



CONDENSADORES

(Laboratorio virtual)

Ondas y Electromagnetismo

Objetivos:

Los objetivos específicos de esta práctica son:

- ✓ Estudiar la dependencia de la capacidad de un condensador con la distancia entre sus placas.
- ✓ Estudiar la dependencia de la capacidad de un condensador con el área de sus placas
- ✓ Estudiar la dependencia de la carga de un condensador con la diferencia de potencial entre sus placas. Obtener el valor de su Capacidad.
- ✓ Estudiar la variación de la capacidad de un condensador al introducir un material dieléctrico.

También la práctica ha de servir para que el alumno tome contacto con una herramienta informática de gestión de datos, en concreto con una hoja de cálculo. Consideramos que este aspecto es tan importante como la propia toma de medidas, y es de esperar que al final de las prácticas el alumno tenga la suficiente familiaridad con esta herramienta como para incorporarla a su trabajo cotidiano.

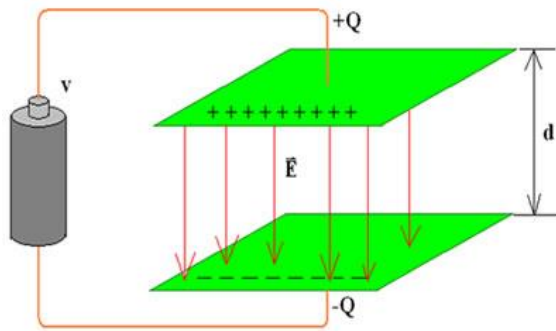
Fundamentos teóricos

Un sistema de dos conductores portadores de cargas iguales y opuestas constituye un **condensador**. Habitualmente un condensador se carga transfiriendo una carga Q de un conductor al otro, con lo cual uno de los conductores queda con la carga $+Q$ y el otro con $-Q$. La capacidad del dispositivo se define por:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

En donde Q es la magnitud de la carga en cualquiera de los conductores y V la magnitud de la diferencia de potencial entre los conductores. Para calcular la capacidad, situamos cargas iguales y opuestas sobre los conductores y después determinamos la diferencia de potencial V a partir del campo eléctrico \mathbf{E} entre ellos.

Un condensador común es el condensador de placas paralelas, formado por dos grandes placas conductoras paralelas. Sea A el área de cada placa y d la distancia de la separación. Supongamos una carga $+Q$ en una placa y $-Q$ en la otra. Estas cargas se atraen entre sí y se distribuyen uniformemente por las superficies interiores de las placas. Como las placas están muy próximas, el campo en cualquier punto situado entre ellas es, aproximadamente, igual al campo debido a dos planos infinitos con cargas iguales y opuestas. Cada placa contribuye con un campo uniforme de módulo $E = \sigma/2\epsilon_0$ resultando así un campo eléctrico $E = \sigma/\epsilon_0$, siendo $\sigma = Q/A$ la carga por unidad de área de cada una de las placas. Como el campo que existe entre las placas de este condensador es uniforme, la diferencia de potencial entre las placas es igual al campo E multiplicado por la separación de las placas.



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{A\epsilon_0}$$

$$V = Ed = \frac{\sigma}{\epsilon_0} d = \frac{Qd}{\epsilon_0 A} \quad (2)$$

La capacidad del condensador de placas paralelas es, por lo tanto

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{Qd/(\epsilon_0 A)} = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (3)$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (4)$$

$$Q = \frac{\epsilon_0 AV}{d} \quad (5)$$

Un material no conductor se denomina dieléctrico. Faraday descubrió que cuando el espacio entre los dos conductores de un condensador se ve ocupado por un dieléctrico, la capacidad aumenta en un factor ϵ_r que es característico del dieléctrico. La razón de este incremento es que el campo eléctrico entre las placas de un condensador se debilita por causa del dieléctrico. Si el campo eléctrico entre las placas de un condensador es E_0 , el campo en el interior del dieléctrico introducido entre las placas es:

$$E = \frac{E_0}{\epsilon_r}$$

Donde ϵ_r es la constante dieléctrica

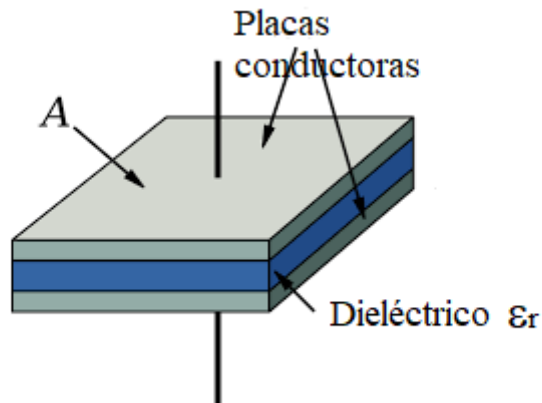
$$V = Ed = \frac{E_0 d}{\epsilon_r} = \frac{V_0}{\epsilon_r}$$

Siendo V la diferencia de potencial con dieléctrico y V_0 la diferencia de potencial original sin dieléctrico. La nueva capacidad es:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{V_0/\epsilon_r} = \epsilon_r \frac{Q}{V_0} = \epsilon_r C_0$$

$$C = \epsilon_r C_0 \quad (6)$$

Donde C_0 es la capacidad sin dieléctrico



Recursos y metodología

- **Recursos:**

Utilizaremos applets del proyecto PhET de la Universidad de Colorado. En este caso particular, se usará el siguiente applet para el estudio de condensadores



SIMULACIONES ENSEÑANZA INVESTIGACIÓN

Laboratorio de capacitores



- Condensador
- Capacitancia
- Circuitos

DONAR

PhET es apoyado por

bk mobil

y educadores como tú.



Figura 1. Presentación del applet en la URL:
<https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/capacitor-lab>

Dentro del applet, disponemos de diversos materiales para el estudio de los condensadores como pueden ser las placas del condensador en las que se puede variar tanto la separación como el área, voltímetro para medir la diferencia de potencial entre las placas y unos medidores de la capacidad, carga eléctrica, energía (ver Fig. 2).

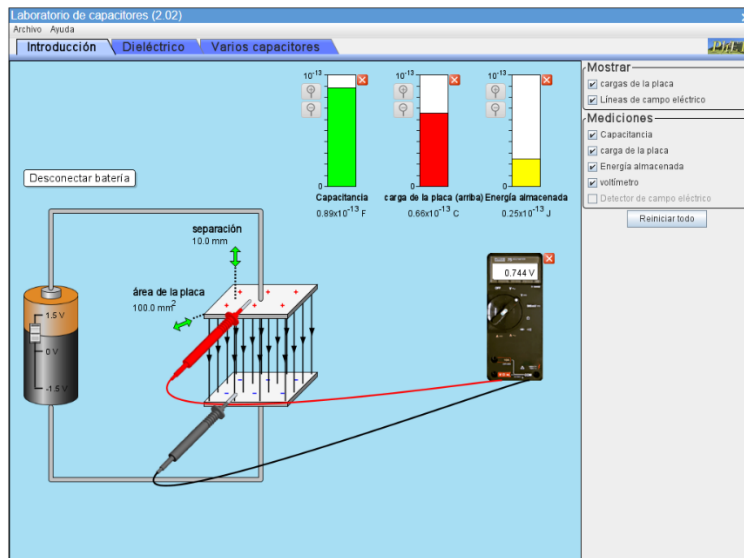


Figura 2. Pantalla principal del applet.

Metodología para la toma de datos:

A partir de la pantalla principal (Figura 2), fijamos el valor del voltaje de la pila, que se puede medir exactamente con el voltímetro, fijamos también el área de las placas y se varía la distancia entre ellas y con el medidor determinaremos la capacidad para cada distancia. Posteriormente fijaremos la distancia entre las placas y variaremos su área para determinar como es ahora la capacidad para cada área.

1. Variación de la Capacidad con la distancia entre las placas

En este apartado mantenemos una diferencia de potencial entre las placas $V = 1 \text{ V}$ y el área también constante $A = 100 \text{ mm}^2$

Se conecta el voltímetro entre las placas del condensador se mueve los valores del voltaje de la pila hasta obtener un valor de 1V que se mantiene constante en todo este apartado y se varía la separación entre las placas moviendo la flecha vertical desde 5 mm hasta 10 mm. Se medirá la capacidad para cada distancia.

$V = 1 \text{ V}$	$A = 100 \text{ mm}^2$
D(mm)	C (F)
5	
5,7	
6,2	
7	
7,8	
8,4	
9,1	
10	

Tabla 1. Datos obtenidos mediante simulación de la capacidad del condensador variando la separación entre las placas.

2. Variación de la Capacidad con el área de las placas

En este apartado mantenemos una diferencia de potencial entre las placas $V = 1 \text{ V}$ y la separación entre ellas también constante $d = 10 \text{ mm}$

Se conecta el voltímetro entre las placas del condensador se mueve los valores del voltaje de la pila hasta obtener un valor de 1V que se mantiene constante en todo este apartado y se varía el área de las placas moviendo la flecha desde 100 mm^2 hasta 400 mm^2 . Se medirá la capacidad para cada área .

$V = 1 \text{ V}$	$d = 10 \text{ mm}$
$A (\text{mm}^2)$	$C (\text{F})$
100	
150	
200	
250	
300	
350	
400	

Tabla 2. Datos obtenidos mediante simulación de la capacidad del condensador variando el área de las placas.

3. Variación de la carga Q y del campo Eléctrico E con la diferencia de potencial V

En este apartado mantenemos la separación entre las placas constante $d = 10 \text{ mm}$, $A = 100 \text{ mm}^2$ y variamos la diferencia de potencial desde 0,2V hasta 1,5V

$A = 100 \text{ mm}^2$	$d = 10 \text{ mm}$	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{A\epsilon_0}$
$V (\text{V})$	$Q (\text{C})$	$E (\text{N/C})$
0,2		
0,4		
0,6		
0,8		
1		
1,2		
1,4		
1,5		

Tabla 3. Datos obtenidos mediante simulación de la carga y del campo eléctrico del condensador variando la diferencia de potencial de las placas.

4. Variación de la Capacidad con el material dieléctrico

Manteniendo el montaje anterior, se introducen diversos materiales dieléctricos entre las placas del condensador. Se mantiene constante la separación entre las placas $d = 10 \text{ mm}$, el área de las placas $A = 100 \text{ mm}^2$ y la diferencia de potencial entre las placas $V = 1 \text{ V}$ como se indica en la Fig. 4.

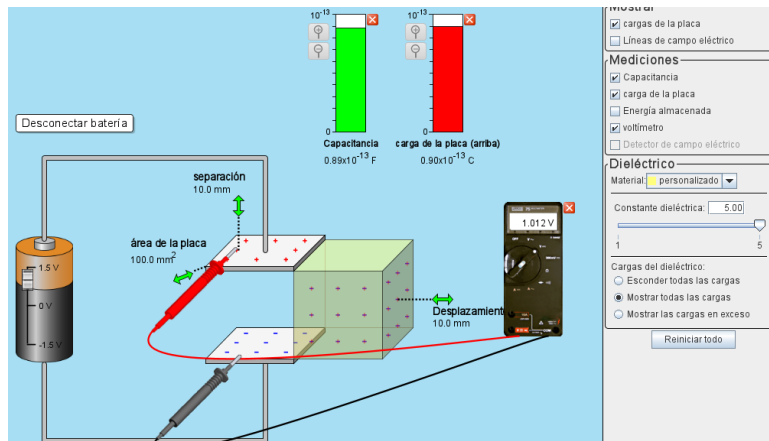


Figura 4. Montaje para medir la capacidad del condensador en función del material dieléctrico.

$V = 1 \text{ V}$ $A = 100 \text{ mm}^2$	
ϵ_r	$C \text{ (F)}$
Personalizado	
Teflón	
Vidrio	
Papel	

Tabla 4. Datos obtenidos mediante simulación de la capacidad del condensador variando el material dieléctrico

- **Gestión de las medidas:**

Tabla de datos

Vamos a utilizar el Excel para construir las tablas de datos, hacer las representaciones gráficas.

1. Pasamos al Excel todas las tablas de las medidas realizadas; en una hoja los datos de las C vs. d
2. Pasamos al Excel todas las tablas de las medidas realizadas; en una hoja los datos de las C vs. A

3. Pasamos al Excel todas las tablas de las medidas realizadas; en una hoja los datos de las Q vs. V
4. Pasamos al Excel todas las tablas de las medidas realizadas; en una hoja los datos de las E vs. V
4. Pasamos al Excel todas las tablas de las medidas realizadas; en una hoja los datos de la C vs. ϵ_r .



Representación gráfica

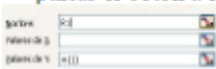
1. Representar gráficamente C vs. d


Para ello seguiremos ordenadamente los pasos que se indican a continuación:

Seleccionamos una celda vacía de Excel > Barra de herramientas > Asistente para

Gráficos  > Tipo de gráfico >  XY (Dispersión) > Subtipo de gráfico: puntos  > Siguiente

> Activar pestaña "Serie"  > Agregar >  Nombre > escribir "Condensador" > pulsar botón a la derecha de "Valores de X" para minimizar el cuadro de

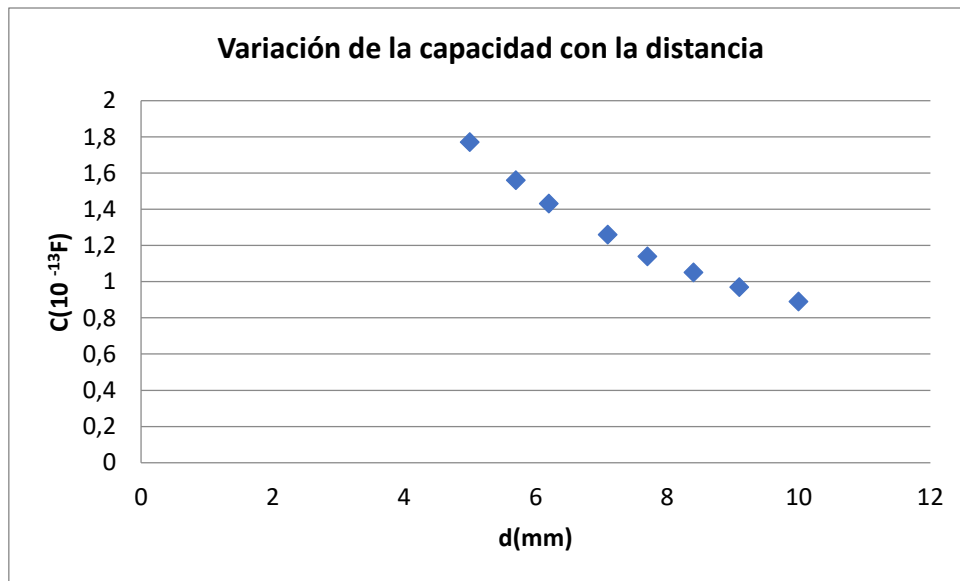
diálogo  > Seleccionar la columna de valores "d" (no seleccionar cabecera)

> Seleccionar el botón del cuadro minimizado para restaurarlo a su tamaño completo  > pulsar el botón a la derecha de "Valores de Y" > Seleccionar la columna de valores de la capacidad > Siguiente > Siguiente > Finalizar.

- Títulos

- Click en el gráfico > botón derecho > Opciones de Gráfico > Títulos >
 - Título de gráfico > Variación de la Capacidad con la distancia
 - Eje de valores (X) > d(mm)
 - Eje de valores (Y) > C($\times 10^{-13}$ F)
 - Aceptar

Excel dibuja una gráfica como la siguiente:





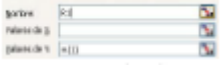
2. Representar gráficamente C vs. A


Para ello seguiremos ordenadamente los pasos que se indican a continuación:

Seleccionamos una celda vacía de Excel > Barra de herramientas > Asistente para

Gráficos  > Tipo de gráfico >  > Subtipo de gráfico: puntos  > Siguiente

> Activar pestaña "Serie"  > Agregar >  Nombre > escribir "Condensador" > pulsar botón a la derecha de "Valores de X" para minimizar el cuadro de

diálogo  > Seleccionar la columna de valores "A" (no seleccionar cabecera)

> Seleccionar el botón del cuadro minimizado para restaurarlo a su tamaño completo  > pulsar el botón a la derecha de "Valores de Y" > Seleccionar la columna de valores de la capacidad > Siguiente > Siguiente > Finalizar.

- Títulos

- Click en el gráfico > botón derecho > Opciones de Gráfico > Títulos >
 - Título de gráfico > Variación de la Capacidad con el área
 - Eje de valores (X) > A(mm²)
 - Eje de valores (Y) > C(×10⁻¹³F)
 - Aceptar

Ajuste de las medidas a una recta

Sabemos que la capacidad tiene un comportamiento lineal con respecto del área

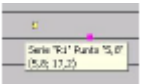
$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Ajustaremos los datos a una línea recta. La ecuación de este tipo de línea es:

$$y = mx + n$$

siendo m la pendiente de la recta y n la ordenada en el origen. En nuestro caso $n=0$ ya que la recta pasa por el origen


- Primero ajustamos los datos a una línea recta general: gráfico de Excel >

situamos el cursor sobre un punto de la serie de datos de R1  > click botón derecho > Agregar línea de tendencia > Lineal > Aceptar

- Forzamos que la recta pase por el origen haciendo b=0: gráfico de Excel > doble click en la línea de tendencia: > Opciones > activamos Señalar intersección=0



- Presentamos la ecuación de la recta: Gráfico > doble clic en la línea de

tendencia de > Opciones > Presentar ecuación en el gráfico  >

Excel nos muestra la ecuación de la recta: $y = 2.9852x$



- Se cambia la y por QCy la x por A
- Comprobar el valor de $d = 10\text{mm}$ a partir de la medida de la pendiente en la gráfica ya que $\frac{\epsilon_0}{d} = m = \text{pendiente}$

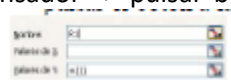
3. Representar gráficamente Q vs. V,


Para ello seguiremos ordenadamente los pasos que se indican a continuación:

Seleccionamos una celda vacía de Excel > Barra de herramientas > Asistente para

Gráficos  > Tipo de gráfico >  > Subtipo de gráfico: puntos  > Siguiente

> Activar pestaña "Serie"  > Agregar >  Nombre > escribir "Condensador" > pulsar botón a la derecha de "Valores de X" para minimizar el cuadro de

diálogo  > Seleccionar la columna de valores "V" (no seleccionar cabecera)

> Seleccionar el botón del cuadro minimizado para restaurarlo a su tamaño completo  > pulsar el botón a la derecha de "Valores de Y" > Seleccionar la columna de valores de la carga Q > Siguiente > Siguiente > Finalizar.

• Títulos

- Click en el gráfico > botón derecho > Opciones de Gráfico > Títulos >
 - o Título de gráfico > Variación de la Carga con el voltaje
 - o Eje de valores (X) > V (V)
 - o Eje de valores (Y) > $Q(\times 10^{-13}\text{C})$
 - o Aceptar

Ajuste de las medidas a una recta

Sabemos que la carga tiene un comportamiento lineal con respecto del voltaje, siendo la constante de proporcionalidad la capacidad:

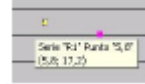
$$Q = CV$$

Ajustaremos los datos a una línea recta. La ecuación de este tipo de línea es:

$$y = mx + n$$

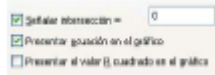
siendo m la pendiente de la recta y n la ordenada en el origen. En nuestro caso $n=0$ ya que la recta pasa por el origen: si no hay caída de tensión ($V=0$), no hay respuesta ($Q=0$).

- Primero ajustamos los datos a una línea recta general: gráfico de Excel >



situamos el cursor sobre un punto de la serie de datos de R1 > click botón derecho > Agregar línea de tendencia > Lineal > Aceptar

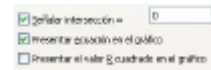
- Forzamos que la recta pase por el origen haciendo $b=0$: gráfico de Excel > doble click en la línea de tendencia: > Opciones > activamos Señalar intersección=0



>

- Presentamos la ecuación de la recta: Gráfico > doble clic en la línea de

tendencia de > Opciones > Presentar ecuación en el gráfico



>

Excel nos muestra la ecuación de la recta: $y = 2,9852x$

- Se cambia la y por Q y la x por V
- Comprobar que $C = m = \text{pendiente} = 0,89 \times 10^{-13} \text{ F}$

4. Representar gráficamente E vs. V,

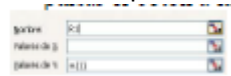
Para ello seguiremos ordenadamente los pasos que se indican a continuación:

Seleccionamos una celda vacía de Excel > Barra de herramientas > Asistente para

Gráficos > Tipo de gráfico > XY (Dispersión) > Subtipo de gráfico: puntos > Siguiente



> Activar pestaña "Serie" > Agregar > Nombre > escribir "Condensador" > pulsar botón a la derecha de "Valores de X" para minimizar el cuadro de



diálogo > Seleccionar la columna de valores "V" (no seleccionar cabecera)

> Seleccionar el botón del cuadro minimizado para restaurarlo a su tamaño completo > pulsar el botón a la derecha de "Valores de Y" > Seleccionar la columna de valores del campo eléctrico E > Siguiente > Siguiente > Finalizar.

• Títulos

- Click en el gráfico > botón derecho > Opciones de Gráfico > Títulos >
 - Título de gráfico > Variación de la Carga con el voltaje
 - Eje de valores (X) > V (V)
 - Eje de valores (Y) > E (N/C)
 - Aceptar

Ajuste de las medidas a una recta

Sabemos que el campo eléctrico E tiene un comportamiento lineal con respecto del voltaje,

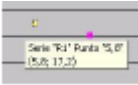
$$E = \frac{1}{d}V$$

Ajustaremos los datos a una línea recta. La ecuación de este tipo de línea es:

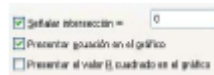
$$y = mx + n$$

siendo m la pendiente de la recta y n la ordenada en el origen. En nuestro caso $n=0$ ya que la recta pasa por el origen: si no hay caída de tensión ($V=0$), no hay respuesta ($E=0$).

- Primero ajustamos los datos a una línea recta general: gráfico de Excel >

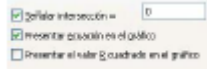
situamos el cursor sobre un punto de la serie de datos de R1  > click botón derecho > Agregar línea de tendencia > Lineal > Aceptar

- Forzamos que la recta pase por el origen haciendo $b=0$: gráfico de Excel > doble click en la línea de tendencia: > Opciones > activamos Señalar intersección=0



>

- Presentamos la ecuación de la recta: Gráfico > doble clic en la línea de

tendencia de > Opciones > Presentar ecuación en el gráfico  >

Excel nos muestra la ecuación de la recta: $y = 2,9852x$



- Se cambia la y por E y la x por V
- Comprobar que $m = \text{pendiente} = 1/d$ Obtener $d = 10 \text{ mm}$

5. Representar gráficamente C vs. ϵ_r


Para ello seguiremos ordenadamente los pasos que se indican a continuación:

Seleccionamos una celda vacía de Excel > Barra de herramientas > Asistente para

Gráficos  > Tipo de gráfico >  XY (Dispersión) > Subtipo de gráfico: puntos  > Siguiente

> Activar pestaña "Serie"  > Agregar >  Nombre > escribir "Condensador" > pulsar botón a la derecha de "Valores de X" para minimizar el cuadro de

diálogo  > Seleccionar la columna de valores " ϵ_r " (no seleccionar cabecera)

> Seleccionar el botón del cuadro minimizado para restaurarlo a su tamaño completo  > pulsar el botón a la derecha de "Valores de Y" > Seleccionar la columna de valores de la capacidad C > Siguiente > Siguiente > Finalizar.

- Títulos

- Click en el gráfico > botón derecho > Opciones de Gráfico > Títulos >
 - Título de gráfico > Variación de la Capacidad con la constante dieléctrica

- Eje de valores (X) > ε_r
- Eje de valores (Y) > $C(\times 10^{-13}F)$
- Aceptar

Ajuste de las medidas a una recta

Sabemos que la capacidad tiene un comportamiento lineal con respecto de la constante dieléctrica,
siendo la constante de proporcionalidad la capacidad:

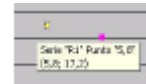
$$C = \varepsilon_r C_0$$

Ajustaremos los datos a una línea recta. La ecuación de este tipo de líneas es:

$$y = mx + n$$

siendo m la pendiente de la recta y b la ordenada en el origen. En nuestro caso $n=0$.

- Primero ajustamos los datos a una línea recta general: gráfico de Excel >



situamos el cursor sobre un punto de la serie de datos de R1 > click botón derecho > Agregar línea de tendencia > Lineal > Aceptar

- Forzamos que la recta pase por el origen haciendo $b=0$: gráfico de Excel > doble click en la línea de tendencia: > Opciones > activamos Señalar intersección=0



- Presentamos la ecuación de la recta: Gráfico > doble clic en la línea de



tendencia de > Opciones > Presentar ecuación en el gráfico >

Excel nos muestra la ecuación de la recta: $y = 2,9652x$

- Se cambia la y por C y la x por ε_r
- Comprobar que la capacidad del condensador sin material dieléctrico

$$C_0 = m = \text{pendiente} = 0,89 \times 10^{-13} F$$