

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE CIENCIAS



**Diseño y Construcción de un Módulo de
Electromagnetismo**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO DE

LICENCIADO EN FISICA

Antonio Nolberto Lazo Jara

Lima-Perú

1995

RESUMEN

Este trabajo consistió en el diseño y la construcción de un conjunto de equipos -al cual denominamos un Módulo Educativo de Laboratorio, o brevemente un Módulo- para experimentos de Laboratorio de Electromagnetismo. Una de las motivaciones que nos condujo a aceptar el reto de realizar este trabajo ha sido nuestro firme convencimiento que en el proceso de enseñanza de la Física, el papel que juega la parte experimental no puede ser reemplazado por ningún otro método o pedagogía. La razón de esto la encontramos fácilmente observando que el avance de las ciencias naturales se fundamenta en el método científico, el cual es un método básicamente experimental.

El Módulo está diseñado para ser usado en Prácticas de Laboratorio de Física, a nivel de Educación Secundaria y Universitaria (Física General). Sin embargo, partes de él también pueden usarse en demostraciones experimentales como complemento de las correspondientes clases de teoría de un curso de Física.

Este trabajo lo hemos dividido en tres Capítulos.

En el primer Capítulo encontraremos una breve revisión de los conceptos básicos del electromagnetismo que han inspirado el diseño de los equipos construidos.

En el segundo Capítulo exponemos una relación (mínima) experimentos que se pueden realizar con los equipos de este Módulo, presentándose además los resultados obtenidos en dichas experiencias.

En el tercer Capítulo proporcionamos todos los detalles para la construcción de nuestros equipos.

Gran parte de este trabajo fue elaborado en LABTED (Laboratorio de Tecnología Educativa Laboratorio de Física Facultad de Ciencias), lugar donde pudimos intercambiar ideas, diseñar y luego construir varios prototipos (experimentando diversos materiales) hasta la realización de la versión final del Módulo que a continuación presentamos. Muchos de nuestros resultados han sido presentados con relativo éxito en Cursos Taller para Docentes, organizados por LABTED.

INDICE

CAPITULO I

Conceptos Básicos y Aplicados de Electromagnetismo

I.0	Introducción.....	1
I.1.0	La Carga Eléctrica y sus propiedades. Electrostática.....	4
I.1.0.1	El Péndulo Electrostático.....	5
I.1.0.2	El Péndulo Doble.....	12
I.1.0.3	El Electroscopio.....	14
I.1.1	Conductores y Dieléctricos. Formas de obtener Carga Eléctrica.....	15
I.1.2	Máquinas Electrostáticas; Electrífico de Volta. Distribución de la Carga en un Conductor.....	19
I.1.2.1	El Generador de Van de Graaff.....	22
I.1.3	El Campo Eléctrico. Potencial Eléctrico.....	23
I.1.3.1	Capacidad Eléctrica. El Condensador. La Botella de Leyden.....	27
I.2.0	Diferencia de Potencial. Fuerza electromotriz: F.E.M. Intensidad de la Corriente Eléctrica. Electroquímica: La Pila de Volta.....	29
I.3.0	Circuitos Eléctricos. Leyes de Kirchhoff.....	34
I.3.1	Circuitos de Resistencias en Serie.....	37
I.3.2	Circuitos de Resistencias en Paralelo.....	38
I.4.0	Campo Magnético. Líneas de Fuerza del Campo Magnético.....	39
I.5.0	Interacción de la Corriente Eléctrica con un Campo Magnético.....	42

I.5.1	Efecto Oersted: Campo Magnético de una Corriente Eléctrica. El Solenide. El Electroimán. Acción de un Campo Magnético sobre una Corriente Eléctrica. El Motor Eléctrico.....	42
I.5.2	Efecto Faraday: Corriente Inducida por la Acción de un Imán. F.E.M. Inducida. Inducción producida por Corrientes Eléctricas. El transformador.....	47

CAPITULO II

Experimentos con el Módulo de Electromagnetismo

II.0.	Recomendaciones para el Trabajo de Laboratorio.....	51
II.0.1	Relación de experimentos sugeridos usando nuestro Módulo de Electromagnetismo.....	53
II.1.	Electrostática.....	54
II.1.1	El Péndulo Electrostático.....	54
II.1.2	Tabla Triboeléctrica.....	58
II.1.3	El Electróforo de Volta.....	63
II.1.4	La Botella Leyden.....	67
II.1.5	El Generador de Van de Graaff.....	70
II.2.	Electroquímica.....	74
II.2.1	La Pila Primaria de Volta.....	74
II.2.2	La Pila Secundaria: El acumulador de plomo.....	79
II.2.3	Cobreado de un metal por medios eléctricos.....	83
II.3.	Corriente Eléctrica.....	86
II.3.1	Circuitos Eléctricos sencillos.....	86
II.3.2	Las Leyes de Kirchhoff.....	91
II.4.	Magnetostática.....	98
II.4.1	Líneas de Fuerza del Campo Magnético.....	98

II.5.	Interacción de la Corriente Eléctrica con un Campo Magnético.....	101
II.5.1	El Motor Eléctrico.....	101
II.5.2	El Transformador Eléctrico de Voltaje.....	103

CAPITULO III

Relación de Equipos Construidos para este Trabajo.

III.1.	Los Péndulos Electrostáticos.....	108
III.2.	El ElectroscoPIO.....	112
III.3.	El ElectrÓforo de Volta.....	116
III.4.	La Botella Leyden.....	121
III.5.	El Generador de Van de Graaff.....	125
III.6.	Medidas de Voltaje, Corriente, y Resistencias.....	133
III.7.	Primera y Segunda Ley de Kirchhoff.....	139
III.8.a	Electroquímica: La Pila de Cu-Zn.....	144
III.8.b	Pila Secundaria: El Acumulador de Plomo.....	149
III.8.c	Galvanizado: Cobreado.....	155
III.9	Líneas de Fuerza del Campo Magnético.....	160
III.10	El Motor Eléctrico.....	164
III.11	El Transformador.....	171
	CONCLUSIONES.....	177
	BIBLIOGRAFIA.....	179

CAPITULO I

I.0. Introducción.

Los fenómenos eléctricos y magnéticos constituyen una parte importante e interesante del amplio conjunto de fenómenos físicos. Importante porque sabemos que la interacción electromagnética es una de las cuatro interacciones fundamentales que existen en la naturaleza. Interesante porque los fenómenos eléctricos y magnéticos son bastante curiosos y fáciles de reproducir: una cañita de plástico frotada con una servilleta de papel produce la atracción de pedacitos de papel, o, un imán puesto cerca de clavos y clips atrae estos hacia sí.

Estos fenómenos bastante comunes y simples en apariencia motivan preguntas interesantes como por ejemplo: ¿por que son atraídos los papelitos? y ¿por qué a veces estos son atraídos y luego expulsados?, ¿por qué un imán atrae clavos y clips y no monedas? Si bien estas preguntas resultan fáciles de formular, las respuestas no son simples: es necesario conocer el comportamiento de la materia a nivel microscópico, y para esto son necesarios conocimientos especializados.

Como sabemos, los alumnos y (algunos) docentes de educación secundaria y técnica no poseen los suficientes conocimientos de base para entender y/o explicar los fenómenos eléctricos y magnéticos. Surge entonces el problema de como iniciar a dichas personas en la teoría de los fenómenos electromagnéticos. Para esto sin duda, sera conveniente usar un lenguaje sin tecnicismos, es decir sin recurrir a explicaciones complicadas ni a fórmulas matemáticas del calculo vectorial (puesto que los campos eléctrico y magnético son cantidades vectoriales, una formulación rigurosa de ellos necesita de esta herramienta matemática [15]).

Por esta razón nos pareció necesario diseñar un conjunto de equipos simples que permitan entender en forma sistemática los conceptos fundamentales de la electricidad y el magnetismo tales como: carga eléctrica, campo eléctrico, corriente eléctrica, campo magnético, etc. Buscamos también la verificación cualitativa (y de ser posible también cuantitativa) de las leyes naturales que rigen los fenómenos electromagnéticos.

Pensamos que el lenguaje apropiado para transmitir dichos conocimientos es el de los experimentos de laboratorio con los cuales se pueden estudiar y entender dichos fenómenos, a través de la observación, el análisis y la síntesis de los experimentos: es decir !usando el método científico! [1,5]

A continuación veremos la motivación que nos condujo a la elección de los equipos que fueron construidos para cumplir los objetivos antes señalados. Analizaremos también el uso de estos en relación con los conceptos fundamentales y aplicados del electromagnetismo[10,13,15, 12]

I.1.0 La Carga Eléctrica y sus Propiedades. Electroestática.

Parece ser que fue Tales (VI a.c.) -un matemático, astrónomo y filósofo griego, habitante de la ciudad de Mileto (Asia Menor)- el primero en descubrir los fenómenos (hoy en día llamados) electrostáticos.

El observó que frotando una sustancia llamada ámbar con un pedazo de piel, dicho material adquiriría la propiedad de atraer objetos livianos como pelos de pluma. Curiosamente la palabra electrón, que es la palabra con la que los antiguos griegos designaban el ámbar, no fue usada por estos para referirse a las propiedades del ámbar[12].

Esta palabra fue introducida por el médico inglés Gilbert, quien fue el primero en estudiar sistemáticamente los fenómenos eléctricos. Encontró que la propiedad de atraer cuerpos livianos la compartían otros materiales como el vidrio, la resina, la madera, etc.

Estamos interesados en averiguar las propiedades eléctricas (es decir propiedades comunes al ámbar) de diferentes materiales, tales como: una varilla o tubo de PVC, una bagueta de vidrio y un retazo (rectangular) de acrílico; como materiales frotadores ensayamos varios tipos de telas y plásticos: lanilla, franela, un pedazo de media de nylon, tela sintética y bolsas de plástico.

Ahora bien: ¿cómo analizamos si el tubo de PVC frotado

con lanilla ha quedado "electrizado" (es decir "ambarizado")?.
Una forma simple de detectar esta propiedad es mediante el denominado Péndulo Electrostático (o péndulo eléctrico).

Los aparatos que sirven para detectar presencia y signo de la carga eléctrica reciben el nombre genérico de electroscopios. En tal sentido, el péndulo electrostático es un electroscopio, sin embargo es poco conocido con esta denominación.

I.1.0.1 El Péndulo Electrostático.

Existen varios diseños de péndulos electrostáticos. trata básicamente de un soporte del cual pende, mediante un hilo, una bolita muy pequeña y liviana capaz de ser atraída o repelida por un objeto previamente frotado. Así el péndulo nos indica cuando un objeto está o no "electrizado" [9].

Los libros editados fuera del Perú y los editados aquí pero que suelen ser una transcripción casi literal de aquellos, informan que el hilo debe ser de seda y la bolita liviana de médula de sauco o corcho. El sauco es un tipo de madera bastante difícil de conseguir en nuestro medio; además un péndulo electrostático con bolita de corcho funciona mal en climas húmedos como el de Lima.

Ante esta situación nos vimos obligados a buscar bibliografía que nos ayude a encontrar un buen péndulo

electrostático, es decir uno que funcione incluso en condiciones de alta humedad atmosférica. Simultáneamente a dicha búsqueda ensayamos varios materiales tanto para el hilo suspensor como para el péndulo mismo; a continuación reseñamos nuestros resultados.

Ante todo, las dimensiones de la bolita deben ser pequeñas para que el efecto de la atracción o repulsión eléctrica sea notorio; se pueden usar bolitas de teknopor o de corcho. Conseguir hilos de seda para suspender las bolitas puede ser difícil, por eso optamos por ensayar con hilos de nylon (obtenidos deshilachando una media de nylon) obteniendo buenos resultados, siempre que el ambiente esté medianamente seco (la importancia del hilo que suspende la bolita se aclarará más adelante).

Sin embargo, en las húmedas mananas de invierno las bolitas de teknopor y (sobretudo) las de corcho no funcionan, es decir no se electrizan al entrar en contacto con objetos previamente frotados. Aprendimos que el corcho común es higroscópico y esto impide que permanezca cargado.

La solución que hallamos al final es simple y económica: un pequeño disco (~ 1 cm de diámetro) de papel de aluminio suspendido de un hilo de nylon funciona excelentemente en todo clima y en lo sucesivo este será nuestro péndulo electrostático.

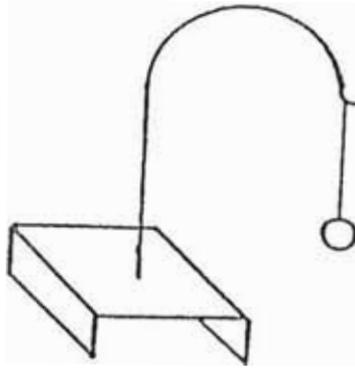


Fig.1

La primera experiencia que realizamos con el péndulo electrostático consiste en frotar el tubo PVC con un pedazo de lanilla y acercar aquel al disco de aluminio (llamado simplemente péndulo): observamos que el disco es atraído y luego repelido violentamente. Lo que ocurrió se puede dividir en tres etapas (las cuales se analizarán en detalle más adelante [12,22]):

1. el PVC-electrizado "influye" al disco;
2. el disco toca el PVC y recibe electricidad de éste;
3. el disco adquirió la misma electricidad que el PVC y es repelido violentamente.

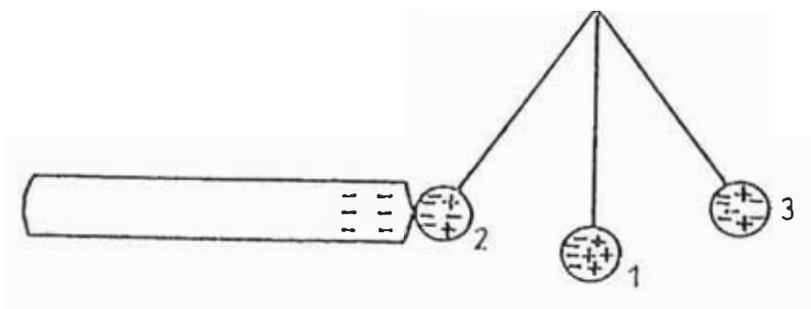


Fig.2

1. influencia , 2. atracción y contacto, 3. repulsión

Al intentar disminuir la distancia del tubo de PVC al péndulo notamos que éste reacciona en dirección contraria evitando así el acercamiento: es como si alrededor del tubo se hubiese formado una coraza que impide al péndulo acercarse.

Notamos que la fuerza de repulsión aumenta (disminuye) cuando disminuye (aumenta) la distancia relativa entre el PVC y el péndulo. Observamos también que si tocamos el disco con la mano, éste pierde la propiedad que tenía antes: se comporta como al principio, es decir es nuevamente atraído hasta tocar la varilla de PVC y luego es repelido violentamente.

Nos preguntamos ahora, si al frotar una regla de acrílico con plástico (celofan o una bolsa de plástico), ¿el acrílico repelerá también al péndulo? Al realizar la operación observamos que ocurre todo lo contrario: el acrílico frotado con plástico atrae al péndulo que fue tocado previamente por el PVC. Esto muestra que hay dos clases de electricidad: la del PVC (frotado con lanilla) y la del acrílico (frotado con plástico)

El naturalista Du Fay (1734) fue el primero en intentar una explicación a los fenómenos de la electricidad por frotamiento (llamada también triboelectricidad, donde el prefijo tribo significa frotación). Du Fay encontró, por experiencias similares a las nuestras, que hay dos clases de

electricidad[11,12]:

una resinosa (hoy en día llamada negativa): la que se obtiene al frotar resina (o ámbar) con lana, esta resulta ser la misma que obtenemos al frotar PVC con lanilla;

una vítrea (hoy en día llamada positiva): la que se obtiene al frotar vidrio con plástico, esta resulta ser la misma que la que obtenemos al frotar acrílico con plástico.

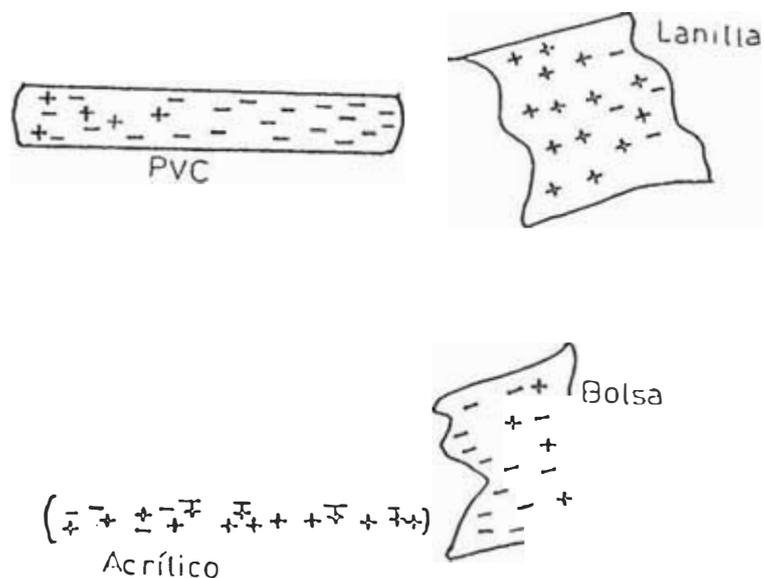


Fig.3

A la cantidad de electricidad (positiva o negativa) que tiene un cuerpo se le llama carga eléctrica o simplemente carga y puede ser positiva o negativa (1 Coulomb es la unidad de carga eléctrica en el SI). Un objeto que no atrae, ni repele al péndulo no posee carga eléctrica neta, es decir tiene igual cantidad de cargas positiva que negativas. De él se dice que está eléctricamente descargado (o simplemente descargado), y se le denomina neutro.

En los primeros intentos por explicar la naturaleza de la electricidad, esta venía representada como un fluido. Hoy en día sabemos que la carga eléctrica es una magnitud (escalar) discreta, es decir se representa en cantidades multiples de una unidad fundamental denominada e, igual a: $e = 1,6 \times 10^{-19}$ coulomb. La partícula que posee carga eléctrica negativa -e se llama electrón (R. Millikan en 1909, fue el primero en medir la carga eléctrica del electrón), la partícula con carga eléctrica positiva +e se llama protón.

El punto de vista moderno de la materia es que está formada por partículas denominadas átomos, los cuales son eléctricamente neutros. Estos se componen de un núcleo, formado por protones y neutrones -partículas sin carga eléctrica-, y de electrones que giran alrededor de él. La neutralidad eléctrica se mantiene mientras el número de electrones sea igual al de protones. Los átomos que pierden (ganan) electrones se llaman iones positivos (negativos).

Cuando frotamos dos cuerpos se produce la pérdida de electrones por parte de los átomos de uno de ellos, mientras que los átomos del otro los recibe, quedando el primero cargado positivamente y el segundo cargado negativamente.

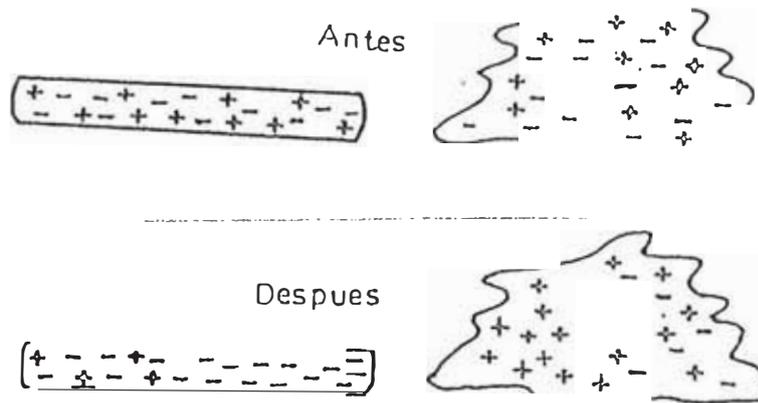


Fig.4

Pero, ¿porqué al frotar dos cuerpos de material diferente, uno tiene que perder electrones y el otro ganarlos? Es más, ¿porqué un material A frotado con material B queda cargado positivamente, en cambio el mismo A frotado con C queda cargado negativamente? Esto ocurre por ejemplo para A = acrílico, B = plástico y C = lanilla. El frotamiento (y algunas veces el simple contacto) ocasiona una transferencia de electrones de un material a otro. La razón para este comportamiento se encuentra en la estructura electrónica de los materiales, es decir en cuan ligados al núcleo se encuentran los electrones de los átomos que componen los diversos materiales. Para ver más detalles sobre este punto, sugerimos consultar [14,20].

La información correspondiente al signo de la carga eléctrica que adquieren dos materiales al ser frotados entre sí viene dada por la Tabla Triboeléctrica, cuya construcción explicamos en el Capítulo II.

I.1.0.2 El Péndulo Doble.

El péndulo doble (en nuestro caso) es un péndulo electrostático que consiste en dos discos de papel de aluminio, de igual diámetro, que penden del mismo punto mediante sendos hilos de nylon. Es particularmente útil para verificar la siguiente propiedad de las cargas eléctricas: "las cargas eléctricas del mismo signo se repelen".

Para esto, basta tocar ambos discos con un tubo PVC (previamente frotado con lanilla) y veremos que ambos discos se separan. Descargamos los discos tocando ambos con la mano, y luego repetimos la operación pero esta vez tocandolos con una regla de acrílico (previamente frotada con plástico), observando el mismo fenómeno de separación de los discos. Esto sin embargo, señala solo el aspecto cualitativo del fenómeno sin cuantificar la fuerza de interacción (atracción o repulsión) entre las cargas.

C. Coulomb inventó una balanza de torsión (hoy denominada balanza eléctrica de Coulomb) para realizar mediciones muy finas de interacción de cuerpos cargados. En 1777, realizando medidas precisas con dicha balanza determinó lo que hoy conocemos como la ley de Coulomb: "la fuerza F de atracción o de repulsión entre dos cargas eléctricas es directamente proporcional al producto de las cargas (q y Q) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (r) que las separa"; es decir $F = k q Q / r^2$.

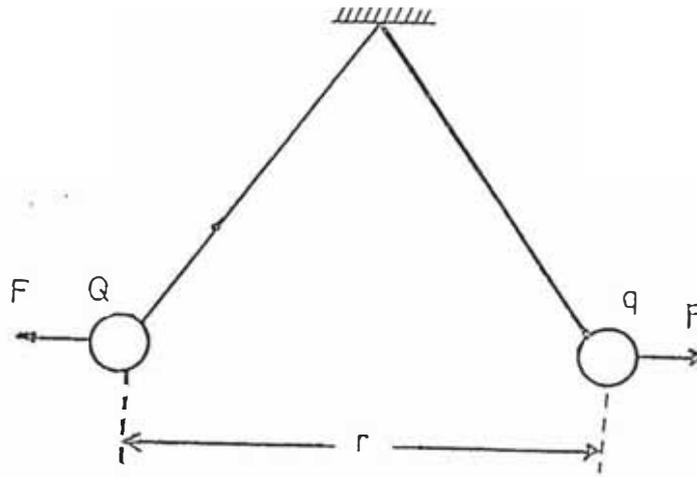


Fig.5

En el Capítulo II mostramos como, usando la ley de Coulomb, se puede hallar la carga eléctrica -depositada en los discos de aluminio- que los mantiene separados una cierta distancia por repulsión eléctrica[17].

I. 1.0.3 El ElectroscoPIO.

Se suele designar con el nombre de electroscoPIO a una botella de vidrio cerrada por un tapón dieléctrico por el cual pasa, en forma vertical, una varilla de metal (denominada electrodo) En el extremo inferior del electrodo, que queda encerrado en la botella, van colocadas dos laminillas metálicas (de oro en los primeros aparatos) muy livianas, mientras que el extremo superior queda en el exterior[11].

Para detectar la presencia de carga eléctrica, acercamos el objeto en estudio hacia el electrodo: si posee carga eléctrica observaremos como las laminillas se separan a medida que nos acercamos, y si nos retiramos ellas vuelven a su posición vertical. Si llegamos a tocar el electrodo con el objeto cargado entonces las laminillas se separarán violentamente y quedarán así por algún tiempo.

Una variante de este electroscoPIO es aquel que construimos para este trabajo (los detalles de su construcción se muestran en el Capitulo III). El soporte aislante del electrodo (de acero en nuestro caso) lo constituye un pedazo de tubo de PVC. En el extremo inferior del electrodo hay un rectángulo de material conductor y enfrente de él va una laminilla de papel aluminio que tiene la libertad de abrirse haciendo un ángulo con el electrodo.

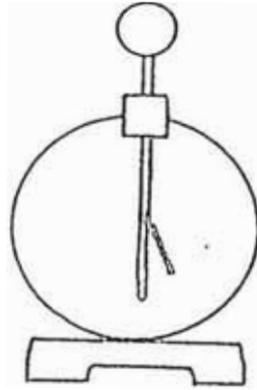


Fig.6

I.1.1 Conductores y Dieléctricos. Formas de obtener carga eléctrica.

La experiencia nos indica que, según su afinidad para transportar cargas eléctricas, los cuerpos se clasifican en:

conductores: aquellos que al recibir carga la conducen o transportan a través de sí. Ejm: tierra, los metales, el cuerpo humano, etc.

no conductores o dieléctricos: aquellos que al recibir carga, ésta queda ubicada localmente en su superficie. Ejm: vidrio, plástico, ebonita, seda, nylon, etc.

Existen también los semiconductores, como el silicio y el germanio, cuyas propiedades son intermedias entre los conductores y los dieléctricos. Es un error pensar que los dieléctricos son aisladores perfectos: de hecho ellos reciben carga eléctrica y la transportan pero tan poco que, para fines prácticos, ésta queda localizada en la superficie

de contacto con el cuerpo cargado.

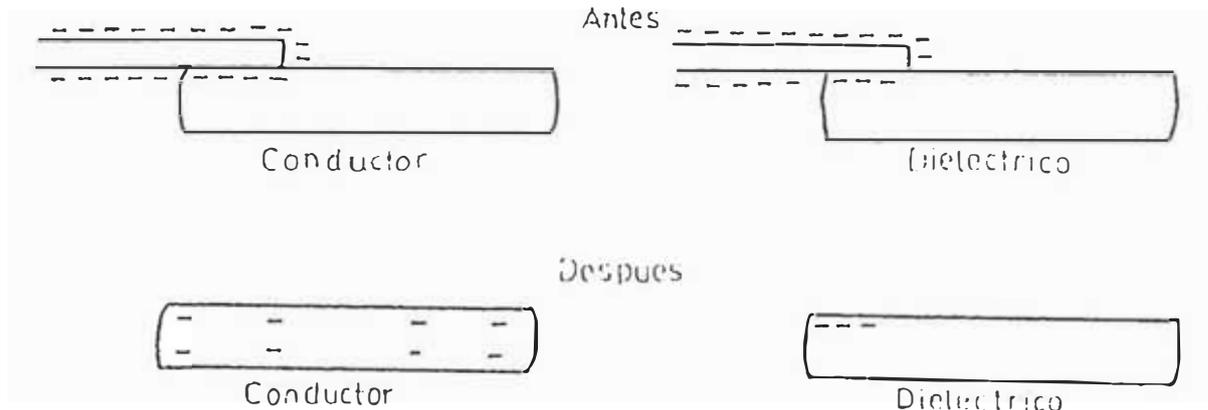


Fig. 1

Podemos verificar que la tierra, el cuerpo humano y la humedad son buenos conductores de cargas eléctricas. Basta constatar que, en un péndulo doble previamente cargado y expuesto al ambiente, los discos inicialmente separados, se van juntando lentamente perdiendo así su carga eléctrica por contacto con la humedad del aire; en días particularmente húmedos esta pérdida ocurre más rápido.

También observamos que la carga eléctrica adquirida por un péndulo eléctrico o por un electroscopio se pierde al tocarlo con un dedo o al ponerlo en contacto -usando un conductor metálico- con el suelo. A este proceso se le denomina: poner a tierra un objeto cargado. Para fines prácticos se considera que tierra es una fuente inagotable de electrones: los cede y los recibe según sea el caso^[21]. Ahora entendemos la razón para usar hilo de nylon (o seda) en el péndulo: si el hilo que suspende al disco es un buen

dieléctrico la carga no circulará por él, y el disco permanecerá aislado de tierra.

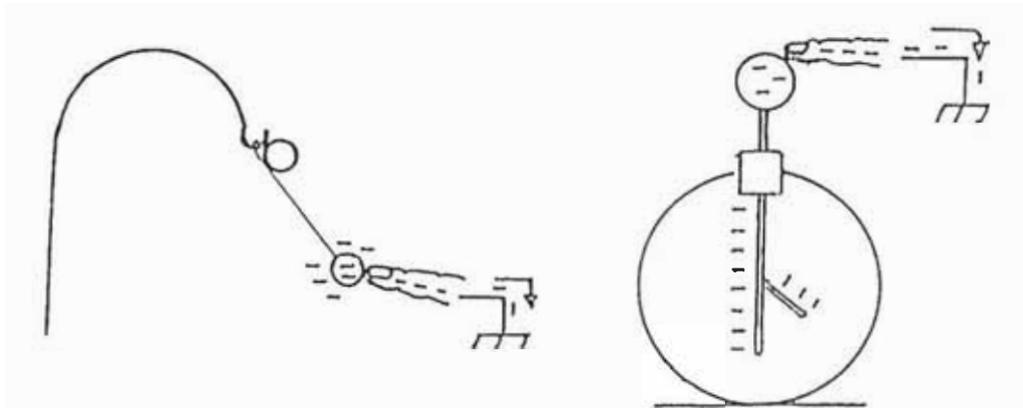


Fig.8

Las formas en que un objeto adquiere carga eléctrica son:

- por frotamiento con otro objeto de material diferente (se entiende que ambos objetos están eléctricamente neutros);
- por contacto directo con un objeto cargado;
- por inducción de cargas y posterior contacto con tierra.

Las formas a y b las pusimos en práctica al usar el péndulo eléctrico, en cambio para poner en práctica la forma c conviene usar el electroscopio. Las tres formas se pondrán de manifiesto en la siguiente sección al explicar como usar el Electrógrafo de Volta.

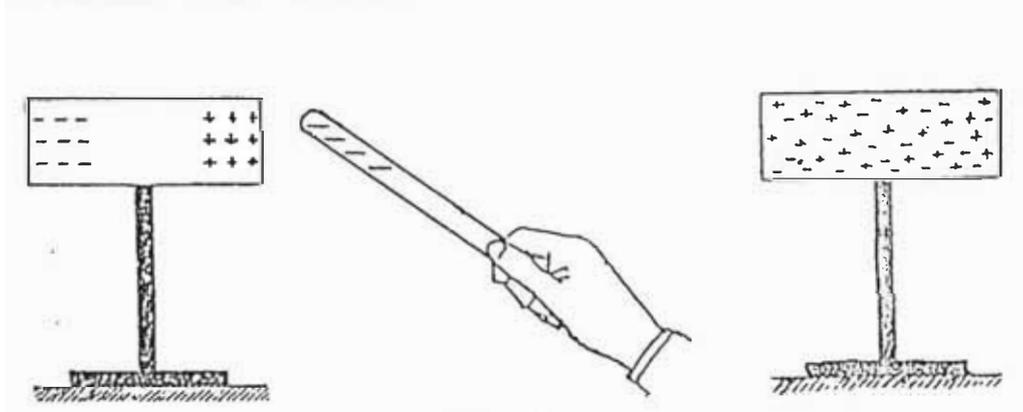


Fig.9

Analizaremos ahora la experiencia inicial de atracción repulsión del péndulo eléctrico (disco pequeño) por parte del tubo de PVC cargado negativamente (pués fue previamente frotado con lanilla). Este análisis también nos permitirá entender el significado de la inducción de cargas en un objeto, por parte de un cuerpo cargado. Como sabemos la materia es, en general, neutra; así podemos imaginarnos al disco de aluminio formado por muchos pares: ion positivo + electrón [6,8,13,15]

1. Ante la presencia del tubo de PVC cargado negativamente, dichos pares se descomponen: los electrones se alejan del PVC y los iones positivos se quedan "solos" en un lado del disco como en la figura 9. Justamente este lado del disco-cargado positivo, siente una atracción hacia el PVC-cargado negativo, y debido a su poca masa se dirige hacia el PVC hasta tocarlo.

A este proceso se le conoce como inducción (o influencia) de cargas (se dice entonces que el PVC-cargado induce al disco-neutro).

2. El disco toca el PVC y recibe cargas negativas de él.
3. Ahora el disco está cargado negativamente (es decir del mismo signo que el PVC) luego es repelido violentamente, pués como hemos visto las cargas del mismo signo se repelen.

r.1.1.2 Maquinas Electrostaticas: Electr6foro de Volta.

Distribuci6n de la carga en un conductor.

El electr6foro, inventado por A. Volta, es la m1quina electrost1tica m1s simple. Consta de una base de material apropiado al proceso de carga (PVC o acr6lico) y un disco de metal (acero) fijado a un mango aislante (para m1s detalles ver los Cap6tulos II y III). El electr6foro genera cargas el6ctricas de la siguiente manera [9, 22].

- a) frotando vigorosamente la base con lanilla o pl1stico,
- b) colocando firmemente el disco de metal sobre la base frotada para inducir cargas el6ctricas de signo opuesto en el disco,
- c) tocando el disco con un dedo para permitir que las cargas inducidas se vayan a tierra, y finalmente
- d) separando el disco, mediante el mango aislante, de la base.

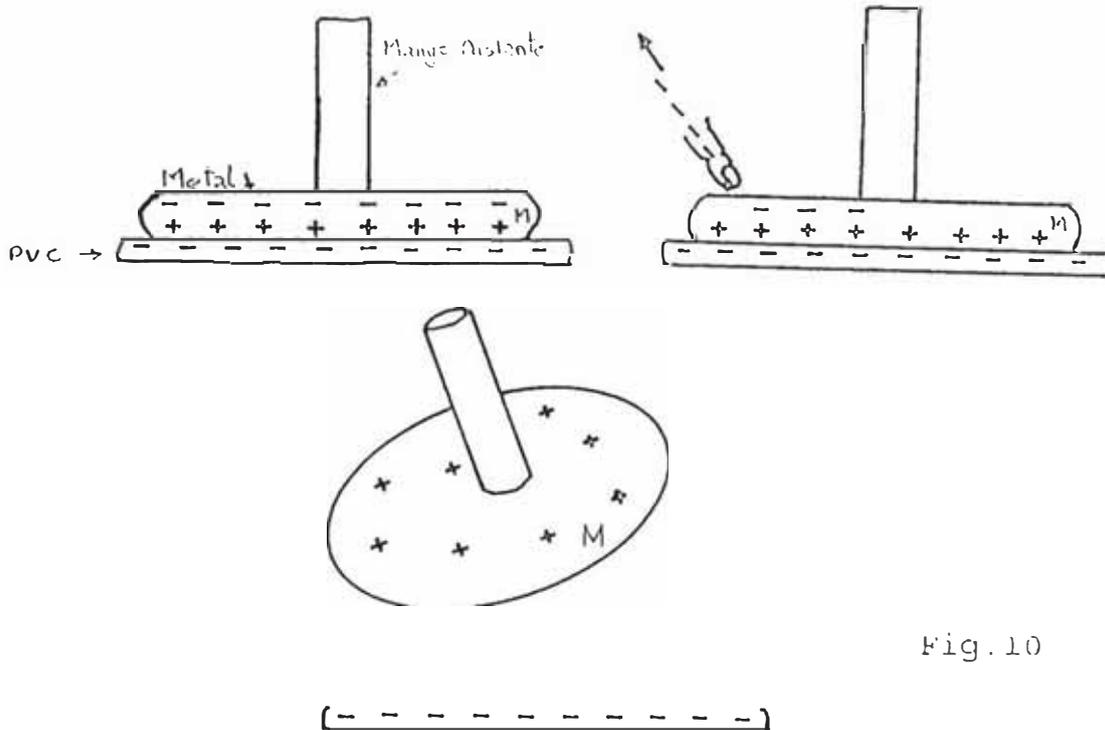


Fig. 10

Para ver que el disco resultó cargado luego de este proceso, basta acercarlo a un péndulo y observar como lo atrae hasta tocarlo y luego lo repele. Para averiguar el signo de la carga del electróforo, basta saber si atrae o repele a un péndulo previamente tocado por PVC (frotado con lanilla): si lo repele significa que tiene carga negativa (igual a la del PVC frotado con lanilla); si lo atrae tiene carga positiva (igual a la del acrílico frotado con plástico).

Una propiedad interesante de los conductores es que, la carga eléctrica que le proporcionamos a un conductor se distribuye en su superficie. Esto lo podemos comprobar con un cilindro metálico cerrado (por ejemplo un tarro de leche) con un hueco en su tapa superior, un tubo de PVC frotado con lanilla (o un electróforo cargado y un alambre conductor) y un péndulo electrostático.

Toquemos el cilindro con el PVC para cargarlo (ensayemos cargando el cilindro primero por adentro y luego repetamos el experimento cargandola por afuera), luego introduzcamos el péndulo y notaremos que éste no es atraído, luego acerquemos el péndulo al exterior y observaremos que aquí si es atraído.

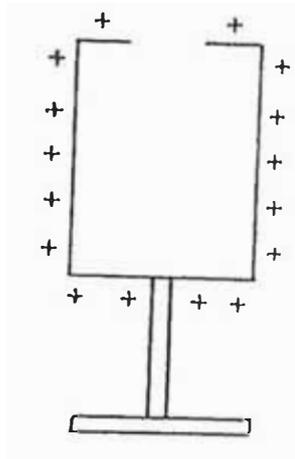


Fig. 11

Sin embargo, la distribución de las cargas en la superficie de un conductor no es uniforme: se puede verificar que las cargas eléctricas se acumulan en mayor cantidad en las partes convexas (o puntiagudas) que en las partes llanas. Para comprobar esto basta acercar el disco de metal del electróforo cargado al electrodo del electroscopio: acercandolo por la parte central de la base, la hojilla del electroscopio se abre, pero acercandolo por el borde, la hojilla se abre mucho más.

Es mas, como se habrá notado al experimentar con el péndulo electrostático, el disco de aluminio presenta siempre su perfil, y no su cara, al tubo de PVC o al pedazo de acrílico.

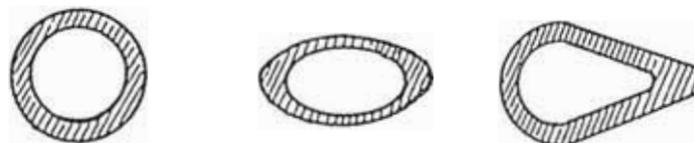
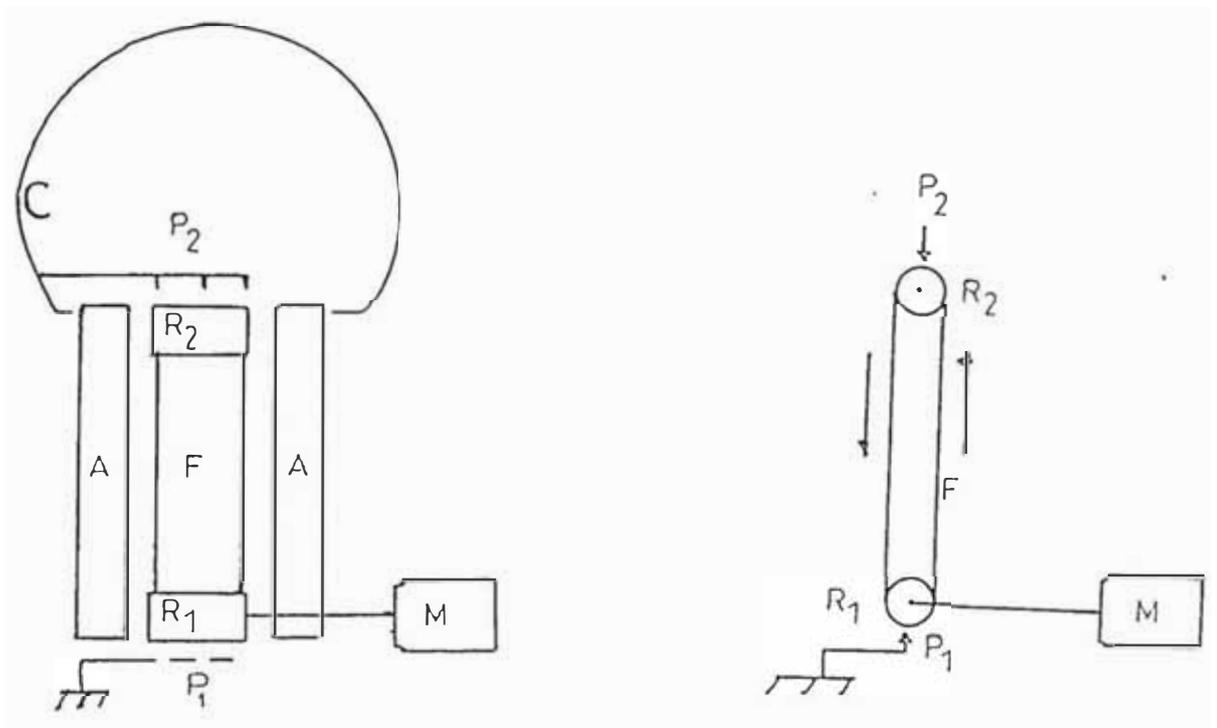


Fig. 12

I.1.2.1 El Generador de Van de Graaff.

Este generador de cargas eléctricas fue inicialmente propuesto por Lord Kelvin en 1890, pero fue construido en 1931 por R.J. Van de Graaff. Es una máquina que genera gran cantidad de cargas eléctricas por frotamiento e inducción.

El nuestro presenta las siguientes características



A1, A2: Soportes aislantes

F: Faja de jebe

P1, P2: Peines metálicos recolectores

C: Casco metálico

M: Motor

R1, R2: Cilindros

Fig.13

El casco metálico C, de forma semiesférica, esta internamente conectado con un peine metálico P2; todo este conjunto está aislado pues viene sostenido por dos soportes aislantes A1 y A2.

En la parte superior se encuentra también el cilindro R2, el cual gira alrededor de su eje debido al movimiento que le transmite la faja. A su vez la faja se pone en movimiento por el giro del cilindro R1, el cual tiene su eje conectado al eje del motor eléctrico M (además está conectado a tierra mediante el peine P1). La envoltura exterior del cilindro R2 es de tubo de PVC, mientras que el cilindro R1 es de aluminio. Debido al frotamiento producido entre el PVC y la faja, ésta se carga positivamente, y las cargas son recolectadas por el peine metálico P2 (por el fenómeno denominado "poder de las puntas", que será aclarado más adelante). De esta manera el casco queda cargado positivamente.

En la siguiente sección veremos algunos experimentos interesantes que se pueden realizar con el generador de Van de Graaff.

I.1.3 El Campo Eléctrico. Potencial Eléctrico.

Hemos observado que alrededor de todo objeto cargado eléctricamente hay una zona de influencia que experimenta cualquier carga de prueba (como por ejemplo la de un péndulo cargado) a la cual denominamos campo eléctrico E [15].

El campo eléctrico es una cantidad vectorial y como tal viene representado por un vector en todo punto del espacio. El campo creado por una carga eléctrica se define como la

fuerza F (que es un vector) que experimenta una carga q en la vecindad de un cuerpo cargado Q , es decir $E = F/q = kQ/r^2$. Teóricamente el campo eléctrico creado por una carga se extiende hasta el infinito, pero en la práctica a una cierta distancia de la misma ya dejan de percibirse sus efectos.

Una propiedad interesante del campo eléctrico es que es posible limitarlo interponiendo conductores en forma conveniente. Colgando dos péndulos uno de la superficie interior y otro de la superficie exterior de una malla metálica cerrada en forma de caja, M. Faraday descubrió que, al acercarse la caja a un cuerpo cargado el péndulo exterior es atraído mientras el interior no resulta afectado. Este experimento, conocido como la caja o jaula de Faraday podemos realizarlo con el generador de Van de Graaff o con el electroforo de Volta.

El campo eléctrico viene representado por las líneas de campo eléctrico, las cuales proporcionan la dirección y sentido (más no la magnitud) del campo eléctrico en cada punto del espacio. En otras palabras, el vector campo eléctrico en un punto, es tangente a la línea de campo en dicho punto. Por convención las líneas de campo de una carga positiva (negativa) salen (entran) de dicha carga.

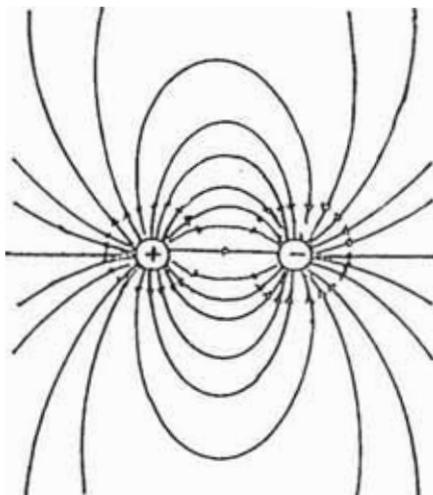


Fig.14

Lineas de Campo Eléctrico
para dos cargas de signos opuestos
pero de igual magnitud

Como vimos en una sección anterior, la cantidad de carga eléctrica que recibe un conductor se acumula más en las partes convexas (o puntiagudas) que en las partes llanas. Esta característica, junto con el concepto de campo eléctrico nos permite explicar la famosa propiedad denominada "el poder de las puntas", una de cuyas aplicaciones más importantes es el pararrayos de B. Franklin.

Veamos lo que sucede cuando a un conductor cargado -por ejemplo el casco del generador van de Graaff-, le acercamos un electrodo (llamaremos electrodo a cualquier metal conductor de forma "punteaguda" y conectado a tierra). La gran cantidad de cargas positivas en el casco inducen una similar cantidad de cargas negativas -venidas desde tierra- en el electrodo. Así el campo eléctrico alrededor del electrodo es muy intenso (y en consecuencia las líneas de campo están muy concentradas) y alcanza un valor tan alto que ioniza los átomos presentes en el aire que rodea el

conductor produciéndose entonces una chispa o descarga eléctrica: las cargas negativas del electrodo pasan a neutralizar las cargas positivas del casco. Para observar más descargas alejamos el electrodo algunos segundos para permitir que el casco del generador se vuelva a cargar y repetimos la operación [7].

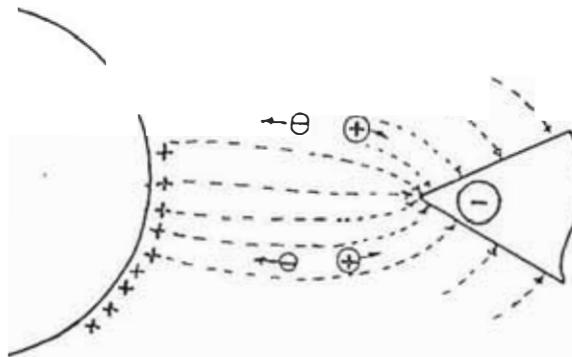


Fig.15

La noción de campo eléctrico es muy útil pues permite introducir otros conceptos del electromagnetismo. Todos los puntos alrededor de un objeto cargado hasta donde se acerca el pendulo eléctrico (previamente cargado) sin variar su inclinación respecto a la vertical, forman una superficie llamada superficie equipotencial.

Cada uno de los puntos de esta superficie tienen una característica comun: el trabajo W que debemos realizar (contra el campo eléctrico) para traer (desde lejos) una carga de prueba del mismo signo q , como por ejemplo el disco cargado del péndulo, hasta dichos puntos es el mismo para cada uno de ellos. Dicho trabajo W por unidad de carga q

transportada hasta el punto P, es decir: W / q se llama Potencial eléctrico (del objeto cargado) en P: $V_p = W/q$. El potencial eléctrico es una magnitud escalar (su unidad en el SI es el Voltio) y tierra representa el cero o magnitud de referencia, es decir: $V_t = 0$. Es claro que dos puntos con igual potencial eléctrico pertenecen a la misma superficie equipotencial.

En particular, para un cuerpo con carga eléctrica Q y con simetría esférica (como por ejemplo el casco del generador Van de Graaff), su potencial eléctrico en un punto P, cuya distancia al centro de la esfera es r ($r > R$, el radio de la esfera), resulta ser $V_p = k Q/r$, donde $k = 1/4\pi\epsilon$ es la constante dieléctrica del medio que rodea el objeto cargado.

I.1.3.1 Capacidad Eléctrica. El Condensador. La Botella de Leyden.

Si tenemos una esfera metálica conductora (de radio R) en contacto con un generador de cargas eléctricas (por ejemplo un Van de Graaff), pero al mismo tiempo aislada de tierra, recibe carga eléctrica y la acumula. Como hemos visto, la relación entre la carga acumulada y el potencial eléctrico en su superficie es: $V = k Q/R$. Si luego de T₁ segundos desconectamos la esfera y la ponemos en contacto con el electroscopio, observaremos la carga acumulada en dicho lapso de tiempo.

Repetimos la operación n veces, con $T_1 > \dots > T_n > T_{n+1}$. Observaremos al principio que, a más tiempo de contacto con el generador, la carga acumulada es mayor pues la hojilla se separa más y más de la vertical. ¿Cuánta carga será capaz de acumular la esfera? Luego de algunas repeticiones, la hojilla del electroscoPIO alcanza un límite y no se aleja más de la vertical, evidenciando que la esfera ha alcanzado un límite en su capacidad para almacenar carga eléctrica (y también un límite en el valor de su potencial eléctrico)

Así, el cociente Q/V toma un valor constante, y recibe el nombre de Capacidad Eléctrica o simplemente capacidad: $C = Q/V$ la unidad de capacidad es el Faradio en el sistema SI). Para una esfera, la capacidad es $C = R/k$.

A finales del siglo XVIII se observó que la capacidad de almacenar cargas de un conductor aumenta si se le acerca (sin tocar) otro conductor que esté conectado a tierra. Es más, la capacidad aumenta aún más si entre ambos conductores se interpone un material dieléctrico (la capacidad será diferente con diferentes dieléctricos). El conjunto de dos conductores separados por un aislador o dieléctrico recibe el nombre de Condensador[6,7].

Pieter Van Musschenbroek en 1746, usando dos conductores en forma de vasos colocados coaxialmente y separados por un vaso de vidrio (proveniente de la ciudad holandesa de Leyden) encontró que dicho sistema era capaz de almacenar

carga eléctrica suficiente como para producir "convulsiones" a quien tocase con una mano el conductor exterior y otra el conductor interior (esto es, se produce una descarga o chispa eléctrica). Musschenbroek bautizó a este conjunto de vasos coaxiales como Botella de Leyden, pues pensó, erróneamente, que solo con vidrio proveniente de aquella ciudad se conseguía el efecto de la chispa eléctrica.



Fig. 16

Una experiencia muy interesante usando la Botella de Leyden es la que proponemos en el Capítulo II. Se trata de almacenar carga eléctrica en ella usando el electróforo de Volta, y luego poner en contacto, por medio de un cable, las partes conductoras interior y exterior de la Botella: observaremos que se produce una chispa eléctrica.

I.2.0 Diferencia de Potencial. Fuerza Electromotriz: f.e.m.
 Intensidad de Corriente Eléctrica.
 Electroquímica: La pila de Volta.

Sean dos conductores 1 y 2 que se encuentran a potenciales eléctricos diferentes V_1 y V_2 , es decir $V_1 \neq V_2$. Si ellos se ponen en contacto por medio de un conductor

metálico se producirá un traslado de cargas, desde el conductor con mayor potencial a aquel con menor potencial, hasta que el potencial de ambos conductores se iguale. Dicho traslado de cargas, denominado corriente de cargas o corriente eléctrica está formada por electrones (la masa de un protón es 1836 veces más grande que la de un electrón).

Supongamos por simplicidad que el conductor 2 es tierra es decir $V_2 = 0$, entonces:

cuando $V_1 > 0$, el conductor 1 recibe electrones hasta que $V_1 = 0$;

cuando $V_1 < 0$, el conductor 1 da electrones hasta que $V_1 = 0$.

En ambos casos se dice -por convencion- que se ha establecido una corriente de cargas positivas desde el conductor de mayor potencial al de menor potencial: la corriente cesa cuando se igualan los potenciales (es buena la analogía mostrada en la figura: el agua del recipiente fluye hasta igualar los dos niveles) [12,22].

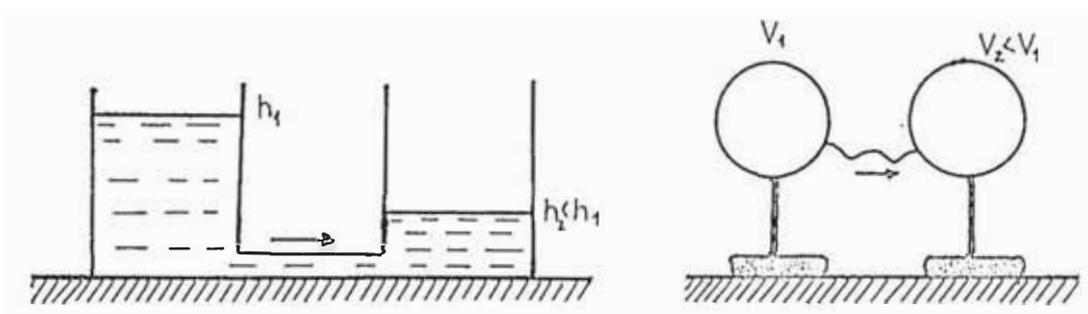


Fig.17

En 1789, L. Galvani observó accidentalmente que, unas ranas recién desolladas y colgadas por ganchos de cobre en

un balcón con rejas de fierro, se convulsionaban cuando por acción del viento los miembros inferiores tocaban las varillas del balcón. Galvani explicó este fenómeno mediante la existencia de un fluido vital, inherente al organismo y análogo al fluido eléctrico.

Poco después, A. Volta explicó que la causa del fenómeno estaba en el arco conductor cobre-fierro (que unía los nervios lumbares con las extremidades) y no en los órganos del animal. Para demostrar su hipótesis Volta tomó dos discos, uno de cobre y otro de zinc, al estado neutro con mangos aisladores de vidrio. Los puso primero en contacto y después los separó. Usando un electroscoPIO sensible, observó que el cobre se había cargado negativamente mientras el cinc se había cargado positivamente. Es decir, por simple contacto de dos metales diferentes se había producido una diferencia de potencial eléctrico (también llamada fuerza electromotriz: fem) capaz de ocasionar el transporte de cargas eléctricas de un metal a otro[22].

Si la corriente eléctrica que se establece es constante (al menos durante un lapso de tiempo) entonces, la diferencia de potencial recibe el nombre de Voltaje (y su unidad es también el Voltio). La cantidad de carga eléctrica Q que atraviesa una sección transversal de un conductor en la unidad de tiempo t recibe el nombre de intensidad de corriente eléctrica (o simplemente corriente): $I = Q / t$. La unidad de intensidad de corriente es el Amperio (

- Coulomb / segundo) en el sistema SI.

A. Volta encontró que los conductores metálicos sólidos (incluido el carbón) no sufrían alteraciones químicas por el paso de la corriente. En cambio los conductores líquidos, aquellos que atacan a los metales, si se descomponen por el paso de la corriente.

Volta descubrió también que el potencial eléctrico del zinc es menor al del cobre, cuando láminas de ambos materiales se sumergen en ácido sulfúrico diluido. Es más, uniendo ambas láminas por un alambre conductor (de cobre) se origina una corriente eléctrica que se mantendrá constante porque la reacción química que se establece, hace que la diferencia de potencial $V_C - V_Z$ (~ 1 voltio), se mantenga constante. Este dispositivo experimental conocido como la Pila de Volta, representa el eslabón que conecta los conceptos de la electrostática con los de la corriente eléctrica [11,22]

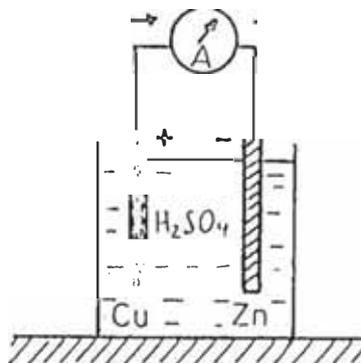


Fig.18

G. S. Ohm (1781-1854) fue uno de los primeros en estudiar las propiedades de las corrientes eléctricas. Intercalando un foquito en medio del alambre de cobre de la pila de Volta observaremos que éste se enciende (es decir, el filamento se pone incandescente) debido al paso de la corriente (como veremos, este es el efecto Joule). Si ahora colocamos dos pilas en serie (Cu-Zn + Cu-Zn) observaremos que el foquito genera mayor intensidad de luz.

Si realizamos medidas de I para varios V (varias pilas en serie, por ejemplo) encontraremos que el cociente V / I se mantiene constante. Ohm, en 1825, encontró que dicha constante es propia del foquito ya que, si se colocan dos foquitos y se repiten las mediciones el cociente V / I seguirá siendo constante pero dicha constante tendrá otro valor. Ohm, llamó resistencia R (del foquito) a dicha constante, es decir $R = V / I$ (o $V = R I$). Esta relación se conoce como la Ley de Ohm; la unidad de resistencia en el sistema SI es el Ohm.

J. P. Joule estudió las leyes térmicas relativas a las corrientes y en 1843 encontró que: "la cantidad de calor (en calorías) que se obtiene cuando una corriente eléctrica se emplea exclusivamente en producir calor, es igual a 0.24 por el voltaje (en voltios) por la intensidad de corriente (en amperios) y por el tiempo en segundos"; (1 Caloría es

4.187 J en el SI: es la cantidad de energía que se necesita para hacer subir en 1 grado $^{\circ}\text{C}$ o K - la temperatura

de 1 gramo de agua) .

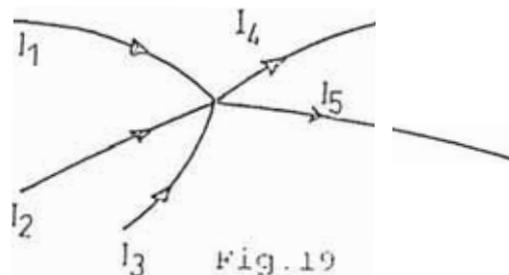
El fenómeno según el cual aquello que produce calor lo hace porque ofrece resistencia al paso de la corriente, se conoce como efecto Joule. Por ejemplo, un foco por el que circula corriente eleva su temperatura y (su filamento) se pone incandescente: decimos entonces que el foco está encendido.

1.3.0 Circuitos Eléctricos. _Leyes de Kirchhoff.

Un circuito eléctrico es un conjunto de elementos tales como una pila o fuente de fuerza electromotriz (en adelante, llamada simplemente fuente), una o más resistencias y conductores metálicos (generalmente de cobre) por los cuales circula la corriente [1, 11, 23]

Primera Ley de Kirchhoff. (llamada también regla de los nodos; un nodo es el punto donde se encuentran dos corrientes que circulan en un circuito cerrado):

"La suma algebraica de las corrientes I_k convergentes en un nodo es igual a cero" (ver figura 19). Es decir,



$$\sum I_k = 0 ,$$

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0 , \quad (10.50)$$

donde n es el número de conductores que convergen al nodo; se consideran positivas las que entran al nodo y negativas las que salen.

Segunda Ley de Kirchhoff. (llamada regla de las mallas):
 "En cualquier malla de un circuito eléctrico, la suma algebraica de los productos de las intensidades I_k por las resistencias R_k de las partes correspondientes de esta malla es igual a la suma algebraica de los voltajes (o fuerzas electromotrices) E_k aplicados a las mallas" (ver figura 20) Es decir,



Fig. 20

$$\sum I_k R_k = \sum E_k .$$

Para aplicar la segunda ley sugerimos proceder así:

- a) Se elige un sentido de recorrido de la corriente en la malla.
- b) Se eligen arbitrariamente los sentidos de las corrientes en cada malla.
- c) Las corrientes que coincidan con este sentido de recorrido se consideran positivas, caso contrario se consideran negativas.

$$\begin{aligned}
 &+ I_1 && + I_1 R_1 + I_1 R_2 - I_2 R_2 - \\
 &+ I_2
 \end{aligned}$$

- d) Los voltajes E_k de las fuentes se consideran positivas, si crean corrientes dirigidas en el mismo sentido.

$$\begin{aligned}
 &+ E_1 && = + E_1 + E_2 - E_3 \\
 &+ E_2 \\
 &E_3
 \end{aligned}$$

- e) El número de ecuaciones que se necesita para resolver un circuito que contiene m nodos, es $m-1$ ecuaciones independientes.

Se toman mallas arbitrariamente, de manera tal que cada nueva malla tenga por lo menos una parte del circuito que no se encuentre en las mallas ya consideradas. En un circuito que tenga p ramas (una rama es la parte del circuito entre dos nodos vecinos) y m nudos, el número de ecuaciones independientes, según la segunda ley es: $p-m+1$. [23]

1.3.1 Circuitos de Resistencias en Serie.

Si se conectan varias resistencias de manera que la corriente que circula por todas ellas sea la misma, decimos que las resistencias están en serie (ver figura 21).

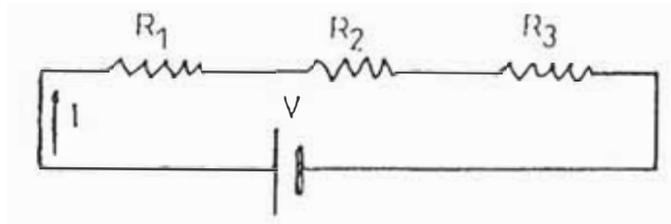


Fig.21

La corriente eléctrica origina una diferencia de potencial, entre los terminales de cada resistencia. La relación entre la corriente I_i , el potencial V_i y la resistencia R_i , según la ley de Ohm, es:

$$V_1 = R_1/I, \quad V_2 = R_2/I, \quad V_3 = R_3/I \quad (1)$$

Entonces, aplicando la 2da. ley de Kirchhoff al circuito anterior:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (2)$$

Reemplazando (1) en (2) tenemos:

$$V = I (R_1 + R_2 + R_3) \quad (3)$$

La ecuación (3) indica que las tres resistencias pueden remplazarse por una resistencia equivalente R_e , igual a:

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 \quad (4)$$

Este resultado se puede extender a un número arbitrario de resistencias.

1.3.2 Circuito de Resistencias en Paralelo.

Es otra manera de conectar resistencias, es que entre los extremos de cada resistencia la diferencia de potencial sea la misma (ver figura 22).

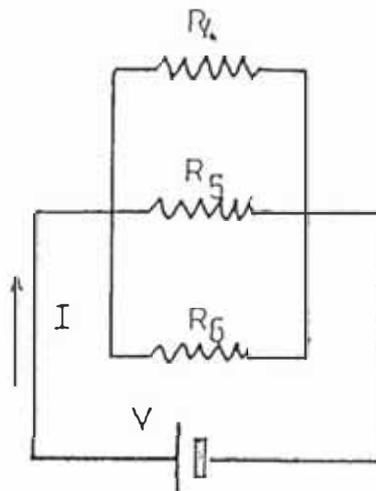


Fig.22

Entonces las intensidades de corriente que pasan por cada resistencia están dadas por:

$$I_4 = V/R_4, \quad I_5 = V/R_5, \quad I_6 = V/R_6 \quad (5)$$

De la primera ley de Kirchhoff se tiene:

$$I = I_4 + I_5 + I_6 \quad (6)$$

Sustituyendo (5) en (6):

$$V (1/R_4 + 1/R_5 + 1/R_6) = I \quad (7)$$

La ecuación (6) indica que todo el circuito puede reemplazarse por una resistencia equivalente igual a:

$$1/R_e = 1/R_4 + 1/R_5 + 1/R_6 \quad (8)$$

Este resultado puede extenderse a un número arbitrario de resistencias.

Un Circuito Mixto está formado por resistencias que se encuentran unidas en serie y en paralelo; se pueden analizar aplicando lo visto anteriormente.

1.4.0 Campo Magnético. Líneas de Fuerza del Campo Magnético.

Desde tiempos remotos los pobladores de la antigua ciudad de Magnesia, en el Asia Menor, conocían un mineral, hoy llamado magnetita, el cual tiene la propiedad de atraer pequeños objetos de hierro colocados en su vecindad. Al parecer **fueron** los chinos **quienes** descubrieron una importante aplicación a las propiedades de este mineral: una aguja frotada con dicho mineral y dejada en libertad de giro sobre un apoyo, se orienta siempre (independiente de su orientación inicial) siguiendo -aproximadamente- la dirección Norte-Sur de la tierra[4,12,13].

Hoy en día, denominamos imán a todo objeto natural o artificial, que presente la propiedad de atraer objetos de hierro; la aguja imantada que se orienta según la dirección N-S recibe el nombre de brújula. Si introducimos un imán en forma de barra entre limaduras de hierro y luego lo retiramos, notaremos que estas se colocan en mayor cantidad en los extremos que en el centro, evidenciando la existencia de dos polos, a los cuales denominamos (por convención) polo Norte (N) y polo Sur (S).

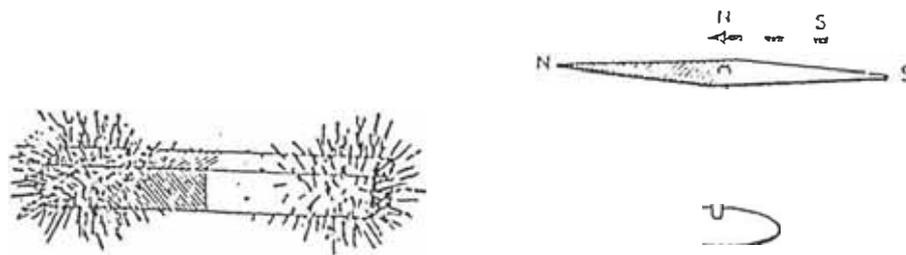


Fig. 23

Una curiosa propiedad de un imán es que si lo dividimos en dos partes -contra todo pronóstico- no se obtienen dos polos, uno N y otro S separados: obtenemos dos imanes, cada uno con su respectivo polo N y polo S. Si continuásemos indefinidamente el proceso de partir un imán llegaríamos a separarlo en moléculas que serían otros tantos imanes. Hoy en día sabemos que las moléculas de las sustancias magnéticas son pequeños imanes que, cuando se ordenan la sustancia presenta propiedades magnéticas (decimos entonces que está imantada); pero cuando ellos están desordenados, la sustancia no presenta dichas propiedades. Una forma fácil de verificar esto es frotar con un imán (en una sola dirección) una hoja de sierra o un clavo: al acercarse limaduras de hierro, clavitos o clips observaremos que la sierra o el clavo están imantados (o magnetizados) [4].

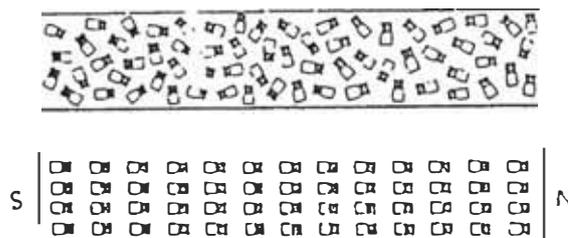


Fig. 24

Otra experiencia interesante, consiste en **observar** como cambia la dirección de una brújula al pasearla alrededor de un imán: notaremos **que** la brújula toma orientaciones diferentes en forma continua al **desplazarse** alrededor de él, lo cual es un indicio que el imán está influyendo en la (aguja de la) brújula en cada punto del espacio.

La acción de un imán, en cada punto del espacio, sobre un imancito de prueba infinitamente **pequeño**, colocado en **ese** punto, la denominamos **Campo Magnético**. El **campo magnético** viene **representado** por una línea de fuerza del **Campo Magnético** (o también línea de campo): se trata de una línea curva que, partiendo de un polo **llega** al otro, **tal que** la dirección de su tangente en cualquier punto coincide con la dirección de la **fuerza** (de atracción o repulsión) **que** experimenta el imancito en ese punto.

En el Capítulo II proponemos una experiencia para hallar las líneas de **Campo Magnético** de un imán artificial (fabricado justamente para este trabajo) usando una brújula.



Fig.25

Un conjunto suficientemente grande de líneas de campo nos permitirá tener una buena imagen del campo magnético de un imán. Una propiedad importante de las líneas de campo es que ellas nunca se cruzan.

I.5.0 Interacción de la Corriente Eléctrica con un Campo Magnético.

I.5.1 Efecto Oersted: Campo Magnético de una Corriente Eléctrica, El Solenoide, El Electroimán, Acción de un Campo Magnético sobre una Corriente Eléctrica, El Motor Eléctrico.

Oersted en 1820 descubrió por casualidad que, unir los extremos (positivo y negativo) de una pila mediante un cable conductor, una brújula colocada cerca del cable era desviada colocándose perpendicularmente a esta. En esa época se sabía ya que una brújula se desvía solo si en las inmediaciones actúa un campo magnético, por lo tanto este fenómeno descubierto por Oersted demostraba que la corriente eléctrica que circula por un conductor crea un campo magnético [12,13,15]

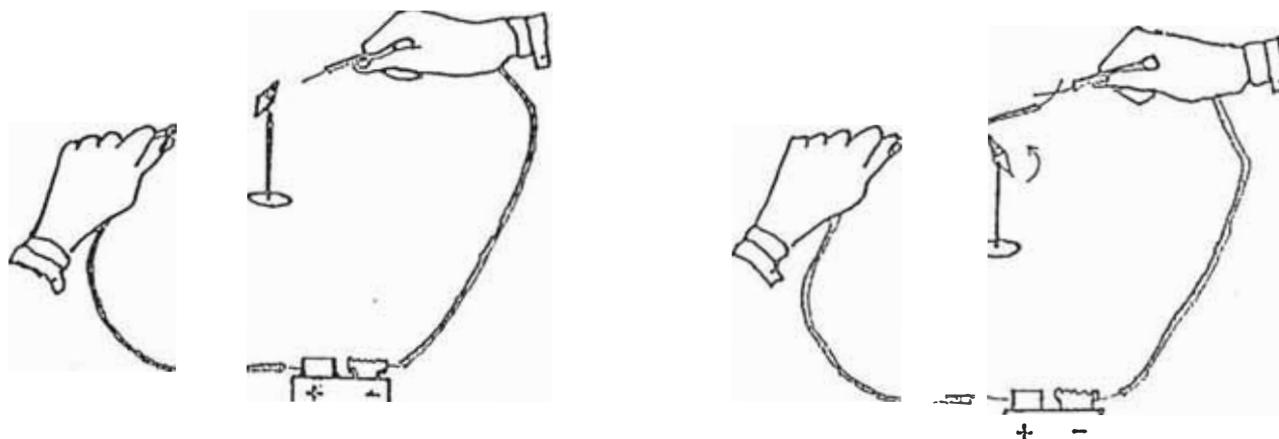


Fig.26

¿Qué forma tiene el campo magnético de una corriente rectilínea? Podemos verificar, usando una brújula (o limaduras de hierro espolvoreadas sobre un cartón perpendicular al alambre), que el campo magnético de un alambre rectilíneo por el que circula corriente son círculos concéntricos alrededor del alambre. Se puede observar que, para una corriente dada, la intensidad del campo disminuye al alejarnos del alambre. De otro lado, si aumentamos la corriente, observaremos que aumenta la intensidad del campo: podemos apreciar que en puntos donde antes -de aumentar la corriente- el campo era casi imperceptible, ahora se aprecia una deflexión más intensa de la brújula.

Analizemos el campo producido por un conductor que tiene forma circular (digamos un círculo en un plano vertical) y coloquemos un cartón perpendicular al alambre (es decir en un plano horizontal) tal que lo corte en dos puntos. Espolvoreando limaduras de hierro sobre el cartón, observamos que estas evidencian en la zona central (es decir lejos de los puntos de corte) líneas de campo como las de un imán. Un conductor enrollado en forma de espiral cilíndrica por el cual circula una corriente eléctrica se llama solenoide. Su campo magnético (al cual podemos apreciar en la figura adjunta) se parece al del alambre circular solo que resulta ser más intenso.

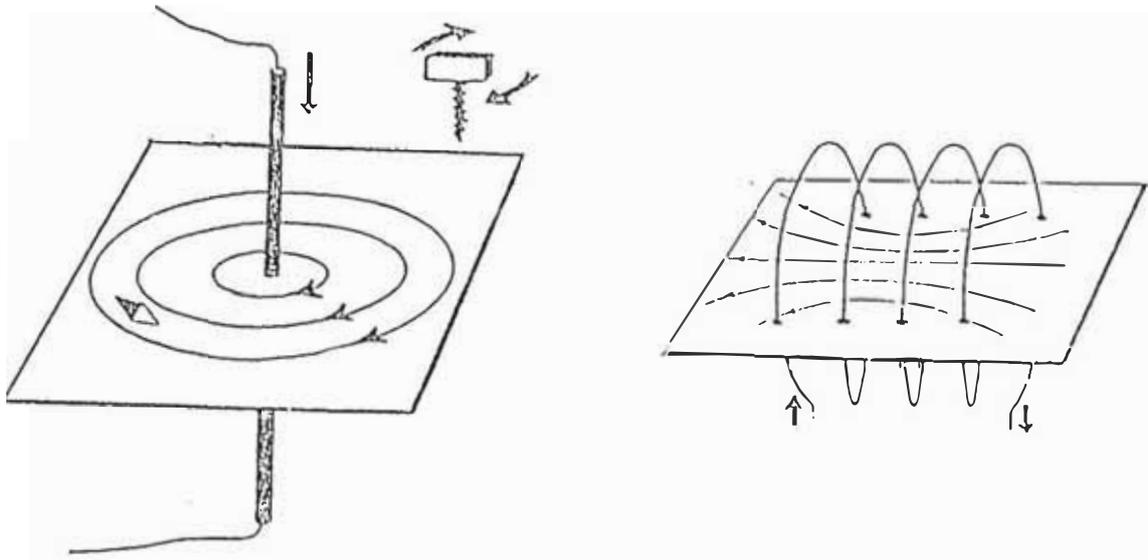


Fig. 27

Si colocamos una barra de hierro dulce dentro de un solenoide (de forma tal que el alambre apreta bien la barra), se obtiene un campo magnético mucho más intenso que el del solenoide solo. Al paso de la corriente, los extremos de la barra se convierten en polos N y S, por eso el conjunto recibe el nombre de electroimán. Podemos fabricar fácilmente un electroimán: hacemos un doble enrollado de alambre de cobre esmaltado sobre un clavo de fierro de 6 cm aproximadamente, conectamos los extremos del alambre a un par de pilas (en serie) y notaremos que una brújula desplazada por su alrededor se comporta como si estuviese en presencia de un imán.

Podemos intentar averiguar lo que sucede cuando, a la inversa del efecto Oersted, tenemos un campo magnético fijo (dado por un imán) y un alambre en libertad de moverse por el cual circula una corriente. El campo magnético del alambre interactúa con el campo del imán fijo, resultando una fuerza que movera el alambre mientras pase corriente por él. Este importante

fenómeno es la base para el diseño de un aparato, denominado **Motor Eléctrico**, que convierte la energía eléctrica obtenida de una fem ó pila- en energía mecánica -a través del movimiento mecánico de un **eje**- aprovechando las acciones **recíprocas** entre los campos magnéticos y las corrientes eléctricas. En el Capítulo II proponemos una experiencia con el motor eléctrico construido para este trabajo, construcción que se detalla en el Capítulo III.

Las partes de un motor eléctrico son las siguientes: rotor e imanes fijos. El rotor consta de: un eje, una bobina, dos colectores y dos escobillas. En la parte central del eje va montada una forma rectangular fija, y sobre ésta **irá** la bobina (que es un enrollado de alambre de cobre, construido siguiendo un solo sentido de giro) Las escobillas son los terminales que vienen de la fuente. Los colectores -que van montados en el eje- establecen contacto con las escobillas solo durante medio giro del rotor (es decir $0^\circ \rightarrow 180^\circ$), permitiendo así que la corriente circule (por la bobina) en un sentido durante este medio giro. A continuación, los colectores establecen contacto con las escobillas de polaridad opuesta, estableciendo durante este segundo medio giro (es decir $180^\circ \rightarrow 360^\circ$) que la corriente circule en sentido opuesto al anterior. De esta manera, durante el primer medio giro el campo magnético del rotor tiene (por ejemplo) la polaridad sur en la parte superior y la polaridad norte en la parte inferior (como se aprecia en la figura); en el segundo medio giro -debido a que se ha

invertido la corriente- la parte superior sigue siendo de polaridad sur y la inferior de polaridad norte (esta operación de cambio de dirección de la corriente se denomina conmutación) Los imanes fijos que van colocados con sus polaridades opuestas (es decir Norte frente a Sur) justo en la franja de conmutación (ver figura 28), hacen que se produzca un movimiento de rotación continua a base de repulsiones y atracciones sucesivas.

Si cambiamos la polaridad de la fuente, la polaridad de las escobillas también cambiará y el giro se producirá en sentido opuesto.

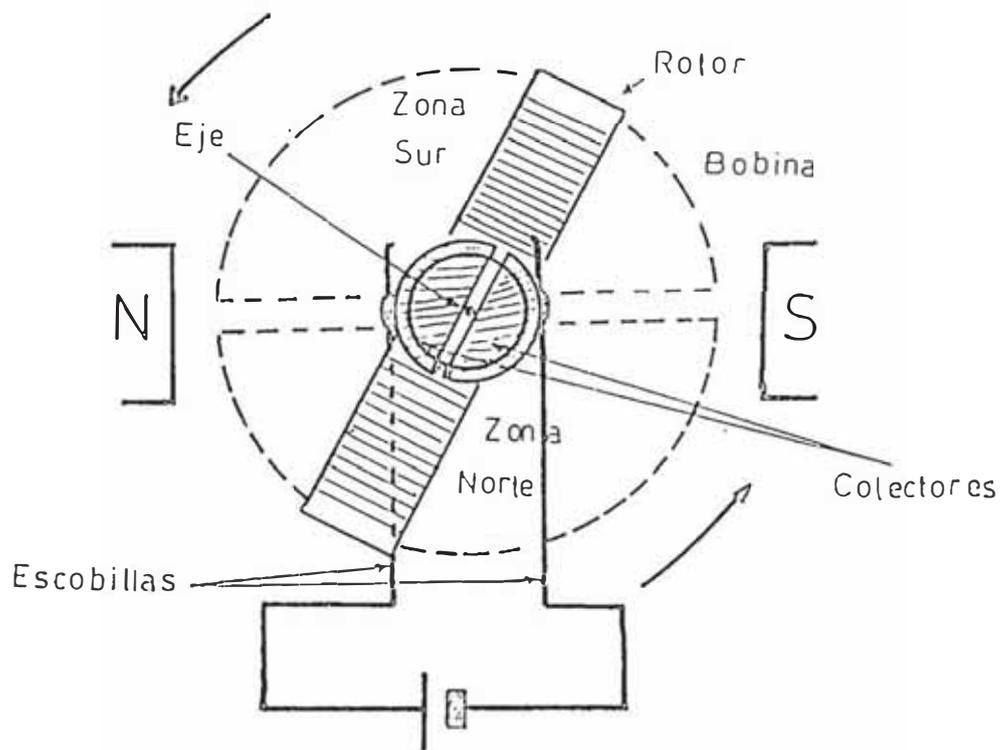


Fig. 28

1.5.2 Efecto Faraday: Corriente Inducida por la Acción de un Imán.
FEM Inducida. Inducción producida por Corrientes Electricas.
El Transformador.

En 1830 Faraday -basandose en trabajos anteriores de Arago y Ampère- encontró que, al acercar un imán a un conductor circular, se produce una corriente eléctrica, denominada Corriente Inducida. El observó en este fenómeno (hoy en día conocido como Efecto Faraday) que

cuando el imán está inmóvil, no hay corriente;

cuando el imán se acerca, aparece una corriente,

cuando el imán se detiene, la corriente cesa,

cuando el imán se aleja, la corriente cambia de sentido.

Si en vez de un solo conductor circular se usa un solenoide, entonces la corriente inducida es mayor.

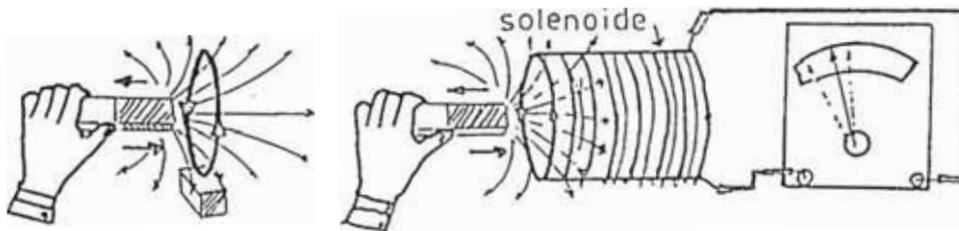


Fig.29

Podemos analizar este fenómeno de acuerdo al concepto, visto anteriormente, de líneas de campo magnético de un imán. Es evidente que cuando acercamos (retiramos) el imán al conductor circular (o solenoide) la cantidad de líneas que entran se incrementa (disminuye), y cuando el imán se detiene el número de líneas no cambia. Luego podemos decir:

- a. Cuando el número de líneas que pasa a través del conductor no varía, no hay corriente inducida.
- b. Cuando el número de líneas aumenta, hay corriente; si disminuye, hay corriente de sentido contrario.
- c. Cuanto más rápidamente varíe el número de líneas por unidad de tiempo, más intensa es la corriente.

Faraday demostró que la fuerza electromotriz inducida \mathcal{E} -que origina la corriente inducida- es directamente proporcional a la velocidad de variación del número de líneas de campo que entran en el solenoide (esto es: $\Delta\Phi / \Delta t$) y al número de vueltas N de alambre (conductor) del solenoide. Esto es:

$$\mathcal{E} = N (\Delta\Phi / \Delta t) \times 10^{-8} \text{ voltios.}$$

Es claro que, combinando los efectos Oersted y Faraday, podemos usar un circuito eléctrico -ya que toda corriente está acompañada de un campo magnético- que se cierra y se abre, para producir una corriente eléctrica inducida. Este principio es utilizado para construir un aparato llamado transformador que, sin usar imanes, transforma la fem de entrada en otra fem de salida: (en el Capítulo III damos los detalles de su construcción).

Vamos a dar una idea de como funciona un transformador. Consideremos un núcleo de fierro silicoso laminado con dos embobinados (es decir enrollamientos) diferentes, digamos N_1 el de la izquierda -llamado primario- y N_2 el de la derecha -llamado secundario-. Conectemos el primario, a una fuente

de corriente alterna de 220 voltios (se trata de una corriente eléctrica que varía sinusoidalmente con el tiempo y cuyo máximo valor es 220 v.; abreviado: 220 v. AC). Este embobinado no es otra cosa que un solenoide por el que pasa una corriente eléctrica de intensidad variable, por lo que el campo magnético generado tiene un número de líneas de campo por unidad de tiempo también variable. Dado que las líneas de campo se ubican en todo el espacio, en particular en el núcleo de fierro, resulta que el secundario es atravesado por líneas de campo en número variable produciéndose así una fem inducida.

El valor de la fem inducida depende de la velocidad con que varía el número de líneas de campo que atraviesan el embobinado, y también del número de vueltas que tenga el solenoide. Si mantenemos constante el cociente $\Delta\Phi/\Delta t$, entonces la relación entre las fem de entrada y salida es:

$$V_1 / V_2 = N_1 / N_2$$

donde V_1 es la fem del primario y V_2 es la fem del secundario. Igualando las potencias del primario con la del secundario, obtenemos una relación para las corrientes:

$$I_2 / I_1 = N_1 / N_2$$

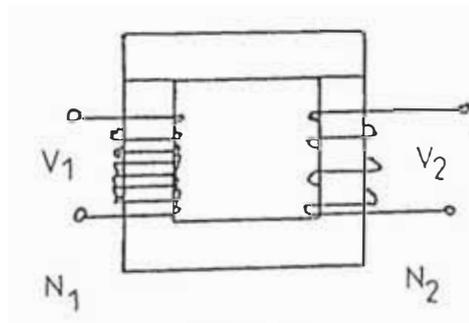


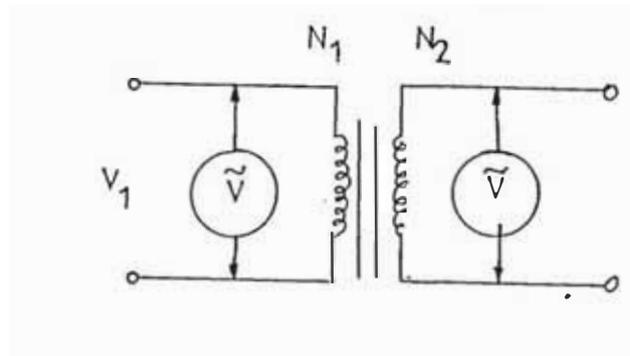
Fig. 30

Aquel transformador cuyo voltaje en el secundario es menor (mayor) que el del primario, recibe el nombre de transformador reductor (elevador) y es tal que:

$$N_2 < N_1 \quad (N_2 > N_1).$$

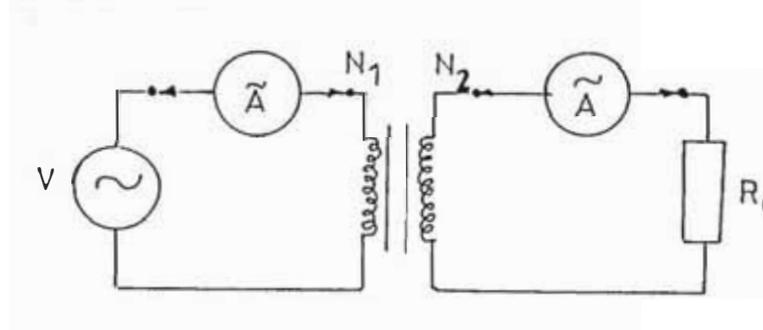
Para estudiar las relaciones anteriores podemos hacer los siguientes montajes:

Dispondremos de un transformador educativo como el descrito en el capítulo III, para ello necesitará 2 voltímetros de corriente alterna.



Donde conociendo N_1 , N_2 y V_1 podremos hallar V_2 .

Para estudiar la relación $I_1/I_2 = N_2/N_1$, podemos hacer el siguiente montaje, para ello necesitará dos amperímetros de corriente alterna.



En la salida del secundario, se coloca una carga R_c , que puede ser un foquito de 2.5 V 0.5 A. Dada una resistencia R_c de carga se establecerá una corriente I_2 en el secundario y una corriente I_1 en el primario.

Midiendo N_1 , N_2 e I_1 podemos verificar que se obtiene I_2 .

CAPITULO II

EXPERIMENTOS CON EL MODULO DE ELECTROMAGNETISMO

En este capítulo proponemos una selección de experimentos que se pueden realizar con los equipos cuya construcción se describe en el Capítulo III. No pretendemos que la lista propuesta sea completa, se trata solo de un conjunto mínimo de experimentos, de los muchos posibles experimentos de electro-magnetismo. Dejamos a la imaginación y curiosidad del lector interesado la tarea de ampliar dicho conjunto [4,5,6,7]

RECOMENDACIONES PARA EL TRABAJO DE LABORATORIO

En una sesión de laboratorio, podemos tropezar con dificultades de diversa índole que afecten el resultado de nuestro experimento. En vista de ello suministramos aquí algunas sugerencias que sirvan para superar las dificultades asociadas a la realización de los experimentos. Algunas de estas sugerencias se hallan integradas dentro del procedimiento del experimento respectivo, sin embargo conviene remarcar algunas de ellas. Para los experimentos de Electroestática podemos decir lo siguiente: Debido a que la humedad relativa en Lima es alta, aproximadamente del 80% casi todo el año, muchos equipos de electrostática no funcionan eficientemente. Para evitar esto

se acostumbra secarlos con franela o paño, pero esta tarea puede resultar complicada. Sugerimos disponer de un secador de cabellos portátil.

Sugerimos también seleccionar materiales que por sus características sean los apropiados. Por ejemplo materiales como el PVC, acrílico y jebes, que es lo que se ha seleccionado aquí funcionan muy bien.

Para los experimentos con circuitos de corriente eléctrica, podemos mencionar el problema de la oxidación de los contactos. Con el circuito impreso en la placa de cobre no hay problema pues el cobre al oxidarse con la humedad del ambiente se cubre de una capa delgada conductora. En cambio los tornillos-contacto usados para abrir o cerrar circuitos se oxidan y realizan un mal contacto afectando las mediciones. Dado el bajo costo de dichos tornillos, sugerimos cambiarlos por otros nuevos periódicamente.

Para los experimentos de electroquímica recomendamos lijar bien, con una lija suave, las superficies de los electrodos de Cu, Zn, Pb y PbO₂ antes de iniciar algún experimento; y revisar periódicamente las uniones de tornillos. Esto es particularmente importante puesto que estos tornillos se hallan expuestos a la acción de los ácidos y otras sustancias. Después de usarlos conviene lavarlos profusamente con agua y secarlos muy bien antes de guardarlos.

RELACION DE EXPERIMENTOS SUGERIDOS USANDO NUESTRO MODULO DE ELECTROMAGNETISMO

II. 1 ELECTROSTATICA

- II.1.1 EL PENDULO ELECTROSTATICO
- II.1.2 TABLA TRIBOELECTRICA
- II.1.3 EL ELECTROFORO DE VOLTA
- II.1.4 LA BOTELLA DE LEYDEN
- II.1.5 EL GENERADOR DE VAN DE GRAAFF

II.2 ELECTROQUIMICA

- II.2.1 LA PILA PRIMARIA DE VOLTA
- II.2.2 LA PILA SECUNDARIA : EL ACUMULADOR DE PLOMO
- II.2.3 COBREADO DE UN METAL POR MEDIOS ELECTRICOS

II.3 CORRIENTE ELECTRICA

- II.3.1 CIRCUITOS ELECTRICOS SENCILLOS
- II.3.2 LAS LEYES DE KIRCHHOFF

II.4 MAGNETOSTATICA

- II.4.1 LINEAS DE FUERZA DEL CAMPO MAGNETICO

II.5 INTERACCION DE LA CORRIENTE ELECTRICA CON UN CAMPO MAGNETICO

- II.5.1 EL MOTOR ELECTRICO
- II.5.2 EL TRANSFORMADOR ELECTRICO DE VOLTAJE

II .1.1.EL PENDULO ELECTROSTATICO

El objetivo aquí es reconocer la propiedad que adquieren diferentes objetos al ser frotados entre sí [6,7]

A esta propiedad fundamental de la materia la llamamos carga eléctrica. Observaremos también que:

- a) La atracción o repulsión mostrada es inversamente proporcional a la separación entre los materiales.
- b) Si dos objetos tienen carga eléctrica del mismo signo, ellos se repelen; y si tienen carga eléctrica de signo opuesto, ellos se atraen.

EQUIPO:

- Un péndulo electrostático doble (i.e. dos discos de aluminio unidos por un hilo de nylon).
- Una base para péndulo.
- Una varilla de acrílico.
- Una varilla de PVC.
- Un paño de lanilla.
- Una bolsa de plástico (celofan).

PROCEDIMIENTO:

Dispondremos el equipo como está en la fig.1 colocando el péndulo electrostático de modo que uno de los discos quede enrollado a la altura del ganchito.

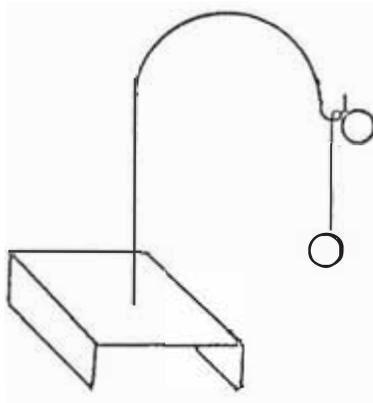


fig.1

Si acercamos la varilla de PVC al péndulo se observa que no sucede nada, es decir no hay atracción ni repulsión

a) Frotando vigorosamente la varilla de PVC con la lanilla y acercandola al péndulo observamos que el disco es atraído hacia la varilla. La varilla induce una redistribución de cargas eléctricas en el disco. Si la atracción es suficientemente intensa, el disco es atraído hasta tocar la varilla y luego es repelido: pues en el contacto adquirió la misma carga que la varilla y por eso se repelen (que dos objetos con la misma carga se repelen lo verificaremos a continuación) Se puede ver que al intentar disminuir la separación PVC-disco, la repulsión aumenta. Tocamos levemente con un dedo al disco del péndulo.

Otra experiencia que podemos realizar aquí es averiguar que tipo de carga tienen los diferentes objetos frotados, la comparación se realiza en base a la carga de referencia previamente depositada en un péndulo. Se sabe por convención que al frotar una varilla de PVC con

lanilla, el PVC se carga (-) y la lanilla (+). La carga (-) del PVC será transferida al péndulo al tocarlo. Así, si un objeto lo repele tendrá igual carga (o sea carga -) y si lo atrae tendrá carga opuesta (o sea carga +).

b) Para verificar que dos objetos con la misma carga se repelen basta tocar simultáneamente los pendulos con:

- La varilla de PVC frotada con lanilla, observemos que se separan. Luego descargamos ambos discos, tocandolos con la mano.

La varilla de acrílico frotada con plástico, observaremos que también se separan.

El mismo equipo puede utilizarse para medir aproximadamente, la carga depositada en cada disco.

Para ello, se colocan ambos discos a la misma altura (ver fig.2-a).

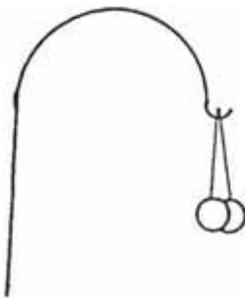


fig.2-a

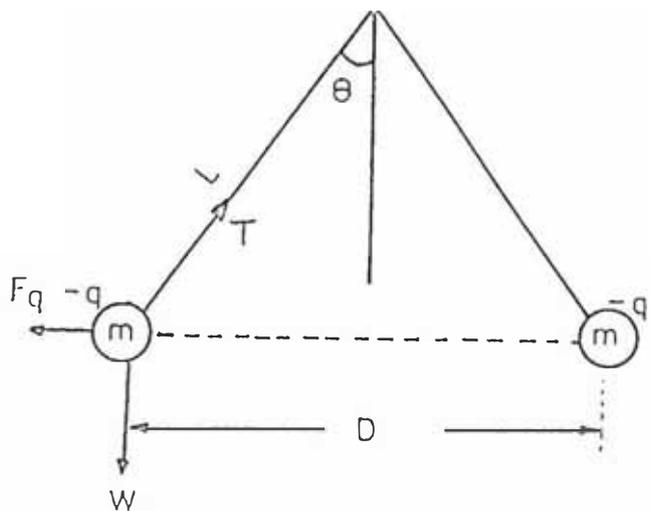


fig.2-b

Luego se deposita carga (por ejemplo carga -) tocando ambos discos con la varilla de PVC (previamente frotada con lanilla). Asumiremos que ésta se distribuye por igual en ambos discos.

Primero determinamos la masa m de cada disco, la longitud L y la distancia D entre ambos discos, obteniendo:

$$m = 0.01531\text{gr} \pm 0.0005 \text{ gr}$$

$$L = 4.5 \text{ cm} \pm 0.2 \text{ cm}$$

$$D = 2.2 \text{ cm} \pm 0.2 \text{ cm}$$

$$\tan\theta = 0.2521$$

$$K_e = 9.1 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{Coul}^2$$

Del diagrama de cuerpo libre mostrado (ver fig.2-b), y considerando la fuerza electrostática $F_q = K_e q^2/D^2$,

tendremos:

$$\frac{K_e q^2}{D^2} = mg \tan\theta$$

de donde:

$$q = D \sqrt{\frac{mg \tan\theta}{K_e}}$$

reemplazando los datos anteriores, obtenemos:

$$q = 1\,431.2 \times 10^{-12} \text{ Coul}$$

Se observa que en ambientes de humedad relativa alta $\geq 80 \%$) como en las ciudades de la costa la pérdida de carga eléctrica de los discos es notoria, en relación a los lugares de clima seco. Proponemos medir el tiempo para el cual los discos ceden toda su carga eléctrica al aire circundante.

II.1.2. LA TABLA TRIBOELECTRICA

El objetivo ahora es construir la tabla Triboeléctrica para algunos materiales [19,20]

La tabla triboeléctrica es una columna ordenada que nos dice el signo de la carga eléctrica que adquieren dos materiales al frotarlos entre sí. Así al frotar dos materiales aquel que se carga (+) se ubica en la parte superior y aquel que se carga (-) se ubica en la parte inferior de la tabla.

EQUIPO :

Un péndulo electrostático con su base de metal.

Una varilla de acrílico.

Una varilla de PVC.

Una varilla de vidrio.

Un paño de lanilla.

Una bolsa de plástico.

PROCEDIMIENTO:

Colgamos los discos sobre la base de metal, dejando uno enrollado a la altura del ganchito. (ver fig.1-a)

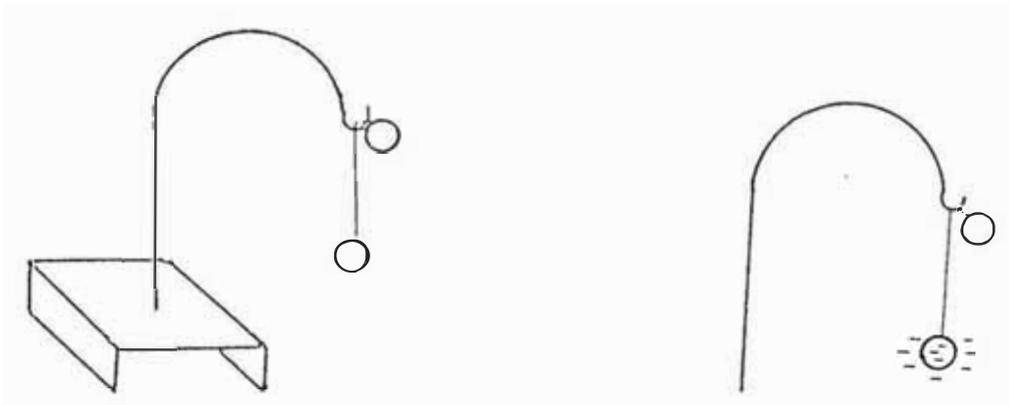


Fig.1-a

Fig.1-b

Empezamos a construir la tabla triboeléctrica con tres materiales: acrílico, lanilla y bolsa de plástico.

Proporcionemos carga (-) al disco, tocándolo con la varilla de PVC previamente frotada con lanilla. Este pendulo cargado será nuestra referencia para la carga **que** luego obtengan los materiales frotados (ver fig.1-b)

Si un material atrae al disco ,éste estará cargado(+)y sí lo repele el material estará cargado(-). Frotamos entre sí los tres materiales y llenamos el cuadro siguiente donde los signos (+) y (-) indican la carga que adquirieron al frotar entre sí los materiales de cada columna.

Nota: Ac : Acrílico La : Lanilla
 Bp : Bolsa de plástico

1	2	3
Ac +	Bp -	Ac -
Bp -	La +	La +

Observamos que el acrílico se carga positivo al frotarse con la bolsa de plástico y negativo al frotarse con la lanilla. De la columna 2 observamos que la lanilla se ubicará en la tabla, encima de la bolsa de plástico. Así, con este sencillo razonamiento construimos la tabla triboeléctrica para estos tres materiales:

+
Lanilla
Acrílico
Bolsa de plástico
-

Trabajemos ahora con cuatro materiales : acrílico, lanilla, bolsa de plástico y PVC.

Recargamos el disco del péndulo con carga - de referencia y frotamos entre sí a los cuatro materiales, llenando así el siguiente cuadro:

1		2		3		4		5	
Ac	+	Bp	-	Ac	-	La	+	Bp	+
Bp	-	La	+	La	+	PVC	-	PVC	-

Usando los resultados obtenidos encontramos el orden de los materiales en la siguiente tabla triboeléctrica.

+
Lanilla
Acrílico
Bolsa de plástico
PVC
-

Y así podemos continuar para cinco o más materiales (por ejemplo: acrílico, lanilla, bolsa de plástico, PVC y una varilla de vidrio), obteniendo así la tabla triboeléctrica que damos a continuación:

+
Vidrio
Lanilla
Acrílico
Bolsa de plástico
PVC
-

II .1.3.EL ELECTROFORO DE VOLTA

El objetivo aquí es aprender el manejo del electróforo. El electróforo, inventado por A. Volta, es una máquina electrostática que permite obtener carga eléctrica de ambos signos por frotamiento, inducción y contacto.

EQUIPO:

Un disco de metal, con mango aislante.

Una placa de PVC.

Una placa de acrílico.

Un pano de lanilla.

Una bolsa de plástico.

Un péndulo electrostático.

Un electroscoPIO.

PROCEDIMIENTO:

Reconoceremos primero las partes del equipo (ver fig.1).

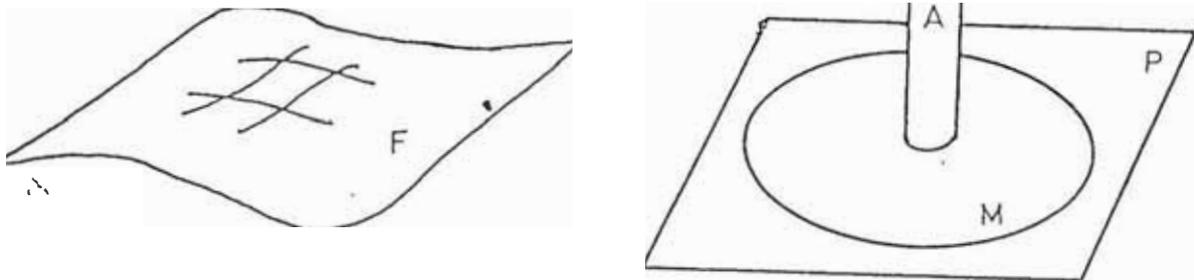


fig.1

- a) Placa de plástico "P" (PVC ó acrílico).
- b) Disco metálico "M" de tamaño algo menor que la placa provisto de mango aislante "A" que sale de su parte central.
- c) Material frotador "F" (lanilla ó bolsa de plástico).

NOTA:

Antes de realizar alguna experiencia con el electróforo, secaremos las superficies de la placa P, el disco metálico M, y el mango (especialmente la zona cercana al disco metálico), (Ver fig.2).

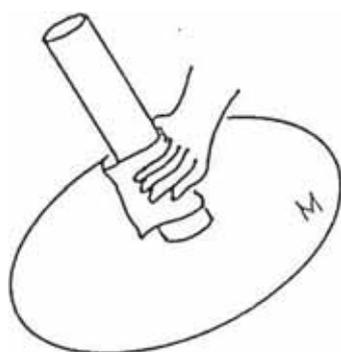


fig.2

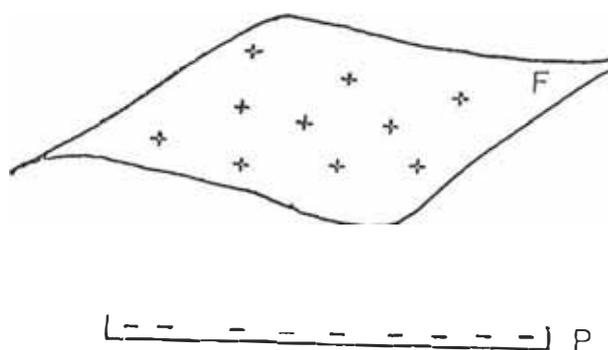


fig.3

Empezamos por frotar la placa P (por ejemplo PVC) con lanilla (material F) quedando aquella cargada negativamente (ver fig.3). Tomando el mango aislante A se coloca al disco metálico M encima de la placa de plástico P y así en el disco M se inducen (y se reciben) cargas. En la cara

inferior se concentrarán las cargas + y en la cara superior las cargas - (ver fig.4):

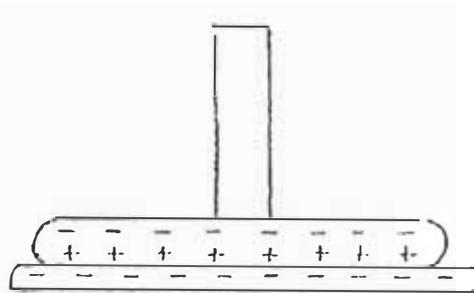


fig.4

Si tocamos la cara superior del disco metálico M con nuestro dedo la carga - pasará a tierra a través de nuestro cuerpo (ver fig.5), quedando así con carga +.

Al levantar el disco M éste poseerá carga positiva la cual utilizaremos para realizar experimentos (ver fig.6)

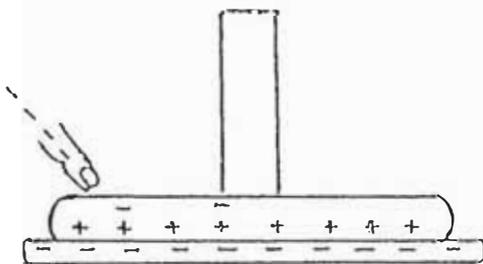


fig.5

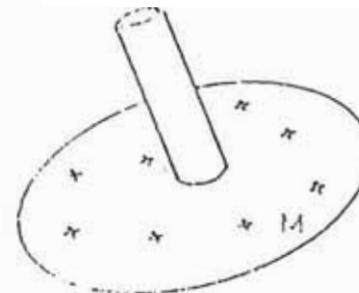


fig.6

Esta carga puede transferirse al péndulo electrostático, al electrómetro, (ver fig.7) o una botella de Leyden. Podemos estudiar el signo de la carga eléctrica del electrómetro, cargando el péndulo con una varilla de PVC frotada previamente con lanilla luego posee carga negativa y observando si este es atraído o repelido.

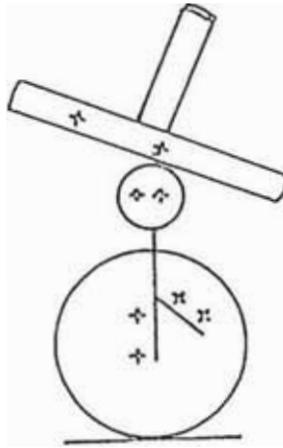


fig.7

Para obtener carga negativa en el disco usamos, la placa de acrílico y la frotamos con la bolsa de plástico, luego se repite el proceso anterior.

II .1.4. LA BOTEILLA DE LEYDEN

El objetivo aqui es reconocer las partes de una botella Leyden y también mostrar como almacenar carga eléctrica en dicha botella [9,11,20]

EQUIPO:

Un equipo completo de electróforo de Volta.

Una botella de Leyden.

PROCEDIMIENTO:

Empezamos por reconocer las diferentes partes de la botella Leyden: armadura interna I con electrodo central e, armadura externa E y dieléctrico (es decir aislante) D (ver fig.1).

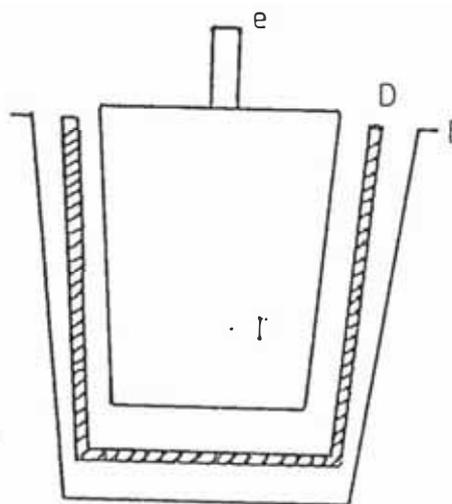


fig. 1

Para almacenar carga eléctrica en la botella de Leyden realizamos la secuencia que se indica a continuación:

- a.- Obtener carga + desde el electróforo de Volta, (ver fig.2-a)
- b.- Tomar la botella Leyden por la armadura externa E, con ello se esta haciendo tierra (ver fig.2-b).
- c.- Poniendo en contacto e con E se transfiere la carga del electróforo al electrodo central e de la botella Leyden (ver fig.2-c).

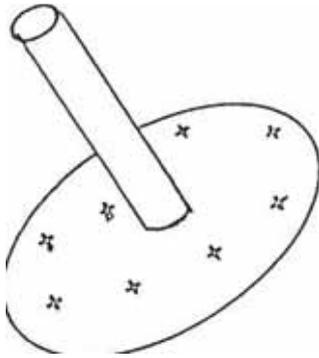


fig.2-a



fig.2-b

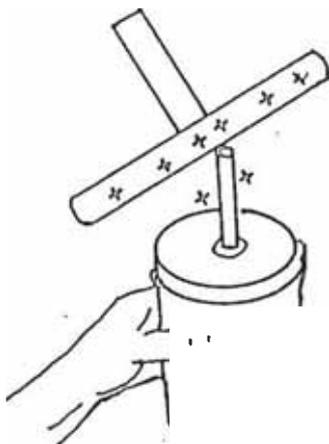


fig.2-c



fig.2-d

d.- Colocamos un cable con pinzas cocodrilos con un extremo en el borde de E y el otro se sujeta con la mano. Lentamente acercamos la pinza cocodrilo hacia el electrodo central hasta que a una pequeña distancia (aproximadamente 3mm) se produzca una chispa entre ambos (ver fig.2-d).

ADVERTENCIA:

En caso de realizar la secuencia anterior con otra botella Leyden por ejemplo de mayor tamaño y probablemente mayor capacidad de almacenar cargas deberá conectarse a tierra por medio de un cable aislado y tomar el cable por su parte aislada al acercarlo al electrodo central de otro modo se corre el riesgo de recibir una fuerte descarga eléctrica.

Pregunta:

¿ Cuanto tiempo aproximadamente puede estar acumulada la carga? (Sugerimos experimentar esto usando un cronómetro).

II . 1 . 5 . EL GENERADOR VAN DE GRAAFF

Aquí nos proponemos usar el generador de Van de Graaff para producir cargas eléctricas y verificar algunas propiedades de las cargas eléctricas , como por ejemplo el campo eléctrico [1, 2, 10, 11].

Nos proponemos también reconocer las partes y el funcionamiento de este generador de cargas eléctricas.

EQUIPO:

Un generador de Van de Graaff.

Un electrodo de prueba (i.e. varilla metálica con mango aislante).

Una botella de Leyden.

Un péndulo electrostático.

Un electroscoPIO.

PROCEDIMIENTO:

Luego de secar las diferentes partes del equipo con un secador de cabellos, conectamos nuestro generador de Van de Graaff a 220V-AC y graduamos a voluntad el regulador de velocidad del motor. Al acercar el péndulo electrostático al casco observamos que, primero lo atrae hasta tocarlo y entonces luego lo repele violentamente, verificandose así la acumulación de carga eléctrica en el casco (ver fig.1).

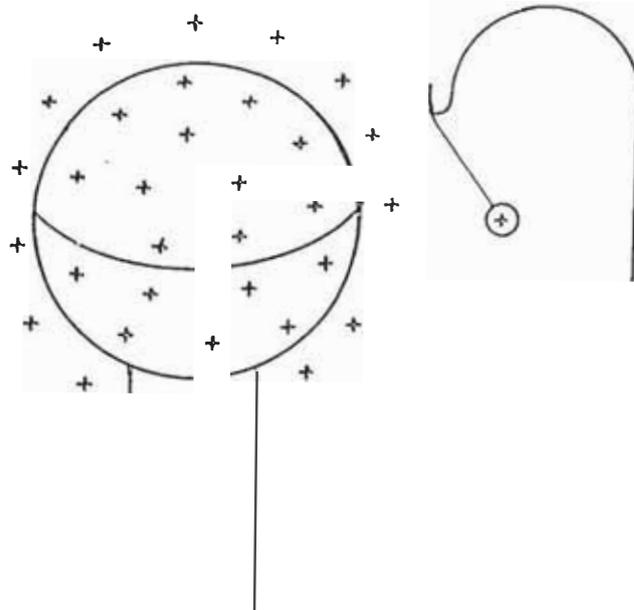


fig.1

Para observar la electrización del casco podemos usar también un electroscopio. Desplazando la base del péndulo alrededor del casco podemos observar las siguientes propiedades:

1. Al tratar de disminuir la distancia del péndulo al casco, aquel se aleja más. Esto muestra la proporción inversa entre la fuerza y la distancia.
2. Al desplazar el péndulo alrededor del casco (siguiendo círculos paralelos al ecuador o meridianos) pero sin intentar disminuir la distancia a éste, el péndulo se mantiene a una distancia constante. Esto nos muestra la simetría radial del campo eléctrico del casco.

Ahora realizaremos un experimento sobre acumulación de carga usando una botella de Leyden:

- a.- Tomamos la botella de Leyden, con una mano, por su armadura externa.
- b.- Tocamos el casco con el terminal de la armadura interna de la botella Leyden y la mantenemos así por medio minuto aproximadamente : esto es para almacenar carga eléctrica en la botella Leyden (ver fig.2).

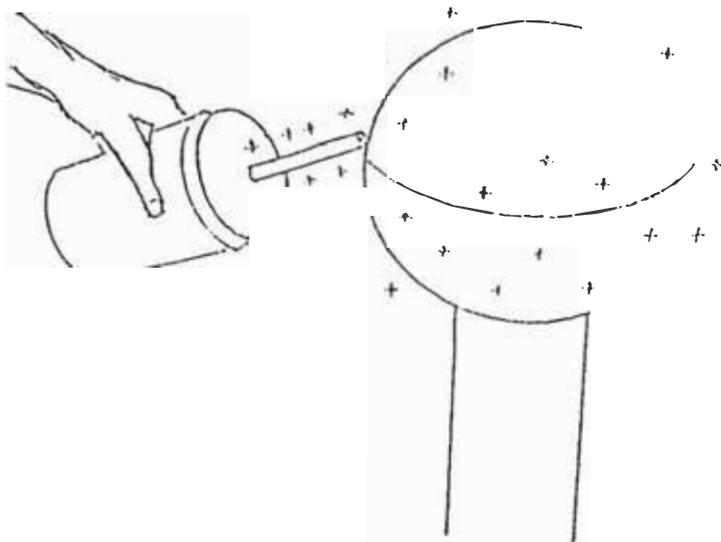


fig.2

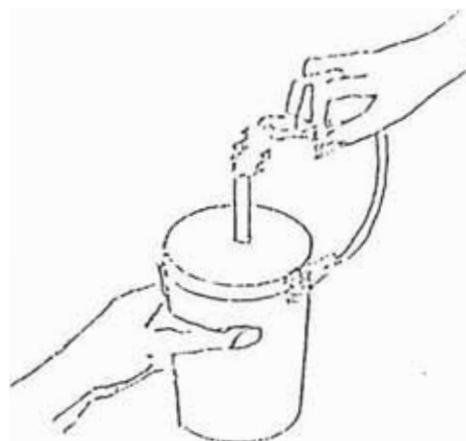


fig.3

- c.- Retiramos la botella. Con un cable conectamos un extremo a la armadura externa (ver fig.3) y el otro extremo lo acercamos lentamente al electrodo central: notaremos que salta una chispa entre ambos electrodos, señal inequívoca que la botella de Leyden almacenó cargas eléctricas por contacto con el casco del generador.

La chispa eléctrica, que representa la ionización del aire debido al intenso campo eléctrico del casco, también puede

ser observado usando un electrodo de prueba. Para observar esto basta acercarlo, sujetandolo desde su mango aislante pero tocando con un dedo la parte metálica del electrodo.

Tomando como base el generador, se pueden realizar una serie de experimentos. Sugerimos un experimento que nos muestra la configuración del **campo** eléctrico alrededor de dos electrodos puntuales.

- a.- En una pequeña cubeta se colocan dos electrodos puntuales (ver fig. 4) y estos se conectan a través de pinzas cocodrilos ,uno al casco metálico del generador y otro a la base del generador (tierra)
- b.- Se llena la cubeta de aceite comestible (se trata de un liquido aislante)
- c.- Se echa en la cubeta semillas de grass, distribuyendolas uniformemente.
- d.- Se enciende el generador.
- e.- Por la posición que toman las semillas de grass, se observa la configuración del campo eléctrico de dos electrodos puntuales.

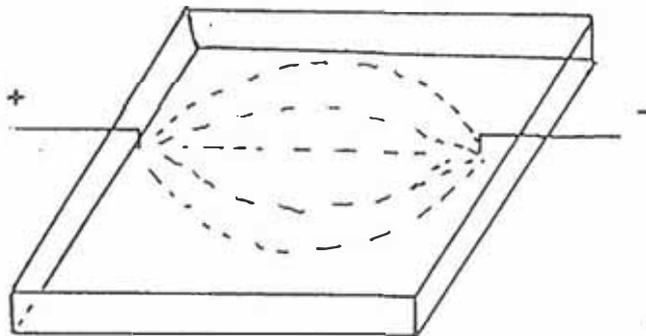


fig.4

II .2 .ELECTROQUIMICA

Las pilas se pueden clasificar debido a la naturaleza de la reacción química interna, en dos grupos [12,18,19,22] :

- a) aquellas cuya reacción química interna es irreversible y por tanto se usan una sola vez, estas son denominadas pilas primarias.
- b) aquellas cuya reacción química interna es reversible por tanto pueden ser recargadas y usadas varias veces; estas son denominadas pilas secundarias.

II.2.1. LA PILA PRIMARIA

LA PILA Cu-Zn

El objetivo aquí es ensamblar una pila Cu-Zn con diferentes electrólitos.

EQUIPO:

Tres electrodos de Cu (dimensiones 5.5cm x 2cm x 0.5mm)
con soporte acrílico.

Tres electrodos de Zn (dimensiones 4cm x 3.5cm x 0.5mm)
con soporte acrílico.

Cuatro cables conductores con pinza-cocodrilo.

200 ml de vinagre común (ácido acético).

200 ml de solución de sal comun en agua (cloruro de sodio), 1M.

Tres vasos de vidrio de 6cm de alto, y 5.6cm de diámetro

Dos multímetros digitales.

PROCEDIMIENTO:

Empezamos por llenar dos vasos con vinagre, luego se insertan en cada vaso un electrodo de Cu y uno de Zn a una distancia de 2cm: así cada vaso es una pila.

Medimos la tensión V_1 y V_2 en cada vaso y anotamos sus valores en la tabla I. Se une un electrodo de Cu con uno de Zn por medio de un cable con pinzas-cocodrilo. Los otros se conectan a los extremos del pequeño foquito (diodo LED), (ver fig.1)

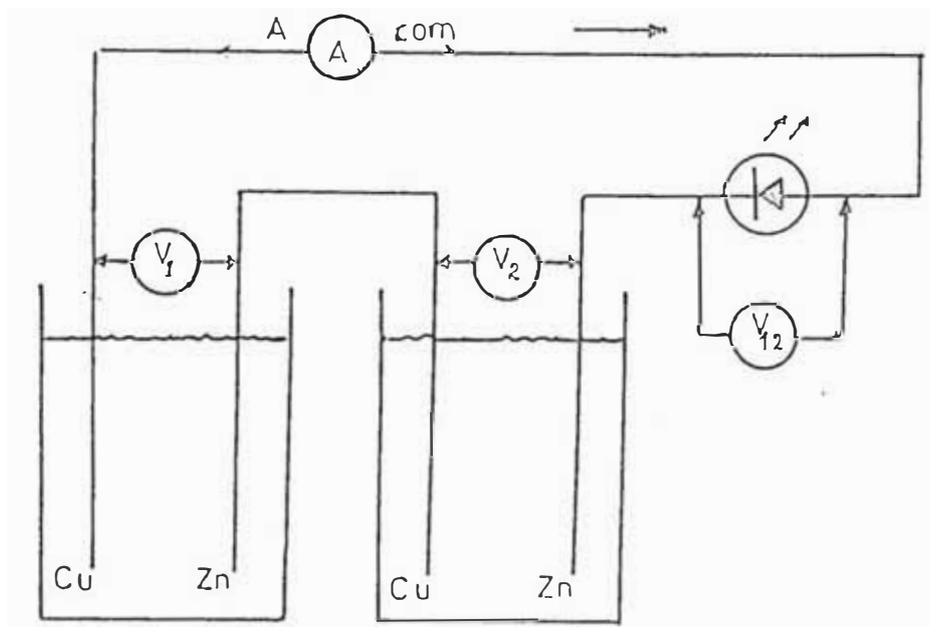


fig.1

NOTA: Los terminales del diodo LED deben ubicarse correctamente para que encienda. Se mide primero el voltaje entre los electrodos V1 y V2 y luego se conecta el circuito y se mide la corriente que circula y el voltaje en los extremos del diodo LED (voltaje en serie) obteniendo:

TABLA I

Electrólito	Acido acético (vinagre)
Corriente	500 μ A
V1 _{sin carga}	0.966 V
V2 _{sin carga}	0.978 V
V12 _{con carga}	1.913 V

NOTA: Voltaje sin carga significa: Pila con dos celdas en serie con los electrodos libres.

Voltaje con carga significa: Pila con dos celdas en serie con electrodos conectados al diodo LED.

Observamos que se enciende el diodo, el cual puede permanecer así más de 45 minutos.

Se llenan ahora tres vasos con una solución de sal comun (1M). Se insertan electrodos de Cu y Zn en cada vaso y se

mede ahora la tensión V_1 , V_2 , y V_3 en cada uno, anotandose sus valores en la tabla 11. Luego se establecen las conexiones mostradas en la fig.2:

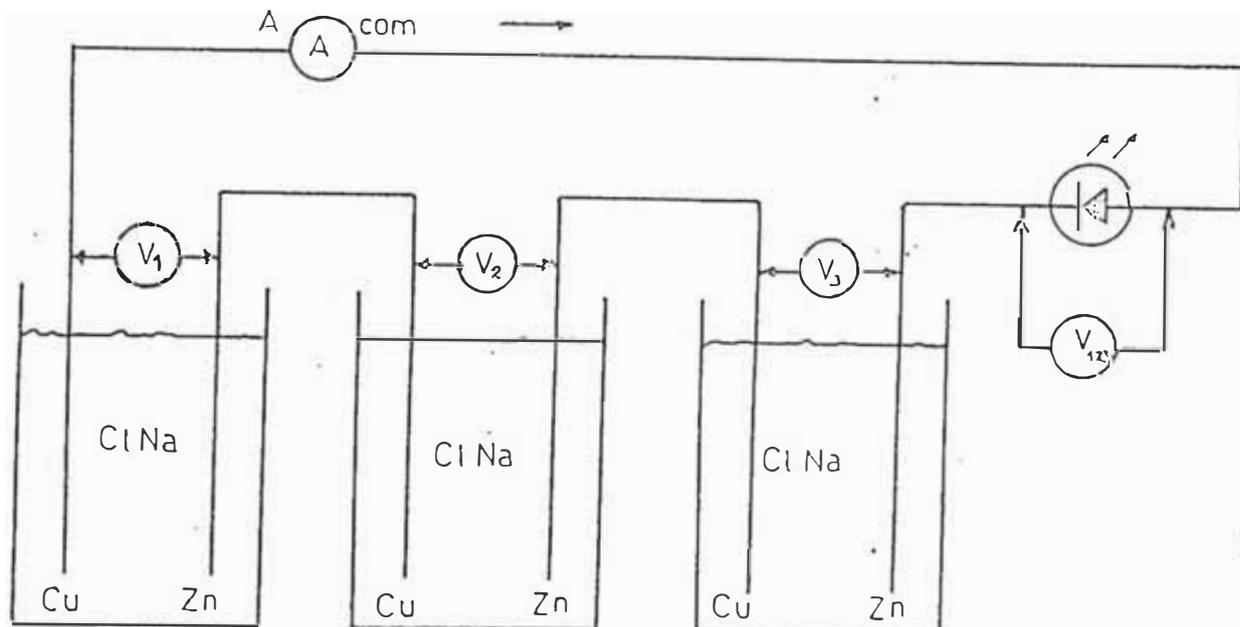


fig.2

Se observa entonces que el diodo se enciende. Aquí medimos la corriente que circula y el voltaje entre los extremos del diodo, obteniendo:

TABLA 11

Electrólito	Cloruro de sodio ClNa, Solución sal común (1M)
Corriente	1100 μ A
$V_{1\text{sin carga}}$	0.786 V
$V_{2\text{sin carga}}$	0.769 V
$V_{3\text{sin carga}}$	0.682 V
$V_{123\text{con carga}}$	1.969 V

Notamos que la tensión para cada celda Cu-Zn es de 0.7V aproximadamente y es menor que la que se obtuvo para el caso anterior (usando como electrólito vinagre comun) que fue de 0.9V.

Por otro lado notemos que el LED enciende para una tensión de 1.97V y corriente minima de $500\mu\text{A}$.

La separación entre electrodos y sus dimensiones son factores importantes.

Los resultados obtenidos son validos para equipos usados en nuestro módulo.

II. 2.2.LA PILA SECUNDARIA: EL ACUMULADOR DE PLOMO

El objetivo ahora es aplicar los conocimientos de electroquímica adquiridos en la experiencia anterior. Aprenderemos a cargar y descargar una mini-batería de Plomo [17].

EQUIPO:

Un electrodo de plomo Pb (placa) con soporte acrílico

Un electrodo de dióxido de plomo PbO₂ (placa) con soporte acrílico.

Dos cables con pinza-cocodrilo en ambos extremos

200 ml de ácido sulfúrico comercial para baterías.

Una cubeta de vidrio (cuba electrolítica).

Una fuente de alimentación de 9V DC.

PROCEDIMIENTO:

1) ARMADO Y PREPARACION INICIAL DE LA MINI-BATERIA:

- * Empezamos por llenar la cuba electrolítica con ácido sulfúrico comercial para baterías.
- * Lijamos las caras de las placas de los electrodos de Pb y PbO₂ con una lija suave. Colocamos los electrodos de Pb y PbO₂ en la cubeta con ácido sulfúrico.
- * Colocamos los cables cocodrilos a los terminales de los electrodos de Pb y PbO₂.

2) PROCESO DE CARGA DE LA BATERIA:

- * Establecemos una tensión de 9V, para esto insertamos la fuente en el . tablero de conexiones (ver fig.1).
- * Conectamos los terminales de la mini-batería a los terminales de la fuente (en el tablero de conexiones) y medimos la corriente y el voltaje cada 15s.

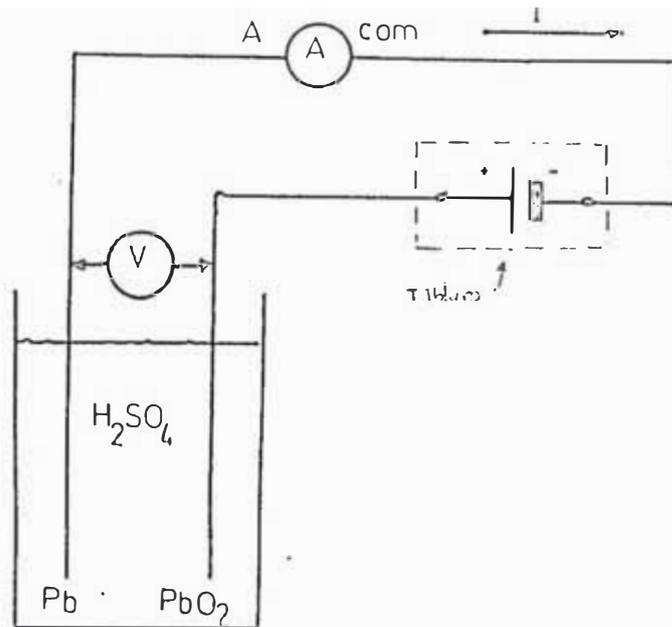


fig.1

Obteniendo los valores mostrados en la siguiente tabla:

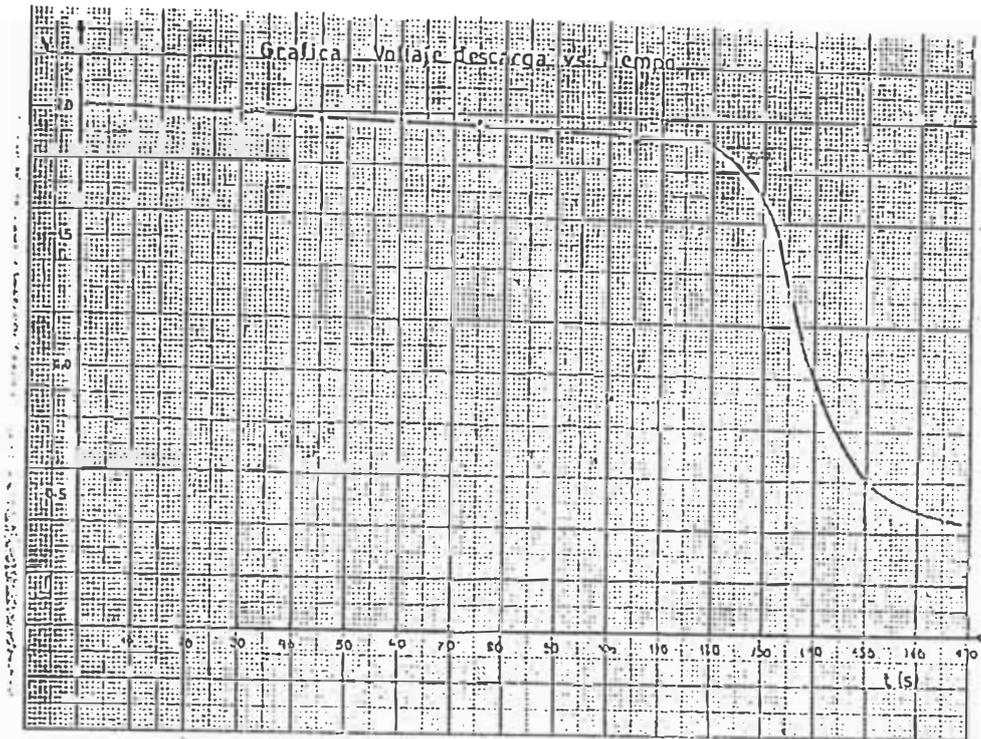
Tiempo t (s)	0	15	30	45	60
Corriente I (A)	0.26	0.45	0.93	0.93	0.94
Voltaje V (V)	8.46	4.91	3.67	2.66	2.67

3) PROCESO DE DESCARGA DE LA BATERIA:

* Conectamos los terminales de la batería a los conectores del foco ubicados en el tablero de conexiones. Notaremos entonces que el foquito se enciende. En la tabla I mostramos algunos resultados de medidas de voltaje y corriente hasta que se apaga el foquito:

TABLA I

Tiempo t (S)	Corriente I (mA)	Voltaje V (V)
0	0.19	2.01
15	0.19	1.99
30	0.19	1.98
45	0.18	1.97
60	0.18	1.97
75	0.18	1.97
90	0.18	1.94
105	0.18	1.91
120	0.18	1.91
135	0.12	1.33
150	0.11	0.6
165	0.09	0.45 (Se apagó el foquito)



Luego de aproximadamente 165s (aprox. 2 1/2 min.) se apaga el foquito indicando así una descarga total de la batería.

Para recargar la batería se procede como se indica en (2).

II.2.3. COBREADO DE UN METAL POR MEDIOS ELÉCTRICOS

Nuestro objetivo es aplicar nuestros conocimientos de electroquímica obtenidos en las secciones anteriores para cobrear una placa metálica por medios eléctricos [2].

EQUIPO:

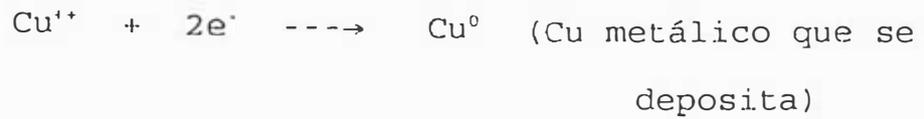
- Un electrodo de cobre (placa metálica) con soporte acrílico.
Dos cables conductores con pinzas tipo cocodrilo.
- 200 ml de sulfato de cobre Pentahidratado 1M.
- Una cubeta de vidrio (cuba electrolítica)
- Una fuente de alimentación 0-9V DC.

PROCEDIMIENTO:

Empezamos por llenar la cuba electrolítica con la solución de sulfato de cobre, luego colocamos los electrodos de cobre y de bronce a una distancia aproximada de 2 cm.

El electrodo de cobre se conecta al terminal positivo de la fuente (se convierte así en ánodo) y el electrodo de bronce se conecta al terminal negativo de la fuente (se convierte así en cátodo).

Sabemos que la solución de Sulfato de Cobre posee iones Cu^{2+} y SO_4^{2-} y que en el cátodo ocurrirá la reacción:



Establecemos una tensión de 6 Voltios (ver fig.1)

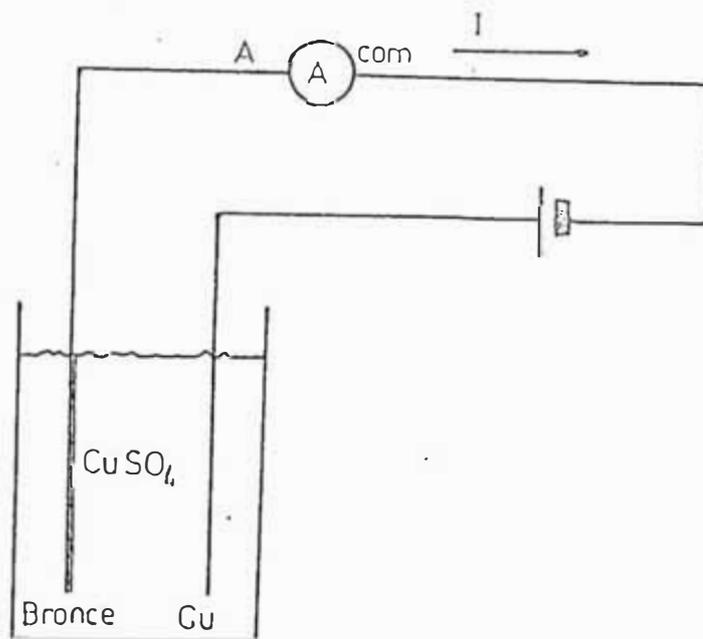


fig.1

al cabo de 2 minutos medimos la corriente y el voltaje entre las placas. Observaremos que estos se mantienen constantes durante el 3er minuto, y tienen los valores que damos en la siguiente tabla:

Corriente I (A)	Voltaje V (V)
0.381	5.35

Observemos la coloración rojiza sobre la placa de bronce. Desconectamos la fuente y enjuagamos con agua el electrodo

de bronce. Al secarse notaremos que la placa de bronce ha sido recubierta con cobre metálico. Esta experiencia nos ilustra un proceso de recubrimiento metálico por medios eléctricos.

Este y otros procesos de recubrimiento de materiales, tales como el niquelado, cromado, zincado, etc. son importantes en la industria como un medio de protección efectivo contra la corrosión de las superficies metálicas de maquinarias.

II.3.1. CIRCUITOS ELECTRICOS SENCILLOS

El objetivo aquí es efectuar medidas de resistencias que están en serie, en paralelo y en combinación mixta serie - paralelo [3,13,17,23].

EQUIPOS

- Un equipo de asociación de resistencias (AR) Tarjeta impresa sobre su base de aluminio.
- Un multímetro digital.

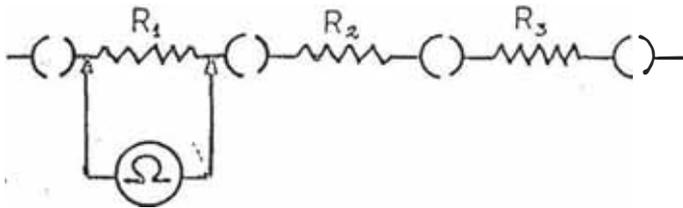
NOTA: La **tarjeta** impresa con los circuitos usa tornillos como conductores que cierran un circuito cuando están colocados y los abren cuando se les retira. Por eso los llamaremos: "tornillos-contacto".

PROCEDIMIENTO

PARTE I .- CIRCUITO 1 : CIRCUITO CON RESISTENCIAS EN SERIE

- 1) Se retiran todos los "tornillos-contacto" de las uniones del equipo asociación de resistencias (AR).
- 2) Seleccionamos el circuito 1 (circuito en serie) del equipo (AR). Con el multímetro digital en la función Ω ohms, se procede a colocar sus puntas entre los extremos de cada resistencia (ver fig.1) y se lee el valor en el display (o pantalla)

La correspondiente incertidumbre de esta lectura la hallamos usando la definición que suministra el fabricante del multímetro ELENCO M-2661.



Circuito 1

fig.1

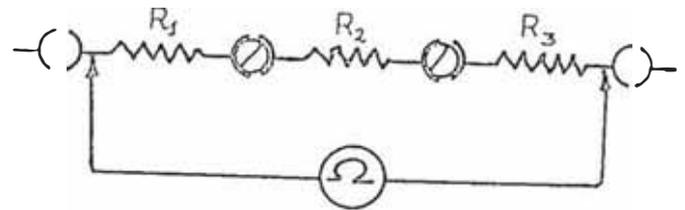


fig.2

3) Se anotan los valores medidos de R_1 , R_2 y R_3 en la tabla I y se calcula la resistencia equivalente

$Re_{\text{Calculada}} = (R_1 + R_2 + R_3)$, del circuito 1 y su incertidumbre.

TABLA I

$R_1 \pm \hat{\Delta}R_1$ (Ω)	$R_2 \pm \hat{\Delta}R_2$ (Ω)	$R_3 \pm \hat{\Delta}R_3$ (Ω)	$Re_{\text{Calculado}} \pm \hat{\Delta}Re_{\text{Calculado}}$ (Ω)
98 1	199 4	294 5	591 10

4) Se cierran las uniones y se mide la resistencia equivalente Re_{Medida} , con el ohmímetro digital (ver fig.2).

$$Re_{\text{Medido}} = 589\Omega + 8\Omega \quad (\pm 1\%)$$

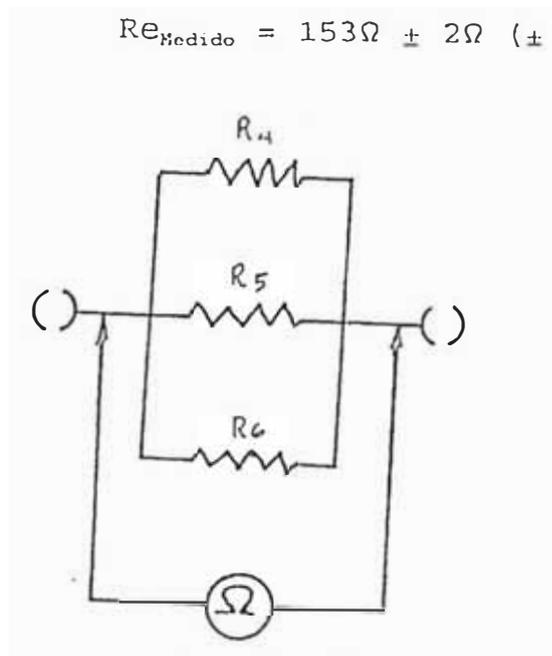
Este valor Re_{Medido} se compara con el valor de la resistencia equivalente $Re_{\text{Calculada}}$, hallandose una

diferencia de solo 0.3% entre la resistencia equivalente medida y la calculada.

Con fines de comparación puede llenarse la tabla I con los valores de las resistencias obtenidos usando el código de colores (en lugar de usar el multímetro) y luego repetir el paso 4.

PARTE II.- CIRCUITO 2 ; CIRCUITO RESISTENCIAS EN PARALELO

- 1) Se retiran todos los "tornillos-contacto" de las uniones del equipo asociación de resistencias (AR).
- 2) Se mide la resistencia equivalente del circuito 2 (ver fig.3) obteniéndose el valor:



Circuito 2
fig.3

Con fines de comparación se puede calcular la resistencia equivalente $R_{e_{Calculada}}$, usando el código de colores. Como $R4 = R5 = R6$ y tienen valores nominales de $470\Omega \pm 5\%$, los cálculos

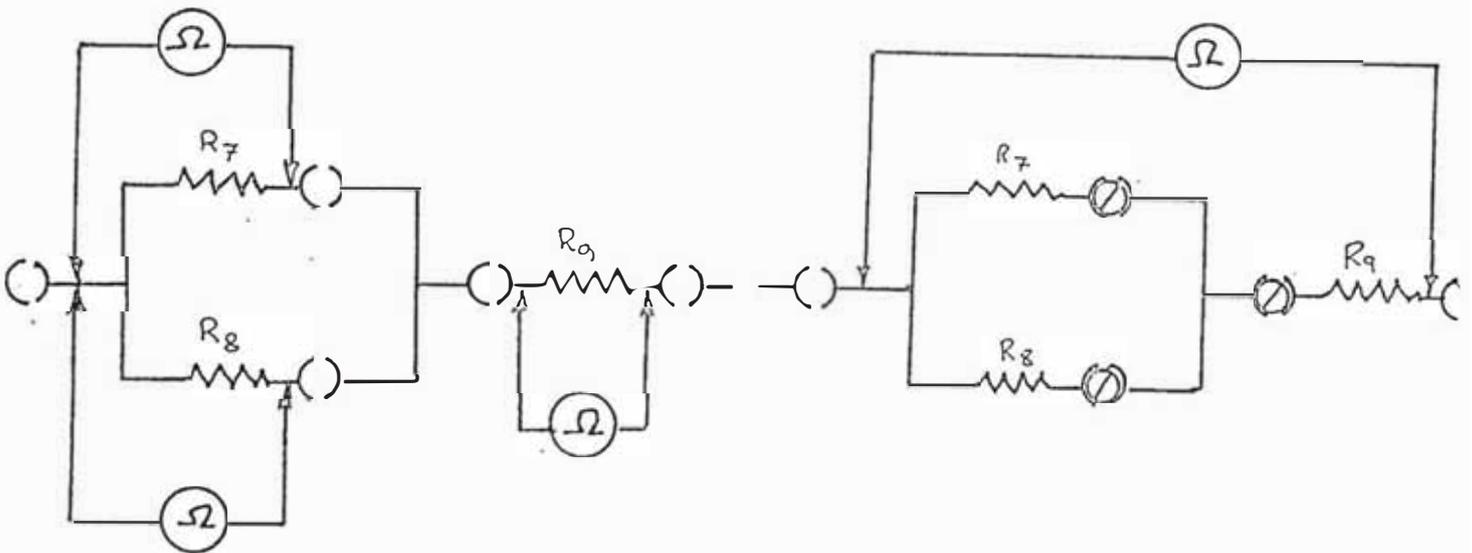
dan:
$$Re_{\text{calculada}} = (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3)^{-1} = 156.6\Omega$$

$$\approx 157\Omega \pm 24\Omega \quad (\pm 15\%)$$

Se obtiene una desviación de 3% del valor de $Re_{\text{calculada}}$ usando el código de colores respecto del valor de Re_{medido} hallado con el ohmímetro digital.

PARTE III.- CIRCUITO 3 : CIRCUITO MIXTO SERIE-PARALELO

- 1) Se retiran todos los "tornillos-contacto" de las uniones del equipo asociación de resistencias (AR).
- 2) Medir las resistencias: R_7 , R_8 Y R_9 con el ohmímetro digital (ver fig.4) y se anotan en la tabla II.



Circuito 3

fig.4

fig. 5

TABLA II

R7 ± ΔR7	R8 ± ΔR8	R9 ± ΔR9	Re _{medido}	Re _{calculado}
554 8	296 5	94 3	294	292

7) Se colocan los tornillos contacto según la fig. 5 y se mide la resistencia equivalente. Observamos una desviación del 1 % del valor calculado respecto del valor medido.

NOTA: Lectura de resistencias con un multímetro digital Para medir una resistencia con un ohmímetro digital, se ha de considerar la incertidumbre proporcionada por el fabricante.

En nuestro caso las medidas fueron hechas con un multímetro digital ELENCO M-2661 cuyo manual contiene una tabla de especificaciones para medidas de resistencias:

RANGOS	RESOLUCION	PRECISION
200 Ω	0.1 Ω	± [1% Lectura en pantalla + 2 (resolución)]
2 KΩ	1 Ω	
20 KΩ	10 Ω	
200 KΩ	100 Ω	
2 MΩ	1 KΩ	
20 MΩ	10 KΩ	± [1.8% Lectura en pantalla + 2 (resolución)]

II.3.2. LAS LEYES DE KIRCHHOFF

1RA LEY DE KIRCHHOFF

Ahora verificaremos la 1ra ley de Kirchhoff que enuncia:
"La suma de las corrientes que entran a un nudo es igual a la suma de las que salen de él "

EQUIPO:

Un circuito impreso para leyes de Kirchhoff 1 y 2 (LK1-2)

Un Multímetro digital.

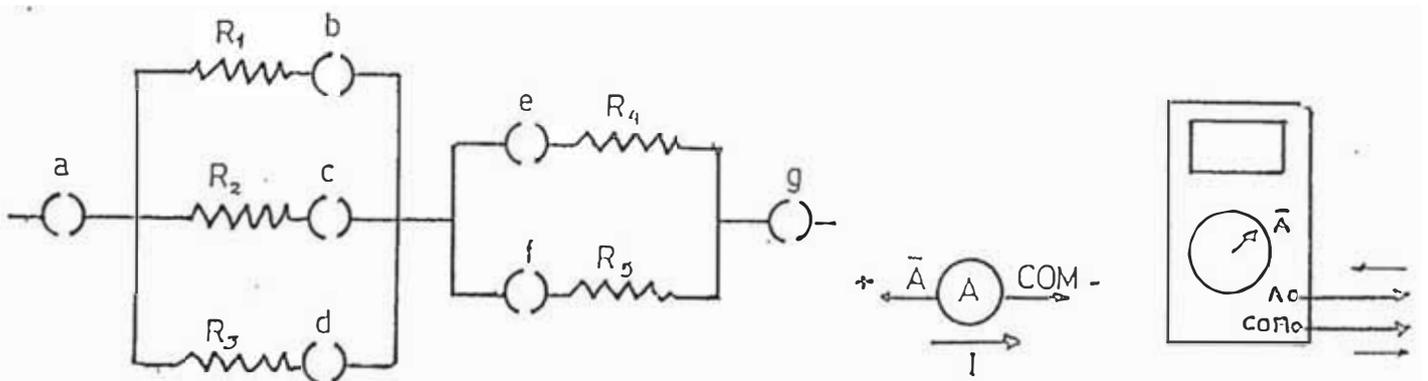
Una Fuente DC de 9 V.

PROCEDIMIENTO:

1) Retiramos los tornillos-contacto a, b, ..., f, g del circuito 1 del equipo LK1-2 (ver fig.1). Como referencia se suministran los valores nominales de las resistencias:

$R_1 - 100\Omega$, $R_2 = 300\Omega$, $R_3 = 300\Omega$, $R_4 - 100\Omega$ y

$R_5 - 200\Omega$, todas con una precisión de $+ 5\%$



Circuito 1

fig.1

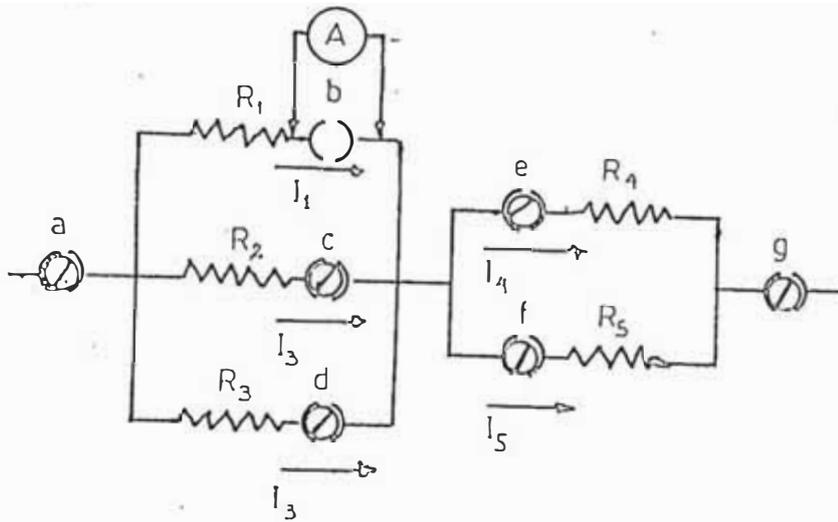
Corriente a través del
amperímetro DC
fig.2

2) En la tabla I anotamos los valores de R_1, \dots, R_5 , medidos con el ohmímetro digital.

TABLA I

$R_1 \pm \hat{\Delta}R_1$ (Ω)	$R_2 \pm \hat{\Delta}R_1$ (Ω)	$R_3 \pm \hat{\Delta}R_3$ (Ω)	$R_4 \pm \hat{\Delta}R_4$ (Ω)	$R_5 \pm \hat{\Delta}R_5$ (Ω)
99 3	299 5	301 5	104 3	202 4

- 2) Se cierran los contactos b, c, d, e, f y se mide la resistencia equivalente entre a y g $R_{eq} = 126\Omega$
- 3) Se inserta el plug-macho de la fuente DC en el plug -hembra del circuito, se establece una diferencia de potencial nominal de 8 V; en nuestra experiencia dió un valor de: $V = 7.94V$
entre los extremos del circuito 1 (para ello se cerraron los contactos a y g).
- 4) Insertamos en serie el amperímetro digital, medimos la corriente I_1 que pasa por R_1 estando cerrados los contactos c, d, e, y f. Asumiremos la convención que la corriente entra por el terminal +(A) del amperímetro y sale por el terminal - (COM), (esto permite hallar el sentido de circulación de la corriente en la rama), y el valor de I_1 se anota en la tabla I (ver figs.2 y 3).



Corrientes en el circuito 1

fig.3

Medimos la corriente I_2 que pasa por R_2 con los contactos a, b, d, e, f y g cerrados. Sucesivamente medimos I_3 , I_4 e I_5 y anotamos esos datos en la tabla II.

TABLA II

$I_1 \pm \hat{\Delta}I_1$ (mA)	$I_2 \pm \hat{\Delta}I_2$ (mA)	$I_3 \pm \hat{\Delta}I_3$ (mA)
37 0.5	12.4 0.3	12.3 0.3
$I_4 \pm \hat{\Delta}I_4$ (mA)	$I_5 \pm \hat{\Delta}I_5$ (mA)	$I \pm \hat{\Delta}I$ (mA)
40.9	20.8	62.2

5) En la tabla II se realiza la suma $I_1 + I_2 + I_3$ luego comparamos esta con la corriente I de la misma tabla. Observamos una diferencia porcentual de 3% entre el valor I e $I_1 + I_2 + I_3$. De otro lado notamos una diferencia

porcentual de 1% entre I y $I_4 + I_5$.

De esta manera hemos verificado la 1ra Ley de Kirchhoff. Un ejercicio interesante consiste en plantear y resolver las ecuaciones de conservación de la corriente en el circuito 1, y obtener entonces I , I_2 , I_5 , I_4 y I_3 via el cálculo.

Suministramos las expresiones finales en función del voltaje V aplicado y las resistencias del circuito.

$$I_1 = \frac{V}{R_1 \left(1 + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) R_{eq}}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + 1\right) R_{eq}}$$

Donde:

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2 R_3}{(R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1)} + \frac{R_5 R_4}{(R_5 + R_4)}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + 1\right) R_{eq}}$$

$$I_4 = \frac{V R_5}{(R_4 + R_5) R_{eq}}$$

$$I_5 = \frac{V R_4}{(R_4 + R_5) R_{eq}}$$

2DA LEY DE KIRCHHOFF

Ahora verificaremos la 2da Ley de Kirchhoff que enuncia: "La suma de las caídas de tensión en una malla cerrada es cero".

EQUIPO:

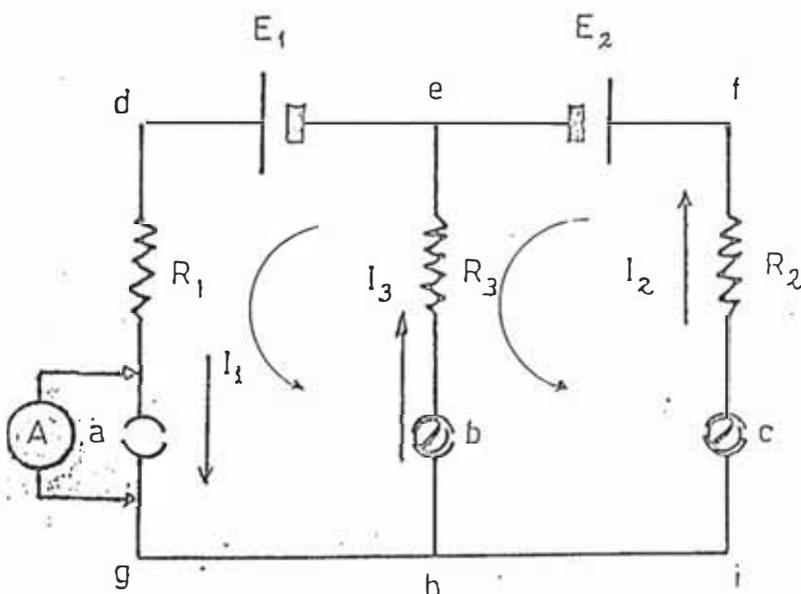
Un circuito impreso leyes de Kirchhoff 1-2 (LK1-2).

Un multímetro digital.

PROCEDIMIENTO:

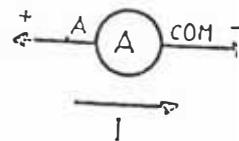
Ahora procederemos de la siguiente manera:

- 1) Se retiran todos los "tornillos-contacto" de las uniones del equipo LK1-2.
- 2) Se trabaja con el circuito 2 (ver fig.1).



Circuito 2

fig.1



Sentido de la corriente en un amperímetro DC

fig.2

3) Con el ohmímetro digital se miden los valores de la resistencias R_1 , R_2 , y R_3 , y anotamos dichos valores en la tabla I. Además se dan los valores nominales de las resistencias: $R_1 = 300 \Omega$, $R_2 = 200\Omega$, $R_3 = 100\Omega$ (todos con +5% de incertidumbre según el fabricante).

TABLA I

$E_1 \pm \hat{\Delta}E_1$ (V)		$E_2 \pm \hat{\Delta}E_2$ (V)	
2.99	0.03	8.63	0.07

$R_1 \pm \hat{\Delta}R_1$ (Ω)		$R_2 \pm \hat{\Delta}R_2$ (Ω)		$R_3 \pm \hat{\Delta}R_3$ (Ω)	
298	5	198	4	102	3
$I_1 \pm \hat{\Delta}I_1$ (mA)		$I_2 \pm \hat{\Delta}I_2$ (mA)		$I_3 \pm \hat{\Delta}I_3$ (mA)	
1.98	0.04	17.7	0.3	15.6	0.3

$\hat{\Delta}E_i$ y $\hat{\Delta}I_i$ son incertidumbres del multímetro digital ELENCO M-2661 y se calculan usando el manual del fabricante.

- 4) Se establece los voltajes E_1 y E_2 en el circuito 2, insertando la fuente al plug-hembra del circuito.
- 5) Se asigna un sentido de recorrido de la malla, entonces se mide la corriente. Es útil Recordar la convención que la corriente entra por el terminal +(A) del amperímetro

y sale por el terminal - (COM), esto permite hallar el sentido de circulación de la corriente en las ramas, (ver fig.2).

Para medir I_1 se retira el tornillo-contacto a dejando b' y c puestos y con el amperímetro medimos I_1 . Se procede similarmente para medir I_2 , se retira c y se dejan a y b, y para medir I_3 se retira b y se dejan a y c.

De la 2da Ley de Kirchhoff para la malla " d e h g " tenemos:

$$E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3$$

De la tabla I, para la suma de los productos R_1 hallamos un 9% de desviación respecto del valor medido para E_1 .

Para la malla " e f i h " se obtiene un 4% de desviación respecto del valor medido para E_2 .

Queda como ejercicio resolver el circuito hallando para ello las corrientes I_1 , I_2 e I_3 .

En este caso las expresiones finales resultan:

$$I_1 = \frac{E_1(R_2+R_3) - E_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

$$I_2 = \frac{E_1 R_3 - E_2 (R_1 + R_3)}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

$$I_3 = \frac{- E_1 R_2 - E_2 R_1}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

II,4.1. LINEAS DE FUERZA DEL CAMPO MAGNETICO

El objetivo de esta experiencia es determinar con ayuda de una brújula la forma de las líneas de campo magnético de un imán (llamadas líneas de fuerza del campo magnético).

EQUIPO:

Un brújula pequeña.

Un imán.

Limaduras de hierro.

Hojas de papel A3 y plumón.

I PARTE

PROCEDIMIENTO:

Para dibujar una línea de campo magnético de un imán empezamos por colocarlo en el centro de una hoja de papel A3. y dibujar sobre ésta su contorno.

Luego con la ayuda de la brújula hallamos su polo norte y lo denotamos por la letra A (ver fig.1).

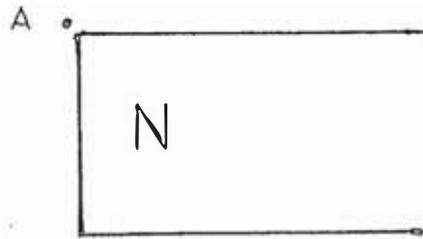


fig.1

Colocamos la brújula cerca del punto A de modo que uno de los extremos de la aguja magnética apunte hacia A. La dirección determinada por el otro extremo de la aguja será nuestro punto B (y lo señalamos así con el plumón) (ver fig.2)

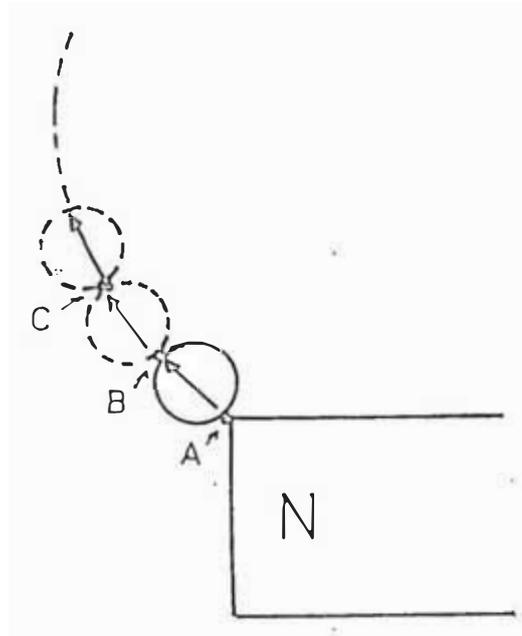


fig.2

Luego desplazamos la brújula a una nueva posición de forma tal que el extremo de la aguja que antes indicaba el punto A ahora indique el punto B. Ahora el otro extremo de la aguja nos define un punto que denotamos con la letra C. Continuamos desplazando la brújula hasta llegar al polo sur del imán. Trazamos luego una curva suave que pase por todos estos puntos A, B, C, ..., es decir desde el polo Norte al polo Sur del imán. Esta curva es una línea de campo magnético.

Por convención se dice que una línea de campo sale del polo norte del imán y entra en el polo sur del imán, de modo que

podemos asignarle no solo una dirección sino también un sentido.

Empezando en cualquier otro punto del polo norte A del imán trazamos otras líneas de campo magnético. El resultado obtenido se puede apreciar en la hoja A3 adjunta. El imán utilizado fue fabricado para este trabajo y tiene dimensiones 9.5cm x 3cm x 2.2cm.

II PARTE

Otro método que permite observar directamente las líneas del campo magnético de un imán, consiste en espolvorear limaduras de hierro sobre una hoja de papel blanco, debajo de la cual se ubica un imán ver (fig.3).

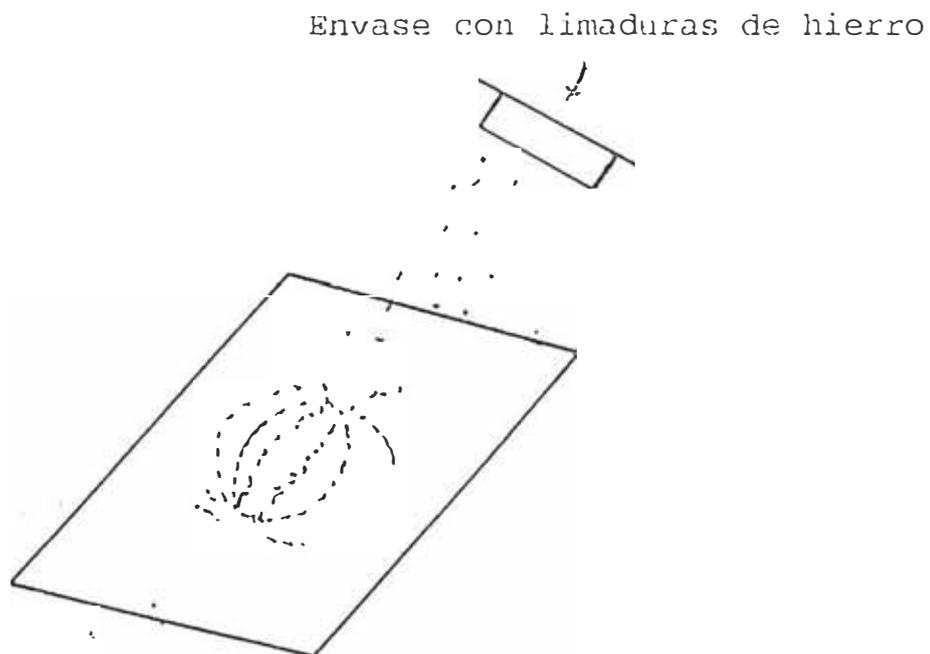


fig.3

Si se quiere conservar por algún tiempo las líneas obtenidas bastará rociar laca (para cabellos) en spray.

II.5. INTERACCIÓN DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA CON UN CAMPO MAGNÉTICO

II.5.1. EL MOTOR ELÉCTRICO

El objetivo aquí es mostrar como el efecto Oersted puede ser usado para convertir **energía** eléctrica, proveniente de una fuente de tensión DC, en energía mecánica.

EQUIPO:

Un base con soporte.

Dos imanes chicos.

Un bobina rotor.

Una fuente de alimentación 0-9V. DC.

PROCEDIMIENTO:

Colocamos el rotor sobre sus soportes que se hallan fijos a la base. Luego ajustamos las escobillas al colector del rotor, (aconsejamos limpiar el colector con un algodón empapado en alcohol).

Colocamos los imanes en el soporte circular con sus polos opuestos colocados frente a frente. Insertamos luego la fuente de alimentación en el plug. Le proporcionamos un pequeño de giro para vencer la inercia inicial, y luego observamos el giro continuo del rotor.

Se debe observar que si invertimos la polaridad de la fuente al rotor girará en sentido opuesto.

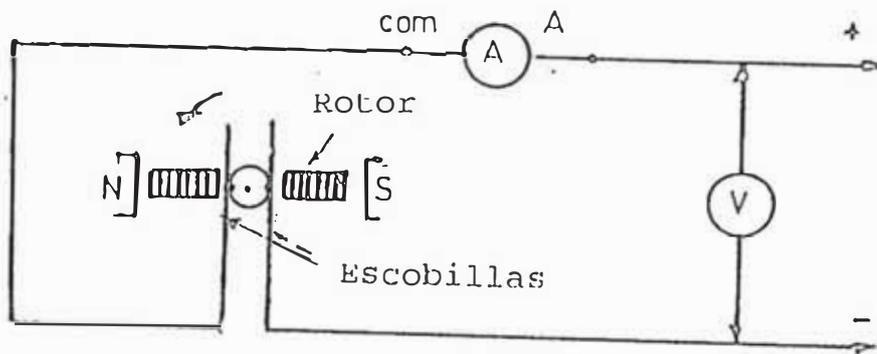


fig.1

Al establecer el circuito de la figura 1, medimos la corriente I y el voltaje V , obteniendo:

Voltaje nominal (V)	Voltaje medido (V)	Corriente medida (mA)
6.00	8.83	37.00
7.50	10.30	48.20
9.00	14.00	98.00
12.00	15.20	106.00

Luego de funcionar por 15 minutos hay un leve calentamiento en la bobina del rotor debido al efecto Joule.

II.5.2. EL TRANSFORMADOR ELECTRICO DE VOLTAJE

Verificaremos ahora la relación existente **entre** las tensiones de entrada y salida eficaz en un transformador.

Como sabemos, en los libros técnicos y de texto aparece una relación entre las tensiones de entrada y salida, y el numero de vueltas del primario y secundario de un transformador. Aquí estudiaremos la validez de dicha relación.

EQUIPO:

- Un transformador desmontable: 2 carretes de 230 y 460 vueltas c/u, con alambres de Cu calibre N° 22 y 20 AWG.
- Un transformador reductor de 220v con salidas de 3, 4.5, 6, 7.5, 9 y 12V.
- Dos multímetros digitales.

PROCEDIMIENTO:

Colocamos las bobinas en el nucleo U, y cerramos el circuito con la barra I. La bobina de 460 vueltas actua como primario mientras que la de 230 vueltas actua como secundario (ver fig.1):

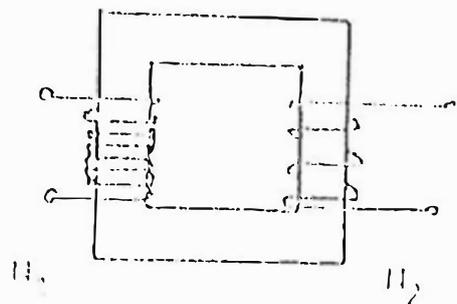


fig.1

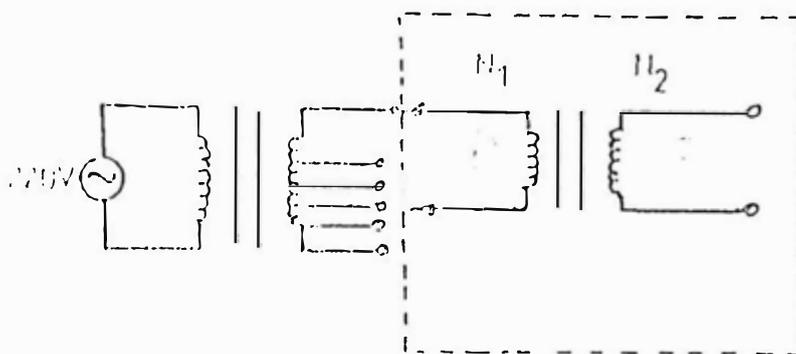


fig.2

Conectamos a 220V AC el transformador reductor (ver fig.2), cuyas salidas conectaremos alternativamente al primario de nuestro transformador de voltaje. Damos a continuación los resultados hallados:

TABLA I

Transformador reductor de tensión

V entrada nominal V_n (v)	3	4.5	6	7.5	9	12
V entrada medido V_e (v)	3.1	4.3	5.7	7.4	8.8	11.5
V salida medido V_s (v)	1.4	2.0	2.6	3.3	4.0	5.2
V_e/V_s	2.21	2.15	2.19	2.20	2.20	2.20
Diferencia en % entre : $N_1/N_2 = 2$ y V_e/V_s	9	8	9	9	9	

Vemos que el número de vueltas de las bobinas está en la relación $460/230 = 2$. De otro lado $V_e/V_s = 2$.

Comparando estos valores observamos la diferencia porcentual (en la última fila de la tabla). En promedio la diferencia porcentual es de 10.16%.

Ahora colocamos las bobinas así: la de 230 vueltas en el primario y la de 460 en el secundario y a continuación repetimos las mediciones anteriores y obtuvimos los datos que se señalan en la tabla II.

TABLA II
Tranformador elevador de tensión

V. entrada nominal V_n (V)	3	4.5	6	7.5	9	12
V. entrada medido V_e (V)	3	4.3	5.7	7.4	8.8	11.5
V. salida medido V_s (V)	5.7	7.9	10.4	13.2	15.8	20.4
V_e/V_s	0.6	0.54	0.55	0.56	0.56	0.56
Diferencia en % entre : $N_1/N_2 = 0.5$ y V_e/V_s	6	8	10	12	12	12

Como el número de vueltas de entrada versus el número de salida es $230/460 = 0.5$ comparamos esto con la relación V_e/V_s obtenida para cada caso.

Observamos una diferencia porcentual, en promedio, de 10%.

CAPITULO III

RELACION DE EQUIPOS CONSTRUIDOS PARA ESTE TRABAJO

- 1) LOS PENDULOS ELECTROSTATICOS
- 2) EL ELECTROSCOPIO
- 3) EL ELECTROFORO DE VOLTA
- 4) LA BOTELLA DE LEYDEN
- 5) EL GENERADOR ELECTROSTATICO DE VAN DE GRAAFF
- 6) MEDIDAS DE VOLTAJE, CORRIENTE ; RESISTENCIAS
- 7) PRIMERA Y SEGUNDA LEY DE KIRCHHOFF
- 8A) ELECTROQUIMICA: LA PILA DE Cu-Zn
- 8B) PILA SECUNDARIA: EL ACUMULADOR DE PLOMO
- 8C) GALVANIZADO: COBREADO
- 9) LINEAS DE FUERZA DEL CAMPO MAGNETICO
- 10) EL MOTOR ELECTRICO
- 11) EL TRANSFORMADOR

NOTA : Para dar las medidas adoptaremos la convención siguiente:

- a) Los diámetros pequeños, como los de:
tornillos, alambres, y ejes serán dados en pulgadas
- b) Los diámetros grandes, como los de:
cilindros, vasos, discos y cascos serán dados en cm
- c) Las longitudes (alto, ancho, espesor) de los objetos:
(placas, perfiles, barras, etc.), serán dados en mm ó cm

III.1. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO EL PENDULO ELECTROSTATICO

III.1.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	<p>Base de aluminio de perfil acanalado de 10cm x 6cm y alto 2.3cm, pintada, con una perforación de 1/8" al centro.</p> <p>Alambre de fierro cromado de diámetro ϕ-1/8" cm y de 15cm de largo, doblado haciendo un arco de radio 3cm en uno de sus extremos. Este va fijado a una pieza cilíndrica de polietileno 2.5cm de alto y de 1cm de diámetro, el cual tiene un agujero de $\phi = 1/8"$ donde va insertado el alambre y todo este conjunto va fijado a la base de aluminio por medio de un tornillo que pasa por el agujero de $\phi - 1/8"$. Este alambre tiene un dobléz de 0.8 cm, en uno de sus extremos, del cual se cuelga el hilo de Nylon que tiene pegado a sus extremos dos discos de papel aluminio de diámetro 1.2 cm.</p>
b	1	<p>Varilla de acrílico de 1.7cm x 32cm, y de espesor 3mm, transparente.</p>
c	1	<p>Tubo de PVC de $\phi - 1.5$cm largo 27.5cm, lleva en el extremo una billa de acero la cual va</p>

- insertada a presión.
- d 2 Materiales frotadores: un paño de lanilla de 16cm x 25cm y una bolsa de 12cm x 25cm de celofan. Otros materiales pueden ser añadidos: jebe y fibra de vidrio.
- e 1 Envase de plástico donde se guardan 2 juegos de disco de aluminio (también llamados péndulos eléctricos).

III.1.2 Detalles sobre la Construcción.

Se pintado la base para una buena presentación no siendo este hecho relevante para el experimento.

Es conveniente usar materiales cromados para evitar el óxido, debido a la humedad del ambiente.

Al final del alambre de hierro se coloca una pieza de polietileno, para aislar la base del soporte del péndulo. Con el polietileno evitamos que se vayan cargas a tierra.

III.1.3 Informaciones útiles para el uso del equipo.

Para una adecuado funcionamiento de los péndulos eléctricos se deberá secarlos antes de realizar alguna experiencia.

III.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ELECTROSCOPIO

III.2.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	Electrodo central constituido por una esfera metálica de diámetro 2cm con espiga central de 10cm de largo, 0.4cm de diámetro la cual se halla acoplada a un cilindro de polietileno de 1.2cm de diámetro y 2.2cm de largo lo cual permite sujetarlo al soporte de PVC. En su parte central se halla una placa de aluminio de 2.5cm x 4.3cm y colgando sobre ella y sujeta a la espiga central mediante un hilo de Nylon, se halla otra placa de aluminio más delgada llamada laminilla móvil de 0.9cm x 3.2cm.
b	1	Soporte del electroscopio hecho a base de un tubo de PVC de diámetro 5cm, ancho 3.5 cm, y 2mm de espesor. Tiene una perforación de diámetro $\phi = 1.3$ cm en su parte superior, por donde pasará el electrodo central y en su parte inferior hay otro agujero de diámetro $\phi = 1/8$ ", por donde pasará un tornillo que se ajusta en la base de madera.
c	1	Base de madera enchapada en fórmica de 7cm

x 10cm x 2cm.

III.2.2 Detalles sobre la construcción.-

La placa de aluminio del detalle (a) tiene dimensiones mayores que la de la hoja que cuelga con el fin de que allí se deposite más carga, y pueda levantar más fácilmente a la laminilla movable.

III.2.3 Informaciones útiles para el uso del equipo.-

Para tener un funcionamiento óptimo de este equipo se deberá hacer un secado previo por ejemplo con una pistola de secar cabellos o también se puede tomar un paño y secar los contornos del tubo de PVC o soporte. Se recomienda secar especialmente las partes cercanas al cilindro de polietileno y al cilindro mismo.

III.3. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL ELECTROFORO DE VOLTA

III.3.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	Mango de material plástico aislante de forma cilíndrica diámetro 1.6cm, largo 11.5cm, lleva en uno de sus extremos un agujero de $\phi = 3/16"$.
b	1	Disco de material conductor, de acero de diámetro 13.6cm y 0.5mm de espesor y un agujero de $\phi = 3/16"$ en el que se coloca un tornillo de $\phi = 1/9"$ que asegura el disco al mango aislante.
c	1	Placa de PVC de 18 cm x 18 cm x 0.3cm.
d	1	Placa de acrílico transparente de 18cm x 18cm x 0.3cm.
e	1	Material frotador lanilla de 43cm x 28cm.
f	1	Material frotador bolsa de celofan de 12cm x 25cm.

III.3.2 Detalles sobre la construcción.

Se debe seleccionar un buen material aislante para el mango

Los plásticos polietilenos, resinas, etc., funcionan bien si son secadas completamente.

El disco puede ser construido de cualquier material conductor, por ejemplo aluminio.

Aquí se utilizó acero quirúrgico debido a su buena presentación. Las placas se obtienen,

fácilmente de acrílico y PVC, la de PVC puede hacerse aplanando tubos anchos.

III.3.3 Informaciones útiles para el uso del equipo.-

Hay dos formas de hacerlo funcionar rápidamente:

a) Secarlo con una pistola secadora de cabellos.

b) Secarlo con una lanilla, especialmente la parte inferior del mango aislante con el fin de retirar la capa de humedad de esa zona. Para retirar la humedad de la placa de PVC o acrílico se procede igual, pero con una lija suave N°200 (para madera).

III.4. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA BOTELLA LEYDEN

III.4.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	Vaso exterior de aluminio, cuya base mide 5.3cm de diámetro y 8cm de alto y el diámetro de la boca es de 7.5 cm.
b	1	Vaso interior de plástico, cuya base mide 5.5cm de diámetro y 8.4cm de alto y el diámetro de la boca es de 7.8cm.
c	1	Vaso interior de aluminio, cuya base mide 5.4cm de diámetro y 6cm de alto y el diámetro de la boca es de 7cm. En el centro de la base hay un agujero de $\phi = 3/32$ " que sirve para fijar, por medio de un tornillo, una varilla de aluminio de $9/32$ " de diámetro. y de 10cm de largo. Este vaso lleva también una tapa de aluminio de 7.3cm de diámetro y un agujero de $\phi = 9/32$ " por la cual pasa la varilla que va fijada al fondo por medio de un tornillo, un tapón de jebe que tiene un agujero central pasa a través de la varilla y apreta a la tapa de aluminio contra el vaso interior quedando así asegurada.

III.5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR VAN DE GRAAFF

III.5.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	Cilindro de plástico con rodajes de 3/16" insertados a ambos extremos y que gira en torno de un eje de 3/16". Este eje viene sujetado a un perfil de aluminio en forma de U; a su vez éste perfil está montado sobre 2 soportes aislantes de plástico.
b	2	Dos soportes aislantes de Nylon de 33cm de alto, 4cm de ancho y de espesor 1cm. Cada soporte tiene en su parte inferior 2 agujeros de $\phi = 1/8"$ que sirven para asegurarlos a un perfil de aluminio en forma de U de 4.5cm x 4cm y de ancho 2cm. En su parte superior tiene 3 agujeros de $\phi = 1/8"$ que sirven para asegurar otro perfil de aluminio y donde se sujeta el casco metálico.
c	1	Faja transportadora de jebe de 3.5cm de ancho y 26cm de largo.

- d 1 Motor de 90W, monofásico de 220V AC el cual esta sujetado a un soporte de fierro de forma en L, que tiene 2 ojales y se asegura por dos tornillos pasantes y 2 tuercas de $\phi = 1/8"$.
- El motor lleva acoplado en el eje un cilindro de aluminio de 2.5cm de diámetro exterior; un prisionero de 1/8" asegura el acople con el eje.
- e 1 Regulador de potencia, que permite variar la velocidad del motor.
- f 1 Casco de aluminio de forma esférica, de 15.4cm, de diámetro el cual descansa en dos salientes que llevan los soportes aislantes de nylon (detalle b). Está asegurado al conjunto por su parte interna, por medio de láminas que tensan y mantienen fija su posición.
- g 1 Base compuesta de un riel de aluminio en forma de U de 24.5cm de largo, 10cm de ancho y de 4.5cm de ancho. Va sujetada a una base más ancha de madera con el fin de darle mayor estabilidad a todo el generador.

III.5.2 Detalles sobre la Construcción.

Para el detalle a: El cilindro de plástico puede ser hecho de cualquier material plástico (como por ejemplo plexiglass). En nuestro equipo usamos el PVC y la faja es de jebe: al poner en contacto ambos materiales se logra que el cilindro de PVC quede cargado negativamente mientras que la faja transportadora se carga positivamente, la cual es llevada al casco del generador Van De Graaff.

Para el detalle b: El material para los soportes es muy importante, la Bakelita es lo mas indicado. Sin embargo puede ser difícil hallarla en la forma que se desea, en algunos equipos se usa placas gruesas de acrílico , aqui hemos usado Nylon común en barras con buenos resultados.

Para el detalle c: La faja a usarse en un Generador Van de Graaff puede ser de seda, tela sintética etc; pero los resultados óptimos se consiguen con jebe.

Para el detalle d: El soporte de fierro para el motor tiene dos ojales que permiten subir o bajar el motor, de manera que se pueda tensar la faja. Esto es importante puesto que la faja de jebe con el uso se va estirando y sera necesario tensarla periódicamente.

Se ha seleccionado el cilindro de aluminio por su propiedad que al oxidarse forma una capa muy delgada conductora que se adhiere a la superficie. La función de éste cilindro es la de dar movimiento a la faja transportadora.

Para el detalle e: El circuito controlador de potencia, sirve para regular la velocidad del la faja a mayor velocidad se obtiene una recolección de carga mas rápida en el casco.

Para el detalle f : El casco de aluminio ha sido fabricado usando la técnica del repujado.

Para el detalle g: La base que sujeta al conjunto deberá ser ancha, y pesada para darle estabilidad al conjunto. Puede ser de cualquier material: aluminio, fierro

inclusive madera o una combinación de ambos.

III.6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO: MEDIDAS DE VOLTAJE, CORRIENTE Y RESISTENCIAS

III.6.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	Placa de circuito impreso (de una cara) de 13cm x 10.5cm con perforaciones de 1/8" en sus esquinas. Se ha realizado pistas de espesor 2mm y ha sido diseñado para contener 3 circuitos que serán descritos en los detalles b, c y d.
b	1	Circuito impreso de 3 resistencias de carbón de valores nominales de 100 Ω , 200 Ω y 300 Ω que están dispuestos en serie (lo que sigue es válido para los 3 circuitos de la placa). En los extremos del circuito hay perforaciones que abren la pista y que están revestidas de estaño para su protección. El circuito se cierra introduciendo tornillos de diámetro 1/8" que se ajustan con tuercas por debajo del impreso.

- c 1 Circuito impreso resistencias de carbón, de valores nominales de 470Ω y que están dispuestas en paralelo en los extremos del circuito.
- d 1 Circuito impreso de 3 resistencias de carbón de valores nominales 560Ω y 300Ω , estas dos forman paralelo y están en serie con una de 100Ω
- e 1 Conector para plug de adaptador o fuente.
- f 2 Perfiles de aluminio en forma de L de 2.5cm de ancho y de 11cm de largo. Se sujetan a la placa con 2 remaches de 1/8".

NOTA (Todas las resistencias son de 1/4W y +5% de tolerancia)

III.6.2 Detalles sobre la Construcción.-

Para el detalle a: En la elaboración del circuito impreso se recomienda la técnica de la serigrafía.

Para el detalle f: Se utilizan los perfiles de aluminio con el fin de darle más solidez al conjunto.

III.6.3 Informaciones útiles para el uso del equipo.-

Respecto al adecuado uso del circuito se recomienda no pasar de los 9V para no ocasionar el calentamiento y eventual deterioro de las resistencias.

Antes de realizar un experimento límpiese con un hisopo empapado en alcohol las uniones de estaño.

Para tomar buenas medidas ajuste bien los tornillos con sus tuercas.

Recordar que para hacer medidas de resistencias antes debemos desconectar la fuente del circuito !

III.7. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO 1RA. y 2DA. LEY KIRCHHOFF

III.7.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	Placa de Circuito impresa de una cara de 3.7cm x 12cm. con perforaciones de $\phi = 1/8''$ en las esquinas. Sobre esta placa se ha realizado pistas de espesor de 2mm. Contiene 2 circuitos que serán descritos en los detalles d y e.
b	1	Interruptor Plug-hembra para fuente DC.
c	1	Circuito divisor de tensión DC que alimenta a 2 circuitos d y e. La tensión de alimentación DC es dividida en 3 tensiones iguales por medio de 3 resistencias de 100Ω .
d	1	Circuito para verificar la 1ra. ley de Kirchhoff formado por 2 resistencias de 200Ω y 100Ω en paralelo, en serie con 2 resistencias de 300Ω y de 100Ω que también están paralelo.

- e 1 Circuito de dos mallas para verificar la 2da. ley de Kirchhoff formado por 3 resistencias de 300Ω , 200Ω y 100Ω y dos "fuentes" simuladas, que son obtenidas del divisor de tensión.
- f 2 Perfiles de aluminio de 2.5cm. de ancho y 12.5 cm, de largo que se sujetan a la placa por 2 remaches de 1/8" que van en los extremos.

NOTA: (Todas las resistencias son de 1/4W y tienen + 5% de tolerancia).

III.7.2 Detalles sobre la Construcción.-

Para el detalle a: Se recomienda usar la técnica de la serigrafía para elaborar las pistas del circuito impreso.

Para el detalle c: Con las resistencias de 1/4 W el voltaje máximo que se debe usar para alimentar el circuito es de 9V. Voltajes mayores pueden calentar excesivamente las resistencias del divisor de tensión y ocasionar su deterioro.

7.3 Informaciones útiles para el el uso del equipo.-

Respecto del uso de este equipo se recomienda limpiar con un hisopo empapado en alcohol las uniones de estaño.

Se recomienda ajustar bien los tornillos con sus tuercas, en este equipo, lo cual es particularmente importante para obtener buenas medidas de corriente.

III.8. ELECTROQUIMICA

III.8A. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA PILA PRIMARIA:Cu-Zn

III.8A.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	2	<p>Vasos de vidrio de 5.6cm de diámetro, 6cm de alto y 4mm de espesor.</p> <p>Soportes de plástico, para 2 placas de cobre de 5.5cm x 2.5cm x 3mm y 2 placas de cobre de 5,5cm x 2cm x 1mm soportes de plástico para 2 placas de zinc de 4cm x 3.5cm x 3mm y 2 placas de zinc de 4cm x 3.5cm x 1mm. Cada soporte lleva 3 agujeros de $\phi - 1/8''$ dos superiores y uno inferior a través del cual pasará un tornillo de $1/8''$ y un extremo de un alambre. Ambos se fijan por la otra cara con una tuerca. El otro extremo del alambre pasa a través de los otros 2 agujeros (ver detalle b).</p>
c	1	<p>Soporte de aluminio en forma de L sujetado a la base por medio de un tornillo.</p> <p>Lleva acoplado un tubito de plástico que en un extremo tiene un tapón de jebe y un agujero central el cual sujeta a presión a</p>

un diodo LED pequeño.

- d 1 Base de madera enchapada en formica de 14.5cm x 19cm x 1cm con patitas de jebe en las 4 esquinas.
- e 2 Recipientes conteniendo cloruro de sodio (sal común) y otro ácido acético (vinagre común).
- f 1 Envase de plástico conteniendo diodos LED de repuestos.

III.8A.2 Detalles sobre la Construcción.-

Existe un tubito de plástico opaco montado sobre un soporte (en este caso de aluminio). La finalidad de esto es facilitar la visualización del encendido del diodo LED que lleva en la base.

III.8A.3 Informaciones útiles para el uso del equipo.-

Respecto a la concentración de Cloruro de Sodio (sal Común), puede usarse 1M. Lo importante es la diferencia de potencial proporcionada por dos o mas celdas electroquímicas.

Igual podemos decir del ácido acético

(Vinagre común) el cual se vierte directamente desde la botella a las celdas electroquímicas.

III.8B. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ACUMULADOR DE PLOMO

III.8B.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	Cubeta de vidrio de 7cm x 5cm x 6.5cm de sellada con silicona.
b	2	Soportes de acrílico desmontables para placa de plomo y dióxido de plomo de 7cm x 5cm. Cada soporte lleva 3 perforaciones de $\phi = 1/8"$ dos superiores y uno inferior. A través de este último pasará un tornillo de $1/8"$ que aprisionará, con una plaquita de acrílico de 4cm x 2cm x 3mm, a la placa de plomo o dióxido de plomo al soporte sujetandose mediante una tuerca. Con un extremo de un alambre se establece una conexión al tornillo que sujeta a la placa al soporte de acrílico y el otro extremo se pasa a través de los dos huecos que hay en el soporte acrílico (ver detalle b)
c	4	Perfiles de aluminio en forma L de 5.7cm x 2cm y 1mm con agujeros de $\phi = 1/8"$ en la parte central. Estos perfiles están dispuestos frente a las 4 caras de la cubeta de vidrio de forma que la cubeta entre a

III.8B.2 Detalles sobre la Construcción. -

La cubeta o celda electroquímica puede ser hecha también en acrílico, pero no conviene dejar por mucho tiempo el ácido sulfúrico allí puesto que va atacando las uniones.

III.8B.3 Informaciones útiles para el uso del equipo. -

Es necesario **tener** cuidado en la manipulación del ácido sulfúrico hay que evitar goteos o derramamientos para ello habrá de disponer de un envase de vidrio adicional pues donde se colocarán los electrodos luego de haber sido desmontada la pila y habrá que lavar profusamente los perfiles de aluminio.

III.8C. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO GALVANIZADO

III.8C.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	Soporte de acrílico para lámina de bronce de 9cm x 5.5cm x 3mm con 3 agujeros de $\phi = 1/8"$ El agujero inferior es usado para sujetar la lámina de bronce y es asegurada por medio de un tornillo y una tuerca. El soporte de acrílico tiene dos ranuras de profundidad, 1.5cm, que distan entre si 6.5 cm.
b	1	Soporte acrílico para lámina de cobre de las mismas dimensiones que para el detalle a.
c	1	Cuba electrolítica de vidrio de 7cm de ancho por 9cm de largo y 5.5 cm de profundidad, con sus uniones selladas por silicona.
d	1	Tablero de control con 2 conectores bananas y un plug para fuente externa.
e	1	Base de madera de 14cm x 19cm x 1cm, enchapada en formica.

III. 8C.2 Detalles sobre la Construcción.

Aquí hemos considerado como electrodo una placa de cobre, puede usarse también tubos de cobre.

Para preparar la solución electrolítica se usa el sulfato de cobre pentahidratado, por ser más comercial.

III. 8C.3 Informaciones útiles para el uso del equipo.-

La solución de sulfato de cobre debe ser como mínimo 1M, concentraciones menores, darán un mal depositado sobre la placa de bronce esto podemos verlo como un depositado de color negruzco.

III.9. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO LINEAS DE FUERZA DEL CAMPO MAGNETICO

III.9.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	Imán en barra de 9.5cm x 3cm x 2.2cm hecho de material magnético y resina.
b	1	Brújula con aguja magnética de 3cm de largo y caja de aluminio de 3.5cm de diámetro.
c	1	Base de madera con formica blanca 1.5cm de espesor, de 47cm de largo por 32cm de ancho, con patitas de jebe.

III.9.2 Detalles sobre la Construcción.-

Respecto del imán que usamos en este equipo, se trata de material magnético embutido en resina.

III.9.3 Informaciones útiles para el uso del equipo.-

También se puede usar una hoja de sierra imantada para reemplazar al imán. La hoja de sierra la imantamos frotandola, en un

solo sentido, con un buen imán.

Alejarse de imanes y campos magnéticos creados por corrientes continuas, debido a que pueden provocar perturbaciones al momento de dibujar las líneas de campo magnético.

III.10. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO MOTOR ELECTRICO

III.10.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	<p>Rotor del motor eléctrico, que está formado por un eje de alambre de fierro de 15cm de largo y 3 mm de diámetro. En la parte central de este eje hay un bloque hecho en resina epóxica de 1.2cm x 1.2cm x6cm de largo, dentro del cual hay dos bloques de fierro de ventana de dimensiones 1.8cm x 1.8cm x 2.5cm, uno a cada lado. Este bloque se halla a 5cm de cada extremo y está forrado con alambre de cobre N° 33 AWG embobinado en un mismo sentido.</p> <p>Se encuentra acoplado al eje un colector que está formado por una placa impresa circular de 2.5cm de diametro y 2mm de espesor la cual se fija por medio de 2 agujas a un cilindro de propileno de 1.1cm de diámetro y 7mm de alto que tiene un agujero pasante de $\phi = 3\text{mm}$. El conjunto es asegurado al eje por un tornillo pasante por él.</p> <p>En un extremo del eje hay una rosca en donde entra un casquito para que el eje no se salga de los agujeros de los soportes al rotar.</p>

- b 1 Soporte de Imanes de acero, de forma circular de 4.2cm de radio, 2.6cm de ancho y 0.5mm de espesor. Lleva dos tornillos en los extremos que fijan este soporte a la base de madera.
- c 1 Panel de contactos, lleva 2 bananas-hembras y un plug-hembra para fuente DC. Esto está montado sobre una placa de acrílico de 6cm x 2cm x 3mm, la cual va fijada a la base de madera. De éste panel salen 2 alambres de cobre esmaltado forrados en cuyos terminales se ha lijado el esmalte. Estos extremos lijados constituyen las escobillas del motor y van apoyados sobre el colector del rotor (detalle a).
- d 2 Soportes de aluminio en forma de L de 7cm de longitud, 2.5cm de ancho y 3mm de espesor, con doblez a 4.5cm. A 0.5cm de su parte superior y central, lleva una perforación de $\phi = 1/8"$ y otra perforación en la base de $\phi = 1/8"$. El doblez inferior se fijará a la base por medio de un tornillo.

- e 2 Soportes de aluminio en forma de L de 9 cm de longitud 1 cm de ancho y 3mm de espesor, con doblez a 3.5cm. A 2cm de su parte superior lleva 2 perforaciones de 1/8" por donde pasará el alambre de cobre esmaltado que hará la función de escobillas.
Lleva una tercera perforación de 1/8" en su parte inferior a 1.5cm del extremo.
- f 1 Base de madera enchapada en formica de 19cm. x 13cm x 1.5cm; en las cuatro esquinas lleva patitas de jebe que están aseguradas a la base por tornillos de 1/8".

III.10.2 Detalles sobre la Construcción.-

El embobinado es realizado en un mismo sentido de giro, se recomienda 250 vueltas por cada extremo del bloque que esta sujeto al rotor descrito en el detalle (a).

III.10.3 Informaciones útiles para el uso del equipo.-

Se recomienda trabajar con 9V, DC es posible llegar hasta 15V.

El colector circular plano debera limpiarse de cuando en cuando mediante un algodn empapado en alcohol, debido a que^{el} chispeo en esta zona va produciendo una capa negrusca que hace de aislante impidiendo buen contacto.

III.11. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO TRANSFORMADOR

III.11.1 Descripción del equipo

Detalle	Cantidad	Descripción
a	1	<p>Núcleo de Fierro silicoso laminado compuesto forma C/I (un laminado en forma de C y el otro en forma I, en barra) cuya ventana tiene las siguientes dimensiones: 5cm x 4cm, la sección transversal del núcleo compuesto es de 2cm x 2cm, su largo es de 8cm y alto es de 9 cm. Las láminas están unidas por remaches de diámetro $\phi = 1/4"$, la de forma C tiene 4 remaches, la forma I solo tiene 2 remaches.</p> <p>Respecto de la forma I, también tiene por sección transversal 2cm x 2cm y de largo 8cm.</p>
b	1	<p>Carrete con 230 espiras de alambre de cobre esmaltado N° 20 AWG; el cual está hecho de acrílico, y que tiene 2 conectores tipo banana-hembra.</p> <p>El carrete tiene un alto de 4.7cm y la sección transversal de la boca del carrete mide 2.2cm x 2.2cm.</p>

III.11.2 Detalles sobre la Construcción.-

Las medidas de la forma C/I que se da aquí no existe en el mercado, pero es posible mandar a construir una matriz para fabricarla o obtenerla por medio de cortes de formas E/I que si existen en el mercado. Para tener un embobinado uniforme y ordenado es conveniente que el alambre de cobre se oville manualmente sobre el carrete y que cada vez que el largo del carrete se halla forrado totalmente se coloque carton asilante (papel pescado), y se vuelva a embobinar sobre el papel y así sucesivamente hasta terminar el numero de vueltas; esto dará una buena presentación al carrete.

III.11.3 Informaciones útiles para el uso del equipo.

Este equipo es un transformador didáctico que por seguridad trabaja con un transformador que va conectado a la red de 220V AC y que reduce desde 12V hasta 1.5V valores de voltaje que son los que utiliza nuestro transformador didáctico, por ninguna razón vaya a conectar el transformador didáctico a la red de 220V directamente.

CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes que extraemos de este trabajo son las siguientes:

1. El Módulo construido constituye una herramienta básica para **aprender conceptos** fundame tales y aplicados del electromagnetismo mediante experiencias demostrativas (llamado nivel cualitativo) y experimentos de laboratorio (llamado nivel cuantitativo). Debiera pues este Módulo, merecer la atención de Docentes y Autoridades Educativas.

2. Los equipos construidos **para** esta tesis pueden ser reproducidos en nuestro medio pues los materiales empleados se encuentran todos en el mercado local. El costo total de este Módulo bordea los \$ 2000 (dólares americanos). Esta cifra se debe a que hubo una gran inversión inicial en la fase de experimentación de los materiales idóneos y en la elaboración de los prototipos. Ahora que contamos con los prototipos, el costo de una copia de este Módulo es de: \$ 350. (*) Comparando este precio con el de un equipo equivalente importado -por ejemplo un equipo marca LEYBOLD cuesta: \$ 600- es claro que el bajo costo de nuestro módulo justifica su reproducción a gran escala. De esta manera **hacen posibles Proyectos de equipamiento de Colegios** e Institutos Tecnológicos y Pedagógicos a nivel nacional.

(*) Esto incluye una unidad de cada Kit descrito en el Capítulo III

3. El mantenimiento del Módulo, como se habrá podido apreciar al leer este trabajo, es fácil y económico. Además los equipos poseen operatividad en todo ambiente, incluso en climas húmedos como el de la costa peruana. Esto no es fácil de conseguir pues los experimentos de electrostática son muy sensibles a la humedad del ambiente.

4. Una gran parte de los equipos y experimentos (estimamos un 80%) descritos en el Módulo pueden usarse a nivel universitario (estudios generales y Facultades de Educación) y la totalidad (100%) a nivel de educación secundaria y de Institutos Superiores Tecnológicos y Pedagógicos.

5. Sería muy importante que se desarrollen trabajos similares en otras áreas de la Física, como por ejemplo: termodinámica (calor, temperatura, presión), óptica, física moderna, etc.

6. Para asegurar la continuidad de este trabajo (es decir, el perfeccionamiento y la innovación de equipos de laboratorio) sugerimos la formación de grupos de trabajo de personas con curiosidad e imaginación, interesadas en la construcción de material educativo. Esto implica la formación de talleres y laboratorios, no muy sofisticados, pero si suficientemente equipados con máquinas-herramientas e insumos. En tales ambientes pueden acudir a capacitarse los docentes, y simultáneamente se puede dar cabida a todas las iniciativas para el diseño y construcción de nuevos prototipos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Baird D., "Experimentación: Introducción a la Teoría de mediciones y el diseño de experimentos"; Ed. Prentice- Hall Hispanoamericana, Mexico, 1991
- [2] Caforio A., Aldo F., "Physica"; Ed. Le Monnier, Milano, 1989
- [3] Cooper W., Helfrick A., "Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición"; Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, Mexico, 1991
- [4] Crowhurst N., "Física electronica"; Minerva Books, N.Y., 1965
- [5] Daish & Fender, "Física Experimental"; Ed. UTEHA, Mexico, 1964
- [6] Ferreira Cardoso N., "Actividades em electrostática" Gaz. Fis., Vol 12 Fasc. 1 LPDES Université Paris VII, Paris, 1989
- [7] Ferreira Cardoso N., " "Experiences D'electrostatique" CRDP, Marseille, 1987
- [8] Freier G., "University Physics: experiment and theory"; Ed. Appleton-Century-Crofts, N.Y., 1965
- [9] Garibay J., "Construcción de Generadores Electrostáticos ..."; Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias - UNI, 1975
- [10] Hulin M., Maury J., " Las bases de L'electromagnétisme"; Ed. Dunod, Paris, 1991
- [11] Langlebert J., "Física"; Librería de la Vda. de Ch. Bouret, Paris-Mexico, 1904

- [12] Maiztegui A., "Física Elemental"; Ed. Kapeluz, Buenos Aires, 1970
- [13] Mc Kelvey J., "Física para ciencias e ingeniería", Tomo II, Ed. Harper & Row Latinoamericana, 1980
- [14] Moore A.D. "Electrostatics and its applications", Anchor Books Inc. Garden, N.Y., 1973
- [15] Purcell E., "Berkeley Physics Course: Electricidad y Magnetismo", Tomo II; Ed. Reverte, Barcelona, 1969
- [16] Rayotron Catalog N 7166, 7155 Operational and experimental manual Rayotron generator and particle accelerator (Van de Graaff), 1962
- [17] Resnick R., Halliday D., "Física", Tomo II; Ed. Wiley & sons, 1973
- [18] Sears W., Zemansky, "Física General"; Ed. Aguilar, Madrid, 1979
- [19] Semionov L., "Electricista de acumuladores"; Ed. Mir, Moscú, 1969
- [20] Scott W.T., "Electricity and magnetism" Cap.2; Ed. Wiley & sons, 1970
- [21] Talledo A., "Teoría de Campos Electromagnéticos"; Ed. Ciencias, Lima, 1993
- [22] Vidal J., "Curso de física", 2da parte; Ed. Stella, Buenos Aires, 1973
- [23] Yavorski B., Detlaf A., "Manual de física"; Ed. Mir, Moscú, 1977