



CCADET

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Informe Técnico

Equipo graficador de líneas equipotenciales y modelos de campos eléctricos y magnéticos

Humberto Ángel Albornoz Delgado
Mario Francisco González Cardel
Eduardo José Vega Murguía

2017

Proyecto de Desarrollo de Equipo Didáctico

Proyecto Patrocinado por el
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS DESARROLLO TECNOLÓGICO
UNAM

Equipo graficador de líneas equipotenciales y modelos de campos eléctricos y magnéticos

Humberto Ángel Albornoz Delgado¹, Mario Francisco González Cardel² y Eduardo José Vega Murguía¹

1 Grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias,

2 Grupo de Sistemas Ópticos,

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico UNAM

CCADET, UNAM

Resumen

Como apoyo en la comprensión del concepto de campo eléctrico y magnético existe una variedad de dispositivos que permiten visualizar su distribución. En este trabajo se presenta el diseño, construcción y aplicaciones de un dispositivo que tiene la misma función, pero lo novedoso de este dispositivo radica, en que en él se pueden realizar varias actividades de electrostática y magnetismo, además, para su construcción los materiales empleados son económicos y disponibles en el mercado nacional. El dispositivo está formado por una charola de acrílico que se coloca dentro de un bastidor para nivelarla, en el fondo de la charola se imprimió, con serigrafía, una retícula cuadrículada con la que asignan coordenadas cartesianas a cada punto en la charola. Algunas de las experiencias que pueden ser realizadas con este dispositivo son: 1) Cuando en la charola se vierte un gel preparado para que actúe como medio conductor y conectado a un generador de funciones, se puede marcar sobre él la distribución de líneas equipotenciales generadas por un campo eléctrico, y ubicar sus coordenadas con la retícula grabada en la charola. 2) Si en la charola se vierte aceite y se conecta a un generador Van der Graaff, es posible también observar la alineación de semillas conforme a las líneas de campo eléctrico. 3) También es fácil observar líneas de campos magnéticos, debidos a imanes o bobinas, empleando limadura de hierro.

Índice	
Nomenclatura	4
Introducción	5
1 Bases teóricas de electricidad y magnetismo	6
1.1 Representaciones del campo eléctrico	6
1.2 Campo magnético de una espira	8
2 Diseño	9
2.1 Bastidor	10
2.2 Charola y electrodos-	11
2.2.1 Charola con retícula	11
2.2.2 Soportes de los electrodos	13
2.2.3 Juegos de electrodos	14
2.2.3.1 Electrodos puntuales	14
2.2.3.2 Electrodos lineales	15
2.2.3.3 Electrodos circulares	16
2.3 Punta roma de prueba	17
2.4 Bobinas	18
3 Funcionamiento	19
3.1 Campo eléctrico	19
3.1.1 Líneas de Campo eléctrico	19
3.1.2 Líneas equipotenciales eléctricas	20
3.1.3 Protocolo de ajuste	21
3.1.4 Recomendaciones especiales	21
3.2 Campo magnético	21
3.3 Versatilidad de Graficador	22
4 Aplicaciones	22
5 Evaluación	22
5.1 Líneas equipotenciales	23
5.2 Líneas de campo eléctrico	24
5.3 Espectro magnético de los imanes	24
5.4 Espectro magnético de bobinas	25
Conclusiones	26
Agradecimientos	27
Anexos	28
Anexo A Planos de la Punta roma	28
Anexo B Planos	29

Anexo C Equipos y materiales adicionales	30
Referencias	31

Nomenclatura

B	Vector de inducción magnética
E	Vector de intensidad de campo eléctrico
I	Intensidad de Corriente eléctrica
V	Voltaje o diferencia de potencial eléctrico
X, Y, Z	Ejes de las coordenadas cartesianas
∇	Operador matemático gradiente que se aplica a una función, como en el caso del gradiente de voltaje ∇V
dx	Diferencial de la magnitud “x”, la cual puede ser un escalar o vectorial como “ ds ” o “ dB ”
x	Operador matemático del producto cruz entre dos magnitudes vectoriales
GCDC	Grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias del CCADET

Introducción.

Los nuevos lineamientos de la enseñanza de las ciencias han hecho evidente la necesidad de la práctica experimental y la importancia de contar con equipo idóneo para este fin. El Graficador de líneas equipotenciales y mapas de campos eléctricos es una propuesta para apoyar la enseñanza experimental de electricidad y el magnetismo que aprovecha los resultados de las investigaciones educativas y los desarrollos realizados en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) como el uso de un gel conductor para graficar líneas equipotenciales eléctricas (González y Nogueira, 1997) y (Nogueira y González, 1999) y el equipo para la enseñanza experimental de electricidad y magnetismo del Grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias (Leyva y Ortega, 1997) con los cuales se partió para desarrollar éste nuevo diseño industrial de material didáctico, aprovechando nuevos materiales, procesos de manufactura, considerando valores estético - formales, ergonómicos, semióticos y su viabilidad para ser producidos en mediana escala.

El "Graficador de Líneas de Campo y Equipotenciales", consiste en un bastidor que soporta una charola, un juego de electrodos de diversas geometrías y una punta de prueba para medir el voltaje del campo eléctrico, desarrollado para el equipo antes mencionado en el CCADET (Leyva y Ortega, 1997). Con el dispositivo se pueden realizar actividades de electricidad y magnetismo como son: el mapeo del campo eléctrico y magnético en cierta región de una superficie, además de patrones de líneas equipotenciales y patrones de distribución de limadura de hierro en un campo magnético; que promueven la mejor comprensión de los conceptos de campo eléctrico, campo magnético y potencial eléctrico.

Con el equipo, el estudiante observa este suceso de manera directa, y en el caso de equipotenciales se puede graficar sobre la superficie de un gel, o graficar mapas de campo eléctrico utilizado con aceite y semillas, y apreciar las diferentes formas que se generan con los electrodos de distintas geometrías.

Al realizar las actividades de electricidad, se introducen los electrodos en la charola apoyados sobre el bastidor. Al realizar las experiencias de magnetismo, debajo de la charola se colocan imanes o bobinas que producen el campo magnético y en la charola se coloca una hoja de papel sobre la que se espolvorea limadura de hierro.

El equipo desarrollado está dirigido a laboratorios de nivel medio superior y superior.

Las cualidades del diseño de este equipo y el aprovechamiento del gel conductor, permite realizar con él diversas actividades, la mayoría de éstas comúnmente se realizan con dispositivos independientes. Tal característica de éste equipo no se encuentra disponible en ningún otro dispositivo similar conocido.

Los costos para el usuario son accesibles al necesitar únicamente consumibles fáciles de adquirir, como aceite comestible, semillas, sal y grenetina.

1. BASES TEÓRICAS DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.

1.1 Representaciones del campo eléctrico

El campo eléctrico se describe por las Líneas de Fuerza Eléctricas y las Superficies Equipotenciales Eléctricas (Giancoli, 1997). Las líneas de fuerza indican la intensidad y dirección del campo eléctrico de una configuración de cargas eléctricas en cualquier punto a su alrededor, convencionalmente las líneas de campo se trazan iniciando en las cargas positivas y terminando en las cargas negativas, de manera que la tangente a las líneas indica la dirección del campo y el número de líneas por unidad de área que cruzan de una superficie perpendicular es proporcional a la intensidad del campo.

La descripción del campo eléctrico por superficies equipotenciales corresponde a una familia de superficies en el espacio cada una de las cuales tienen igual potencial eléctrico (V) respecto a un punto o nivel de referencia, generalmente respecto al infinito, en el espacio que circunda a una determinada configuración de cargas eléctricas. Convenientemente, las superficies de potencial se trazan de manera que la diferencia de potencial entre cualesquiera dos superficies próximas es constante. La relación entre las líneas de fuerza y las superficies equipotenciales es que las primeras son perpendiculares a las segundas debido a que el negativo del gradiente del potencial eléctrico es igual al vector de intensidad del campo eléctrico ($\mathbf{E}$), como se muestra en la expresión 1 (Halliday *et al* 1999):

$$-\nabla V = \mathbf{E} \quad (1)$$

Para las actividades que se pretenden realizar con el equipo Graficador, se obtendrán las líneas equipotenciales que correspondan a las intersecciones de las superficies equipotenciales con la superficie de un sustrato formado con una gelatina semiconductor.

Algunas de las configuraciones de distribuciones teóricas de carga son: A) El dipolo eléctrico (figura 1), B) Distribución uniforme de carga en dos placas con cargas opuestas y C) Distribución uniforme de carga en un anillo con una carga puntual al centro. Las líneas de campo y las líneas equipotenciales correspondientes a estas distribuciones se muestran en las figuras genera2 y 3. (HyperPhysics, 2016 [Internet])

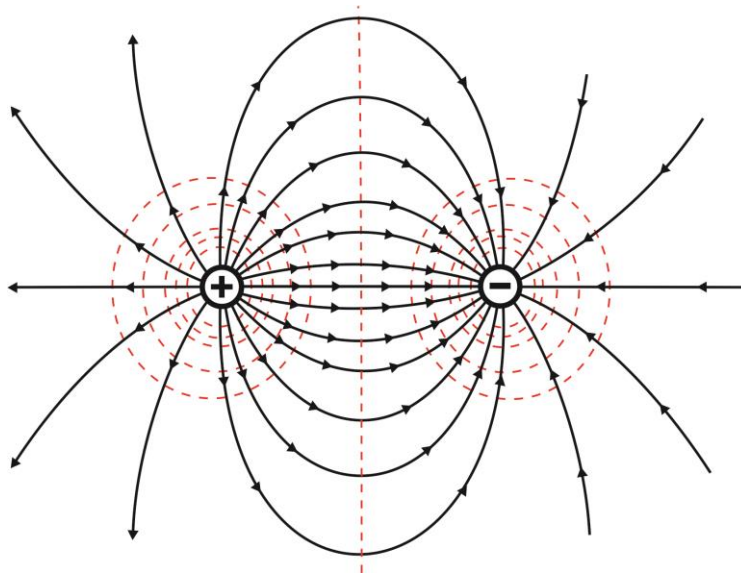


Figura 1. Líneas de campo eléctrico y equipotenciales de un dipolo de cargas puntuales positiva y negativa. Las líneas de campo son continuas con flecha que van de la carga positiva a la negativa y de color negro, y las líneas equipotenciales son punteadas rodeando las cargas puntuales y de color rojo.

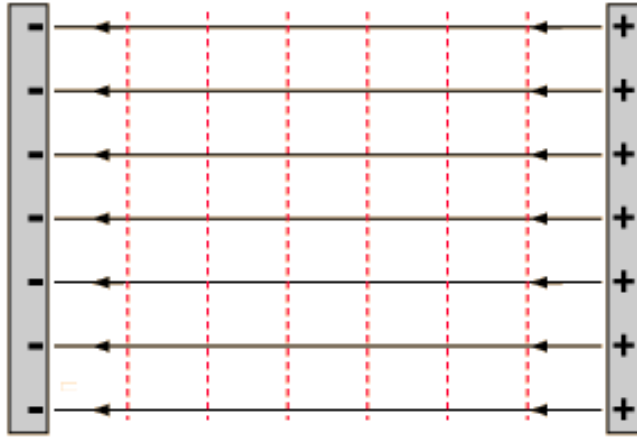


Figura 2. Líneas de campo eléctrico y equipotenciales de dos placas paralelas representadas en un plano perpendicular a ellas. Las líneas de campo se representan por las líneas negras continuas con puntas de flecha y paralelas entre sí que van de la placa con cargas positivas a la placa con cargas negativas, y las líneas equipotenciales se representan por las líneas discontinuas rojas y perpendiculares a las líneas de campo.

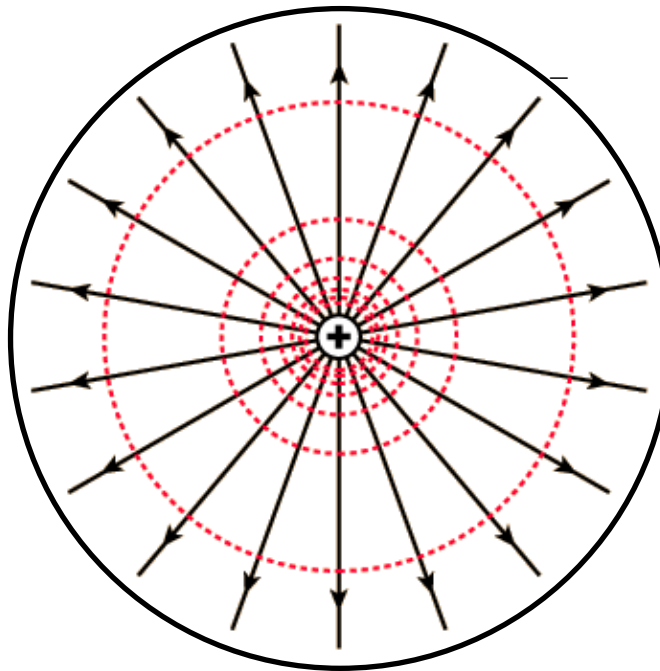


Figura 3. Líneas de campo eléctrico y equipotenciales de un anillo cargado negativamente y una carga puntual positiva al centro. Las líneas de campo son negras, continuas y radiales con flecha, y las líneas equipotenciales son rojas, discontinuas y circulares concéntricas a la carga puntual, a la que se le agregó el círculo exterior que representa el aro con distribución uniforme de carga eléctrica negativa.

Para obtener una distribución de cargas específica, se puede electrificar un objeto metálico, denominado electrodo (Morris, 1992), que se construye con una forma determinada de acuerdo a la configuración o distribución de cargas que se desee para un experimento.

1.2 Campo magnético de una espira

El campo magnético producido por la corriente eléctrica en un punto cercano a la corriente depende de la intensidad de ésta y de su distancia al punto de interés. La ley de Biot y Savart propone una relación diferencial para determinar la pequeña contribución del campo inducido “ $d\mathbf{B}$ ” de la corriente “ I ” que pasa por un pequeño tramo de un conductor “ $d\mathbf{s}$ ”, el cual tiene una dirección y sentido. Si la diferencia de posiciones entre el punto y el tramo de corriente es “ $\mathbf{r}$ ”, la referida contribución del campo magnético se expresa por la ecuación 2 (Franco, 2016 [Internet]), en esta las magnitudes vectoriales son “ $d\mathbf{B}$, $d\mathbf{s}$ y $\mathbf{r}$ ” y “ $\times$ ” denota el producto cruz entre dos vectores.

$$d\mathbf{B} = \mu_0 I (d\mathbf{s} \times \mathbf{r}) / 4\pi r^3 \quad (2)$$

El campo total se determina integrando la ecuación 2 a lo largo de todo el conductor. Cerca del conductor por donde circula la corriente, el campo lo rodea en una curva cerrada.

En la figura 4 se muestra el caso de un conductor circular, como una espira de alambre, de radio $R = 1$, la corriente “ I ” circula en la dirección que indica la flecha. La espira está en el plano XY, y su eje coincide con el eje Z.

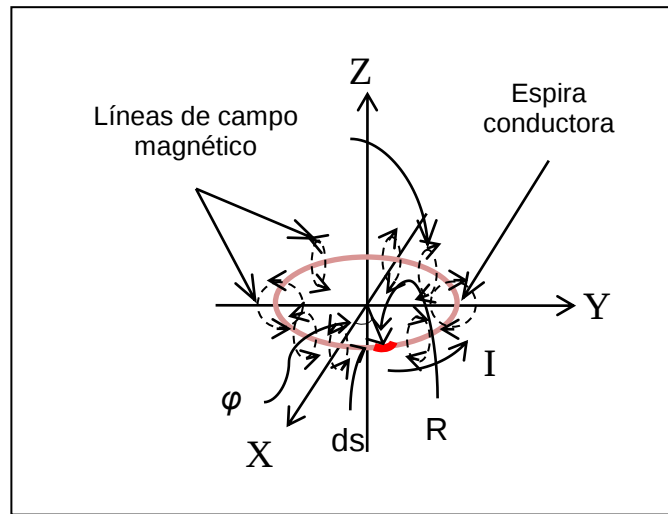


Figura 4. Esquema de las líneas de campo magnético que rodean una espira por donde circula una intensidad de corriente eléctrica “ I ”.

Si se integra la ecuación 2 para la espira circular, el campo de inducción magnética en cualquier punto sobre el plano YZ tiene las siguientes componentes:

$$B_x = \mu_0 I R z / 4\pi \int_0^{2\pi} \cos(\varphi) / r^3 d\varphi = 0 \quad (3a)$$

$$B_y = \mu_0 I R z / 4\pi \int_0^{2\pi} \sin(\varphi) / r^3 d\varphi = 0 \quad (3b)$$

$$B_z = \mu_0 I R / 4\pi \int_0^{2\pi} (a - y \sin(\varphi)) / r^3 d\varphi \neq 0 \quad (3c)$$

Donde “ φ ” es el ángulo respecto al eje X del radio vector que va del origen a un punto sobre la espira. La integral de la componente B_x (ecuación 3.a) vale cero debido a que cada elemento de corriente en el arco ds existe otro simétrico cuyo efecto es anular la componente x del campo de inducción magnética B . Mientras las componentes B_y y B_z son diferentes de cero.

Considerando la dirección de la corriente eléctrica como lo indica la figura 4 de arriba y las ecuaciones del campo magnético 3.b y 3.c, en el capítulo de campo magnético de la página Física con ordenador (Franco, 2016 [Internet]), el autor propone las direcciones del vector de inducción magnética $\mathbf{B}$ en varios puntos sobre un cuadrante “+” del plano YZ que pasa por el eje de la espira circular, lo cual se ilustran en

la figura 5. En ella, las direcciones del campo de inducción $\mathbf{B}$ en diversos puntos se representan por las flechas azules, donde los tamaños de las flechas no representan la magnitud del campo de inducción magnética. La unidad de la escala de los ejes corresponde al radio de la espira. El punto rojo que se ubica en $y = 1$ sobre el eje Y, indica la sección circular de la espira por donde circula la corriente hacia dentro de la página:

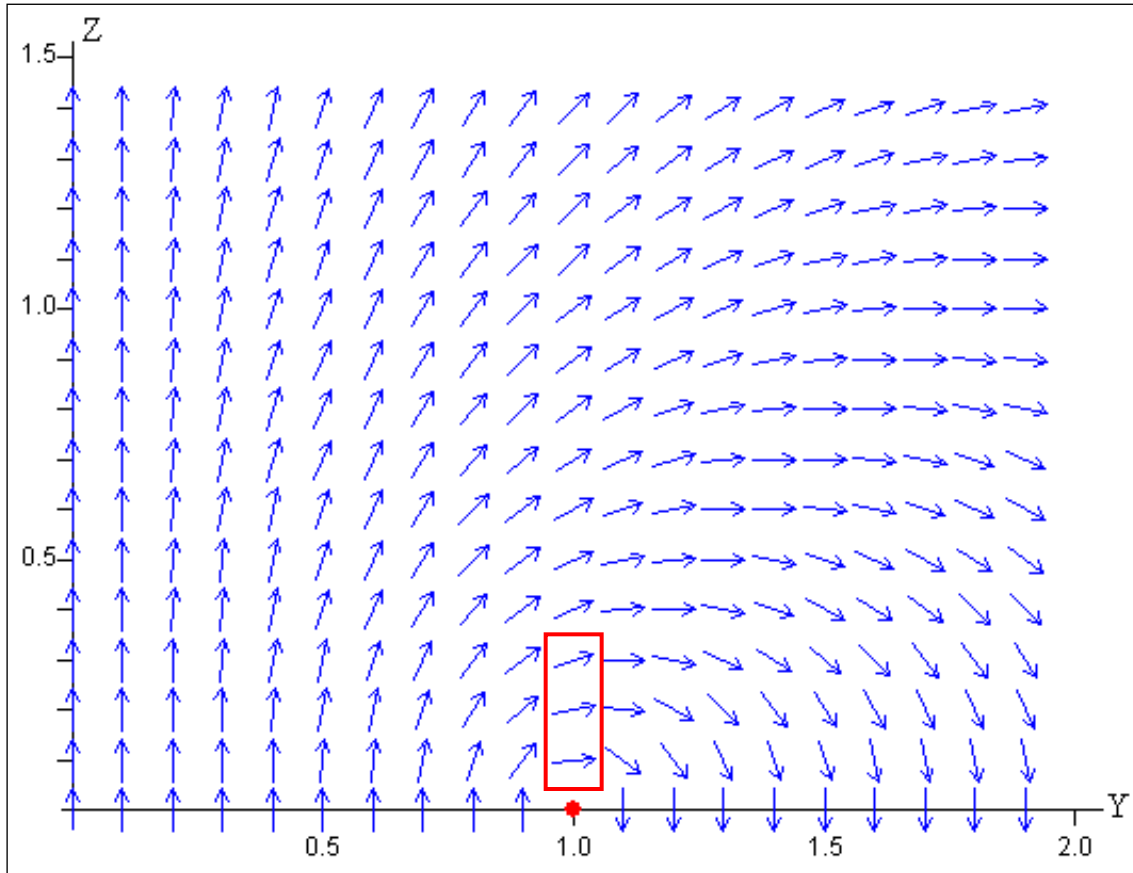


Figura 5. Direcciones del campo magnético en el cuadrante YZ positivos, producido por una espira circular de radio igual a 1. La espira está en el plano XY, el punto rojo corresponde a la sección circular de la espira que pasa en el punto $y = 1$. Las flechas sólo indican la dirección del vector de inducción magnética $\mathbf{B}$, no su magnitud.

El campo de inducción magnética $\mathbf{B}$ a lo largo del eje de la espira de la figura 5 ($y = 0$) es paralelo a ésta. Además, en la misma figura, se aprecia sobre la espira y cerca de ésta (En la zona marcada en el cuadro rojo) la componente radial del campo es mayor a la componente vertical, lo cual puede provocar que la limadura colocada sobre la espira se oriente radialmente sobre ella. En éste caso la espira puede representar una vuelta de una bobina eléctrica como las usadas con el equipo.

2. DISEÑO

El Graficador de campos eléctricos es un dispositivo que permite graficar en dos dimensiones líneas de campo eléctrico y magnético, así como las líneas equipotenciales de campos eléctricos de diferentes configuraciones de electrodos. El equipo está diseñado para ser usado por estudiantes de secundaria y bachillerato, entre 12 a 18 años, sin embargo las capacidades del equipo permiten que mediante actividades más complejas pueda ser utilizado a nivel superior, por las características de los usuarios los materiales de construcción deben garantizar tanto su eficiencia como su resistencia.

El diseño se compone principalmente de dos elementos; un marco o bastidor, sobre este se coloca una charola, donde propiamente se realiza el experimento con los electrodos adecuados.

2.1 Bastidor

El bastidor consiste en un marco rectangular que tiene la función de sostener a la charola y mantenerla estable y nivelada, para ello cuenta con un sistema de cuatro patas niveladoras. Estas patas están fabricadas en acero inoxidable y permiten que el bastidor se mantenga siempre nivelado independientemente de las imperfecciones de la superficie en donde se realice la actividad experimental. La nivelación se logra al girar las patas atornillándose o desatornillándose permitiendo cambiar la altura del bastidor. Para verificar el nivelado, el bastidor posee dos cavidades sobre dos laterales donde se colocan niveles de burbuja orientados a 90 grados uno del otro. En la figura 6 se muestra la foto del bastidor del equipo.



Figura 6. Bastidor del Graficador, se aprecian el detalle de las patas niveladoras, las muescas donde se apoya la charola y los niveles en dos lados alineados perpendicularmente entre sí.

El hueco interno del bastidor o marco también es rectangular, en cada una de sus esquinas hay una muesca semicircular sobre los que se asienta la charola, la cual tiene otras tantas pestañas semicirculares que permiten posicionarla en dichos bajorrelieves y dentro del hueco del bastidor.

La pieza esta propuesta para ser fabricada en plástico a fin de evitar una estructura metálica que pudiera alterar el desempeño de las actividades, el material seleccionado es espumado de PVC de 3mm termoformado, éste proceso de fabricación permite moldear la estructura del marco en un solo paso. El material elegido es resistente a golpes, de fácil limpieza y mantenimiento, además de no requerir acabados posteriores ya que el material cuenta con su propia pigmentación.

El bastidor se propuso en color cálido, amarillo PANTONE 611C, esta recomendación deriva de recordar que éste color por ser muy llamativo, propicia el mantener activa la atención hacia él y considerarlo como un objeto de alerta media por su implicación y relación con el manejo de corriente eléctrica, que si bien, en éste caso específico no representa ningún peligro para el usuario, pretende mantener un recordatorio del uso de seguridad durante la manipulación de la electricidad, éste color se emplea en todos los aparatos de electricidad y magnetismo diseñados en el GCDC.

El aparato presenta una línea de diseño que combina un aspecto limpio y sobrio con el uso de líneas rectas y un carácter amable con el uso de líneas curvas en dos diferentes planos que se integran en un cuerpo robusto y resistente de aspecto general atractivo.

Las dimensiones del objeto en general fueron pensadas para ser colocado al centro de una mesa estándar de laboratorio y ser utilizado simultáneamente por grupos de tres a cinco usuarios, con el propósito de propiciar el trabajo colaborativo y que todos los usuarios puedan, en algún momento durante el desempeño de las actividades experimentales, acceder a él, manipular, interactuar y observar claramente los fenómenos que en ella se produzcan. Fueron consideradas las medidas antropométricas de estudiantes de bachillerato de Latinoamérica (Ávila *et al*, 2001), para el diseño de todos sus elementos

y partes que lo integran. Una ventaja debida a sus dimensiones es que puede colocarse sobre un proyector de acetatos para mostrar el proceso experimental a la vista de todo el grupo. Las dimensiones del bastidor se presentan en la tabla 1

Tabla 1 Dimensiones del bastidor y sus piezas que lo conforman

PIEZA	LARGO [mm]	ANCHO [mm]	ALTO [mm]	DIÁMETRO [mm]	PLANO/ FIGURA	MATERIAL
Cuerpo	370	230	50		01/06	Espumado de PVC de 3 mm termoformado
Espacio para charola	250	170			01/06	
Muecas para el asentamiento de la charola			3	20	01/06	
Patas niveladoras			40	51	05/06	
Tornillo	43			12.7	09/06	Barra de acero inoxidable de $\varnothing \frac{3}{4}$ " c/ cuerda de maquinada
Perilla niveladora			7.9	50.8	07/06	Barra de acero inoxidable $\varnothing 2$ "
Base			9.52	44.45	10	Barra de acero inoxidable $\varnothing 1 \frac{3}{4}$ "
Disco contra base			2	44.45	08	Barra de acero inoxidable $\varnothing 1 \frac{3}{4}$ "
Bastidor completo	380	230	60		01/06	

Las patas consisten en un tornillo con una perilla moleteada que gira libremente sobre la base de la pata, al girar se enrosca o desenrosca sobre una lámina fija en el interior del bastidor logrando subir o bajar cada extremo del mismo.

2.2 Charola y electrodos

El fenómeno experimental se produce dentro de una charola a la que se le colocan diversos elementos para producir el efecto deseado. Si se trata de analizar un campo magnético, se ubica una bobina o un imán por debajo de la ella; pero si se quiere analizar el campo eléctrico, dentro de la charola se colocan un par de electros sostenidos por soportes adecuados y el sustrato conveniente para hacer el experimento como pueden ser aceite o gel.

2.2.1 Charola con retícula

La charola es el elemento que tiene la función de contener las diversas preparaciones que pueden usarse para las actividades experimentales, está formada por piezas de placa de acrílico cristal (transparente) de 3 mm de espesor cortadas y unidas por medio de adhesivo. En su base tiene impresa en color negro una retícula con cuadros de un centímetro por un centímetro que sirve como referencia para la ubicación de las piezas de experimentación y la observación de resultados. Para identificar la ubicación de las piezas, un sistema de coordenadas de números y letras aparece impreso al lado de los ejes largo y ancho de la retícula. En la figura 7 se muestra la charola con la retícula.

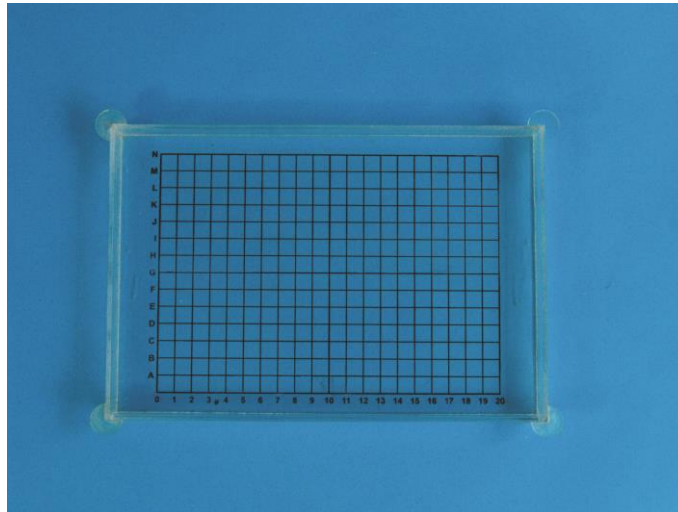


Figura 7. Charola con retícula impresa en la parte externa del fondo. En las esquinas se aprecian las cejas con las que se apoya en el bastidor.

En cada esquina de la charola se encuentra una ceja semicircular que sirve para ser colocada y fijada sobre el bastidor, con ello se evita que la charola sufra algún desplazamiento durante la realización de las actividades experimentales, ya que cada ceja entra en una muesca que posee el bastidor.

La charola es transparente para permitir la observación de las actividades experimentales y poder colocar algunos elementos por debajo de la charola (papel milimétrico, dibujos de actividades experimentales anteriores, etc.) y que sirvan de referencia durante el desarrollo experimental, pero también permite colocar la charola sobre un proyector de acetatos y proyectar las actividades.

La charola se fabricó de acrílico porque este material es un plástico aislante por el que no se conduce la corriente eléctrica de manera que no afecte el campo eléctrico inducido en el sustrato y producido al electrizar los electrodos cuando se realizan los experimentos de las líneas de campo y las líneas equipotenciales de campo eléctrico. Igualmente, el acrílico es transparente al campo magnético, lo que permite usar la charola como soporte de limadura de hierro para visualizar los patrones de distribución de la limadura cuando están dentro de un campo magnético, ya sea correspondiente al de un imán o arreglo de imanes, así como al de una bobina por el que circula una corriente directa.

Las medidas de la charola se presentan en la tabla 2

Tabla 2. Dimensiones de la charola

PIEZA	LARGO [mm]	ANCHO [mm]	ALTO [mm]	DIÁMETRO [mm]	PLANO/ FIGURA	MATERIAL
CHAROLA						
Charola	249	169	25		11/07	Hoja de acrílico transparente de 3 mm
Pestaña				18	11/07	Hoja de acrílico transparente de 3 mm

Para realizar las actividades experimentales propuestas del campo eléctrico, además de la charola se implementaron: dos soportes de electrodos, y un juego de electrodos específicos para generar el campo eléctrico que se deseó describir por su configuración de líneas de campo y de líneas equipotenciales, una punta de prueba adecuada para medir el voltaje sobre el gel y se construyó un par de bobinas.

A continuación, se describe el diseño de cada una de estas partes esenciales que constituyen el Graficador de Líneas de Campo y Equipotenciales.

2.2.2 Soportes de los electrodos

El sistema de electrodos del equipo está integrado por un juego de electrodos con dos soportes. El juego de electrodos se construyó en aluminio.

Los soportes sirven para fijar los electrodos y ubicarlos en el área de operación dentro de la charola donde se realiza el experimento, los soportes están eléctricamente aislados de los electrodos para no interferir en el fenómeno que se desea producir. Cada soporte, como se muestra en la figura 8, consta de una base de apoyo con forma de escalón para asentarse en la charola y el bastidor, y dos guías corredizas unidas en uno de sus extremos por una pequeña manija aislante donde se insertan y que sirve para unir las guías y deslizarlas.



Figura 8. Los soportes constituidos de una base con forma de escalón, el botón de seguridad para fijar las guías y éstas que se deslizan a través de cada base.

Las guías son varillas que están paralelas entre si y a la charola, tienen un dobléz de 162° a 5 cm de los extremos donde están las manijas de PVC que las une. Las guías cruzan por dentro de la base de apoyo que las sostiene, permitiendo deslizarlas a través de ella para ubicar los electrodos en la posición deseada en la charola. Las guías se obtienen de varilla de acero inoxidable de 1/8" de diámetro

Las dimensiones de las partes de cada soporte de los electrodos se muestran en la tabla 3

Tabla 3. Dimensiones de las piezas y completo de un soporte de electrodos.

PIEZA	LARGO [mm]	ANCHO [mm]	ALTO [mm]	DIÁMETRO [mm]	PLANO/ FIGURA	MATERIAL
Mango	40	-	-	12.7 (1/2")	13/08	Barra de PVC de 12.7 mm (1/2")
Guía	194.5	3.25	40	-	14/08	Varilla de Acero inoxidable de 3.25 mm (1/8")
Soporte de guía	40	38.10	26.98	37.8	15/08	Barra de PVC 38.10mm (3/4")
Resorte	22 – 23			7 – 8	12/08	Fierro pavonado de 0.64 mm (0.025")
Seguro	19.84	-	-	12.7	16/08	Barra de PVC de 12.7 mm (1/2")

Las bases de apoyo se obtienen de una pieza cilíndrica de PVC con un recorte longitudinal con un ángulo de 90°, formando un escalón invertido para que se apoye y descansa sobre la orilla de la charola y el bastidor donde se coloca. Transversalmente tiene dos barrenos pasados paralelos entre si y por la cara horizontal del escalón por donde corren las dos guías, logrando que estas queden paralelas entre si y a la charola. Para fijar la posición de las guías, y con ellas el electrodo, hay un seguro de resorte que empuja continuamente una de las varillas contra la pared interna del barreno por donde corre. Para liberar las

guías, el botón del seguro se oprime. Este botón se localiza sobre una de las caras planas del cilindro a partir del cual se fabrica la base. Para mantener el botón dentro del soporte de guías hay un perno que penetra por la esquina inferior del rebaje del soporte de guía que limita la carrera del botón e impide que salga. El resorte no se ha diseñado con una constante de elasticidad específica, sino sólo para apretar las guías.

2.2.3 Juegos de electrodos

El diccionario de ciencia y tecnología editado por Chistopher Morris (Morris, 1992) indica que, en el área de la electricidad, un electrodo corresponde a “Un conductor por el cual una corriente entra o deja un medio no metálico”. Considerando los fines del equipo, esta definición puede considerarse adecuada.

Para el equipo graficador, los electrodos son las piezas que se sumergen o colocan dentro del medio o sustrato donde se genera el campo eléctrico. Para esto, el electrodo se debe de conectar a un dispositivo generador de energía eléctrica y que electrifica a ambos electrodos con una diferencia de potencial determinada. Cuando se desea identificar los patrones de líneas de campo, los electrodos se introducen en aceite (que sirve como medio) y se conectan a un generador electrostático de alto voltaje como puede ser un Van de Graaff. Pero si se desea identificar los patrones de líneas equipotenciales, los electrodos se colocan en una gelatina que gelifica con ellos adentro y se conectan a una señal de corriente alterna y bajo voltaje, como el producido por un generador de funciones o una fuente de poder de corriente alterna de bajo voltaje.

Cada uno de los electrodos consta de una terminal libre, una varilla que la sostiene, un cilindro de soporte y un pequeño conector. El cilindro soporte es una pieza aislante de PVC que se inserta en los extremos de las guías de los soportes y sostiene propiamente al electrodo. La varilla es corta y de acero inoxidable que cruza transversalmente el cilindro soporte, en su extremo inferior se enrosca la terminal libre y en el extremo superior se enrosca el conector. La terminal libre y el conector son de aluminio.

Las piezas metálicas tienen el fin de distribuir la carga eléctrica en el electrodo garantizando un voltaje uniforme en él. La terminal libre de aluminio es el que opera propiamente como electrodo experimental, ya que se sumerge en el sustrato (aceite o gelatina según sea el experimento) en cuya superficie se analiza el fenómeno eléctrico. Las terminales libres tienen diversas formas específicas, que dan nombre a cada electrodo, de acuerdo a la distribución de carga que se desea probar. El conector es un disco de aluminio al que se conecta la fuente de energía eléctrica para cargar el electrodo, su pequeña dimensión facilita el que sea prensado por una pinza tipo caimán de los cables de conexión.

Los electrodos que se desarrollaron, de acuerdo a la forma de la terminal libre que tienen, son: Puntuales (2), Lineales (2), Circular de 5 cm (2) y Circular de 10 cm (1) de diámetro.

2.2.3.1. Electrodos puntuales

Se presentan dos electrodos puntuales cuya terminal libre de estos electrodos consiste en un pequeño cilindro de aluminio de 9.52 mm de diámetro. A esta terminal se enrosca la varilla que lo sostiene la cual pasa por el cilindro soporte, al que se fija, mientras que del otro extremo se enrosca el conector de aluminio. Con estos electrodos se pueden representar cargas puntuales que generan sobre la superficie del medio donde se sumerja, campos eléctricos radiales con simetría puntual a partir de la terminal del electrodo cuyas líneas equipotenciales son círculos concéntricos. Al emplear los dos electrodos puntuales se puede representar un dipolo eléctrico. En la Figura 9 se muestran los electrodos puntuales.



Figura 9. Electrodo puntuales.

2.2.3.2 Electrodo lineales

Se desarrollaron dos electrodo lineales, cuya terminal libre consiste en una barra rectangular de aluminio de 70 mm de largo, al que se le atornilla la varilla de acero inoxidable para sostenerlo en el cilindro soporte y conectarlo a la fuente de poder a través del conector que se enrosca en el otro extremo de la varilla. Con las terminales libres lineales se puede considerar que se obtiene una configuración lineal de carga para los fines experimentales del equipo. Cuando los electrodo se conectan a una fuente de poder o generador electrostático, cada terminal produce un campo eléctrico de simetría cilíndrica del largo casi igual al largo de la terminal y con eje en esta. Sobre la superficie del medio donde se sumergen los electrodo lineales y cerca de los centros de las terminales, se genera un campo cuyas líneas son paralelas entre si y perpendiculares a las terminales, mientras que sus líneas equipotenciales son líneas rectas paralelas entre si y a las terminales.

Con dos electrodo lineales se puede representar el perfil de condensadores de placas planas. En la Figura 10 se muestran estos electrodo.



Figura 10. Electrodo lineales.

2.2.3.3 Electrodo circular

Los electrodos anulares se construyen en dos tamaños: 50 y 100 mm de diámetro. Cuando estos electrodos se conectan a una fuente de poder o generador electrostático, la carga se distribuye sobre la superficie del anillo, generando, en la superficie del medio donde se sumerge, un campo eléctrico radial al rededor del anillo, a partir de este hacia afuera, y en su interior el campo vale cero. Las líneas equipotenciales del anillo cargado son círculos concéntricos en su exterior, mientras que en su interior se considera como una zona sin valor definido de equipotencial. Cuando se coloca un electrodo puntual o el anular de 50mm al centro del electrodo de 100mm, se puede simular un condensador con placas cilíndricas o esféricas, donde el campo entre los electrodos es radial y las líneas equipotenciales son círculos concéntricos al mismo centro. Los dos electrodos se muestran en la figura 11.



Figura 11. Electrodo circular

- 2 Electrodo anular de 50 mm de aluminio: La terminal libre del electrodo consiste en un anillo de aluminio que se obtiene del corte de un tubo de 50 milímetros de diámetro y 3 milímetros de pared. Sostenido por la varilla de acero inoxidable atornillada en una de sus caras. Al igual que los electrodos puntual y lineal la varilla tiene el conector de aluminio y está sostenida en el cilindro soporte.

- 1 Electrodo anular de 100 mm de aluminio: La terminal libre consiste en un anillo de aluminio de 100 mm de diámetro y 1.6 mm de pared. También sostenido por la varilla de acero inoxidable atornillada a una pequeña barra de aluminio o montura con una ranura en la que se inserta a presión el anillo.

Las dimensiones de las partes de los electrodos se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones de los electrodos y sus partes.

PIEZA	LARGO [mm]	ANCHO [mm]	ALTO [mm]	DIÁMETRO [mm]	PLANO/ FIGURA	MATERIAL
Electrodos de Aluminio						
Conector	-	3.17	-	9.5 (3/8")	18/09	Barra de aluminio de 3/8"
Varilla	45	-	-	2.3 (3/32")	19/09	Varilla de acero inoxidable de 3/32"
Conector	40	-	-	12.7 (1/2")	17/09	Barra de PVC de 1/2"
Terminal puntual			7	9.5 (3/8")	20/09	Barra de aluminio de 3/8"
Electrodo Puntual	40	9.5	51		SP/09	
Terminal lineal	70	3.2	4.8	-	21/10	Solera de aluminio de 1/16" x 3/16"
Electrodo Lineal	70	8	51	-	SP/10	

Terminal anular chico			7	51 (2")	22/11	Tubo de aluminio de 2" y 3 mm de pared
Electrodo Anular chico			51	51	12/11	
Varilla para electrodo anular grande	38			2.3 (3/32")	24/11	Varilla de acero inoxidable de 2.3 mm (3/32")
Montura para terminal anular grande	13	-	-	4.8 (3/16")	23/11	Barra de aluminio de 3/16"
Terminal anular grande			7	101.6 (4")	25/11	Tubo de aluminio de 4" y 3 mm de pared
Electrodo Anular grande	-	-	51	102	SP/11	

2.3 Punta roma de prueba

Para medir la diferencia de potencial sobre la superficie de una gelatina se utilizó el diseño de una punta roma de prueba del Graficador de campos desarrollado en el CCADET (Leyva y Ortega, 1997). Esta consiste en una terminal maquinada de fierro de 35 mm de largo con una punta esférica, un manguillo y un cable con terminal tipo banana. La terminal remata en un extremo con una esfera de 3 mm de diámetro, con la que se hace contacto sobre la superficie de la gelatina de manera que al colocarla sobre el gel se establezca un área de contacto entre ellos lo suficientemente grande que no dañe el gel, minimice la resistencia de contacto y con ello alterar la medida lo mínimo posible. En el otro extremo de la terminal hay una cuerda para enroscarla en el manguillo. Este sirve para manipular la punta al colocarla en el punto donde se interesa medir el voltaje. A la terminal se le suelda un cable del número 16GA para bocina que pasa por dentro del manguillo y con un conector tipo banana macho del otro extremo, el cual se conectar al *plug* de señal del medidor de voltaje. Este cable tiene a flexibilidad adecuada que permite doblarlo para colocar la punta de la manera conveniente sobre la superficie del gel. En la figura 12 se muestra una foto de la punta roma.

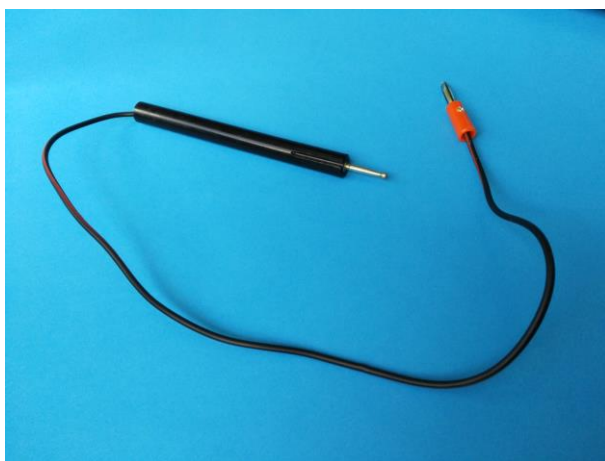


Foto 12. Punta de prueba para medir el voltaje sobre la superficie del sustrato de gel.

En la tabla 5 se presentan las especificaciones de la punta roma y sus partes.

Tabla 5. Dimensiones de la punta roma.

PIEZA	LARGO [mm]	ANCHO [mm]	ALTO [mm]	DIÁMETRO [mm]	MATERIAL
Terminal	35			6	Fierro acerado de 6 mm (1/4")
Manguillo	126			11	Tubo de PVC de 6 x 11 mm (1/4" x 7/16")
Cable	55			3	Cable de cobre 16GA
Conector banana	40			8	Fierro cromado y plástico
Toda la Punta de prueba	600			11	

2.4 Bobinas

Se construyeron dos bobinas circulares con alambre de cobre calibre 25 AWG (0.02" o 0.5 mm) con 10 vueltas cada una y núcleo de aire, sus dimensiones y resistencia eléctrica se presentan en la tabla 6. Las resistencias de las bobinas se midieron con un multímetro digital de cuatro puntas (Multímetro digital HP modelo 3478A). Cuando las bobinas se alimentan con 1 V les circula una corriente eléctrica de 10.0 A y 3.85 A respectivamente, que genera un campo magnético que se detecta por el alineamiento de limadura de hierro sobre la charola. En la Figura 13 se muestran estas bobinas.

Tabla 6. Material de construcción de bobinas.

PIEZA	ALTO [mm]	DIÁMETRO [mm]	Número de Vueltas	Resistencia eléctrica [Ω]	MATERIAL
Chica	3	25	10	0.1	Alambre magneto de cobre del No. 25 AWG (aproximado 1 m)
Grande	5	65	10	0.26	Alambre magneto de cobre del No. 25 AWG (aproximado 2.2 m)



Figura 13. Bobinas de 65 y 25 mm

El equipo graficador se basa en la producción de un campo eléctrico o magnético que, en parte queda dentro de la charola donde se analiza, de esta manera, el funcionamiento depende de la experiencia a realizar o el fenómeno que desea observarse, en general se clasifican en las siguientes:

- Líneas de campo eléctrico.
- Líneas Equipotenciales de campo eléctrico.
- Líneas del espectro del campo magnético.

3. FUNCIONAMIENTO

3.1 Campo eléctrico

Para describir el campo eléctrico con el Graficador se pueden hacer experimentos de Líneas de campo y de Líneas equipotenciales, en los cuales se usan los mismos recursos del equipo, pero las condiciones y procedimientos experimentales y las fuentes eléctricas que usan son diferentes, por lo que podemos distinguir dos maneras de usarlo.

3.1.1 Líneas de campo eléctrico

Cuando se realizan las actividades de líneas de campo eléctrico, se emplea aceite como sustrato donde se vierten semillas de pasto y se usa un generador electrostático Van de Graaff como fuente eléctrica. La descripción del funcionamiento requerido en estos experimentos es la siguiente.

1. Se coloca la charola en el bastidor.
2. Se nivela el bastidor hasta que la charola quede horizontal, lo cual se logra al girar los tornillos de las patas. Los niveles que se encuentran a los lados del bastidor permiten verificar la horizontalidad.
3. Se insertan los electrodos elegidos para el experimento o demostración en los extremos libres de las guías de los soportes.
4. Se colocan los soportes sobre el bastidor de manera que los electrodos queden dentro de la charola.
5. Se ubican los electrodos en la posición determinada para el experimento a realizar dentro de la charola, para esto se oprime el botón que está a un lado de la base, mientras se deslizan las guías empujándolas o jalándolas de las manijas.
6. Se colocan los electrodos a una altura entre 3 y 5 mm sobre el fondo de la charola, según lo requiera el experimento que se vaya a realizar.
7. Se sirve el aceite hasta cubrir los electrodos.
8. Se conecta el generador Van de Graaff, que es de uso común en los laboratorios escolares.
9. Se espolvorea un poco de semillas de pasto sobre el aceite tratando de esparcirlos alrededor de los electrodos y en el espacio que hay entre ellos, procurando que no se acumulen en zonas donde no se pueda observar el efecto deseado.
10. El efecto del campo eléctrico en la actividad de las líneas de campo es que las semillas se alinean de acuerdo a las líneas de campo eléctrico, formando cadenas que van de un electrodo a otro.

En la figura 14 se muestra un esquema del dispositivo experimental para identificar un patrón de líneas de campo.

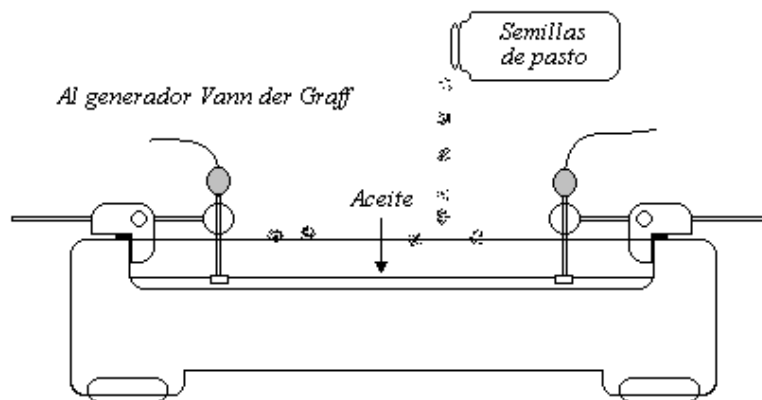


Figura 14. Esquema de arreglo experimental para observar un patrón de líneas de campo.

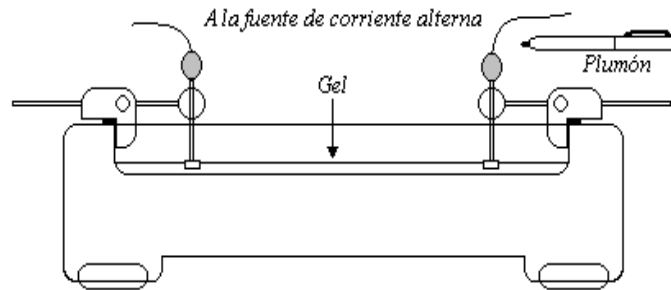
3.1.2 Líneas equipotenciales eléctricas

Cuando se desea realizar las actividades de líneas equipotenciales el sustrato es un gel sobre el que se miden los valores de voltaje y se usa como alimentación eléctrica un generador de funciones. La descripción del funcionamiento o de la manera de usar el Graficador para hacer estos experimentos es la siguiente (Albornoz *et al*, 2002).

1. Se coloca la charola en el bastidor.
2. Se nivela el bastidor hasta que la charola quede horizontal, lo cual se logra al girar los tornillos de las patas. Los niveles que se encuentran a los lados del bastidor permiten verificar la horizontalidad.
3. Se insertan los electrodos elegidos para el experimento o demostración en los extremos libres de las guías de los soportes.
4. Se colocan los soportes sobre el bastidor de manera que los electrodos queden dentro de la charola.
5. Se ubican los electrodos en la posición determinada para el experimento a realizar dentro de la charola, para esto se oprime el botón que está a un lado de la base, mientras se deslizan las guías empujándolas o jalándolas de las manijas.
6. Se colocan los electrodos apoyados en el fondo de la charola o a una altura no mayor de 5 mm sobre el fondo, según lo requiera el experimento que se vaya a realizar.
7. Se prepara el gel, el cual puede ser con base en alguna de las siguientes formulas:
 - a. Se mezclan 35 g de grenetina con azúcar (comercial que se usa para preparar postres con saborizantes y colorante) con 5 g de sal. La mezcla se disuelve en 250 ml de agua a punto de hervir. El tiempo aproximado de gelificación o gelación es de 42 minutos. (Ninguna de las dos palabras existe en el diccionario de la Real Academia Española, en el Diccionario Larousse de Ciencias y Técnicas (Galeana, 1977) aparecen como sinónimos, en la literatura especializada se maneja gelación, Wikipedia, 2017 *Gel* [Internet], por convención en este trabajo se utiliza gelificación)
 - b. Se mezclan 14 g de grenetina sin azúcar (comercial que se usa para preparar postres sin colorante ni saborizante) con 0.25 g de sal. La mezcla se disuelve en 250 ml de agua a punto de hervir. El tiempo aproximado de gelificación es de 21 minutos.
 - c. Se mezclan 28 g de grenetina natural (comercial que se usa para preparar postres sin colorante ni saborizante) con 7 g de sal. La mezcla se disuelve en 400 ml de agua a punto de hervir. Esta fórmula se encuentra reportada en el artículo "Equipo para observar líneas equipotenciales" (Nogueira y González, 1999).
8. El sustrato preparado se vierte uniformemente en la charola nivelada, con los electrodos colocados adecuadamente y se espera a que gelifique. Es importante verificar que el nivel del gel es uniforme sobre toda la charola.
9. Se conectan los electrodos a un generador de funciones con una señal senoidal de 100 o 200 mVp con una frecuencia de entre 50 a 1000 Hz.
10. Se determinan al menos tres valores de voltaje intermedios al valor de alimentación para identificar las líneas equipotenciales. Es conveniente que la diferencia entre dos valores consecutivos que sean aproximadamente iguales, y el valor central sea de la mitad del voltaje de alimentación.
11. Para la determinación de las líneas equipotenciales se usa un voltímetro comercial y convencional, con la punta roma conectada al borne positivo del mismo, y el borne negativo al punto de referencia del generador de funciones, aplicando el siguiente procedimiento:
 - Con la punta roma se mide el voltaje sobre la superficie de la gelatina hasta encontrar un punto donde su valor sea igual a uno de los valores previamente determinados (paso 10).
 - Este punto se marca con un plumón de tinta soluble en agua.
 - Se buscan al menos 10 puntos donde el voltaje tenga el mismo valor y que estén distribuidos uniformemente a lo ancho de la charola y sean marcados con el plumón.
 - Los puntos se unen entre sí con una línea, identificando una de las líneas equipotenciales.
12. Se repite el procedimiento anterior hasta identificar las líneas equipotenciales correspondientes a los valores determinados en el paso 10.

En éste procedimiento se propone emplear un generador de funciones que produce una señal alterna para generar el campo en el gel, éste campo no es estático sino variable con la misma frecuencia de la

señal producida por el generador (Hoag, 1970). De esta manera, se evita polarizar el gel que a la larga pueda romperse si se empleara una señal de corriente directa, igualmente se evita que se ionice el agua pudiendo descomponerse en los electrodos inmersos en el gel. El potencial medido por éste procedimiento resulta ser un voltaje rms de la señal alterna que hay en cada punto. En la figura 15 se muestra un esquema del dispositivo experimental para identificar un patrón de líneas equipotenciales.



En la figura 15. Esquema del dispositivo experimental para realizar el experimento para identificar un patrón de líneas equipotenciales.

3.1.3 Protocolo de ajuste

- Conectar un multímetro a los bornes de los electrodos en modo de voltímetro y utilizando el potenciómetro de la fuente de poder, ajustar el voltaje entre 100 o 200 mV y verificarlo periódicamente, para mantenerlo durante todo el proceso de medición.

3.1.4 Recomendaciones especiales

- Procurar que los niveles del aceite y la gelatina no rebasen los electrodos.
- Para conseguir un espesor uniforme del gel tal vez se deba ajustar el nivel de la charola durante el proceso de formación de este. Si el nivel no es uniforme puede afectarse la distribución de las líneas equipotenciales.
- La punta roma se usa para medir el voltaje sobre el gel y para evitar picarlo y que así se rompa.
- Cuando se miden los voltajes sobre el gel, la punta de referencia del medidor se puede conectar en el borne de referencia de la fuente de poder o en el conector del electrodo que se conecta a dicho borne.

3.2 Campo magnético

Cuando se desea realizar las actividades de líneas de campo magnético, ya sea de uno o varios imanes o de las bobinas, la descripción general del funcionamiento o de la manera de usar el Graficador es la siguiente.

1. Se realizan los pasos 1 y 2 indicados en el uso para campo eléctrico.
2. Se coloca debajo de la charola el o el juego de imanes en el arreglo que se desea probar, o la bobina seleccionada (pegada a la charola) para analizar el campo magnético.
3. Si se usa la bobina, se conecta a una fuente de corriente continua, como una pila de 1.5 V tamaño "D".
4. Se puede colocar una hoja de papel sobre la charola, esto permitirá levantar fácilmente las limaduras, una vez que se haya terminado la experiencia y evitará rayar la superficie de la charola.
5. Se espolvorea limadura de hierro en la charola, sobre el o los imanes o la bobina, alineándose de acuerdo a la dirección del campo magnético, identificando los espectros magnéticos correspondientes.

En la figura 16 se muestra un esquema del dispositivo experimental para observar los patrones de distribución de la limadura espolvoreada sobre un imán o sobre una bobina con corriente de acuerdo a las líneas de campo magnético.

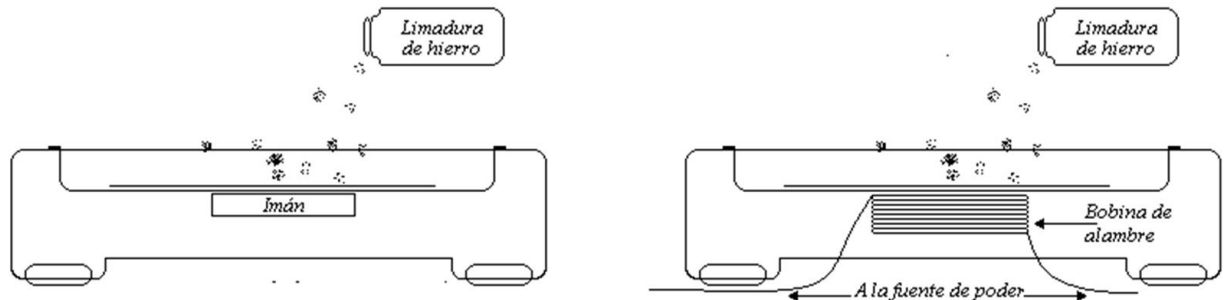


Figura 16. Esquema del arreglo experimental para observar líneas de campo magnético, Izq. Con un imán der. Con una bobina por el que le circula corriente eléctrica

3.3 Versatilidad del Graficador

- El equipo permite realizar varias actividades relacionadas con un tema sin necesidad de cambiar de equipo, las actividades descritas se realizan fácilmente. En las actividades se ha usado equipo adicional al Graficador, que actualmente son convencionales en los laboratorios escolares o que fácilmente puede ser adquiridos; como son el generador Van de Graaff, el multímetro, una pila eléctrica de 1,5 V, un generador de funciones o una fuente de poder de corriente directa, etcétera. Cabe mencionar que el Graficador y el generador Van de Graaff forman parte de un mismo paquete didáctico para la enseñanza de la electricidad desarrollados en el CCADET.

4. APLICACIONES

El Graficador se ha diseñado como equipo didáctico para hacer actividades experimentales o demostraciones de campo eléctrico o magnético desde el nivel medio básico hasta el superior. Entre las actividades que se pueden realizar están:

a) Líneas de campo eléctrico.

1. De un dipolo puntual de cargas opuestas
2. De dos líneas de cargas opuestas (simulación de un condensador)
3. De un polo puntual y una línea de cargas opuestas
4. De un polo puntual y uno polo circular de cargas opuestas, ya sean separados o la carga puntual dentro de la circular
5. De dos círculos de cargas opuestas, ya sean separados o uno dentro del otro
6. De un polo lineal y un polo circular, ya sean separados o uno dentro del otro

b) Líneas de campo magnético.

1. Espectro magnético de un imán
2. Espectro magnético de dos imanes
3. Espectro magnético radial de una bobina circular de núcleo de aire

c) Líneas Equipotenciales de campo eléctrico.

1. De un dipolo puntual de cargas opuestas
2. De dos líneas de cargas opuestas (simulación de condensador)
3. De un polo puntual y una línea de cargas opuestas
4. De un polo puntual y uno polo circular de cargas opuestas, ya sean separados o la carga puntual dentro de la circular
5. De dos círculos de cargas opuestas, ya sean separados o uno dentro del otro
6. De un polo lineal y un polo circular, ya sean separados o uno dentro del otro

5. EVALUACIÓN.

A manera de evaluación se realizaron diferentes experiencias que competen al estudio de la electricidad, y a continuación se describen y se muestran los resultados.

5.1 Líneas Equipotenciales

Esta experiencia pretende observar el patrón de distribución de líneas equipotenciales entre dos electrodos. Es común realizar esta experiencia con papel conductor, ahora se propone otro procedimiento utilizando gelatina con sal en lugar del papel, para ello se procede como sigue.

Se nivela la charola de acrílico con ayuda de los niveladores en la base. Se prepara un gel, elaborado con grenetina natural y sal en una razón de 4:1 en peso, para esta demostración se utilizaron 28 g de grenetina natural y 7 g de sal en 400 ml de agua hirviendo, este gel se vierte sobre la charola, también son colocados los electrodos que se usaran y se deja enfriar hasta que tome la consistencia de gel. En éste se utilizó la fórmula original que aparece en el trabajo “Equipo para observar líneas equipotenciales” (Nogueira y González, 1999). También se probaron otras fórmulas que tienen mejor eficiencia en el tiempo de gelificación, mismas que se presentan en el apartado 3.1.2.

Para esta experiencia utilizamos la misma configuración de la experiencia de espectro eléctrico siguiente, un electrodo en forma de barra recta simulando una distribución homogénea de carga lineal y el otro en forma de cilindro pequeño simulando una carga puntual como se aprecian en la Figura 17.

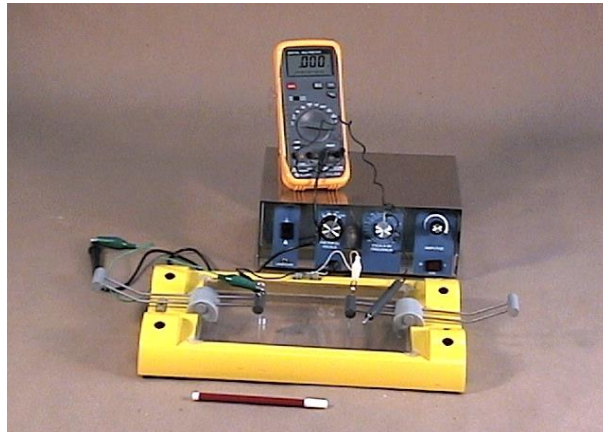


Figura 17. Arreglo experimental para identificar líneas equipotenciales en gel con electrodos puntual y lineal, se aprecia la punta roma para medir el voltaje conectada al multímetro y los electrodos conectados al generador de funciones.

Una vez que el gel se encuentra listo, en ésta demostración se conectan los electrodos a una fuente de corriente alterna con un voltaje de 100 mV a una frecuencia de 100 Hz (Vega *et al*, 2002). En seguida con ayuda de un multímetro y sobre el gel se determinaron 7 líneas equipotenciales, el patrón obtenido se muestra en la figura 18.



Figura 18. Patrón de líneas equipotenciales para un dipolo eléctrico.

Ya marcadas las líneas, se puede colocar un trozo de hoja de papel *bond* para que se impriman en ella las líneas y conservar en forma gráfica el registro de los datos obtenidos.

5.2 Líneas de campo eléctrico

El objetivo de esta actividad es observar los patrones de distribución de la semilla dentro de un campo eléctrico entre dos cargas. El procedimiento es el siguiente:

Se nivela la charola de acrílico con ayuda de los niveladores en la base, dentro de la charola se coloca un par de electrodos, que hará las veces de cargas eléctricas. Para esta demostración se utilizó un electrodo en forma de barra recta y otro en forma de punto, los mismos que se usaron en la actividad de líneas equipotenciales, ahora se colocan dentro de la charola 250 ml de aceite comestible, posteriormente se colocan dentro de él semillas de pasto, finalmente se conectan los electrodos a un generador de Van de Graaff.

Cuando se pone en funcionamiento el generador, se observa como las semillas rápidamente se unen y se orientan en curvas semejantes a las líneas de campo eléctrico y van de un electrodo a otro, como se muestra en la figura 19, si se considera necesario se puede espolvorear más semillas de pasto sobre el aceite en la charola.



Figura 19. Fotografía de arreglo experimental para observar el patrón de líneas de campo.

Si se comparan las fotografías de ambas actividades se puede notar que las líneas de campo son perpendiculares a las líneas equipotenciales o, de otro modo, que los gradientes de las líneas equipotenciales que definen las fuerzas son perpendiculares a las primeras y corresponden a las tangentes de las líneas de fuerza o de campo.

5.3 Espectro magnético de los imanes

Esta actividad tiene como objetivo observar la distribución de la limadura dentro del campo magnético de un imán, para ello se procede como sigue:

Bajo la charola de acrílico se coloca un imán de barra y encima de ella una hoja de papel blanco, la cual tiene cuatro funciones: la primera es evitar que la charola de acrílico se dañe con la limadura de hierro, la segunda es presentar un fondo sobre el cual se distingue la limadura, la tercera es presentar una superficie ligeramente rugosa que detenga la limadura para que no sea totalmente atraída hacia el imán sino que permanezca donde se espolvorea y la cuarta función es evitar los reflejos al fotografiar la imagen de la limadura ya orientada, sobre la hoja de papel y encima del área donde se encuentra el imán se espolvorea limadura de hierro, la limadura se orienta con las líneas de campo, como se muestra en las imágenes de la figura 20.



Figura 20. Fotografía del patrón de líneas de campo magnético producido con un imán y observado sobre papel colocado al fondo de la charola graficadora.

5.4 Espectro magnético de bobinas

En esta experiencia se pretende observar la distribución de la limadura dentro del campo magnético debidas a la corriente eléctrica que circula por una bobina circular, se prueban dos bobinas una grande y otra pequeña. El procedimiento es el siguiente:

Se coloca una de las bobinas formada por diez espiras, la grande tiene 4 cm de diámetro y la chica de 2 cm de diámetro, de alambre calibre 25 AWG, que equivale a medio milímetro de diámetro en la sección transversal, el eje de bobina debe quedar perpendicular al fondo de la charola, y lo más cerca posible de él, por ella se hace circular una corriente de 2.5 A, sobre la charola se coloca una hoja de papel blanco y sobre ella se espolvorea limadura de hierro directamente encima del área donde se encuentra la bobina, procurando distribuirla uniformemente. La limadura se orienta siguiendo la trayectoria de las líneas de campo generadas por la corriente que circula por la bobina y que se intersecan con el plano del papel. Esta zona es representada por el cuadro rojo de la figura 5 donde el campo magnético tiene una mayor componente radial que vertical.

En la figura 21 se muestra la imagen de la limadura orientada sobre líneas radiales de campo magnético producidas por la corriente eléctrica que circula por las bobinas.

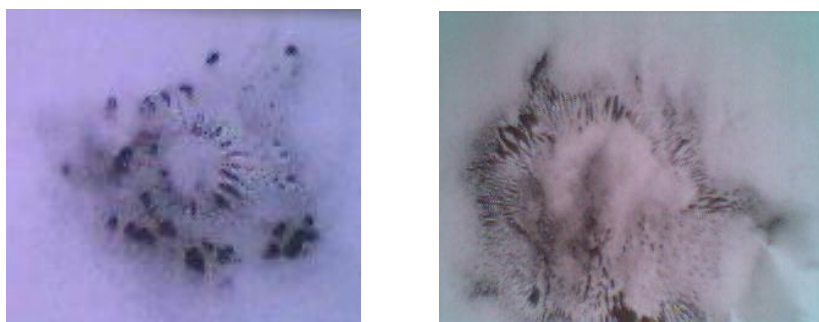


Figura 21. Fotografías de patrones de líneas de campo magnético inducido por dos bobinas, Izq. Por una bobina chica y der. por una bobina grande.

CONCLUSIONES

El diseño del equipo fue creado buscando un resultado tangible, eficaz y útil, para dar solución a una necesidad real de equipo para laboratorio del bachillerato, que permite realizar diversas actividades experimentales de electricidad y magnetismo. De esta manera se da viabilidad a la implementación de actividades experimentales que prácticamente no se realizan en las escuelas del referido nivel educativo. El equipo y sus actividades también pueden implementarse en el nivel superior.

El equipo logra eliminar la dependencia de insumos de importación de costo fluctuante y elevado (dependiendo de la paridad peso – dólar) además el consumible sólo se puede usar una sola vez, éste es sustituido por una solución económicamente más viable y que permite realizar la actividad de forma repetida, que, aunque si hay uso de consumibles, éstos son mucho más económicos y se puede realizar un número mucho mayor de actividades por un costo menor, sin demeritar la calidad de la experiencia, incluso se puede afirmar que se enriquece el tipo de experiencias que se pueden realizar.

El aprovechar el uso del gel y de la punta roma de prueba, productos de desarrollos previos del Centro, muestran como la evolución de los proyectos pueden aterrizar en productos didácticos prácticos y útiles.

El resultado final es un producto eficiente, ergonómico, atractivo y económicamente viable con ventajas claras en relación a equipos similares.

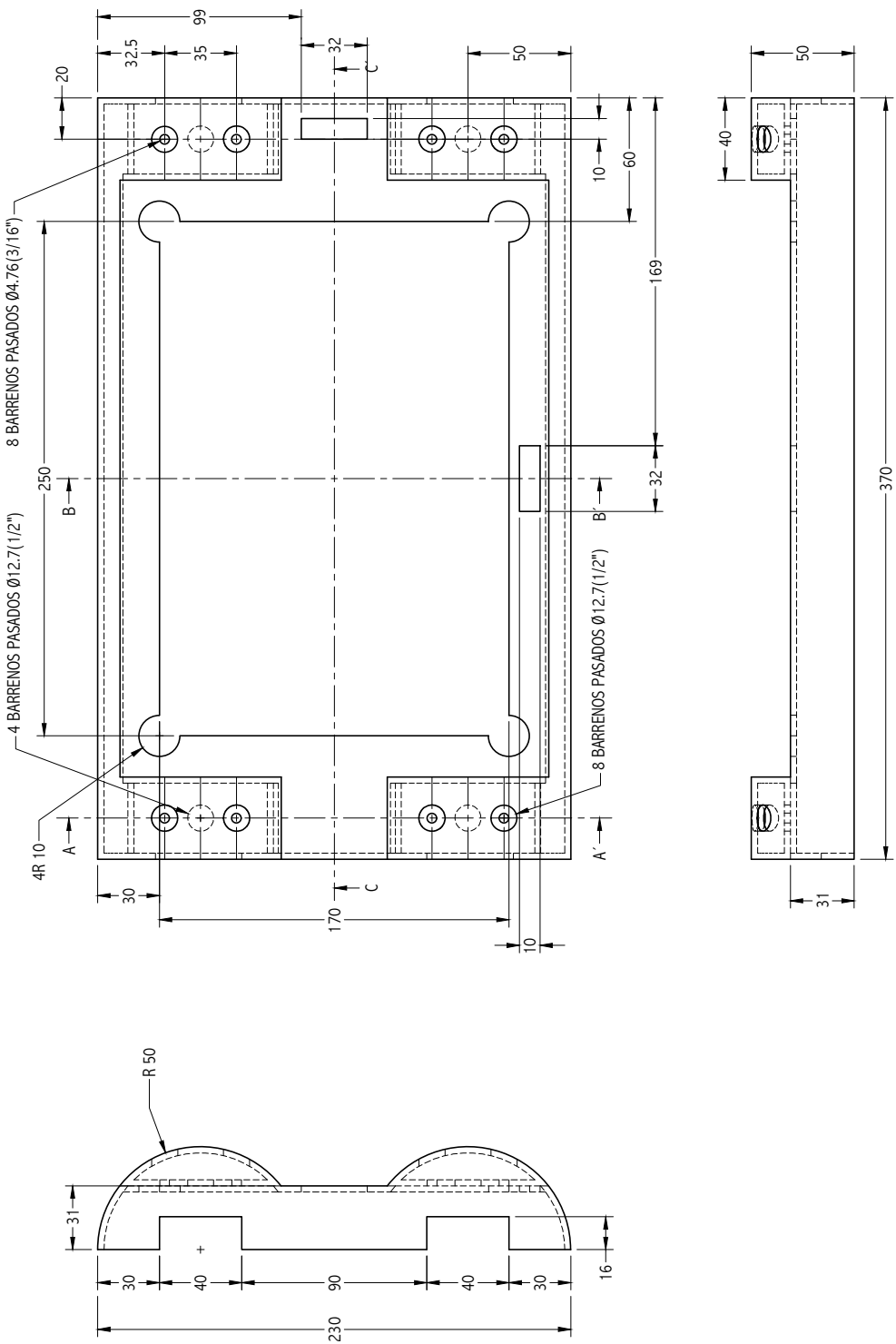
Agradecimientos

Al Maestro en Fabricación de equipo Sr. Marco Antonio Nieves Luna, Jefe del taller de fabricación de prototipos del grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias, por la fabricación de piezas que conforman el Graficador.

Al Maestro en Fabricación de equipo Sr. Inocente Tapia Méndez, técnico en fabricación de equipo exmiembro del grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias por la fabricación de las piezas que conforman el Graficador.

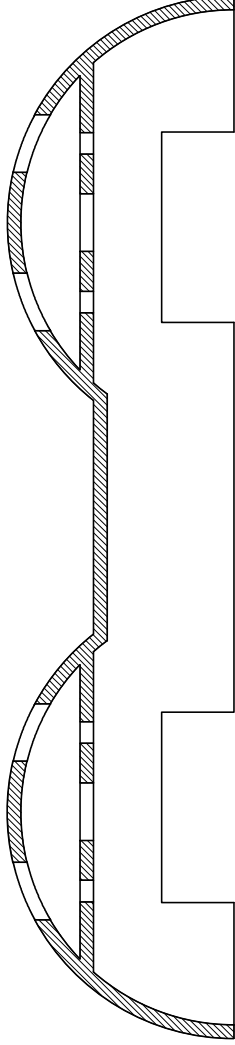
A Maestro Dibujante Sr. Luis Velázquez Alemán por la elaboración de los dibujos y planos del equipo que se integran en el presente informe.

Anexo B PLANOS DEL EQUIPO

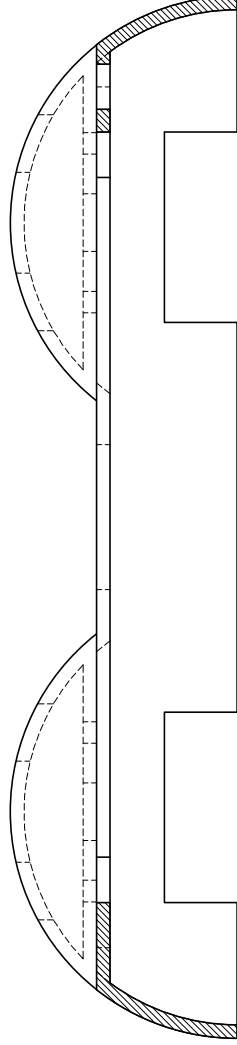


	ARCHIVO. GRAFICADOR_01 PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS	PLANO POR PIEZA					
		NOMBRE. BASTIDOR BASE MOD. 2					
		DIBUJO. LUIS VELAZQUEZ A.		DISEÑO. H. ALBORNOZ			
		FECHA. FEBRERO 2016		ACOT. mm (pulg.)			
		ESC. SIN		DIB No. 01 DE 25		CANTIDAD. 1 Pzas.	
		MATERIAL. ESTIRENO ESPUMADO				REVISO/APROBO.	

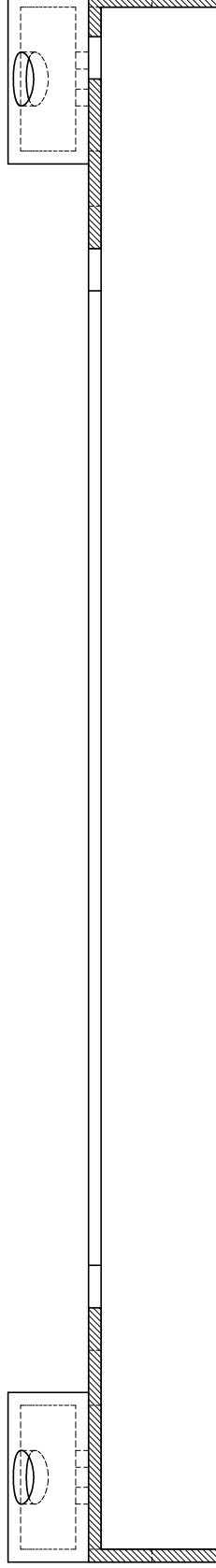
CORTE A - A'



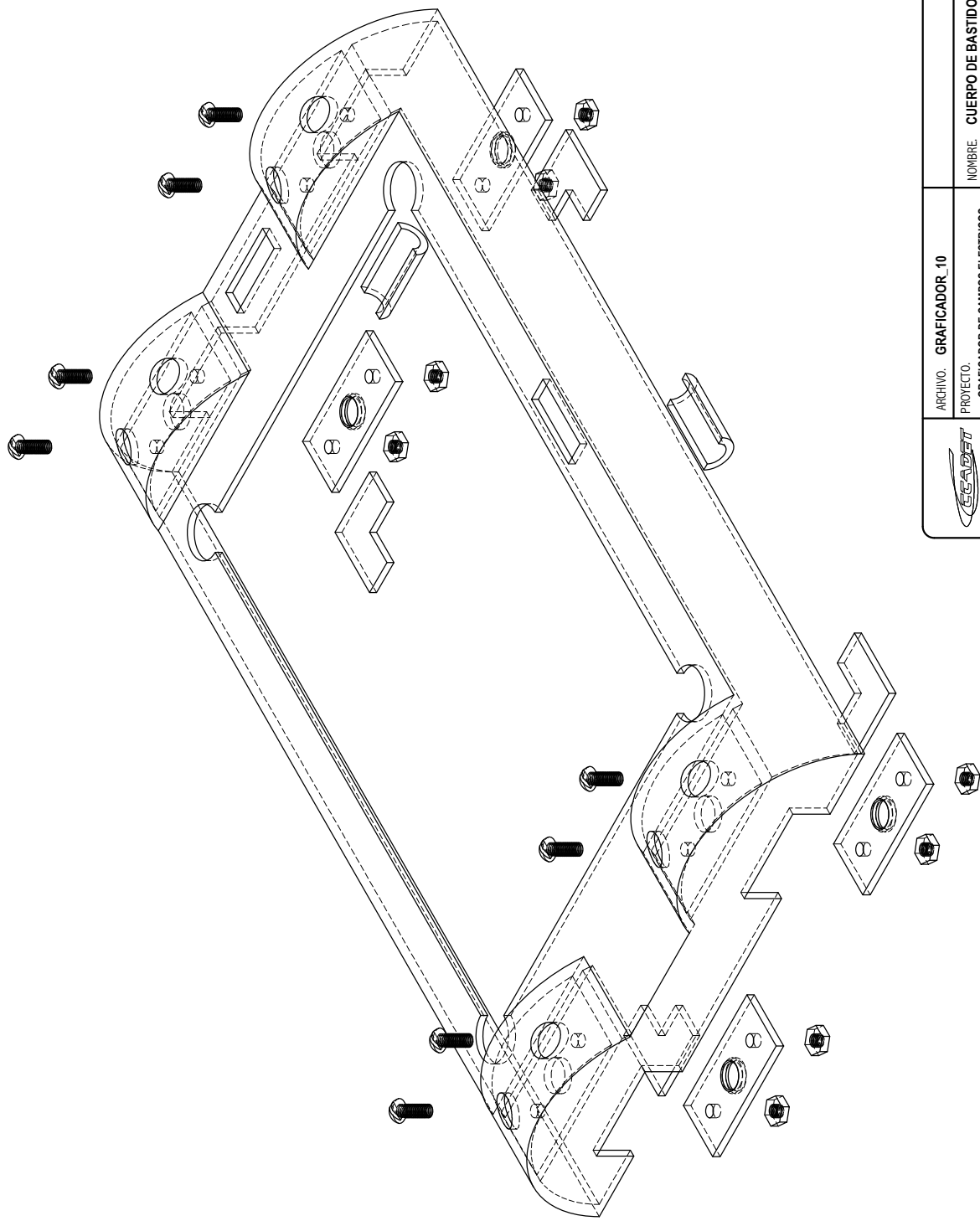
CORTE B - B'



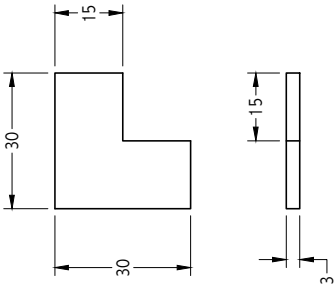
CORTE C - C'



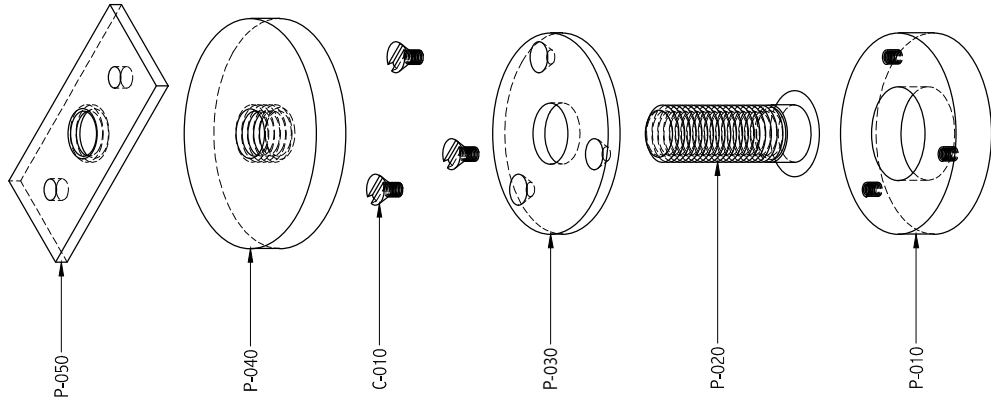
	ARCHIVO. GRAFICADOR. 02 PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	PLANO POR PIEZA			
		NOMBRE.	BASTIDOR BASE (CORTES) MOD. 2		
		DIBUJO.	LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO.	H. ALBORNOZ
		FECHA.	FEBRERO 2016	ACOT.	mm (pulg.)
LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS		ESC.	SIN	DIB No. 02 DE 25	CANTIDAD. 1 Pzas.
		MATERIAL. ESTIRENO ESPUMADO			
		REVISO/APROBO.			



 CENTRO DE ESTUDIOS AVANZADOS EN INGENIERIA Y TECNOLOGIA	ARCHIVO. GRAFICADOR_10	DESPIECE				
	PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	NOMBRE. CUERPO DE BASTIDOR MOD. 2				
	LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	DIBUJO. LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO. H. ALBORNOZ			
		FECHA. FEBRERO 2016	ACOT. mm (pulg.)			
		ESC. SIN	DIB No. 03 DE 25			
		MATERIAL.				
	REVISO/APROBO.					

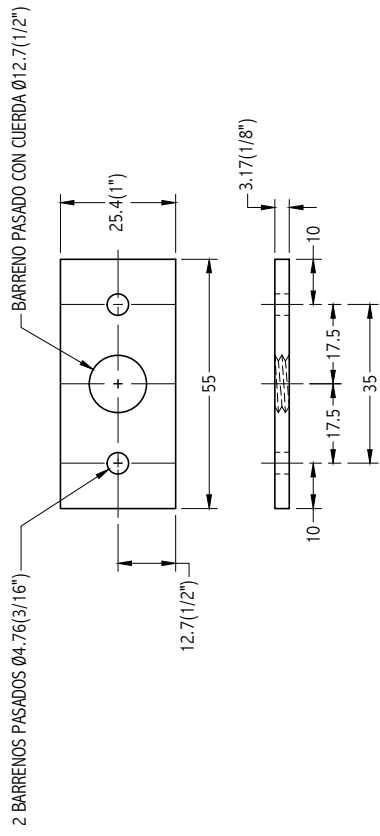


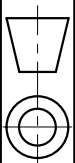
	ARCHIVO. GRAFICADOR. 03		PLANO POR PIEZA			
	PROYECTO.		NOMBRE. SOPORTE DE CHAROLA MOD. 2			
	GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES		DIBUJO.	LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO.	H. ALBORNOZ
	LABORATORIO.		FECHA.	FEBRERO 2016	ACOT.	mm (pulg.)
	GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS		ESC.	SIN	DIB No. 04 DE 25	CANTIDAD. 4 Pzas.
		MATERIAL. ESTIRENO				REVISO/A PROBO.

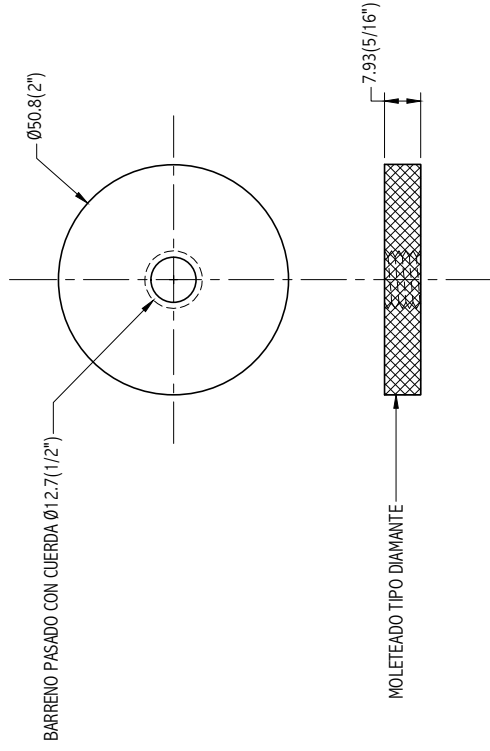


CLAVE	CANTIDAD	NOMBRE	MATERIAL	PROCESO/ACABADO
P-010	4	BASE NIVELADOR	ACERO INOXIDABLE Ø1 $\frac{3}{4}$ "	CORTADO, TORNEADO, CAREADO, BARRENADO Y MACHUELEADO
P-020	4	TORNILLO NIVELADOR	ACERO INOXIDABLE Ø $\frac{3}{4}$ "	CORTADO, TORNEADO, CAREADO Y PULIDO
P-030	4	DISCO CONTRA BASE DEL NIVELADOR	ACERO INOXIDABLE Ø1 $\frac{3}{4}$ "	CORTADO, TORNEADO, CAREADO, BARRENADO, AVELLANADO Y PULIDO
P-040	4	PERILLA NIVELADOR	ALUMINIO DE Ø2"	CORTADO, BARRENADO, MOLETEADO Y CAREADO
P-050	4	SOPORTE ROSCADO DE NIVELADOR	PLACA DE ACERO INOXIDABLE $\frac{1}{8}$ "	CORTADO, BARRENADO Y MACHUELEADO
C-010	16	COMERCIAL	COMERCIAL	COMERCIAL

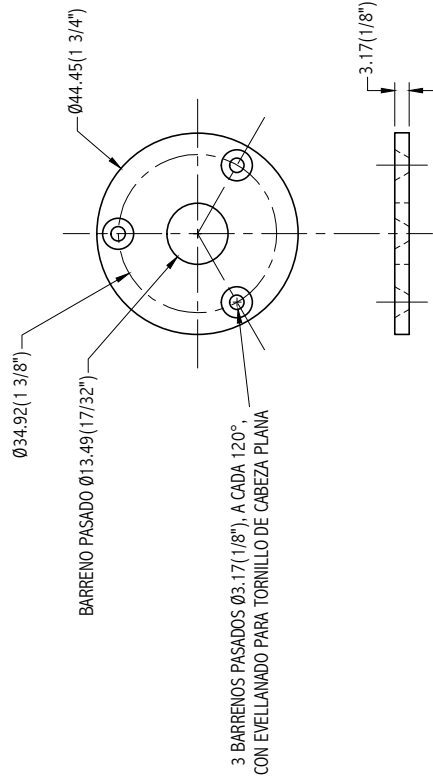
	ARCHIVO.	GRAFICADOR_11	DESPIECE			
	PROYECTO.	GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	NOMBRE.	PATAS NIVELADORAS DESPIECE MOD. 2		
			DIBUJO.	LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO.	H. ALBORNOZ
	LABORATORIO.	GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	FECHA.	FEBRERO 2016	ACOT.	mm (pulg.)
			ESC.	SIN	DIB No. 05 DE 25	CANTIDAD.
			MATERIAL.			REVISO/APROBO.



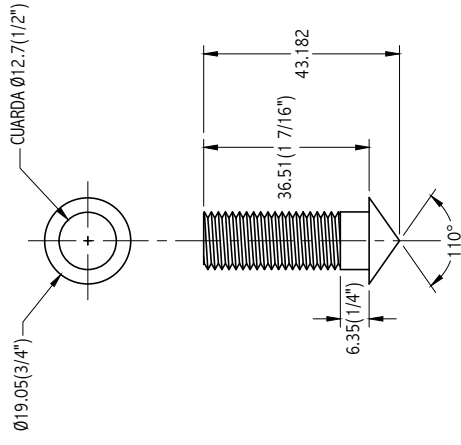
	ARCHIVO. GRAFICADOR_05	PLANO POR PIEZA						
	PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	NOMBRE: SOPORTE ROSCADO NIVELADOR MOD. 2					
			DIBUJO. LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO. H. ALBORNOZ				
			FECHA. FEBRERO 2016	ACOT. mm (pulg.)				
			ESC. SIN	DIB No. 06 DE 25	CANTIDAD. 4 Pzas.			
			MATERIAL. ACERO INOXIDABLE					
								
						REVISO/APROBO.		



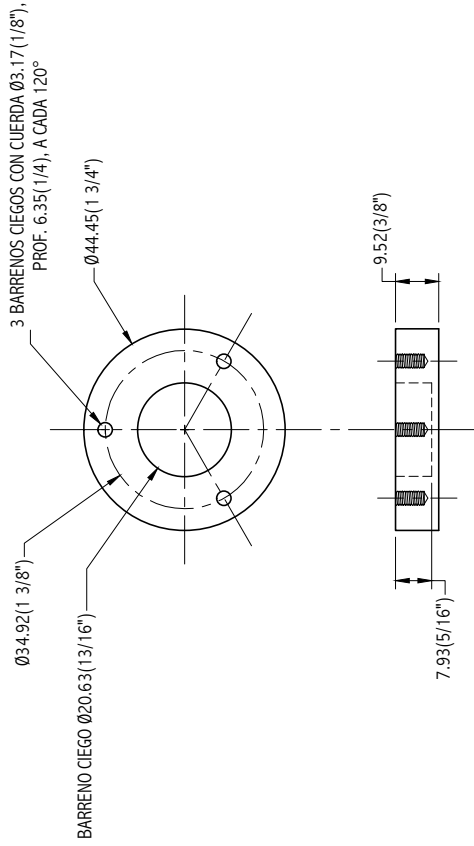
	ARCHIVO. GRAFICADOR. 06		PLANO POR PIEZA			
	PROYECTO.		NOMBRE. PERILLA NIVELADOR MOD. 2			
	GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES		DIBUJO.	LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO.	H. ALBORNOZ
	LABORATORIO.		FECHA.	FEBRERO 2016	ACOT. mm (pulg.)	
	GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS		ESC.	SIN	DIB No. 07 DE 25	CANTIDAD. 4 Pzas.
		MATERIAL. ACERO INOXIDABLE				REVISÓ/A PROBO.



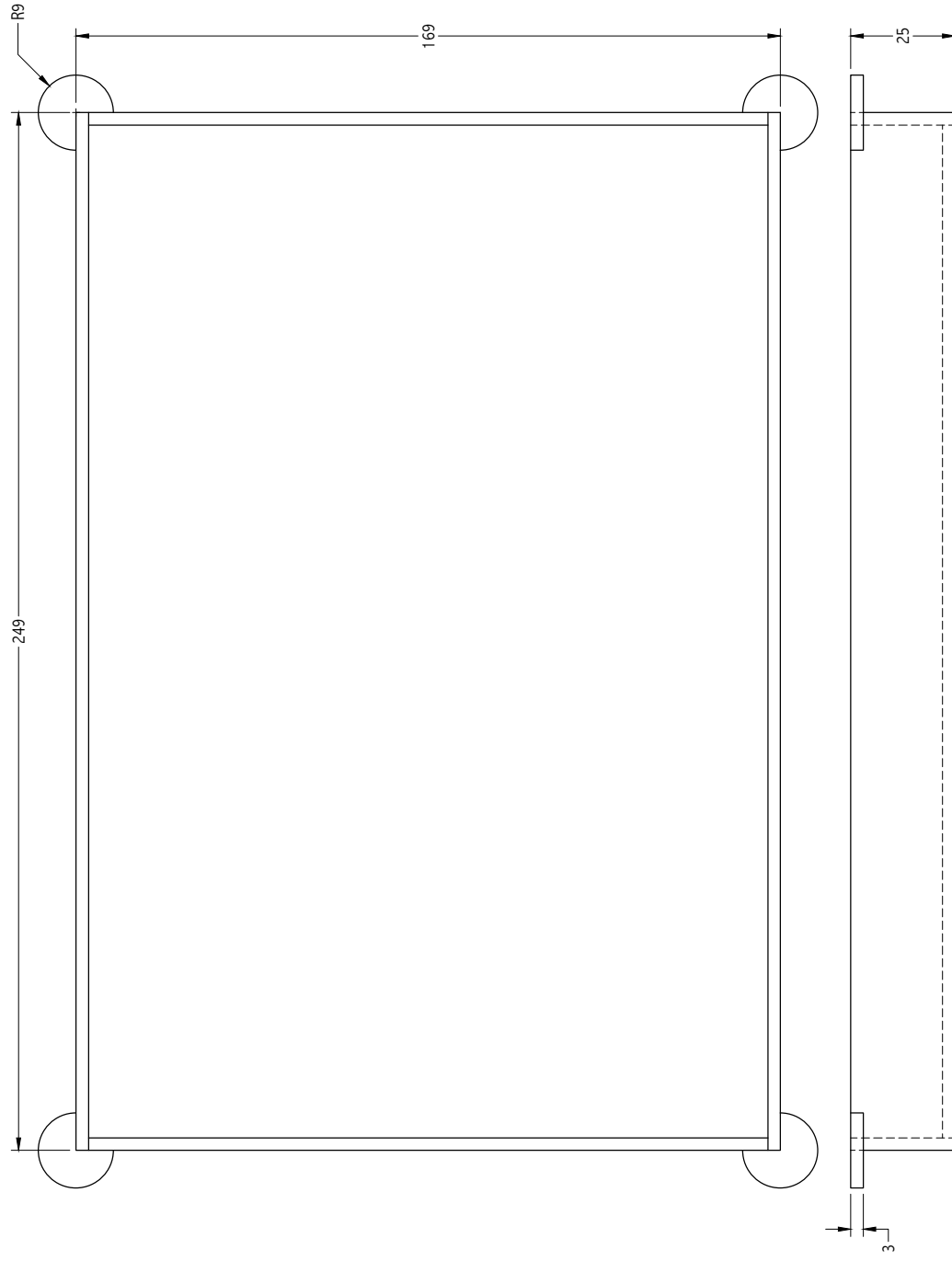
	ARCHIVO. GRAFICADOR. 07	PLANO POR PIEZA				
	PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	NOMBRE. DISCO CONTRA BASE DEL NIVELADOR MOD. 2				
	LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	DIBUJO. LUIS VELAZQUEZ A.		DISEÑO. H. ALBORNOZ		
		FECHA. FEBRERO 2016	ACOT. mm (pulg.)			
		ESC. SIN	DIB No. 08 DE 25	CANTIDAD. 4 Pzas.		
	MATERIAL. ACERO INOXIDABLE					
	REVISÓ/A PROBO.					



	ARCHIVO. GRAFICADOR. 08 PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	PLANO POR PIEZA					
	LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	NOMBRE. TORNILLO NIVELADOR MOD. 2					
		DIBUJO. LUIS VELAZQUEZ A.		DISEÑO. H. ALBORNOZ			
		FECHA. FEBRERO 2016	ACOT. mm (pulg.)				
		ESC. SIN	DIB No 09 DE 25	CANTIDAD. 4 Pzas.			
		MATERIAL. ACERO INOXIDABLE		REVISO/APROBO.			

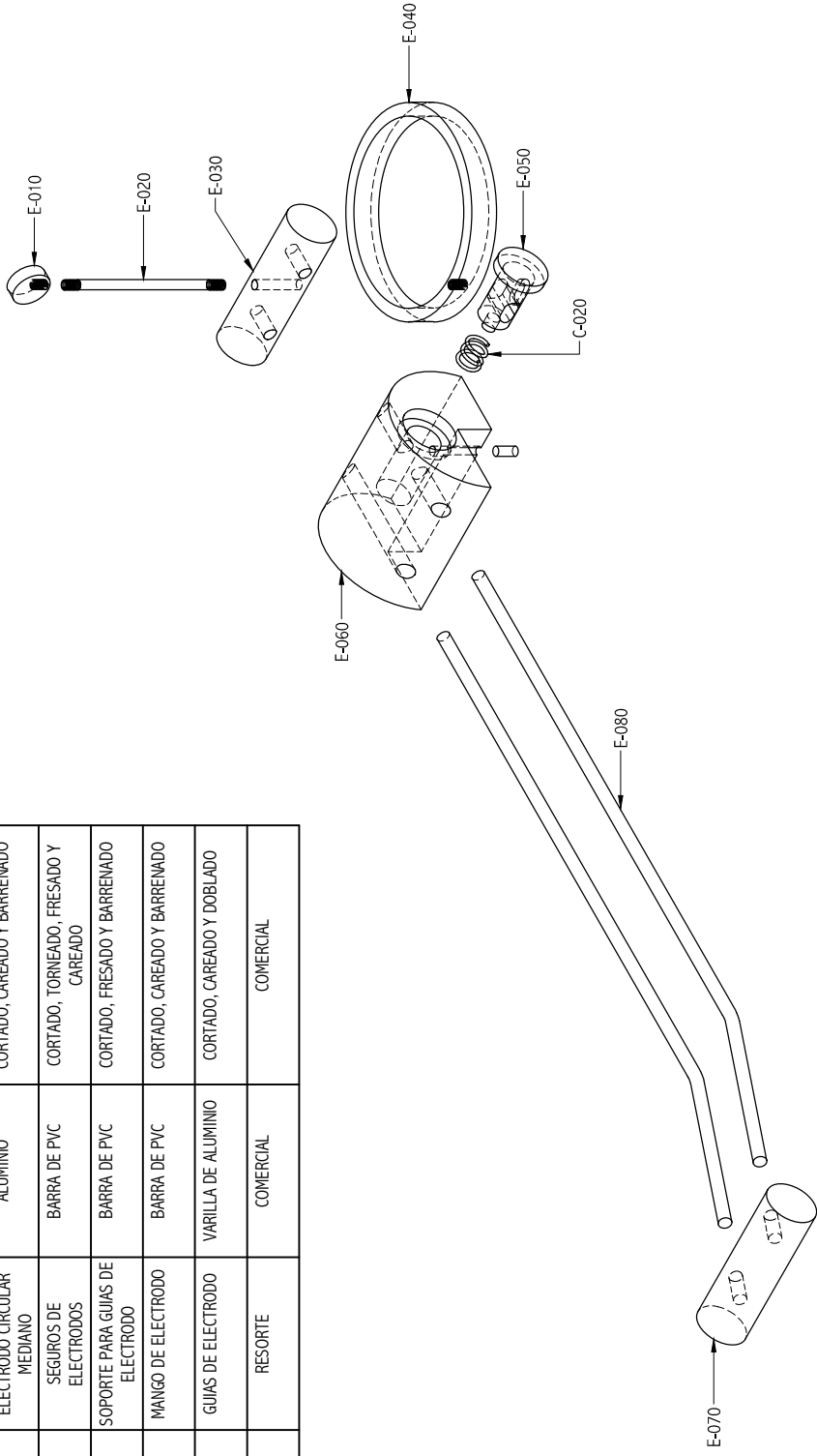


	ARCHIVO. GRAFICADOR_09	PLANO POR PIEZA				
	PROYECTO.	BASE NIVELADOR MOD. 2				
	LABORATORIO.	DIBUJO.		DISEÑO. H. ALBORNOZ		
		FECHA.		FEBRERO 2016		ACOT. mm (pulg.)
		ESC.	SIN	DIB No. 10 DE 25	CANTIDAD.	4 Pzas.
	GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	MATERIAL.			BARRA DE COLD ROLLED	
		REVISO/APROBO.				

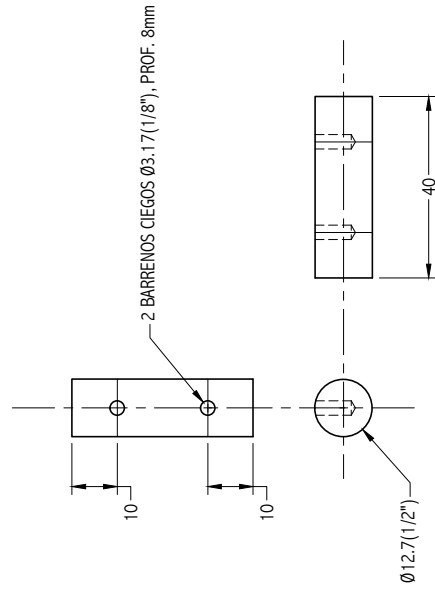


	ARCHIVO. GRAFICADOR_02	PLANO POR PIEZA					
	PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	NOMBRE. CHAROLA					
		DIBUJO. LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO. H. ALBORNOZ				
		FECHA. FEBRERO 2016	ACOT. mm (pulg.)				
		ESC. SIN	DIB No. 11 DE 25		CANTIDAD. 1 Pza.		
	LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	MATERIAL. ACRILICO DE 3mm		REVISO/APROBO.			

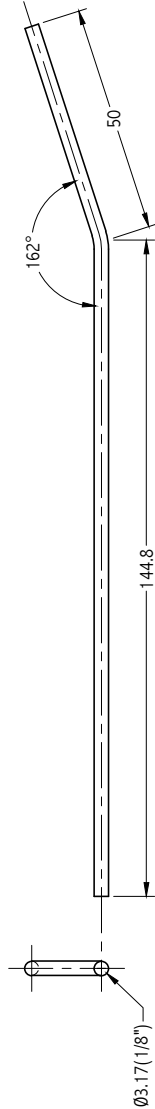
CLAVE	CANTIDAD	NOMBRE	MATERIAL	PROCESO/ACABADO
E-010	7	TERMINAL CONECTOR DE ELECTRODO	ACERO INOXIDABLE	CORTADO, TORNEADO, CAREADO, BARRENADO Y MACHUELEADO
E-020	7	SOPORTE DE ELECTRODO	ALUMINIO	CORTADO, CAREADO Y MACHUELEADO
E-030	7	TERMINACION DE GUIAS DE ELECTRODO	BARRA DE PVC	CORTADO, CAREADO Y BARRENADO
E-040	2	ELECTRODO CIRCULAR MEDIANO	ALUMINIO	CORTADO, CAREADO Y BARRENADO
E-050	2	SEGUROS DE ELECTRODOS	BARRA DE PVC	CORTADO, TORNEADO, FRESADO Y CAREADO
E-060	2	SOPORTE PARA GUIAS DE ELECTRODO	BARRA DE PVC	CORTADO, FRESADO Y BARRENADO
E-070	2	MANGO DE ELECTRODO	BARRA DE PVC	CORTADO, CAREADO Y BARRENADO
E-080	4	GUIAS DE ELECTRODO	VARILLA DE ALUMINIO	CORTADO, CAREADO Y DOBLADO
C-020	2	RESORTE	COMERCIAL	COMERCIAL



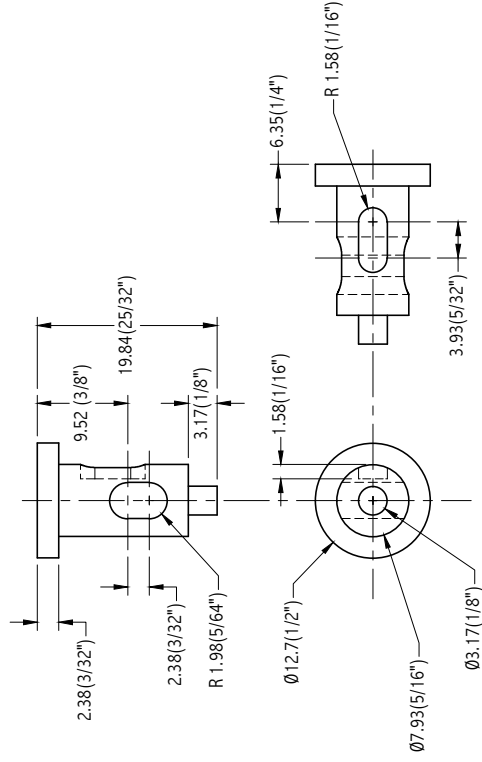
	ARCHIVO.	GRAFICADOR 22	
	PROYECTO.	GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	
	LABORATORIO.	GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	
NOMBRE.		ELECTRODO EN PORTA ELECTRODOS MOD. 2	
DIBUJO.		DISEÑO.	H. ALBORNOZ
FECHA.	FEBRERO 2016	ACOT.	mm (pulg.)
ESC.	SIN	DIB No	12 DE 25.
MATERIAL.		CANTIDAD.	
		REVISO/APROBO.	



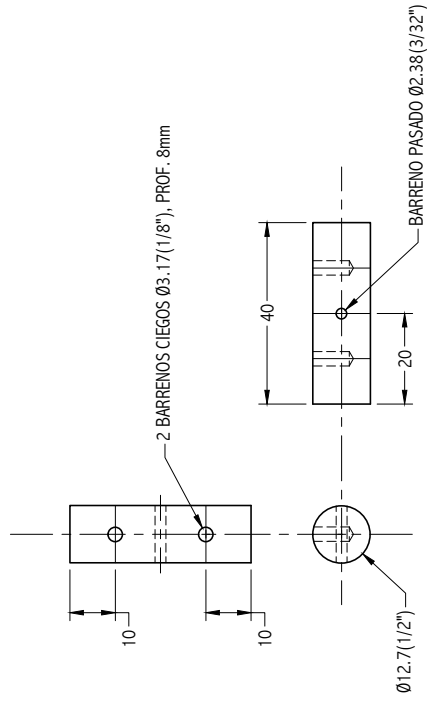
	ARCHIVO. GRAFICADOR_13	PLANO POR PIEZA					
	PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	NOMBRE. MANGO DE ELECTRODOS					
	LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	DIBUJO.	LUIS VELAZQUEZ A.		DISEÑO.	H. ALBORNOZ	
		FECHA.	FEBRERO 2016		ACOT.	mm (pulg.)	
		ESC.	SIN	DIB No.	13 DE 25	CANTIDAD.	2 Pzas.
	MATERIAL. BARRA DE PVC Ø1/2"						
	 REVISO/APROBO.						

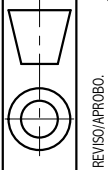


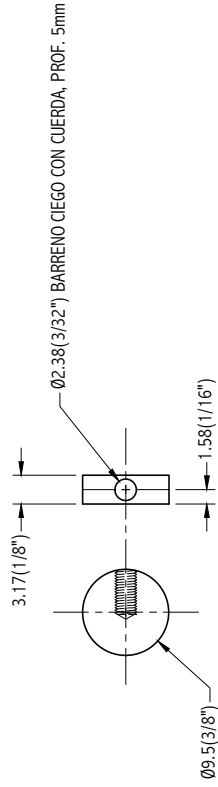
	ARCHIVO. GRAFICADOR. 14		PLANO POR PIEZA			
	PROYECTO.		NOMBRE. GUJAS DE ELECTRODOS			
	GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES		DIBUJO.	LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO.	H. ALBORNOZ
	LABORATORIO.		FECHA.	FEBRERO 2016	ACOT.	mm (pulg.)
	GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS		ESC.	SIN	DIB No. 14 DE 25	CANTIDAD. 4 Pzas.
UNAM		MATERIAL. VARILLA DE ALUMINIO Ø1/8"				REVISO/A PROBO.



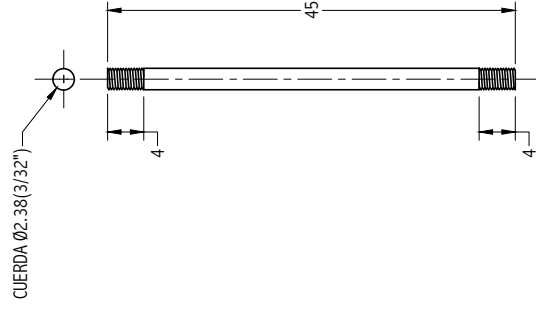
	ARCHIVO. GRAFICADOR. 16	PLANO POR PIEZA				
	PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	NOMBRE. SEGURO DE ELECTRODOS				
	LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	DIBUJO.	LUIS VELAZQUEZ A.		DISEÑO.	H. ALBORNOZ
		FECHA.	FEBRERO 2016		ACOT. mm (pulg.)	
		ESC.	SIN	DIB No. 16 DE 25	CANTIDAD. 2 Pzas.	
	MATERIAL. BARRA DE PVC Ø1/2"					
		REVISO/APROBO.				



	ARCHIVO. GRAFICADOR. 18 PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	PLANO POR PIEZA				
		NOMBRE. TERMINACIÓN DE GUÍAS DE ELECTRODOS (CONECTOR)				
		DIBUJO.	LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO.	H. ALBORNOZ	
		FECHA.	FEBRERO 2016	ACOT. mm (pulg.)		
		ESC.	SIN	DIB No. 17 DE 25	CANTIDAD. 7 Pzas.	
	LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	MATERIAL. BARRA DE PVC Ø1/2"			REVISÓ/APROBO.	
						

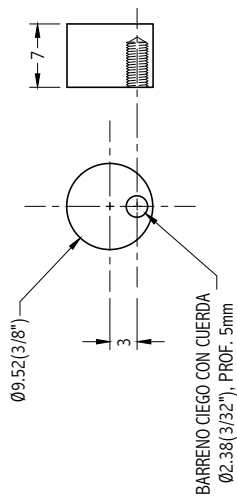


	ARCHIVO. GRAFICADOR. 21	PLANO POR PIEZA					
	PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS	NOMBRE: TERMINAL CONECTOR DE ELECTRODO 2				
			DIBUJO. LUIS VELAZQUEZ A.				
			DISEÑO. H. ALBORNOZ				
			FECHA. FEBRERO 2016	ACOT. mm (pulg.)			
			ESC. SIN	DIB No. 18 DE 25			
			MATERIAL. ACERO INOXIDABLE		REVISO/A PROBO.		

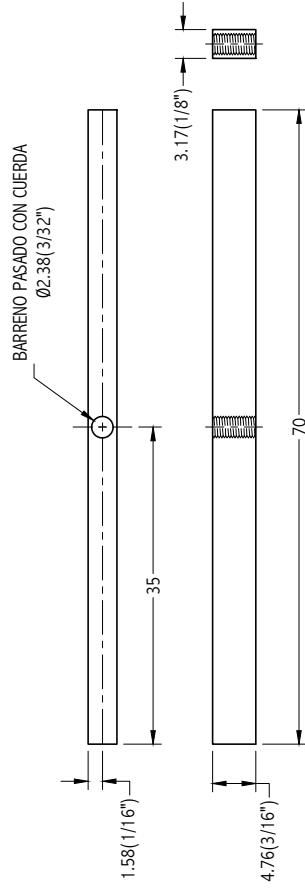


	ARCHIVO.	GRAFICADOR_19					
	PROYECTO.	GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES					
	LABORATORIO.	GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS					
		PLANO POR PIEZA					

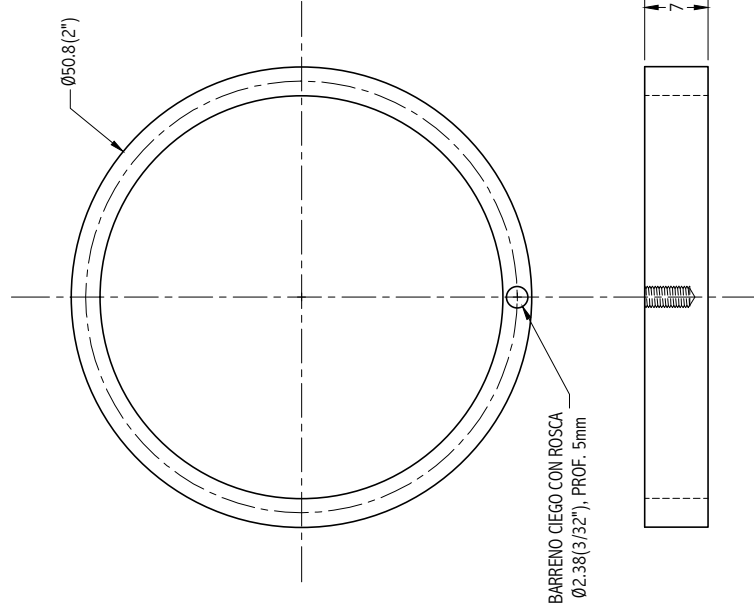
NOMBRE.		SOPORTE ELECTRODO 2					
DIBUJO.		LUIS VELAZQUEZ A.		DISEÑO.		H. ALBORNOZ	
FECHA.		FEBRERO 2016		ACOT.		mm (pulg.)	
ESC.		SIN		DIB No.		19 DE 25	
				CANTIDAD.		6 Pza.	
MATERIAL.		ACERO INOXIDABLE				REVISO/A PROBO.	



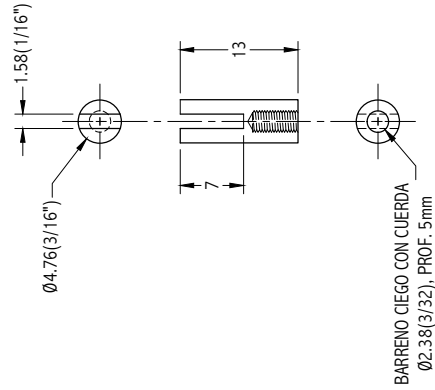
	ARCHIVO. GRAFICADOR. 24		PLANO POR PIEZA			
	PROYECTO.		NOMBRE. ELECTRODO PUNTAL 2			
	GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES		DIBUJO.	LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO.	H. ALBORNOZ
	LABORATORIO.		FECHA.	FEBRERO 2016	ACOT. mm (pulg.)	
	GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS		ESC.	SIN	DIB No. 20 DE 25	CANTIDAD. 2 Pzas.
		MATERIAL. ALUMINIO				REVISO/APROBO.



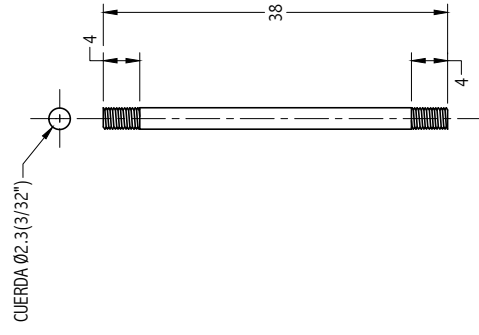
ARCHIVO. GRAFICADOR. 25	PLANO POR PIEZA			
PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	NOMBRE. ELECTRODO LINEAL 2			
LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	DIBUJO. LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO. H. ALBORNOZ	FECHA. FEBRERO 2016	ACOT. mm (pulg.)
UNAM	ESC. SIN	DIB No. 21 DE 25	CANTIDAD. 2 Pzas.	REVISO/A PROBO.
MATERIAL. ALUMINIO				



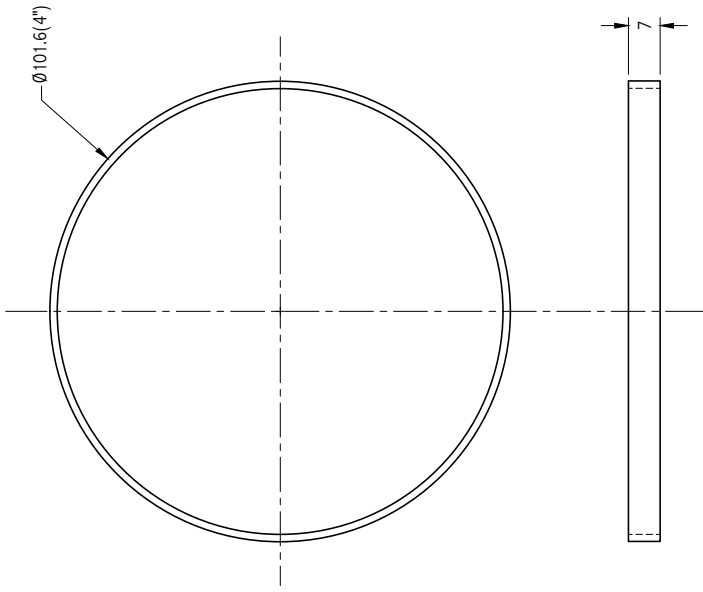
	ARCHIVO. GRAFICADOR_17	PLANO POR PIEZA						
	PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	NOMBRE: ELECTRODO CIRCULAR MEDIANO						
	LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS	DIBUJO.	LUIS VELAZQUEZ A.		DISEÑO.	H. ALBORNOZ		
		FECHA.	FEBRERO 2016	ACOT.	mm (pulg.)			
		ESC.	SIN	DIB No.	22 DE 25	CANTIDAD.	2 Pza.	
		MATERIAL. ALUMINIO						
		REVISO/APROBO.						

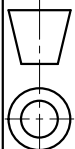


	ARCHIVO. GRAFICADOR. 23	PLANO POR PIEZA					
	PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	NOMBRE. MONTURA ELECTRODO CIRCULAR GRANDE MOD. 2					
		DIBUJO. LUIS VELAZQUEZ A.		DISEÑO. H. ALBORNOZ			
		FECHA. FEBRERO 2016		ACOT. mm (pulg.)			
		ESC. SIN	DIB No. 23 DE 25	CANTIDAD. 1 Pza.			
		MATERIAL. ACERO INOXIDABLE		REVISO/APROBO.			



	ARCHIVO. GRAFICADOR_20	PLANO POR PIEZA					
	PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES	NOMBRE: SOORTE DE ELECTRODO CIRCULAR GRANDE					
	LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	DIBUJO.	DISEÑO.		H. ALBORNOZ		
		FECHA.	FEBRERO 2016	ACOT.	mm (pulg.)		
		ESC.	SIN	DIB No. 24 DE 25		CANTIDAD. 1 Pza.	
		MATERIAL. ACERO INOXIDABLE					REVISO/APROBO.



	ARCHIVO. GRAFICADOR_32	PLANO POR PIEZA					
	PROYECTO. GRAFICADOR DE CAMPOS ELECTRICOS Y LINEAS EQUIPOTENCIALES LABORATORIO. GRUPO DE COGNICIÓN Y DIDACTICA DE LAS CIENCIAS	NOMBRE. ELECTRODO CIRCULAR GRANDE					
		DIBUJO. LUIS VELAZQUEZ A.	DISEÑO. H. ALBORNOZ				
		FECHA. FEBRERO 2016	ACOT. mm (pulg.)				
		ESC. SIN	DIB No. 25 DE 25	CANTIDAD. 1 Pza.			
		MATERIAL. ACERO INOXIDABLE			REVISO/A PROBO.		
							

Anexo C EQUIPOS Y MATERIALES ADICIONALES.

Para la realización de las actividades experimentales se requiere de equipo y material adicional, estos se enlistan en la siguiente tabla para cada tipo de actividad.

Tipo de actividad	Equipo	Material
Líneas de campo eléctrico	Generador electrostático Van de Graaff o Fuente de alto voltaje 2 cables con una terminación tipo caimán	Aceite comestible Semillas de pasto o ajonjolí o alpiste
Líneas equipotenciales eléctricas	Generador de funciones con dos cables con una terminación tipo caimán, Multímetro o voltímetro de AC con puntas de prueba	Grenetina 4 sobres de 7 g marca "Knox", Sal 2.7 g y 1 l de agua,
Campo magnético	Fuente de poder de bajo voltaje 5 V y 1 A o una pila de tamaño "D" de 1.5 V. Dos imanes: de barra o herradura o disco	Limadura de hierro, Hoja de papel milimétrico

Referencias bibliográficas

- Albornoz D., H. A., González C., M. F. Vega M., E. J. y Nogueira J., A. A. (2002) **Equipo graficador de Líneas equipotenciales y modelos de campos eléctrico y magnético (2ª. Generación)**, Memorias del XVII Congreso de Instrumentación, en Mérida Yuc., 9 pp. Clave 17EVM45 en Instrumentación didáctica, Edición digital.
- Ávila, R., Prado, L. L., & González, M. E., (2001) **Dimensiones antropométricas de población latinoamericana (México, Cuba, Colombia, Chile)**. Centro de Investigaciones en Ergonomía. México: Universidad de Guadalajara.
- Es.wikipedia.org. (2017). **Gel**. [Internet], disponible desde: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Gel>> [acceso 2 de octubre. 2017].
- Franco García, A., 2016, [Internet] “Física con ordenador. Curso Interactivo de física por Internet”, disponible desde: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/campo_magnetico/espira/espira.html> [acceso 5 de septiembre 2016]
- Giancoli, D. C. (1997) **Física: Principios con aplicaciones, 4ª edición**, trad. por Ángel Homero Flores Samaniego, Edit. Prentice Hall Hispanoamericana, 785 pp.
- Galeana Mingot, T., (1977) **Pequeño Larousse de Ciencias y Técnicas**, Editorial Lito Ediciones, Olimpia S.A., México D.F., pp. 519, 520.
- González, M. y Nogueira, A. (1997) **Equipo para observar líneas de campo y equipotenciales con aplicaciones de investigación y didácticas**. Memorias del XII Congreso de Instrumentación, en San Luis Potosí, pp. 611 – 615.
- González, M., Vega, E., Nogueira, A. y Albornoz, H. (2002) **Líneas de campo y equipotenciales. Memorias del XVI Encuentro Nacional sobre la Enseñanza de la Física en el Nivel Medio Superior**, en Puebla, Pue., pp. 169 – 173.
- Halliday, Resnick y Krane. (1999) **Física Vol. 2. 4a edición**, trad. por Francisco Andiön Uz, Edit. Compañía Editorial Continental S. A., 691 pp. más apéndices.
- Hoag, J. B. (1970) Experimento **29** – 3.1 en **Physics Demonstration Experiments** V. 2 ed. H. F. Meiners, New York, The Ronald Press Company, pp.865 – 868.
- HyperPhysics, 2016, [Internet] disponible desde:
<<http://230nsc1.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/equipot.html>>, [acceso 5 de septiembre de 2016]
- Leyva, A. I.G. y Ortega H. R. (1997) **Equipo para la enseñanza de Física a nivel medio superior en el área de Electricidad y Magnetismo**, Tesis de Licenciatura, Facultad de Arquitectura, CIDI, UNAM, México, D.F., 386pp.
- Morris, Chistopher Editor, (1992), **Academic Press Dictionary of Science and Tecnology**, Editorial Academic Press, Inc. p. 723.
- Nogueira, A y González, M. (1999) **Equipo para observar líneas equipotenciales**, Rev. Mex. Fís. **45** (1) pp. 78 – 81.
- Vega M., E. J., González C., M. F. y Albornoz D., H. A. (2002) **Circuito electrónico oscilador para la Cuba de Ondas y el Generador de Ondas**; Informe técnico interno del CCADET, 50 pp.