

ACTIVIDADES DE EXPERIMENTACIÓN CON MATERIALES DE BAJO COSTE PARA LA ENSEÑANZA DE FÍSICA: RESISTORES Y CAPACITORES DE GRAFITO

Marcos Alfredo Salami⁽¹⁾, João Bernardes da Rocha Filho⁽²⁾, Cláudio Galli⁽³⁾

⁽¹⁾Alumno de doctorado de PPGECT. Universidad Federal de Santa Catarina.
investigador del **NAECIM/MCT/PUCRS**

⁽²⁾Professor da Faculdade de Física de la PUCRS

⁽³⁾Professor da Faculdade de Física de la PUCRS
Brasil

[Recibido en Septiembre de 2006, aceptado en Diciembre de 2006]

RESUMEN ^(Inglés)

Este trabajo presenta una investigación realizada en la Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, entre abril de 2002 y diciembre de 2003, abarcando la viabilidad de utilización de resistores y capacitores hechos de grafito, depositado sobre papel, sobre cartulina y plástico, para auxiliar el aprendizaje de electricidad, cálculo de resistencia equivalente a asociaciones en serie y en paralelo de resistores y capacitores, y dependencia de la capacitancia con el área, con la distancia entre las placas y con el formato de las placas. La técnica de bajo coste resultante de ese desarrollo permite al estudiante manipular lúdicamente variables abarcadas en la definición de resistencia y capacitancia eléctrica, además de permitirle crear y cambiar libremente asociaciones de resistores y capacitores, usando únicamente un multímetro con función para capacitmetro, papel y lápiz tipo 6B. También tiene un gran potencial para estimular el proceso de comprensión y aprendizaje de esos contenidos por que es agradable, sencillo, de bajo coste y promueve el compromiso y la libre participación de todos los alumnos. El grafito ya fue utilizado en la producción de resistores para medición de resistencias individuales y asociaciones, como fue descrito en de Rocha Filho et al. (2004), y también en la producción de capacitores para medición de capacitancias en actividades mencionadas en la tesis de maestría de Salami (2004).

Palabras clave: resistores; capacitores; grafito; bajo coste: asociaciones.

LA TÉCNICA DE RESISTORES

Aunque tenga resistividad elevada (Eisberg y Lerner, 1981), en comparación con los metales, el grafito es considerado un material conductor, como muestran las tablas de conductividad eléctrica de materiales presentadas en los libros de Física. Así, si el lápiz que usamos habitualmente está hecho de grafito, derivado del grafito procesado,

podemos trazar un resistor sobre una superficie aislante como, por ejemplo, el papel, desde que se logre continuidad eléctrica a lo largo del trazo, obteniendo un resistor útil para investigaciones en laboratorios de Física.

En términos prácticos el papel no posee una superficie uniforme para que se trabaje solo con un único trazo de grafito, debido a su flexibilidad e irregularidad que puede comprometer la continuidad eléctrica en función de pequeñas ranuras en la colocación del grafito. Los primeros resultados obtenidos con alumnos y profesores mostraron que un trazo fino en el papel puede servir para algunas aplicaciones, pero los mejores valores son obtenidos con trazos más gruesos. A partir del valor de 2mm de anchura, resultante de varios trazos fuertes de lápiz 6B, produciendo líneas brillantes y oscuras, los resultados mejoraron mucho. La figura 1 presenta algunos ejemplos de dibujos que fueron testados por el grupo de alumnos, con resistencias representadas por R_a , R_b , y R_c .

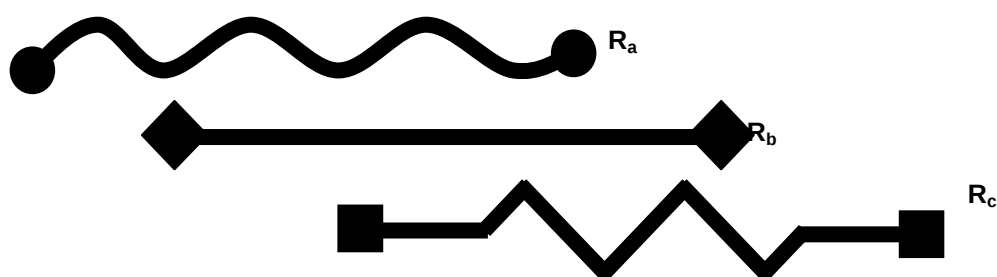


Figura 1.- Ejemplos de dibujos testados para aplicación de técnica de Resistores de Papel y Grafito (Rocha et al., 2003).

La ampliación en el área de los extremos, que aparece en los resistores dibujados en la figura 1, representa un detalle importante en la construcción de los resistores, y su utilidad quedó evidenciada durante las pruebas realizadas, pues: a) en el lugar de contacto de la puntera de medición de la resistencia eléctrica con el resistor de grafito es recomendable ampliar el área, lo que disminuye fluctuaciones en la indicación del instrumento; b) es útil ampliar el área de terminación del resistor de grafito, pues eso ayuda a demarcar adecuadamente dónde debe ser realizada la conexión de la puntera de medición, permitiendo que se pueda realizar la misma operación una vez tras otra con elevada repetibilidad, y; c) mejorar el contacto entre los resistores dibujados para disminuir la resistencia eléctrica de los respectivos trechos de unión. Los círculos y cuadrados en las extremidades desempeñan el papel de anillo de unión entre resistores o entre ellos y las punteras del medidor, ya que en los resistores comerciales el metal asume tal papel y ejerce, por regla general, poca influencia sobre el valor final de la resistencia de la asociación.

Así, para reducir la influencia resistiva de la conexión conforme figura 2, es necesaria mayor anchura de los trazos que forman las conexiones entre resistores que de los trazos que forman el propio resistor, en las asociaciones en serie o paralelo.

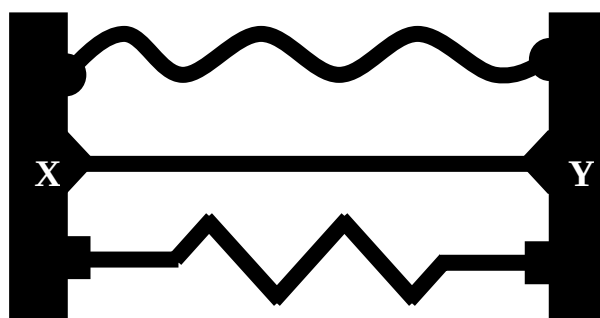


Figura 2.- Ejemplo de asociación en paralelo de tres resistores (R_a , R_b e R_c) mostrados en la figura 1 (Rocha et al., 2003).

LA TÉCNICA DE LOS CAPACITORES

La forma de construcción de los capacitores que fueron investigados consiste en depositar grafito en ambos lados de una misma lámina de material dieléctrico (McKelvey y Grotch, 1981) usando estos dibujos de grafito como placas de un capacitor. También fue depositado el grafito en dos placas distintas del mismo dieléctrico, sobreponiéndolas después de forma que las caras que contienen el grafito no se toquen. La figura 3 muestra dos fragmentos de material aislante (papel, cartulina y plástico) con grafito depositado en una de las caras. Prendemos con cinta adhesiva dos trozos de conductor aislado, uno en cada cara rayada con grafito, de cada uno de los fragmentos del material aislante. Cuando fue realizada la superposición de estos dos fragmentos, con sus caras no rayadas, una frente a la otra, se obtuvo un capacitor que puede tener su capacitancia medida con la ayuda de un multímetro que pueda medir capacidades con escala de rango del orden del nF. Por lo tanto, se debe tocar las punteras de medición en cada faceta pintada o enchufar los hilos conductores al capacímetro, conforme muestra la figura 4. En cuanto a los capacitores contruidos con placas separadas, cabe reseñar la dificultad de garantizar que no quede cierta cantidad de aire, humedad u otra sustancia entre las láminas, aunque ellas están hechas de un mismo material, en ese caso tendríamos un capacitor compuesto. Esto es especialmente importante si decidimos usar esta técnica para la medición de constantes dieléctricas de algunos materiales. En este caso, tendríamos que girar la cara grafitada hacia dentro, manteniendo el grafito en contacto con el dieléctrico elegido. Para los materiales dieléctricos comunes en el aula, es decir para los efectos de un experimento didáctico, las capacitancias esperadas son del orden de centenas de picofaradios (pF) a decenas de nanofaradios (nF).

Es imprescindible lograr continuidad eléctrica dentro del área con grafito en cada placa del capacitor, lo que requiere precaución pues la flexibilidad y las imperfecciones del papel pueden interrumpir la película de grafito depositado. En las evaluaciones realizadas con profesores y estudiantes en el [NAECIM/MCT/PUCRS](#), se obtuvieron resultados prometedores con dibujos constituidos por diversos trazos fuertes de lápiz con grafito flojo (tipo 6B), usado en dibujo, que producen superficies bien oscuras y brillantes. El mismo procedimiento debe ser observado para la colocación del grafito

sobre el plástico, teniendo en cuenta que el mismo ofrece poca fricción con la punta del lápiz. Para resolver tal situación se utilizó una lima para dejar la superficie un poco más áspera, permitiendo que el grafito pudiera ser depositado. Se sugiere que el proceso de abrasión sea hecho en dos direcciones: vertical y horizontal. Después de la colocación del grafito sobre la placa también se debe rayar en las dos direcciones mencionadas.

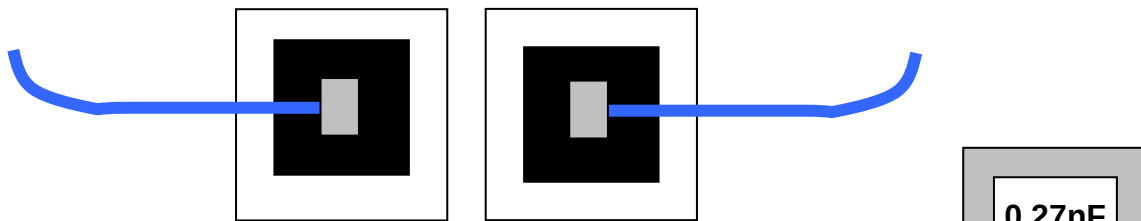


Figura 3.- Dos fragmentos de material aislante listos para medición.

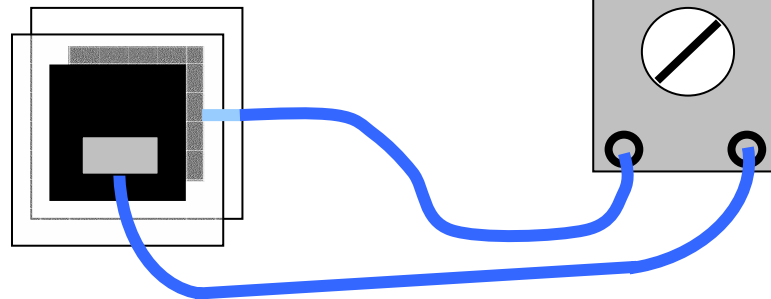


Figura 4.- Demostración de cómo medir la capacitancia. En esta figura las placas son de cartulina, cuyo espesor medio es de 0,21mm, con área de 28 cm² cada

La conexión de las placas grafitadas al multímetro puede ser realizada de diversas formas. En nuestras experiencias utilizamos cables finos con pinzas de cocodrilo. Una de las sierritas de la pinza cocodrilo fue aislada con una cinta adhesiva (figura 5a y 5b), de forma que la pinza haga contacto únicamente con una cara de las placas grafitadas, evitando así el contacto simultáneo con las dos caras de las placas. Si el experimento es realizado con placas grafitadas en hojas separadas (con apenas una de las caras grafitada en cada hoja), esta precaución no será necesaria, pues la superposición de placas puede ser realizada de forma tal que la pinza de una placa no establezca contacto eléctrico con la otra placa, y viceversa.

La medición de capacitancia puede ser hecha directamente simplemente conectando las punteras de medición al centro de las áreas grafitadas. Es preciso prestar atención porque los multímetros de más bajo coste que posibilitan medidas de capacitancia, presentan en general, una toma secundaria destinada a la introducción de los hilos que hacen contacto con los electrodos del capacitor, diferentemente de las tomas de las punteras usadas para medición de tensión, corriente y resistencia, conforme muestra la figura 6.

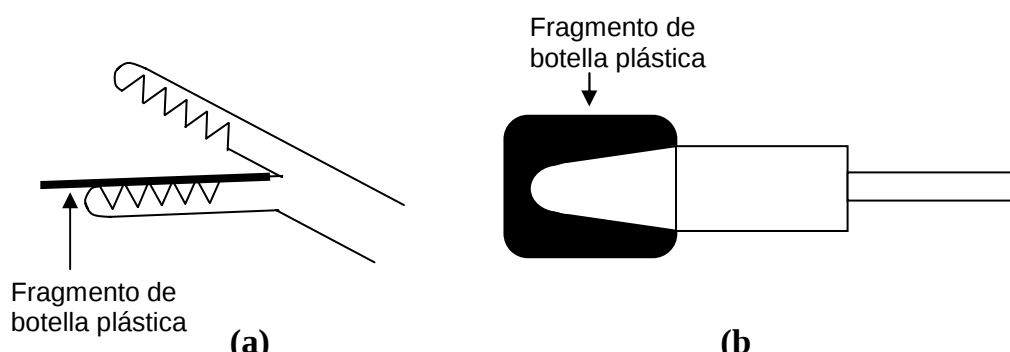


Figura 5.- Vista lateral (a) y superior (b) de la colocación de una lámina plástica sobre la sierrita de las pinzas para evitar contacto simultáneo con las dos caras grafitadas.

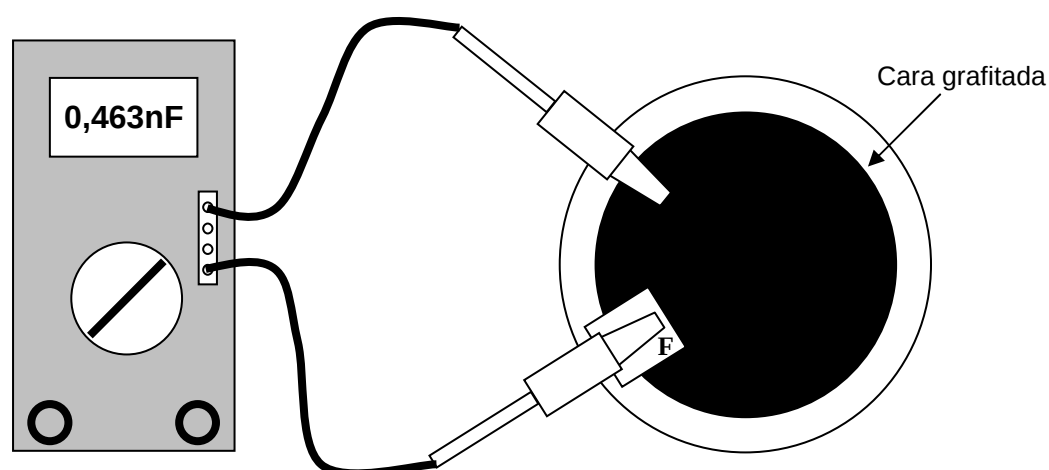


Figura 6.- Medición de capacitancia con un multímetro típico, y forma de conexión a las placas que recibieron el grafito (frente y anverso), con la ayuda de cables telefónicos y cables finos con pinza cocodrilo¹.

La manera más fácil de construir capacitores de placas paralelas es utilizando hojas de cuaderno escolar, a pesar de la inestabilidad ya discutida anteriormente. Recomendamos que el profesor realice experimentos previos para familiarizarse con las precisiones inherentes. Otra observación importante es el cuidado en la colocación de grafito sobre dieléctricos para que no se hagan pequeñas fisuras en el mismo, lo que causaría fugas de corriente eléctrica entre las películas de grafito depositados sobre las caras del dieléctrico.

En la figura 7, tenemos la vista frontal de dos capacitores de placas paralelas asociados en serie, utilizando papel como dieléctrico. Observe que las placas del

¹ Observe la sierrita protegida por fragmentos de la botella plástica (F) para evitar cortocircuito entre las placas. El dieléctrico usado es poliestireno, material usado en la confección de vasos desechables, el espesor es de 0,15mm y el área de las placas 27,7cm³.

capacitor fueron dibujadas con cierto aislamiento de los bordes del papel, para evitar contaminación del grafito entre las mismas, lo que podría dar origen a corrientes de fuga entre las placas, en el momento de la medida, generando inestabilidad en el valor medido de la capacitancia. La medición de capacitancia equivalente en una asociación en serie debe obedecer a algunos cuidados: el primero es aislar una de las sierritas de cada pinza cocodrilo para evitar cortocircuito; la otra es prender ambas sierritas aisladas de las pinzas cocodrilo cuyas placas estén unidas entre sí.

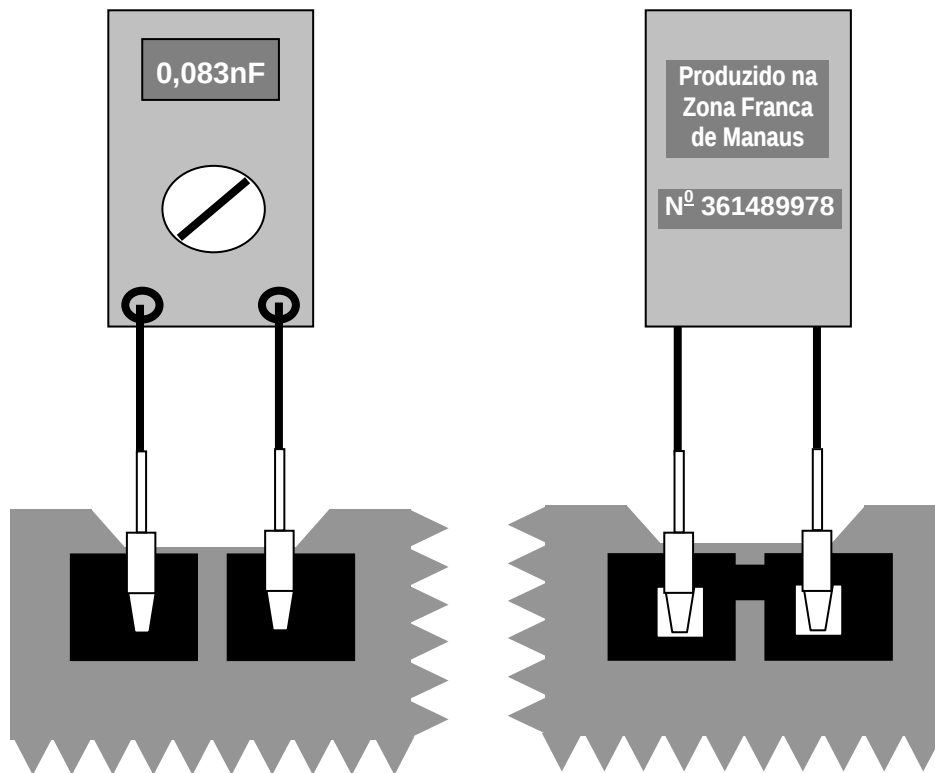


Figura 7.- Pinzas cocodrilo con las sierritas aisladas².

Ya en el proceso de medición de la capacitancia equivalente de la asociación en paralelo, se debe proceder diferentemente de la manera utilizada en la asociación en serie. El cuidado está en determinar qué cara se debe conectar a la pinza cocodrilo para que no obtengamos valores equivocados. Debemos prender una pinza, con su sierrita aislada, en una placa de una cara, y la otra pinza, con la sierritas no aisladas en la otra placa de la misma cara, conforme la figura 8. Es importante señalar que la segunda pinza mencionada, cuya sierrita no está aislada es visible en la figura, tiene su otra sierrita de modo que no es visible por estar atrás de la figura aislada. En la asociación en paralelo, las placas de ambas caras del aislante están unidas con una extensión del trazado del propio grafito.

² Observe que no hay relación entre las placas de los capacitores. En la face opuesta pinzas aisladas con fragmento de botellas PET, mas hay relación entre las placas. El dieléctrico usado es politeraftalato de etileno, material usado en la confección de botellas PET; el espesor es de 0,27mm; el área de las placas de uno de los capacitores es. 35,0cm² 35,0cm², con capacitancia de 0,348nF. La figura no está en escala.

Al proseguir en la investigación de las variables intervinientes en la capacitancia, pasamos a averiguar el comportamiento de la capacitancia en función de la distancia entre las placas del capacitor. Pintamos dos placas con grafito en dos trozos del mismo formato y del mismo dieléctrico, uniendo los dos de forma que las caras no grafitadas se tocasen, conforme ya fue descrito anteriormente.

Usando las mismas placas mostradas en las figuras 3 y 4 podemos construir capacitores de capacitancias menores, incluyendo solamente uno o más trozos de material aislante entre las placas, material éste del mismo tipo que constituye las placas o de otro tipo cualquiera. Para prender las placas, utilizamos pinzas de tender, como ya fue utilizado en la fijación de tiras de aluminio en las asociaciones. Partimos de la asociación de dos placas, que son las placas del propio capacitor, y fuimos adicionando más placas una a una, hasta un total de diez, incluyendo las dos iniciales. Verificamos que el valor de la capacitancia baja de forma inversa al número de placas aislantes semejantes que son puestas en el espacio entre las placas grafitadas, conforme prevé la teoría. El tipo de dieléctrico utilizado en las placas y en el relleno, su forma y área no afectan a la constatación anterior. Podemos verificar que los gráficos producidos con una gran cantidad de datos recogidos tienen curvas que se asemejan a la función $f(x) = 1/x$, donde la variable x representa la distancia entre las placas.

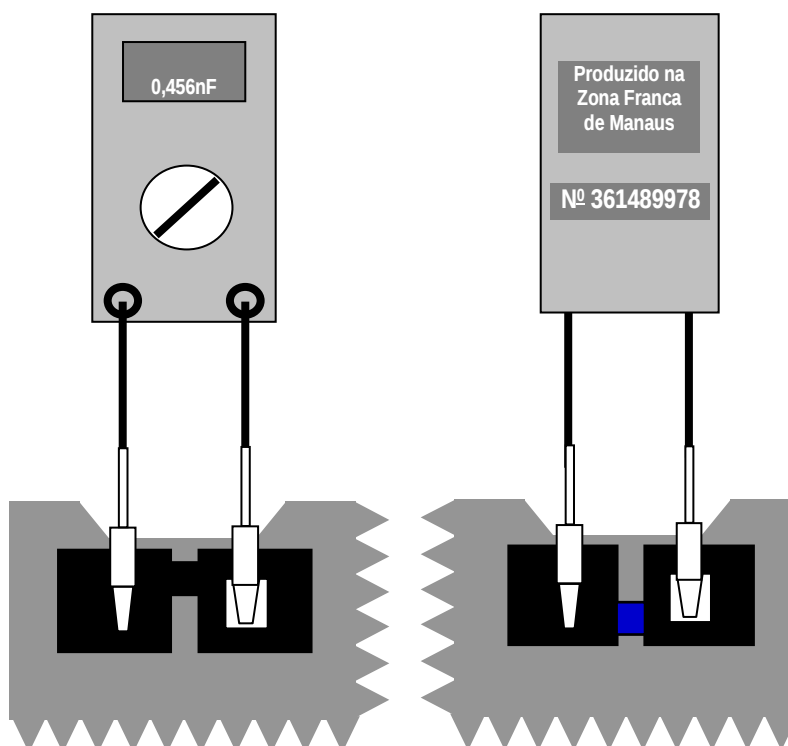


Figura 8.- Vista frontal de la asociación de dos capacitores de placas plan paralelas en paralelo³.

³ Observe que en la cara opuesta una pinza jacaré está con una de sus sierritas aisladas, mientras la otra sierrita de la otra pinza no está aislada. El dieléctrico usado en la confección de botellas PET; el espesor es de 0,27mm; el área de las placas de uno de los capacitores es de 35,0cm², con capacitancia de 0,348nF y otro 7,7 con capacitancia de 0,10nF. La figura no está a escala.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Resistores

Para validar la utilización de los resistores con papel y grafito como opción a los resistores industrializados, en el aprendizaje de los conceptos de Física, varios experimentos fueron llevados a cabo, entre ellos la determinación de la relación entre el largo y la resistencia eléctrica del resistor dibujado, bien como una investigación para determinar cuál es la anchura ideal, o la menor anchura necesaria para trabajar con buen límite de seguridad, además de pruebas, verificando la aproximación entre el valor calculado y el valor medido, para asociaciones de resistores, y la correspondencia entre estos valores. Los auxiliares del Laboratorio Especial de Física del NAECIM/MCT/PUCRS realizaron varias pruebas con esta técnica, así como también estudiantes de grado y de maestría, produciendo datos para análisis. Utilizándose grafito 6B, fueron dibujados varios trazos de 0,5mm a 2,5mm de anchura con 12cm de largo sobre papel, y para realizar las medidas mantuvimos una puntera del multímetro fija a una de las extremidades del trazo al mismo tiempo que la otra corría sobre el trazo, figura 9, y a cada 2cm se apuntaba el valor de la resistencia, conforme la tabla 1. Observamos que hay una mejora en la relación entre el largo y la resistencia eléctrica a partir de la observación de la linealidad de la familia de curvas trazada; y esta mejora está relacionada a la anchura del trazo, sugiriendo que una anchura mínima de 2 mm es recomendable. En el resistor A del gráfico 1 podemos observar la pequeña dispersión de las medidas que se reduce con el aumento de la anchura del trazo del resistor dibujado, probablemente, un fenómeno ocasionado por los factores discutidos anteriormente, lo que no trae perjuicios a la actividad, pues trazos de grafito de 2mm de anchura son de fácil reproducción en los cuadernos escolares.

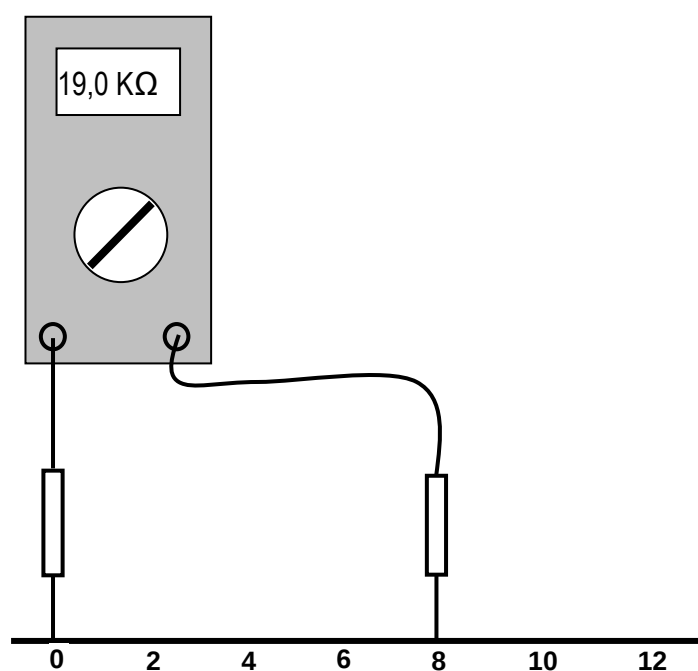


Figura 9.- Ilustración de cómo realizar la recogida de datos en función de la distancia y su respectiva resistencia eléctrica.

Distancia entre las punteras de medición (cm)	R_A Anchura de trazo: 0,5 mm (k Ω)	R_B Anchura de trazo: 1,0mm (k Ω)	R_C Anchura de trazo: 1,5mm (k Ω)	R_D Anchura de trazo: 2,5mm (k Ω)
2	22,6	4,9	1,8	1,3
4	50,0	9,8	3,5	2,6
6	74,8	14,9	6,1	4,0
8	103,9	19,0	9,1	5,5
10	128,0	26,2	11,4	7,4
12	148,6	33,1	14,6	9,9

Tabla 1.- Variación de la resistencia en función de la distancia de la punteras de medición para resistores de papel y grafito rectangulares, de 12cm de largo.

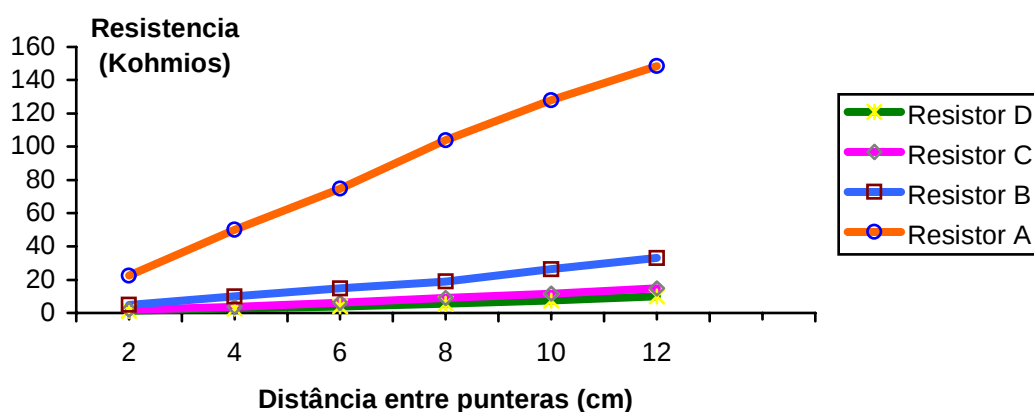


Gráfico 1.- Familia de curvas mostrando la dependencia Resistencia X Longitud.

Otro aspecto importante a considerar, además del comportamiento lineal de la resistencia en función de la distancia entre punteras, es la concordancia entre los valores calculados y medidos para las asociaciones de resistores dibujados con grafito sin el cual la aplicabilidad de la técnica quedaría parcialmente comprometida. Para validar esta afirmación dibujamos grupos de dos a siete resistores asociados en serie y/o paralelo, primeramente midiendo sus resistencias individuales, para después medir la resistencia total de la asociación, como fue mostrado en la figura 2. La tabla 2 relaciona los valores medidos con los calculados para la resistencia total de cada asociación, sintetizando el resultado de este experimento.

Las conexiones entre los resistores asociados produjeron un aumento en la resistencia, conforme fue mostrado en las dos últimas columnas de la tabla 2, y su causa puede ser discutida en clase después de algunos experimentos, cuando los alumnos sean estimulados a discutir y explicar los resultados. En otro momento del proceso de aprendizaje, el profesor puede utilizar estas discrepancias de la técnica, solicitando a los alumnos que midan las resistencias de las uniones y las incluyan en los cálculos de la resistencia equivalente. Investigamos también si los Resistores de Papel y Grafito presentaban una relación inversa entre la anchura del trazo del grafito, que sirve como resistor, y su resistencia, para que fuesen utilizados en prácticas

experimentales que determinasen la dependencia de la resistencia final con la anchura del trazo. De acuerdo con la tabla 1, la relación inversa de la resistencia con la anchura queda mejor caracterizada para resistores más anchos, si comparamos la resistencia de resistores con anchuras diferentes y punteras igualmente distanciadas. Las actividades llevadas a cabo muestran que este hecho tiene relación con la dificultad de dibujar resistores con pequeñas anchuras y espesuras constantes. Por tanto, en actividades en que se esté interesado en explotar la dependencia entre anchura del resistor y su resistencia eléctrica, aconsejamos dibujar resistores con anchura mínima de 5mm. Si aumentamos la anchura para 10mm o más, y 100mm de largo, podremos lograr resultados cuya diferencia entre el valor medido y el valor calculado no excede al 5%.

Tipo de asociación de resistores		R ₁ (MΩ)	R ₂ (MΩ)	R ₃ (MΩ)	R ₄ (MΩ)	R ₅ (MΩ)	R ₆ (MΩ)	R ₇ (MΩ)	Resistencia equivalente (calculada) (MΩ)	Resistencia equivalente (medida) (MΩ)
Paralelo	R1//R2	0,21	0,11	---	---	---	---	---	0,07	0,07
Paralelo	R1//R2	0,46	0,77	---	---	---	---	---	0,29	0,29
Paralelo	R1//R2	0,15	0,07	---	---	---	---	---	0,05	0,05
serie	R1+R2	0,23	0,17	---	---	---	---	---	0,40	0,40
serie	R1+R2	0,11	0,34	---	---	---	---	---	0,45	0,46
serie	R1+R2+R3	0,39	0,54	0,43	---	---	---	---	1,36	1,39
mixta	R1+(R2//R4)+R3	0,41	0,29	0,34	0,28	---	---	---	0,89	0,92
mixta	R5//(R3+R4)/(R1+R2)	0,20	0,34	0,19	0,20	0,32	---	---	0,13	0,13
mixta	R1+(R2//R3)+R4+(R5//R6//R7)	0,76	0,75	0,57	1,42	0,84	0,60	0,58	2,72	2,75

Tabla 2.- Resistencias individuales medidas y resistencias calculadas y medidas para asociaciones.

CAPACITORES

El valor medido, presentado en el visor del capacímetro dibujado en la figura, es un valor real, que puede ser comparado con el valor calculado, apuntado al lado. Observe cómo la diferencia entre los valores medidos y calculados es pequeña, lo que muestra cuán confiable es la técnica propuesta.

La asociación en paralelo de capacitores de placas planas y paralelas sigue el mismo formato mostrado en la figura 10, pero debemos añadir una tira de papel aluminio para unir las otras dos placas que están detrás de la figura. Algunos cuidados son necesarios, como por ejemplo, no posicionar la nueva tira de papel de aluminio exactamente sobre la primera, o sea, no poner la segunda tira, que quedará detrás de la figura de forma que quede posicionada sobre la primera, pues irá a producir un tercer capacitor en la asociación, lo que va a generar errores en las lecturas.

Nuestras investigaciones con asociaciones en serie y paralelo no se restringieron solo al dieléctrico de plástico, tabla 3, también fueron utilizados cartulina y vasos desechables; los resultados con los vasos fueron excelentes, conforme muestra la tabla 4, la cartulina no produjo resultados aceptables. Test de capacitancia también fueron realizados con el papel, pero los valores obtenidos no presentan estabilidad a lo largo del tiempo. No tener estabilidad a lo largo del tiempo significa obtener valores

de capacitancia variables, lo que puede confundir al estudiante. Igualmente la cartulina presenta el mismo problema, pero con una estabilidad mayor en relación al papel. Por estos motivos optamos por no usar los valores de capacitancia obtenidos con estos dos dieléctricos distintos. El gráfico 2 muestra la capacitancia en función de la distancia entre placas para dos capacitores de mismo dieléctrico, pero con áreas distintas. Como se esperaba, la curva obtenida se asemeja a la curva $f(x) = 1/x$, pues la capacitancia depende de la distancia entre placas de forma inversamente proporcional.

La forma de obtenerse esta curva fue creando dos placas de capacitores pintadas sobre dos cuadrados de vasos desechables, cada cuadrado con una cara pintada solamente. Después se juntaron estos dos cuadrados con ambas caras no pintadas por grafito, de forma que se constituyera un capacitor. El mismo poseía la distancia entre las placas conductoras igual a dos veces el espesor de una placa, o sea, $2 \times 0,15\text{mm} = 0,30\text{mm}$. El paso siguiente fue introducir una placa cuadrada más, del mismo material y realizar la lectura de la nueva capacitancia.

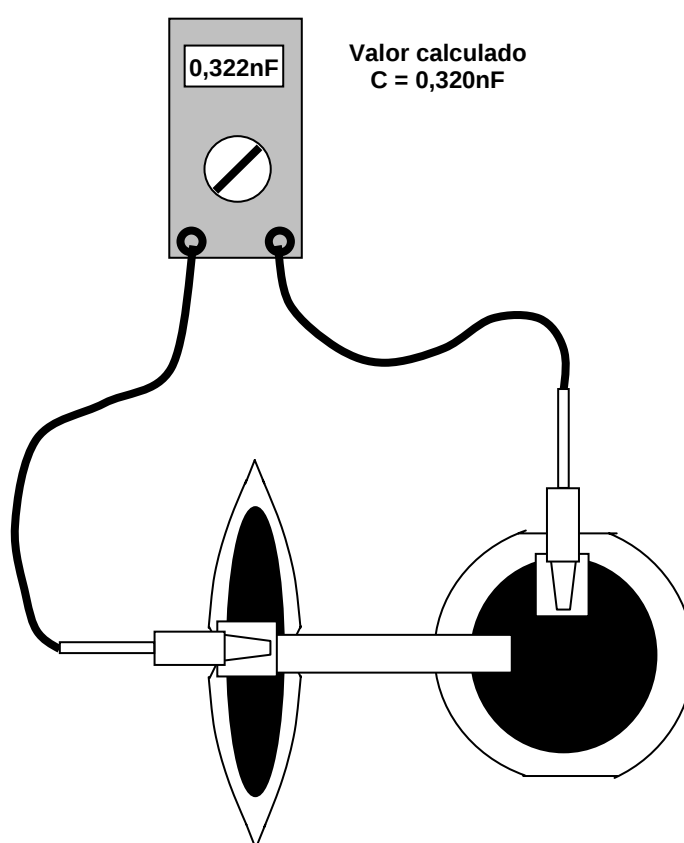


Figura 10.- Asociación de dos capacitores plásticos en serie, C1 y C2, de la tabla 1⁴.

⁴ Utilizamos una tira de papel aluminio para unirlos solo de un lado. Para que se realice la medida, utilizamos dos pinzas cocodrilo, ambas con una de las sierritas aisladas por fragmento de plástico. En el momento de la unión, ambas sierritas con aislamiento prenden en el mismo lado de la asociación. El dieléctrico usado es polistireno, material usado en la confección de vasos desechables; el espesor es de 0,15mm; el área de las placas de uno de los capacitores es de 39,0cm², con capacitancia de 0,608nF y de otro 35,6cm², con capacitancia de 0,67nF. La figura no está en escala.

Proseguimos con este método hasta alcanzar el número de diez placas cuadradas, hechas con vasos desechables, valor a partir del cual la capacitancia cae mucho, haciendo difícil su lectura con los instrumentos comercialmente disponibles. El mismo procedimiento fue adoptado para el plástico PET. Otro aspecto importante fue el formato de las placas del capacitor; nuestra duda era si el formato de las placas de los capacitores, de la misma área y dieléctrico, alteraría el valor de la capacitancia. Trabajamos con cuatro formatos distintos; el cuadrado, el triángulo, el circular y el elipsoidal. Además de esta duda, añadimos otra que era cómo la capacitancia de los capacitores citados se comportaría con el paso del tiempo. Trabajamos con 24 capacitores de tres dieléctricos distintos y dos áreas diferentes, el tiempo de medida fue de 120min. Para cada grupo de 6 capacitores, realizando medidas de 5 en 5 min. Los resultados mostraron que tanto el formato de las placas del capacitor como el tiempo no influían en el valor de la capacitancia, como muestra el gráfico 3. La cantidad de tablas y gráficos que producimos es grande, permitiendo conclusiones y extrapolaciones.

Tipo de asociación de capacitores	C ₁ (nF)	C ₂ (nF)	C ₃ (nF)	C ₄ (nF)	C ₅ (nF)	C ₆ (nF)	C ₇ (nF)	C ₈ (nF)	C ₉ (nF)	C ₁₀ (nF)	Capacitancia equivalentes (calculada) (nF)	Capacitancia equivalentes (medida) (nF)
serie	0,583	0,662	---	---	---	---	---	---	---	---	0,310	0,319
serie	---	---	0,268	0,174	---	---	---	---	---	---	0,106	0,105
serie	---	---	---	---	0,165	0,324	---	---	---	---	0,108	0,110
serie	---	---	---	---	---	---	0,348	0,108	---	---	0,083	0,089
serie	---	---	---	---	---	---	---	---	0,314	0,158	0,106	0,113
paralelo	0,583	0,662	---	---	---	---	---	---	---	---	1,25	1,22
paralelo	---	---	0,268	0,174	---	---	---	---	---	---	0,442	0,433
paralelo	---	---	---	---	0,165	0,324	---	---	---	---	0,489	0,463
paralelo	---	---	---	---	---	---	0,348	0,108	---	---	0,456	0,453
paralelo	---	---	---	---	---	---	---	---	0,314	0,158	0,472	0,469

Tabla 3.- Capacitancias individuales medidas y capacitancias calculadas para asociaciones de capacitores de placas planas paralelas, hechas con botellas de plástico. El material usado es el Politereftalato de etileno, usado en la confección de botellas plásticas PET.

Tipo de asociación de capacitores	C ₁ (nF)	C ₂ (nF)	C ₃ (nF)	C ₄ (nF)	C ₅ (nF)	C ₆ (nF)	C ₇ (nF)	C ₈ (nF)	C ₉ (nF)	C ₁₀ (nF)	Capacitancia equivalentes (calculada) (nF)	Capacitancia equivalentes (medida) (nF)
serie	0,608	0,676	---	---	---	---	---	---	---	---	0,320	0,322
serie	---	---	0,592	1,98	---	---	---	---	---	---	0,456	0,459
serie	---	---	---	---	0,954	0,659	---	---	---	---	0,390	0,395
serie	---	---	---	---	---	---	0,290	0,463	---	---	0,178	0,182
serie	---	---	---	---	---	---	---	---	0,320	0,573	0,205	0,207
paralelo	0,608	0,676	---	---	---	---	---	---	---	---	1,284	1,273
paralelo	---	---	0,592	1,98	---	---	---	---	---	---	2,572	2,570
paralelo	---	---	---	---	0,954	0,659	---	---	---	---	1,613	1,602
paralelo	---	---	---	---	---	---	0,290	0,463	---	---	0,753	0,743
paralelo	---	---	---	---	---	---	---	---	0,320	0,573	0,893	0,850

Tabla 4.- Capacitancias individuales medidas y capacitancias calculadas y medidas para asociaciones de capacitores de placas planas paralelas, hechos con vasos desechables. El material usado es el Polietileno, usado en la confección de vasos desechables. Espesor 0,15mm.

En las tablas 5 y 6, abajo, se puede verificar el valor de la constante dieléctrica para el plástico PET y para el poliestireno y compararlo con los valores obtenidos en la bibliografía.

Capacitor	A (cm ²)	d (mm)	C (nF)	C ₀ (nF)	k	k _T
C ₁	47,6	0,27	0,583	0,156	3,7	3,7
C ₂	48,3	0,27	0,662	0,159	4,2	3,7
C ₃	27,0	0,27	0,268	0,089	3,0	3,7
C ₄	12,4	0,27	0,174	0,041	4,2	3,7
C ₅	12,8	0,27	0,165	0,042	3,9	3,7
C ₆	24,1	0,27	0,324	0,079	4,1	3,7
C ₇	35,0	0,27	0,348	0,115	3,0	3,7
C ₈	7,7	0,27	0,108	0,025	4,3	3,7
C ₉	27,2	0,27	0,314	0,090	3,5	3,7
C ₁₀	14,8	0,27	0,158	0,049	3,2	3,7

Tabla 5.- Capacitores contruidos con plástico PET.

Capacitor	A (cm ²)	d (mm)	C (nF)	C ₀ (nF)	k	k _T
C ₁	39,0	0,15	0,608	0,231	2,63	2,4 a 2,8
C ₂	35,6	0,15	0,676	0,211	3,20	2,4 a 2,8
C ₃	28,6	0,15	0,592	0,169	3,50	2,4 a 2,8
C ₄	125,0	0,15	1,98	0,741	2,67	2,4 a 2,8
C ₅	52,0	0,15	0,954	0,308	3,08	2,4 a 2,8
C ₆	34,0	0,15	0,659	0,201	3,28	2,4 a 2,8
C ₇	17,1	0,15	0,290	0,101	2,87	2,4 a 2,8
C ₈	27,7	0,15	0,463	0,164	2,82	2,4 a 2,8
C ₉	17,0	0,15	0,320	0,100	3,20	2,4 a 2,8
C ₁₀	34,8	0,15	0,573	0,206	2,78	2,4 a 2,8

Tabla 6.- Capacitores contruidos con polistireno (vaso desechable).

A es el área de las placas de los capacitores; D es el espesor del dieléctrico; C es la capacitancia medida con el capacitmetro; C es la capacitancia calculada usándose ϵ_0 ; K es la constante dieléctrica del material; k_T es la constante dieléctrica obtenida en la bibliografía.

CONCLUSIONES

Dentro del espíritu de intentar mejorar la calidad de la enseñanza de Física, a partir de la diseminación de prácticas experimentales sencillas y de bajo coste, los resistores y capacitores de papel, cartulina y plástico representan una técnica simple, lúdica, de implementación barata y eficiente como auxiliar la enseñanza de los conceptos de resistencia y capacitancia eléctrica, así como la asociación de resistores y capacitores. En los resistores investigamos la dependencia de la resistencia con el área y la extensión del conductor, y los resultados obtenidos fueron compatibles con las

previsiones teóricas, así como con la posibilidad de crear resistores de formas y dimensiones variadas, posibilitando al estudiante una mejor comprensión del concepto de resistencia eléctrica. Igualmente, las asociaciones en serie, paralelo y mixta, mostraron resultados aceptables, ya que la diferencia porcentual en el valor de la resistencia equivalente calculada y medida fue siempre inferior al 10%. En relación a los capacitores, los resultados son prometedores, pues es posible crear capacitores con formas y áreas distintas con dieléctricos de fácil adquisición, como por ejemplo cartulina, papel y plástico. En las asociaciones en serie y paralelo, los resultados obtenidos para la capacitancia equivalente calculada y medida también presentan diferencia porcentual máxima del 10%. También investigamos las variables que interfieren en la capacitancia, como el área del capacitor y la distancia entre las placas, y los resultados comprobaron lo que la teoría preveía. La forma del capacitor y la estabilidad del valor de la capacitancia a lo largo del tiempo fueron temas de nuestras investigaciones, pues desconfiábamos que ambas pudieran influir en el valor de la capacitancia, mas verificamos que no, por lo menos no, en el corto tiempo que investigamos.

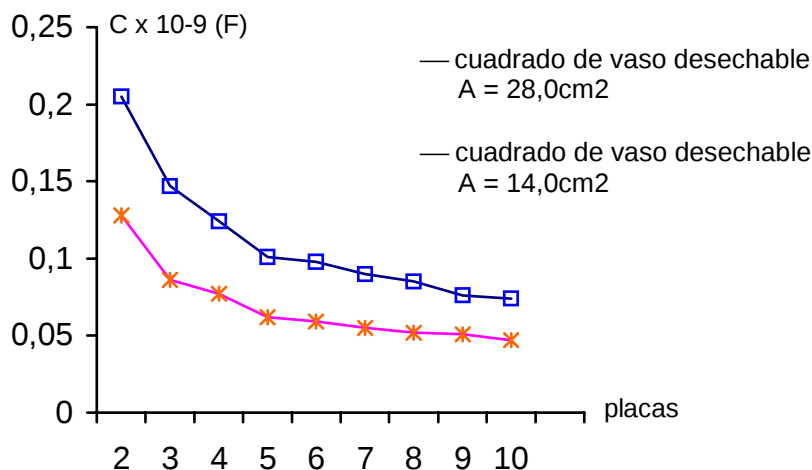


Gráfico 2.- Capacitancia en función del distanciamiento de las placas de los capacitores de placas paralelas, formadas por grafito sobre vaso desechable (polistireno). El espesor de cada placa es de 0,15mm.

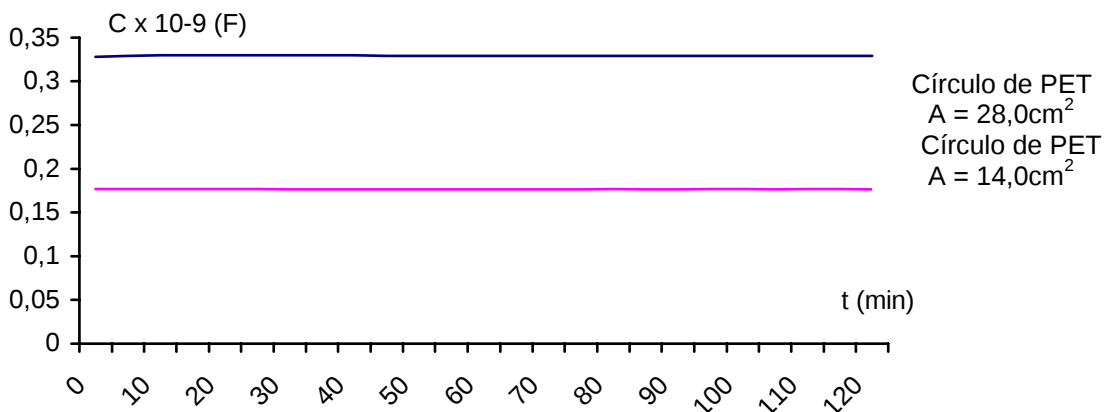


Gráfico 3.- Capacitancia en función del tiempo de capacitores de placas paralelas en formato circular, formadas por grafito sobre botella de PET, con áreas de $28,0\text{cm}^2$ y $14,0\text{cm}^2$. Se observa que el valor de capacitancia es de 0,27mm.

REFERENCIAS

- Eisberg, M. Lerner, S. (1981). *Physics – Foundation and Applications, continued volume*, New York: McGraw – Hill Book Company.
- McKelvey, J. Grotch, H. (1981). *Physics for Science and Engineering, continued volume*, New York: Harper & Row.
- ROCHA, J. B da; COELHO, Suzana; SALAMI, M. A; RANGEL, M. R y SCHRAGE, P. U. (2003). *Resistores de papel y grafito: enseñanza experimental de electricidad con papel y lápiz*,. *Cuaderno Brasileño de Enseñanza de Física*, 2, pp.228-236.
- SALAMI, M. A. (2004). *Resistores e capacitores com lápis, papel e plástico*. Tesis de Maestría de la PUCRS: Porto Alegre, Brasil.

SIGLAS EMPLEADAS

- NAECIM: Núcleo de Apoio à Educação em Ciências e Matemática.
- MCT: Museu de Ciências e Tecnologia.
- PUCRS: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

SUMMARY

This work presents an investigation carried out at the Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul from April 2002 to December 2003, involving the feasibility of using resistors and capacitors made of graphite laid upon paper, cardboard and plastic, in order to help the learning of electricity through experimentation. Its specific focus was the contents on resistibility, calculation of equivalent resistance of serial and parallel associations of resistors and capacitors, dependence of capacitance to the area, to the distance between the boards and the shape of the boards. The low cost technique resulting from this development allows students to playfully manipulate variables involved in the definition of electric resistance and capacitance, besides making it possible for them to create and modify freely the associations of resistors and capacitors, by just using a multimeter with a capacimeter function, paper and a 6B type pencil. It also has a great potential to stimulate the comprehension and learning process of such contents once it is pleasant, simple and low costly. It also promotes the engagement and free participation of all students. Graphite has already been used in the production of resistors to measure individual resistance and associations as described in the article by (Rocha Filho et al., 2004), and also in the production of capacitors to measure the capacitances in the activities mentioned in the master's dissertation of (Salami, 2004).

Keywords: resistors; capacitors; graphite; low cost; associations.