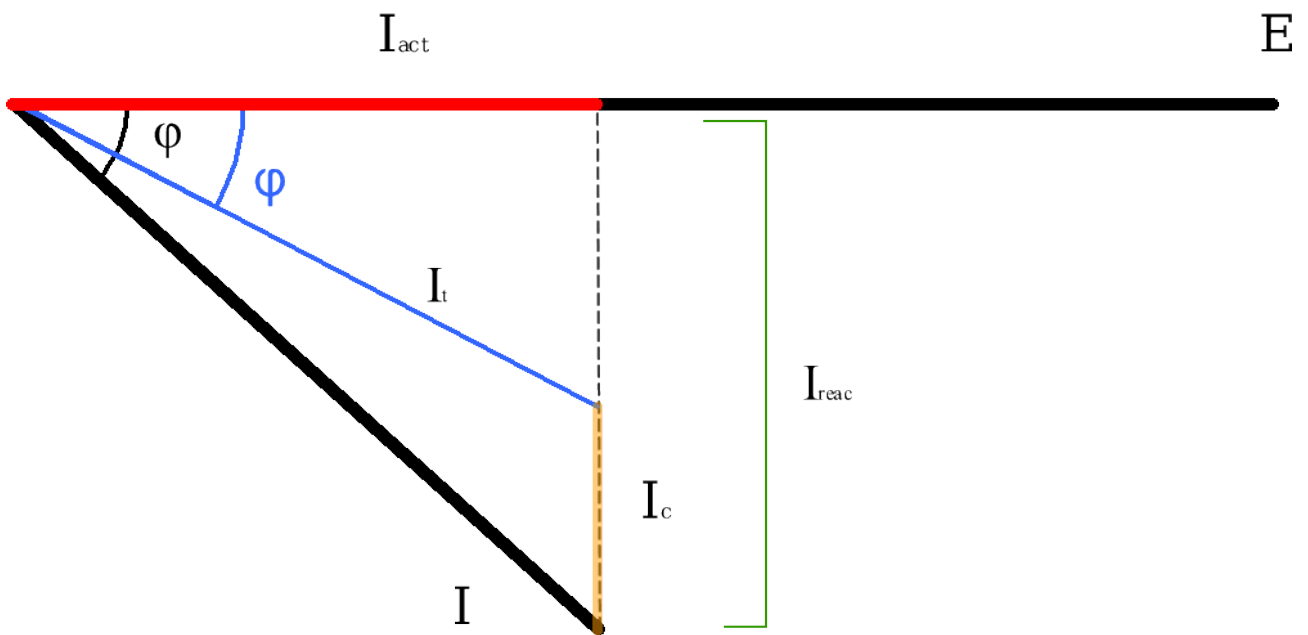


Práctica de corriente alterna.

Mejora del factor de potencia



Luis Íñiguez de Onzoño Sanz

Fundamentos Físicos para Ingenieros III

28 de noviembre de 2007

Índice

| | |
|-------------------------------|------|
| 1. Conceptos relacionados | I |
| 2. Principios teóricos | I |
| 3. Materiales | II |
| 4. Descripción de la práctica | III |
| 5. Procedimiento | III |
| 6. Presentación de resultados | IV |
| 7. Errores | XI |
| 8. Comentarios | XIII |
| 9. Conclusiones | XIII |

Conceptos relacionados

Potencia activa:

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Esta potencia es la realmente consumida por los circuitos. Es debida a los elementos resistivos. $P_{act} = I \cdot \cos(\varphi) \cdot E$

Factor de potencia:

Se define factor de potencia de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, $P_{act} = I_{act} \cdot E = I \cdot \cos(\varphi) \cdot E$, y la potencia aparente, $S = (I \cdot E)$, o bien como el coseno del ángulo que forman los vectores de la intensidad y la fuerza electromotriz, designándose en este caso como $\cos\varphi$, siendo φ el valor de dicho ángulo. El $\cos\varphi$ se mide con el fasímetro.

Potencia reactiva:

Esta potencia no tiene tampoco el carácter de ser consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo útil. Por ello, se dice que es una potencia devatada (no produce vatios) producida por una intensidad devatada, se mide en voltamperios reactivos (VAR). $P_{reac} = I \cdot \sin(\varphi) \cdot E$

Intensidad vatada:

También llamada intensidad activa es igual a $I \cdot \cos\varphi$ y es la intensidad útil en el circuito

Intensidad devatada:

O intensidad reactiva es igual a $I \cdot \sin\varphi$ y es la intensidad sin uso en el circuito y la que en el transcurso de esta práctica trataremos de reducir.

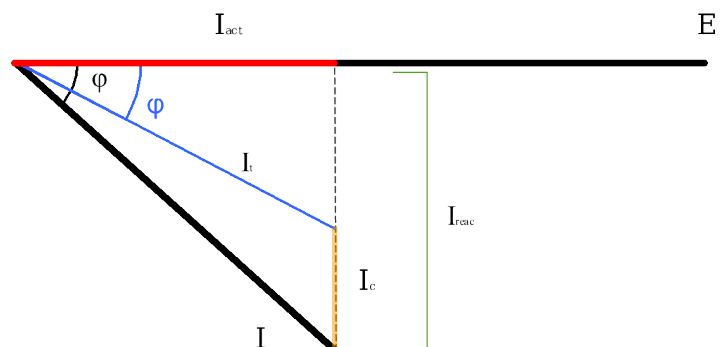
Principios teóricos:

En un circuito inductivo o capacitivo la intensidad de corriente alterna presenta una diferencia de fase respecto a la fuerza electromotriz alterna aplicada. Por ello, la potencia activa consumida en el circuito se expresa: $P_{act} = I_{act} \cdot E = I \cdot \cos(\varphi) \cdot E$ como ya hemos visto en la sección de conceptos relacionados. Esta expresión proviene del hecho de que $P = E \cdot I$, pero al estar hablando de circuitos de corriente alterna trabajamos con números complejos, y con los vectores que estos forman.

En la expresión anterior trabajamos siempre con los valores eficaces que es el valor real dividido por la raíz cuadrada de dos. Esto es así porque trabajamos con funciones sinusoidales y lo que nosotros queremos saber es el valor medio porque estas funciones tienen una frecuencia de 50 Hz (en Europa).

Como ya sabemos, al trabajar con ondas sinusoidales estas se pueden tratar tanto como por relaciones trigonométricas como por números complejos, siendo estos últimos más fáciles de operar y de ahí viene el siguiente diagrama:

En él se pueden apreciar los conceptos expuestos en la sección anterior. La intensidad activa o vatada, la reactiva o devatada y el factor de potencia.



Materiales:

Lámpara fluorescente

O tubo fluorescente, consiste en un tubo de vidrio revestido interiormente con una sustancia que contenga fósforo relleno de argón o neón y una pequeña cantidad de vapor de mercurio. A los extremos del tubo hay dos electrodos por los que pasa la corriente de uno a otro excitando los átomos de mercurio. Estos producen un fotón ultravioleta que al incidir con la pared de fósforo produce un fotón de luz visible. En la práctica usamos una lámpara común con una potencia de 18 W.



Vatímetro

Nos permite medir la potencia activa, es decir, la tasa de suministro eléctrico de un circuito.



Fasímetro

O cosímetro, cosenofimetro, fasímetro. Nos permite medir el ángulo de desfase entre la f.e.m. y la intensidad alternas, es decir, el factor de potencia expresado en forma de $\cos\phi$.



Amperímetro

Es un instrumento que sirve para medir la intensidad de corriente que está circulando en un circuito eléctrico. En este se pueden regular la escala para adecuarla a nuestro experimento en el que hemos usado una intensidad variable entre 0,09 y 0,29 amperios.



Voltímetro

Este aparato sirve para medir el voltaje de un circuito, la mayor parte de ellos son llamados multímetros debido a su capacidad de poder medir distintas magnitudes. Así mismo permite cambiar la escala de medición.



Condensadores

Es un dispositivo formado por dos placas conductoras separadas entre sí por un material dieléctrico o vacío que sometido a una diferencia de potencial adquieren una carga eléctrica determinada por su capacidad, medida en Faradios (F). Trabajamos con condensadores desde 0,22 (μF) hasta 2,2 (μF).



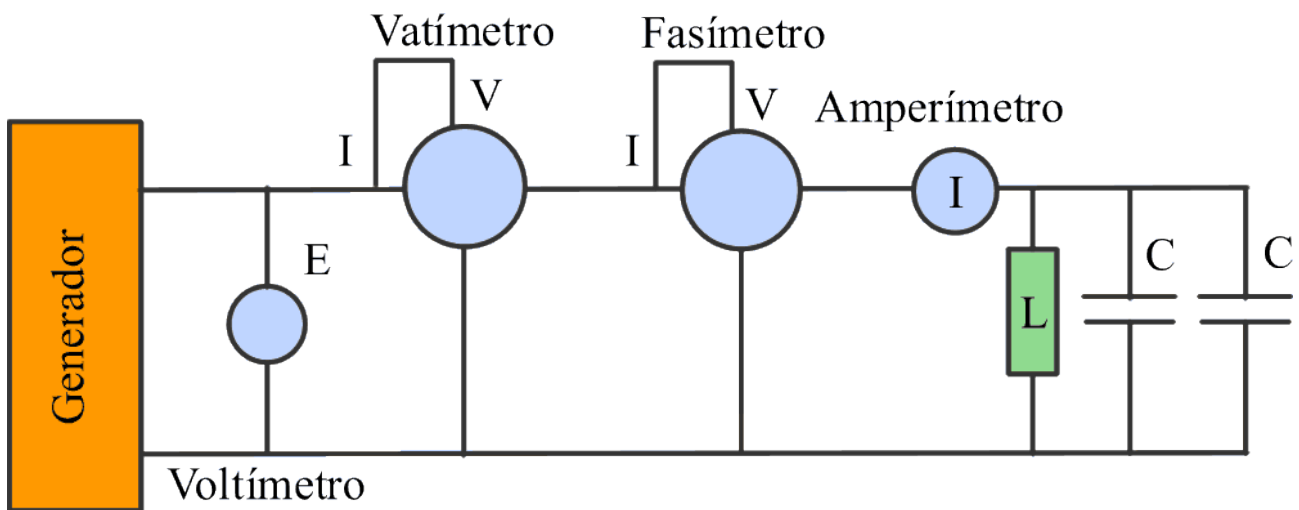
Descripción de la práctica

El objetivo de esta práctica es comprobar que la colocación de condensadores en paralelo con un motor mejora el factor de potencia de la instalación conjunta reduciendo así la intensidad total de gasto del circuito.

Se comprobará cómo afectan los diferentes valores de la capacidad del condensador a la potencia reactiva, la intensidad de línea y el factor de potencia.

Procedimiento operativo.

El montaje experimental corresponde con el de la siguiente figura:



Está compuesto por un generador, que en nuestro caso usamos la red eléctrica convencional, y de 4 medidores, el voltímetro, el vatímetro, el fasímetro y el amperímetro. Así mismo tenemos nuestra instalación eléctrica nombrada por L y en serie los condensadores que vamos poniendo.

Estos condensadores se ponen en serie en una tableta de madera para facilitar la tarea. Como medida de seguridad, después de usar cada condensador hemos de cortocircuitarlo en otra parte de la tableta.

En el transcurso de la práctica debemos de ir tomando los distintos valores del fasímetro y del amperímetro pues los otros dos han de permanecer constantes.

Presentación de resultados.

Tabla de valores

| E (V) medido | I (A) medido | P_{act} (W) medido | C (μF) | $\cos\phi$ medido | $\cos\phi$ calculado | $\sen\phi$ calculado | I_w (A) | I_{dW} (AR) | P_{react} (VAR) |
|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|------------------|----------------------|
| 230 | 0,29 | 18 | 0,00 | 0,45 | 0,270 | 0,963 | 0,078 | 0,279 | 64,225 |
| 230 | 0,27 | 18 | 0,22 | 0,45 | 0,290 | 0,957 | 0,078 | 0,258 | 59,434 |
| 230 | 0,26 | 18 | 0,44 | 0,45 | 0,301 | 0,954 | 0,078 | 0,248 | 57,027 |
| 230 | 0,26 | 18 | 0,47 | 0,45 | 0,301 | 0,954 | 0,078 | 0,248 | 57,027 |
| 230 | 0,24 | 18 | 0,69 | 0,45 | 0,326 | 0,945 | 0,078 | 0,227 | 52,183 |
| 230 | 0,23 | 18 | 0,91 | 0,45 | 0,340 | 0,940 | 0,078 | 0,216 | 49,743 |
| 230 | 0,23 | 18 | 1,00 | 0,45 | 0,340 | 0,940 | 0,078 | 0,216 | 49,743 |
| 230 | 0,22 | 18 | 1,22 | 0,45 | 0,356 | 0,935 | 0,078 | 0,206 | 47,290 |
| 230 | 0,20 | 18 | 1,44 | 0,45 | 0,391 | 0,920 | 0,078 | 0,184 | 42,332 |
| 230 | 0,20 | 18 | 1,47 | 0,45 | 0,391 | 0,920 | 0,078 | 0,184 | 42,332 |
| 230 | 0,19 | 18 | 1,69 | 0,45 | 0,412 | 0,911 | 0,078 | 0,173 | 39,821 |
| 230 | 0,18 | 18 | 1,91 | 0,45 | 0,435 | 0,901 | 0,078 | 0,162 | 37,282 |
| 230 | 0,16 | 18 | 2,20 | 0,55 | 0,489 | 0,872 | 0,078 | 0,140 | 32,097 |
| 230 | 0,14 | 18 | 2,42 | 0,59 | 0,559 | 0,829 | 0,078 | 0,116 | 26,699 |
| 230 | 0,13 | 18 | 2,67 | 0,64 | 0,602 | 0,798 | 0,078 | 0,104 | 23,875 |
| 230 | 0,12 | 18 | 2,89 | 0,68 | 0,652 | 0,758 | 0,078 | 0,091 | 20,923 |
| 230 | 0,11 | 18 | 3,20 | 0,72 | 0,711 | 0,703 | 0,078 | 0,077 | 17,779 |
| 230 | 0,10 | 18 | 3,42 | 0,75 | 0,783 | 0,623 | 0,078 | 0,062 | 14,318 |
| 230 | 0,09 | 18 | 3,67 | 0,78 | 0,870 | 0,494 | 0,078 | 0,044 | 10,222 |
| 230 | 0,09 | 18 | 3,89 | 0,78 | 0,870 | 0,494 | 0,078 | 0,044 | 10,222 |

En esta tabla se pueden apreciar todos los datos conseguidos durante la práctica así como los posteriormente calculados a raíz de los experimentales.

Curva de potencia reactiva en función de la capacidad

Con la ayuda de los valores de la tabla se va a representar las curvas teórica y experimental de la potencia reactiva frente a la capacidad del condensador.

- La expresión de la potencia reactiva cuando $C=0$ es : $P_{react} = E I \sin\phi$
- La expresión de la potencia reactiva cuando $C \neq 0$ es:

$$P'_{react} = P_{react} - E^2 C \omega = P_{react} - 100 \pi E^2 C$$

$$P'_{react} (VAR) = P_{react} - \pi 10^{-4} E^2 C (\mu F)$$

Dibujar la gráfica teórica que representa los valores anteriores tomando:

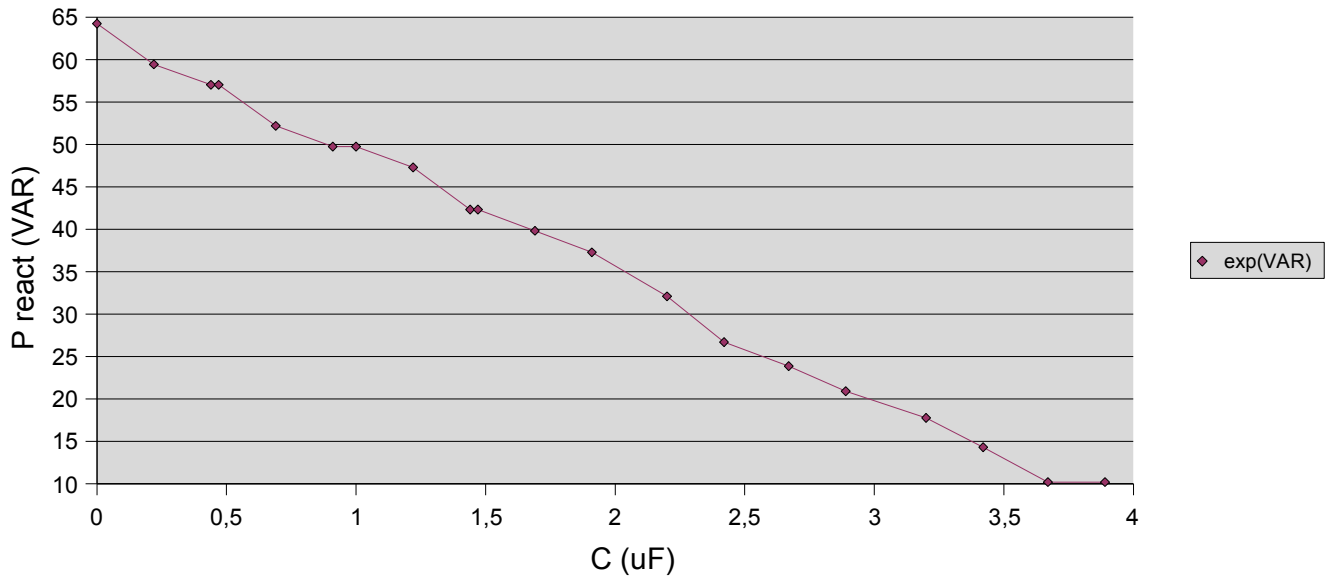
- eje X: C (uF)
- eje Y: P' react (VAR)

| E (V) medido | C (μF) | P_{react} (VAR) | P'_{react} exp (VAR) | P'_{react} cal (VAR) |
|-----------------|---------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| 230 | 0 | 64,225 | 64,225 | 64,230 |
| 230 | 0,22 | | 59,434 | 60,574 |
| 230 | 0,44 | | 57,027 | 56,918 |
| 230 | 0,47 | | 57,027 | 56,419 |
| 230 | 0,69 | | 52,183 | 52,763 |
| 230 | 0,91 | | 49,743 | 49,107 |
| 230 | 1 | | 49,743 | 47,611 |
| 230 | 1,22 | | 47,290 | 43,955 |
| 230 | 1,44 | | 42,332 | 40,299 |
| 230 | 1,47 | | 42,332 | 39,800 |
| 230 | 1,69 | | 39,821 | 36,144 |
| 230 | 1,91 | | 37,282 | 32,488 |
| 230 | 2,2 | | 32,097 | 27,668 |
| 230 | 2,42 | | 26,699 | 24,012 |
| 230 | 2,67 | | 23,875 | 19,857 |
| 230 | 2,89 | | 20,923 | 16,201 |
| 230 | 3,2 | | 17,779 | 11,049 |
| 230 | 3,42 | | 14,318 | 7,393 |
| 230 | 3,67 | | 10,222 | 3,238 |
| 230 | 3,89 | | 10,220 | -0,418 |

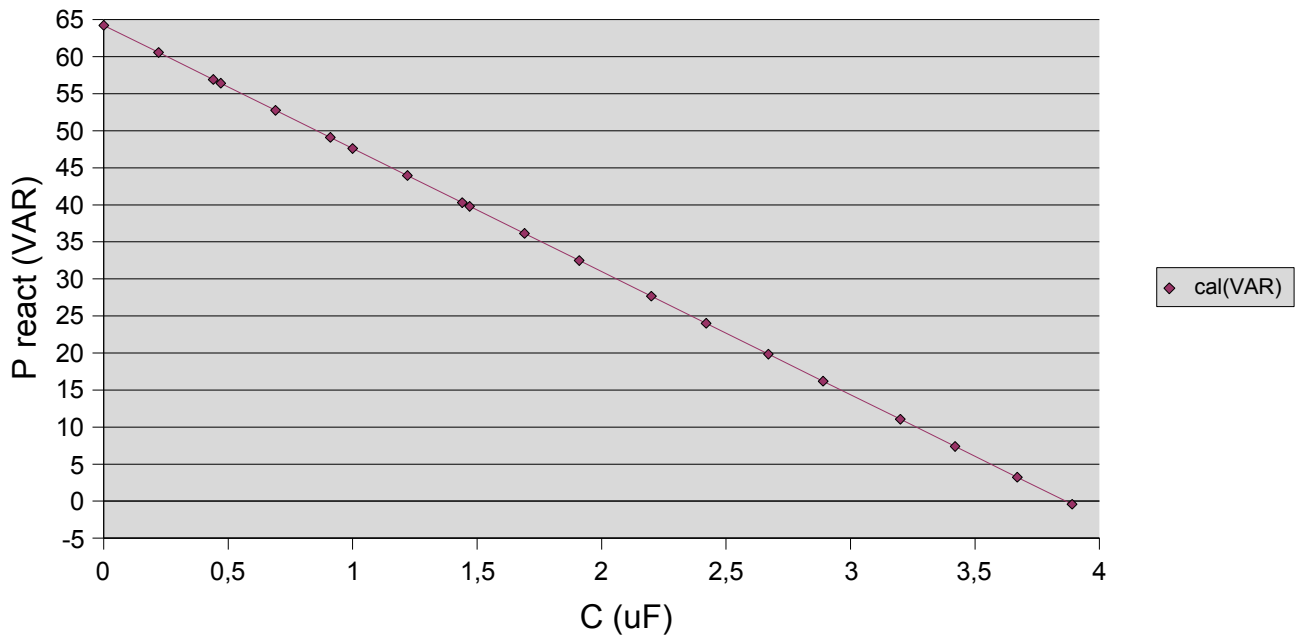
Ahora con la tabla anterior terminada procedo a representar los datos obtenidos en las siguientes gráficas, la primera con los datos obtenidos experimentalmente, la segunda con los calculados posteriormente y la tercera comparando los dos resultados.

En ellas se puede apreciar que mientras los datos obtenidos calculados están en una línea recta constante los datos experimentales fluctúan ligeramente alejándose de los calculados cuanto mayor es la capacidad del condensador a tratar.

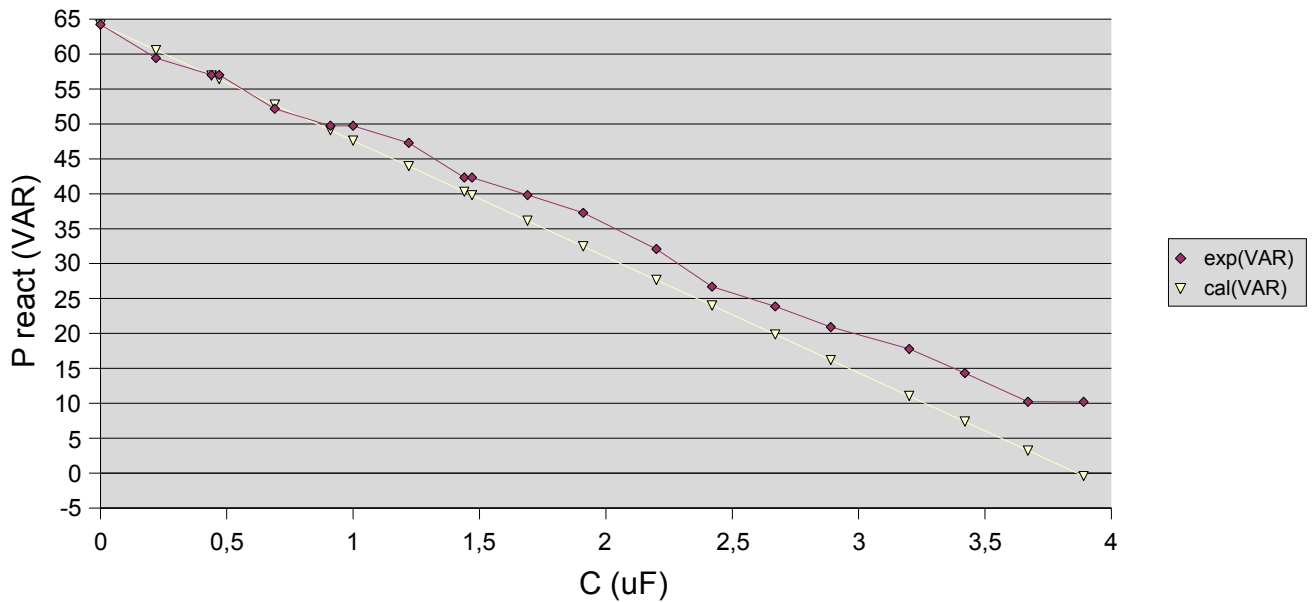
Experimental



Calculado



Comparación



Curva de intensidad de línea en función de la capacidad

Con ayuda de los valores de la tabla se va a representar las curvas teórica y experimental de la intensidad de línea frente a la capacidad del condensador.

La expresión de la intensidad de línea I_T se expresa como sigue:

$$I_T^2 = I_o^2 + E^2 \omega^2 C^2 - 2 I_o E C \omega \text{sen } \varphi_o$$

$$I_T = [I_o^2 + E^2 10^4 \pi^2 10^{-12} C^2 - 2 I_o E 10^{-6} C 100 \pi \text{sen } \varphi_o]$$

Dibujar la gráfica que representa los valores anteriores tomando:

- eje X: C (μF)
- eje Y: I (A)

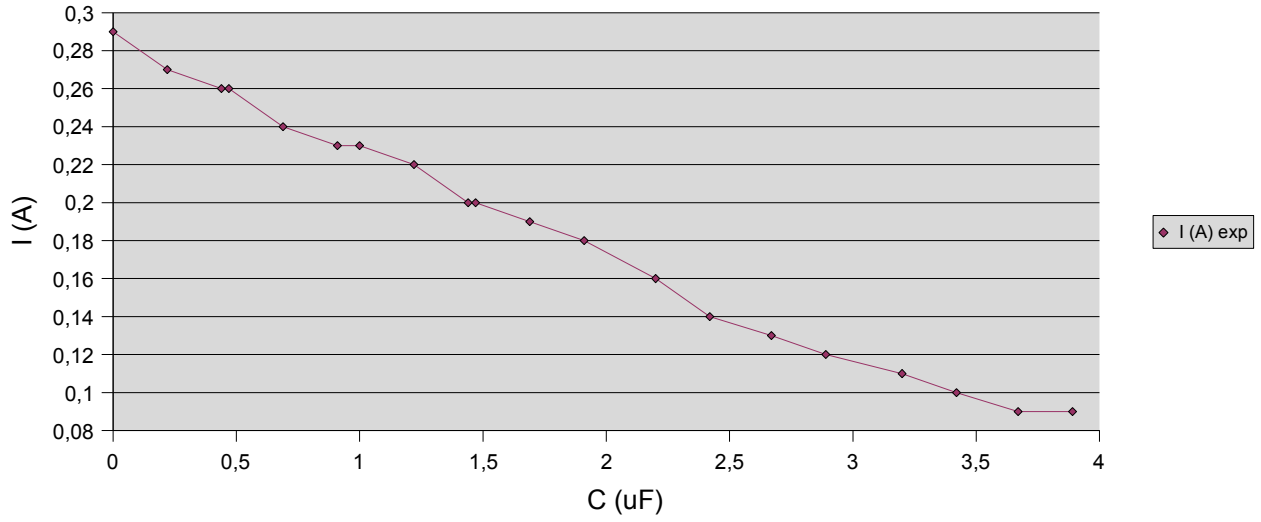
Sabiendo que $I_o = 0,29(A)$, $E = 230(V)$, $\text{sen } \varphi_o = 0,963$ podemos rellenar la siguiente tabla.

| C (μF) | I (A) exp | I (A) calc |
|---------------|-----------|------------|
| 0 | 0,29 | 0,290 |
| 0,22 | 0,27 | 0,275 |
| 0,44 | 0,26 | 0,260 |
| 0,47 | 0,26 | 0,257 |
| 0,69 | 0,24 | 0,242 |
| 0,91 | 0,23 | 0,227 |
| 1 | 0,23 | 0,221 |
| 1,22 | 0,22 | 0,206 |
| 1,44 | 0,20 | 0,192 |
| 1,47 | 0,20 | 0,190 |
| 1,69 | 0,19 | 0,176 |
| 1,91 | 0,18 | 0,161 |
| 2,2 | 0,16 | 0,143 |
| 2,42 | 0,14 | 0,130 |
| 2,67 | 0,13 | 0,117 |
| 2,89 | 0,12 | 0,105 |
| 3,2 | 0,11 | 0,092 |
| 3,42 | 0,10 | 0,085 |
| 3,67 | 0,09 | 0,080 |
| 3,89 | 0,09 | 0,078 |

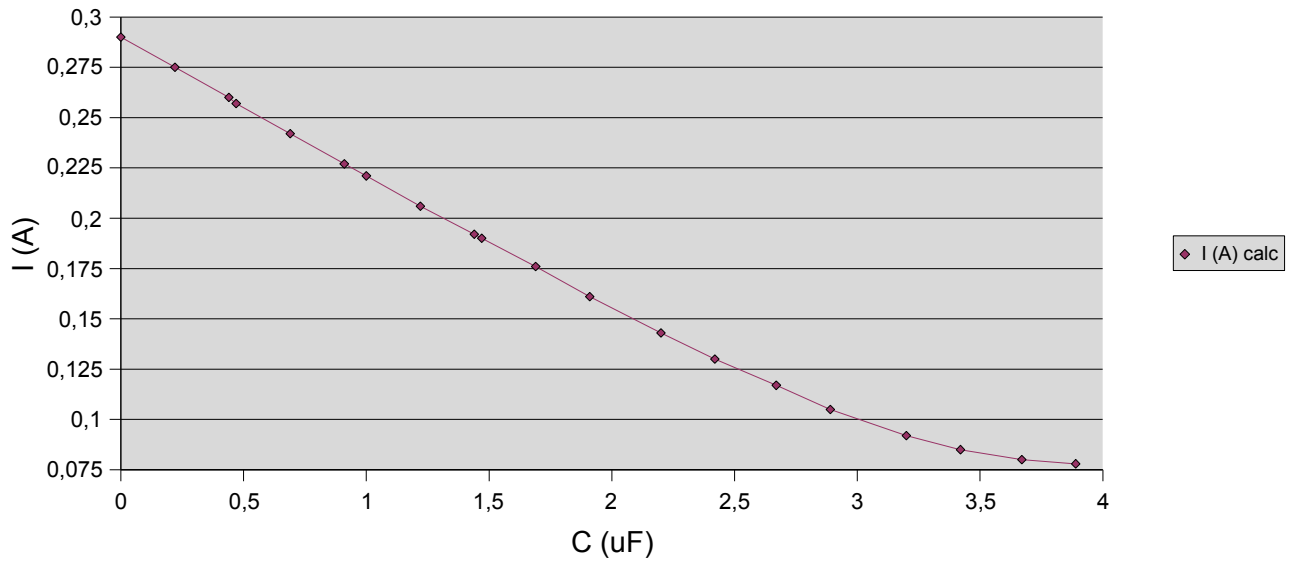
Ahora con la tabla anterior terminada procedo a representar los datos obtenidos en las siguientes gráficas, la primera con los datos obtenidos experimentalmente, la segunda con los calculados posteriormente y la tercera comparando los dos resultados.

En este caso se puede apreciar una disparidad de los datos experimentales respecto de los calculados. Cuando la capacidad es pequeña las dos intensidad son similares, pero si la capacidad aumenta vemos una mayor disparidad al igual que en el caso anterior.

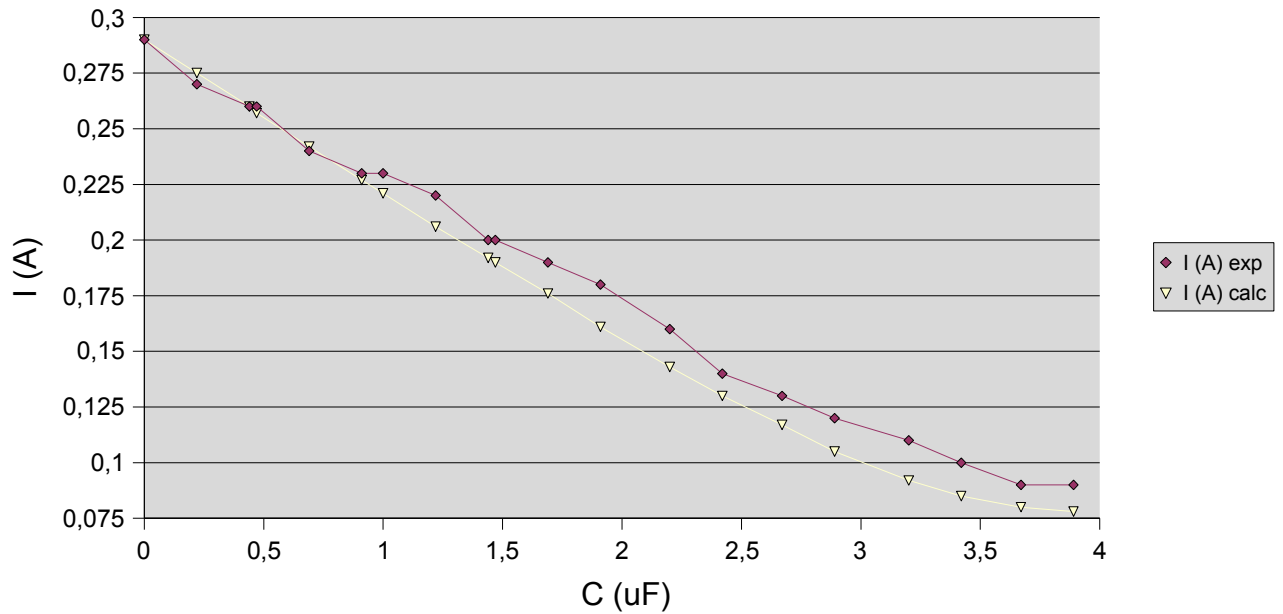
Experimental



Calculada



Comparación



Curva de factor de potencia en función de la capacidad

Con ayuda de los valores de la tabla se va a representar las curvas teórica y experimental del factor de potencia frente a la capacidad del condensador.

Como $I_o \cos \varphi_o = I_T \cos \varphi$, se tiene:

$$\cos \varphi = \frac{I_o \cos \varphi_o}{I_T}$$

Sustituyendo la expresión de I_T obtenida anteriormente:

$$\cos \varphi = \frac{I_o \cos \varphi_o}{[I_o^2 + E^2 10^4 \pi^2 10^{-12} C^2 - 2 I_o E 10^{-6} C 100 \pi \text{sen} \varphi_o]}$$

Dibujar la gráfica que representa los valores anteriores tomando:

- eje X: C (μF)
- eje Y: $\cos \varphi$

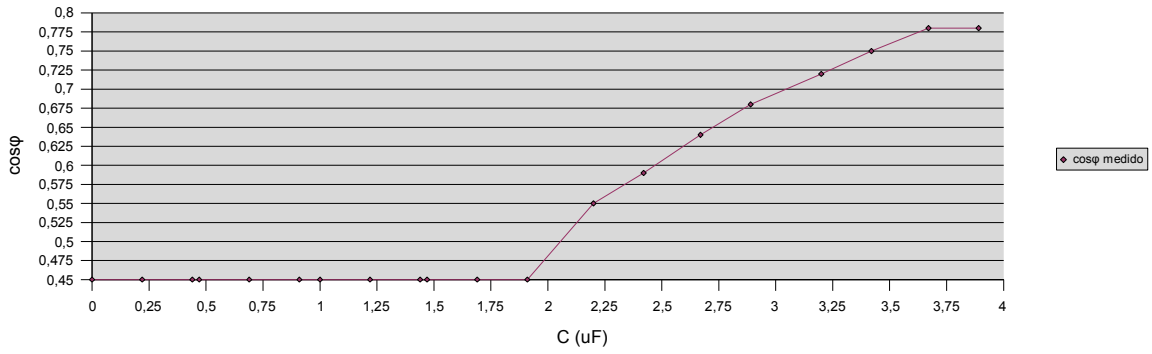
Sabiendo que $I_o = 0,29(A)$, $E = 230(V)$, $\text{sen} \varphi_o = 0,963$ y $\cos \varphi_o = 0,270$ calculamos:

| C (μF) | $\cos \varphi$ medido | $\cos \varphi$ experimental | $\cos \varphi$ calculado |
|---------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 0 | 0,45 | 0,270 | 0,270 |
| 0,22 | 0,45 | 0,290 | 0,285 |
| 0,44 | 0,45 | 0,301 | 0,302 |
| 0,47 | 0,45 | 0,301 | 0,304 |
| 0,69 | 0,45 | 0,326 | 0,323 |
| 0,91 | 0,45 | 0,340 | 0,344 |
| 1 | 0,45 | 0,340 | 0,354 |
| 1,22 | 0,45 | 0,356 | 0,379 |
| 1,44 | 0,45 | 0,391 | 0,408 |
| 1,47 | 0,45 | 0,391 | 0,412 |
| 1,69 | 0,45 | 0,412 | 0,446 |
| 1,91 | 0,45 | 0,435 | 0,485 |
| 2,2 | 0,55 | 0,489 | 0,546 |
| 2,42 | 0,59 | 0,559 | 0,600 |
| 2,67 | 0,64 | 0,602 | 0,672 |
| 2,89 | 0,68 | 0,652 | 0,744 |
| 3,2 | 0,72 | 0,711 | 0,853 |
| 3,42 | 0,75 | 0,783 | 0,926 |
| 3,67 | 0,78 | 0,870 | 0,985 |
| 3,89 | 0,78 | 0,870 | 1,000 |

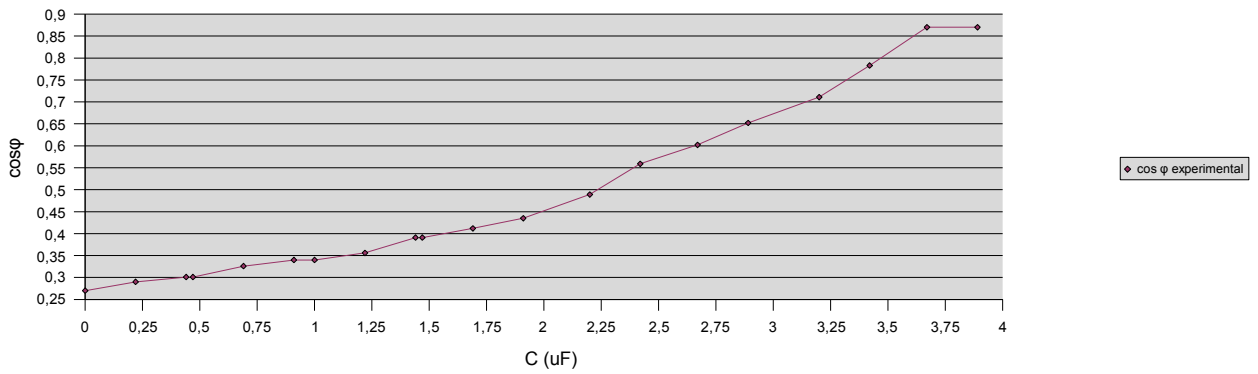
Ahora con la tabla anterior terminada procedo a representar los datos obtenidos en las siguientes gráficas, la primera con los datos obtenidos en el laboratorio, la segunda a partir de la I y E medidos, la tercera con los resultados del cálculo y una última comparando las 3.

Aquí se puede apreciar lo mismo que en el caso de la curva de intensidad respecto de la intensidad. Mientras que con valores de capacidad pequeños se mantienen similares. Al aumentar, los datos obtenidos calculados son mayores llegando hasta 1.

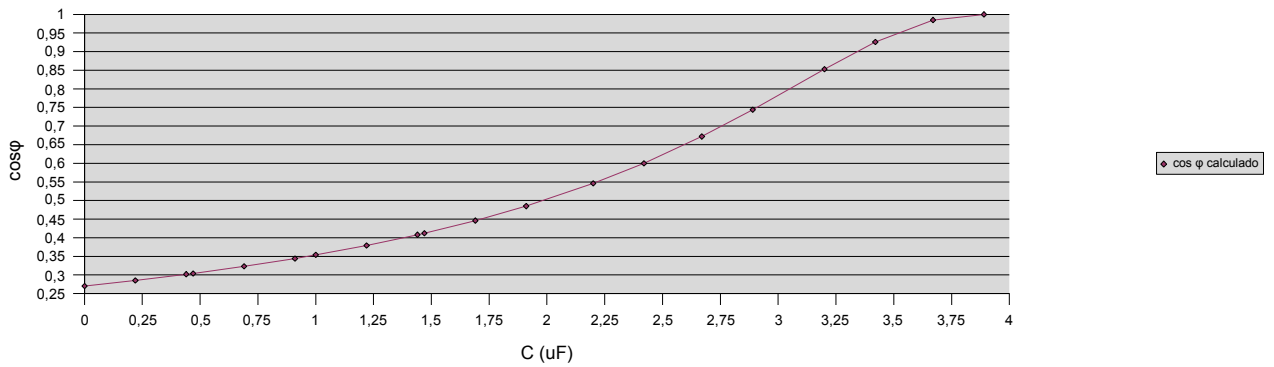
Medido



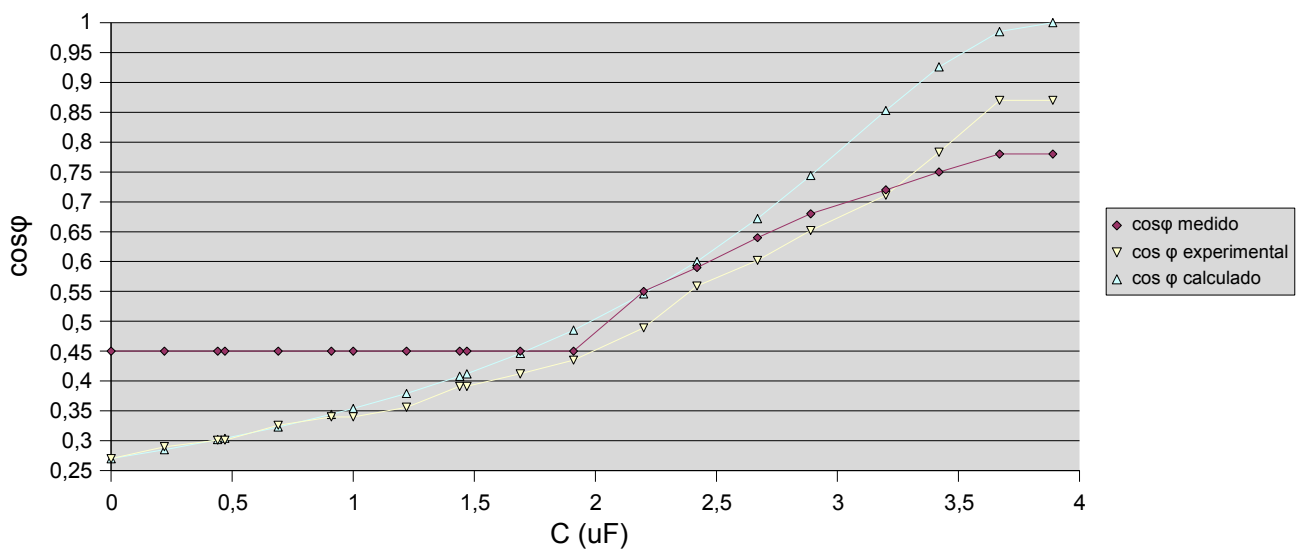
Experimental



Calculado

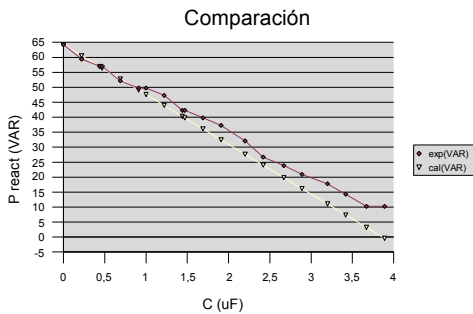


Comparación



Errores

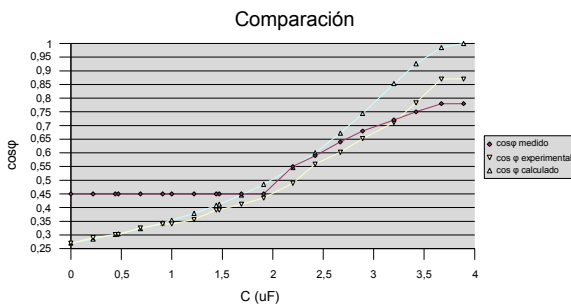
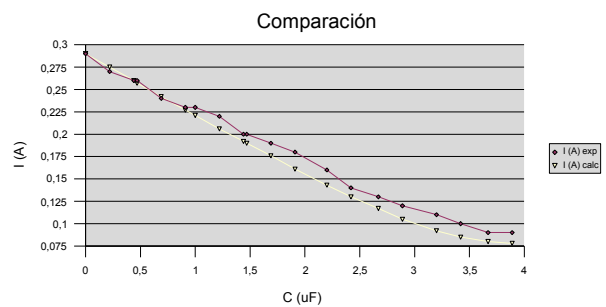
Para apreciar los errores, la forma más cómoda son las gráficas comparativas que a continuación expondré.



En esta gráfica se ve como la potencia reactiva calculada forma una línea recta mientras que la experimental con valores bajos de capacidad es muy similar. Pero según estos aumentan se alejan cada vez más debido a la imprecisión de los instrumentos al ir disminuyendo la intensidad que es lo que en realidad medimos para llegar a la potencia reactiva.

Aún así la diferencia no es despreciable pero tampoco preocupante.

Aquí comparamos la intensidad total del circuito con la capacidad de los condensadores. La intensidad total calculada forma una gráfica exponencial mientras que los valores experimentales se aproximan bastante. Pero al igual que en el primer caso, en los valores pequeños de la capacidad las dos permanecen igualadas hasta que divergen, permaneciendo ese error durante todo el intervalo.



La última gráfica refleja los valores del $\cos \phi$ medido con el fasímetro, el $\cos \phi$ calculado con los datos de la intensidad obtenidos durante el experimento y el $\cos \phi$ calculado.

Lo más destacable de todo son las medidas obtenidas con el fasímetro. En ellas se puede apreciar que hasta que no se llega a $2 (\mu F)$ la medida permanece constante debido a que el aparato de medición utilizado no podía llegar a medir valores de $\cos \phi$ por

debajo de 0,45. Así mismo cuando aumenta llega a un punto donde no puede medir más y se estanca en 0,78.

La diferencia entre el $\cos \phi$ experimental y el $\cos \phi$ calculado es, como en los dos casos anteriores, muy reducida para valores de capacidad pequeños y aumenta según los valores de capacidad son mayores. Aún así se puede apreciar el mismo tipo de curva en los casos experimental y el teórico.

En la siguiente página expongo en una hoja los errores entre los valores experimentales y los teóricos así como la media del error.

| $C (\mu F)$ | P'_{react} exp (VAR R) | P'_{react} cal (VAR) | Error P | I (A) exp | I (A) calc | Error I | cos φ experim ental | cos φ calculad o | Error cos |
|-------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| 0 | 64,225 | 64,230 | -0,005 | 0,29 | 0,290 | 0,000 | 0,270 | 0,270 | 0,000 |
| 0,22 | 59,434 | 60,574 | -1,140 | 0,27 | 0,275 | -0,005 | 0,290 | 0,285 | 0,005 |
| 0,44 | 57,027 | 56,919 | 0,108 | 0,26 | 0,260 | 0,000 | 0,301 | 0,302 | -0,001 |
| 0,47 | 57,027 | 56,419 | 0,608 | 0,26 | 0,257 | 0,003 | 0,301 | 0,304 | -0,003 |
| 0,69 | 52,183 | 52,763 | -0,580 | 0,24 | 0,242 | -0,002 | 0,326 | 0,323 | 0,003 |
| 0,91 | 49,743 | 49,107 | 0,636 | 0,23 | 0,227 | 0,003 | 0,340 | 0,344 | -0,004 |
| 1 | 49,743 | 47,611 | 2,132 | 0,23 | 0,221 | 0,009 | 0,340 | 0,354 | -0,014 |
| 1,22 | 47,290 | 43,955 | 3,335 | 0,22 | 0,206 | 0,014 | 0,356 | 0,379 | -0,023 |
| 1,44 | 42,332 | 40,299 | 2,033 | 0,20 | 0,192 | 0,008 | 0,391 | 0,408 | -0,017 |
| 1,47 | 42,332 | 39,800 | 2,532 | 0,20 | 0,190 | 0,010 | 0,391 | 0,412 | -0,021 |
| 1,69 | 39,821 | 36,144 | 3,677 | 0,19 | 0,176 | 0,014 | 0,412 | 0,446 | -0,034 |
| 1,91 | 37,282 | 32,488 | 4,794 | 0,18 | 0,161 | 0,019 | 0,435 | 0,485 | -0,050 |
| 2,2 | 32,097 | 27,668 | 4,429 | 0,16 | 0,143 | 0,017 | 0,489 | 0,546 | -0,057 |
| 2,42 | 26,699 | 24,012 | 2,687 | 0,14 | 0,130 | 0,010 | 0,559 | 0,600 | -0,041 |
| 2,67 | 23,875 | 19,857 | 4,018 | 0,13 | 0,117 | 0,013 | 0,602 | 0,672 | -0,070 |
| 2,89 | 20,923 | 16,201 | 4,722 | 0,12 | 0,105 | 0,015 | 0,652 | 0,744 | -0,092 |
| 3,2 | 17,779 | 11,049 | 6,730 | 0,11 | 0,092 | 0,018 | 0,711 | 0,853 | -0,142 |
| 3,42 | 14,318 | 7,393 | 6,925 | 0,10 | 0,085 | 0,015 | 0,783 | 0,926 | -0,143 |
| 3,67 | 10,222 | 3,238 | 6,984 | 0,09 | 0,080 | 0,010 | 0,870 | 0,985 | -0,115 |
| 3,89 | 10,220 | -0,418 | 10,638 | 0,09 | 0,078 | 0,012 | 0,870 | 1,000 | -0,130 |
| Media | | | 3,263 | | | 0,01 | | | -0,05 |

Como conclusión de los errores se puede decir que ha existido un cierto error pero que este no ha afectado en gran medida al experimento.

Comentarios

El transcurso del experimento fue sencillo, aún así tuvimos problemas con varias cosas como por ejemplo el fasímetro, donde, como se ha podido apreciar en la memoria, daba unos valores nada fiables por lo que tuvimos que usarlo de modo totalmente orientativo.

A la hora de hacer la memoria me surgieron problemas por la complejidad de algunas de las operaciones que he tenido que usar en las tablas, en particular me confundí al introducir una ecuación dando unos resultados imposibles. Una vez arreglada esa traba lo único complejo fue la realización de las tablas por la cantidad de variables que algunas contenían.

Conclusiones

En el transcurso de la práctica y de la memoria he ido entendiendo conceptos sobre corriente alterna antes desconocidos, en concreto el uso de los números complejos para llevar a cabo los cálculos en las mismas.

Así mismo he podido apreciar lo que significa el factor de potencia y como se puede bajar al igual que la razón por la cual las compañías eléctricas tanto se preocupan por él ya que, si se cuida el factor de potencia manteniéndolo en valores bajos, no necesitamos una intensidad total tan alta que al final desaprovechamos.

Por último he de decir que he aprendido a usar tablas de datos y gráficas con mayor soltura.