que se anulan los términos en ω_2 .

Del mismo modo, para provocar que el sistema oscile según la segunda frecuencia de oscilación $\omega_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(k + 2k')}{m}}$ basta separar las dos masas la misma distancia de su posición de equilibrio, pero en sentidos opuestos, de este modo $A = -A$ y por tanto $A = 0$ y se anularán los términos en ω_1 .

En cualquiera de los dos casos se utilizará un cronómetro para medir el periodo de oscilación.

Se realizarán cinco mediciones con el cronómetro para cada frecuencia (media de 10 oscilaciones) y se tomará como valor correcto del periodo de oscilación la media aritmética de las cinco y como estimación de su error la desviación estándar. Con los valores de los periodos calcularemos las frecuencias $\omega_1 = 1/T_1$ y $\omega_2 = 1/T_2$.

Periodo del movimiento 1

ω_1 experimental (s)	ω_1 teórico (s)	Error absoluto (s)	Error relativo (%)
media±desv. están.		media±desv. están.	media±desv. están.

Periodo del movimiento 2

ω_2 experimental (s)	ω_2 teórico (s)	Error absoluto (s)	Error relativo (%)
media±desv. están.		media±desv. están.	media±desv. están.

Práctica 5.

REPRESENTACIÓN DEL CAMPO ELECTROSTÁTICO.

Objetivo

Determinaremos experimentalmente la distribución de líneas equipotenciales y de campo en un dispositivo con medios conductores, y por analogía, lo aplicaremos a sistemas de conductores en presencia de dieléctricos.

Introducción

La densidad de corriente $\mathbf{J}$ y el vector desplazamiento $\mathbf{D}$, en muchos materiales dependen linealmente del vector campo $\mathbf{E}$. Una consecuencia de esta propiedad es la existencia de relaciones duales entre $\mathbf{J}$ y $\mathbf{D}$. En el caso de campos conservativos, y con materiales lineales e isotrópicos, se aplican las siguientes ecuaciones:

Si el medio es conductor y sin fuentes se verifica que $\nabla \times \mathbf{E} = 0$; $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$; $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$

Si el medio es dieléctrico y sin cargas se verifica que $\nabla \times \mathbf{E} = 0$; $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$; $\nabla \cdot \mathbf{D} = 0$

Si ambos materiales son homogéneos ε y σ son constantes y por tanto: $\nabla \times \mathbf{J} = 0$; $\nabla \times \mathbf{D} = 0$

Esta última propiedad muestra que $\mathbf{J}$ y $\mathbf{D}$ pueden derivarse de un potencial escalar de tal manera que $\mathbf{J} = -\nabla V$; $\mathbf{D} = -\nabla U$ y en ambos casos se cumplirá que: $\nabla^2 U = 0$ y $\nabla^2 V = 0$

Las soluciones para $\mathbf{J}$ y $\mathbf{D}$ se determinan encontrando un potencial escalar V , U , que satisfaga la ecuación de Laplace y las condiciones de contorno. Un examen de las ecuaciones anteriores muestra que cualesquiera soluciones para $\mathbf{D}$ y $\mathbf{J}$ son de la misma forma, sin más que tener en cuenta las condiciones en los límites de los respectivos vectores y los valores de ε y σ .

Esto significa que si conocemos la solución a un problema determinado en un medio conductor, ésta será la solución del problema correspondiente en un medio dieléctrico. Este procedimiento es válido si las condiciones de contorno son equivalentes en ambos casos, y si no hay discontinuidades de σ y ε en el medio.

En un campo eléctrico, la fuerza eléctrica es ejercida sobre las cargas. Un desplazamiento a lo largo de cualquier línea equipotencial no requiere el consumo de trabajo y la fuerza del campo eléctrico ejercida sobre la carga será perpendicular a esta línea equipotencial.

El voltaje U entre dos puntos A y B de un campo eléctrico se define como el trabajo que va a ser producido por el campo sobre una carga positiva q para desplazarla desde A hasta B una distancia d ($W_e = F_e \cdot d$).

$$U = \frac{\vec{F}_e}{q} d \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

Al cociente entre la fuerza y la carga se le denomina intensidad de campo eléctrico

Método operativo

Si utilizamos como conductor papel teledeltos o papel de carbón, material con una conductividad homogénea, podremos estudiar aquellos problemas que presenten alguna simetría de tal manera que se pueda reducir a dos dimensiones.

Este juego de aparatos permite estudiar diferentes campos eléctricos con una tensión muy reducida en los electrodos (12 V). La posición de las líneas equipotenciales y sus separaciones

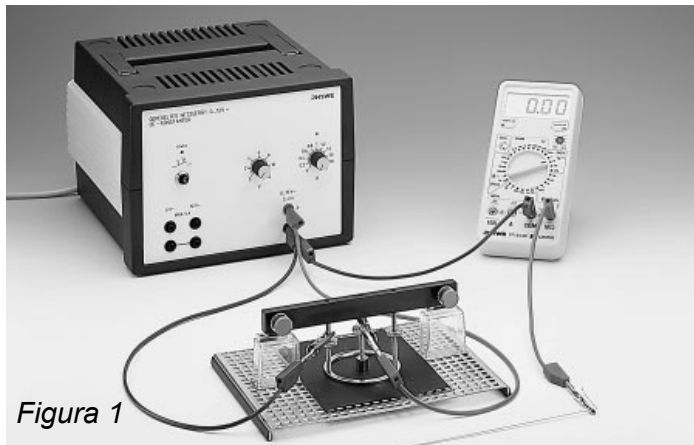


Figura 1

mutuas permiten realizar declaraciones sobre las propiedades del campo eléctrico. Cuanto menor es la distancia de las líneas equipotenciales mayor es la intensidad del campo eléctrico. Las líneas de campo discurren siempre en dirección vertical respecto a las líneas equipotenciales.

Para los experimentos no se requiere ningún electrolito. Como superficie de resistencia plana se emplea un papel de carbón especial bajo el cual se encuentra una placa de polycarbonato de aislamiento fijo.

Con una sonda de punta afilada (aguja de punto) se localizan los lugares de idéntica tensión y se dibujan con un lápiz sobre el papel de carbón y con ayuda del papel de calco se calcan sobre una hoja de papel blanco. La medición de tensión debe realizarse con un instrumento de medida de alta impedancia ($R_i = 10\text{ M}\Omega$).

1. Procedimiento.

El montaje experimental se muestra en la *Figura 1*. Encada uno de los experimentos se seguirán los siguientes pasos.

1. Colocar los dos soportes universales sobre la placa que lleva una cuadrícula de agujeros de tal manera que la placa de polycarbonato (en formato vertical) quede colocada exactamente en el medio.
2. Desatornillar completamente los tornillos de ambos soportes y, a continuación, sujetar firmemente con los mismos el portaelectrodo.
3. Colocar un recorte de papel de carbón de $130\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ sobre la placa de polycarbonato.
4. Colocar dos electrodos sobre el papel de carbón y presionar firmemente de forma uniforme con ayuda de los tornillos moleteados.
5. Dibujar los contornos de los electrodos sobre el papel de carbón, aflojar ligeramente los tornillos moleteados y extraer de nuevo una vez más el papel de carbón.
6. Rellenar minuciosamente los campos marcados con un lápiz suave. Mediante el grafito se logra un mejor contacto entre los electrodos y el papel de carbón.
7. Colocar de nuevo el papel de carbón en la posición original debajo de los electrodos y apretar firmemente de forma uniforme los tornillos moleteados.
8. Aplicar con ayuda de las pinzas de cocodrilo una tensión continua de 12 V a los electrodos. Situar la sonda de medida en cada uno de los electrodos y comprobar que tienen potenciales de 0 y 12 V respectivamente.
9. Buscar los puntos de idéntico potencial (idéntica tensión). Para ello escanear el papel de carbón con la punta de la sonda de medida y marcar los puntos como pequeños círculos con un lápiz de punta afilada. Marcar 8 puntos por cada valor de potencial.
11. Aflojar los electrodos y extraer el papel de carbón.
12. Unir entre sí con líneas los puntos de idéntico potencial (líneas equipotenciales).
13. Dibujar líneas equidistantes que queden perpendiculares en todas las líneas equipotenciales (líneas de campo).

Nota 1. Si los campos medidos son asimétricos, se ha de comprobar el contacto entre el electrodo y el papel de carbón: Fijar los electrodos haciendo más presión o emplear un lápiz de punta más blanda para la superficie de contacto.

Nota 2. Si entre el papel de carbón y la placa de policarbonato además se colocan un papel de calco y un papel blanco, pueden calcarse los puntos medios con la aguja de punto sobre el papel blanco. El papel de carbón, en tal caso, puede emplearse varias veces.

2. Experimentos.

1. Campo homogéneo entre dos electrodos de varilla.

Aplicando un voltaje de 12 V (cc) en uno de los electrodos se localizarán las líneas equipotenciales correspondientes a 1, 3, 5, 7, 9 y 11 V abarcando el área comprendida entre ambos electrodos más unos 2 cm a cada lado de los mismos.

Cuestiones.

¿Cómo son las líneas equipotenciales en el área central del campo eléctrico?

Mida la distancia entre los pares de líneas equipotenciales con diferencia de potencial de 2 V.

¿Qué puede decir sobre estas distancias?

2. Fuerza de campo eléctrico.

Con el mismo montaje del punto 1, aplique un voltaje de 6 V (cc) y busque las líneas equipotenciales para 1, 3 y 5 V

Cuestiones.

Compare las distancias entre las líneas equipotenciales correspondientes a 1 y 3 V para los dos campos aplicados (6 y 12V). Con este resultado ¿Qué relación encuentra entre la magnitud del campo eléctrico y la distancia entre líneas equipotenciales?

3. Campo entre dos electrodos circulares.

Monte en el sistema los dos electrodos circulares y aplique una diferencia de potencial de 10 V y localice las líneas equipotenciales correspondientes a 1, 3, 5, 7, 9 y 11 V sobre todo el área del papel carbón.

El campo aquí representado se corresponde al campo entre dos dipolos y sirve como ejemplo de un campo no homogéneo.

¿Cómo son ahora las separaciones entre líneas con 2 V de diferencia de potencial? ¿El campo eléctrico es ahora constante?

4. Cambios en el campo eléctrico al insertar un conductor.

Al sistema del apartado 3 se le intercala un electrodo de varilla y se aplica una diferencia de potencial de 12 V.

Inicialmente sitúe el electrodo de varilla en el tornillo central del equipo con la barra en posición simétrica a los dos electrodos circulares. Ésta servirá como una superficie conductora eléctrica situada en medio del campo creado por los electrodos circulares.

Mida y anote el potencial en diferentes puntos de la superficie del electrodo de varilla.

Rote el electrodo un ángulo de 45° con respecto a la posición inicial y repita la medida del potencial eléctrico en diferentes puntos de la varilla. Dibuje sobre el papel carbón la situación del conductor.

Localice las líneas equipotenciales en el papel carbón desde 1 a 11 V en intervalos de 2 V y dibuje las líneas equipotenciales y las líneas de campo.

Cuestiones.

Según las medidas de potencial en los diversos puntos de la varilla ¿puede decirse que existe campo eléctrico en el conductor?

¿El conductor interpuesto modifica el campo eléctrico creado entre los dos electrodos circulares?

¿En qué medida? ¿Cómo son las líneas de campo que atraviesan el conductor?

5. Efecto electrostático de formas apuntadas.

Sitúe en el equipo el electrodo en forma de varilla y el terminado en punta siguiendo las instrucciones del apartado *Procedimiento*. Aplique una diferencia de potencial de 12 V y compruebe y anote el potencial de cada electrodo.

Localice las líneas equipotenciales correspondientes a 1, 3, 5, 7, 9 y 11 V sobre todo el área del papel carbón y dibuje las líneas equipotenciales y las correspondientes al campo eléctrico.

Describa la forma que toman las líneas equipotenciales cerca del electrodo de varilla y cerca de la punta de prueba. Deduzca cómo será la fuerza del campo en ambos emplazamientos

6. Otros campos adicionales.

Campo radial entre electrodo circular y electrodo de anillo (cable coaxial). El potencial se aplicará al electrodo circular y se tratará localizar las mismas líneas equipotenciales que en el primer caso.

Campo ente electrodo circular donde se aplica el potencial y electrodo de varilla (carga puntual y superficie conductora).

Práctica 6.

DISTRIBUCIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR BOBINAS DE HELMHOLTZ.

Objetivo

El objeto de la práctica es medir los campos magnéticos creados por bobinas u otros dispositivos. Para ello vamos a estudiar el campo creado por una bobina “casi plana” y el correspondiente a dos bobinas de las mismas características dispuestas coaxialmente. En este último caso verificaremos si se cumple la condición de las bobinas de Helmholtz (mínima variación del campo sobre la zona central del eje entre bobinas cuando la distancia entre estas es igual a su radio).

Introducción

El campo magnético B creado por una espira circular de radio R a lo largo del eje se obtiene aplicando la ley de Biot y Savart, y su valor es:

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}} u_z \quad (1)$$

donde $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$ es la permeabilidad del vacío, I es la corriente que circula por la espira. Si en lugar de una espira, fueran N espiras concentradas alrededor de una circunferencia de radio R , la expresión para B sería la anterior multiplicada por N .

En el centro de la espira, para $z = 0$

$$B = \frac{\mu_0 N I R^2}{2R} u_z \quad (2)$$

Las bobinas de Helmholtz pueden considerarse como 2 espiras circulares de radio R , cada una de ellas de N vueltas, por cada una de las cuales circula la misma intensidad de corriente I en el mismo sentido. Las bobinas se sitúan paralelas entre sí y con sus centros alineados, separados una distancia a . El campo magnético producido por esta distribución de corriente en un punto genérico r del espacio se puede escribir

$$\vec{B}(\vec{r}) = \vec{B}_1(\vec{r}) + \vec{B}_2(\vec{r})$$

Donde B_1 es el campo creado por la primera bobina y B_2 es el campo creado por la segunda bobina. Seguidamente, usaremos la ley de Biot-Savart para calcular el campo producido por cada bobina. Para ello, elegimos un sistema de coordenadas como sigue. El eje común de las bobinas se toma como eje z , de tal manera que el centro de la primera bobina está en $z = -a/2$ y



Figura 1

el centro de la segunda está en $z = a/2$. La corriente I circula por cada bobina recorriendo en sentido antihorario un círculo de radio R en el plano $z = -a/2$ y $z = a/2$, respectivamente.

El campo magnético sobre un punto cualquiera del espacio $r = x_i + y_j + z_k$ resulta más sencillo si se utilizan coordenadas cilíndricas (ρ, θ) y sus respectivos vectores unitarios asociados (u_ρ, u_θ) . Con estas expresiones, el campo magnético de las bobinas de Helmholtz resulta

$$\vec{B}(\rho, z) = B_\rho(\rho, z)\vec{u}_\rho + B_\theta(\rho, z)\vec{u}_\theta + B_z(\rho, z)\vec{u}_z$$

es decir, el campo no depende de la coordenada θ . Una simplificación considerable ocurre cuando consideramos el campo en el eje de las bobinas, es decir, cuando $\rho = 0$. Entonces,

$$B_\rho(z) = 0 \quad B(z, \rho = 0) = \frac{\mu_0 NI}{2R} \left(\frac{1}{(A_1^2 + 1)^{3/2}} + \frac{1}{(A_2^2 + 1)^{3/2}} \right)$$

$$A_1 = \frac{z + a/2}{R}, \quad A_2 = \frac{z - a/2}{R}$$

Procedimiento experimental.

1. Montaje experimental

El aspecto general del montaje es el de la *Figura 1*. Se deben conectar las bobinas en serie y en la misma dirección, según la *Figura 2*; de este modo, la corriente, que debe ser unos 2 A, gira en el mismo sentido por ambas bobinas.

La barra de la sonda Hall indica la dirección del campo que se está midiendo, esto es, hay que colocarla según el eje z si se quiere medir B_z y según el eje ρ si se mide B_ρ .

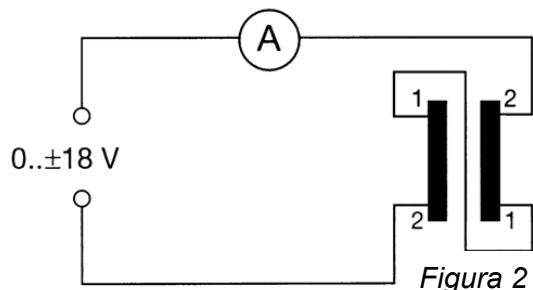


Figura 2

El campo magnético del conjunto es rotacionalmente simétrico en torno al eje de las bobinas, que se escoge como eje z de un sistema de coordenadas cilíndricas (ρ, θ, z) . El origen, de la misma forma que el de la sección dedicada al Fundamento Teórico, está en el centro del sistema. El campo magnético no depende del ángulo θ , ni tiene componente θ , así que se miden las componentes $B_z(\rho, z)$ y $B_\rho(\rho, z)$.

La sonda Hall ha de sujetarse en su soporte nivelada con el eje de las bobinas. Es conveniente asociar 2 reglas al sistema, en paralelo y en perpendicular al eje de las bobinas. La distribución espacial del campo magnético se puede medir colocando la base de la barra a lo largo de una regla y las bobinas a lo largo de la otra. Alternativamente, se puede fijar sólo una regla y utilizar la otra libremente, bien en las bobinas, bien en la sonda.

Como se ha dicho, el sistema de referencia es como sigue (*Figura 3*). El origen está en el centro del cilindro imaginario formado por las bobinas. El eje z es el eje del cilindro. Dado que la sonda se alinea con el eje en alturas, se puede tomar el eje ρ como el eje horizontal perpendicular al eje z . El eje θ no es necesario tenerlo en cuenta, pues el campo magnético a lo largo de este eje es cero, como se vio en el Fundamento Teórico.

Además, conviene tener en cuenta ciertas normas generales de seguridad. En general, los equipos de los laboratorios están preparados para su manejo por parte de los alumnos de las asignaturas de Física. Sin embargo, en el caso de las bobinas de Helmholtz, la corriente que circula por las bobinas no es

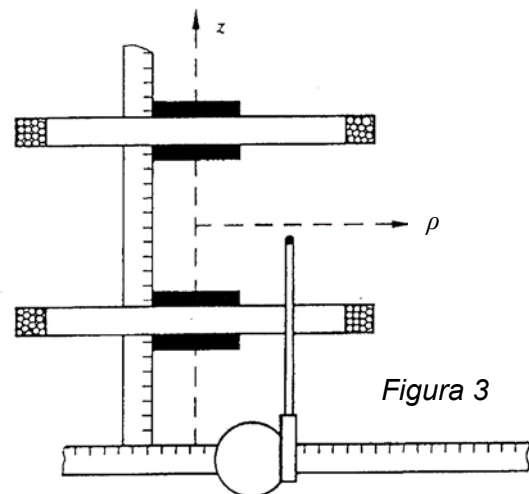


Figura 3

pequeña. Es, pues, de sentido común reducir la corriente a cero cada vez que se vaya a manipular el circuito. Una vez elegido el montaje adecuado para la medición, se vuelve a introducir la corriente.

2. Procedimiento.

Medir el diámetro de una bobina de Helmholtz $2R$. Alimentar las bobinas, colocadas en serie, con una intensidad $I = 2\text{ A}$. El número de vueltas de cada bobina es $N = 100$.

2.1. Campo en el eje z

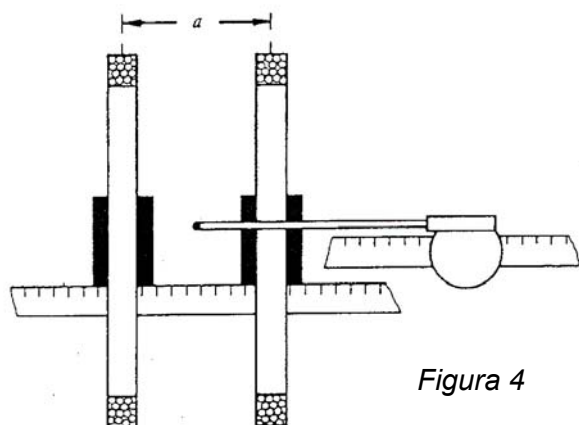


Figura 4

En este primer punto, se mide el campo magnético a lo largo del eje de las bobinas, es decir, cuando $\rho = 0$. De la ley de Biot-Savart, en este caso el campo sólo tiene no nula la componente axial $B_z(z)$.

Para medir la componente $B_z(\rho=0, z)$ (ver Fig. 4) se coloca la sonda de tal modo que su barra coincida con el eje de las bobinas, es decir, paralela al eje z . El extremo de la sonda ha de estar situado en $\rho=0$, y podemos colocar una regla paralela al eje z para medir varios puntos z diferentes.

1. Medir el campo $B_z(z)$ para valores de z entre -20 cm y 20 cm , en pasos de 5 cm cuando la distancia entre las bobinas es $a = R$

$z\text{ (cm)}$	$B_z\text{ (mT)}$

2. Medir el campo $B_z(z)$ para valores de z entre -20 cm y 20 cm , en pasos de 5 cm cuando la distancia entre las bobinas es $a = R/2$
3. Medir el campo $B_z(z)$ para valores de z entre -20 cm y 20 cm , en pasos de 5 cm cuando la distancia entre las bobinas es $a = 2R$
4. Representar gráficamente B_z frente a z en los tres casos que aparecen en las tablas (si es posible, las tres curvas en la misma gráfica).

2.2. Componente axial del campo magnético B_z

Para esta parte, fijar la distancia entre las bobinas hasta $a=R$ usando los espaciadores del montaje. Se va a medir la componente $B_z(\rho, z)$.

Para estas medidas se debe colocar la barra de la sonda paralela al eje de las bobinas (ver Fig. 4), a distancia ρ del eje. Para probar que el montaje se ha hecho bien, verificar que el campo magnético es máximo en el punto ($z=0, \rho=0$).

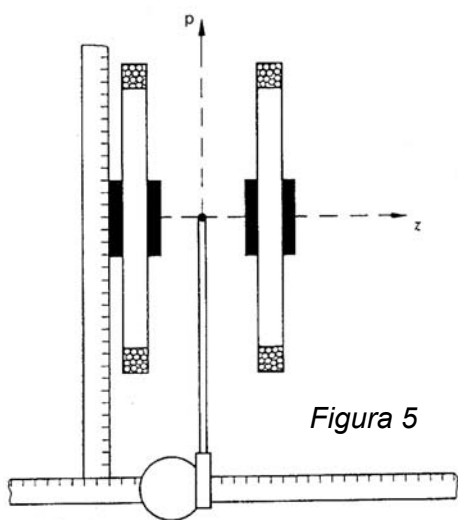
1. Para $\rho=0$, medir la componente B_z del campo magnético para valores de z comprendidos entre 0 y 40 cm , en pasos de 10 cm desplazando el conjunto de las bobinas a lo largo del eje z .

$z\text{ (cm)}$	$B_z\text{ (mT)}$



2. Para $\rho=10\text{ cm}$, medir la componente B_z del campo magnético para valores de z comprendidos entre 0 y 40 cm , en pasos de 5 cm .
3. Para $\rho=14\text{ cm}$, medir la componente B_z del campo magnético para valores de z comprendidos entre 0 y 40 cm , en pasos de 5 cm .
4. Para $\rho=18\text{ cm}$, medir la componente B_z del campo magnético para valores de z comprendidos entre 0 y 40 cm , en pasos de 5 cm .
5. Representar en la misma gráfica las 4 curvas B_z frente a z .

2.3. Componente radial del campo magnético B_ρ



Manteniendo fija la distancia entre las bobinas en $a=R$, se medirá la componente $B_\rho(\rho, z)$. Para ello, se debe colocar la barra de la sonda perpendicular al eje de las bobinas, con su extremo a distancia ρ del eje (Figura 5). Para probar que el montaje se ha hecho bien, verificar que B_ρ es nulo en el plano $z=0$. Mover el punto cero del instrumento de medida a la mitad de la escala electrónicamente por medio del teslámetro, de manera que se vean valores positivos y negativos.

1. Para $\rho=0$, medir la componente B_ρ del campo magnético para valores de z comprendidos entre 0 y 40 cm , en pasos de 10 cm .
2. Para $\rho=10$, medir la componente B_ρ del campo magnético para valores de z comprendidos entre 0 y 40 cm , en pasos de 10 cm .
3. Para $\rho=14$, medir la componente B_ρ del campo magnético para valores de z comprendidos entre 0 y 40 cm , en pasos de 10 cm .
4. Para $\rho=18$, medir la componente B_ρ del campo magnético para valores de z comprendidos entre 0 y 40 cm , en pasos de 10 cm .
5. Representar en la misma gráfica las 4 curvas B_ρ frente a z .

2.4. Campo magnético de cada bobina.

Desconecte una de las bobinas y después la otra. Mida la componente radial del campo B_ρ magnético de cada una de las bobinas para $z=0$, variando el parámetro ρ desde el punto 0 (centro) hasta los 35 cm en pasos de $2\text{-}3\text{ cm}$. Represente en la misma gráfica los valores obtenidos para ambas bobinas, B_ρ frente a ρ .

Cuestiones

1. Al medir el campo magnético en el eje de las bobinas para $z=0$, se obtiene que el campo tiene un valor máximo para $a < R$ y un valor mínimo para $a > R$. ¿Cuáles son esos valores? ¿Por qué ocurre esto?

2. El campo en el eje de las bobinas para $z=0$ satisface que, en el intervalo $-R/2 < z < R/2$, es virtualmente uniforme para $a=R$. ¿Qué valor tiene el campo en este intervalo? ¿Por qué?

Práctica 7.

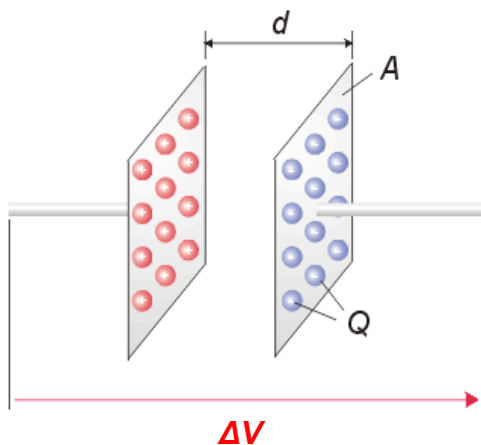
CIRCUITOS LINEALES RC Y RL: COMPORTAMIENTO TRANSITORIO

Objetivo

La práctica tiene por objeto estudiar el comportamiento transitorio de circuitos RC y RL, determinando la constante de tiempo de los mismos e infiriendo, a partir de las mismas, los valores de capacidad/autoinducción empleados.

Introducción

Capacitancia de un condensador.



Los condensadores son estructuras en las que se pueden almacenar cargas eléctricas en reposo. En su forma básica, constan de dos placas metálicas que representan sus electrodos. Por medio del aislamiento de las cargas se forma una diferencia de potencial eléctrico (tensión) V entre dichos electrodos. La imagen siguiente muestra como ejemplo un condensador de placas, en donde se observa la superficie A y la distancia entre placas d , que porta la carga Q . Entre las placas, por lo general, se encuentra un material aislante, es decir, el elemento que se conoce como dieléctrico. Debido al aislamiento de cargas se forma un campo eléctrico entre las placas.

Entre la carga y la tensión existe una relación lineal. Es

válida la siguiente relación: $Q = C \cdot U$

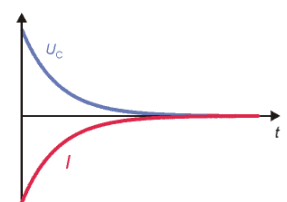
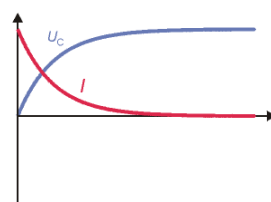
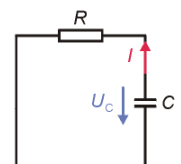
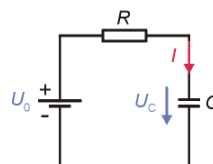
La magnitud C representa la capacitancia del condensador, y se expresa con la unidad denominada *Faradio* (símbolo: F). Mientras mayor sea la capacitancia C de un condensador, se debe aplicar un volumen mayor de carga Q para generar una tensión V determinada entre sus electrodos.

La capacitancia de un condensador se puede asumir como constante y depende únicamente de la estructura geométrica del componente y del dieléctrico empleado. Para un condensador de placas (y, aproximadamente, también para un cilindro concéntrico con escasa distancia entre placas, como es el caso de los capacitores con arrollamientos) es válida la siguiente relación:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

en donde ϵ_0 es la constante eléctrica de campo y posee un valor de $8,8542 \cdot 10^{-12} F m^{-1}$, ϵ_r es el índice dieléctrico (carente de unidad), A la superficie de una placa y d la distancia entre placas.

Si un condensador se conecta a una tensión continua V_0 a través de una resistencia R , se carga debido a la presencia de voltaje, proceso durante el cual la tensión del condensador pasa de $0 V$ a su valor final V_0 de acuerdo con una función exponencial. En un primer momento,

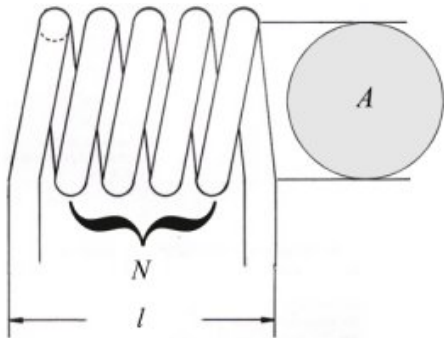


la corriente de carga posee su valor máximo y desciende luego exponencialmente hasta alcanzar el valor de cero (véase la curva de carga de un condensador en la imagen, a la izquierda). Si, a continuación, se desconecta el condensador de la fuente de tensión y se lo cortocircuita, se produce un proceso de descarga inverso al de carga (véase la imagen de la derecha).

Inductancia de una bobina.

Junto al campo eléctrico, que aparece entre las placas de un condensador cargado, existe en la electrotecnia un segundo tipo de campo de carácter magnético. Mientras que un campo eléctrico aparece en un entorno de cargas en reposo, el magnético está ligado a portadores de carga en movimiento, es decir, a una corriente eléctrica.

La conexión progresiva de un número determinado de bucles de conductores crea una bobina que, ante la presencia del flujo de corriente, se ve atravesada por líneas de campo magnético. La intensidad de este campo se caracteriza por el flujo de dicho campo. Si el campo magnético que atraviesa la bobina varía (por ejemplo, debido a una variación de la intensidad de corriente), en el componente se produce el fenómeno denominado autoinducción, cuya magnitud depende, por una parte, de la velocidad de variación de la corriente pero también, por otra parte, del tamaño y la estructura de la bobina. La inductancia L de la bobina es, en este caso, un indicador de su capacidad de generar una tensión de autoinducción. Para una bobina alargada es válida la siguiente relación:

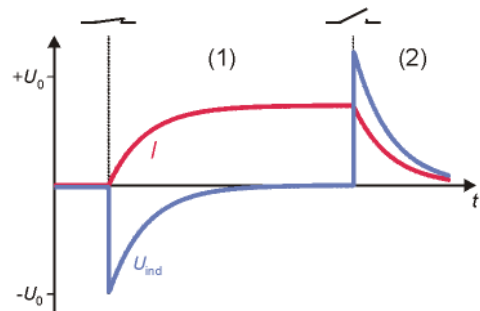
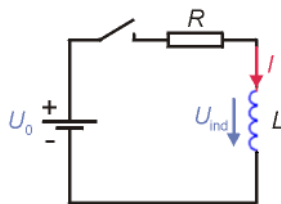


$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2}{l} A$$

en donde μ_0 es la constante magnética de campo, μ_r la permeabilidad relativa del núcleo de la bobina, N el número de espiras, l la longitud de la bobina y A su sección transversal.

La unidad de la inductancia es el *henrio* (símbolo H , $1 H = 1 V \cdot s/A$). Una bobina tiene una inductancia igual a $1 H$ si durante la modificación uniforme de la corriente que circula por ella, en razón de $1 A$ por segundo, se autoinduce una tensión de $1 V$.

Si, como se muestra en la imagen, se conecta una bobina a una fuente de tensión continua (es decir, se cierra el interruptor), inmediatamente después de que se inicie el flujo de corriente, debido a la autoinducción, se origina una tensión de inducción

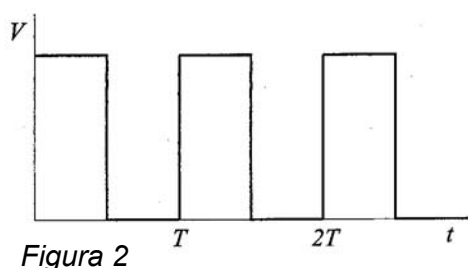
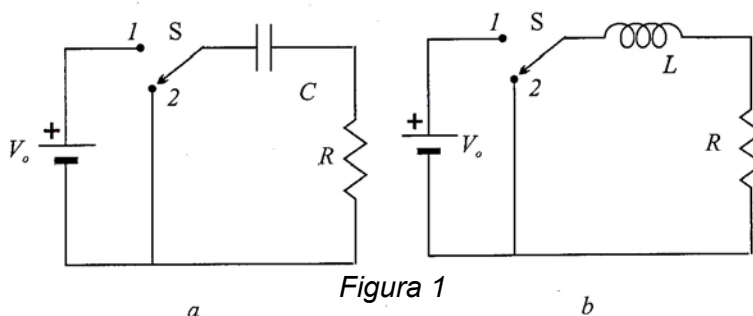


U_{ind} , la que, de acuerdo con la regla de Lenz, tiene un sentido contrario al de la tensión continua externa U_0 . Por esta razón, aumenta con retardado la corriente en la bobina en forma de función exponencial y alcanza su valor máximo únicamente después de un determinado lapso de tiempo, que depende de la magnitud de la inductancia L y de la resistencia óhmica R (parte (1) del diagrama de tiempo).

Si se desconecta la tensión continua externa (apertura del interruptor), desaparece el campo magnético de la bobina y aparece ahora en ella una tensión de inducción, que actúa opuestamente a la causa que originó la variación del campo (a saber, la desconexión de la tensión) y que, en principio, permite que continúe el flujo de corriente (parte (2) del diagrama de tiempo). Por tanto, la tensión de inducción retarda en este caso la desaparición de la corriente de la bobina.

El comportamiento transitorio en un circuito RC o RL

El comportamiento transitorio en un circuito RC o RL se produce cuando dichos circuitos se someten a un voltaje en forma de escalón, es decir, en un instante dado se le conecta a una fuente de c.c. Este procedimiento se muestra en las Figuras 1a y b. La aplicación del voltaje se hace pasando el conmutador S a la posición 1. También podemos estudiar el fenómeno de descarga o cortocircuito, que consiste en pasar el conmutador de la posición 1 a la 2, una vez que se ha llegado a una corriente estable, cero en el caso del condensador y V/R en la autoinducción.



Los dos procesos se pueden observar aplicando al circuito un voltaje en forma de onda cuadrada, como la indicada en la Figura 2, cuyo periodo T sea mucho mayor que RC y L/R

La ecuación diferencial o integrodiferencial que gobierna la aplicación de un voltaje como el arriba indicado, se obtiene aplicando la ley de Kirchhoff para voltajes al circuito correspondiente.

Circuito RC

$$V_0 = R \cdot i + \frac{q}{C} = R \cdot i + \frac{1}{C} \int i \, dt \quad (1)$$

Circuito RL

$$V_0 = R \cdot i + \frac{q}{C} = L + \frac{di}{dt} \quad (2)$$

En el caso de cortocircuito, se obtendrían las respectivas ecuaciones poniendo $V_0 = 0$ en el primer miembro.

La corriente que circula se obtiene resolviendo las ecuaciones anteriores, teniendo en cuenta que $i = dq/dt$ e imponiendo las condiciones iniciales.

Circuito RC (conexión)

Con las condiciones iniciales: Para $t = 0$, $q = 0$, $i = V_0/R$. La carga máxima, carga para La carga máxima, carga para $t = \infty$, es: $Q_0 = C \cdot V_0$

$$q = Q_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right) \quad (3) \quad i = \frac{V_0}{R} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (4)$$

Si observamos la última ecuación, comprobamos que la intensidad que circula por el circuito durante la carga del condensador decae a $1/e$ de su valor inicial, es decir, se reduce al 36,78% de su valor inicial para un tiempo $t = RC = \tau$.

A este tiempo se le llama constante de tiempo o tiempo de relajación. El conocimiento del factor τ nos da idea de la rapidez con que se carga el condensador.

Circuito RL (conexión)

Con las condiciones iniciales: para $t = 0$, $i = 0$

$$i = \frac{V_0}{R} \left(1 - \exp\left(-\frac{R}{L}t\right) \right) \quad (5)$$

Los valores respectivos en el cortocircuito se obtienen de forma similar, utilizando las ecuaciones 1 y 2 con $V_0 = 0$.

En el caso del circuito RL, la constante de tiempo viene definida por la expresión $\tau = L/R$.

Circuito RC (cortocircuito)

Condiciones iniciales: $t = 0$, $q = Q_0 = CV_0$.

$$q = Q_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (6) \quad i = -\frac{V_0}{R} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (7)$$

Circuito RL (cortocircuito):

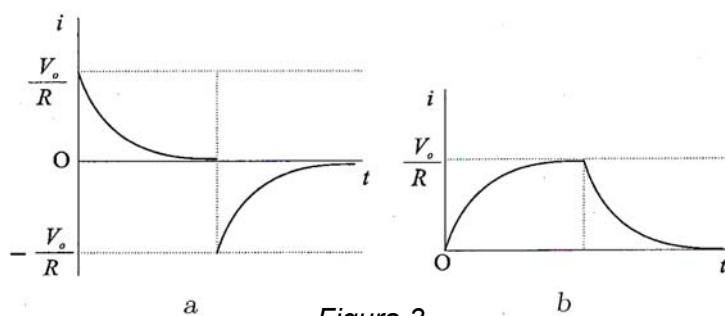


Figura 3

Condiciones iniciales : Para $t = 0$, $i = I_0 = V_0/R$

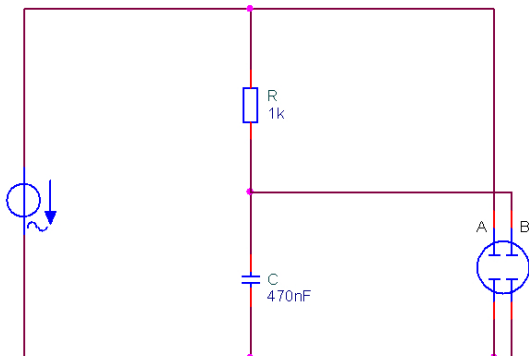
$$i = \frac{V_0}{R} \exp\left(-\frac{R}{L}t\right) \quad (8)$$

Las Figuras 3a y 3b, muestran las corrientes de conexión y cortocircuito de los circuitos RC y RL respectivamente.

Método operativo

Circuito RC

Diagrama de circuito:



Ajustes del osciloscopio:

	Canal A	Canal B
Sensibilidad	5V/DIV	5V/DIV
Acoplamiento	DC	DC
Polaridad	Normal	Normal
Posición Y	0	0
Barrido	1ms/DIV	
Modo	X/T	
Canal de disparo	A	
Flanco de disparo	pos	

Y el generador de funciones:

Forma de la curva	Rectangular
Amplitud	20Vpp 100% (1:1)
Factor de frecuencia	100
Frecuencia	100Hz

1. Se disponen los aparatos y los componentes del circuito RC como indica la figura correspondiente al experimento de Condensador con señal de onda rectangular del software *Unitrain*. Sin embargo la alimentación del circuito se realiza en las conexiones de señal y tierra del generador de funciones y no en las salidas descritas en el mismo.

Comprobar previamente con un polímetro que la salida del generador de funciones es de 10 V que se corresponde con 20Vpp medido con el osciloscopio.

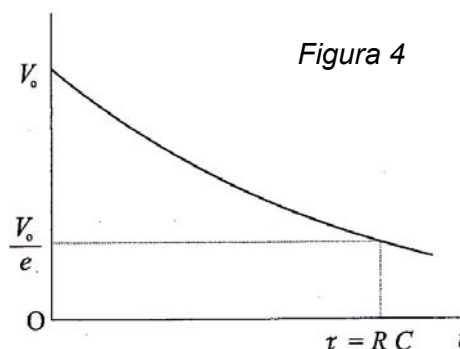
2. Encendemos el generador de funciones y el osciloscopio con los ajustes anteriores y copiamos la pantalla del osciloscopio para su inclusión en el cuaderno de prácticas.

3. En esta pantalla medimos el intervalo de tiempos τ en una forma similar a la indicada en la *Figura 4*, es decir cuando el voltaje cae un 63% (es decir 6,3 voltios)

4. Con distintos valores de la resistencia R del circuito RC, repetimos la medida de τ en la forma indicada en el párrafo anterior. Hay que variar R de manera que mantengamos siempre la forma exponencial de la curva. Si la resistencia es muy elevada, la constante de tiempo será muy grande y no visualizaremos bien la carga y descarga del condensador.

5. Representar gráficamente $\tau = f(R)$. Comprobar que es una recta cuya pendiente es la capacidad C . ¿De qué forma puede influir sobre esta medida la resistencia interna del generador?

6. Cambiar el condensador C por otro de distinto valor y repetir a partir del punto 2

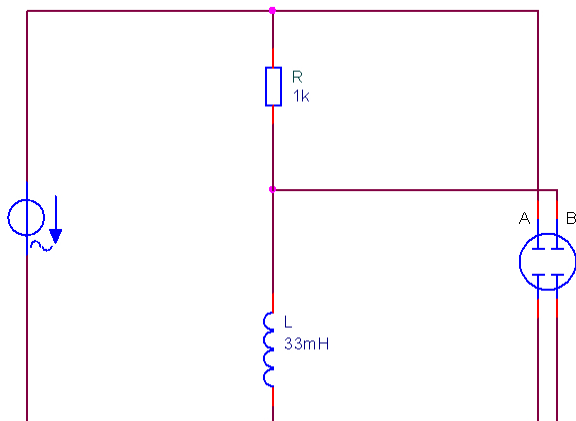


Condensador 1 $C =$ ()			
R ()	$\tau_{teórico}$ ()	V_0 ()	$\tau_{experimental}$ ()
Pendiente $m =$			

Condensador 2 $C =$ ()			
R ()	$\tau_{teórico}$ ()	V_0 ()	$\tau_{experimental}$ ()
Pendiente $m =$			

Circuito RL

Para este experimento se utilizará el siguiente diagrama:



Ajustes del osciloscopio

	Canal A	Canal B
Sensibilidad	5 V/DIV	5V/DIV
Acoplamiento	DC	DC
Polaridad	Normal	Normal
Posición Y	0	0
Barrido	100 μ s / DIV	
Modo	X/T	
Canal de disparo	A	
Flanco de disparo	pos	

Ajustes del generador de funciones

Forma de la curva	Rectangular
Amplitud	10V (valor pico); 100% (1:1) Aprox 11,9 V
Factor de frecuencia	1
Frecuencia	1kHz

1. Se disponen los aparatos y los componentes del circuito RL como indica la figura correspondiente al experimento de Bobina con señal de onda rectangular del software *Unitrain*.
2. Encendemos el generador de funciones y el osciloscopio con los ajustes anteriores y copiamos la pantalla del osciloscopio para su inclusión en el cuaderno de prácticas.
3. En esta pantalla medimos el intervalo de tiempos τ en una forma similar a la indicada en la *Figura 4*, es decir cuando el voltaje cae un 63% (es decir 6,3 voltios)
4. Con distintos valores de la resistencia R del circuito RL (2,2 k Ω ; 1 k Ω ; 680 Ω y 470 Ω), repetimos la medida de τ en la forma indicada en el párrafo anterior. Hay que variar R de manera que mantengamos siempre la forma exponencial de la curva. Si la resistencia es muy elevada, la constante de tiempo será muy grande y no visualizaremos bien la carga y descarga del condensador.
5. Representar gráficamente $\tau = f(1/R)$. Comprobar que es una recta cuya pendiente es la autoinducción L . ¿De qué forma puede influir sobre esta medida la resistencia interna del generador?
6. Cambiar la bobina L por otra de distinto valor (100 mH) y repetir a partir del punto 2 con las resistencias (100 Ω , 220 Ω , 330 Ω y 470 k Ω)

Bobina 1		$C =$ ()	
R ()	$\tau_{teórico}$ ()	V_0 ()	$\tau_{experimental}$ ()
Pendiente $m =$			

Bobina 2 $C =$ ()			
R ()	$\tau_{teórico}$ ()	V_0 ()	$\tau_{experimental}$ ()
<i>Pendiente $m =$</i>			

Práctica 8.

EL DIODO.

Objetivo

1. Análisis del diodo
 - a) Dibujar la curva característica de un diodo
 - b) Construcción de un circuito limitador
2. Análisis del diodo Zener
 - a) Determinar las características del diodo zener
 - b) Determinar la capacidad de regulación de un diodo tener

Introducción.

Los diodos modernos son componentes semiconductores que han adquirido gran importancia en la ingeniería eléctrica y electrónica debido a su diseño compacto y naturaleza robusta. En el pasado se usaron diodos de vacío con cátodos y ánodos calientes. Hoy, el silicio es el material básico más importante.

Aquí se observan varios modelos de diodos semiconductores, que difieren entre sí por su resistencia a la tensión, a la corriente y por su frecuencia de conmutación. El fabricante proporciona especificaciones precisas de estas propiedades en una hoja de datos.

Usualmente, los diodos poseen dos terminales, ánodo y cátodo.

El diodo ideal funciona como una válvula de corriente eléctrica. Permite que la corriente fluya del ánodo hacia el cátodo en el sentido de conducción, mientras que bloquea la circulación de corriente del cátodo hacia el ánodo en la dirección inversa. La dirección de conducción de corriente se reconoce por la flecha en el símbolo gráfico



En el componente real se imprime una denominación del tipo. El cátodo se identifica por medio de un anillo o, en el caso de modelos más grandes, gracias al símbolo gráfico o una letra. Ocasionalmente, también hay tipos que omiten del todo la identificación. Por lo tanto, hay que remitirse a la ficha técnica del fabricante correspondiente o realizar una medición con el probador de diodos.

Las propiedades de un diodo real difieren ligeramente de las de uno ideal puesto que no presentan propiedades de conducción ni de bloqueo ideales. Esto se reconoce especialmente en la curva característica del diodo.

Sentido de conducción: Los diodos tienen una tensión de conducción muy baja, de aproximadamente $0,7\text{ V}$ en el caso de un diodo de silicio y $0,3\text{ V}$ si se trata de uno de germanio. Además, tienen una resistencia a la conducción de corriente que se reconoce en la pendiente de la característica del componente.

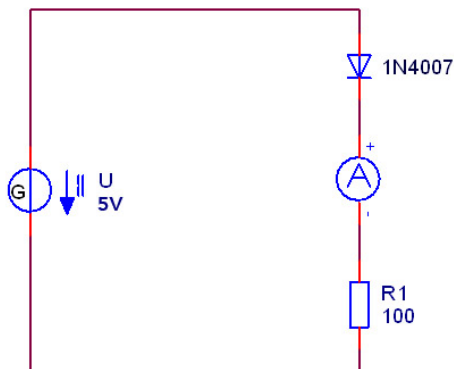
Los diodos poseen límites que no se pueden rebasar. En el rango de conducción no se debe exceder la corriente máxima admisible.

Propiedades de bloqueo: Los diodos solamente tienen una resistencia finita a la tensión, la cual, sin embargo, varía enormemente de tipo a tipo. En el sentido de bloqueo, se debe tener en cuenta la máxima tensión de admisible.

1. Análisis del diodo

Efecto de válvula de un diodo

En esta primera parte analizaremos las características del diodo de pequeña señal 1N4007. Para ello se puede emplear el circuito que se muestra en la *Figura 1*.

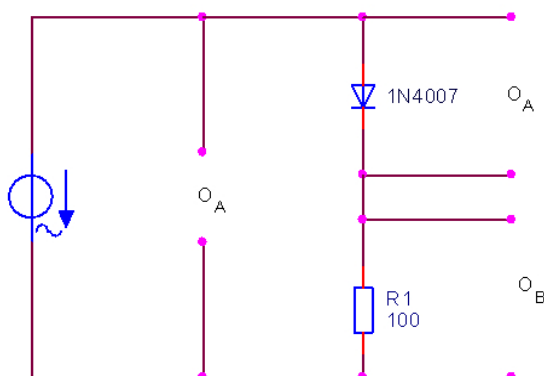


1. Se disponen los aparatos y los componentes del circuito como indica la figura correspondiente al experimento Efecto válvula de un diodo del software Unitrain, aunque no es necesaria la conexión al osciloscopio. El amperímetro se situará en la posición de medida de 200 mA

2. La fuente de alimentación en la posición indicada en el montaje experimental presenta una tensión de salida un valor aproximado de 5,1 V. ¿Cuál es el valor de la corriente que circula a través del diodo en el sentido de conducción?

3. Ahora invierta la dirección del diodo, es decir, insértelo en el sentido de bloqueo del circuito. Repita la medición llevada a cabo en la pregunta anterior. ¿Cuál es el valor de la intensidad de corriente si el diodo está conectado en sentido de bloqueo?

Curva característica del diodo



Para el experimento se necesitan los siguientes elementos con sus ajustes correspondientes:

	Canal A	Canal B
Sensibilidad	1V/DIV	1 V/DIV
Acoplamiento	DC	DC
Polaridad	Normal	Normal
Posición Y	0	0
Barrido	2 ms/DIV	
Modo	X/T	
Canal de disparo	A	
Flanco de disparo	Positivo	

Y el generador de funciones:

Forma de la curva	Sinusoidal
Amplitud	(1:1) (40%) Aprox 2,8 V AC
Factor de frecuencia	10
Frecuencia	50Hz

Se disponen los aparatos y los componentes del circuito como indica la figura correspondiente al experimento Curva característica del diodo del software Unitrain.

Conecte los terminales de medición del osciloscopio en la posición prescrita y seleccione en el instrumento los parámetros indicados anteriormente. No obstante, en primer lugar active únicamente el canal A del osciloscopio. Copie el oscilograma para reproducirlo en el cuaderno.

¿Cuál es el valor de la tensión de ruptura del diodo? Se puede identificar la tensión de ruptura por medio de la semionda cortada del canal A del osciloscopio. Para realizar una mejor lectura del valor de tensión, seleccione brevemente una sensibilidad de entrada del canal A de $0,5 \text{ V/div}$.

Reemplace la resistencia de 100 ohmios por una de 330 ohmios . ¿Cuál es ahora la respuesta de la tensión de bloqueo? ¿Permanece aproximadamente constante, se triplica o se reduce a un tercio de su valor? Tal como antes, realice la medición con una sensibilidad más alta en el canal A.

Ahora seleccione el modo de visualización de ejes X/Y en el osciloscopio y active adicionalmente el canal B. Reemplace las conexiones del amperímetro por medio de un cable o puente y registre el diagrama en su cuaderno.

2. Análisis del diodo Zener

A continuación estudiaremos el comportamiento del diodo zener. Como sabemos los diodos zener son aquellos que se diseñan para trabajar en la zona de ruptura. Estos diodos pueden ser empleados como dispositivos reguladores de tensión.

Los diodos Zener son componentes esenciales de muchos circuitos. Dado que ya desde su producción se establece que estos componentes tendrán una determinada caída de tensión constante, se los emplea frecuentemente como estabilizadores de voltaje.

Los diodos Zener reciben ese nombre en honor del físico C.M. Zener. Son muy importantes en electrónica debido a sus propiedades limitadoras de tensión. Símbolo gráfico de un diodo Zener.

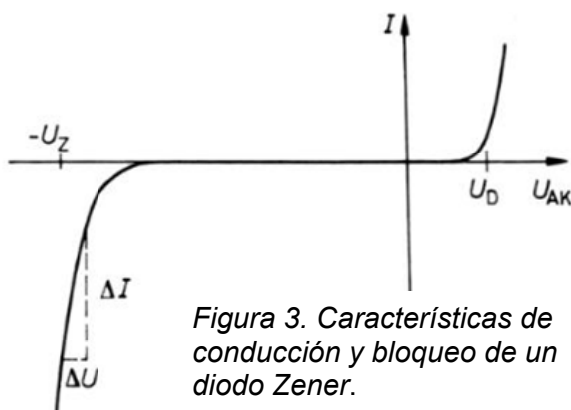


Descripción del funcionamiento:

Los diodos Zener actúan como una válvula con la corriente eléctrica. Permiten el paso de la corriente en el sentido de conducción, es decir, del ánodo al cátodo y, en este caso, en general, actúan como diodos de silicio normales. En dirección inversa, bloquean el paso de la corriente, pero sólo hasta una tensión definida específica, la cual recibe el nombre de tensión Zener. Una vez que se alcanza dicho nivel, el componente se convierte en conductor.

La tensión Zener se predetermina durante su fabricación. Hay varios tipos, que van desde rangos bajos de tensión, por ejemplo $2,7 \text{ V}$, hasta un rango que excede los 100 V . Los diodos Zener operan la mayoría de las veces en el sentido de bloqueo.

Diodos reales:



La descripción del tipo se imprime en el diodo real. El lado del cátodo se indica por medio de una franja o anillo de color. El valor de la tensión de ruptura, es decir, la tensión Zener, aparece también impresa en el diodo.

Las propiedades de los diodos reales difieren levemente de las de los ideales, puesto que los estados de bloqueo y conducción no se presentan de una manera ideal. Esto se hace particularmente obvio en sus curvas características (Figura 3). Si se tienen frecuencias altas, se pueden observar efectos de perturbación adicionales, hecho que, no obstante, ignoraremos en este curso.

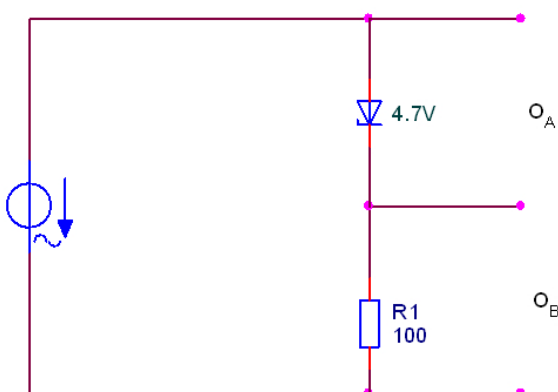
- Dirección de conducción:

Los diodos Zener tienen un estado de tensión baja de conducción de, aproximadamente, 0,7 V. El rango de conducción no es de interés para las aplicaciones típicas.

- Propiedades de bloqueo:

Estos diodos se convierten en conductores una vez que se alcanza el valor de tensión Zener. Esto significa que adoptan entonces una resistencia baja, cuyo valor se determina en la pendiente de la característica de bloqueo. Los diodos Zener poseen datos de carácter limitante; por ejemplo, no se puede exceder la temperatura máxima ni la potencia máxima de pérdida.

Para este experimento se utilizará el siguiente diagrama:



Se utilizará el osciloscopio con los siguientes ajustes:

	Canal A	Canal B
Sensibilidad	2V/DIV	2V/DIV
Acoplamiento	DC	DC
Polarización	Inversa	Normal
Posición Y	0	0
Barrido	2 ms/DIV	
Modo	X/Y	
Canal de disparo	-	
Flanco de disparo	-	

Y el generador de funciones:

Forma de la curva	Sinusoidal
Amplitud	(1:1) (80%)
Factor de frecuencia	10
Frecuencia	50Hz

Monte ahora el experimento como indica la figura correspondiente al experimento Diodo Zener del software Unitrain.

Seleccione en el osciloscopio y el generador de funciones los valores especificados anteriormente y copie la característica de corriente y tensión del diodo Zener en el su cuaderno de laboratorio. Asegúrese de obtener una lectura clara de la tensión de ruptura del diodo Zener.

El diodo Zener se convierte en conductor a partir de cierta tensión, la tensión umbral, por lo que la intensidad de corriente se incrementa abruptamente. En el sentido normal de conducción, la tensión corresponde a la de un diodo estándar.

¿Cuál es el valor mínimo de la tensión umbral?

¿Cuál es el valor de la tensión umbral más alta en la dirección inversa a la de conducción?