



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y QUÍMICA TEÓRICA

MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LABORATORIO DE FÍSICA  
(CLAVE 1210)

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, agosto de 2017

**MANUAL DE PRÁCTICAS**  
**Laboratorio de Física, clave 1210**

Tabla de contenido.

Reglamento interno de higiene y seguridad del Departamento de Física y Química Teórica.....	I
Guión Experimental 1. Las medidas y su incertidumbre .....	1
Guión Experimental 2. Relación lineal (densidad) .....	7
Guión Experimental 3. Determinación de la aceleración de la gravedad a través del péndulo simple.....	11
Guión Experimental 4. Determinación de la constante de enfriamiento de un líquido .....	15
Guión Experimental 5. Determinación de la constante de resistividad eléctrica .....	19
Guión Experimental 6. Circuitos eléctricos (Resistores).....	24
Guión Experimental 7. Conductimetría .....	30
Guión Experimental 8. Carga y descarga de un capacitor en un circuito RC .....	35
Guión Experimental 9. Mapeo de la intensidad del campo magnético en las vecindades de una bobina de corriente eléctrica .....	40

## REGLAMENTO INTERNO DE HIGIENE Y SEGURIDAD DEL DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y QUÍMICA TEÓRICA

**Artículo 1.** Todas las actividades experimentales que se realicen en los laboratorios deberán estar supervisadas por el profesor responsable. Bajo ninguna circunstancia un alumno podrá trabajar sin supervisión.

**Artículo 2.** Si el profesor responsable no se encuentra presente durante el desarrollo de una actividad, los alumnos no podrán solicitar material para desarrollar prácticas o en su defecto deberán entregar el material solicitado.

**Artículo 3.** La presencia de cualquier persona no autorizada en los laboratorios de docencia e investigación, será informada oportunamente ante las autoridades correspondientes.

**Artículo 4.** En caso de que algún alumno presente alguna enfermedad de riesgo (por contagio o ante la manipulación de instrumentos o dispositivos) deberá notificarla a su profesor.

**Artículo 5.** El Departamento de Prevención y Combate de Siniestros de la UNAM indicará la ubicación de los extintores. Será responsabilidad del profesor indicar la ubicación botiquines de primeros auxilios y medidas de seguridad que deberán tomarse en caso de siniestro o accidente.

**Artículo 6.** Mantener las mesas de trabajo limpias y ordenadas, sin objetos que obstruyan el trabajo experimental que generen un riesgo para las personas o para los equipos.

**Artículo 7.** Trabajar en todo momento con bata cerrada, cabello recogido y zapatos cerrados de suela aislante y antiderrapante.

**Artículo 8.** Queda prohibido portar aretes largos, anillos, pulseras, collares y cadenas que impliquen riesgo en la práctica a desarrollar.

**Artículo 9.** El profesor deberá indicar los riesgos específicos y medidas de seguridad de cada práctica así como explicar la correcta operación del equipo e instrumentos.

**Artículo 10.** El profesor indicará, si es necesario, el uso de un equipo especial para desarrollar la práctica (lentes de seguridad, guantes de látex, guantes de látex libres de talco, guantes de carnaza, etc.).

**Artículo 11.** Antes de operar algún equipo o instrumento deberá recibir la capacitación por parte del profesor y atender las recomendaciones del fabricante según el manual de operación.

**Artículo 12.** El alumno es responsable del equipo empleado en las actividades experimentales y el profesor del grupo supervisará el correcto manejo y operación adecuada del mismo.

**Artículo 13.** Cualquier funcionamiento anómalo en el material, equipo o instrumento, deberá ser informado inmediatamente al profesor responsable y al laboratorista.

**Artículo 14.** Queda prohibido sacar material, reactivos, equipo e instrumentos de las instalaciones de laboratorios sin la autorización de la coordinación de los laboratorios de física.

**Artículo 15.** El responsable del laboratorio es el único encargado del manejo de residuos.

### **De las medidas de seguridad al trabajar con equipo eléctrico.**

**Artículo 16.** El profesor deberá indicar las reglas de seguridad al trabajar con equipo energizado o dispositivos que produzcan campos electromagnéticos. Se hará énfasis en los intervalos de afectación al cuerpo y el uso adecuado de las tierras físicas.

**Artículo 17.** Cerciorarse de que el equipo o instrumento se encuentra apagado antes de conectar o desconectar de la alimentación eléctrica, así como verificar que los cables se encuentren en buenas condiciones.

**Artículo 18.** Trabajar con equipo energizado, solamente en condiciones de sequedad (no húmedo, no mojado).

**Artículo 19.** Antes de energizar un circuito verificar que no exista un corto circuito.

**Artículo 20.** Verificar que las polaridades de las conexiones sean correctas y que el último cable en ser conectado corresponda con el borne de mayor potencial.

**Artículo 21.** Verificar el voltaje de operación del equipo. No anular ningún dispositivo de seguridad mediante la instalación de corto circuito o poner fusibles de mayor amperaje al especificado por el fabricante.

**Artículo 22.** Ubicar los contactos del equipo y evitar usar extensiones eléctricas innecesarias. Igualmente localizar el interruptor general del laboratorio.

**Artículo 23.** En caso de algún accidente el profesor será responsable de canalizar al alumno para que tenga la atención debida.

**Artículo 24.** Cualquier medida y/o procedimiento no considerado en el presente reglamento queda sujeto a lo indicado en el reglamento de higiene y seguridad para laboratorios de la Facultad de Química.

El presente reglamento fue extraído de la página oficial de la Facultad de Química, UNAM.

<https://quimica.unam.mx/proteccion-civil-facultad-quimica/reglamentos-internos-higiene-seguridad-la-facultad-quimica/>

## Las medidas y su incertidumbre

Laboratorio de Física: 1210	Unidad 1
-----------------------------	----------

### Temas de interés.

1. Mediciones directas e indirectas.
2. Estimación de la incertidumbre.
3. Registro de datos experimentales.

### Palabras clave.

Medida directa. Medida indirecta. Incertidumbre. Redondeo de cifras. Histograma.

### Importancia en la química.

En el área de la física así como de la química es muy importante que los estudiantes y profesionistas conozcan los términos y conceptos de medición y metrología para reportar de manera adecuada los resultados obtenidos a partir de mediciones y con ello poder estructurar correctamente un informe científico. Por ejemplo, la determinación de pH, el rendimiento de una reacción, el análisis espectroscópico de una sustancia orgánica, la determinación de la susceptibilidad magnética de un compuestos inorgánico; entre un sin fin de propiedades y características que se determinan con una medición.

### Objetivos.

- Conocer el vocabulario metrológico y el sistema internacional para aprender a reportar datos correctamente.
- Comprender la importancia de una medida y la diferencia entre medición directa e indirecta.
- Entender el concepto de incertidumbre, los diferentes tipos que existen y realizar los cálculos necesarios para su determinación.
- Conocer el concepto de histograma y su aplicación a una relación de medidas.

### Introducción.

El estudio conciso del vocabulario metrológico es necesario para conocer algunos conceptos indispensables para este laboratorio. Por ejemplo, la definición de medida (acción de determinar una magnitud con un utensilio o aparato tomando como referencia un patrón definido), mensurando (una cantidad finita determinada a través de una medición), valor convencionalmente verdadero (el cual corresponde a un valor establecido por convención o designación, debido a que no se puede encontrar el valor verdadero experimentalmente), magnitud (propiedad de los cuerpos que puede ser medida), precisión (valor obtenido mediante la repetición de medir una cantidad particular), exactitud (cuando los valores obtenidos en una medición se encuentran cercanos al valor convencionalmente verdadero).

Además como parte fundamental para la correcta escritura de las expresiones matemáticas ya sea en sus magnitudes básicas o derivadas, así como la notación científica de los valores o la presentación de manera homogénea (igualdad de cifras significativas), se debe de estudiar el sistema internacional de unidades.

El propósito de esta práctica es comprender el concepto de medición, el cual se define como “*Un acto para determinar la magnitud de un objeto en cuanto a cantidad*”. En este sentido es posible realizar dos tipos de mediciones, *a*) la medición directa, que consiste en determinar la magnitud de un objeto mediante un instrumento de medición y *b*) la medición indirecta, que consiste en la determinación de alguna magnitud mediante la combinación de dos o más mediciones directas.

Cada medida tiene asociada una incertidumbre ( $u$ ) y/o un error (aleatorio o sistemático), los cuales deben ser reportados correctamente dependiendo de la información contenida en la medida, las características del instrumento utilizado y/o el valor convencionalmente verdadero. En el caso de la incertidumbre es importante distinguir entre la tipo A, B, combinada y la propagación de incertidumbre.

Cuando se hace la medición de una variable aleatoria y se obtiene una gran cantidad de datos, es posible emplear un *histograma* para representar gráficamente los valores obtenidos de las diferentes mediciones de dicha variable.

### Procedimiento experimental.

#### Normas de seguridad.

Recuerda que es importante hacer caso al reglamento interno de higiene y seguridad proporcionado en las primeras páginas este manual.

Si haces uso de las balanzas digitales situadas en el cuarto de balanzas, deberás, de manera obligatoria, registrarte en la bitácora de trabajo y llenar adecuadamente la papeleta correspondiente.

Atiende las recomendaciones específicas que brinde tu profesor.

#### Material y equipo.

Regla o flexómetro.

Vernier.

Tornillo micrométrico.

Balanza.

Cuerpos sólidos con geometrías bien definidas o materiales afines a su carrera.

Lotes de  $n$  piezas (dulces, tornillos, clavos, rondanas, etc.)

### Procedimiento.

#### Etapas 1. Estudio de los instrumentos.

Antes de realizar cualquier medición es necesario identificar las especificaciones y características de cada instrumento (Tabla 1). Estas deben buscarse en el manual correspondiente de cada instrumento.

**Tabla 1.** Características de los instrumentos.

Características del instrumento	Instrumento 1	Instrumento 2	Instrumento 3	Instrumento 4	Instrumento 5
Nombre del instrumento					
Marca					
Modelo					
Magnitud					
Unidades					
Alcance					
Intervalo de indicación					
Resolución					

**Etapa 2. Mediciones directas.**

Seleccionar varios instrumentos y realizar diferentes mediciones de las variables pertinentes en cada uno de los objetos. Los valores de las lecturas deberán registrarse en la tabla 2.

Calcular los valores de incertidumbre tipo A, B o combinada para cada medición.

**Tabla 2.** Mediciones directas.

	Objeto 1	Objeto 2	Objeto 3
Nombre del objeto			
Instrumento utilizado			
Unidades			
Medida 1			
Medida 2			
Medida 3			
Medida <i>n</i>			

**Etapa 3. Mediciones indirectas.**

Seleccionar algún cuerpo geométrico y realizar varias mediciones de cada una de las dimensiones del cuerpo para determinar alguna característica, como es área o volumen. Los datos serán colocados en la tabla 3.

**Tabla 3.** Medición indirecta para cada objeto medido.

	Variable 1	Variable 2	Variable 3
Medida 1			
Medida 2			
Medida 3			
Medida <i>n</i>			

**Etapa 4. Construcción de un histograma.**

Eligiendo uno o ambos lotes pesar cada una de las muestras, tanto con una balanza digital como con una balanza mecánica. Colocar los datos en la tabla 4.

Obtener la información relativa a la masa del empaque del producto.

**Tabla 4.** Registro de lotes para histograma.

Mediciones por cada lote, unidades : _____									
1		11		21		31		41	
2		12		22		32		42	
3		13		23		33		43	
4		14		24		34		44	
5		15		25		35		45	
6		16		26		36		46	
7		17		27		37		47	
8		18		28		38		48	
9		19		29		39		49	
10		20		30		40		50	

**Tratamiento de datos.**

Una vez asegurado que todos los datos están registrados debidamente en las tablas anteriores, se deberá proceder con el siguiente tratamiento de los datos.

Para los datos provenientes de la medición directa, se deberá de completar la tabla 5 que corresponde al cálculo de los valores promedio y de las incertidumbres de cada medida directa.

**Tabla 5.** Incertidumbres calculadas para mediciones directas.

	Promedio	$u_A$	$u_C$
Objeto 1			
Objeto 2			
Objeto 3			

En el caso de la etapa de mediciones indirectas y como función tanto del objeto como de las características medidas, completar la tabla 6 la cual es sólo una guía para registrar los datos.

**Tabla 6.** Incertidumbres estimadas para mediciones indirectas.

	Promedio variable 1	Promedio variable 2	Medición indirecta	$u_C$ variable 1	$u_C$ variable 2	$u_C$ de la medida indirecta
Objeto 1						
Objeto 2						

En el caso de las mediciones directas de los lotes de  $n$  piezas es necesario construir su histograma y para ello es necesario:

1. Ordenar en forma ascendente los datos.
2. Distribuirlos en clases y hacer el gráfico de barras para ver su distribución.
3. Generar los datos necesarios para llenar la tabla 7.

**Tabla 7.** Datos provenientes del análisis de los lotes.

Número de medidas	
Promedio	
Valor mínimo	
Valor máximo	
Intervalo	
Número de clases	
Tamaño de clase	
Media	
Mediana	
Moda	
Varianza	
Desviación estándar	

Una vez construido el histograma verificar si la distribución de valores es o no gaussiana. Esta verificación permite confirmar los parámetros que se indican en la tabla 7.

Es recomendado hacer énfasis en el hecho de que el cálculo de la media y la desviación estándar tienen su fundamento en el análisis matemático de los puntos críticos de la función gaussiana. De este modo podrás verificar la utilidad del cálculo diferencial e integral, que ya has cursado en el primer semestre, comprobando que se trata de conocimientos y conceptos fundamentales.

### Cuestionario.

- ¿Cuál es la diferencia entre una medida directa y una medida indirecta?
- ¿Cuál es la diferencia entre incertidumbre A e incertidumbre B?
- ¿Son comparables las mediciones de una dimensión obtenidas con instrumentos de diferente resolución?
- ¿La incertidumbre de una medida indirecta en donde se usa un solo instrumento es igual, menor o mayor que la asociada a las medidas directas involucradas?
- Cuando se usan instrumentos con resolución diferente para realizar una medida indirecta, por ejemplo una regla ( $\pm 0.05$  cm) y un tornillo micrométrico ( $\pm 0.0001$  cm), ¿con cuántas cifras significativas debe expresarse la incertidumbre?

Ejercicio 1. Considere el siguiente conjunto de mediciones de longitud. La unidad está en cm.

0.06	1.04	1.21	1.88	2.06	2.10	2.14	2.27	2.47	2.60
2.70	2.89	3.07	3.09	3.30	3.31	3.50	3.71	3.78	3.86
3.93	4.06	4.15	4.19	4.22	4.38	4.40	4.45	4.55	4.57
4.66	4.77	4.86	4.86	4.87	4.91	4.98	5.05	5.08	5.08
5.13	5.19	5.19	5.22	5.37	5.40	5.43	5.49	5.55	5.57
5.59	5.59	5.66	5.68	5.69	5.71	5.72	5.75	5.90	5.91
5.91	6.03	6.13	6.21	6.29	6.29	6.42	6.44	6.50	6.57
6.60	6.68	6.72	6.78	6.83	6.84	6.85	6.86	7.03	7.11
7.26	7.31	7.61	7.63	7.64	7.67	7.72	7.78	7.83	7.85
7.86	7.88	7.89	7.97	7.99	8.04	8.10	8.19	8.23	8.23
8.28	8.39	8.39	8.51	8.57	8.57	8.62	8.62	8.66	8.66
8.69	8.76	9.10	9.19	9.24	9.28	9.35	9.50	9.60	9.69
9.76	9.76	9.86	10.11	10.12	10.58	10.65	10.83	11.13	11.21
11.30	11.43	11.48	11.99	12.01	12.44	13.59			

Calcular la media aritmética y la desviación típica de la muestra.

Con base a los datos anteriores, construir un histograma, asociar la función gaussiana correspondiente, calcular  $\mu-\sigma$ ,  $\mu+\sigma$  y determinar las incertidumbres tipo A, B y combinada.

## Bibliografía.

- Kirkup, L.; Frenkel, R. B.; *An introduction to uncertainty in measurement*. Editorial Cambridge, 2006.
- Miranda Martín del Campo, J.; *Evaluación de la incertidumbre en datos experimentales*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Física. Departamento de Física Experimental, 2000.
- Spiegel, M. R.; Stephen, L. J.; *Estadística*. Serie Schaum. Cuarta edición. Editorial Mc Graw Hill, 2009.
- Ohanian, H. C.; Markert, J. T.; *Física para ingeniería y ciencias*, volumen 1. Tercera edición. Editorial Mc Graw Hill, 2009.
- *Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM)*. Tercera edición, traducción al español, 2009.

## Relación lineal (densidad)

Laboratorio de Física: 1210

Unidad 2

### Temas de interés.

1. Relación lineal.
2. Relaciones directamente proporcionales.
3. Ajuste de tendencia lineal por el método de cuadrados mínimos.
4. Propiedades extensivas e intensivas.

### Palabras clave.

Relaciones lineales. Método de cuadrados mínimos. Regresión lineal. Densidad volumétrica de masa.

### Importancia en la química.

Es relevante hacer notar que las relaciones lineales son muy útiles para encontrar características y propiedades de elementos o sustancias que no pueden ser determinadas directamente.

Por ejemplo, para determinar constantes de cinética química en reacciones de primer orden, entalpías de activación, concentraciones mediante absorbancia (ley de Lambert-Beer), cantidad de hierro en sangre, elementos traza o en suelo, para cuantificar hidrocarburos, pesticidas, etc.

### Objetivos.

- Encontrar la relación lineal entre dos variables.
- Aplicar el método de cuadrados mínimos para observar la correlación de dos variables.
- Determinar la densidad de un sólido a través de dos métodos y estimar su incertidumbre, en cada método, y así determinar cuál resulta ser más confiable.
- Propagación de incertidumbre.

### Introducción.

Cuando los fenómenos físicos y químicos en la naturaleza son mensurables y reproducibles, se puede llevar un registro de sus mediciones, y considerarlos como una variable. Cuando se relacionan dos variables de un mismo fenómeno, al graficarlos se encuentra el comportamiento que tiene una variable respecto a la otra de forma visual. Si los datos presentan una tendencia lineal, se dice que las variables tienen una “relación lineal”. Existe un método matemático que nos permite obtener la correlación entre las variables, llamado el “método de los cuadrados mínimos”. Con este método se obtiene una línea recta equidistante a todos los puntos experimentales, cuya ecuación es  $y = mx + b$ , y así encontrar una relación matemática entre las variables que representan dicha correlación.

En el caso particular de la densidad, ésta representa el grado de compactación de un material, es decir, la densidad nos indica que tanto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen, y se expresa con la letra griega rho ( $\rho$ ). Recordemos pues, que siempre es posible determinar una propiedad intensiva a partir de propiedades extensivas.

Es por ello importante que para esta práctica, el estudiante investigue que es una relación lineal, el método de los cuadrados mínimos y sus ecuaciones, que es una variable (dependiente e independiente), sistema cartesiano, pendiente, ordenada al origen, estimación de la incertidumbre en el método de los cuadrados mínimos, y de preferencia, buscar ejemplos en el área física y química en donde se utilice la relación lineal, así como las diferentes formas de expresar las unidades de la densidad y su importancia en los fenómenos físicos y químicos.

## Procedimiento experimental.

### Normas de seguridad.

Recuerda que es importante hacer caso al reglamento interno de higiene y seguridad proporcionado en las primeras páginas este manual.

Si haces uso de las balanzas digitales situadas en el cuarto de balanzas, deberás, de manera obligatoria, registrarte en la bitácora de trabajo y llenar adecuadamente la papeleta correspondiente.

### Material y equipo.

Barra de plastilina o material sólido.

Regla.

Balanza granataria de un plato.

Probeta graduada.

Vaso de precipitados con agua.

## Procedimiento.

### Etapas 1. Estudio de los instrumentos.

Antes de realizar cualquier medición es necesario identificar las especificaciones y características de cada instrumento y registrarlas en la tabla 1. Las cuales deberán leerlas en el manual correspondiente a cada instrumento.

**Tabla 1.** Características de los instrumentos.

Características del instrumento	Instrumento 1	Instrumento 2	Instrumento 3
Nombre			
Marca			
Modelo			
Magnitud			
Unidades			
Alcance			
Intervalo de indicación			
Resolución			

**Etapa 2. Determinación de la densidad por método analítico.**

Medir la masa de una barra de plastilina, así como sus dimensiones geométricas, varias veces bajo condiciones de repetibilidad, para determinar el valor de la densidad. Los datos colectados deberán ser registrados en la tabla 2.

Calcular los valores de incertidumbre tipo A y combinada para las medidas directas.

**Tabla 2.** Datos de la barra de plastilina.

	Masa	Largo	Ancho	Alto
Instrumento utilizado				
Unidades				
Medida 1				
Medida 2				
Medida 3				
Medida <i>n</i>				

**Etapa 3. Determinación de la densidad por método gráfico (análisis de variables).**

Obtener al menos diez pares de datos correspondientes a masa de plastilina y volumen desplazado. Para ello, medir masas diferentes de plastilina, aumentando proporcionalmente dicha masa (se sugiere un incremento aproximado de 3.00 g), y con una probeta graduada, que contenga agua en su interior, medir los volúmenes desplazados al introducir cada trozo de plastilina. Los valores de las lecturas deberán registrarse en la tabla 3.

**Tabla 3.** Datos de las variables medidas.

	Masa	Volumen desplazado
Instrumento utilizado		
Unidades		
Pareja de datos 1		
Pareja de datos 2		
Pareja de datos 3		
Pareja de datos <i>n</i>		

**Tratamiento de datos.**

Una vez colectados los datos experimentales, primero se determinará la densidad de la plastilina como el cociente de la masa promedio entre el volumen geométrico, calculado a partir del valor promedio de los datos presentes en la tabla 2. Estimar la incertidumbre de la densidad.

Empleando los datos de la tabla 3, construir dos gráficos diferentes. En el primero, colocar la masa como función del volumen y en el segundo el volumen como función de la masa. Graficar las barras de incertidumbre para la masa y el volumen. Obtener la incertidumbre de la ordenada al origen y de la pendiente de los dos ajustes lineales, así como su factor de correlación.

Comparar la información obtenida en ambas gráficas y determinar cuál de ellas es la adecuada para obtener el valor de la densidad volumétrica de masa para la plastilina. Recuerda determinar el valor de su incertidumbre.

Finalmente, comparar los valores de densidad volumétrica de masa obtenidos por el método de cuadrados mínimos y el obtenido a partir de los datos de la tabla 2.

### Cuestionario.

- ¿Cuál es el sentido físico de la pendiente y la ordenada al origen en los gráficos de masa como función del volumen y del volumen como función de la masa?
- ¿Las rectas obtenidas por el método de cuadrados mínimos pasan por el origen? Si, no, ¿por qué?
- De los métodos empleados, ¿cuál es el más confiable? ¿Por qué?
- ¿Por qué es inválido hacer la regresión lineal volumen sobre masa y obtener el inverso de la pendiente, para determinar el valor de la densidad?

Ejercicio 1. Considere los siguientes datos que corresponden a la elongación de un resorte vertical como función de la masa que se cuelga en el extremo inferior del resorte. La resolución de la balanza es 0.01 gramo y del instrumento para medir la longitud 0.01 centímetro.

Número de dato	Masa (g)	Elongación (cm)	Número de dato	Masa (g)	Elongación (cm)	Número de dato	Masa (g)	Elongación (cm)
1	0.00	12.85	8	635.60	13.18	15	1271.20	14.25
2	90.80	12.73	9	726.40	13.31	16	1362.00	14.20
3	181.60	13.00	10	817.20	13.87	17	1452.80	14.25
4	272.40	13.03	11	908.00	13.72	18	1543.60	14.61
5	363.20	13.06	12	998.80	14.15	19	1634.40	14.43
6	454.00	13.11	13	1089.60	13.89	20	1725.20	14.73
7	544.80	13.34	14	1180.40	14.05			

Construir el gráfico necesario para que al realizar la regresión lineal por el método de cuadrados mínimos se obtenga el valor de la constante de restitución del resorte.

### Bibliografía.

- Baird, D. C.; *Experimentación: una introducción a la teoría de mediciones y al diseño experimental*. Segunda edición. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana. México, 1995.
- Bevington, P. R.; Robinson, D. K.; *Data reduction and error analysis for the physical science*. Segunda edición. Editorial Mc Graw Hill, 2003.
- Miranda Martín del Campo J. *Evaluación de la incertidumbre en datos experimentales*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Física. Departamento de Física Experimental, 2000.
- Navidi, W.; *Principles of statistics for engineers & scientists*. Tercera edición. Editorial Mc Graw Hill, 2011.
- Rabinovich, S. G.; *Measurement errors and uncertainties: theory and practice*. Tercera edición. Editorial Springer. New York, 2005.
- Riveros, H.; Rosas, L.; *Método científico aplicado a las ciencias experimentales*. Editorial Trillas. México, 2006.
- Spiegel, M. R.; Stephen, L. J.; *Estadística*. Serie Schaum. Cuarta edición. Editorial Mc Graw Hill, 2009.
- Squires, G. L.; *Practical physics*. Tercera edición. Editorial Cambridge University Press, 2001.
- Taylor, J. R.; *An introduction to error analysis: The study of uncertainties in physical measurements*. Segunda edición. Editorial University Science Books. U.S.A., 1997.

## Determinación de la aceleración de la gravedad a través del péndulo simple

Laboratorio de Física: 1210

Unidad 3

### Temas de interés.

1. Relaciones directamente proporcionales.
2. Péndulo.
3. Movimiento armónico simple.
4. Ajuste de tendencia lineal por el método de cuadrados mínimos.
5. Gráficas obtenidas mediante cambio de variable.

### Palabras clave.

Movimiento armónico simple. Periodo. Frecuencia. Aceleración de la gravedad. Método de cuadrados mínimos para ajuste de líneas rectas. Linealización de curvas por cambio de variable.

### Importancia en la química.

El estudiante de química, en cualquiera de sus disciplinas, llevará laboratorios en donde es necesario proponer un modelo matemático que describa el comportamiento y la relación que existe entre dos variables que no siguen una tendencia lineal. La obtención de datos experimentales, a partir de una medición directa debe expresarse con su incertidumbre asociada; sin embargo, el resultado tendrá una incertidumbre propagada que suele ser considerada como incertidumbre absoluta.

Es importante resaltar que la fuerza de gravedad es responsable de fenómenos importantes en área de la química experimental, tales como la sedimentación o precipitación. Además, este principio es útil para comprender los procesos de separación que aprovechan la diferencia en la densidad de los constituyentes de una mezcla física.

Adicionalmente, el estudio del movimiento pendular permite proponer un modelo macroscópico que ilustra el movimiento armónico, el cual resulta más que relevante cuando el estudiante de las áreas químicas pretende aplicar los conceptos de movimiento armónico simple a las representaciones, en una molécula, de los enlaces; fortaleciéndose el conocimiento básico que facilita la percepción de diferentes fenómenos atómicos requeridos para comprender la estructura de la materia.

### Objetivos.

- Obtener el valor de la aceleración de la gravedad por medio de un experimento de movimiento pendular.
- Considerando un cambio de variable, ajustar por el método de los cuadrados mínimos una línea recta.
- Estimar la incertidumbre de la pendiente de una recta y obtener el valor de la aceleración de la gravedad.

## Introducción.

La fuerza de atracción gravitacional es la fuerza de atracción entre cualesquiera dos objetos que poseen masa, y en el caso particular de que uno de estos objetos sea la Tierra, la fuerza de atracción se denomina peso. De esta forma, la masa (la cantidad de materia que tiene un cuerpo) será atraída por la fuerza de gravedad de la Tierra. El fenómeno físico asociado con esta fuerza de atracción, es denominado aceleración gravitacional o aceleración de la gravedad, la cual varía de un lugar a otro en la Tierra por causa de la altitud.

Experimentalmente, existen diversas experiencias de laboratorio que permiten determinar el valor de la aceleración de la gravedad, por ejemplo, caída libre, movimiento uniformemente acelerado o movimientos pendulares (péndulo de Kater, péndulo compuesto, péndulo simple, etc.). En el caso de este guión experimental, haremos uso del péndulo simple, el cual está formado por un cuerpo suspendido de un hilo inextensible y de masa despreciable, en comparación con la masa del cuerpo suspendido, que oscilará en torno a una posición de equilibrio.

En esta práctica se ilustra el proceso matemático (cambio de variable) que se realiza para encontrar la relación que existe entre dos variables utilizando el ajuste por el método de cuadrados mínimos.

## Procedimiento experimental.

### Normas de seguridad.

Recuerda que es importante hacer caso al reglamento interno de higiene y seguridad proporcionado en las primeras páginas este manual.

Atiende las recomendaciones específicas que brinde tu profesor.

### Material y equipo.

- Masa.
- Fotocompuerta.
- Flexómetro.
- Hilo y tijeras.
- Transportador.
- Pinza de tres dedos con nuez.
- Soporte universal.
- Prensa para mesa.
- Elevador.

### Procedimiento.

Montar el soporte universal y sujetarlo con las prensas para mesa. Colocar la pinza de tres dedos con nuez en la varilla del soporte universal y atar un extremo del hilo en la pinza de tres dedos. En el otro extremo del hilo atar la masa de forma que se obtenga un péndulo simple.

Soportar y afianzar el transportador en la varilla de la pinza de tres dedos colocando la horizontal del transportador hacia arriba y el semicírculo hacia abajo, tratando de que el centro del transportador coincida con el nudo donde se sujeta el hilo a la pinza de tres dedos. Colocar la fotocompuerta de tal forma que su plano esté en posición vertical y seleccionar la función "PEND". Asegurar que cuando el péndulo esté estático, la pesa se encuentre justo en la zona del láser que activa la fotocompuerta.

Medir la longitud pendular desde el punto donde se ató el nudo hasta al centro de la masa (se sigue comenzando con una longitud de 90 cm) y colocar el péndulo en un ángulo inicial de oscilación menor o igual a cinco grados. El ángulo seleccionado debe de ser una constante en el desarrollo experimental.

Medir el tiempo de oscilación (periodo de oscilación, T) y repetir este procedimiento hasta obtener cinco datos confiables.

Realizar el procedimiento para obtener tiempos de oscilación, T, con al menos diez longitudes pendulares diferentes y completar la información en la tabla 1.

**Tabla 1.** Datos experimentales obtenidos a través de un péndulo simple.

	Longitud pendular (cm)	T 1 (s)	T 2 (s)	T 3 (s)	T 4 (s)	T 5 (s)
Medida 1						
Medida 2						
Medida 3						
Medida 4						
Medida 5						
Medida 6						
Medida 7						
Medida 8						
Medida 9						
Medida 10						

### Tratamiento de datos.

Determinar para el periodo de oscilación, el promedio, la desviación típica de la muestra ( $\sigma$ ), la incertidumbre tipo A ( $u_A$ ) y la incertidumbre combinada ( $u_C$ ).

Construir el gráfico para la longitud pendular como función del periodo de oscilación y observar que el tipo de curva que se obtiene en dicho gráfico no muestra una tendencia lineal entre las variables experimentales.

Considerando la ecuación que define al periodo de oscilación en función de la longitud pendular, proponer un cambio de variable adecuado que permita obtener una tendencia lineal y construir el gráfico para la longitud pendular como función del cambio de variable pertinente.

Realizar el ajuste a través del método de los cuadrados mínimos y obtener el valor de la aceleración de la gravedad.

### Cuestionario.

- ¿Qué implica (físicamente) que la gráfica de longitud pendular contra tiempo no sea una línea recta?
- ¿Qué significado físico tiene la pendiente de la gráfica que se obtiene con el cambio de variable?
- ¿La incertidumbre encontrada a través de la propagación de incertidumbre se aproxima al valor de la incertidumbre de la pendiente ajustada por el método de cuadrados mínimos?
- ¿Qué factores influyen en la determinación del valor de la aceleración de la gravedad?

- Dada la experiencia en el laboratorio, ¿qué modificaciones realizaría en su experimento para obtener un valor de la aceleración de la gravedad más cercano con el valor teórico?
- ¿Cómo demostró Foucault que la Tierra gira sobre su propio eje?

Ejercicio 1. Considere el siguiente conjunto de datos que se midieron mediante una experiencia en el laboratorio siguiendo el modelo de caída libre. La resolución del cronómetro (empleado para medir el tiempo) es de 0.01 s y la resolución de la regla (empleada para medir la longitud) es 1 cm.

	Altura 1 (100 cm)	Altura 2 (80 cm)	Altura 3 (60 cm)	Altura 4 (50 cm)	Altura 5 (40 cm)
Tiempo de caída libre (s)	0.46	0.43	0.37	0.33	0.27
	0.47	0.42	0.37	0.34	0.28
	0.48	0.42	0.38	0.32	0.28
	0.46	0.41	0.36	0.30	0.29
	0.46	0.41	0.37	0.33	0.29

Construir el gráfico necesario para que al realizar la regresión lineal por el método de cuadrados mínimos se obtenga el valor de la aceleración de la gravedad.

Citar el valor de la aceleración gravitacional y su incertidumbre.

## Bibliografía.

- Baird, D. C.; *Experimentación: una introducción a la teoría de mediciones y al diseño experimental*. Segunda edición. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana. México, 1995.
- Bevington, P. R.; Robinson, D. K.; *Data reduction and error analysis for the physical science*. Segunda edición. Editorial Mc Graw Hill, 2003.
- Crease, R. P.; *El prisma y el péndulo: los diez experimentos más bellos de la ciencia*. Editorial Crítica, 2006.
- De Berg, K. C.; *Chemistry and the pendulum – What have they to do with each other?* Editorial Science & Education, 2006.
- Hewitt, P. G.; *Física conceptual*. Primera edición. Editorial Addison-Wesley Longman. México, 1999.
- Kirkpatrick, L. D.; *Física, una mirada al mundo*. Sexta edición. Editorial Cengage Learning. México, 2010.
- Miranda Martín del Campo J. *Evaluación de la incertidumbre en datos experimentales*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Física. Departamento de Física Experimental, 2000.
- Ohanian, H. C.; Markert, J. T.; *Física para ingeniería y ciencias, volumen 1*. Tercera edición. Editorial Mc Graw Hill, 2009.
- Rabinovich, S. G.; *Measurement errors and uncertainties: theory and practice*. Tercera edición. Editorial Springer. New York, 2005.
- Resnick, R.; Halliday, D.; *Física*. Editorial Compañía Editorial Continental, 1994.
- Riveros, H.; Rosas, L.; *Método científico aplicado a las ciencias experimentales*. Editorial Trillas. México, 2006.
- Serway, R. A.; *Física*. Cuarta edición. Editorial Mc Graw Hill, 1996.
- Spiegel, M. R.; Stephen, L. J.; *Estadística*. Serie Schaum. Cuarta edición. Editorial Mc Graw Hill, 2009.
- Squires, G. L.; *Practical physics*. Tercera edición. Editorial Cambridge University Press, 2001.
- Taylor, J. R.; *An introduction to error analysis: The study of uncertainties in physical measurements*. Segunda edición. Editorial University Science Books. U.S.A., 1997.

## Determinación de la constante de enfriamiento de un líquido

Laboratorio de Física: 1210

Unidad 3

### Temas de interés.

1. Medidas directa e indirectas.
2. Regresión lineal.
3. Análisis gráfico mediante cambio de variable.
4. Relaciones exponenciales.
5. Ecuaciones diferenciales.
6. Ley de enfriamiento de Newton.

### Palabras clave.

Método gráfico. Cambio de variable para linealización de funciones. Método de cuadrados mínimos para ajuste de líneas rectas. Incertidumbre.

### Importancia en la química.

Existe un gran número de fenómenos que pueden ser descritos mediante una relación exponencial de las variables física involucradas, este comportamiento tiene gran importancia en múltiples procesos dentro del área química, entre los cuales se puede mencionar la transferencia de energía, la dinámica de fluidos, los fenómenos de transporte, el crecimiento de poblaciones bacterianas, la diseminación de una enfermedad, la desintegración radiactiva, la eliminación de fármacos por el torrente sanguíneo y muchas más aplicaciones en la vida cotidiana e incluso en la ciencia forense.

### Objetivos.

- Obtener por métodos gráficos y analíticos la constante de enfriamiento de un líquido a partir de datos experimentales de temperatura y tiempo.
- Realizar gráficos en diferentes escalas de acuerdo a las necesidades del experimento.

### Introducción.

Muchos de los fenómenos naturales o resultados empíricos requieren de un tratamiento matemático que en ocasiones está sustentado en el uso de ecuaciones diferenciales; para ello, es necesario un modelo y un conjunto de variables (conocidas o presumiblemente válidas) que describan al fenómeno.

En el caso particular de la transferencia de energía, esta ocurre entre los cuerpos “calientes” y “fríos”, llamados respectivamente fuente y receptor de energía, permitiéndose la observación de procesos físicos como condensación, evaporación, cristalización, reacciones químicas, etc., en los cuales existe un mecanismo propio del proceso que involucra diferentes particularidades fisicoquímicas. En virtud de lo anterior, es importante la determinación de una ecuación empírica que relacione la temperatura de enfriamiento de una sustancia con respecto al medio que lo rodea.

Es posible, bajo ciertas condiciones experimentales, obtener una buena aproximación de la temperatura de un cuerpo usando la ley de enfriamiento de Newton, la cual establece que *la rapidez con que se enfría un objeto es proporcional a la diferencia entre su temperatura y la del medio que le rodea, que es la temperatura ambiente.*

Si partimos de un caso general, en donde el cambio de calor con respecto al tiempo ( $\delta Q/\delta t$ ) es función de la temperatura del sistema de trabajo ( $T$ ), del área ( $S$ ) de la superficie expuesta al medio ambiente y del coeficiente individual de transferencia de calor por convección ( $\alpha$ ), se tiene la siguiente expresión:

$$\frac{\delta Q}{\delta t} = \alpha S(T - T_A) \quad (T_A \text{ corresponde a la temperatura ambiente)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Aunada a este concepto, sabemos que el calor liberado depende de la masa ( $m$ ), del calor específico ( $C$ ) y de la temperatura. Con ello, tenemos una segunda expresión:

$$dQ = mCdT = \rho VCdT \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde se ha usado la definición de densidad ( $m = \rho V$ ). Combinando las ecuaciones 1 y 2 y sustituyendo la relación entre el área, la densidad, el coeficiente individual de transferencia de calor por convección, el calor específico y el volumen como una constante llamada  $k$ , se obtiene:

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_A) \quad \text{donde } k = \frac{\alpha S}{\rho VC} \quad \text{Ecuación 3}$$

Separando los términos diferenciales se tiene:

$$\frac{dT}{(T - T_A)} = -kdt \quad \text{Ecuación 4}$$

Por último, integrando estos dos términos y observando para el caso particular de un enfriamiento desde una temperatura inicial ( $T_0$ ) a una temperatura menor ( $T$ ), desde un tiempo inicial ( $t_0$ ) a un tiempo  $t$ . Tenemos como resultado la ley de enfriamiento de Newton:

$$\ln(T - T_A) - \ln(T_0 - T_A) = -kt \quad \text{Ecuación 5}$$

Se recomienda que el alumno resuelva la ecuación 4 para que se dé cuenta de lo sencillo que resulta desarrollar la ley de enfriamiento.

## Procedimiento experimental.

### Normas de seguridad.

Recuerda que es importante hacer caso al reglamento interno de higiene y seguridad proporcionado en las primeras páginas este manual.

Atiende las recomendaciones específicas que brinde tu profesor.

### Material y equipo.

Cronómetro.  
Termómetro.  
Parrilla de calentamiento y agitación.  
Vaso de precipitados.  
Pinzas de tres dedos con nuez.  
Soporte universal.  
Barra para agitación magnética.  
Guantes de protección.

### Procedimiento.

Colocar el termómetro en el soporte universal con ayuda de una pinza de tres dedos, verificando que la altura permita insertar el termómetro en el interior del vaso de precipitados que se va a colocar posteriormente y que también estará sujeto con una pinza de tres dedos.

Colocar en el vaso de precipitados agua y calentar con la parrilla de calentamiento hasta alcanzar la temperatura deseada. Agitar el agua para homogeneizar la temperatura del medio.

Alcanzada la temperatura deseada, ajustar la pinza de tres dedos al vaso de precipitados y sujetarla al soporte universal asegurándose que el termómetro se sumerja en el agua sin hacer contacto con las paredes o el fondo del vaso.

Observar la temperatura en el termómetro (habrá un ligero aumento con respecto al estimado en la parrilla) y, cuando ésta ya no aumente, registrar la temperatura observada como la temperatura inicial. Medir la temperatura y el tiempo de acuerdo con las indicaciones de tu profesor.

### Tratamiento de datos.

Construir un gráfico de temperatura como función del tiempo empleando la escala milimétrica para verificar el comportamiento de la curva de enfriamiento y que corresponde a un sistema exponencial.

Realizar el cambio de variable adecuado para linealizar la relación entre las variables y construir el gráfico en escala milimétrica.

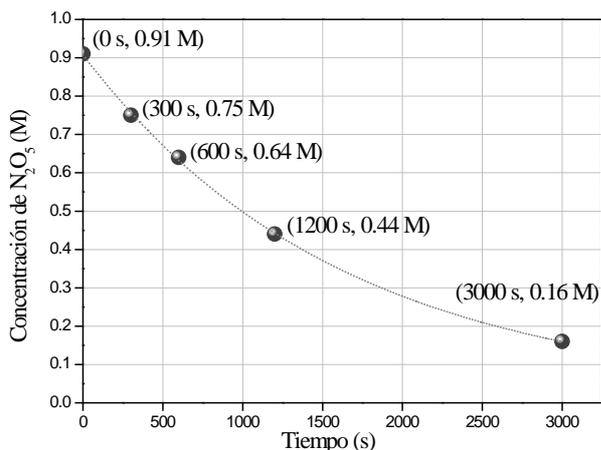
Con el cambio de variable propuesto, obtener mediante el ajuste de los cuadrados mínimos la constante de enfriamiento,  $k$ , y su incertidumbre asociada.

### Cuestionario.

- ¿A partir de qué momento el descenso de temperatura es más lento? ¿A qué puede atribuirse?
- ¿El comportamiento observado se puede explicar con el modelo de la ley de enfriamiento de Newton? Explique.

Ejercicio 1. Considerando que la cantidad de alcohol en el torrente sanguíneo disminuye a una tasa proporcional que puede ser expresada mediante una ecuación diferencial. Determine, ¿cuánto tiempo tomará, en una persona normal, para que la concentración de alcohol en sangre disminuya de 0.10% a 0.05%? Considere una constante  $k$  de 0.5 s.

Ejercicio 2. El siguiente gráfico representa la concentración de  $N_2O_5$  como función del tiempo en una reacción de descomposición que se realiza a  $45^\circ C$  en tetracloruro de carbono.



Determinar la constante de velocidad de reacción con su incertidumbre asociada a partir de la pendiente y obtener el coeficiente de correlación.

Ejercicio 3. Considera el siguiente conjunto de datos que se obtuvieron al enfriar una muestra cúbica de cobre de 5.0 cm por lado. La resolución del termómetro es  $0.1^\circ C$ .

Número de dato	Tiempo (s)	Temperatura ( $^\circ C$ )	Número de dato	Tiempo (s)	Temperatura ( $^\circ C$ )
1	0	70.0	11	500	22.6
2	50	55.8	12	550	21.2
3	100	51.2	13	600	18.4
4	150	45.6	14	650	16.3
5	200	40.6	15	700	15.4
6	250	37.8	16	750	14.1
7	300	33.9	17	800	12.2
8	350	30.7	18	850	11.0
9	400	27.8	19	900	10.1
10	450	24.7	20	950	9.2

Graficar los datos experimentales para observar su comportamiento.

Realizar un cambio de variable adecuado y obtener una línea recta, en escala milimétrica, que represente la relación entre las variables tiempo y temperatura.

### Bibliografía.

- Zill, D. G.; *Ecuaciones diferenciales con problemas de valores en la frontera*. Novena edición. Editorial Cengage Learning. México, 2009.
- Curso interactivo de física en internet <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/>
- Kern, D. Q.; *Procesos de transferencia de calor*. Primera edición, Editorial Continental. México, 1999.

## Determinación de la constante de resistividad eléctrica

Laboratorio de Física: 1210

Unidad 4

### Temas de interés.

1. Seguridad en el laboratorio de electromagnetismo.
2. Medición de variables eléctricas.
3. Ecuación de Ohm.
4. Resistencia eléctrica y resistividad eléctrica.
5. Divisor de diferencia de potencial eléctrica y de corriente eléctrica.

### Palabras clave.

Diferencia de potencial eléctrico. Corriente eléctrica. Resistor. Resistencia eléctrica. Resistividad eléctrica. Método de cuadrados mínimos para el ajuste de líneas rectas.

### Importancia en la química.

Una de las primeras clasificaciones que se realiza sobre la naturaleza de los elementos químicos y sus enlaces, se fundamenta en si son capaces de conducir la corriente eléctrica, sea en estado sólido, fundidos o disueltos en agua. Cuando una sustancia es capaz de transportar electrones se les clasifica en conductores electrolíticos, semiconductores o conductores metálicos.

En los conductores electrolíticos se requiere que el transportador de carga eléctrica se encuentre en forma de iones, sea por un proceso de fundido o solvatación en medio polar, lo cual permitirá el movimiento de electrones a través de procesos de oxidación reducción. En la solución iónica, la corriente es transportada por el movimiento de cationes y aniones, por lo que el paso de corriente eléctrica va acompañado de transporte de materia. Este tipo de fenómenos es de suma importancia cuando se estudian situaciones fisiológicas o procesos electroquímicos.

En los semiconductores el proceso de conducción eléctrica requiere de energía de excitación electrónica que permita la movilidad de electrones, lo cual está ligado con un incremento de la temperatura del sistema. Cabe mencionar que esta particularidad, aumentar la conducción eléctrica al incrementar la temperatura, es opuesta al caso de los conductores metálicos. Por otra parte, la capacidad de conducción eléctrica de un semiconductor puede variarse con la presencia de pequeñas cantidades de impurezas (proceso denominado dopado) que pueden ser del tipo n (dopado de electrones) o tipo p (dopado de huecos electrónicos). Actualmente, la importancia de los semiconductores ha sobrepasado las expectativas del mundo científico pues de ellos se ha derivado la ciencia de materiales, la fotoquímica, energías alternas y la nueva ingeniería de materiales en múltiples escalas.

En el caso de los conductores metálicos, el tipo de enlace entre los átomos o elementos involucrados deja electrones deslocalizados que poseen cierta libertad de movimiento cuando se le aplica una diferencia de potencial eléctrico. Esta característica es de suma importancia en la química ya que requiere de un profundo entendimiento de la estructura de la materia en términos de niveles energéticos, simetría de orbitales y ordenamiento espacial de los átomos involucrados en el sistema metálico.

## Objetivos.

- Aprender las características y uso adecuado del multimedidor y las fuentes de fuerza electromotriz.
- Establecer las reglas de seguridad adecuadas en el manejo de la corriente eléctrica y dispositivos electrónicos.
- Determinar la constante de resistividad eléctrica en un conductor metálico.

## Introducción.

En los conductores, tales como los metales, los electrones de los átomos se mueve con cierta libertad y para generar un flujo de carga se requiere de energía eléctrica.

El científico Allessandro Volta (1745-1827) inventó la primera batería, que es un dispositivo que convierte la energía química en energía eléctrica, dando origen a una diferencia de potencial eléctrico. Si se conecta a la batería un conductor, se genera una corriente eléctrica (I), cuya unidad es el ampere (A), que puede entenderse como un flujo de carga eléctrica, comúnmente electrones, por unidad de tiempo. Un factor que afecta el flujo de corriente eléctrica es la resistencia eléctrica de los materiales (R), cuya unidad es el ohm ( $\Omega$ ), que surge de las colisiones de los electrones en movimiento con los átomos que forman el material. Por ello, la resistencia eléctrica es una propiedad extensiva de la materia que depende del tipo de material, dimensiones geométricas y temperatura.

En el caso de un conductor, la resistencia eléctrica es inversamente proporcional al área transversal (A) en la que se aplica la diferencia de potencial eléctrico pero directamente proporcional a la longitud por la que fluye la corriente eléctrica (L) y a la propiedad intensiva del material que se denomina resistividad eléctrica ( $\rho$ ), cuya unidad es  $\Omega \cdot m$ ; tal y como se muestra en la siguiente expresión.

$$R = \rho(L/A) \quad \text{Ecuación 1}$$

La resistividad eléctrica de un material caracteriza cuánto se opone éste al flujo de corriente y se define en términos de la magnitud del campo eléctrico aplicado (factor relacionado con la diferencia de potencial eléctrico aplicada) y la magnitud de la densidad de corriente eléctrica (factor asociado con la velocidad a la que se mueven los electrones en el interior del material).

En términos prácticos, la resistividad eléctrica engloba las características del material como pueden ser composición química, ordenamiento espacial de los átomos, tipo de enlace y vibraciones atómicas. Esta última característica, vibraciones atómicas o fonones, son dependientes de la temperatura pues si la red atómica vibra con mayor intensidad, entonces, se presentará una oposición mayor al flujo de corriente eléctrica. Una relación empírica de la dependencia de la resistividad eléctrica como función de la temperatura es

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde  $\rho$  es la resistividad eléctrica a la temperatura T,  $\rho_0$  es la resistividad a la temperatura  $T_0$  y  $\alpha$  es el coeficiente de la temperatura de la resistividad eléctrica característico para cada material conductor.

## Procedimiento experimental.

### Normas de seguridad.

Recuerda que es importante hacer caso al reglamento interno de higiene y seguridad proporcionado en las primeras páginas este manual.

Antes de realizar cualquier medición es necesario identificar las especificaciones y características de cada instrumento. Estas deben buscarse en el manual correspondiente.

Atiende las recomendaciones específicas que brinde tu profesor.

### Material y equipo.

Resistor metálico montado sobre varilla de madera.

Multimedidor digital o analógico.

Flexómetro.

Vernier digital o analógico.

Cables tipo banana-banana.

Conectores tipo caimán.

Cinta adhesiva.

### Procedimiento.

Colocar cinta adhesiva a lo largo de la varilla de madera, que soporta al resistor metálico, de forma tal que puedan ser marcadas en la cinta adhesiva diferentes longitudes. Verificar que el resistor metálico se encuentra completamente horizontal y tenso.

Conectar los dos cables tipo banana al multimedidor en las terminales que corresponden al modo resistencia y en la terminal opuesta, de cada cable banana, colocar un conector tipo caimán.

Sujetar un conector tipo caimán en el resistor metálico a la altura de la primera de las marcas realizadas previamente. Este caimán no debe moverse a lo largo del desarrollo experimental y representa el origen del marco de referencia.

Colocar el segundo cable caimán, que definirá la longitud de medición con respecto al origen, a la altura de la segunda marca realizada sobre la cinta adhesiva y encender el multimedidor en modo resistencia. Anotar el valor de resistencia que aparece en la pantalla y la longitud del resistor metálico asociada a dicho valor. Medir, con ayuda del Vernier, el diámetro del resistor metálico en donde se colocó el conector tipo caimán.

Repetir el paso anterior hasta completar la totalidad de las marcas colocadas en la cinta adhesiva.

Se recomienda realizar el procedimiento anterior al menos en cinco ocasiones para el tratamiento estadístico posterior.

### Tratamiento de datos.

Construir un gráfico de resistencia como función del cociente entre la longitud y el área transversal del conductor metálico.

Realizar la regresión lineal por el método de cuadrados mínimos y obtener los parámetros de la recta con sus incertidumbres asociadas.

**Cuestionario.**

- ¿Qué riesgos debe considerar al manejar corriente eléctrica en el laboratorio?
- ¿Cómo determina la resolución de una medida de resistencia en un multimedidor analógico?
- ¿Cómo determina la resolución de una medida de resistencia en un multimedidor digital?
- ¿Qué significado físico tiene la pendiente obtenida?
- ¿La incertidumbre encontrada por la ley de propagación de incertidumbre, para la resistividad analizada, se aproxima al valor de la incertidumbre de la pendiente ajustada por cuadrados mínimos?

Ejercicio 1. Considere el siguiente conjunto de datos que se obtuvieron para un conductor metálico a diferente temperatura. El diámetro del conductor metálico es 10 mm<sup>2</sup>.

Número de dato	Longitud (m)	Resistencia (Ω)		Número de dato	Longitud (m)	Resistencia (Ω)
Temperatura (39 °C)				Temperatura (60 °C)		
1	0.05	0.055		1	0.05	0.057
2	0.10	0.109		2	0.10	0.116
3	0.15	0.160		3	0.15	0.174
4	0.20	0.216		4	0.20	0.232
5	0.25	0.271		5	0.25	0.291
6	0.30	0.323		6	0.30	0.348
7	0.35	0.377		7	0.35	0.406
8	0.40	0.433		8	0.40	0.463
9	0.45	0.487		9	0.45	0.523
10	0.50	0.540		10	0.50	0.581

Número de dato	Longitud (m)	Resistencia (Ω)		Número de dato	Longitud (m)	Resistencia (Ω)
Temperatura (81 °C)				Temperatura (99 °C)		
1	0.05	0.062		1	0.05	0.066
2	0.10	0.124		2	0.10	0.132
3	0.15	0.187		3	0.15	0.197
4	0.20	0.249		4	0.20	0.264
5	0.25	0.311		5	0.25	0.330
6	0.30	0.373		6	0.30	0.396
7	0.35	0.435		7	0.35	0.461
8	0.40	0.497		8	0.40	0.527
9	0.45	0.560		9	0.45	0.594
10	0.50	0.622		10	0.50	0.660

Graficar, para cada temperatura, la resistencia como función del cociente entre la longitud y el área transversal del conductor metálico, y obtener el valor de la pendiente de la recta con el método de cuadrados mínimos.

Realizar un gráfico del valor de la pendiente, obtenido anteriormente, como función de la temperatura y obtener el valor de la pendiente de la recta con el método de cuadrados mínimos. ¿Cuál es el sentido físico de la pendiente y de la ordenada al origen en este gráfico?

### **Bibliografía.**

- Serway, R. A.; Jewett, J. W.; *Física para ciencias e ingeniería*. Séptima edición. Editorial Cengage Learning, 2008.
- Ohanian, H. C.; Markert, J. T.; *Física para ingeniería y ciencias*. Tercera edición. Editorial Mc Graw Hill, 2009.
- Wilson, J. D.; *Física*. Segunda edición. Editorial Prentice Hall, 1996.
- Bauer, W.; Westfall, G. D.; *Física para ingeniería y ciencias con física moderna*. Primera edición. Editorial Mc Graw Hill, 2014.

## Circuitos eléctricos (Resistores)

Laboratorio de Física: 1210

Unidad 4

### Temas de interés.

1. Potencia máxima disipada en un resistor.
2. Ecuación de Ohm.
3. Reglas de Kirchhoff.
4. Resistencia eléctrica equivalente.

### Palabras clave.

Materiales óhmicos. Protoboard. Circuitos con corriente directa. Arreglos en serie y paralelo. Potencia eléctrica. Conservación de la carga eléctrica y la energía eléctrica.

### Importancia en la química.

Gran parte de los conceptos empleados en la ciencia química requieren un adecuado manejo y entendimiento de los principios de conservación de la materia, la energía y la carga eléctrica. En los dos primeros, se plantea que la materia y la energía no se crean ni se destruyen sólo se transforman mientras que, en el principio de conservación de la carga eléctrica, se plantea que la carga no se crea ni se destruye sólo se transfiere. Con el fin de comprender el principio de conservación de la energía y el de la carga eléctrica, en este guión experimental se exploran diversas manifestaciones de la energía mediante el estudio de la intensidad de corriente eléctrica y la diferencia de potencial eléctrico dentro de un circuito eléctrico a través de las reglas de Kirchhoff.

Estas dos reglas, son una expresión del balance energético que existe dentro de un circuito eléctrico compuesto por la asociación de resistores, en serie o paralelo, en presencia de fuentes de alimentación de corriente eléctrica. Resolver un circuito eléctrico de éste estilo, implica determinar la intensidad de corriente eléctrica que fluye por cada componente eléctrico así como la diferencia de potencial eléctrico entre sus terminales. Esto significa que toda la energía que entrega la fuente de alimentación de corriente eléctrica se usa en el circuito eléctrico, es decir, que la fuente de alimentación o cualquiera de los elementos del circuito no crean ni destruyen esa energía, simplemente la transforman. El alcance que puede tener la conceptualización de este principio, abarca campos temáticos en el área química que pueden ir desde la ingeniería de flujo de fluidos por diferencia de presión, el estudio fisiológico sobre la movilidad de fármacos en el sistema sanguíneo, la electroquímica y la conversión de energía química en energía eléctrica o viceversa, la termodinámica y el flujo de calor por diferencia de temperatura; por mencionar algunas de las aplicaciones más directas.

### Objetivos.

- Comprobar el comportamiento óhmico de un resistor.
- Obtener el valor de la resistencia equivalente para diferentes asociaciones de resistores en serie y paralelo.
- En un circuito combinado de resistores, demostrar experimentalmente que tanto la suma algebraica de las diferencias de potencial eléctrico en una malla y la suma algebraica de las corrientes eléctricas que coinciden en un nodo es cero.

## Introducción.

Georg Simon Ohm (1789 – 1854) fue un físico y matemático alemán que estableció una de las leyes pilares en el área de la electricidad. La ecuación, que lleva su nombre, está soportada en tres conceptos fundamentales que son: la intensidad de corriente eléctrica ( $I$ ), la resistencia eléctrica ( $R$ ) y la diferencia de potencial eléctrico ( $\Delta V$ ), y se dice que un dispositivo conductor obedece la ecuación de Ohm si la resistencia entre cualquier par de puntos es independiente de la magnitud y la polaridad de la diferencia de potencial aplicada. Lo cual implica que un resistor obedece la ecuación de Ohm sólo si su gráfica de diferencia de potencial eléctrico como función de la corriente eléctrica es lineal. Por ello, en el caso de materiales óhmicos, la tendencia lineal se representa mediante la expresión

$$\Delta V = R I \quad \text{Ecuación 1}$$

Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887) fue un físico prusiano cuyas principales contribuciones científicas se realizaron en el campo de la emisión de radiación, óptica y circuito eléctricos. En termodinámica, la regla de Kirchhoff, formulada mediante una propiedad espectral, establece que si un cuerpo está en equilibrio termodinámico con su entorno se puede decir que su absorbancia coincide con su emitancia. Además, en el campo de la química, la aportación de Kirchhoff con ayuda de Robert Bunsen fue la invención, en 1859, de un espectroscopio que permitió descubrir los metales alcalinos Cs y Rb. No obstante, mucho antes de este trabajo y aún siendo estudiante publicó en 1845 las dos reglas fundamentales para la teoría clásica de circuitos eléctricos.

Primera regla de Kirchhoff. Consideremos un nodo o unión en un circuito, es decir, un punto donde se juntan tres o más elementos conductores como se representa en la figura 1.

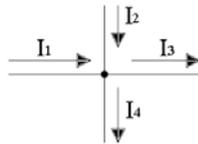


Figura 1. Representación gráfica de un nodo en un circuito eléctrico.

Las corrientes eléctricas en el circuito eléctrico, indicadas como  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  e  $I_4$ , muestran que el sentido de  $I_1$  e  $I_2$  va hacia la unión y que el de las demás corrientes se alejan de la unión. De acuerdo al principio de conservación de la carga eléctrica, ninguna carga se puede acumular en algún punto del circuito eléctrico, y por tanto, la carga eléctrica neta que fluye por unidad de tiempo en cualquier nodo deberá ser igual al flujo de carga eléctrica neta por unidad de tiempo fuera de la unión; es decir, la corriente eléctrica neta que llega a la unión es igual a la corriente eléctrica neta que sale de la unión. La situación se representa en la siguiente ecuación

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 \quad \text{Ecuación 2}$$

De acuerdo con lo anterior, se puede deducir que la suma de corrientes presentes en un nodo siempre será igual a cero

$$\sum_{i=1}^N I_i = 0 \quad \text{Ecuación 3}$$

Segunda regla de Kirchhoff. La suma algebraica de las fuerzas electromotriz (fem) alrededor de una malla en un circuito eléctrico, es igual a la suma algebraica de las caídas de potencial eléctrico alrededor de la malla.

$$\sum_{i=1}^N \Delta V_i = 0 \quad \text{Ecuación 4}$$

Esta segunda regla, es una expresión del principio de conservación de la energía.

Para la construcción experimental de circuitos eléctricos es muy útil el uso del protoboard, el cual consiste de una tabla de plástico con orificios espaciados que permite interconectar componentes electrónicos sin necesidad de soldarlos, permitiendo, que de manera fácil, se pueda armar un circuito eléctrico. La lógica de operación del protoboard es muy simple, básicamente se trata de identificar la continuidad en los orificios que están interconectados entre sí. Comúnmente, un protoboard tiene el siguiente aspecto:

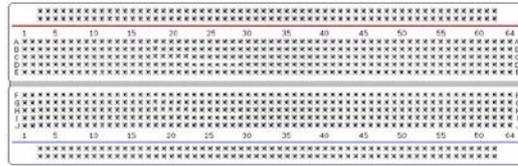


Figura 2. Protoboard comercial.

Los múltiples orificios de un protoboard se ordenan igual que una matriz, en filas (identificadas por números) y columnas (identificadas por letras). En particular, cada fila del grupo de columnas ABCDE representa un nodo, al igual que cada fila del grupo de columnas FGHIJ; es decir, que los orificios en cada una de estas filas están interconectados pero ambos grupos están aislados eléctricamente. Esto significa que no existe continuidad eléctrica entre los orificios de las columnas E y F pero si hay continuidad eléctrica entre los orificios de las columnas de cada grupo.

## Procedimiento experimental.

### Normas de seguridad.

Recuerda que es importante hacer caso al reglamento interno de higiene y seguridad proporcionado en las primeras páginas este manual.

Antes de realizar cualquier medición es necesario identificar las especificaciones y características de cada instrumento. Estas deben buscarse en el manual correspondiente.

Se recomienda que los resistores que se conecten en el circuito eléctrico tengan una resistencia eléctrica mayor a los 1000  $\Omega$ .

Antes de encender la fuente de alimentación, es requerida la autorización de tu profesor.

Atiende las recomendaciones específicas que brinde tu profesor.

### Material y equipo.

- Fuente de alimentación de corriente directa.
- Protoboard.
- Resistores con diferente valor de resistencia eléctrica.
- Multimedidores digitales.
- Conectores tipo caimán.
- Cables tipo banana-banana.
- Cable con forro aislante.

**Procedimiento.**

**Etapa 1. Comportamiento óhmico.**

Conectar en un protoboard un resistor, la fuente de alimentación de corriente directa y un multimedidor, en modo de corriente eléctrica directa, tal y como se muestra en la figura 3.

En el caso del multimedidor, asegurar que las terminales están conectadas adecuadamente y que el indicador del multimedidor está en el valor más grande de la escala elegida para evitar el daño del instrumento.

En el caso de la fuente de alimentación de corriente directa, asegurar que ésta no se encuentra encendida al momento de realizar la conexión en el protoboard. Este instrumento sólo deberá de encenderse hasta el momento de iniciar las mediciones requeridas.

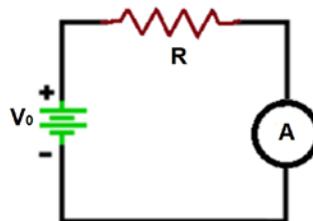


Figura 3. Diagrama de conexión de la fuente de alimentación y el multimedidor para medir la corriente eléctrica a través de un resistor.

Encender el multimedidor y medir la corriente eléctrica que circula por el resistor. Encender la fuente de alimentación de corriente directa y suministrar una diferencia de potencial eléctrico. De ser necesario, mueva el indicador del multimedidor a una escala de menor valor para tener una lectura adecuada de la corriente eléctrica.

Repetir el paso anterior suministrando diferentes valores de la diferencia de potencial eléctrico.

Repetir las mediciones empleando diferentes resistores.

**Etapa 2. Resistencia equivalente. Arreglo en serie y paralelo.**

Conectar diferentes resistores en un arreglo en serie, como se muestra en la figura 4. Encender el multimedidor y medir la resistencia eléctrica del circuito eléctrico. Ésta es la resistencia equivalente.

Conectar diferentes resistores en un arreglo en paralelo, como se muestra en la figura 4. Encender el multimedidor y medir la resistencia eléctrica del circuito eléctrico. Ésta es la resistencia equivalente.

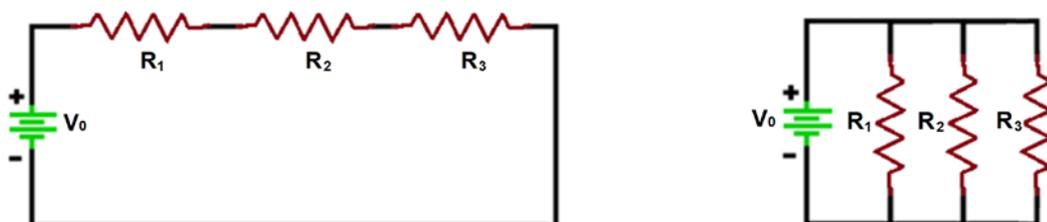


Figura 4. Diagrama de conexión de resistores en serie (parte izquierda) y paralelo (parte derecha).

### Etapa 3. Circuito mixto.

Conectar tres resistores y la fuente de alimentación de corriente como se muestra en la figura 5.

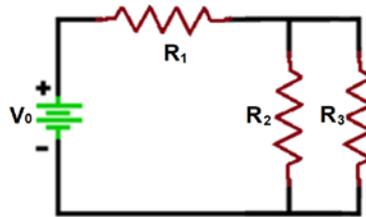


Figura 5. Diagrama de conexión de un circuito eléctrico con resistores en serie y paralelo.

Encender la fuente de alimentación de corriente directa y suministrar una diferencia de potencial eléctrico adecuada a los resistores. Realizar mediciones de diferencia de potencial eléctrico y corriente eléctrica empleando los multimedidores.

### Tratamiento de datos.

En el caso de los datos obtenidos en la etapa 1, construir un gráfico de diferencia de potencial eléctrico como función de la corriente eléctrica, para cada resistor, y realizar la regresión lineal por el método de cuadrados mínimos para obtener los parámetros de la recta con sus incertidumbres asociadas. Comprobar que la pendiente de la recta corresponde con la resistencia eléctrica de cada uno de los resistores utilizados.

En el caso de los datos obtenidos en la etapa 2, comprobar, a través de la teoría de circuitos en serie y paralelo, que el valor de resistencia obtenida en cada arreglo corresponde con el observado experimentalmente.

En el caso de los datos obtenidos en la etapa 3, comprobar, a través de la teoría de las reglas de Kirchhoff, que las diferencias de potencial eléctrico y la corriente eléctrica obtenida corresponden con lo observado experimentalmente.

### Cuestionario.

- Con base en los resultados obtenidos experimentalmente en cada etapa, ¿estos son exactamente iguales a los esperados a través del modelado teórico? Si no lo son, ¿qué factores están involucrados en dicha diferencia?
- Con base en la etapa 2, ¿cómo sería la recta obtenida si se grafica la corriente eléctrica como función de la diferencia de potencial eléctrico? En este caso, ¿qué significado físico tendría el valor de la pendiente?
- ¿Por qué si la fuente de alimentación es de corriente eléctrica directa, se suministran diferencias de potencial eléctrico?
- ¿La relación  $\Delta V = RI$  es exclusivamente de materiales óhmicos? ¿Por qué?
- En algunos campos de estudio, diferente a los circuitos eléctricos, es posible encontrar el uso de las reglas de Kirchhoff, mencione y describa al menos uno de ellos.

Ejercicio 1. Considere un resistor de valor desconocido conectado con una fuente de alimentación de corriente eléctrica directa, al cual se le suministran diferentes diferencias de potencial eléctrico para obtener valores de corriente eléctrica.

Diferencia de potencial eléctrico (V)	Corriente eléctrica ( $\mu\text{A}$ )		Diferencia de potencial eléctrico (V)	Corriente eléctrica ( $\mu\text{A}$ )
5	156		28	210
10	165		32	222
12	178		35	228
18	188		38	235
22	195		42	241
25	202		45	250

Determinar el valor de la resistencia eléctrica del resistor desconocido a través de la gráfica de diferencia de potencial eléctrico como función de la corriente. Usando el ajuste por el método de cuadrados mínimos, obtener el valor de la pendiente, la ordenada al origen y sus respectivas incertidumbres.

### Bibliografía.

- Chemical Heritage Foundation, <http://www.chemheritage.org/discover/online-resources/chemistry-in-history/themes/the-path-to-the-periodic-table/bunsen-and-kirchhoff.aspx>.
- Kirchhoff, G. R.; *Ueber den Durchgang eines elektrischen Stromes durch eine Ebene, insbesondere durcheine kreisförmige*. Annalen der Physik und Chemie. Vol. LXIV (1845) pp. 497-514.
- Halliday, D.; Resnick, R.; Krane, K. S.; *Física*. Cuarta edición. Editorial Compañía Editorial Continental. México, 1999.
- Hayt, W.; Kemmerly, J.; *Análisis de circuitos en ingeniería*. Quinta edición. Editorial Mc Graw Hill, 1993.
- Jaramillo, G.; Alvarado, A.; *Electricidad y magnetismo*. Segunda Edición. Editorial Trillas. México, 2004.
- Serway, R. A.; Jewett, J. W.; *Física para ciencias e ingeniería*. Séptima edición. Editorial Cengage Learning, 2008.
- Weidner, R. T.; Sells, R. L.; *Física elemental: clásica y moderna*. Primera edición. Editorial Compañía Editorial Continental. México, 1979.

## Conductimetría

Laboratorio de Física: 1210

Unidad 4

### Temas de interés.

1. Ecuación de Ohm.
2. Conductores electrolíticos.
3. Ley de Kohlrausch.
4. Resistencia eléctrica y conductancia.
5. Fisicoquímica iónica.

### Palabras clave.

Conductividad molar. Electrolitos. Método de cuadrados mínimos.

### Importancia en la química.

En muchas áreas de la química, el conocer la concentración de las especies presentes en una solución con la que se trabaja es un tema fundamental. Para ello, se han desarrollado varias técnicas experimentales que, fundamentadas en los principios físicos, ayudan a determinar el tipo de especies y su concentración. Cada una de las técnicas de caracterización aprovecha las diferentes propiedades fisicoquímicas de las soluciones, por lo que el uso de una u otra técnica dependerá de las características de la solución a estudiar.

Una de estas técnicas, conocida como conductimetría, aprovecha las propiedades eléctricas de las soluciones y se basa principalmente en la ecuación de Ohm, siendo esta el fundamento del área fisicoquímica denominada iónica.

En el caso de la electroquímica, parte fundamental de la química, se estudia la relación entre los cambios químicos y la energía eléctrica, la cual tiene importancia a nivel teórico y experimental. En los métodos potenciométricos puede implicarse tanto la medición directa de un potencial eléctrico de electrodos definidos a partir del cual se conoce la concentración de alguna especie (pH, potenciales de reducción en semiceldas, concentración de iones), o bien, medir los cambios en la fuerza electromotriz originados por la adición de un titulante a la muestra.

En los métodos de conductancia, se involucra la medición de la capacidad que tiene una solución para permitir el paso de corriente eléctrica y a partir de ello, determinar la concentración de la especie conductora, comúnmente iones disueltos en medios polares.

### Objetivos.

- Relacionar el concepto de la ecuación de Ohm con el área de la electroquímica.
- Asociar el valor de la resistencia eléctrica con la concentración de iones en medio acuoso.
- Comprender la relación inherente entre las leyes de la física y las diversas técnicas de caracterización empleadas en la ciencia química.

## Introducción.

El transporte de la corriente eléctrica a través de un conductor metálico es consecuencia de la movilidad de electrones bajo la acción de una diferencia de potencial eléctrico aplicada. En este caso, por tratarse de un tipo de transportador de carga (electrones), puede considerarse al conductor como homogéneo y para él es válida la ecuación de Ohm.

$$\Delta V = RI \text{ Ecuación 1}$$

donde R es la resistencia eléctrica del conductor, que se mide en ohm ( $\Omega$ ),  $\Delta V$  es la diferencia de potencial eléctrico que se aplica al conductor, que se mide en volt (V) e I es la intensidad de corriente eléctrica que circula a través del conductor metálico, que se mide en ampere (A).

Para el caso de que el conductor sea un medio líquido, disolución electrolítica, los iones que forman el sistema se encuentran en continuo movimiento de manera aleatoria. Sin embargo, en presencia de una diferencia de potencial eléctrico, la cual se aplica al sistema a través de electrodos, los iones se moverán de acuerdo al valor de su carga eléctrica debido al campo eléctrico que se produce entre los electrodos. En este caso, el conductor iónico también puede considerarse como homogéneo cuando la sal soluble se encuentra totalmente disociada y en un valor de baja concentración, por lo que también seguirá la ecuación de Ohm.

En soluciones electrolíticas, la conductancia (L) se obtiene como el valor inverso de la resistencia eléctrica (R) del medio y tiene unidades de siemens [ $S \equiv \Omega^{-1}$ ], y se determina mediante

$$L = \frac{1}{R} \text{ Ecuación 2}$$

Una vez determinada la conductancia, esta puede brindar información de la concentración de los iones presentes en el medio líquido. Para ello, es necesario recurrir al concepto de conductancia específica o conductividad ( $\kappa$ ) y al concepto de conductancia equivalente o conductividad molar ( $\Lambda$ ).

La conductividad,  $\kappa$ , de un medio líquido se define a través de la relación que existe entre la conductancia (L) y las dimensiones de la celda electrolítica empleada, la cual está definida por la distancia de separación entre los electrodos ( $l$ ) y el área (A) de los mismos.

$$\kappa = L \frac{l}{A} \text{ Ecuación 3}$$

Pese a que en el sistema internacional, las unidades de área y distancia se definen en metro cuadrado y metro, respectivamente; la unidad asociada a la conductividad está en S/cm.

Por otra parte, la conductividad molar ( $\Lambda$ ) se define como la conductancia de un equivalente electroquímico de soluto contenido entre los electrodos. Por lo anterior, la conductividad molar dependerá del número de iones presentes entre los electrodos, es decir, de la concentración de los iones en el medio líquido. A fin de obtener la conductividad molar, se define que

$$\Lambda = 1000 \frac{\kappa}{[M]} \text{ Ecuación 4}$$

en donde  $\kappa$  y [M] representan la conductividad, en S/cm, y la concentración molar, en mol/litro, del electrolito disuelto, respectivamente. La razón del número 1000 se debe al factor de conversión de litro a  $\text{cm}^3$ .

Kohlrausch encontró que la conductividad molar depende de la concentración del electrolito y que, en soluciones diluidas de electrolitos fuertes, esta dependencia puede expresarse por la ecuación

$$\Lambda = \Lambda^{\infty} - b\sqrt{[M]} \quad \text{Ecuación 5}$$

donde  $\Lambda^{\infty}$  y  $b$  son constantes que dependen de la conductividad a dilución infinita y de la naturaleza del electrolito, respectivamente. Obsérvese que mediante esta expresión se obtiene una relación lineal entre la conductividad molar y la concentración del electrolito.

En el caso particular del término  $\Lambda^{\infty}$ , conductividad molar equivalente límite, este puede obtenerse para una sal en particular mediante la suma de los valores de conductividad molar iónica límite de cada ión, cuyos valores se encuentran registrados en la literatura para un número importante de cationes y aniones en diversos disolventes.

## Procedimiento experimental.

### Normas de seguridad.

Recuerda que es importante hacer caso al reglamento interno de higiene y seguridad proporcionado en las primeras páginas este manual.

Antes de realizar cualquier medición es necesario identificar las especificaciones y características de cada instrumento. Estas deben buscarse en el manual correspondiente.

Se recomienda que los resistores que se conecten en el circuito eléctrico tengan una resistencia eléctrica mayor a los 1000  $\Omega$ .

Antes de encender la fuente de alimentación, es requerida la autorización de tu profesor.

Si haces uso de las balanzas digitales situadas en el cuarto de balanzas, deberás, de manera obligatoria, registrarte en la bitácora de trabajo y llenar adecuadamente la papeleta correspondiente.

Atiende las recomendaciones específicas que brinde tu profesor.

### Material y equipo.

Fuente de alimentación de corriente alterna.

Resistores de 1000  $\Omega$ .

Multimedidores digitales.

Balanza digital o de un plato.

Cables tipo banana-banana.

Conectores tipo caimán.

Recipiente de plástico.

Placas de cobre de iguales dimensiones.

Matraz aforado de 100 ml.

Vernier digital o analógico.

Parrilla con agitación.

Barra magnética.

Espátula.

Agua.

Sal.

## Procedimiento.

### Etapa 1. Elaboración de la celda de conductividad.

Colocar las placas de cobre de forma paralela en el interior del recipiente de plástico, fijándolas en las paredes del recipiente con un par de conectores tipo caimán y medir la distancia de separación entre las placas.

Medir con ayuda del matraz aforado, 100 ml de agua y verter en el interior del recipiente.

Con ayuda del vernier, medir el área efectiva de las placas de cobre que se sumerge en el agua.

### Etapa 2. Determinación de la conductividad molar de una sal.

Armar un circuito en serie con la fuente de alimentación, los dos resistores y la celda de conductividad, como se muestra en la figura 1.

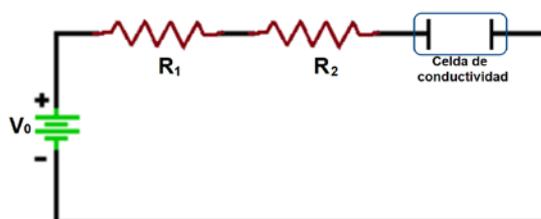


Figura 1. Diagrama de conexión del circuito eléctrico.

Colocar un multimedidor, en modo de diferencia de potencial eléctrico, en la celda de conductividad y un multimedidor, en modo de diferencia de potencial eléctrico, en un resistor.

Ajustar la fuente de alimentación, en modo corriente alterna, de forma que se aplique una diferencia de potencial constante.

Colocar la celda de conductividad sobre la parrilla de agitación, sin desconectar el circuito. Introducir la barra de agitación y agitar moderadamente evitando que la barra de agitación choque con las placas de cobre.

Anotar las lecturas que marquen ambos multimedidores antes de agregar la primera cantidad de sal.

Pesar en la balanza aproximadamente 100 mg de la sal y verter la masa pesada en el interior de la celda de conductividad. Esperar a que se establezcan las lecturas de los multimedidores y anotar la lectura.

Repetir el paso anterior hasta tener al menos diez mediciones.

## Tratamiento de datos.

Para cada lectura del multimedidor que se encuentra en paralelo con el resistor, determinar la corriente eléctrica que fluye por el circuito construido como función de la cantidad de sal agregada.

Empleando la corriente eléctrica determinada previamente y con el valor de la diferencia de potencial eléctrico que registra el multimedidor asociado a la celda de conductividad, obtener la resistencia eléctrica de la celda de conductividad como función de la cantidad de sal agregada.

Obtener para cada dato de resistencia eléctrica, el valor asociado de conductancia.

Convertir el valor de conductancia, empleando las dimensiones geométricas de la celda de conductividad, en conductividad.

Determinar la concentración molar, al interior de la celda de conductividad, para cada una de las cantidades de sal agregada.

Obtener con los valores de conductividad y concentración molar, el valor asociado a conductividad molar.

Construir un gráfico de conductividad molar como función de la raíz cuadrada de la concentración molar y realizar la regresión lineal por el método de cuadrados mínimos.

Comparar el valor de la ordenada al origen con los valores reportados en la literatura.

### Cuestionario.

- ¿Cómo se modifican los parámetros de la relación lineal, pendiente y ordenada al origen, si se emplea una sal de KCl en comparación con NaCl?
- ¿Se modificaría la conductividad molar de la sal que empleaste si los resistores tuvieran el doble del valor de la resistencia eléctrica empleada en este guión experimental?
- ¿Qué factores pueden ocasionar la variación entre el valor de conductividad molar equivalente límite obtenido en este desarrollo experimental y el reportado en la literatura consultada?

Ejercicio 1. Considere el siguiente conjunto de datos asociados a una reacción de titulación entre un ácido fuerte (HCl) y una base fuerte (NaOH). El reactivo con el que se realiza la titulación es NaOH en concentración 0.1 M y el volumen inicial de HCl es 100 ml.

Volumen NaOH (ml)	Conductividad (mS)		Volumen NaOH (ml)	Conductividad (mS)
55	16.6		110	7.2
65	13.6		115	6.6
75	12.0		120	6.0
85	10.6		130	5.0
95	9.0		135	5.1
105	7.8		140	5.3

Graficar la conductividad como función del volumen agregado de NaOH y obtener la ecuación para cada recta y determinar el punto en el que las rectas se interceptan. Este punto se conoce como punto de equivalencia.

Determinar la concentración inicial de HCl.

### Bibliografía.

- Baeza, A.; García, A. J.; *Principios de electroquímica analítica*. Colección de documentos de apoyo. UNAM, 2011.
- Szafran, Z.; Pike, R. M.; Singh, M. M.; *Microscale inorganic chemistry. A comprehensive laboratory experience*. Primera edición. Editorial John Wiley & Sons, Inc. New York, 1991.
- Tanaka, J.; Suib, S. L.; *Experimental methods in inorganic chemistry*. Primera edición. Editorial Prentice Hall. New Jersey, 1999.

## Carga y descarga de un capacitor en un circuito RC.

Laboratorio de Física: 1210

Unidad 4

### Temas de interés.

1. Relación exponencial.
2. Relaciones directamente proporcionales.
3. Ajuste de tendencia lineal.

### Palabras clave.

Circuito RC. Tiempo característico. Método de cuadrados mínimos para el ajuste de líneas rectas.

### Importancia en la química.

En bioquímica metabólica y biología celular, resulta fundamental comprender y modelar los mecanismos fisicoquímicos mediante los cuales las células intercambian sustancias como iones, aminoácidos y glucosa con el medio circundante. En este ámbito, el modelo más sencillo es el que ofrecen los circuitos RC, figura 1.

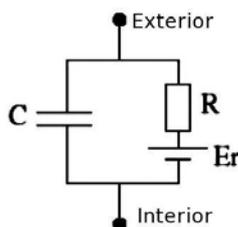


Figura 1. Esquema representativo de un circuito RC.

La figura anterior, que representa un circuito eléctrico RC, puede emplearse para entender el comportamiento de una membrana celular a través del concepto de potencial de membrana,  $E_r$ , en donde el valor de la resistencia eléctrica,  $R$ , representa la oposición de la membrana celular al transporte de los iones que se suscita en los canales iónicos mientras que el valor de la capacitancia eléctrica,  $C$ , es la capacidad de la membrana por unidad de área. En el caso particular del potencial de membrana, este se genera cuando existe una diferencia en la concentración de iones, comúnmente  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , entre el interior de la célula y su exterior, ocasionándose con ello una diferencia de potencial eléctrico que se define como  $E_r = V_{\text{interior}} - V_{\text{exterior}}$ .

### Objetivos.

- Relacionar gráficos de diferencia de potencial eléctrico en función del tiempo mediante datos experimentales de diferencia de potencial eléctrico y tiempos de carga y descarga de un capacitor.
- Obtener la constante de tiempo característico,  $\tau$ , a partir de las gráficas de diferencia de potencial eléctrico en función del tiempo en la situación de carga y descarga de un capacitor.
- A partir de una ecuación exponencial, obtener una ecuación lineal y ajustarla por el método de cuadrados mínimos para obtener, del valor de la pendiente, la constante de tiempo característico  $\tau$ .
- Analizar el principio de conservación de la energía e el circuito eléctrico RC.

## Introducción.

En este guión experimental se estudia el comportamiento de circuitos RC, figura 2. En una primera parte se analiza el fenómeno de carga y en la segunda parte la descarga de un capacitor, y a partir de los datos obtenidos experimentales se calcula la constante de tiempo característica, RC o  $\tau$ , del circuito.

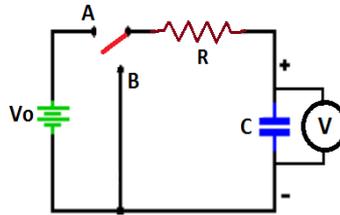


Figura 2. Circuito eléctrico RC en serie. La terminal A permite la carga del capacitor mientras que la terminal B la descarga del mismo.  $V_0$  representa la diferencia de potencial eléctrico de la fuente de alimentación, R al resistor y C al capacitor.

### CARGA DEL CAPACITOR.

Tomando la figura 1 y suponiendo que el capacitor de este circuito está inicialmente descargado y que no existirá corriente eléctrica en tanto el interruptor esté abierto. Si el interruptor se mueve hacia la posición A en el tiempo,  $t = 0$  s, la carga comenzará a fluir, estableciendo una corriente directa en el circuito y el capacitor comenzará a cargarse. Observe que durante la carga, las cargas no saltan de una placa a la otra del capacitor porque el espacio entre las placas representa un circuito abierto. En vez de eso, la carga se transfiere de una placa a la otra y sus alambres de conexión gracias al campo eléctrico que la fuente de alimentación establece en los alambres, hasta que el capacitor queda completamente cargado. Conforme las placas se cargan, la diferencia de potencial eléctrico aplicada al capacitor aumenta, por lo que el valor de la carga máxima en las placas dependerá de la diferencia de potencial eléctrico de la fuente de alimentación. Una vez que se alcanza la carga máxima, la corriente eléctrica es igual a cero ya que la diferencia de potencial eléctrico entre las placas del capacitor es igual a la suministrada por la fuente de alimentación.

Para analizar cuantitativamente este circuito nos basamos en las siguientes ecuaciones, las cuales están fundamentadas en la segunda regla de Kirchhoff.

$$V_0 - \frac{dq}{dt}R - \frac{q}{C} = 0$$

A partir de esta ecuación diferencial ordinaria de primer orden, con término independiente constante, llegamos a las siguientes ecuaciones que rigen el comportamiento del circuito RC durante la carga del capacitor.

$$q = CV_0(1 - e^{-t/RC}) \quad \text{Carga del capacitor a cualquier tiempo } t.$$

$$V = V_0(1 - e^{-t/RC}) \quad \text{Diferencia de potencial eléctrico en el capacitor a cualquier tiempo } t.$$

$$I = \frac{V_0}{R} e^{-t/RC} \quad \text{Intensidad de corriente eléctrica en el circuito a cualquier tiempo } t.$$

## DESCARGA DEL CAPACITOR.

Supóngase ahora que el capacitor de la figura 2 está completamente cargado, es decir, que  $V = V_0$ , y en un nuevo tiempo  $t = 0$  s, el interruptor se mueve de la posición A hacia la posición B para que el capacitor pueda descargarse a través del resistor R.

La forma en que varía la carga  $q$  del capacitor y la corriente  $I$  que circula por el circuito de descarga como función del tiempo, estarán definidas por una ecuación diferencial que se obtiene de la segunda regla de Kirchhoff, excepto que ahora, sin fuente de alimentación.

$$\frac{dq}{dt}R + \frac{q}{C} = 0$$

Resolviendo esta ecuación, llegamos a las siguientes ecuaciones que rigen el comportamiento del circuito RC en su descarga.

$$q = q_0 e^{-t/RC} \quad \text{Carga del capacitor a cualquier tiempo } t.$$

$$V = V_0 e^{-t/RC} \quad \text{Diferencia de potencial eléctrico del capacitor a cualquier tiempo } t.$$

$$I = -\frac{q_0}{RC} e^{-t/RC} \quad \text{Intensidad de corriente eléctrica en el circuito a cualquier tiempo } t.$$

## Procedimiento experimental.

### Normas de seguridad.

Recuerda que es importante hacer caso al reglamento interno de higiene y seguridad proporcionado en las primeras páginas este manual.

Antes de realizar cualquier medición es necesario identificar las especificaciones y características de cada instrumento. Estas deben buscarse en el manual correspondiente.

Asegúrate que el capacitor está eléctricamente descargado antes de iniciar el trabajo y al finalizar el trabajo experimental.

Antes de encender la fuente de alimentación, es requerida la autorización de tu profesor.

Atiende las recomendaciones específicas que brinde tu profesor.

### Material y equipo.

- Fuente de alimentación de corriente directa.
- Multimedidor digital.
- Protoboard.
- Cables tipo banana-banana.
- Conectores tipo caimán.
- Cronómetro.
- Resistor entre  $250 \text{ k}\Omega \pm 5\%$  y  $500 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ .
- Capacitor entre  $220 \text{ }\mu\text{F} \pm 10\%$  y  $500 \text{ }\mu\text{F} \pm 10\%$ .

## Procedimiento.

### Etapa 1. Carga del capacitor en el circuito RC.

Conectar en el protoboard el resistor, R, el capacitor, C, y la fuente de alimentación de corriente directa formando un circuito en serie, como el mostrado en la figura 3.

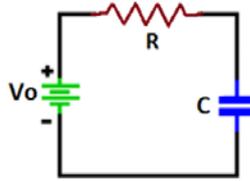


Figura 3. Representación de un circuito eléctrico RC en serie para cargar eléctricamente un capacitor.

En el caso del multimedidor asegurar que las conexiones corresponden con la propiedad eléctrica que se desea medir (diferencia de potencial eléctrico o corriente eléctrica) y que el indicador del multimedidor está en el valor más grande de la escala elegida para evitar el daño del instrumento.

En el caso de la fuente de alimentación de corriente directa, asegurar que ésta no se encuentra encendida al momento de realizar la conexión en el protoboard. Este instrumento sólo deberá de encenderse hasta el momento de iniciar las mediciones requeridas.

Encender el multimedidor y la fuente de alimentación de corriente directa y suministrar con la fuente de alimentación una diferencia de potencial eléctrico. Estos instrumentos no deberán apagarse durante el desarrollo experimental de esta etapa. El tiempo  $t = 0$  s, primer dato experimental, se obtiene en el momento de encender la fuente de alimentación.

Medir la propiedad eléctrica (diferencia de potencial eléctrico o corriente eléctrica) durante diferentes lapsos de tiempo hasta que la lectura del multimedidor no varíe.

### Etapa 2. Descarga del capacitor en el circuito RC.

Una vez cargado el capacitor anterior. Apagar la fuente de alimentación del circuito, desconectarla y cerrar el circuito entre el capacitor y el resistor, figura 4. El multimedidor permanecerá conectado. El tiempo  $t = 0$  s, primer dato experimental, se obtiene en el momento de cerrar el circuito entre el capacitor y el resistor.

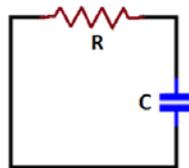


Figura 4. Representación de un circuito eléctrico RC en serie para descargar eléctricamente un capacitor.

Medir la propiedad eléctrica (diferencia de potencial eléctrico o corriente eléctrica) del capacitor durante diferentes lapsos de tiempo hasta que la lectura del multimedidor no varíe.

### Tratamiento de datos.

Realizar el producto de la resistencia eléctrica del resistor,  $R$ , por el valor de la capacitancia del capacitor,  $C$ , para obtener el valor del tiempo característico,  $\tau$ . Este valor será considerado como el tiempo característico teórico.

Graficar la diferencia de potencial eléctrico como función del tiempo para el proceso de carga y descarga del capacitor.

Con los datos experimentales obtenidos en el proceso de descarga del capacitor, realizar un gráfico de  $\ln V$  como función del tiempo y ajustar la recta resultante por el método de los cuadrados mínimos.

### Cuestionario.

- Compara los diferentes valores obtenidos para la constante de tiempo del circuito RC,  $\tau$ , e indica cuál es el más exacto y por qué.
- Demuestra que el producto de la resistencia eléctrica y la capacitancia tiene unidades de tiempo.

Ejercicio 1. Considera un circuito RC de carga con resistencia de  $58 \text{ k}\Omega$ , capacitancia de  $1.6 \text{ }\mu\text{F}$  alimentados por una fuente de alimentación de corriente directa de  $14 \text{ V}$ . Si al  $t = 0 \text{ s}$ , se comienza el proceso de carga del capacitor, determina.

- A) La carga y la energía almacenada en el capacitor al tiempo  $t = 60 \text{ ms}$ .
- B) La intensidad de corriente en el circuito al tiempo  $t = 60 \text{ ms}$ .
- C) La energía disipada por el resistor desde  $t = 0 \text{ s}$  hasta  $t = 60 \text{ ms}$ .
- D) La energía suministrada por la fuente de alimentación desde  $t = 0 \text{ s}$  hasta  $t = 60 \text{ ms}$ .

### Bibliografía.

- Resnick, R.; Halliday, D.; *Física*. Editorial Compañía Editorial Continental, 1994.
- Sears, F.; Zemansky, M.; Young, H.; Freedman, R.; *Física universitaria*. Novena edición. Editorial Addison Wesley Iberoamericana. México, 1998.
- Serway, R. A.; *Física*. Cuarta edición. Editorial Mc Graw Hill, 1996.
- Jaramillo, G.; Alvarado, A.; *Electricidad y magnetismo*. Segunda Edición. Editorial Trillas. México, 2004.

## Mapeo de la intensidad del campo magnético en las vecindades de una bobina con corriente directa.

Laboratorio de Física: 1210

Unidad 5

### Temas de interés.

1. Magnetismo.
2. Ley de Biot-Savart.
3. Mapas de campos vectoriales.
4. Trazabilidad de gráficos.

### Palabras clave.

Campo magnético. Bobinas. Magnetostática. Mapas de variables físicas.

### Importancia en la química.

Entre las aplicaciones típicas en la química se encuentran los experimentos de espectroscopia, en particular de resonancia magnética nuclear, en los que se obtienen señales de flujo magnético que provienen de la relajación del espín de cada núcleo excitado mediante ondas de radiofrecuencia. En estos experimentos, las ondas de radiofrecuencia son ondas con polarización circular, puesto que se utilizan para excitar a núcleos atómicos que se encuentran de un campo magnético intenso. El conocer con precisión estos campos es indispensable para la obtención de los espectros correspondientes.

Entre los campos magnéticos intensos que se aplican de manera comercial están los campos que se utilizan en los diagnósticos para efectos de salud en los seres vivos, en particular en la salud humana. En este caso las técnicas permiten la construcción de imágenes que más tarde se someten a post-procesos y es allí donde es indispensable conocer con detalle los campos magnéticos.

### Objetivos.

- Construir mapas de la intensidad de campo magnético en regiones específicas alrededor de una bobina con corriente directa.
- Aprender que los mapas de variables permiten caracterizarlas de manera gráfica y numérica en el espacio.
- Comprender la relación existente entre corriente eléctrica y campo magnético.

### Introducción.

La medición de la intensidad del campo magnético en el espacio es una actividad poco atractiva, pues en los libros de texto aparecen imágenes de las líneas de campo o los vectores correspondientes pero no indican cómo efectuar las mediciones adecuadas para obtenerlos.

Tomando en cuenta el hecho de que el campo magnético es un campo de vectores, sería interesante determinar algunos de tales vectores y convencerse de que realmente se trata de eso: vectores.

Así, en el ejercicio que se describe en este guión experimental se construirán mapas de la intensidad de campo magnético en diferentes regiones alrededor de una bobina con corriente directa. La construcción y descripción de mapas es una actividad cotidiana en física, química, biología, geografía, medicina y muchas áreas más. Los mapas, que generalmente se presentan con diversidad de colores, facilitan la visualización de las diferentes regiones que se deseen analizar.

La construcción del plano en el que se hará el mapeo (sobre el que se harán las mediciones) es simple, basta con colocar una hoja cuyo plano sea perpendicular al eje de simetría de la bobina y a continuación definir los puntos sobre los que se harán las mediciones de la intensidad del campo magnético. De esta manera, en el plano de la hoja cada punto, al que se le puede asignar un índice numérico como identificador, representa un elemento de una matriz bidimensional:  $i, j$ .

$$\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix}$$

De la matriz de datos así obtenida es de donde se construirá el mapa de la intensidad de campo magnético.

Por otra parte, si se traza un punto del centro de cada elemento de la cuadrícula y de allí se traza un segmento recta, perpendicular al plano de la cuadrícula, cuya altura sea proporcional a la magnitud de la intensidad del campo magnético, y luego se unen los puntos de los extremos de tales rectas, se podrá visualizar una retícula que representa al campo magnético de forma semejante a un mapa topográfico.

Otra manera de construir un mapa consiste en asignar un color a cada elemento de la cuadrícula con la condición de que el color asignado corresponda a un intervalo específico de valores del campo magnético.

## Procedimiento experimental.

### Normas de seguridad.

Recuerda que es importante hacer caso al reglamento interno de higiene y seguridad proporcionado en las primeras páginas este manual.

Antes de realizar cualquier medición es necesario identificar las especificaciones y características de cada instrumento. Estas deben buscarse en el manual correspondiente.

Antes de encender la fuente de alimentación, es requerida la autorización de tu profesor.

Atiende las recomendaciones específicas que brinde tu profesor.

### Material y equipo.

Fuente de alimentación de corriente directa.

Bobina.

Sensor de campo magnético.

Elevador.

Soporte universal.

Pinza de tres dedos con nuez.

Cables tipo banana-banana.

Hoja milimétrica.

### Procedimiento.

Conectar el dispositivo de adquisición de datos Data Logger Pro de Vernier, con el sensor de campo magnético previamente colocado en el dispositivo de adquisición de datos, a la computadora que tiene instalado el programa Logger Pro 3.

Sujetar el sensor de campo magnético, con ayuda de la pinza de tres dedos con nuez, en la parte más alta del soporte universal de forma que el sensor esté en posición vertical con la zona de sensado apuntando hacia abajo.

En la superficie del elevador colocar la hoja milimétrica y sujetarla con cinta adhesiva.

Colocar, por debajo del sensor magnético, la bobina sobre el elevador y conectar la bobina a la fuente de alimentación de corriente directa. Ajustar la altura de la bobina, la cual se mantendrá fija durante todo el desarrollo experimental, para que el sensor de campo magnético quede lo más cerca posible sin llegar a hacer contacto. El sensor de campo magnético debe quedar perpendicular al plano de la bobina.

Encender la fuente de alimentación y ajustar un valor constante de corriente directa.

Iniciar el registro de la intensidad de campo magnético con una duración de diez segundos aproximadamente. El valor promedio de la serie de mediciones en un solo punto, será el que se utilizará para la construcción del mapa correspondiente.

Desplazar la bobina, en el plano perpendicular al sensor de campo magnético, para obtener el valor de la intensidad de campo magnético en otro punto del plano de la bobina e iniciar el registro de la intensidad de campo magnético.

Realizar la operación anterior en al menos 50 puntos.

### Tratamiento de datos.

Ordenar los datos asignando índices numéricos como elementos de una matriz bidimensional:  $i, j$ , a cada uno de los puntos elegidos en el plano de la bobina.

Trazar el mapa de la intensidad del campo magnético.

### Cuestionario.

- ¿Por qué es conveniente usar corriente directa en la bobina y no corriente alterna?
- ¿Por qué el sensor de campo magnético se coloca perpendicular al plano de la bobina?
- El campo magnético es un campo vectorial, entonces, ¿por qué se usa un sensor que sólo mide la intensidad del campo magnético en cada punto?
- ¿Qué cambio espera que se presente en el mapa al cambiar la corriente eléctrica que circula por la bobina?

Ejercicio 1. Considere el siguiente muestreo de la intensidad de campo magnético, en mT, en las vecindades de una bobina. El primer renglón contiene los índices de una de las direcciones y la primera columna los índices de la otra dirección del plano, considerando que los desplazamientos horizontales y verticales tienen la misma magnitud.

	0	1	2	3	4	5	6
0	23.941	27.972	30.467	36.713	34.479	29.321	16.420
1	31.863	42.702	49.665	59.560	58.846	42.477	20.506
2	51.447	68.659	92.329	97.155	85.584	75.502	28.148
3	67.626	90.894	110.318	118.661	94.107	94.563	40.780
4	77.619	94.871	120.770	125.924	112.045	101.304	50.827
5	79.280	100.251	114.166	127.121	117.916	99.920	56.495
6	76.772	91.600	101.717	106.906	115.012	88.102	57.993
7	68.051	68.118	81.467	107.327	102.278	91.494	50.986
8	52.359	45.049	47.587	82.387	74.929	67.767	42.752
9	32.881	37.606	47.587	47.478	47.400	41.021	27.847

Trazar el mapa de la intensidad del campo magnético.

Investigar cómo realizar una curva de nivel y trazar dicha curva con los datos proporcionados en el ejercicio 1.

## Bibliografía.

- Resnick, R.; Halliday, D.; Krane, K. S.; *Physics*. Cuarta edición. Editorial John Wiley & Sons, Inc, 1992.
- Sears, F. W.; Zemansky, M. W.; Young, H. D.; *Física universitaria*. Sexta edición. Editorial Addison Wesley Iberoamericana, 1998.
- Reinhard, R.; Khan, E. A.; Akyüz, A. O.; Johnson, G. M.; *Color imaging: fundamentals and applications*. Primera edición. Editorial AK Peters Ltd., 2008.
- Herrmann, F; Hauptmann, H.; Suleder, M.; *Representations of electric and magnetic fields*. American Journal of Physics. Vol. 68. No. 2 (2000) pp. 171-174.
- Amiri, F.; Jeffery, R. N.; *Simple experiments to study the Earth's magnetic field*. The Physics Teacher. Vol. 42 (2004) pp. 458-461.
- Bharathi, K. K.; Markandeyulu, G.; Ramana, C. V.; *Structural, magnetic, electrical, and magnetoelectric properties of Sm- and Ho-substituted nickel ferrites*. The Journal of Physical Chemistry C. Vol. 115. No. 2 (2011) pp. 554-560.
- Aue, W. P.; Bartholdi, E.; Ernst, R. R.; *Two-dimensional spectroscopy. Application to nuclear magnetic resonance*. The Journal of Chemical Physics. Vol. 64. No. 5 (1976) pp. 2229-2246.
- Benz, L.; Cesafsky, K. E.; Le, T.; Park, A.; Malicky, D.; *Employing magnetic levitation to monitor reaction kinetics and measure activation energy*. Journal of Chemical Education. Vol. 89. (2012) pp. 776-779.
- Sone, K.; Itami, Y.; *Simple measurement of magnetic susceptibility with a small permanent magnet and a top-loading electronic balance*. Journal of Chemical Education. Vol.79. (2002) pp. 1002-1004.