

# Física Experimental II



## uniandes

Departamento de Física

2015

Guía de laboratorio

**Física Experimental II**

*Guía de laboratorio*

Revisión 2015:

Juan David Lizarazo Ferro

Benjamín Oostra



Universidad de los Andes  
Bogotá, Colombia

---

# Índice

---

<b>Introducción</b>	II
<b>1. Calor específico de sólidos: ley de Dulong-Petit</b>	<b>1</b>
<b>2. Calor latente del agua</b>	<b>3</b>
<b>3. Dilatación térmica de sólidos</b>	<b>5</b>
<b>4. Dilatación térmica del agua</b>	<b>7</b>
<b>5. Gas ideal</b>	<b>9</b>
<b>6. Equivalente mecánico del calor</b>	<b>11</b>
<b>7. Campo eléctrico 1: líneas de campo</b>	<b>13</b>
<b>8. Campo eléctrico 2: líneas equipotenciales</b>	<b>15</b>
<b>9. Ley de Ohm</b>	<b>17</b>
<b>10. Equivalente eléctrico del calor</b>	<b>19</b>
<b>11. Carga y descarga de un condensador</b>	<b>21</b>
<b>12. Fuerza magnética</b>	<b>23</b>
<b>13. Campo magnético terrestre</b>	<b>25</b>
<b>A. Manual del calorímetro</b>	<b>27</b>
<b>B. Manual del multímetro</b>	<b>29</b>
<b>C. Manual de la fuente de potencia</b>	<b>37</b>

---

# Introducción

---

Este curso tiene el objetivo de enseñar el rigor y la honestidad esenciales a la labor experimental; también tiene el objetivo de fortalecer la conexión entre teoría y práctica ayudando a la comprensión de los temas estudiados en el curso *Física 2*; y además quiere informar sobre el funcionamiento de algunos instrumentos de medición y ejercitarse el uso de herramientas de análisis de datos.

El curso se divide en dos grandes temas: termodinámica y electromagnetismo. Algunos de los fenómenos térmicos estudiados son los cambios de fase del agua, la dilatación térmica, el calor específico de diferentes sustancias, y la equivalencia entre trabajo mecánico y calor. En el mundo del electromagnetismo estudiamos las líneas de campo y equipotenciales, el comportamiento de condensadores, la ley de Ohm, la ley de Lorentz y el campo magnético terrestre.

Antes de cada experimento es necesario leer toda la guía, hacer un resumen del procedimiento experimental a seguir, resumir los aspectos esenciales de los elementos teóricos listados al inicio de la sección *Teoría*, y responder las preguntas de esa misma sección. Las guías contienen las instrucciones necesarias para tomar y analizar los datos, con algunas omisiones en las que se espera que el estudiante decida el camino a seguir.

Al analizar los datos de nuestros experimentos queremos presentarlos con claridad en gráficas y analizarlos de forma rigurosa a través de regresiones de diferente tipo. Se espera que en este curso ganemos agilidad en el uso de nuestra calculadora para procesar datos.

Al tomar datos es de gran importancia saber reconocer fuentes de error, tenerlas en cuenta y saber manipularlas cuando se hacen cálculos: una respuesta experimental es inútil a menos que lleve una indicación de su incertidumbre. En cada experimento debemos preguntarnos con qué precisión se conoce lo que se ha medido o calculado. Estas incertidumbres dependen del instrumento de medición, del método experimental y de las idealizaciones hechas.

Los objetivos de nuestros laboratorios son modestos y las conclusiones deben serlo también. Las conclusiones deben ser coherentes con los objetivos planteados y estar argumentadas con los resultados cuantitativos u observaciones hechas durante el experimento. No concluir de más, pero tampoco concluir de menos, y no temer concluir cosas simples, que al haber sido vistas de primera mano tienen una gran importancia para nosotros.

A continuación se muestra un ejemplo de informe con algunas indicaciones adicionales y después de él normas generales a tener en cuenta.

## El informe

Título y fecha

### Experimento 13: Campo Magnético Terrestre

Nov-19-2014

#### Objetivos

- Determinar la magnitud y dirección de un campo magnético conocido.
- Generar campos magnéticos con la ayuda de una bobina.

#### Marco Teórico

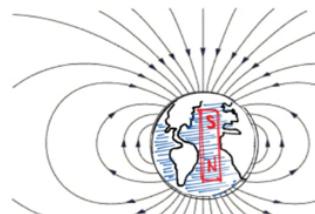
Ley de Biot-Savart: establece el campo magnético debido a un segmento de alambre  $d\vec{l}$  en el punto  $\vec{r}$ , llevando el alambre una corriente  $I$ :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} d\vec{l} \times \hat{r}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

Principio de superposición de campos magnéticos: cuando se consideran dos fuentes de campo magnético, siendo  $\vec{B}_1$  y  $\vec{B}_2$  los campos magnéticos de cada una de las fuentes sin la presencia de la otra, el campo magnético resultante es igual a la suma vectorial de los campos parciales.

Campo magnético terrestre: nuestro planeta tiene un campo magnético producido por corrientes eléctricas en su núcleo. Protege a la Tierra del viento solar y en los días de antaño orientaba a los marineros.



La introducción incluye un resumen de todos los elementos necesarios para entender el experimento y un análisis teórico de la situación a estudiar.

53 54

Páginas numeradas en la esquina superior externa

Sobre la superficie tiene una magnitud entre 25 y 65  $\mu\text{T}$  y la contribución dipolar es la de un dipolo orientado a  $20^\circ$  approx. del eje de rotación.

Brujula: consta de una aguja imantada libre de rotar para alinearse con el campo magnético. Indica, solamente, en su versión más común, la dirección horizontal del campo magnético.

Campo magnético en el centro de un anel:

$$d\vec{l} = dl (\sin \beta \hat{i} + \cos \beta \hat{j})$$

$$\hat{r} = -(\cos \beta \hat{i} + \sin \beta \hat{j})$$

$$d\vec{l} \times \hat{r} = dl \hat{k}$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi R^2} \hat{k}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I N}{4\pi R^2} \hat{k} \quad \boxed{\int dl = \frac{\mu_0 I N}{2R} \hat{k} = \vec{B}}$$

Enrollado N vueltas.

Desviación de la brújula.

$$\tan \theta = \frac{B_t}{B_E}$$

Del diagrama

Las tablas deben tener encabezados con títulos claros, unidades e incertidumbre (si es constante)

De acuerdo al World Magnetic Model el campo geomagnético en Bogotá es  
 $B_{\text{Norte}} = 27 \mu\text{T}$   $B_{\text{Este}} = -3.2 \mu\text{T}$   $B_{\text{Abajo}} = 14.9 \mu\text{T}$

### \* Procedimiento Experimental

En este experimento usaremos un campo magnético controlado a través de la corriente en una bobina para conocer la magnitud del campo magnético terrestre. Para varias corrientes observaremos la desviación de la aguja de una brújula y del análisis de datos, arremos válido el principio de superposición, calcularmos la magnitud del campo magnético terrestre.

### Bibliografía:

- en.wikipedia.org/wiki/Compass
- en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s\_magnetic\_field

### \* Análisis Cuantitativo

Cum Veteris Mechanicam in Verum Naturalium investigatione maximi faciunt,  
& recentiores, multis formis substantia libet & qualitatibus occultis, phænomena  
Naturalia ad leges Mathematicas relatae agnoscunt: Vixum est in hoc Tractatu  
Matherin excoleto quatenus ea ad Philosophiam spectat.

Cum Veteris Mechanicam in Verum Naturalium investigatione maximi faciunt,  
& recentiores, multis formis substantia libet & qualitatibus occultis, phænomena  
Naturalia ad leges Mathematicas relatae agnoscunt: Vixum est in hoc Tractatu

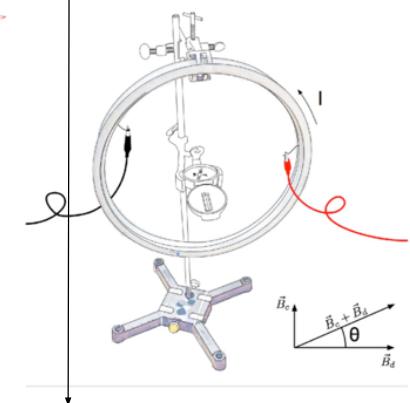
55

Incluir todos los parámetros necesarios para reproducir las condiciones experimentales

56

### \* Análisis Cuantitativo

$I/A$ $\pm 0.0$	$\theta/^\circ$ $\pm 2$	$\tan\theta$	$\Delta(\tan\theta)$
0.20	14	0.25	0.04
0.40	30	0.58	0.05
0.60	45	1.00	0.07
0.80	54	1.4	0.1
1.00	58	1.6	0.1
1.20	64	2.1	0.2
1.40	70	2.7	0.3
1.60	72	3.1	0.4



$$\text{Radio del aro} = R = (0.15 \pm 0.0) \text{ cm}$$

$$\text{Num. vueltas} = N = 7.25$$

$$\text{Regresión Lineal } \tan\theta = mI + b$$

$$\text{de } \tan\theta \text{ vs. } I$$

$$m = (2.1 \pm 0.2) \text{ A}^{-1}$$

$$b = -0.24 \pm 0.03$$

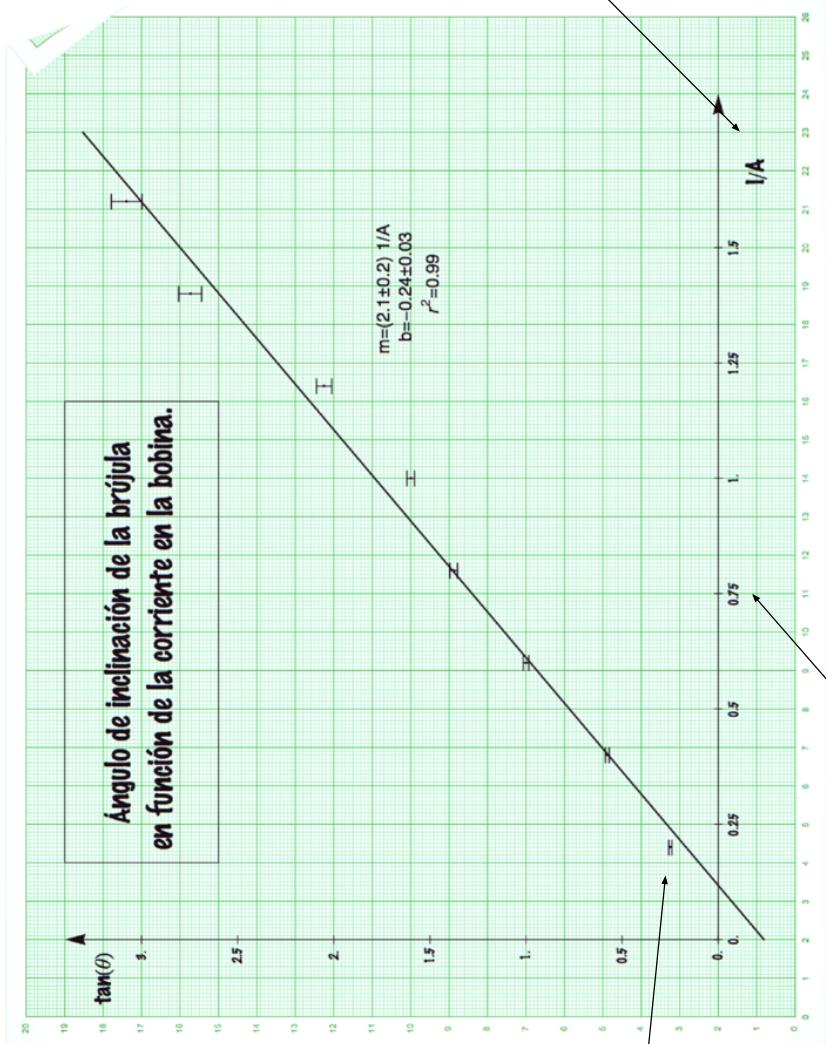
$$r^2 = 0.99$$

$$\text{De acuerdo al modelo } m = \frac{\mu_0}{B_T 2R} \Rightarrow B_T = \frac{\mu_0}{2mR}$$

$$B_T = (15. \pm 2) \mu\text{T}$$

Los parámetros de las regresiones deben tener unidades y estar acompañados del coeficiente de determinación

Ambos ejes deben estar rotulados e incluir las unidades.



57

58

Las conclusiones hacen referencia a los objetivos y deben estar argumentadas con lo obtenido en el experimento.

### \* Conclusiones

- El comportamiento lineal de nuestra gráfica es acorde con el relación de proporcionalidad directa entre corriente y campo magnético, y el principio de superposición.
- Encontramos que la magnitud de la componente horizontal del campo geomagnético en la ubicación del laboratorio es de  $(15 \pm 2) \mu T$ . Este resultado no es compatible con el valor del WMM, sin embargo este modelo no tiene en cuenta perturbaciones locales, así podría estar la razón de la discrepancia.

Las escalas deben estar elegidas de tal manera que los datos queden bien distribuidos en ambas direcciones.

Las firmas al final del informe certifican las personas encargadas de su elaboración y son premonitorias del estado legal que puede llegar a tener una bitácora de laboratorio.

Si la incertidumbre en los datos es significativa los puntos deben estar acompañados por barras de error.

## Normas generales

- \* Los cuadernos de laboratorio nunca deben ser sacados del laboratorio.
- \* Está prohibido comer al interior del laboratorio.
- \* Toda ausencia debe ser justificada con algún documento dentro de los 8 días hábiles posteriores a la ausencia. Toda falla no justificada implica una calificación de 0 en la práctica correspondiente. Tres fallas no justificadas implican una calificación de 1.5 en la definitiva del curso.
- \* Las maletas deben estar colgadas en los ganchos de las mesas.
- \* Respetar el horario: las clases duran exactamente 1 hora y 50 minutos, comenzando a la hora en punto. El salón debe quedar desocupado 10 minutos antes de la siguiente clase.
- \* Atender con cuidado las indicaciones de los asistentes del laboratorio.
- \* Dejar ordenada la mesa de trabajo.

## EXPERIMENTO 1

# Calor específico de sólidos: ley de Dulong-Petit

### Objetivos

- \* Determinar el calor específico de diferentes sustancias sólidas y compararlos a la luz de la ley de Dulong-Petit.
- \* Familiarizarse con los instrumentos utilizados en el estudio de fenómenos térmicos.

### Introducción

En este experimento determinamos el calor específico de diferentes sustancias sólidas observando el efecto en temperatura que tiene la transferencia de calor entre ellas y un cuerpo térmico de referencia. El cuerpo térmico de referencia está compuesto de un calorímetro y agua en su interior. Ponemos al sistema calorímetro-agua en contacto con la sustancia en estudio, y las mediciones de temperatura y masa nos permiten determinar el calor específico de la sustancia.

En nuestros experimentos de calorimetría vamos a usar agua como sustancia térmica de referencia; esto significa que la caloría va a ser nuestra unidad de calor, y  $\frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$  la unidad para calores específicos. Más adelante en el curso determinamos el equivalente mecánico del calor, y más adelante aún su equivalente eléctrico; después de ello tendremos argumentos experimentales suficientes para aceptar al calor como otra de las manifestaciones de la energía.

Además de determinar los calores específicos también queremos poner a prueba la ley de Dulong-Petit la cual afirma que el calor específico de diferentes sólidos cuando se calculan por mol no se encuentran muy lejanos a  $3R$ , donde  $R = 1.987 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ\text{C}}$  es la constante de los gases.

El calorímetro que utilizamos limita el intercambio de calor entre los objetos que contiene y el ambiente; sin embargo,

el intercambio de calor entre el calorímetro y estos objetos puede ser significativo, y en consecuencia el análisis correcto de los datos obtenidos supone determinar la capacidad térmica del calorímetro  $C_c$ .

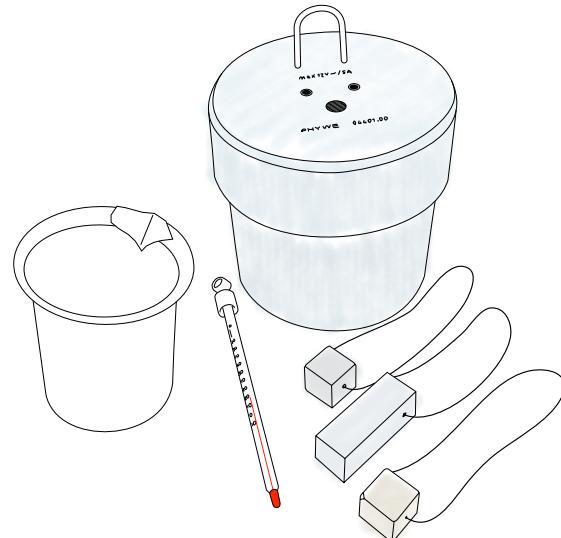


Figura 1.1

### Materiales

- \* Calorímetro **PHYWE 04401.00**
- \* Termómetro
- \* Agua
- \* Horno microondas
- \* Bloques de aluminio, acero, y bronce
- \* Balanza

## Teoría

**Ley de Dulong-Petit.** Temperatura. Calor específico. Transferencia de calor.

- \* En términos del calor específico  $c_a$  del agua líquida, la temperatura inicial del calorímetro  $T_c$ , la temperatura del agua caliente vertida  $T_a$ , la temperatura de equilibrio  $T_f$  y la masa de agua caliente añadida  $m_a$ , encuentre la expresión a utilizar para calcular la capacidad térmica del calorímetro  $C_c$ .
- \* En términos de la temperatura final de equilibrio  $T_f$ , la temperatura inicial del calorímetro  $T_c$ , la temperatura inicial del sólido  $T_i$ , la masa del sólido  $m_s$ , la masa del agua  $m_a$ , y la capacidad térmica del calorímetro  $C_c$  encuentre la expresión a utilizar para calcular el calor específico  $c$  de la sustancia en estudio.
- \* Consultar la masa molar del hierro, el cobre y el aluminio.

## Procedimiento

Para encontrar la capacidad térmica  $C_c$  del calorímetro primero lo llenamos con agua fría, esperamos de 1 a 2 minutos y tomamos la temperatura del agua; esta es también la temperatura inicial del calorímetro  $T_c$ . Retiramos el agua fría del calorímetro y vertimos inmediatamente agua caliente con temperatura conocida  $T_a$ . Tapamos el calorímetro, esperamos a que llegue a su estado de equilibrio térmico, y medimos la temperatura final  $T_f$  y la masa de agua  $m_a$  dentro del calorímetro.

Para determinar el calor específico  $c$  de alguna sustancia primero llenamos el calorímetro con agua fría de masa  $m_a$ , esperamos de 1 a 2 minutos y medimos la temperatura inicial  $T_c$ . Medimos la masa  $m_s$  de la sustancia. En un recipiente calentamos una buena cantidad de agua (¡precaución!), sumergimos en ella al sólido y esperamos un minuto. Medimos la temperatura del agua  $T_s$  e inmediatamente después trasladamos el sólido al calorímetro, lo tapamos, y cuando se llegue al equilibrio térmico medimos la temperatura final  $T_f$ . En la medida de lo posible intentamos que el sólido entre seco al calorímetro.

## Análisis cualitativo

- \* Hacer un diagrama donde se indiquen todos los procesos térmicos que se llevan a cabo dentro del calorímetro en el procedimiento que determina los calores específicos.

\* Cuando medimos  $T_s$  lo que nos interesa es la temperatura del sólido pero medimos en vez la temperatura del agua caliente, ¿por qué?

\* Proponer al menos una forma alternativa para estimar la capacidad térmica del calorímetro.

## Análisis cuantitativo

Determinar la capacidad térmica del calorímetro y encontrar el calor específico de las tres sustancias disponibles.

Calcular los calores específicos por mol suponiendo que el acero está todo compuesto de hierro, y que el bronce está compuesto solo de cobre. En todos los casos calcular la diferencia porcentual con el valor  $3R$  propuesto por la ley de Dulong-Petit y con los valores aceptados. En la comparación con los valores aceptados identifique si el resultado experimental es compatible e identifique posibles causas de error.

$$c_{\text{Fe}} = \left( 0.107 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} \right)$$

$$c_{\text{Al}} = \left( 0.216 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} \right)$$

$$c_{\text{Cu}} = \left( 0.0917 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} \right)$$

## EXPERIMENTO 2

# Calor latente del agua

### Objetivos

- \* Determinar para el agua el calor latente de fusión y el de vaporización.

- \* Estufa
- \* Matraz de Erlenmeyer
- \* Balanza
- \* Pinzas

### Introducción

En este experimento estudiamos el calor involucrado en los cambios de fase del agua.

Para determinar el calor latente de fusión dejamos que un trozo de hielo de masa y temperatura inicial conocidas se derrita al interior de un calorímetro. Los cambios de temperatura nos permiten calcular los calores involucrados, y con ellos y la masa del hielo, podemos calcular el calor latente. Es necesario tener presente que el agua del hielo, una vez derretida, también gana calor para llegar a la temperatura final de equilibrio.

Para determinar el calor latente de vaporización calentamos con una estufa el agua contenida en un matraz. Mientras se lleva el agua al punto de ebullición registramos la temperatura en función del tiempo, y con ello estimamos la potencia de calor suministrada por la estufa. Cuando comience la ebullición determinamos la masa de vapor producido en función del calor entregado, y a partir de ello calculamos el calor latente.

Al igual que en el experimento anterior nuestra unidad de calor va a ser la caloría y en consecuencia los calores latentes deben quedar reportados en  $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$ .

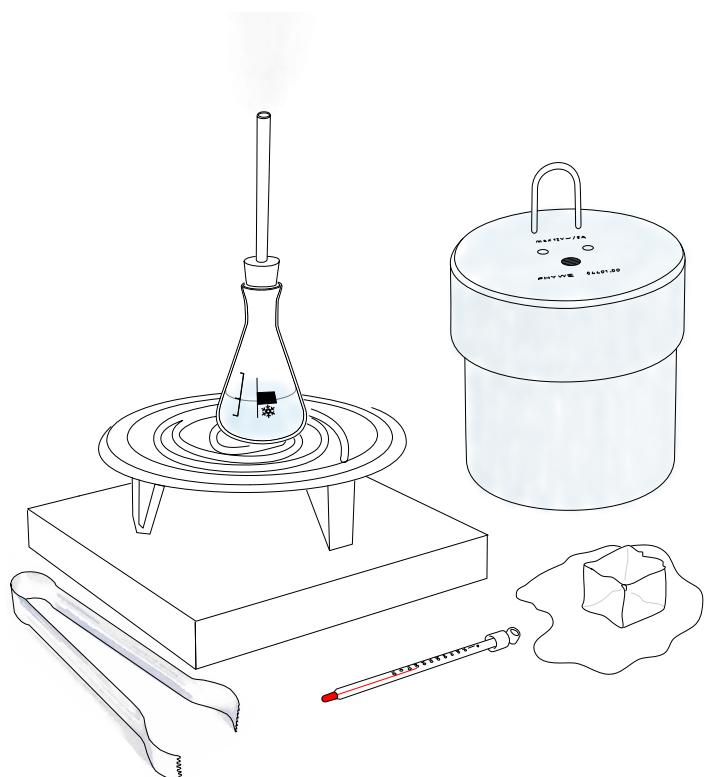


Figura 2.1

### Materiales

- \* Calorímetro **PHYWE 04401.00**
- \* Termómetro
- \* Cronómetro
- \* Hielo
- \* Agua líquida

### Teoría

Conceptos de temperatura, calor latente y transferencia de calor. Ecuación de balance de calor para un proceso que involucra cambio de fase.

- \* En términos de la masa de hielo  $m_h$ , la masa de agua  $m_a$  al interior del calorímetro, la capacidad térmica

del calorímetro  $C_c$ , la temperatura inicial  $T_i$  del sistema agua-calorímetro, y la temperatura final de equilibrio  $T_f$ , encontrar la ecuación que permite encontrar el calor latente de fusión  $\mathcal{L}_F$ . Asumir que el hielo parte de una temperatura de  $0^\circ\text{C}$ .

- \* Especifique la forma en la que puede determinarse con los datos experimentales la potencia  $P$  de calor suministrado por la estufa.
- \* En una gráfica de calor suministrado contra masa de agua evaporada, ¿a qué corresponde el calor latente de vaporización?

## Procedimiento

Para medir el calor latente de fusión  $\mathcal{L}_F$  primero llenamos el calorímetro con agua tibia ( $\approx 40^\circ\text{C}$ ) de masa  $m_a$ , esperamos un minuto a que el agua y el calorímetro lleguen al equilibrio térmico, y medimos la temperatura inicial  $T_i$ . Añadimos hielo con masa  $m_h$  y temperatura conocidas (el hielo debe dejarse unos minutos por fuera del congelador para que su temperatura sea de  $0^\circ\text{C}$  y no menor), tapamos el calorímetro, esperamos a que se establezca el equilibrio térmico y medimos la temperatura de equilibrio  $T_f$ .

Para medir el calor latente de vaporización primero determinamos la masa del matraz. Luego vertimos en él aproximadamente 70 mL de agua, determinando con la balanza la cantidad precisa. Prendemos la estufa, esperamos un minuto a que llegue a su temperatura de operación, ponemos el matraz sobre ella e iniciamos el cronómetro. Determinamos la temperatura del agua a intervalos de un minuto. Cuando el agua comience a hervir retiramos con las pinzas y sumo cuidado el matraz de la estufa sin apagarla, lo pesamos con ayuda de la balanza, y determinamos la masa de agua que llegó hasta ese punto. Volvemos a poner, usando las pinzas, el matraz sobre la estufa, y cuando el agua comience a hervir iniciamos desde cero el cronómetro y dejamos que la evaporación transcurra por un intervalo de tiempo  $\Delta t$  tal que se evaporen más o menos 5 mL de agua; retiramos de nuevo el matraz, pesamos con la balanza, determinamos el vapor de agua producido  $\Delta m_v$  y volvemos a ponerlo sobre la estufa para que se evaporen más o menos 5 mL adicionales; todos estos movimientos hechos con la mayor rapidez y cuidado posibles. Repetimos hasta que se hayan evaporado más o menos 25 mL en total.

Para reducir la variación en la potencia transferida, procuramos poner el matraz siempre en el mismo punto de la estufa.

## Análisis cualitativo

- \* Cuando el agua comience a ebullir observar con detenimiento y describir la forma en la que se producen las burbujas.
- \* Hacer un diagrama cualitativo del flujo de calor en cada uno de los procesos.

## Análisis cuantitativo

Determinar el calor latente de fusión.

Graficar temperatura contra tiempo, calcular los parámetros de la regresión lineal y determinar la potencia  $P$ .

Conocida la potencia, y teniendo en cuenta los intervalos de tiempo  $\Delta t$  y las masas de vapor  $\Delta m_v$  producidas, calcular el calor total suministrado  $Q$  junto con la masa de vapor  $m_v$  correspondiente. Con estos datos, y con la ayuda de una regresión lineal, calcular  $\mathcal{L}_V$ .

$$\mathcal{L}_F = 79.7 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$\mathcal{L}_V = 539 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

## EXPERIMENTO 3

# Dilatación térmica de sólidos

### Objetivos

- \* Comprobar que la longitud de un objeto varía con la temperatura y medir el coeficiente de dilatación lineal del cobre y del aluminio.

### Introducción

En este experimento queremos observar lo que le ocurre a la longitud de tubos de diferente material cuando aumentamos su temperatura. Una vez verificado el hecho de que su longitud aumenta, interpretamos entonces los datos a la luz del modelo de dilatación lineal y calculamos el coeficiente de dilatación lineal promedio.

### Materiales

- \* Tubos de aluminio y de cobre
- \* Soporte para los tubos
- \* Manguera
- \* Agua
- \* Matraz de Erlenmeyer
- \* Estufa
- \* Termómetro
- \* Micrómetro
- \* Soporte universal

### Teoría

Dilatación térmica. Micrómetro.

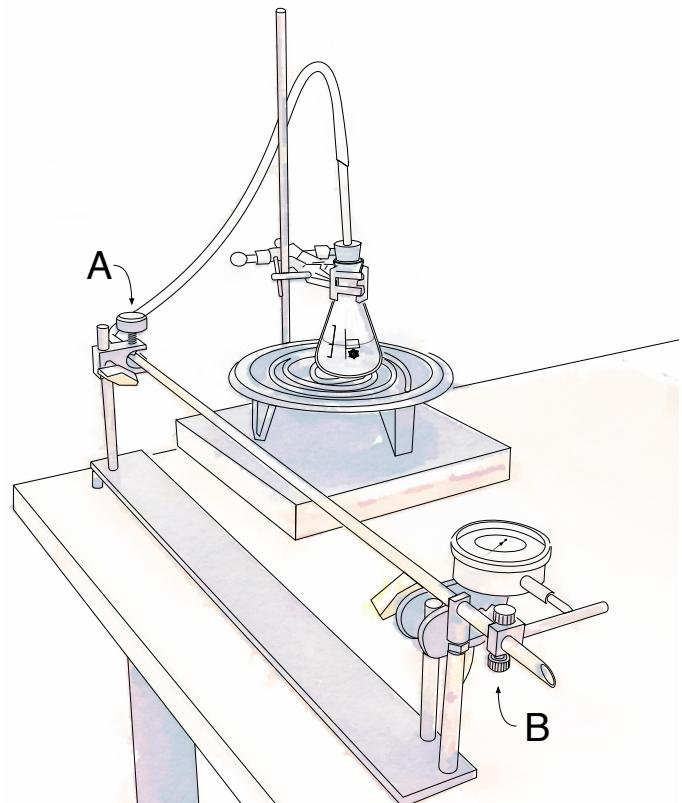


Figura 3.1

### Procedimiento

Cuando sea necesario llevar una varilla a la temperatura ambiente, la bañamos con agua fría de la llave durante algunos segundos y luego la dejamos en contacto con el ambiente durante un par de minutos.

Montamos la varilla en el soporte asegurándonos de que las nueces A y B queden bien apretadas. En A la varilla debe quedar aprisionada sobre la muesca, y en B también solo si el micrómetro queda suficientemente comprimido. Medimos la longitud  $L_0$  de la varilla que queda entre A y B, que claro está no es toda su longitud. Registramos la temperatura ambiente  $T_i$ .

Nos aseguramos de que el micrómetro esté bien fijo y además de que su eje esté en la misma dirección que la del tubo; la punta debe estar comprimida y en contacto con el tope sujeto al tubo.

Calentamos agua usando el matraz como recipiente, lo ponemos sobre la estufa sin prender, y conectamos la manguera. El vapor de agua no debe encontrar ninguna obstrucción.

Movemos el marco del micrómetro para que la aguja coincida con el 0, luego de este punto debemos ser muy cuidadosos de no mover el montaje, ni siquiera en lo más mínimo. Nos aseguramos de saber qué dirección de movimiento de la aguja del micrómetro indica una dilatación.

Prendemos la estufa y dejamos que el agua hierva. Cuando la aguja del micrómetro deje de moverse registramos su lectura, esta es el aumento (o disminución)  $\Delta L$  en la longitud del tubo. Registraremos la temperatura final  $T_f$  de la varilla introduciendo la punta del termómetro en el extremo del tubo por donde sale el vapor de agua. Apagamos la estufa.

La incertidumbre en estos valores aceptados corresponde a las posibles aleaciones del cobre y del aluminio, teniendo en cuenta que no sabemos exactamente cuál es.

## Análisis cualitativo

- \* Además de la medición directa que se hizo de  $T_f$ , ¿de qué otra forma podría saberse la temperatura final sin usar un termómetro? Pensar, ¿con qué está en contacto térmico la varilla?
- \* Al medir la temperatura en un extremo, ¿qué idealización estamos haciendo?
- \* De acuerdo con la forma en la que se movió la aguja, ¿se expandió o se contrajo la varilla?

## Análisis cuantitativo

Para cada material llevar a cabo el procedimiento dos veces, alternando los dos para ayudar a su enfriamiento.

A partir de los datos de cada instancia del procedimiento calcular el coeficiente de dilatación lineal promedio.

Comparar los resultados obtenidos y decidir si son compatibles con los valores aceptados:

$$\alpha_{\text{Al}} = (23.5 \pm 0.3) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{y } \alpha_{\text{Cu}} = (16.5 \pm 0.3) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

## EXPERIMENTO 4

# Dilatación térmica del agua

### Objetivos

- \* Estudiar la dilatación térmica del agua.

### Introducción

En este experimento observamos el efecto que tiene la temperatura sobre el volumen de una muestra de agua. El cambio en volumen es pequeño pero lo hacemos visible forzándolo a presentarse en un tubo delgado.

Dadas las peculiaridades de la dilatación térmica del agua el modelo lineal no es válido en todo el intervalo de temperaturas que vamos a estudiar, en consecuencia tenemos que tener cuidado de interpretar correctamente las mediciones obtenidas.

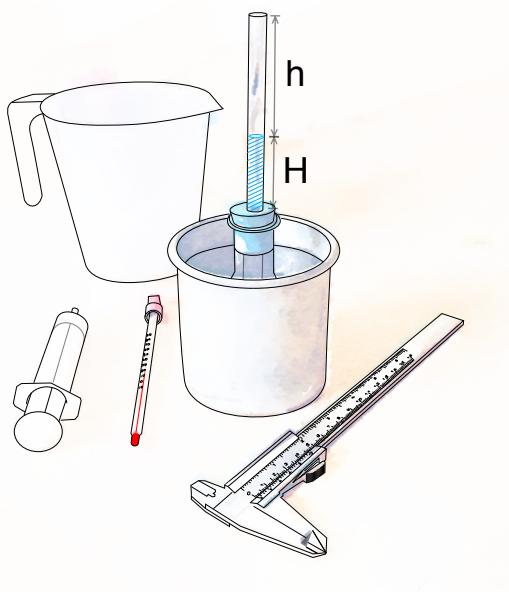


Figura 4.1

### Materiales

- \* Tubo delgado de vidrio
- \* Tapón
- \* Matraz de Erlenmeyer
- \* Agua
- \* Termómetro
- \* Calibrador
- \* Vaso
- \* Balanza
- \* Probeta graduada

### Teoría

Dilatación térmica.

- \* Demostrar que en el modelo de dilatación lineal la relación entre la altura  $H$  (ver figura) de la columna de agua, el cambio de temperatura  $\Delta T = T_f - T_i$ , el volumen inicial  $V_0$ , y el radio  $R$  del tubo, es

$$H = \frac{V_0}{\pi R^2} (\beta_1 - \beta_2) \Delta T.$$

Tener en cuenta tanto la dilatación térmica del agua ( $\beta_1$ ), como la del contenedor ( $\beta_2$ ), pero despreciar la del tubo. Asumir que a la temperatura inicial  $T_i$  el agua está enteramente contenida en el matraz.

- \* Consultar el coeficiente de dilatación volumétrica del vidrio borosilicatado, el material del matraz, y decidir si es o no despreciable.

### Procedimiento

Calentamos agua a una temperatura no inferior a 65°C. Ponemos el matraz al interior del vaso de aluminio vacío y

vertimos en él agua caliente hasta que quede completamente lleno. Ponemos el tapón (que tiene ajustado el tubo) cuidándonos de que quede muy bien fijo y de que al interior del matraz no queden burbujas de aire. Llenamos completamente el tubo con agua caliente. Llenamos casi completamente el vaso con agua caliente; esta agua que rodea al matraz sirve el propósito de **reservorio térmico**.

Disminuimos la temperatura del reservorio térmico añadiendo agua fría o reemplazando algo del agua del reservorio con agua fría; cambios de temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$  son apropiados. Medimos la temperatura del agua al interior del matraz, ¿cómo hacer esto?, y tomamos con el calibrador la distancia  $h$  (ver figura) que indica el nivel del agua dentro del tubo.

Disminuimos repetidamente la temperatura y registramos datos hasta llegar a la temperatura ambiente. Al final, para medir el volumen inicial de la muestra de agua, llenamos el tubo con agua a temperatura ambiente, y con la ayuda de una probeta graduada, o con una balanza, lo determinamos.

## Análisis cualitativo

- \* ¿Cuál es la función del reservorio térmico y como sería un reservorio térmico ideal?
- \* ¿Qué le sucede al agua a medida que la temperatura disminuye? Justificar esta dinámica utilizando argumentos físicos.

## Análisis cuantitativo

Hacer una gráfica de  $h$  contra  $T$ , describirla y compararla con el modelo de dilatación lineal.

Calcular el coeficiente de dilatación a dos temperaturas y comparar con los valores mostrados en la tabla.

Tabla 4.1: Coeficientes de dilatación térmica del agua a una presión de 750 hPa.

$T/{}^{\circ}\text{C}$	$\frac{\beta}{10^{-5}/{}^{\circ}\text{C}}$	$T/{}^{\circ}\text{C}$	$\frac{\beta}{10^{-5}/{}^{\circ}\text{C}}$	$T/{}^{\circ}\text{C}$	$\frac{\beta}{10^{-5}/{}^{\circ}\text{C}}$
1.0	-5.0	31.0	31.3	61.0	52.9
2.0	-3.2	32.0	32.0	62.0	53.6
3.0	-1.6	33.0	32.9	63.0	54.2
4.0	0.0	34.0	33.8	64.0	54.8
5.0	1.6	35.0	34.6	65.0	55.4
6.0	3.1	36.0	35.4	66.0	56.0
7.0	4.6	37.0	36.2	67.0	56.6
8.0	6.0	38.0	37.0	68.0	57.2
9.0	7.4	39.0	37.8	69.0	57.8
10.0	8.8	40.0	38.5	70.0	58.4
11.0	10.1	41.0	39.3	71.0	59.0
12.0	11.4	42.0	40.1	72.0	59.6
13.0	12.7	43.0	40.8	73.0	60.2
14.0	13.9	44.0	41.6	74.0	60.7
15.0	15.1	45.0	42.2	75.0	61.3
16.0	16.2	46.0	43.0	76.0	61.9
17.0	17.4	47.0	43.7	77.0	62.5
18.0	18.5	48.0	44.4	78.0	63.1
19.0	19.6	49.0	45.1	79.0	63.6
20.0	20.7	50.0	45.8	80.0	64.1
21.0	21.8	51.0	46.5	81.0	64.7
22.0	22.7	52.0	47.1	82.0	65.3
23.0	23.7	53.0	47.8	83.0	65.8
24.0	24.8	54.0	48.5	84.0	66.3
25.0	25.8	55.0	49.1	85.0	66.9
26.0	26.7	56.0	49.8	86.0	67.5
27.0	27.6	57.0	50.4	87.0	68.0
28.0	28.5	58.0	51.1	88.0	68.6
29.0	29.4	59.0	51.7	89.0	69.1
30.0	30.4	60.0	52.3	90.0	69.6

## EXPERIMENTO 5

# Gas ideal

### Objetivos

- \* Estudiar la relación entre la presión, el volumen y la temperatura de una muestra de aire.
- \* Estimar el cero absoluto de temperatura.

### Introducción

En este experimento tomamos una muestra de aire con temperatura controlada para determinar el comportamiento de su presión cuando su volumen permanece constante, y el del volumen cuando la presión se mantiene fija. La muestra de aire a estudiar está contenida en un matraz y en un segmento de manguera; el agua sirve el doble propósito de aprisionar la muestra de aire y de servir como testigo de la presión manométrica de la misma. Llamamos "nivel 1" al nivel que está en contacto con la muestra de aire, y "nivel 2" al que está en contacto con el aire del laboratorio.

En el experimento regulamos la temperatura de la muestra de aire modificando la temperatura de un reservorio térmico que rodea al matraz que lo contiene. Para controlar la presión se mueve el extremo libre de la manguera hasta que los dos niveles de agua se igualan, el nivel 1 indica el aumento de volumen del gas. Para controlar el volumen se mueve el extremo libre hasta que el nivel 1 regresa a su posición inicial; la diferencia de los dos niveles señala la presión manométrica del aire.

Con los datos a presión y volumen constantes, hacemos en cada uno una extrapolación para estimar el cero absoluto de temperatura, que en el escenario de presión constante corresponde a la temperatura a la cual el volumen se anula, y que en el caso de volumen constante corresponde a la temperatura a la cual la presión se anula.

### Materiales

- \* Matraz Erlenmeyer con tapón y manguera

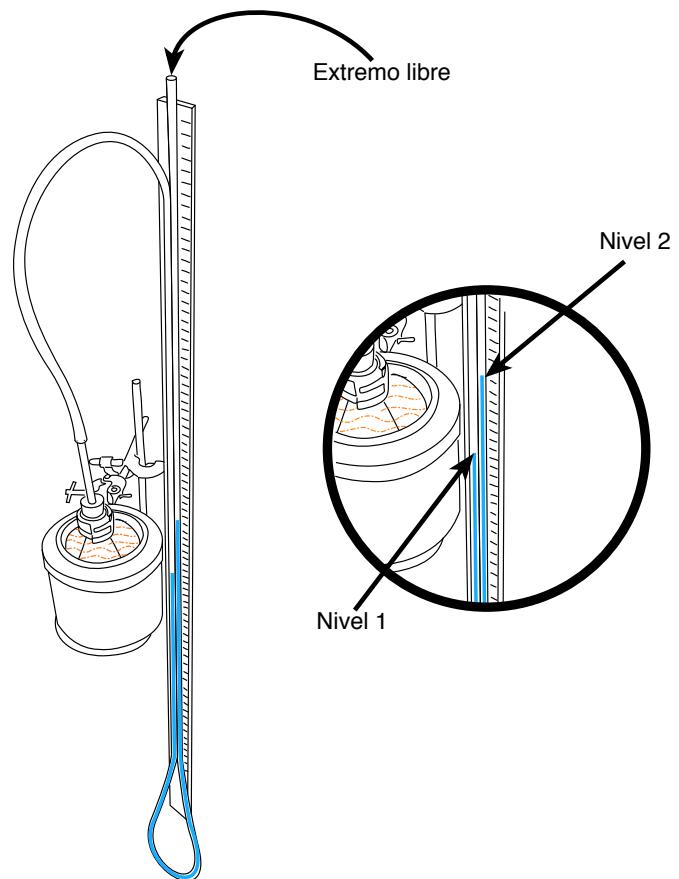


Figura 5.1

- \* Calorímetro
- \* Termómetro
- \* Regla
- \* Agua
- \* Jeringa
- \* Horno microondas
- \* Soporte universal

## Teoría

Presión hidrostática:  $\Delta P = \rho g \Delta h$ . Comportamiento de gases ideales. Cero absoluto de temperatura.

- \* En términos de  $H$  (ver figura 5.2) encontrar la ecuación que representa al volumen total de la muestra de aire. ¿Qué otras dos cantidades además de  $H$  son necesarias?
- \* En términos de  $L$  (ver figura 5.2) y la presión atmosférica en el laboratorio  $P_0$ , encontrar la ecuación para hallar la presión absoluta del gas en el escenario donde el volumen se mantiene constante.
- \* Consultar el valor de la presión atmosférica en Bogotá.

## Procedimiento

La cantidad de agua en la manguera debe ser tal que ocupe entre 50 y 100 cm. Inicialmente el matraz debe estar inmerso en agua fría. Si se tiene disponible un barómetro en el laboratorio usar su lectura para la presión atmosférica, de lo contrario utilice el valor consultado.

Con la manguera desconectada del matraz movemos el extremo libre de la manguera hacia arriba o hacia abajo hasta dejar el nivel inicial cerca del centro de la regla o un poco más abajo. Conectamos con firmeza la manguera al matraz y no la desconectamos durante todo el experimento. Ponemos una gota de agua en el borde del matraz que sirva como indicador de alguna fuga. Al conectar la manguera los dos niveles cambian un poco, volvemos a igualarlos manipulando el extremo libre, una vez igualados registramos la altura correspondiente en la regla; esta será la altura de referencia (ver Ref. en figura 5.2) para todo el experimento.

Añadimos al calorímetro 10 o 15 cm<sup>3</sup> de agua caliente y revolvemos. Lo ideal es que la temperatura aumente aproximadamente 1°C. Cuando la temperatura de la muestra de aire se equilibre, hacemos tres mediciones:

- A La temperatura del reservorio térmico, que la suponemos igual a la temperatura de la muestra de aire.
- B Bajamos el extremo libre de la manguera hasta que se igualen los dos niveles de agua y registramos  $H$ . Esto es para medir la variación del volumen manteniendo constante la presión.
- C Luego subimos el extremo libre hasta que el nivel 1 vuelva a coincidir con la altura de referencia y registramos  $L$ . Esto es para medir la variación de la presión manteniendo constante el volumen.

Repetir los pasos anteriores, obteniendo mediciones para 8 o 10 temperaturas diferentes (por ejemplo, entre 18°C y 35°C).

Para analizar los datos además es necesario saber el volumen de la muestra de gas (en el análisis a volumen constante), ¿de qué forma podría medirse?

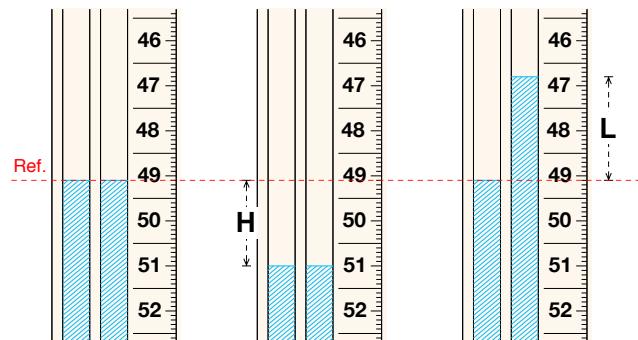


Figura 5.2: En el estudio de la muestra de aire a presión constante deben igualarse los dos niveles bajando el extremo libre de la manguera. En el estudio a volumen constante se debe subir hasta que el nivel 1 regrese a la altura de referencia.

## Análisis cualitativo

- \* ¿Cómo se comporta el volumen al aumentar  $T$  y mantener constante  $P$ ?
- \* ¿Cómo se comporta la presión al aumentar  $T$  y mantener constante  $V$ ?
- \* ¿Cómo podría modificarse el montaje experimental para estudiar un rango más amplio de temperaturas?

## Análisis cuantitativo

Con los diferentes  $H$  del estudio a presión constante calcular el volumen total del gas a las diferentes temperaturas. Elaborar la gráfica de volumen contra temperatura, y encontrar la regresión lineal correspondiente. Con el resultado de la regresión lineal extrapolar la temperatura para la cual el volumen se anularía.

Con los diferentes valores de  $L$  en el escenario de volumen constante calcular la presión absoluta (barométrica) para cada temperatura. Graficar presión contra temperatura, y además encontrar la regresión lineal correspondiente. Con el resultado de la regresión lineal, extrapolar la temperatura para la cual la presión se anularía.

## EXPERIMENTO 6

# Equivalente mecánico del calor

### Objetivos

- \* Investigar la relación entre calor y trabajo mecánico.
- \* Estimar el factor de conversión entre julios y calorías.

### Introducción

En este experimento observamos los efectos térmicos en un cilindro de aluminio en rotación cuando una cuerda desliza a su alrededor. El experimento argumenta a favor de la equivalencia entre calor y trabajo mecánico, y es una adaptación del famoso [experimento de Joule](#) (1843).

Por un lado determinamos el trabajo mecánico que la fricción ejerce sobre el cilindro, y por otro lado el calor que el cilindro recibe a medida que se calienta. Haciendo equivalente el trabajo mecánico al calor transferido calculamos el factor de conversión correspondiente.

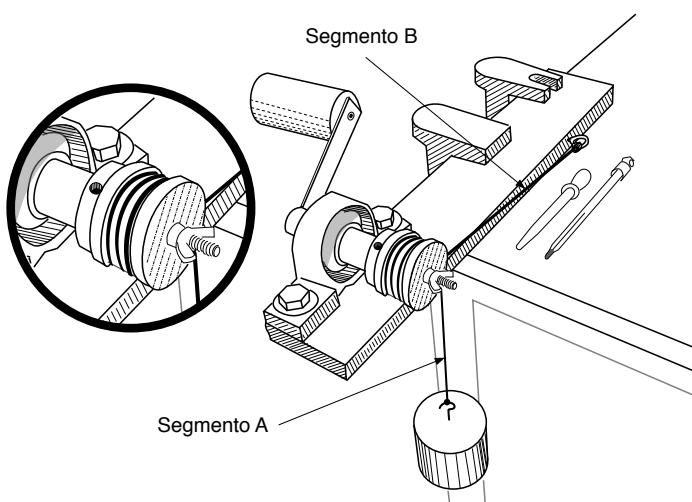


Figura 6.1

El trabajo mecánico depende de la tensión en los puntos donde la cuerda entra en contacto con el cilindro, del radio del cilindro, y del número de vueltas en que el cilindro ha rotado. La tensión en el segmento A de la cuerda se

puede encontrar considerando la condición de equilibrio mecánico sobre la pesa que cuelga de ella. La tensión en el segmento B puede hacerse despreciable si la cuerda da tres o cuatro vueltas alrededor del cilindro.

El calor transferido al cilindro puede determinarse a partir de su capacidad térmica y del cambio en su temperatura. Además del calentamiento del cilindro también ocurren otros procesos térmicos que no incluimos en nuestro análisis.

### Materiales

- \* Cilindro de aluminio giratorio con soporte
- \* Pesas de 1 y 2 kg
- \* Cuerda
- \* Termómetro
- \* Gotero con agua

### Teoría

Equilibrio de fuerzas. Trabajo. Fricción cinética. [Ecuación de Euler-Eytelwein](#). Calor específico.

- \* Encontrar la ecuación que permite calcular el trabajo  $W_f$  hecho por la fuerza de fricción sobre el cilindro en términos del radio  $R$  del cilindro, las tensiones  $T_A$  y  $T_B$  (consultar la ecuación de Euler-Eytelwein), y el número  $N$  de vueltas en las que gira el cilindro.
- \* ¿Qué ecuación debe emplearse para determinar el calor absorbido por el cilindro?

### Procedimiento

Para medir la temperatura del cilindro primero ponemos una gota de agua en el orificio que el cilindro tiene en su borde, luego introducimos el termómetro y tomamos su

lectura. El agua solo es para mejorar el contacto térmico entre el termómetro y el cilindro. ¡No olvidar sacar el termómetro!

Primero enrollamos la cuerda alrededor del cilindro por unas tres vueltas, luego elegimos un conjunto de pesas y lo colgamos de la cuerda, siendo el total mayor o igual a 2 kg.

Medimos la temperatura inicial del cilindro.

Comenzamos a girar la manivela, no muy rápido y tampoco muy lento, y usando en toda la toma de datos la misma rapidez. La cuerda debe deslizar sobre el cilindro y no debe enrollarse más. Si el segmento B de la cuerda está tenso hay que aumentar el número de vueltas que la cuerda está enrollada alrededor del cilindro (o girar más rápidamente), y si la cuerda se enrolla más cuando se gira la manivela entonces hay que disminuirlo (o girar más lentamente).

Giramos la manivela un número de vueltas determinado (por ejemplo 150), nos detenemos, y volver a medir la temperatura del cilindro.

Continuamos dando vueltas a la manivela a intervalos regulares, haciendo las mediciones de temperatura del cilindro hasta reunir un total de siete pares de datos.

**⚠ Precaución:** no permitir que se moje la cuerda.

Poner todo en una tabla con cuatro columnas: número total de vueltas  $N$ , temperatura  $T$ , trabajo mecánico  $W$ , y calor  $Q$ .

Graficar trabajo (en julios) versus calor (en calorías). ¿Es una recta? Si no lo es, ¿cuál puede ser la causa? De la pendiente de la gráfica obtener el factor de conversión entre julios y calorías. Si encuentra una buena justificación puede hacer la regresión en base a los datos donde la temperatura del cilindro no está muy alejada de la temperatura ambiente.

$$c_{\text{Al}} = 0.216 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}}$$

$$g = 9.77 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

## Análisis cualitativo

- \* Aparte del calentamiento del cilindro de aluminio, ¿qué otros procesos térmicos significativos están en curso?
- \* Para un mismo número de vueltas de la manivela, ¿qué podría hacerse para que los cambios de temperatura del cilindro fueran más grandes?

## Análisis cuantitativo

Medir la masa del cilindro sin desmontarlo, usar el cilindro idéntico disponible. A cada temperatura medida restar la temperatura inicial, obteniendo los  $\Delta T$ . Con estos datos y el calor específico del aluminio, calculamos la cantidad total de calor  $Q$  absorbido por el cilindro a las diferentes temperaturas registradas.

Medir el diámetro del cilindro, y usando la masa total de las pesas empleadas, calcular el trabajo mecánico hecho sobre el cilindro para los diferentes números totales de vueltas en los que se giró la manivela.

## EXPERIMENTO 7

# Campo eléctrico 1: líneas de campo

### Objetivos

- \* Encontrar y analizar las líneas de campo eléctrico que se establecen entre pares de objetos conductores cargados.
- \* Verificar aspectos del carácter conservativo de los campos eléctricos.

### Introducción

En este experimento observamos con la ayuda de un voltímetro las líneas de campo que se establecen entre pares de objetos cargados. Las sondas del voltímetro están montadas sobre un compás cuya orientación coincide con la dirección de la línea de campo correspondiente cuando la diferencia de potencial registrada máxima (en valor absoluto).

Para las líneas de campo encontradas verificamos si son iguales las sumas de las diferencias de potencial a lo largo de ellas, siendo esto una consecuencia del carácter conservativo de los campos eléctricos, y del comportamiento de campos electrostáticos de objetos conductores.

En el próximo experimento, para los mismos objetos cargados, estudiamos las líneas equipotenciales.

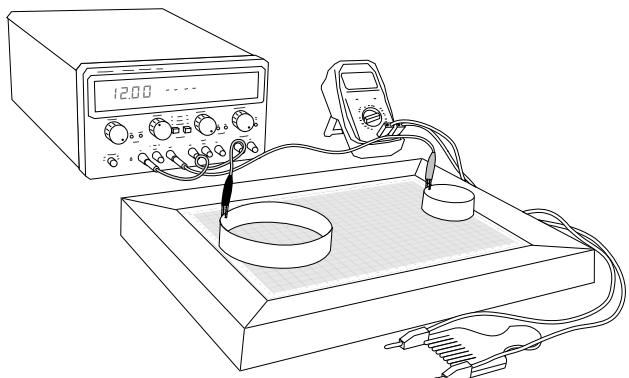


Figura 7.1

### Teoría

Campo eléctrico. Potencial eléctrico. Líneas de campo eléctrico. Voltímetro. Campo conservativo.

- \* ¿Cuáles son las características de los campos eléctricos en la superficie de objetos conductores?
- \* Consulte el [manual de la fuente de voltaje](#), lea la sección "Getting Started" y la subsección "Constant Voltage / Constant Current Crossover"; haga un resumen.

### Procedimiento

### Materiales

- \* Fuente de voltaje DC
- \* Voltímetro
- \* Compás
- \* Objetos conductores de diferentes formas
- \* Cubeta con agua

Ubicamos un par de objetos en la cubeta, cada uno de ellos conectado a uno de los bornes de la fuente de voltaje. Al objeto conectado a la terminal negativa lo llamamos cátodo, y al conectado a la positiva lo llamamos ánodo. La cubeta tiene una delgada capa de agua, posiblemente con algo de sal, que actúa como agente conductor.

Fijamos en el compás las sondas del voltímetro de tal forma que la separación entre ellas sea de más o menos 4 cm. Además nos aseguramos de que el voltímetro esté configurado en DC.

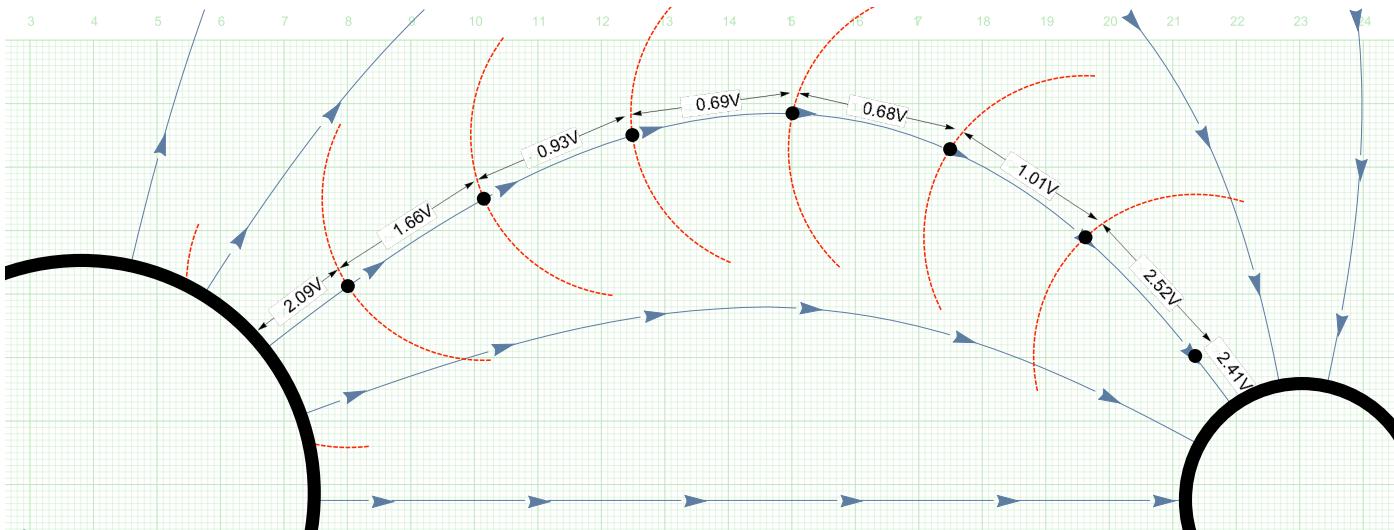


Figura 7.2: Ilustración del procedimiento para encontrar una línea de campo. Los arcos punteados muestran el movimiento de la punta giratoria del compás. Los voltajes de 2.09 V y de 2.41 V son registrados liberando del compás a las sondas.

Sumergimos las sondas del voltímetro en la cubeta comenzando con la sonda COM tan cerca como sea posible al cátodo. La sonda COM se mantiene fija, y la otra se gira hasta que se obtiene la máxima diferencia de potencial; en este instante la orientación del compás coincide aproximadamente con la orientación de la línea de campo en esa región. Registramos en una reproducción a escala 1:1 las posiciones de las sondas y la diferencia de potencial. Luego desplazamos la sonda COM al lugar donde en el paso anterior terminó la sonda giratoria, y repetimos el procedimiento hasta llegar tan cerca como sea posible al ánodo.

Para terminar de registrar todas las diferencias de potencial cuando vamos del cátodo al ánodo, liberamos del compás a las sondas del voltímetro, medimos la diferencia de potencial entre la superficie del cátodo y la posición donde se ubicó por primera vez la sonda COM; también medimos la diferencia de potencial entre la superficie del ánodo y la posición donde quedó por última vez la sonda giratoria.

## Análisis cuantitativo

Hacer en papel milimetrado una reproducción a escala del área de la cubeta indicando la posición de los electrodos. Seguir el procedimiento experimental y ubicar 4 líneas de campo. Trazar las líneas de campo uniendo los puntos con curvas suaves.

Para cada línea de campo sumar los voltajes y comparar el resultado con la diferencia de potencial ofrecida por la fuente.

Elegir una línea de campo, y en ella un par de puntos consecutivos, en uno de ellos dibujar el vector campo eléctrico asociado, y anotar a su lado la magnitud del campo eléctrico. Para calcularla tiene que medir una cantidad adicional; ¿cuál?

Repetir todo para otro par de objetos.

## Análisis cualitativo

- \* ¿Por qué se puede asegurar que es en la dirección de máxima diferencia de potencial (en valor absoluto) que se extienden las líneas de campo?
- \* ¿Cómo se comportan las diferencias de potencial medidas a medida que los puntos de observación se alejan de los objetos cargados? ¿Qué indica esto sobre el campo eléctrico?

## EXPERIMENTO 8

# Campo eléctrico 2: líneas equipotenciales

### Objetivos

- \* Establecer para dos distribuciones de carga algunas de las líneas equipotenciales del campo eléctrico que se establece entre ellas.
- \* Determinar la relación que existe entre líneas de campo y superficies equipotenciales.

### Introducción

En este experimento exploramos las líneas equipotenciales, una alternativa a las líneas de campo para la descripción de campos eléctricos. Para tal efecto empleamos un montaje experimental similar al usado en el experimento de líneas de campo, y añadimos líneas equipotenciales a los diagramas de líneas de campo hechos anteriormente.

La mayor facilidad con la que se toman los datos, en comparación con la situación encontrada en el experimento sobre líneas de campo, ilustra la ventaja de usar escalares en vez de cantidades vectoriales para la descripción de campos eléctricos.

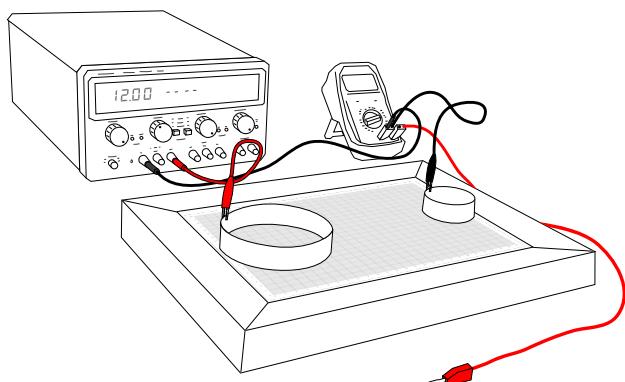


Figura 8.1

### Materiales

- \* Fuente de voltaje DC
- \* Voltímetro
- \* Objetos conductores de diferentes formas
- \* Cubeta con agua
- \* Papel milimetrado

### Teoría

Líneas equipotenciales.

- \* ¿Cuál es el comportamiento del potencial eléctrico en la superficie de objetos conductores?

### Procedimiento

El montaje experimental es similar al usado en el experimento de líneas de campo; la única diferencia está en las conexiones del voltímetro: antes el voltímetro estaba conectado a un compás que se sumergía en el agua, ahora se tiene la sonda COM conectada al cátodo, y la otra sonda, libre. Al igual que antes el voltímetro debe estar configurado en DC.

Al sumergir la sonda libre en el agua, la lectura del voltímetro va a indicar la diferencia de potencial entre el cátodo y el punto en el que está sumergida la sonda libre.

Ubicamos en la misma posición de antes alguno de los pares de objetos para los que encontramos líneas de campo en anterior práctica, también fijamos la misma diferencia de potencial usada en ese entonces.

Para encontrar la línea equipotencial correspondiente a cierto nivel de voltaje desplazamos dentro del agua la sonda libre buscando puntos para los cuales la diferencia de potencial sea la deseada y registramos su posición en el papel milimetrado. Finalmente unimos los puntos con una línea suave para obtener la línea equipotencial.

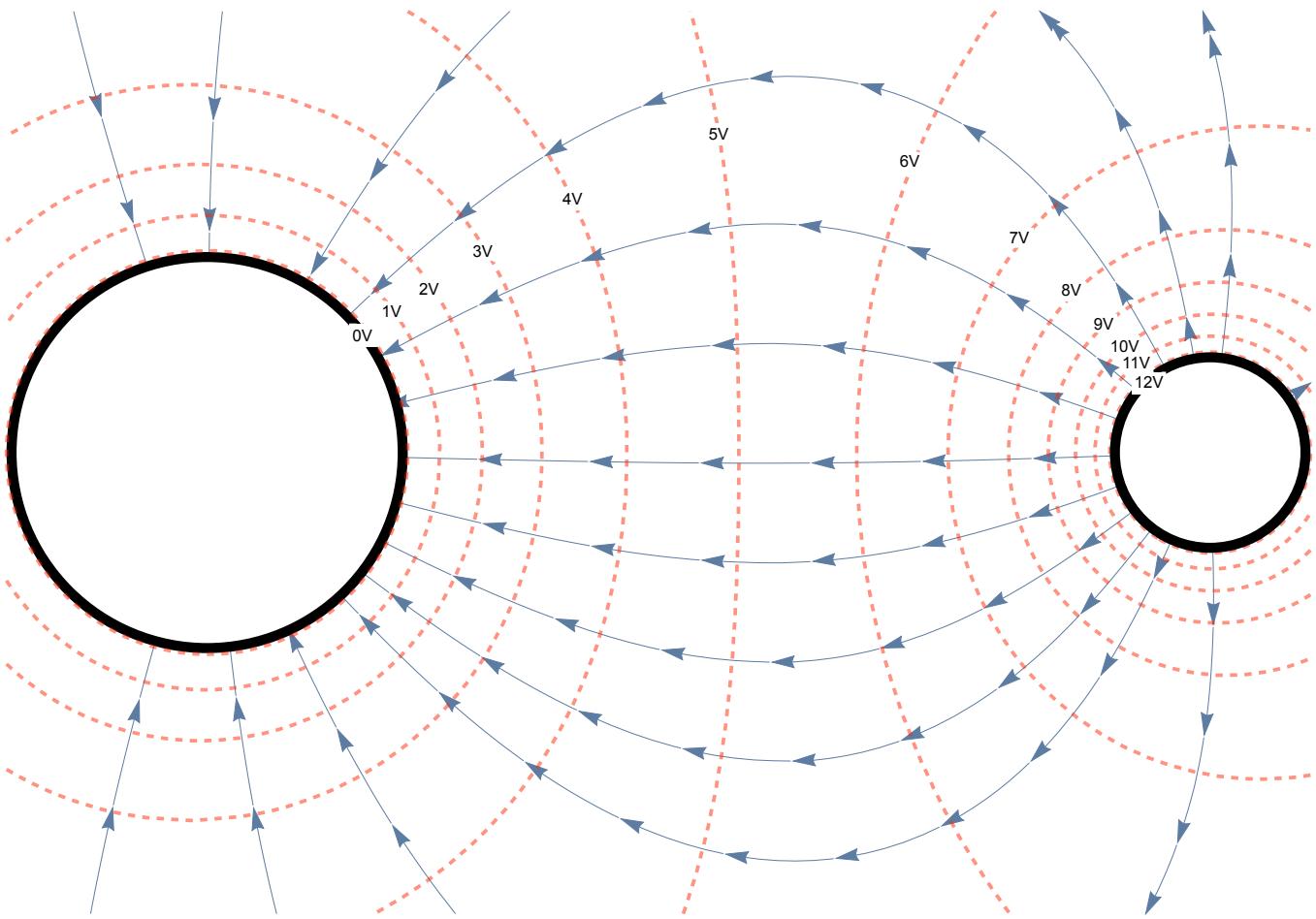


Figura 8.2

## Análisis cualitativo

- \* Una vez encontradas las líneas equipotenciales para las dos configuraciones de carga, describir su comportamiento y explicarlo en términos físicos.

## Análisis cuantitativo

Sobre la misma reproducción a escala que se hizo en el experimento sobre líneas de campo ubicar al menos 7 líneas equipotenciales. Determinar si las superficies de los electrodos definen líneas equipotenciales. Para cada línea equipotencial asegurarse de registrar el potencial correspondiente.

Hacer el mismo procedimiento y análisis para el segundo par de objetos.

# EXPERIMENTO 9

## Ley de Ohm

### Objetivos

- \* Evaluar la ley de Ohm en diferentes elementos electrónicos (diodo y resistencia).
- \* Comprobar las reglas de composición de resistencias (en serie y en paralelo).

### Introducción

En este experimento queremos determinar si diodos y resistencias satisfacen la ley de Ohm estudiando en ellos el comportamiento de la corriente  $I$  en función de la diferencia de potencial eléctrico  $V$ . Por otro lado también nos proponemos estudiar la resistencia equivalente de resistencias conectadas en diferentes configuraciones.

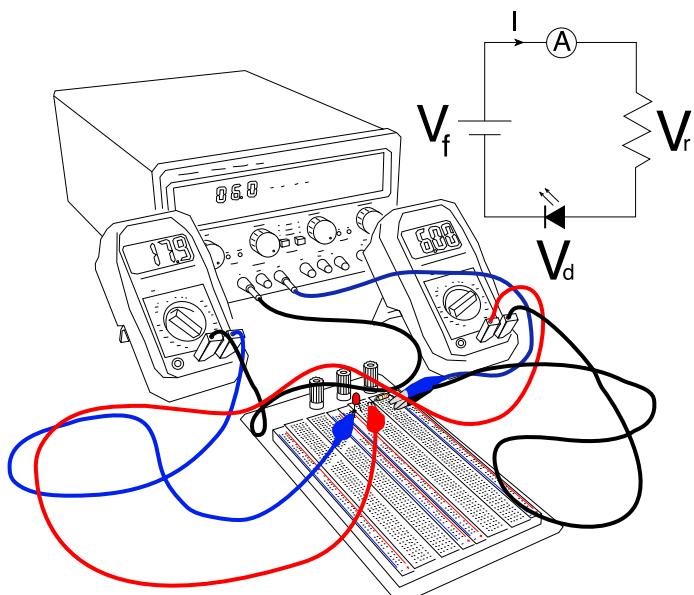


Figura 9.1

### Materiales

- \* Voltímetro
- \* Amperímetro
- \* Óhmetro
- \* Resistencias
- \* Fuente de voltaje DC
- \* Placa de pruebas (protoboard)
- \* LED

### Teoría

Ley de Ohm. Resistencia eléctrica. LED. Código de colores para resistencias. Resistencia equivalente para combinaciones en serie y en paralelo.

- \* Consultar en el [manual del multímetro](#) las especificaciones técnicas para mediciones de resistencia, voltaje y corriente directa.

### Procedimiento

Tener en cuenta que para medir voltajes las sondas del multímetro deben estar en paralelo al elemento analizado, y que las mediciones de corriente se hacen con el multímetro en serie. Es importante recordar que nuestra fuente de voltaje es DC y en consecuencia el multímetro debe estar también configurado en DC.

Tomamos el LED, una resistencia (que debe ser de más de  $3.0\text{ k}\Omega$ ) y el amperímetro, y los montamos en la placa de pruebas tal y como se muestra en la figura 9.1. La placa de pruebas tiene conexiones internas como se muestra en la figura 9.3. Tener en cuenta que el LED es un elemento con una polaridad definida, es decir, que no da lo mismo conectarlo en una o en otra dirección; su terminal más pequeña debe estar en dirección a la terminal negativa de la fuente.

Primero tomamos los datos de voltaje  $V_r$  y corriente  $I$  sobre la resistencia. Para hacerlo modificamos el voltaje de la fuente entre 0 V y 20.V.

Luego tomamos los datos de corriente y voltaje para el LED. En este caso variamos el voltaje  $V_f$  de la fuente para obtener voltajes sobre el LED entre 0. V y 2. V, registramos las corrientes correspondientes.

Finalmente, para comprobar las reglas de adición de resistencias, construimos al menos cuatro combinaciones que incluyan conexiones en serie y en paralelo. Medimos con el óhmetro la resistencia individual de cada resistor y la resistencia del conjunto.

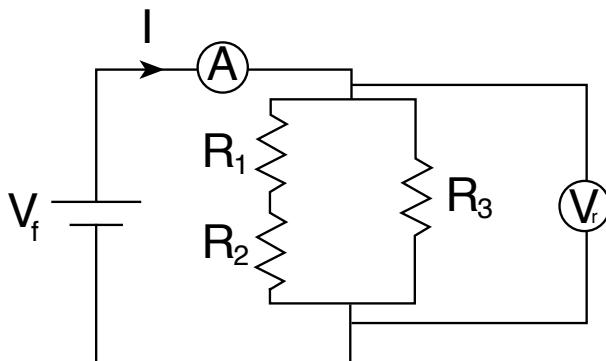


Figura 9.2

## Análisis cualitativo

- \* Apenas termine de tomar los datos para una de las resistencias en las que se estudia la ley de Ohm, tocarla con cuidado y determinar si está o no caliente; dé una explicación para lo que encuentre.

## Análisis cuantitativo

Con los datos encontrados para el LED y la resistencia hacer para cada uno una gráfica de  $V$  contra  $I$ . Decidir en cada caso si se satisface la ley de Ohm y en caso de hacerlo calcular la resistencia por medio de una regresión apropiada.

Con los valores de resistencia individuales y las reglas de composición de resistores, calcular la resistencia equivalente de cada conjunto y en encontrar la diferencia porcentual con el valor experimental.

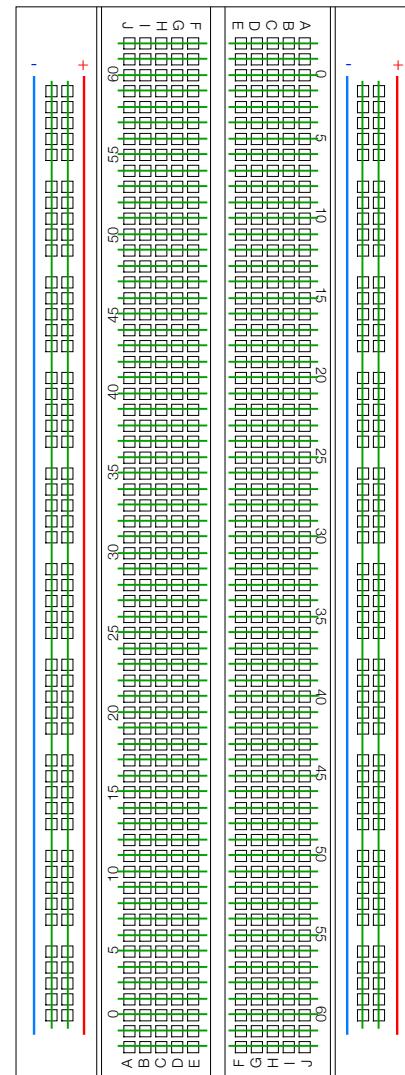


Figura 9.3: Los puntos de la placa de pruebas están conectados internamente a lo largo de las líneas verdes mostradas. En los dos grupos centrales la conexión es a lo largo de las filas y se extiende a lo largo de grupos de a cinco puntos. En los grupos de los lados la conexión se extiende a lo largo de columnas, independientes entre sí.

# EXPERIMENTO 10

## Equivalente eléctrico del calor

### Objetivos

- \* Estudiar la equivalencia entre calor y energía eléctrica.

### Introducción

En este experimento calentamos el agua contenida en un calorímetro por medio de una resistencia eléctrica sumergida en ella. A partir de la corriente  $I$  y la diferencia de potencial  $V$  calculamos la energía eléctrica entregada, y a partir de la temperatura del agua y su masa (y la capacidad térmica del calorímetro) determinamos el calor suministrado. Del análisis de los datos encontramos el factor de conversión necesario para hacer equivalente el calor  $Q$  a la energía eléctrica disipada  $E_e$ .

Vamos a tener disponibles computadores para ayudar al procesamiento de datos y la elaboración de gráficas haciendo uso de hojas de cálculo.

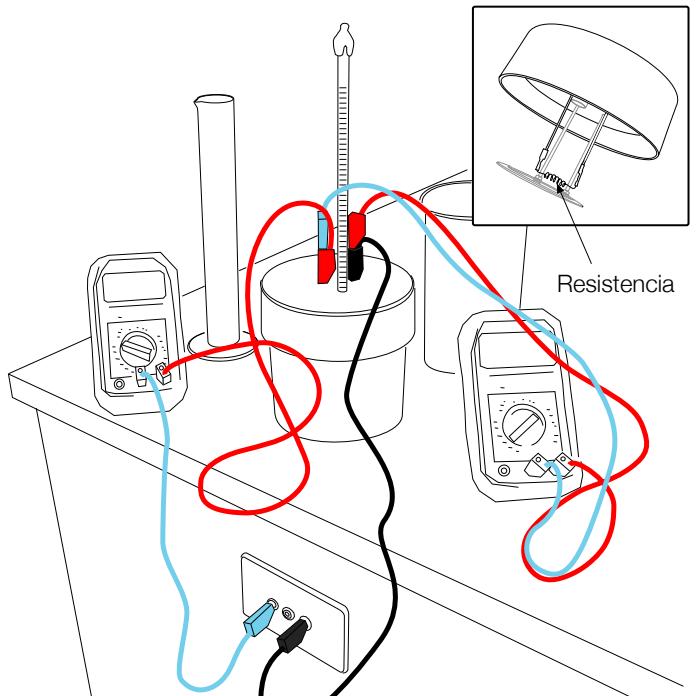


Figura 10.1

### Materiales

- \* Calorímetro
- \* Termómetro
- \* Resistencia eléctrica
- \* Fuente de voltaje AC
- \* Voltímetro
- \* Amperímetro
- \* Cronómetro
- \* Computador

- \* Consultar en el [manual del calorímetro](#) la capacidad térmica del mismo.

### Procedimiento

Llenamos 3/4 el calorímetro con una cantidad de agua de masa conocida  $m_a$  y lo tapamos. Ponemos el termómetro en su sitio y registramos la temperatura inicial del agua. Evitamos que el termómetro quede en contacto directo con la resistencia. Al mismo tiempo iniciamos el cronómetro y el flujo de corriente a través de la resistencia. Registraremos la corriente  $I$  y la diferencia de potencial  $V$  sobre la misma. Para homogeneizar la temperatura al interior del calorímetro revolvemos con cuidado cada minuto (aprox). Registraremos el tiempo total transcurrido, la corriente  $I$  y el voltaje  $V$  cada vez que la temperatura del agua aumente

### Teoría

Potencia disipada en un resistor en términos de voltaje y corriente en el caso AC. Calor específico del agua.

en 4°C, y nos detenemos cuando la temperatura alcance los 50°C.

**⚠ Precaución:** conectar la corriente solo cuando la resistencia esté sumergida en agua, so pena de dañarla.

## Análisis cualitativo

- \* Describa todas las transformaciones de energía que se presentan en el montaje experimental.

## Análisis cuantitativo

Con los datos de temperatura  $T$ , la masa del agua  $m_a$ , y la capacidad térmica del calorímetro  $C_c$ , calcular (en calorías) el calor total  $Q$  recibido por el sistema agua-calorímetro en función del tiempo transcurrido. Además calcular la energía eléctrica disipada  $E_e$  (en julios) calculado por pasos usando los intervalos de tiempo y las potencias correspondientes.

Graficar  $E_e$  contra  $Q$  y con una regresión adecuada determinar experimentalmente el factor de conversión entre julios y calorías.

# EXPERIMENTO 11

## Carga y descarga de un condensador

### Objetivos

- \* Analizar el proceso de carga y de descarga de un condensador en un circuito RC.

### Introducción

En este experimento estudiamos la carga y la descarga de un condensador en un circuito RC analizando el voltaje y la corriente a medida que ocurre cada proceso. Como necesitamos medir rápidamente muchos voltajes usamos un módulo de adquisición de datos que los registra y los envía para su análisis al computador.

El módulo de adquisición de datos mide voltajes con dos pares de sondas: un par mide el voltaje  $V_C$  sobre el condensador, y el otro el voltaje  $V_R$  sobre el resistor. El voltaje  $V_R$  permite encontrar la corriente sobre el condensador por medio de la ley de Ohm.

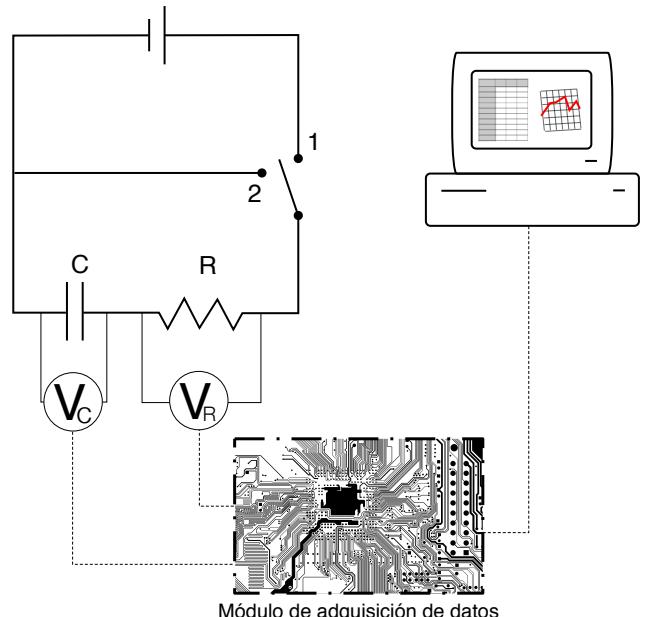


Figura 11.1

### Materiales

- \* Fuente de voltaje DC
- \* Condensador
- \* Resistencia
- \* Comutador
- \* Voltímetro con interfaz a computador
- \* Computador

- \* Reportar las ecuaciones diferenciales, y sus soluciones, que describen el voltaje y la corriente en la carga y descarga de un condensador en un circuito RC.

### Procedimiento

Configuramos en el computador el intervalo de tiempo entre mediciones. En cada proceso deben obtenerse unos 20 datos no triviales, es decir voltajes que varíen significativamente. Si se obtienen muy pocos datos, hay que reducir el intervalo de tiempo. Si se obtienen centenares de mediciones, hay que aumentar el intervalo. El computador construye una tabla con todos los voltajes medidos.

### Teoría

Ley de Ohm. Leyes de Kirchhoff para circuitos. Capacitancia. Energía acumulada en un condensador y potencia disipada por un resistor.

### Carga

Ponemos el conmutador en la posición 2 y esperamos a que el condensador se descargue por completo, luego ordenamos al computador que comience a guardar datos, y poco tiempo después pasamos el conmutador a la posición 1. Esperamos hasta obtener datos suficientes, detenemos la toma de datos, y exportamos a una hoja de cálculo los datos obtenidos.

### Descarga

Ponemos el conmutador en la posición 1 y esperamos a que el condensador se cargue por completo, luego ordenamos al computador que comience a guardar datos, y poco tiempo después pasamos el conmutador a la posición 2. Esperamos hasta obtener datos suficientes, detenemos la toma de datos y exportamos a una hoja de cálculo los datos obtenidos.

## Análisis cualitativo

- \* Describir la forma en la que varían los voltajes. ¿Su variación es constante, siempre igual? ¿Varían linealmente con el tiempo?
- \* ¿Por qué al final del proceso de carga el voltaje del condensador es igual al de la fuente si bien hay una resistencia en serie? ¿Cuál es el papel de la resistencia en ese momento? ¿Cuál es el papel del condensador en ese momento?
- \* ¿De dónde sale la energía para cargar el condensador? ¿Cuál es la energía total almacenada en el condensador al final de la carga? ¿A dónde se va esta energía en el proceso de descarga?

## Análisis cuantitativo

Con el valor nominal de  $R$  calcular en cada caso las corrientes correspondientes.

Graficar voltaje y corriente en función del tiempo en cada proceso. En la carga hacer una regresión apropiada de los datos para la corriente y en la descarga para el voltaje  $V_C$ . Con el resultado de las regresiones deducir el valor de la constante de tiempo  $\tau$  en cada caso y comparar con el valor teórico usando los valores nominales de  $R$  y  $C$ .

# EXPERIMENTO 12

## Fuerza magnética

### Objetivos

- \* Estudiar el efecto que tiene sobre la fuerza magnética la orientación relativa entre el campo magnético y la dirección de la corriente eléctrica.
- \* Determinar la relación entre fuerza magnética y corriente eléctrica.
- \* Medir el campo magnético promedio de un imán a cierta distancia de éste.

### Introducción

En este experimento estudiamos la fuerza que el campo magnético de un imán produce sobre un alambre que lleva corriente. En primer lugar estudiamos la dependencia de la fuerza con la orientación relativa del campo magnético y la dirección de la corriente. En segundo lugar analizamos la dependencia de la fuerza con la corriente que va por el alambre. La fuerza está distribuida de forma complicada a través del alambre, esto nos obliga a hacer solo una estimación de la magnitud del campo magnético pero sin aproximación alguna podemos estudiar la dependencia entre fuerza magnética y corriente.

Para medir los pequeños torques involucrados ( $\approx 10 \mu\text{N} \cdot \text{m}$ ) usamos una balanza. Sobre uno de los brazos de la balanza se aplican torques conocidos y se modifica luego el torque magnético (cambiando la corriente) hasta que los dos se equilibran.

### Materiales

- \* Imán
- \* Balanza de alambre
- \* Fuente de corriente de 4 A DC
- \* Amperímetro
- \* Regla

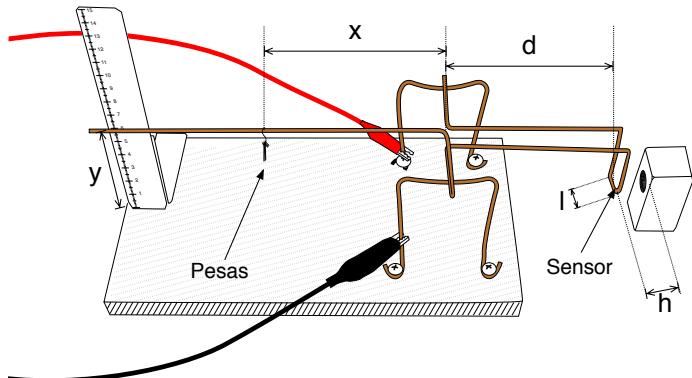


Figura 12.1

- \* Pesas pequeñas ( $\approx 31 \text{ mg}$ )

### Teoría

Torque. Equilibrio rotacional. Ley de fuerza de Lorentz. Imán.

- \* Leer en el [manual de la fuente](#) la sección **Constant Voltage / Constant Current Crossover** y la que sigue a esta. También leer la sección sobre el uso de la fuente en modo paralelo (págs. 22 - 24). Hacer un resumen.
- \* Hacer un resumen sobre las características de un dipolo magnético (imán idealizado) incluyendo un diagrama de las líneas de campo.
- \* Teniendo en cuenta la condición de equilibrio rotacional, ¿cuál es la relación entre el peso  $mg$  de las pesas, el brazo de palanca  $x$ , y la magnitud del torque magnético  $\tau_m$ ?
- \* De acuerdo a la fuerza de Lorentz, ¿cuál es la relación de proporcionalidad entre el torque magnético  $\tau_m$  y la corriente  $I$  del alambre?

## Procedimiento

Fijamos una corriente de  $2.0\text{ A}$  y tomamos nota de su dirección. Acerquemos el imán al segmento horizontal corto (el "sensor") de la balanza de alambre, y observamos la reacción de la balanza. Solo se pueden ver fuerzas que produzcan algún torque sobre la balanza. Acerquemos el imán desde diferentes ángulos, con ambas polaridades, y tomamos nota de los efectos producidos. Determinaremos cuál es el "polo norte", y comprobaremos la dependencia de la fuerza magnética con la dirección relativa entre el campo magnético y la dirección de la corriente.

Como pesas usamos unos pequeños ganchos de alambre cada uno con una masa de  $(31 \pm 1)\text{ mg}$ . Al ser de hierro, las pesas son atraídas por el imán, por eso debemos colocarlas en el brazo opuesto al sensor y orientar el campo magnético de tal manera que el sensor experimente una fuerza hacia abajo.

Reducimos a cero la corriente de la fuente, solo después de eso la apagamos. Dejamos que la balanza se equilibre y tomamos nota de la posición vertical  $y_0$  que la balanza indica sobre la regla: ¡cuidado con errores de paralaje! Ponemos el imán frente al sensor, un poco abajo del eje del mismo y a una distancia entre  $0.5$  y  $1.0\text{ cm}$ .

Ponemos una pesa con un brazo de palanca  $x$  más o menos igual a la mitad de la longitud del brazo de la balanza; registramos  $x$ . Prendemos la fuente y aumentamos lentamente la corriente hasta que la balanza indique nuevamente la misma posición de referencia  $y_0$ . Si en esta primera medición es necesario aumentar la corriente a más de  $1.0\text{ A}$ , entonces volver a comenzar, acercando esta vez un poco más el imán o disminuyendo  $x$ .

De la pesa ya puesta colgamos una adicional, ¡con delicadeza!, y aumentamos nuevamente la corriente hasta que la balanza regrese a  $y_0$ ; nunca cambiar  $x$ . Repetimos el procedimiento hasta cuando se acumulen siete pesas, registrando en cada etapa el número de pesas y la corriente que equilibra la balanza.

**Precaución:** no deformes el alambre ni modifique la posición del eje una vez comience la toma de datos. La posición  $y_0$  de equilibrio de la balanza depende muy sensiblemente de la forma de la balanza y de la ubicación de su eje sobre los soportes.

- \* Cuando el campo magnético y la dirección de la corriente son paralelos, ¿se anula la fuerza?
- \* Para invertir la dirección de la fuerza, además de invertir la dirección del campo magnético, ¿qué otra cosa podría hacerse? Probar.

## Análisis cuantitativo

Teniendo en cuenta la condición de equilibrio rotacional hacer una columna adicional que tenga el torque magnético  $\tau_m$ .

Graficar  $\tau_m$  contra  $I$  y hacer una regresión apropiada.

Medir la longitud horizontal  $l$  del sensor y el brazo de palanca  $d$  (ver figura) y con los resultados de la regresión estimar el campo magnético en la posición del sensor.

## Análisis cualitativo

- \* Cuando se invierte la dirección del campo magnético, ¿se invierte la dirección de la fuerza magnética?

## EXPERIMENTO 13

# Campo magnético terrestre

### Objetivos

- \* Medir la magnitud y dirección del campo magnético terrestre.

### Introducción

En este experimento implementamos un método para determinar un campo magnético desconocido  $\vec{B}_d$  con la ayuda de un campo magnético conocido  $\vec{B}_c$  y una brújula. El campo magnético conocido se produce por una corriente  $I$  que fluye a través de un alambre enrollado alrededor de un aro. La brújula se pone en el centro del aro, y su dirección, junto con lo conocido sobre  $\vec{B}_c$ , permiten inferir la magnitud y dirección de la componente horizontal de  $\vec{B}_d$  en la posición de la brújula, campo magnético cuya principal fuente es el magnetismo de la Tierra.

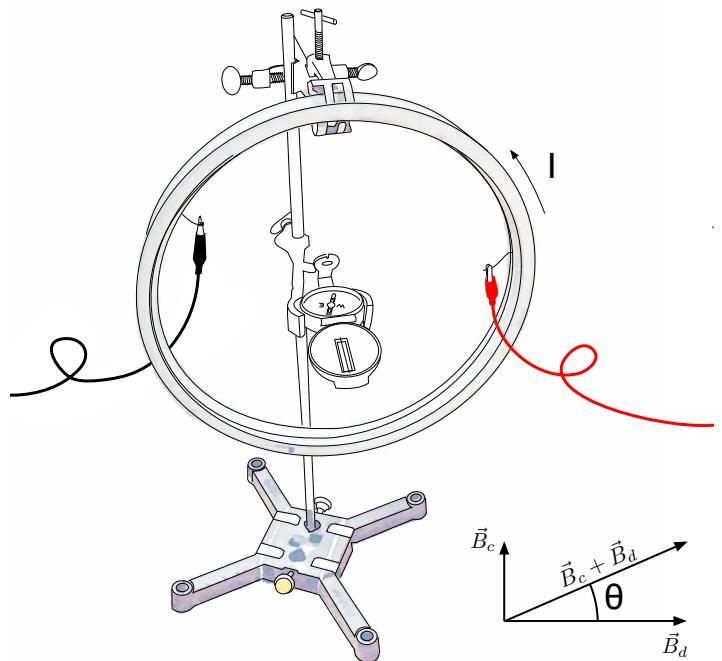


Figura 13.1

### Materiales

- \* Amperímetro
- \* Alambre
- \* Aro de aluminio
- \* Fuente de corriente DC
- \* Brújula
- \* Regla
- \* Soporte universal

- \* Calcule el campo magnético  $\vec{B}_c$  en el centro de un aro de radio  $R$  alrededor del cual está enrollado  $N$  veces un alambre que transporta una corriente  $I$ .

### Teoría

Ley de Biot-Savart. Principio de superposición para campos magnéticos. Campo magnético terrestre. Funcionamiento de una brújula.

- \* Invocando el principio de superposición para campos magnéticos, y suponiendo que el aro se orienta con su diámetro en la dirección de la componente horizontal de  $\vec{B}_d$  (siendo entonces  $\vec{B}_c$  perpendicular a  $\vec{B}_d$ ), encuentre la expresión para la desviación  $\theta$  de la brújula respecto al diámetro del aro cuando circula una corriente  $I$  a través del alambre. La brújula apunta en la dirección horizontal del campo magnético total.

## Procedimiento

Con la fuente de corriente apagada ponemos la aguja de la brújula en el centro del aro. El plano del aro debe estar vertical y su diámetro horizontal orientado en la dirección marcada por la brújula.

Determinamos el número de vueltas  $N$  (puede ser fraccionario) en que el alambre está enrollado alrededor del aro. Medimos el radio  $R$ .

Prendemos la fuente y modificamos la corriente  $I$  para obtener ángulos de desviación  $\theta$  entre  $-60^\circ$  y  $60^\circ$  a intervalos de  $10^\circ$ . ¿Qué puede hacer para hacer que la brújula se desvíe en dirección contraria?

## Análisis cualitativo

- \* ¿Cómo es el comportamiento de la brújula al aumentar la corriente en el alambre? Explique.
- \* En el procedimiento experimental se pide ubicar la brújula en el centro del aro, ¿por qué es esto conveniente?

## Análisis cuantitativo

Dada la relación esperada entre  $I$  y  $\theta$ , ¿qué gráfica debería hacerse para obtener una línea recta? Usando el resultado de una regresión lineal adecuada calcule la magnitud de la componente horizontal del campo magnético desconocido  $\vec{B}_d$ , y compárela con lo conocido para el campo magnético terrestre en Bogotá.

$$B_{\text{Norte}} = +27 \mu\text{T}$$

$$B_{\text{Oriente}} = -3.22 \mu\text{T}$$

$$B_{\text{Abajo}} = +14.9 \mu\text{T}$$

~De acuerdo al [WMM 2010](#) ~  
perturbaciones locales excluidas



## APÉNDICE A

Operating Instructions

Calorimeter

04401.00

# Manual del calorímetro



## 1. PURPOSE AND DESCRIPTION

Calorimeter 04401.00 is a water calorimeter with which the specific heat of solids or liquids can be determined. Conversion energies, such as the melting energy of ice, can also be determined.

The unit is fitted with an electric heating system to heat up the contents. Power is supplied to the heating resistor over two 4 mm sockets in the lid. The lid has an orifice ( $d = 10$  mm) to introduce a thermometer or a temperature probe. An agitator with a yoke handle, which can be lifted, passes through two smaller orifices in the lid. The calorimeter is designed to stand temperatures up to 100 °C.

## 2. HANDLING

The handling is explained taking the determination of specific thermal capacities as an example. In the case of solids, the mixing method is used, for liquids, energy is added by means of the electric heating element.

In order to accelerate thermal equilibrium in the calorimeter, the agitator should be continuously moved during the experiment. It may, however, not be lifted to the point where water is splashed onto the styrofoam lining of the lid.

### 2.1 Mixing metod

To determine the specific heat of solids according to the mixing method, a sample body of known temperature and mass is brought into thermal contact with a quantity of water of known temperature and thermal capacity inside the calorimeter. The specific heat of the sample is calculated from the temperature of the mixture after thermal equilibrium is reached.

#### *Carrying out of experiment:*

- An adequate quantity of liquid (200 ml or more) is weighed and filled into the calorimeter.
- The sample body is hanged from a support by means of a fishing thread and heated in a sufficiently stationary water bath, e. g. in boiling water to 100 °C. A gauze bag may be used to carry several small samples.
- The temperature of the heated sample (temperature of the bath) and the temperature of the water in the calorimeter are read as precisely as possible from the corresponding thermometers immediately before immersing the sample in the calorimeter.
- When one is certain the sample body has reached the temperature of the bath, it is immersed as fast as possible in the calorimeter. The calorimeter lid is closed at once and agitation starts.
- When temperature in the calorimeter begins to drop due to thermal release to the environment, maximum temperature is read as temperature of the mixture.

### 2.2 Electric heating method

To determine the specific heat of liquids, a quantity of liquid of known mass and temperature is filled into the calorimeter and heated by the electric heating element. The specific heat of the liquid is calculated from energy input and temperature increase.

Next to water, only such liquids may be filled into the calorimeter, which do not attack aluminium, nickel or styrofoam, e. g. all types of alcohol. Only alternating current should be used, to avoid corrosion of the heating element. It is furthermore recommended to use highly purified (distilled) water.

The heating element can only be operated when it is completely immersed in the liquid. A filling quantity of 200 ml is sufficient for this.

The amount of added electric energy is determined measuring current intensity, voltage and heating time. Adequate current intensities: 3 ... 5 A. Adjustment of the supply voltage should be determined in a preliminary experiment, so that the required heating energy will be immediately available during the main experiment.

*Carrying out the experiment:*

- An adequate amount of liquid (200 ml or more) are weighed and filled into the calorimeter.
- Initial temperature is read; voltage supply and chronometer are switched on; continuous agitation is assured.
- After temperature has increased by 5 - 10 °C for example, voltage supply and chronometer are switched off simultaneously and the maximum value displayed by the thermometer, before temperature stops increasing, is read.

To obtain a more precise measurement, thermal energy released by the calorimeter to the environment must be taken into account. This is achieved by means of a correction of the read final temperature:

- a second experiment is carried out with the same calorimeter contents, during which the drop of temperature  $\epsilon$  is measured at the average heating up temperature during a period of time which corresponds to the total heating time during the main experiment. Calculation is now repeated with the final temperature increased by  $\epsilon$ .

### 3. EXPERIMENTING REFERENCE LITERATURE

Physik in Schülerversuchen, Ausgabe A/B	01130.01
Physik in Demonstrationsversuchen, Ausgabe A/B, Elektrik	01141.31
Physik in Demonstrationsversuchen, Ausgabe A/B, Wärme	01141.51
Physik in Demonstrationsversuchen, Ausgabe C, Teil 1	01146.01
Physik in Demonstrationsversuchen, Ausgabe C, Teil 2	01146.11
University laboratory experiments	00067.72

### 4. TECHNICAL SPECIFICATIONS

Type	Water calorimeter
Exterior dimensions	$d = 134 \text{ mm}; h = 160 \text{ mm}$
Thermal insulation	Styrofoam
Calorimetric capacity	approx. 70 J/°C
Calorimeter vessel	
Material	aluminium
Capacity	500 ml
Dimensions	$d = 88 \text{ mm}, h = 92 \text{ mm}$
Heating element	
Material	Canthal
Resistance	2.4 Ω     ± 0.2 Ω
Max. power	
in water	60 W (12 V/5 A)
in air	10 W (5 V/2 A)
Operating power	alternating voltage

APÉNDICE B

DIGITAL

Manual del multímetro



MODEL YF-3503

OPERATING MANUAL

## **MODEL YF-3503**

I. Thanks for your patronage. Read this operating manual before beginning. Correct operations help develop the best performances of multimeter also decrease the possibility of damages.

### **II. Specification**

#### **2-1 General Specification**

- ( 1) LCD: 3½ digits, with a maximum reading of 1999.
- ( 2) Polarity Indication: Automatic polarity, " - " display for negative input.
- ( 3) Overload Indication: LCD will show a "1" or " - 1" in the left highest position.
- ( 4) Low Battery Indication: Replace battery as LCD display "BAT".
- ( 5) Sample-Rate: 2.5 times per second.
- ( 6) Power Supply: 006P DC9V, 1 pc.
- ( 7) Battery Life: 200 hours approx.
- ( 8) Operating Temperature & Humidity: 0°C – 40°C below 80% RH.
- ( 9) Dimension & Weight: 143 × 74 × 38 mm, 257g approx. (with Battery)
- (10) Accessory: Operating manual, test leads, battery 006P DC9V 1pc.

#### **2-2 Electrical Specifications (23°C ± 5°C, below 80% RH) Accuracy: '± (..... % rdg + ..... dgt)**

#### **DCV -**

Range	Resolu-tion	Accuracy	Input Impedance	Overload Protection
200mV	0.1mV	0.5% + 1		DC 500V AC 350V rms
2V	1mV			
20V	10mV			
200V	100mV	0.8% + 1	10MΩ	DC 1100V AC 800V rms
1000V	1V			

### ACV

Range	Resolu-tion	Accuracy	Input Impedance	Overload Protection
200mV	0.1mV	1.2% + 3 (40 Hz - 500 Hz)	10MΩ	DC 500V AC 350V rms
2V	1mV			DC 1100V AC 800V rms
20V	10mV			
200V	100mV			
750V	1V			

### DCA

Range	Resolu-tion	Accuracy	Burden Voltage	Overload Protection
200μA	0.1μA	0.8% + 1	0.3V	0.5A Fuse & Diodes
2mA	1μA		0.3V	
20mA	10μA		0.3V	
200mA	100μA		0.3V	
20A	10mA	2% + 1	0.7V	

### ACA

Range	Resolu-tion	Accuracy	Burden Voltage	Overload Protection
200μA	0.1μA	1.2% + 3 (40 Hz - 500 Hz)	0.3V max	0.5A Fuse & Diodes
2mA	1μA		0.3V max	
20mA	10μA		0.3V max	
200mA	100μA		0.3V max	
20A	10mA	2% + 3	0.7V max	

### Resistance ( Ω )

Range	Resolu-tion	Accuracy	Open Voltage	Overload Protection
200Ω	0.1Ω	1% + 2	± 2.8V	DC/AC 500V rms
2KΩ	1Ω	0.8% + 2	± 0.35V	
20KΩ	10Ω		0.35V	
200KΩ	100Ω		0.35V	
2MΩ	1KΩ		0.35V	
20MΩ	10KΩ	2% + 2	0.35V	

## Diode Test

Range	Resolution	Test Current	Open Voltage	Overload Protection
→	1mV	1mA	≤ 2.8V	DC/AC 500 V rms

## Continuity Test •11)

Range	Resolution	Sound	Open Voltage	Overload Protection
•11)	1 Ω	below 40Ω	below ≤ 2.8V	AC/DC 500 V rms

## hFE

Range	Range	Test Voltage	Test Current	Overload Protection
NPN PNP	0-1000	< 3.2V	IB ≤ 10μA	

## Battery

Range	Resolution	Load Current	Load Resistance
1.5V	1mV	80mA	19Ω
9V	10mV	7mA	1.3KΩ

## LOGIC TTL

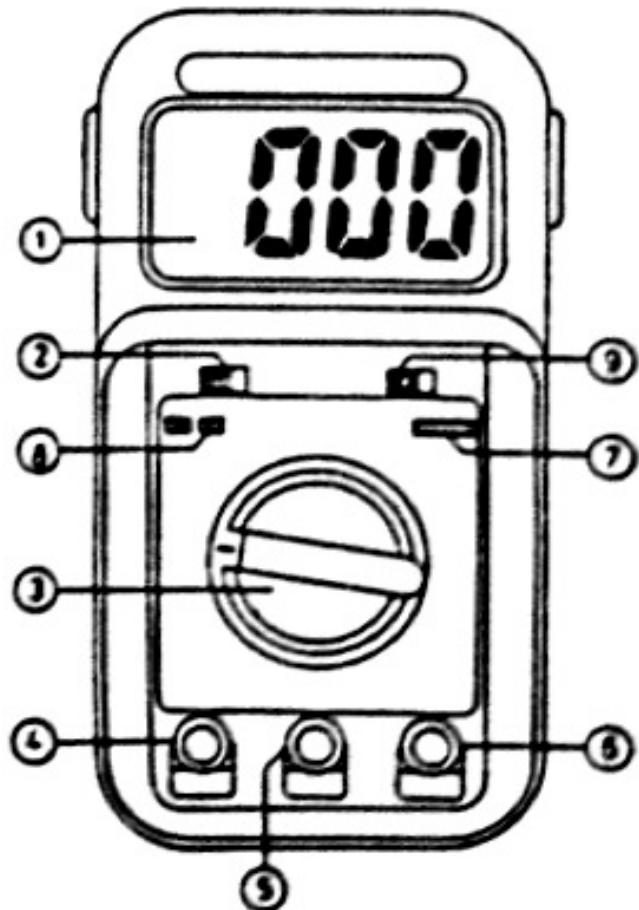
Range	Input Impedance	Input Voltage	Logic Level	Min detect impulse	Max output frequency	Overload protection
TTL ↓	120K Ω	DC5V	I 2.8 ± 0.8V *▲* 0 0.8 ± 0.5V *▼*	25nS	20MHz	500Vrms

## CAPACITANCE

Range	Resolution	Accuracy	TEST FREQUENCY
2nF	1PF		
20nF	10PF		
200nF	100PF	3% + 10	
2μF	1aF		400 Hz
2μF	1nF		

**III. Name of parts and operation (as the picture below)**

- (1) LCD: 3½ digits with a maximum reading of 1999, also including indications of " - ", low battery.
- (2) AC/DC Slide Switch: For selection of "AC" or "DC" measurements.
- (3) Range Rotary Selector: For power on and off, and selection of desired function range.
- (4) 20A Measuring Connector: For measuring a current below 20A.
- (5) COM Measuring Connector: To connect negative lead (black test lead) for all kinds of measurements.
- (6) VΩA Measuring Connector: To connect positive lead (red test lead) for voltage, current, resistance measurements.
- (7) hFE Measuring Connector: To insert transistor for hFE measurement.
- (8) Capacity Measuring Connector.
- (9) Power Switch: ON-Power ON.  
OFF-Power OFF.



#### **IV. Measurement**

##### **4-1. DCV (ACV) Measurement**

- (1) Plug red test lead to "VΩA" connector, and black test lead to "COM" connector.
- (2) Place switch to "DC" or "AC" function according to the need.
- (3) Turn the function range selector to "V" region (if measuring an unknown voltage, start from the highest range, then adjust to a proper lower range for a best resolution).
- (4) Connect the other ends of test leads to the desired circuit.
- (5) Read the value from the LCD.

##### **4-2. DCA (ACA) Measurement**

- (1) Plug red test lead to "VΩA" connector (if measuring a current between 200mA and 20A, plug to "20A" connector instead), and black test lead to "COM" connector.
- (2) Place switch to "DC" or "AC" function according to the need.
- (3) Turn the function range selector to "A" region (if measuring an unknown current, start from the highest range, then adjust to a proper lower range for a best resolution).
- (4) Connect the other ends of test leads in series to the desired circuit.
- (5) Read the value from the LCD.

##### **4-3. Resistance Measurement**

- (1) Plug red test lead to "VΩA" connector, and black test lead to "COM" connector.
- (2) Turn the function range selector to "Ω" region (if measuring an unknown resistance, start from the highest range, then adjust to a proper lower range for a best resolution).
- (3) Connect the other ends of test leads to the desired resistor.
- (4) Read the value from the LCD.

##### **4-4. Diode $\left(-\right)$ Measurement**

- (1) Turn the function range selector to " $\left(-\right)$ " region.
- (2) Plug red test lead to "VΩA" connector, and black test lead to "COM" connector.

- (3) Connect the other end of red test leads to the positive pole (P) of the diode, and the other end of black test leads to the negative pole (N).
- (4) Read the value from the LCD. (If connection to poles of diode is reverse, LCD will display "1" in the highest digit.)

#### 4-5. Continuity (-■) Measurement

- (1) Turn the function range selector to "-■" region.
- (2) Plug red test lead to "VΩA" connector, and black test lead to "COM" connector.
- (3) Connect the other ends of test leads to test the conduction situation of circuit. If impedance in circuit is below 40Ω, the buzzer will sound.

#### 4-6. hFE Measurement (for Transistor)

- (1) Turn the function range selector to "hFE" (NPN or PNP) region.
- (2) Insert the transistor pins into "hFE" connector according to E.B.C. sequence.
- (3) Read the value from LCD.

#### 4-7. Battery Power (BAT.) Measurement

- (1) Plug red test lead to "VΩA" connector, and black test lead to "COM" connector.
- (2) Turn the function range selector to "1.5V" or "9V" range.
- (3) Connect the other end of test leads to the desired battery, red test lead to positive pole, and black test lead to negative pole.
- (4) Read the value from the LCD.

#### 4-8. Logic Measurement

- (1) Turn the function switch on the "TTL" position.
- (2) Connect the red test lead to the "VΩA" connector, the black to the "COM" connector.
- (3) Confirming the logic circuit voltage at 5 V level, connect the black test lead to the logic circuit the negative end of the electric source, with the red test lead do logic circuit test.
- (4) When the logic level is "1", LCD will display the "▲" mark. When the logic level is "0", LCD will display "▼" mark, and the buzzer will sound.

#### **4-8. Capacity (C) Measurement**

- (1) Turn the function range selector to "F" region (if measuring an unknown capacitor, start from the highest ranges, then adjust to a proper lower range for a best resolution).
- (2) Insert the desired capacitor into the measuring connector.
- (3) Read the value from the LCD.

### **V. Maintenance**

#### **5-1. Battery Replacement**

As battery power is not sufficient, LCD will display "BAT", replace battery to keep measurement accurate.

- (1) Remove all the test leads, and turn the power off.
- (2) Open the battery cover according to instructed direction, take out the battery, and install a new one.
- (3) Secure the battery cover.

#### **5-2. Fuse Replacement**

If replacement is required, please replace with a same one rated 0.5A 250VAC, 5 $\times$  20mm to keep circuit protected normally.

- (1) Turn the power off.
- (2) Open the battery cover according to instructed direction, take out the burned fuse, and install a new one.
- (3) Secure the battery cover.

#### **5-3. Note**

This multimeter is a precision instrument, do not violate the specifications no matter in use or in storage. Besides, following circumstances should be avoided to keep measurement accurate.

- (1) Do not measure or connect DCV over 1000V, or ACV over 750V.
- (2) As function range selector sets on " $\Omega$ ", "hFE", " $\mu A$ ", ".1") " ranges, do not abb any source of voltage or current.
- (3) Take out battery for long time storage, also avoid storing in places in high temperature and humidity.

# User Manual

## APÉNDICE C

---

### Manual de la fuente de potencia

---

**PS280 & PS283  
DC Power Supplies**

**070-8355-03**



Copyright © Tektronix, Inc. 1991. All rights reserved.

Tektronix products are covered by U.S. and foreign patents, issued and pending. Information in this publication supercedes that in all previously published material. Specifications and price change privileges reserved.

Tektronix, Inc., P.O. Box 1000, Wilsonville, OR 97070-1000

TEKTRONIX and TEK are registered trademarks of Tektronix, Inc.

## **WARRANTY**

Tektronix warrants that this product will be free from defects in materials and workmanship for a period of one (1) year from the date of shipment. If any such product proves defective during this warranty period, Tektronix, at its option, either will repair the defective product without charge for parts and labor, or will provide a replacement in exchange for the defective product.

In order to obtain service under this warranty, Customer must notify Tektronix of the defect before the expiration of the warranty period and make suitable arrangements for the performance of service. Customer shall be responsible for packaging and shipping the defective product to the service center designated by Tektronix, with shipping charges prepaid. Tektronix shall pay for the return of the product to Customer if the shipment is to a location within the country in which the Tektronix service center is located. Customer shall be responsible for paying all shipping charges, duties, taxes, and any other charges for products returned to any other locations.

This warranty shall not apply to any defect, failure or damage caused by improper use or improper or inadequate maintenance and care. Tektronix shall not be obligated to furnish service under this warranty a) to repair damage resulting from attempts by personnel other than Tektronix representatives to install, repair or service the product; b) to repair damage resulting from improper use or connection to incompatible equipment; or c) to service a product that has been modified or integrated with other products when the effect of such modification or integration increases the time or difficulty of servicing the product.

**THIS WARRANTY IS GIVEN BY TEKTRONIX WITH RESPECT TO THIS PRODUCT IN LIEU OF ANY OTHER WARRANTIES, EXPRESSED OR IMPLIED. TEKTRONIX AND ITS VENDORS DISCLAIM ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. TEKTRONIX' RESPONSIBILITY TO REPAIR OR REPLACE DEFECTIVE PRODUCTS IS THE SOLE AND EXCLUSIVE REMEDY PROVIDED TO THE CUSTOMER FOR BREACH OF THIS WARRANTY. TEKTRONIX AND ITS VENDORS WILL NOT BE LIABLE FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, INCIDENTAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES IRRESPECTIVE OF WHETHER TEKTRONIX OR THE VENDOR HAS ADVANCE NOTICE OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.**



# Table of Contents

<b>General Safety Summary .....</b>	<b>iii</b>
<b>Getting Started .....</b>	<b>1</b>
Preparing the Power Supply for Use .....	2
Front Panel .....	4
Turning On the Instrument .....	8
<b>Reference .....</b>	<b>9</b>
Constant Voltage/Constant Current Crossover .....	9
Setting the Current Limit .....	10
Test Modes .....	11
Independent Modes .....	11
Tracking Modes .....	20
<b>Appendix A: Specifications .....</b>	<b>25</b>
<b>Appendix B: Maintenance .....</b>	<b>29</b>
Cleaning .....	29
Preparing for Shipment .....	29
Troubleshooting .....	30
<b>Appendix C: Replaceable Parts .....</b>	<b>33</b>
Standard Accessories .....	33
Optional Accessories .....	33

# List of Figures

Figure 1: Line Voltage Selectors, Power Input, and Fuse Locations .....	2
Figure 2: PS280 or PS283 Front Panel .....	4
Figure 3: Constant Voltage/Constant Current Crossover .....	10
Figure 4: Independent Floating Application .....	12
Figure 5: Independent Common Ground-Referenced Application .....	14
Figure 6: Independent Ground-Referenced Split Application ..	15
Figure 7: Three Ground-Referenced Negative Power Supplies ..	16
Figure 8: Three Ground-Referenced Positive Power Supplies ..	17
Figure 9: Independent Positive Stacked Application .....	18
Figure 10: Independent Negative Stacked Application .....	19
Figure 11: Series Tracking Inside the PS280 or PS283 .....	20
Figure 12: Series Tracking Application .....	21
Figure 13: Parallel Tracking Inside the PS280 or PS283 .....	23
Figure 14: Parallel Tracking Application .....	24

# General Safety Summary

Review the following safety precautions to avoid injury and prevent damage to this product or any products connected to it.

## Injury Precautions

### **Use Proper Power Cord**

To avoid fire hazard, use only the power cord specified for this product.

### **Avoid Electric Overload**

To avoid electric shock or fire hazard, do not apply a voltage to a terminal that is outside the range specified for that terminal.

### **Ground the Product**

This product is grounded through the grounding conductor of the power cord. To avoid electric shock, the grounding conductor must be connected to earth ground. Before making connections to the input or output terminals of the product, ensure that the product is properly grounded.

### **Do Not Operate Without Covers**

To avoid electric shock or fire hazard, do not operate this product with covers or panels removed.

### **Use Proper Fuse**

To avoid fire hazard, use only the fuse type and rating specified for this product.

### **Do Not Operate in Wet/Damp Conditions**

To avoid electric shock, do not operate this product in wet or damp conditions.

### **Do Not Operate in Explosive Atmosphere**

To avoid injury or fire hazard, do not operate this product in an explosive atmosphere.

## **Product Damage Precautions**

### **Use Proper Voltage Setting**

Before applying power, ensure that the line selector is in the proper position for the power source being used.

### **Provide Proper Ventilation**

To prevent product overheating, provide proper ventilation.

### **Do Not Operate With Suspected Failures**

If you suspect there is damage to this product, have it inspected by qualified service personnel.

## **Safety Terms and Symbols**

### **Terms in This Manual**

These terms may appear in this manual:



---

***WARNING.*** *Warning statements identify conditions or practices that could result in injury or loss of life.*

---



**CAUTION.** Caution statements identify conditions or practices that could result in damage to this product or other property.

### Terms on the Product

These terms may appear on the product:

DANGER indicates an injury hazard immediately accessible as you read the marking.

WARNING indicates an injury hazard not immediately accessible as you read the marking.

CAUTION indicates a hazard to property including the product.

### Symbols on the Product

The following symbols may appear on the product:



DANGER  
High Voltage



Protective Ground  
(Earth) Terminal



ATTENTION  
Refer to  
Manual



Double  
Insulated

## Certifications and Compliances

### CSA Certified Power Cords

CSA Certification includes the products and power cords appropriate for use in the North America power network. All other power cords supplied are approved for the country of use.



# Getting Started

The Tektronix PS280 or PS283 Laboratory DC Power Supply is a multifunction bench or portable instrument. This regulated power supply provides a fixed 5 V output for powering logic circuits and two variable outputs for a wide variety of test and experimental uses.

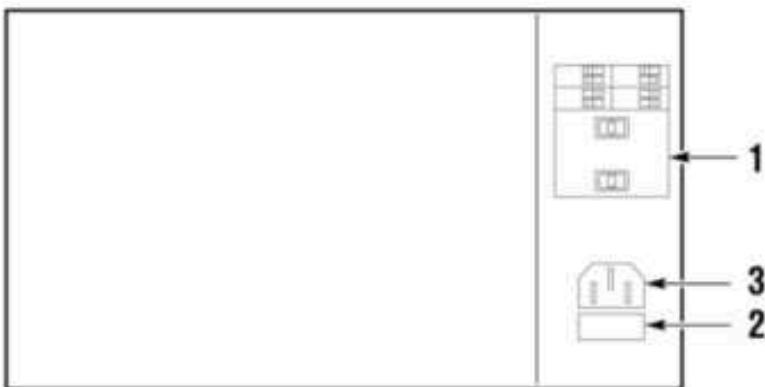
The PS280 or PS283 contains two identical, independently adjustable DC power supplies that you can vary from 0 to 30 V. The current on the PS280 variable power supplies varies from 0 to 2 A. The current on the PS283 variable power supplies varies from 0 to 1 A. In all other respects the instruments are identical. Unless otherwise noted, descriptions and procedures in this manual apply to both instruments.

Front panel switches select one of three modes of operation:

- Independent — In this mode, the output voltage and current of each supply can be controlled independently.
- Series — In this tracking mode, the variable outputs are connected in series, and the controls of the master power supply adjust the voltages or currents of both power supplies. Series mode allows the power supplies to be varied from 0 to 60 V at 0 to 2 A for the PS280, or 0 to 1 A for the PS283.
- Parallel — In this tracking mode, the variable outputs are connected in parallel, and the controls of the master power supply adjust the voltages or currents of both power supplies. Parallel mode allows the power supplies to be varied from 0 to 4 A for the PS280 at 0 to 30 V, or from 0 to 2 A at 0 to 30 V for the PS283.

## Preparing the Power Supply for Use

Check the following items prior to operating the Laboratory DC Power Supply for the first time (see Figure 1 for locations of items 1 through 3):



**Figure 1: Line Voltage Selectors, Power Input, and Fuse Locations**



**CAUTION.** To prevent damage to the instrument, set the line voltage selectors to the proper voltage setting and install the correct line voltage fuse before operating the equipment.

1. Set the line voltage selectors to the input line voltage. These selectors connect internal wiring for various line voltages. This product is intended to operate from a power source that does not supply more than 250 V<sub>RMS</sub> between the supply conductors or between either supply conductor and ground. For line voltage ranges, refer to *Appendix A: Specifications* on page 25.



**WARNING.** To prevent electrical shock, unplug the power cord and disconnect the test leads from the circuit before checking or replacing the fuse.

2. Check that the correct line fuse is installed. The line fuse provides protection if the equipment malfunctions or an overload

occurs. Refer to *Appendix C: Replaceable Parts* on page 33 for fuse part numbers.



***WARNING.*** *To prevent electrical shock, connect the power cord to a properly grounded power source. The outside (ground) of this connector is connected through the equipment to the power source ground. Do not remove the ground lug from the power cord for any reason.*

---

3. Connect the input power cord. Use only the power cords specified for this equipment. Refer to *Appendix C: Replaceable Parts* on page 33 for power cord part numbers.

## Front Panel

Figure 2 shows the front-panel controls, connectors, and indicators with brief descriptions following the figure.

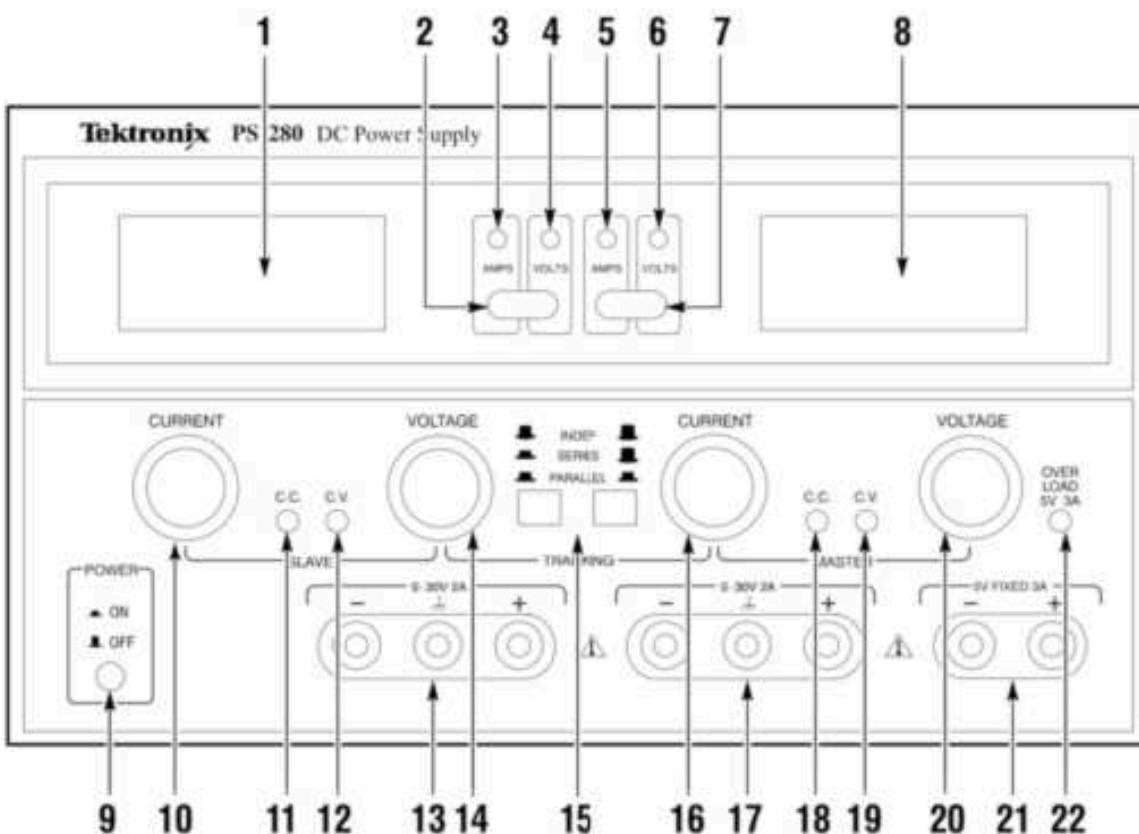


Figure 2: PS280 or PS283 Front Panel

1. LED Display. Lights when the instrument is turned on. The numbers indicate the voltage or current produced by the left variable power supply.
2. AMPS/VOLTS Switch. This switch selects whether the LED display for the left variable power supply shows the current or the voltage. If the switch is pushed to the left, the display shows the current. If the switch is pushed to the right, the display shows the voltage.

3. AMPS Indicator. Lights when AMPS is selected with the AMPS/VOLTS switch for the left variable power supply.
4. VOLTS Indicator. Lights when VOLTS is selected with AMPS/VOLTS switch for the left variable power supply.
5. AMPS Indicator. Lights when AMPS is selected with the AMPS/VOLTS switch for the right variable power supply.
6. VOLTS Indicator. Lights when VOLTS is selected with AMPS/VOLTS switch for the right variable power supply.
7. AMPS/VOLTS Switch. This switch selects whether the LED display for the right variable power supply shows the current or the voltage. If the switch is pushed to the left, the display shows the current. If the switch is pushed to the right, the display shows the voltage.
8. LED Display. Lights when the instrument is turned on. The numbers indicate the voltage or current produced by the right variable power supply.
9. POWER Button. Turns on the instrument when pressed. When pressed again, it turns off the instrument.
10. CURRENT Knob. Use this control to set the output current for the right, variable power supply. If the instrument is in a tracking mode, the left power supply is the slave and the CURRENT knob has no effect.
11. C.C. Indicator. If this is lighted, the left variable power supply is producing a constant current. See Figure 3 on page 10 for an illustration of the constant voltage/constant current cross-over point.
12. C.V. Indicator. If this is lighted, the left variable power supply is producing a constant voltage. See Figure 3 on page 10 for an illustration of the constant voltage/constant current cross-over point.

**13. Output Terminals.** These terminals for the left, variable power supply allow you to plug in the test leads as follows:

- The red terminal on the right is the positive polarity output terminal. It is indicated by a + sign above it.
- The black terminal on the left is the negative polarity output terminal. It is indicated by a – sign above it.
- The green terminal in the middle is the earth and chassis ground.

**14. VOLTAGE Knob.** Allows you to set the output voltage for the left variable power supply. If the instrument is in a tracking mode, the left power supply is the slave and the VOLTAGE knob has no effect.

**15. TRACKING Buttons.** These buttons select the test mode of the instrument. The PS280 or PS283 features two tracking modes: series and parallel. If both push-button switches are disengaged (out), the two variable power supplies operate independently. If the left switch is pushed in, the instrument operates in series mode. If both switches are pushed in, the instrument operates in parallel mode.

In series mode, the master power supply controls the voltage for both power supplies, which can then range from 0 to 60 V. Refer to *Series* on page 20 for further details.

In parallel mode, the master power supply controls both the voltage and the current for both power supplies. The current can then range from 0 to 4 A (0 to 2 A for the PS283). Refer to *Parallel* on page 22 for further details.

**16. CURRENT Knob.** Use this control to set the output current for the right, variable power supply. If the instrument is in a tracking mode, the right power supply is the master and the CURRENT knob affects both variable power supplies.

**17. Output Terminals.** These terminals for the right, variable power supply allow you to plug in the test leads as follows:

- The red terminal on the right is the positive polarity output terminal. It is indicated by a plus (+) sign above it.
- The black terminal on the left is the negative polarity output terminal. It is indicated by a minus (-) sign above it.
- The green terminal in the middle is the earth and chassis ground.

**18. C.C. Indicator.** If this is lighted, the power supply is producing a constant current. See Figure 3 on page 10 for an illustration of the constant voltage/constant current crossover point.

**19. C.V. Indicator.** If this is lighted, the power supply is producing a constant voltage. See Figure 3 on page 10 for an illustration of the constant voltage/constant current crossover point.

**20. VOLTAGE Knob.** Allows you to set the output voltage for the right variable power supply. If the instrument is in a tracking mode, the right power supply is the master and the VOLTAGE knob affects both variable power supplies.

**21. Output Terminals.** These terminals for the 5 V FIXED power supply allow you to plug in the test leads as follows:

- The red terminal on the right is the positive polarity output terminal.
- The black terminal on the left is the negative polarity output terminal.

**22. The overload indicator** lights when the current on the 5 V FIXED power supply becomes too large.

## Turning On the Instrument

After you have ensured that the PS280 or PS283 is set up for the proper line voltage and has the proper fuse (refer to *Preparing the Power Supply for Use* on page 2), you are ready to turn it on.



**CAUTION.** *To avoid damaging the PS280 or PS283, do not use it when the ambient air temperature exceeds 40° C. Also, allow adequate space at the rear of the instrument to permit the heat sink to radiate heat.*

---

1. Ensure that the **POWER** button is disengaged (out) and that the instrument is turned off.
2. Plug the power cord into an appropriate power source.
3. Turn both **VOLTAGE** knobs counterclockwise to the minimum setting.
4. Press the **POWER** button. The LED displays light up.

# Reference

This section tells how to set the PS280 or PS283 current limit. It also explains the constant voltage/constant current crossover characteristic of the instrument. Finally, the section includes procedures for using the instrument in both independent and tracking modes and provides examples of a variety of applications.

## Constant Voltage/Constant Current Crossover

The PS280 or PS283 DC Power Supply features a constant voltage/constant current automatic crossover. This feature permits continuous operation in the transition from constant-voltage mode to constant-current mode as the load changes. The intersection of the constant-current and constant-voltage modes is called the crossover point. Figure 3 on page 10 shows the relationship between the load and the crossover point.

For example, if the load is such that the power supply is operating in constant-voltage mode, the PS280 or PS283 provides a regulated output voltage. The output voltage remains constant as the load increases until the preset current limit is reached. Then the crossover occurs. At that point, the output current becomes constant and the output voltage drops in proportion to further load increases.

Crossover is indicated by the front panel red C.C. and green C.V. indicator lights. If the C.V. indicator is lighted, the instrument is operating in constant-voltage mode. If the C.C. indicator is lighted, the instrument is operating in constant-current mode.

Crossover from the constant-current mode to the constant-voltage mode also occurs automatically in response to a decrease in load. For example, suppose you are charging a 12 V battery. Initially, the open circuit voltage of the power supply is preset for 13.8 V. A low battery places a heavy load on the power supply, and it operates in constant-current mode. You adjust the instrument to charge the battery at the rate of 1 A. As the battery becomes charged and its voltage approaches 13.8 V, the load decreases to the point where the battery no longer demands the full 1 A charging rate. The PS280 or PS283 then crosses over to constant-voltage mode.

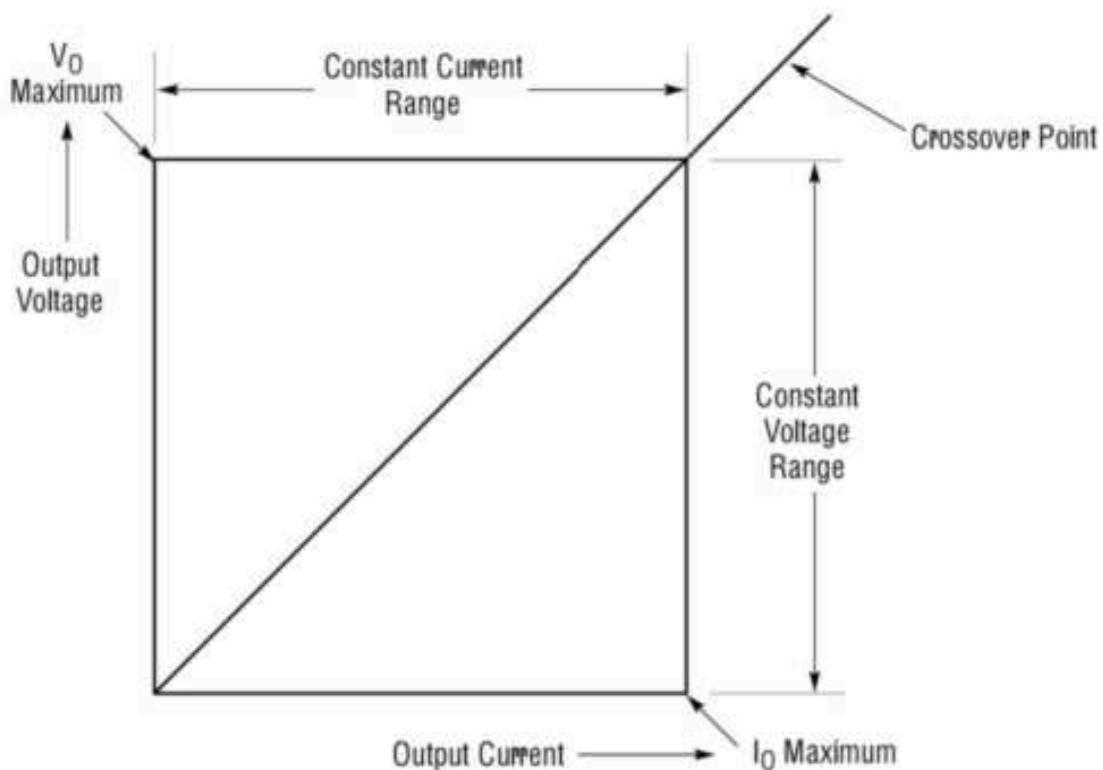


Figure 3: Constant Voltage/Constant Current Crossover

## Setting the Current Limit

Before you begin using the PS280 or PS283 to power a device, you should set its current limit lower than the maximum safe current for the device to be powered.



**CAUTION.** In order to avoid damaging your device with a current overload, set the current limit on the PS280 or PS283 before you connect it to your device.

1. Determine the maximum safe current for the device to be powered.
2. With the test lead, temporarily short the positive and the negative output terminals of the power supply together.

3. Rotate the **VOLTAGE** knob away from zero sufficiently to light the **C.C.** indicator.
4. Set the meter selection switch to **AMPS** so that the LED display shows the current.
5. Adjust the **CURRENT** knob for the desired current limit.
6. Read the value shown on the LED display. This is your preset current limit. Do not increase the current control setting.
7. Remove the short between the positive and negative output terminals.

You are now ready to power your device.

## Test Modes

The two variable power supplies on your PS280 or PS283 can be operated independently of each other, or the slave supply can track the master supply. Below are instructions for operating the instrument in independent modes, followed by instructions for operating the instrument in series or parallel tracking modes.

### Independent Modes

In independent mode, any one output of each power supply can be connected to any one terminal of another supply or to ground. The variable supplies are independently controlled by the front panel **VOLTAGE** and **CURRENT** control knobs.

There are three independent modes in which you can operate the PS280 or PS283: floating, ground-referenced, and stacked.

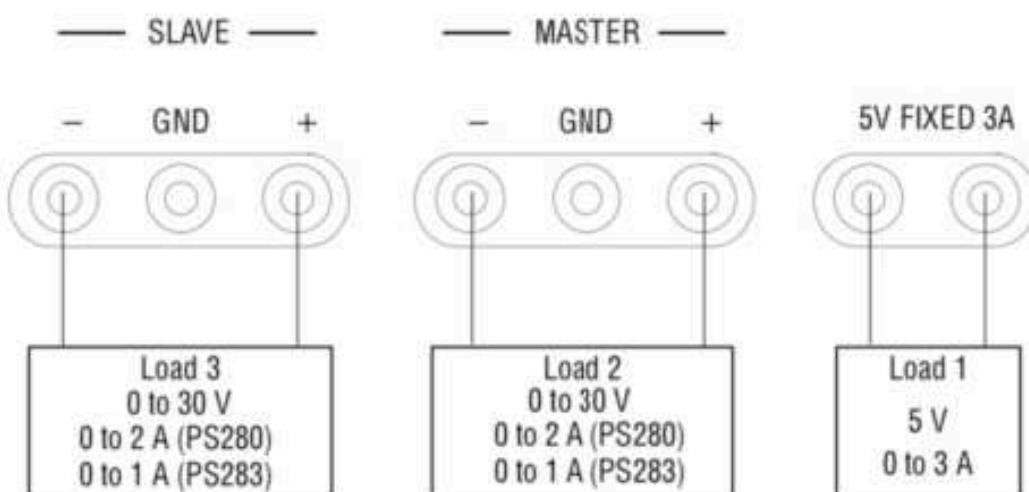
In floating mode, the power supply is not referenced with respect to ground.

In ground-referenced mode, one of the output terminals is grounded, providing a fixed reference point for your measurement.

In stacked mode, you connect the negative output terminal of one variable power supply to the positive output terminal of the other. The stacked configuration allows you to test a circuit requiring between 30 and 60 V. A stacked configuration can be either floating or ground-referenced.

**Floating.** In the independently floating mode, each variable power supply provides from 0 to 30 V at 0 to 2 A (0 to 1 A for the PS283).

Figure 4 shows each of the three power supplies connected to a separate load.



**Figure 4: Independent Floating Application**

The tracking switches are disengaged for independent operation. The left voltage and current control knobs control the outputs for the slave variable power supply, and the right knobs do the same for the master power supply. All outputs are electrically independent.

To test a circuit in the independently floating mode, follow these steps:

1. Press the **POWER** button to apply power to the PS280 or PS283.
2. Rotate the **VOLTAGE** knob to zero.
3. Determine the polarity of your device.

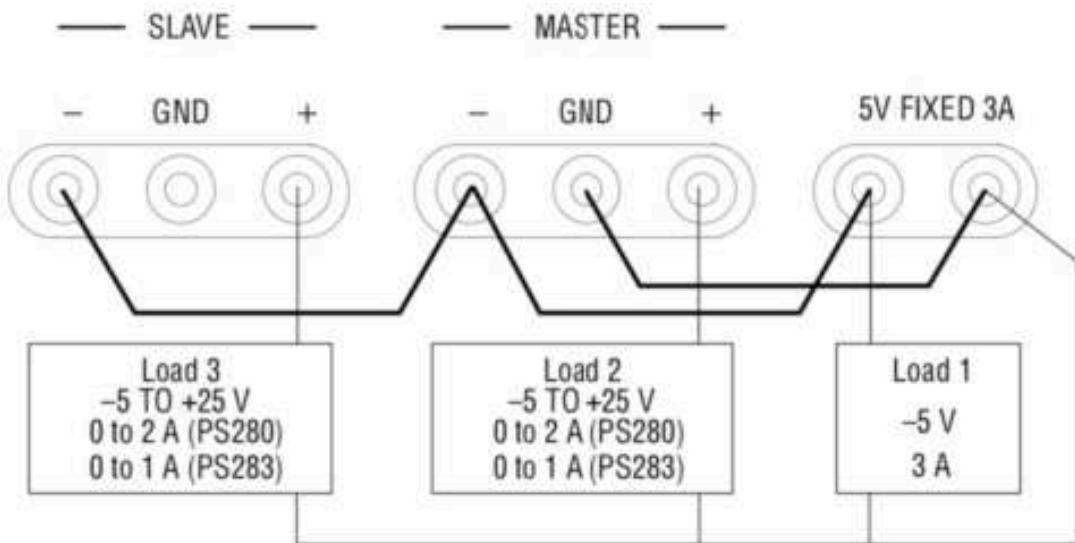
4. Plug one of the test leads into the positive output terminal.
  5. Plug the other test lead into the negative output terminal.
  6. Press **POWER** to turn off the PS280 or PS283.
  7. Clip the positive test lead to the positive pole of your device.
  8. Clip the negative test lead to the negative pole of your device.
  9. Press **POWER** to turn on the PS280 or PS283.
- 10.** Push the **AMPS/VOLTS** selection switch so that the LED display shows either voltage or current, as you want.
- 11.** Rotate the **VOLTAGE** knob as desired.
- 12.** If you are using a preset current limit (see page 10), do not touch the **CURRENT** knobs. Otherwise, rotate the **CURRENT** knob as desired.

**Ground-Referenced.** In the independently ground-referenced mode, each variable power supply provides from 0 to 30 V referenced with respect to ground at 0 to 2 A (0 to 1 A for the PS283). Any one of a pair of output terminals, either the positive or the negative, can be connected to ground. The FIXED 5 V power supply can also be ground-referenced.



**WARNING.** *In order to avoid grounding the power line, which can cause electrical shock, explosion, or fire, isolate the device being powered from the line voltage power source when using any ground-referenced output configuration from the PS280 or PS283.*

Figure 5 shows an example of a circuit with the FIXED 5 V terminal referenced to ground and both the master and slave variable power supplies referenced to -5 V.



**Figure 5: Independent Common Ground-Referenced Application**

In this configuration, each of the variable power supplies can be varied from  $-5\text{ V}$  to  $+25\text{ V}$  ( $+30\text{ V}$  overall). The GND post becomes the relative negative terminal for both variable outputs. Because the variable power supplies are referenced to  $-5\text{ V}$ , the LED display, when set to display volts, shows a value that is five volts lower than the actual output.

For example, the LED display indicates:

- $0\text{ V}$  when the output is  $-5\text{ V}$
- $5\text{ V}$  when the output is  $0\text{ V}$
- $30\text{ V}$  when the output is  $25\text{ V}$

Negative  $5\text{ V}$  is available between GND and the negative terminal of the FIXED  $5\text{ V}$  power supply.

To test a circuit in the independently ground-referenced mode, follow these steps:

1. Turn the **POWER** off to the PS280 or PS283.
2. Connect the outputs as shown in Figure 5.
3. Set both variable supply **VOLTAGE** controls to the minimum setting.

4. Set both variable supply **CURRENT** controls to midrange.
5. Set the **AMPS/VOLTS** switches for both power supplies to display volts.
6. Turn on the **POWER** to the PS280 or PS283. The display should read 0 V for both variable power supplies. An external meter connected across the load or load terminals should read -5 V.
7. Turn the **POWER** off to the PS280 or PS283 again.
8. Connect the device or devices to be tested.
9. Turn on the **POWER** to the PS280 or PS283 again. Adjust the voltages as needed.

Figure 6 shows the PS280 or PS283 connected to produce separate outputs of +5 V from the FIXED power supply, 0 to +30 V from the slave variable power supply, and 0 to -30 V from the master variable power supply. In this configuration, the red output terminal of the master variable power supply is the negative reference terminal because it is directly connected to the ground terminal.

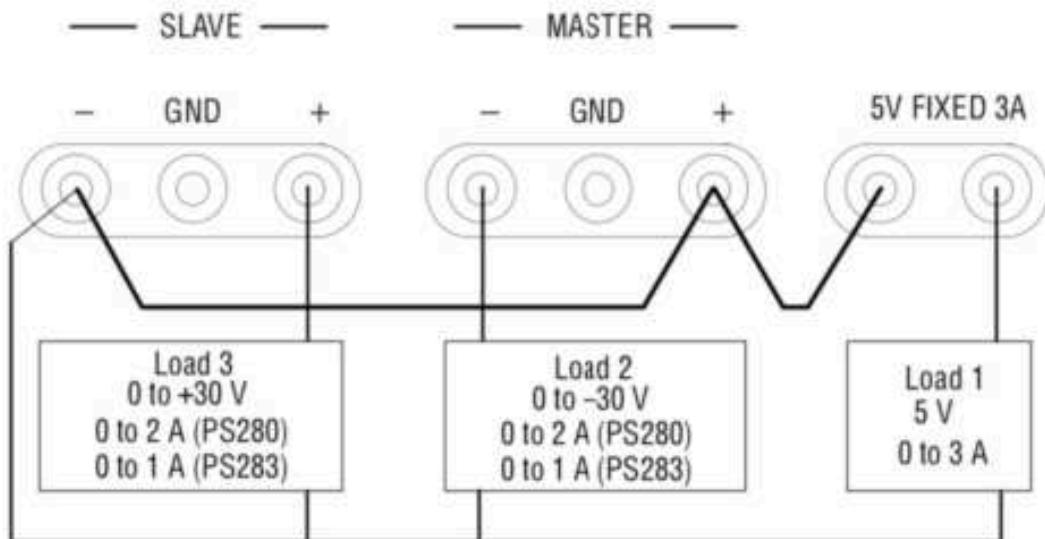
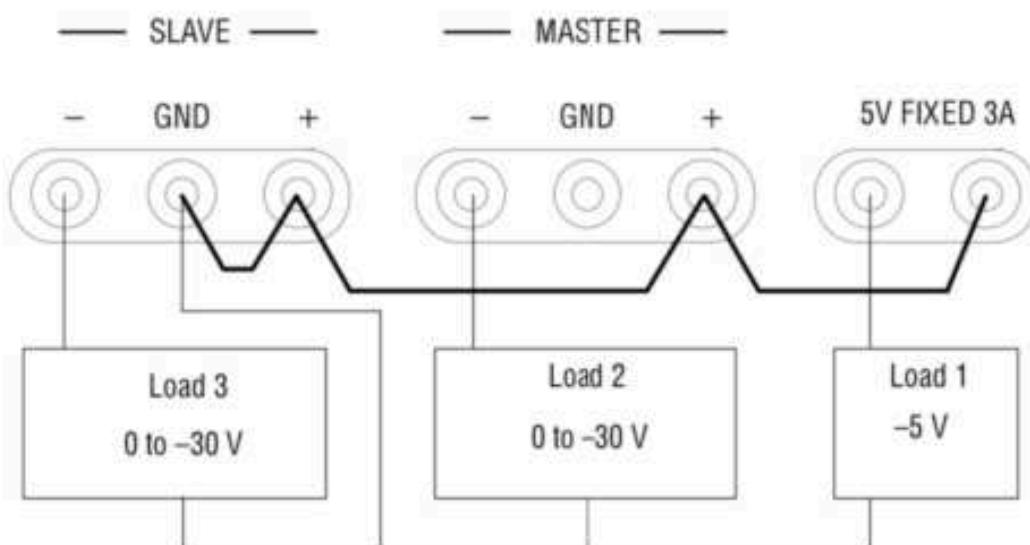


Figure 6: Independent Ground-Referenced Split Application

To test a circuit in an independent ground-referenced split application mode, follow these steps:

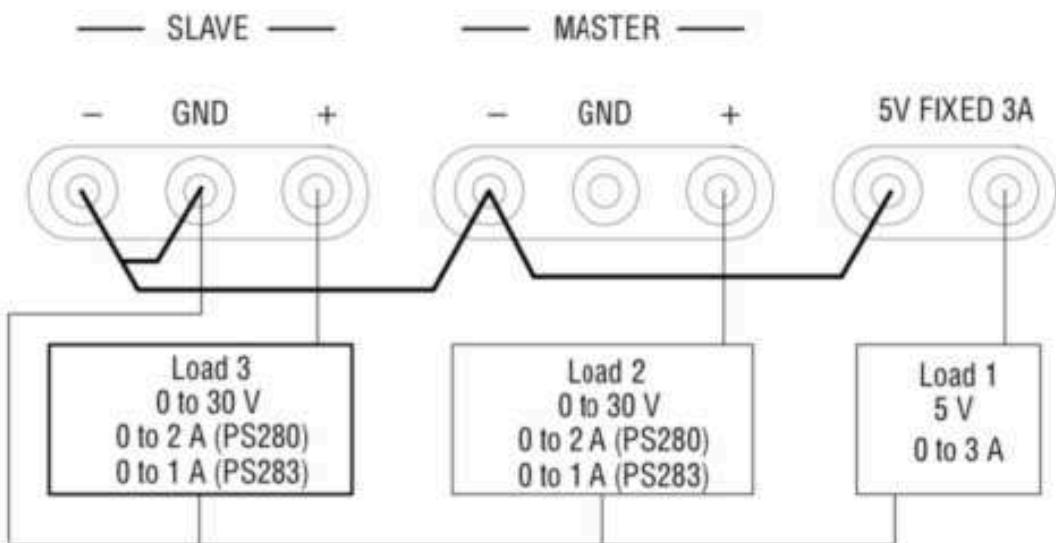
1. Turn the **POWER** off to the PS280 or PS283.
2. Connect the outputs as shown in Figure 6.
3. Set both variable supply **VOLTAGE** controls to the minimum setting.
4. Set both variable supply **CURRENT** controls to midrange.
5. Turn on the **POWER** to the PS280 or PS283.
6. Set the desired voltages for both variable power supplies.
7. Turn the **POWER** off to the PS280 or PS283 again.
8. Connect the device or devices to be tested.
9. Turn on the **POWER** to the PS280 or PS283 again. If necessary, readjust the voltages.

Figure 7 shows the configuration for three ground-referenced negative power supplies.



**Figure 7: Three Ground-Referenced Negative Power Supplies**

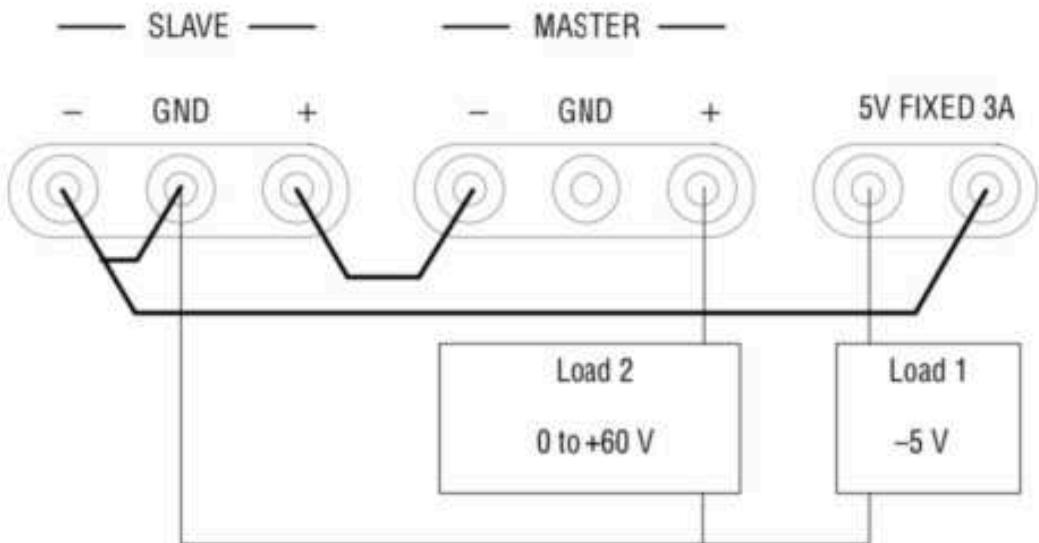
Figure 8 shows the configuration for three ground-referenced positive power supplies.



**Figure 8: Three Ground-Referenced Positive Power Supplies**

**Stacked.** In the independently stacked mode, the variable power supplies are connected and provide from 0 to 60 V at 0 to 2 A (0 to 1 A for the PS283).

Figure 9 on page 18 shows the PS280 or PS283 connected in a stacked manner to produce a variable output of 0 to +60 V ground-referenced. The FIXED power supply produces -5 V, ground-referenced. In this configuration, the red output terminal of the master variable power supply is the negative reference terminal because it is directly connected to the ground terminal.



**Figure 9: Independent Positive Stacked Application**

To test a circuit in the independently stacked mode, follow these steps:

1. Turn the **POWER** off to the PS280 or PS283.
2. Connect the outputs as shown in Figure 9.
3. Set both variable supply **VOLTAGE** controls to the minimum setting.
4. Set both variable supply **CURRENT** controls to midrange.
5. Turn on the **POWER** to the PS280 or PS283.
6. Set the desired voltage. Observe the LED display; the total output is the sum of both voltage readings.
7. Turn the **POWER** off to the PS280 or PS283 again.
8. Connect the device or devices to be tested.
9. Turn on the **POWER** to the PS280 or PS283 again. If necessary, readjust the voltages.

Figure 10 shows a stacked application in which you have a 0 to -60 V output from the variable power supplies and a +5 V output from the FIXED power supply.

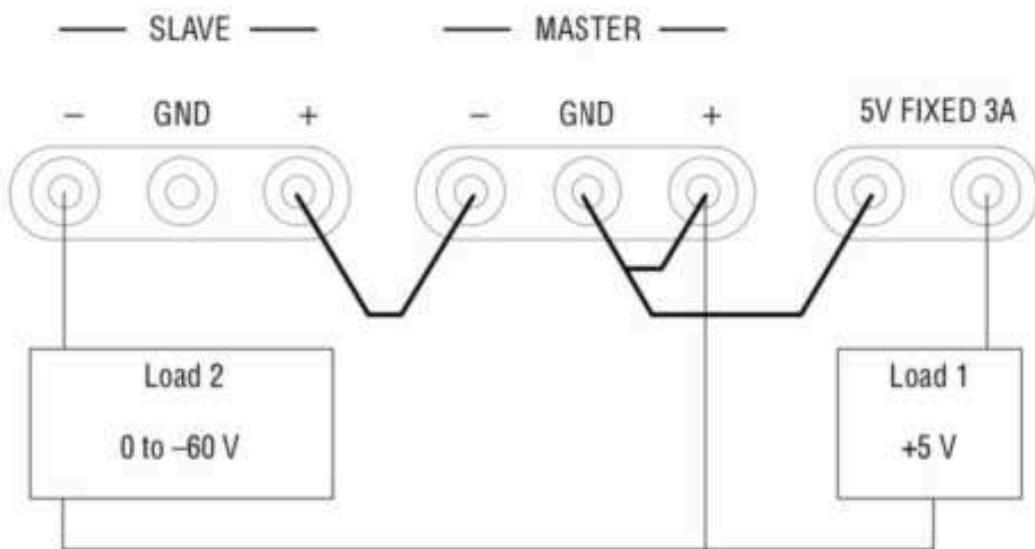


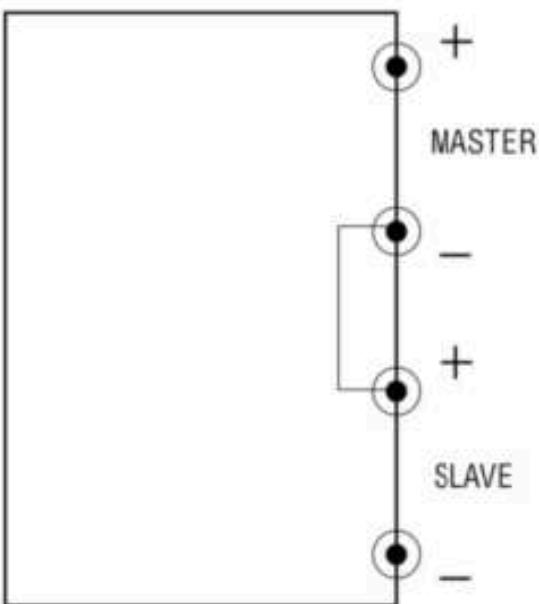
Figure 10: Independent Negative Stacked Application

## Tracking Modes

There are two tracking modes in which you can operate the PS280 or PS283: series and parallel.

**Series.** In series mode, the positive output terminal of the master variable power supply is internally connected to the negative output terminal of the slave power supply. This connection allows the PS280 or PS283 to produce 0 to 60 V at 0 to 2 A (0 to 1 A for the PS283).

When you place the PS280 or PS283 in series mode, the output terminals are hooked together internally as shown in Figure 11.



**Figure 11: Series Tracking Inside the PS280 or PS283**

The voltage knob for the master variable power supply controls the voltage for both variable power supplies. Using the master voltage control, the maximum slave supply voltage is automatically set to the same value as the master supply.

To test a circuit in the series tracking mode, follow these steps:

1. Turn the **POWER** off to the PS280 or PS283.
2. Connect the outputs as shown in Figure 12.

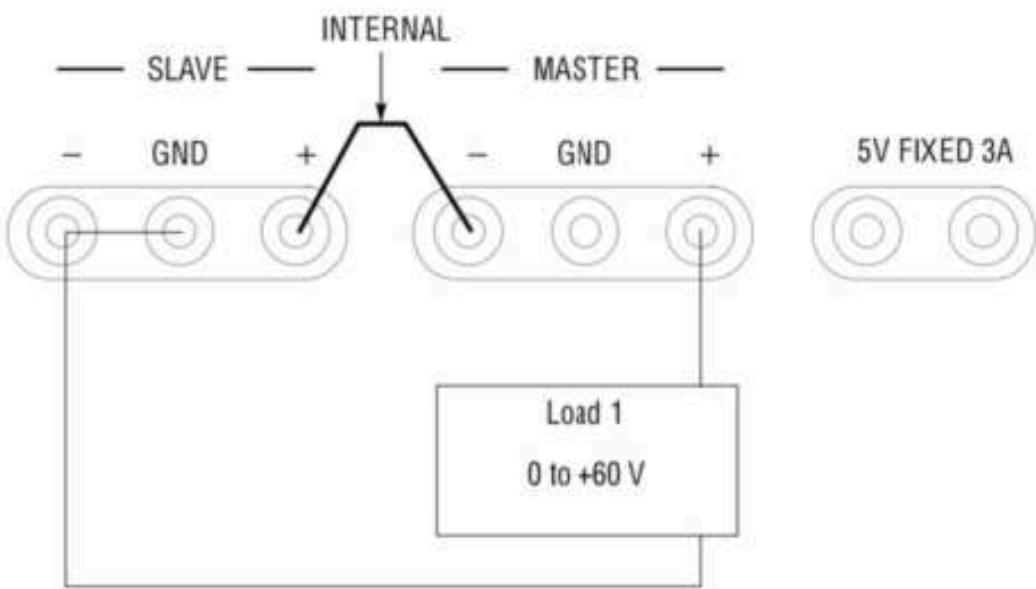


Figure 12: Series Tracking Application

3. Set the PS280 or PS283 to series tracking mode by pressing the left **TRACKING** button. Make sure that the right **TRACKING** button is released (out).
4. Set the master **AMPS/VOLTS** switch to the voltage metering position. Set the slave **AMPS/VOLTS** switch to the current metering position. This allows you to simultaneously monitor both current and voltage.

**NOTE.** In series tracking mode, the output voltage is double the value displayed on the voltage metering LED display, because both supplies are producing the same voltage.

5. Set the slave **CURRENT** knob fully clockwise.
6. Set the current limit using the master **CURRENT** knob. (Refer to *Setting the Current Limit* on page 10.)

---

**NOTE.** In series tracking mode, the current flowing through the two supplies must be equal. Therefore, the maximum current limit is the lower of the values set by the two current control knobs.

---

7. Turn on the **POWER** to the PS280 or PS283.
8. Adjust the output voltage to the desired level using the master **VOLTAGE** knob.
9. Turn the **POWER** off to the PS280 or PS283 again.
10. Connect the device or devices to be tested.
11. Turn on the **POWER** to the PS280 or PS283 again. Readjust the voltages if necessary.

---

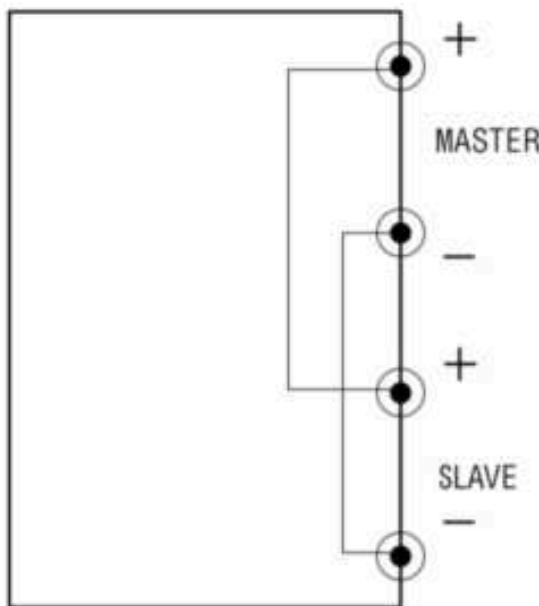
**NOTE.** The 5 V FIXED supply can be independently grounded or allowed to float.

---

**Parallel.** In parallel tracking mode, the positive output terminals of both variable power supplies are internally connected, and the negative output terminals of both variable power supplies are internally connected. These connections allow the PS280 or PS283 to produce 0 to 30 V at 0 to 4 A (0 to 2 A for the PS283).

When you place the PS280 or PS283 in parallel mode, the output terminals are hooked together internally as shown in Figure 13.

The master power supply's **VOLTAGE** and the **CURRENT** knobs control the voltage and current for both variable power supplies.



**Figure 13: Parallel Tracking Inside the PS280 or PS283**

To test a circuit in the parallel tracking mode, follow these steps:

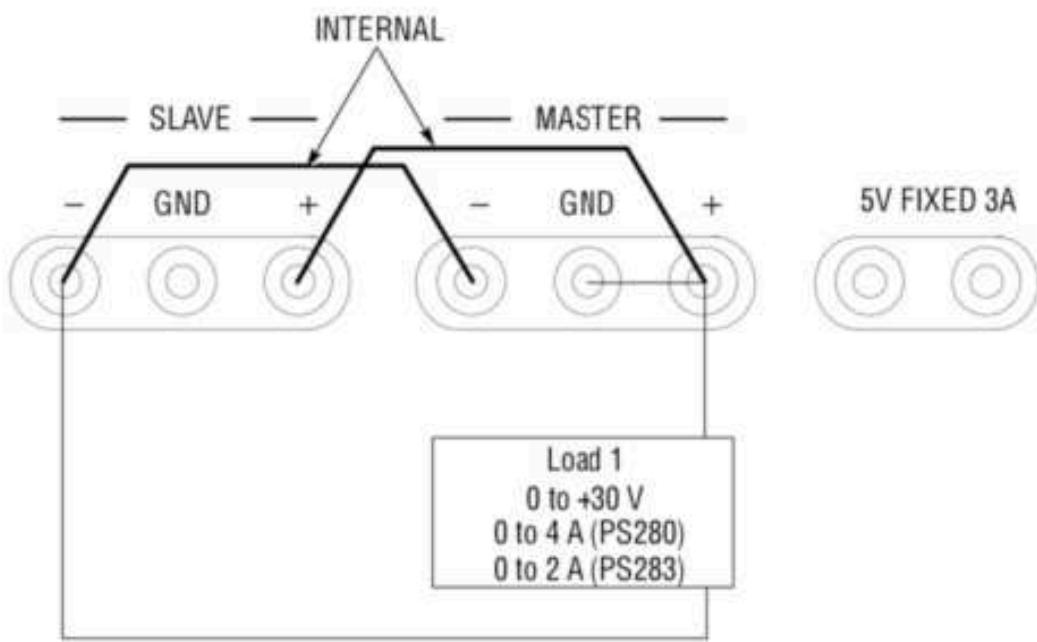
1. Turn the **POWER** off to the PS280 or PS283.
2. Connect the outputs as shown in Figure 14 on page 24.
3. Set the PS280 or PS283 to parallel tracking mode by pressing both tracking buttons.
4. Set the master **AMPS/VOLTS** switch to the voltage metering position, and set the slave **AMPS/VOLTS** switch to the current metering position. This allows you to simultaneously monitor both current and voltage.

---

**NOTE.** In parallel tracking mode, the output current is double the value displayed on the current metering LED display, because both supplies are producing the same amount of current.

---

5. Turn on the **POWER** to the PS280 or PS283.
6. Set the current limit using the master **CURRENT** knob. (Refer to *Setting the Current Limit* on page 10.)



**Figure 14: Parallel Tracking Application**

7. Adjust the output voltage to the desired level using the master **VOLTAGE** knob.
8. Turn the **POWER** off to the PS280 or PS283 again.
9. Connect the positive polarity of the device being powered to the positive master terminal.
10. Connect the negative polarity of the device being powered to the negative master terminal.



**CAUTION.** *To prevent damage to the PS280 or PS283, do not attempt to obtain output simultaneously from both variable power supplies while in parallel tracking mode.*

**NOTE.** *The 5 V FIXED supply can be independently grounded or allowed to float.*

# Appendix A: Specifications

**Table 1: Physical Characteristics**

Dimension	Measurement
Width	255 mm (10.0 in)
Height	145 mm (5.7 in)
Depth	335 mm (13.2 in)
Weight	11.5 kg (25.4 lb) PS280 9.0 kg (19.9 lb) PS283

**Table 2: Environmental Characteristics**

Characteristic	Temperature	Relative Humidity
Storage	-10°C to +70°C	70%
Operating	0°C to 40°C	80%

**Table 3: Operational Characteristics**

Characteristic	Measurement
Outputs	Two 0 to 30 VDC, one 5 VDC
Voltage (5 V)	5.0 ±0.25 VDC at 3.0 A maximum foldback current limited
Voltage (0–30 V)	0–30 constant VDC at 2.0 A constant, maximum (PS280) or 1.0 A constant, maximum (PS283)
Line Regulation (5 V)	≤5 mV
Line Regulation (CV)	≤0.01% +3 mV PS280 ≤0.01% +5 mV PS283

**Table 3: Operational Characteristics (Cont.)**

<b>Characteristic</b>	<b>Measurement</b>
Line Regulation (CC)	$\leq 0.2\% + 3 \text{ mA}$
Load Regulation (5 V)	$\leq 0.2\%$
Load Regulation (CV)	$\leq 0.01\% + 3 \text{ mV}$ (rating current $\leq 3 \text{ A}$ ) $\leq 0.01\% + 5 \text{ mV}$ (rating current $> 3 \text{ A}$ ) $\leq 300 \text{ mV}$ (0–60 V single series tracking supply)
Load Regulation (CC)	$\leq 0.2\% + 3 \text{ mA}$
Ripple/Noise (5 V)	$\leq 2 \text{ mV rms}$
Ripple/Noise (CV)	$\leq 1 \text{ mV rms}$ , 5 Hz–1 MHz
Ripple (CC)	$\leq 3 \text{ mA rms}$
Temperature Coefficient (CV)	$\leq 300 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
Recovery Time (CV)	$\leq 100 \mu\text{s}$ (time to recover after a 50% load change with 0.5 A minimum)
Tracking Error (Slave)	$\leq 0.5\% + 10 \text{ mV}$ of the master supply
Indicator	Two 3 1/2 digit 0.5 in LED panel display meter
Meter Indicators	0–30 VDC $\pm(0.5\% \text{ of reading} + 2 \text{ digits})$ 0–2 A $\pm(0.5\% \text{ of reading} + 2 \text{ digits})$
Insulation (Chassis-to-Terminal)	$\geq 20 \text{ M}\Omega$ at DC 500 V
Insulation (Chassis-to-AC Cord))	$\geq 30 \text{ M}\Omega$ at DC 500 V

**Table 4: Electrical Characteristics**

<b>Characteristic</b>	<b>Measurement</b>
Line voltage	90 to 110 108 to 132 198 to 242 216 to 250, all VAC at 50–60 Hz
Power consumption	386 VA, 300 W maximum (PS280) 265 VA, 200 W maximum (PS283)

**Table 5: Certifications and Compliances**

EC Declaration of Conformity – EMC	<p>Meets intent of Directive 89/336/EEC for Electromagnetic Compatibility. Compliance was demonstrated to the following specifications as listed in the Official Journal of the European Communities:</p> <table> <tbody> <tr> <td>EN 55011</td><td>Class B Radiated and Conducted Emissions</td></tr> <tr> <td>EN 50081-1 Emissions:</td><td></td></tr> <tr> <td>    EN 60555-2</td><td>AC Power Line Harmonic Emissions</td></tr> <tr> <td>EN 50082-1 Immunity:</td><td></td></tr> <tr> <td>    IEC 801-2</td><td>Electrostatic Discharge Immunity</td></tr> <tr> <td>    IEC 801-3</td><td>RF Electromagnetic Field Immunity</td></tr> <tr> <td>    IEC 801-4</td><td>Electrical Fast Transient/Burst Immunity</td></tr> <tr> <td>    IEC 801-5</td><td>Power Line Surge Immunity</td></tr> </tbody> </table>	EN 55011	Class B Radiated and Conducted Emissions	EN 50081-1 Emissions:		EN 60555-2	AC Power Line Harmonic Emissions	EN 50082-1 Immunity:		IEC 801-2	Electrostatic Discharge Immunity	IEC 801-3	RF Electromagnetic Field Immunity	IEC 801-4	Electrical Fast Transient/Burst Immunity	IEC 801-5	Power Line Surge Immunity
EN 55011	Class B Radiated and Conducted Emissions																
EN 50081-1 Emissions:																	
EN 60555-2	AC Power Line Harmonic Emissions																
EN 50082-1 Immunity:																	
IEC 801-2	Electrostatic Discharge Immunity																
IEC 801-3	RF Electromagnetic Field Immunity																
IEC 801-4	Electrical Fast Transient/Burst Immunity																
IEC 801-5	Power Line Surge Immunity																
EC Declaration of Conformity – Low Voltage	<p>Compliance was demonstrated to the following specification as listed in the Official Journal of the European Communities:</p> <p>Low Voltage Directive 73/23/EEC, amended by 93/68/EEC.</p> <table> <tbody> <tr> <td>HD401 S1</td> <td>Safety Requirements for Electronic Measuring Apparatus.</td> </tr> </tbody> </table>	HD401 S1	Safety Requirements for Electronic Measuring Apparatus.														
HD401 S1	Safety Requirements for Electronic Measuring Apparatus.																



## **Appendix B: Maintenance**

This appendix provides information for the basic maintenance of the PS280 or PS283 Laboratory DC Power Supply.

### **Cleaning**

To clean the Laboratory DC Power Supply, use a soft cloth dampened in a solution of mild detergent and water. Do not spray cleaner directly onto the instrument, since it may leak into the cabinet and cause damage.

Do not use chemicals containing benzine, benzene, toluene, xylene, acetone, or similar solvents.

Do not use abrasive cleaners on any portion of the power supply.

### **Preparing for Shipment**

If the original packaging is unfit for use or not available, use the following packaging guidelines:

1. Use a corrugated cardboard shipping carton having inside dimensions at least three inches greater than the instrument dimensions.
2. Put the instrument into a plastic bag or wrap to protect it from dampness and loose packing material.
3. Place the instrument into the box and firmly stabilize it with packing material.
4. Seal the carton with shipping tape.

## Troubleshooting

Electronic maintenance on the power supply must be performed by a trained technician. However, an operator can perform some basic and routine maintenance. Perform the following steps to isolate the fault:

1. The power switch is on. The instrument is plugged in. Neither the C.C. nor the C.V. indicator is lighted.

Check the output terminals with a voltmeter.

- a. Set the voltage control of the voltmeter to midrange.
- b. Ensure that the range and polarity settings are correct.
- c. Place the voltmeter jacks in the PS280 or PS283 output terminals.
- d. Determine if the terminals are producing any output.

Are the outputs working?

Yes                    Go to step 2.

No                    Go to step 3.

2. Refer to a service technician.



***WARNING.*** To prevent electrical shock, unplug the power cord and disconnect the test cables from any power source before checking or replacing the fuse.

---

3. Check the fuse with a multimeter.

- a. Set the multimeter to the low ohms range.
- b. Apply the multimeter probes across the fuse.
- c. Determine if a continuous circuit exists.

Is the fuse okay?

Yes                    Go to step 5.

No                    Go to step 4.

4. Replace the fuse.

5. Verify that the line settings on the rear panel match the line voltage. Do they?  
Yes                  Go to step 7.  
No                  Go to step 6.
6. Reset the line settings. Refer to *Preparing the Power Supply for Use* on page 2.
7. Check the power cord.



***WARNING.*** To prevent personal injury, be sure the power cord is disconnected at both ends before you check it.

- Is the power cord frayed or broken?
- Yes                  Go to step 8.  
No                  Go to step 2.
  8. Replace the power cord.
  9. The power switch is on. A variable output power supply is connected to a circuit. The C.C. or C.V. indicator is on. Neither variable output power supply is producing any electrical output.  
Disconnect the instrument from the circuit. Check the output terminals with a voltmeter. Are the outputs working?  
Yes                  Go to step 10.  
No                  Go to step 2.
  10. Check the circuit you have been testing for a short or low resistance.



## Appendix C: Replaceable Parts

Replaceable parts may be ordered directly from your authorized Tektronix dealer.

### Standard Accessories

The following items are shipped with the Laboratory DC Power Supply:

**Table 6: Standard Accessories**

Accessory	Tektronix Part Number
Fuse, 5 x 20 mm, 4 A, 250 V, SB (PS280: 90 – 132 V operation)	159-0297-00
Fuse, 5 x 20 mm, 2.5 A, 250 V, SB (PS283: 90 – 132 V operation)	159-0226-00
Test Leads	196-3201-00
User Manual	070-8355-XX
115 V Power Cord	Refer to Table 8

### Optional Accessories

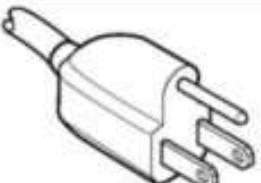
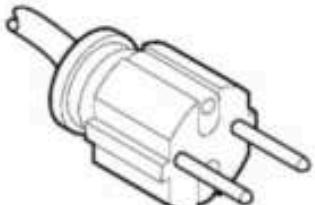
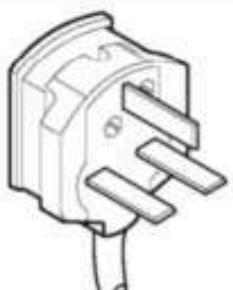
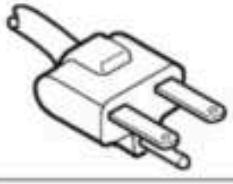
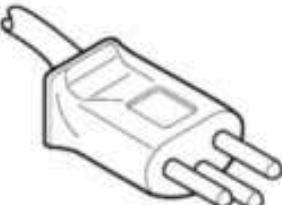
The following items are available as optional accessories:

**Table 7: Optional Accessories**

Accessory	Tektronix Part Number
Fuse, 5 x 20 mm, 2 A, 250 V, SB (PS280: 198 – 250 V operation)	159-0107-00
Fuse, 5 x 20 mm, 1.25 A, 250 V, SB (PS283: 198 – 250 V operation)	159-0247-00
230 V Power Cords	Refer to Table 8

The following power cords are available:

**Table 8: Accessory Power Cords**

Plug Configuration	Normal Usage	Tektronix Part Number
	North America 115 V	161-0104-00
	Europe 230 V	161-0104-06
	United Kingdom 230 V	161-0104-07
	Australia 230 V	161-0104-05
	North America 230 V	161-0104-08
	Switzerland 230 V	161-0167-00