



**MATRIX**

**locktronics™**

### Three Phase Systems 2.0



**MATRIX**  
CP2980  
[www.matrixtsl.com](http://www.matrixtsl.com)  
Copyright © 2023 Matrix Technology Solutions Limited

	<b>Introducción</b>	3
Ficha 1	CA monofásica	4
Ficha 2	Corriente alterna trifásica	7
Ficha 3	Más fases básicas	9
Ficha 4	Ahora el Phaser	11
Ficha 5	Es una estrella	13
Ficha 6	Ahora el Delta	15
Ficha 7	Rectificación de media onda	17
Ficha 8	Rectificación de onda completa	19
Ficha 9	Suministro de energía	21
Ficha 10	Corrección del factor de potencia	23

## Seguridad

Al diseñar este producto, hemos prestado especial atención a los riesgos potenciales relacionados con el estudio de los motores eléctricos. Creemos que hemos desarrollado el diseño más seguro posible. Sin embargo, hay que tener en cuenta ciertos riesgos. En esta página se explica cómo hemos tenido en cuenta cada peligro. Debe leer esta información y asegurarse de que sus alumnos estén protegidos cuando utilicen el equipo.

### Descarga eléctrica

El riesgo es mínimo: la salida de la caja de control está limitada a 36 V CA o CC.

El dinamómetro es capaz de generar tensiones continuas. A velocidad máxima, aproximadamente 3000 rpm, la tensión generada es inferior a 30 V CC.

La unidad de control no genera energía hasta que se conecta un motor al dinamómetro. Esto impide el uso de motores de terceros con el sistema.

## Golpes físicos

El equipo es pesado. Al igual que con cualquier otro equipo de laboratorio pesado, si un alumno deja caer un aparato sobre su pie, puede causar daños considerables. Debe determinar el nivel de responsabilidad que deben asumir los alumnos en este caso.

Puede reducir los riesgos pidiendo a un técnico que instale el equipo en bancos y asegurándose de que los alumnos permanezcan sentados en sus pupitres mientras utilizan el equipo.

Las piezas giratorias expuestas suponen un peligro, ya que el pelo y la ropa pueden quedar atrapados en ellas. El uso de motores de potencia relativamente baja reduce el riesgo. La protección de plástico entre el dinamómetro, los submódulos y el motor sometido a prueba garantiza que no quede ninguna pieza giratoria expuesta.

### Normas de ensayo

UL 61010-1, 3.<sup>a</sup> edición, 11/05/2012  
CSA C22.2 n.º 61010-1:2018

## Atención:

**no utilice un osciloscopio de PC con el equipo.**

**Pueden circular corrientes de bucle de tierra entre su conexión a tierra y la de la caja de control.**

La electricidad "de red" se distribuye tradicionalmente en corriente alterna. Las razones para ello son:

- los alternadores que generan electricidad en las centrales eléctricas son más ligeros y baratos que los generadores equivalentes de corriente continua;
- los transformadores pueden aumentar o disminuir la tensión, lo que permite una transmisión eficaz de la energía eléctrica a alta tensión (y baja corriente) a grandes distancias.

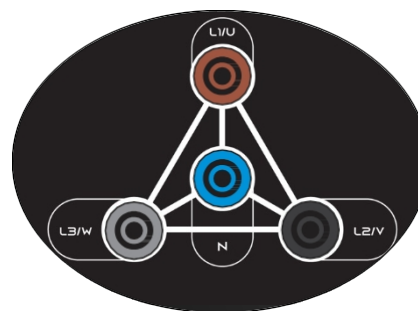


### A tu disposición:

En esta ficha se estudian aspectos de la corriente alterna monofásica, utilizando la señal obtenida de una salida del generador trifásico.

### Configuración del equipo

- Software: Ejecute la Aplicación Matriz Trifásica (indicada con "Aplicación" y "Comunicaciones" en verde claro).
- Requisitos del circuito: Para este ejercicio no es necesario configurar ningún circuito físico o virtual.



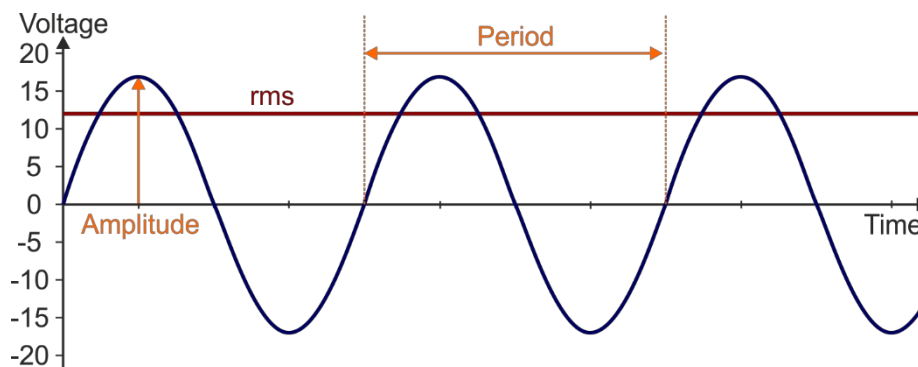
### Procedimiento: Parte A: Configuración 50 Hz, 8 V RMS

- Ajuste de la frecuencia:
  - Ajuste la frecuencia del generador a 50 Hz utilizando uno de los siguientes métodos:
    - Arrastre el control deslizante de frecuencia a 50 Hz.
    - Haga clic en el botón "Ajustar frecuencia", introduzca 50 y confirme.
- Ajuste de tensión:
  - Ajuste la amplitud a 8 V RMS utilizando uno de los siguientes métodos:
    - Arrastre el control deslizante de tensión hasta 8 V. o
    - Haga clic en el botón "Ajustar tensión", introduzca 8 y confirme.
- Active el Generador:
  - Pulse el botón Ejecutar (el estado se vuelve verde).
- Configuración de las propiedades del componente:
  - Habilite "Tensión U" (ajuste a Sí).
  - Desactive todas las demás visualizaciones de tensión y corriente (ajuste en No).
- Captura de datos:
  - Pulse el botón Capturar para grabar la traza de salida de CA.
- Guardar datos:
  - La aplicación guarda automáticamente los datos en un archivo CSV.
  - También puede hacer una captura de pantalla.
- Parar y reiniciar:
  - Haga clic en Detener para detener la salida del generador.
  - Haga clic en Borrar para restablecer la pantalla de la aplicación.

## Procedimiento: Parte B: Configuración de 200 Hz, 12 V RMS

- Ajuste de frecuencia:
  - Ajuste la frecuencia del generador a 200 Hz utilizando uno de los siguientes métodos:
    - Arrastre el control deslizante de frecuencia a 200 Hz.
    - Pulse el botón "Ajustar frecuencia", introduzca 200 y confirme.
- Ajuste de tensión:
  - Ajuste la amplitud a 12 V RMS utilizando uno de los siguientes métodos:
    - Arrastre el control deslizante de tensión hasta 12 V.
    - Haga clic en el botón "Ajustar tensión", introduzca 12 y confirme.
- Active el Generador:
  - Pulse el botón Ejecutar (el estado se vuelve verde).
- Configuración de las propiedades del componente:
  - En el menú Propiedades del componente:
    - Habilite "Tensión U" (ajuste a Sí).
    - Desactive todas las demás visualizaciones de tensión y corriente (ajuste en No).
- Captura de datos:
  - Haga clic en el botón Capturar para grabar la traza de salida de CA.
- Guardar datos:
  - La aplicación guarda automáticamente los datos en un archivo CSV.
  - También puede hacer una captura de pantalla.
- Parar y reiniciar:
  - Haga clic en Detener para detener la salida del generador.
  - Haz clic en Borrar para restablecer la pantalla de la aplicación.

## ¿Y qué?



- Amplitud - la tensión máxima de la señal.
- Periodo - el tiempo necesario para producir un ciclo de la onda, (es decir, 1 pico más 1 depresión)  
- medido en segundos.
- Frecuencia - número de ciclos de la onda producidos por segundo;  
- Se mide en hercios. (1 Hz significa que se produce un ciclo cada segundo.) La relación entre ambos es:

$$\text{Frecuencia} = 1 / \text{período}$$

## Suministro de energía:

A veces, una fuente de CA suministra cero voltios. Otras veces, suministra valores más altos o más bajos. Un hecho inútil: ¡la tensión media de una fuente de CA (cualquier fuente de CA) es cero! Esto NO significa que las fuentes de CA no hagan nada, ¡ni mucho menos! - la potencia media suministrada NO es cero. (Para una resistencia, R, la potencia suministrada =  $V^2 / R$ , es decir, depende de la tensión al cuadrado). Por lo tanto, la tensión puede ser negativa, pero la potencia suministrada sigue siendo positiva. Una tensión negativa significa simplemente que la corriente fluye en sentido contrario.)

Para una alimentación de CA, una medida más significativa que la tensión media es la tensión eficaz. Aunque significa "tensión cuadrática media", es mejor considerarla como la tensión continua que suministraría la misma potencia a una carga.

Para una señal senoidal, la tensión de pico y la tensión eficaz están relacionadas:

$$V_{rms} = 0,707 \times V_{pico}$$

Amplitud en V	Periodo en s	Frecuencia en Hz

# Ficha 2

## Corriente alterna trifásica

La energía eléctrica se transmite por todo el país utilizando un sistema trifásico, en lugar de uno monofásico, debido a varias ventajas:

- Requiere menos cobre para los cables de transmisión.
- Suministra una potencia más suave, reduciendo las vibraciones del motor.
- Los alternadores trifásicos son más pequeños y ligeros que sus equivalentes monofásicos.
- Admiten dispositivos monofásicos y trifásicos, a diferencia de los suministros monofásicos.

Esta hoja de trabajo cubre los fundamentos de la distribución de energía trifásica.



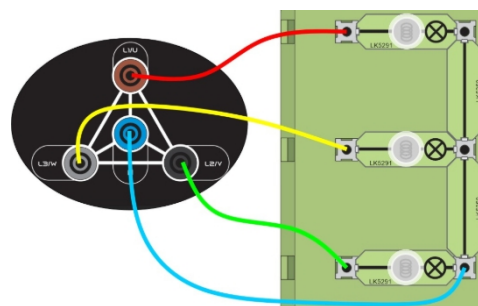
### No utilice el osciloscopio del PC

#### A tu disposición:

Esta investigación explora por qué un sistema "trifásico" se llama así. Consta de dos experimentos: uno a baja frecuencia utilizando lámparas y otro a una frecuencia más alta.

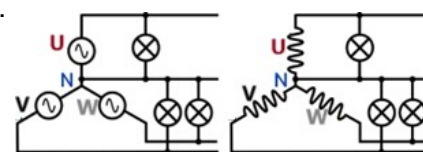
#### Experimento 1: Observación a baja frecuencia (0 Hz)

- Equipo necesario:
  - Tres bombillas MES de 12 V con portalámparas
  - Generador trifásico
  - Software Matrix Three Phase



#### 1 Procedimiento:

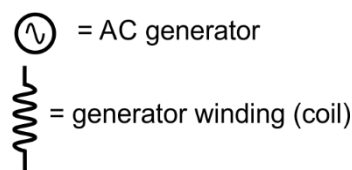
- Montar el circuito utilizando las tres bombillas MES de 12V y sus soportes.
- Ajuste los parámetros del generador trifásico, utilizando App, como sigue:
  - Frecuencia: **2Hz** (fija)
  - Amplitud: **10V**
- Enciende el generador y observa las bombillas.
  - Observa que las bombillas no están ni totalmente sincronizadas ni totalmente desincronizadas.
  - Cada bombilla alcanza su brillo máximo en momentos diferentes.
    - En el software Matrix Trifásico
- Haga clic en **Capturar** para registrar los datos.
  - Observe el **eje x** para determinar el tiempo necesario para un ciclo completo.
  - En **las Propiedades de configuración de los componentes**, establezca:
    - **Tensión U, Tensión V, Tensión W:** Sí
    - **Corriente U, Corriente V, Corriente W:** No
- Haga clic en **Borrar** para restablecer el gráfico.



#### 1 Experimento 2: Observación de alta frecuencia (25 Hz)

#### 2 Procedimiento:

- Repita la configuración del Experimento 1.
- Ajuste la configuración del generador trifásico:
  - Frecuencia: **25Hz**
  - Amplitud: **10V**
- Enciende el generador y observa de nuevo las bombillas.



# Ficha 2

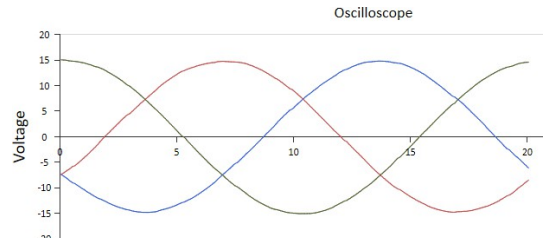
## Corriente alterna trifásica

### Análisis y observaciones:

- Compara el comportamiento de las bombillas a 2Hz y 25Hz.
- Observa cómo afecta la relación de fase al patrón de iluminación.
- Analiza las formas de onda registradas en el software Matrix Trifásico.

### ¿Y qué?

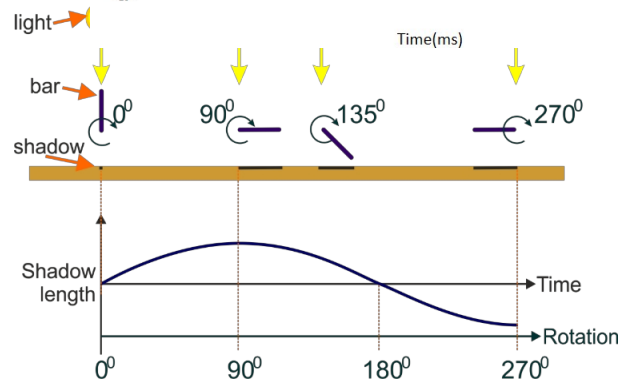
El diagrama del lado opuesto ilustra una salida típica de la aplicación. Cada fase, representada en diferentes colores, tiene un periodo de tiempo idéntico de 20 ms (correspondiente a 50 Hz). Los picos de estas fases se producen a intervalos de  $20/3 \approx 6,67$ ms, lo que corresponde a una fase.



### Ángulo de fase:

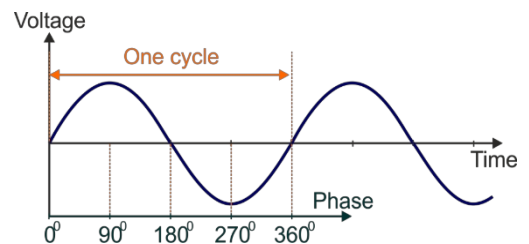
Imagina una barra que gira alrededor de un extremo. Sobre ella, una luz brilla hacia abajo, creando una sombra de la barra.

A medida que la barra gira, la sombra se alarga, luego se acorta, luego se reduce a cero, luego se alarga en la otra dirección, y así sucesivamente. A medida que la barra sigue girando, la secuencia de sombras se repite. Una rotación completa de la barra crea un ciclo de la secuencia.



Podemos utilizar la misma idea para describir la fase en señales de tensión alterna. En este caso, el punto inicial y el punto final de un ciclo de la señal están separados por una diferencia de fase de 360°.

Utilizando la información anterior, un ciclo de cada fase dura 20 ms, por lo que los puntos que están separados 20 ms tienen un ángulo de fase de 360 entre ellos. Los picos de las tres fases están separados por 6,66 ms. En otras palabras, las fases están separadas por ángulos de fase de  $(360/20) \times 20/3 = 120$ .



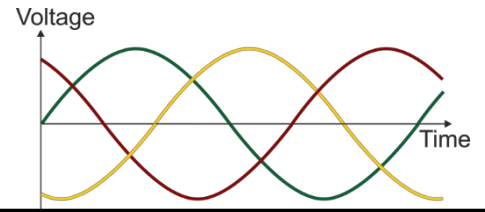
# Ficha 3

## Más conceptos básicos sobre las fases

Es complicado.

Las tensiones y corrientes cambian de tamaño y dirección con el tiempo. Parece que hay tres fuentes distintas, todas con picos en momentos diferentes.

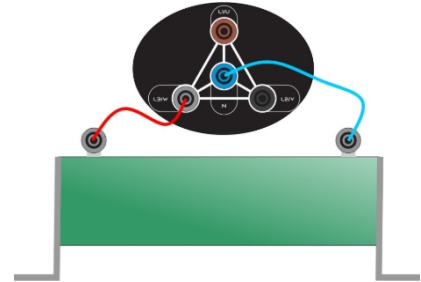
Necesitamos una palabra para describir todo esto: fase.



### No utilice el osciloscopio del PC

#### Te toca a ti:

Estas investigaciones se centran en la relación entre la corriente y la tensión en tres tipos diferentes de carga: resistiva, capacitiva e inductiva. La carga inductiva se crea uniendo en serie las bobinas del motor trifásico.



- Construye el circuito que se muestra al lado.  
Esta vez controlaremos la tensión alterna a través de la resistencia de  $2,7\Omega$  y la corriente que circula por ella.
- **Comprueba que el generador trifásico está ajustado a la salida '6V' @ 50 Hz, ¡la resistencia de  $2,7\Omega$  se sobrecalentará!**
- Haga clic en "Ejecutar".
- Haga clic en "Capturar" para obtener un trazado que compare la tensión alterna a través de la resistencia con la corriente que circula por ella.
- Obtener captura de pantalla
- Observe que las dos señales de CA (la tensión a través de la resistencia y la corriente que la atraviesa) están sincronizadas (en fase).
- Apaga el generador trifásico.

#### Un reto:

Utilizando el mismo enfoque, modifica el circuito para obtener trazas de tensión y corriente para:

- un condensador de  $1100\mu\text{F}$ ;
- un inductor, fabricado utilizando una de las bobinas del motor.

# Ficha 3

## Más conceptos básicos sobre las fases

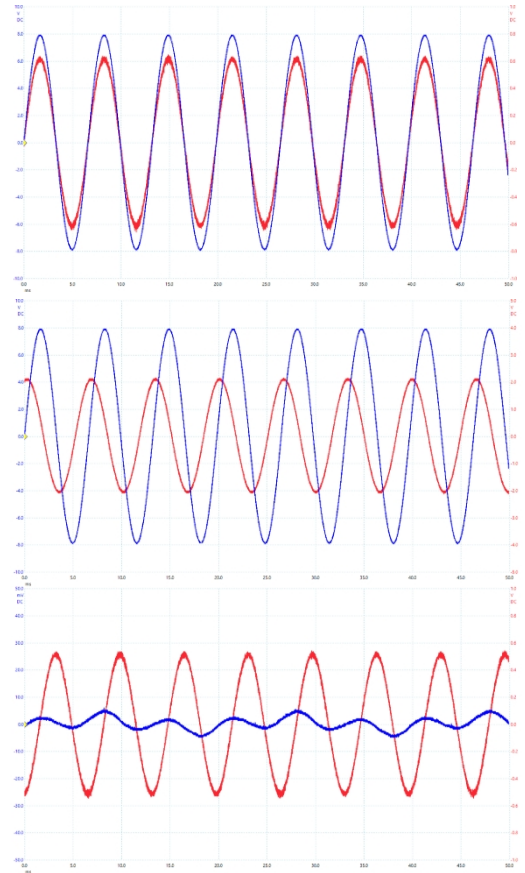
### ¿Y entonces?

Al lado se muestra una traza típica de osciloscopio para la resistencia.

El trazo rojo indica la corriente que fluye a través de la resistencia y el trazo azul el voltaje a través de ella. Suben y bajan de forma escalonada. Están en fase.

Cuando modificó el circuito para investigar los otros componentes, debería haber obtenido trazas como las que se muestran al lado.

- En el condensador, la corriente alcanza su valor máximo cuando la tensión es cero.
- En el inductor, la tensión alcanza su valor máximo cuando la corriente es cero.



### Ángulo de fase:

Utilizando los ángulos de fase, podemos refinar nuestras afirmaciones anteriores:

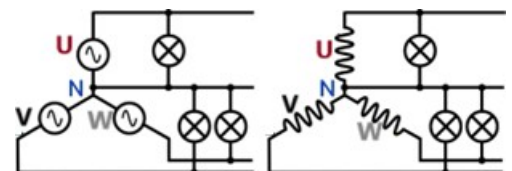
- En un condensador, la señal de corriente adelanta a la señal de tensión en un ángulo de fase de  $90^\circ$ .
- En el inductor, la tensión precede a la corriente en un ángulo de fase de  $90^\circ$ .

### Tensión de fase frente a tensión de línea:

Al hablar de sistemas trifásicos, se utilizan dos medidas diferentes de tensión: tensión de fase y tensión de línea.

- Tensión de fase: medida entre un terminal de fase y el terminal común ("N").
- Tensión de línea: medida entre una fase y otra fase.

El circuito que has montado antes mide las tensiones de fase.



# Ficha 4

## Y ahora el faser

Es aún más complicado de lo que pensábamos. Hemos visto que la corriente que circula por el componente puede no estar en fase con la tensión que lo atraviesa. Y lo que es peor, ¡el tamaño y la dirección de ambas cambian con el tiempo! El lenguaje de la corriente alterna se amplía con la introducción del faser (no el "faser", que pertenece a "Star Trek"). La hoja de ejercicios comienza con el motor trifásico, con una alimentación trifásica y luego con una monofásica, para pasar después a los fasores y su interpretación.

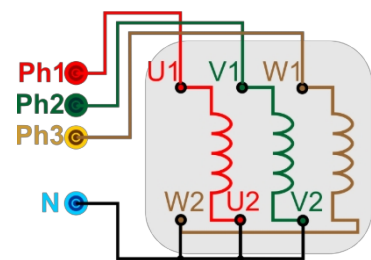


### No utilices el osciloscopio del PC

#### A tu disposición:

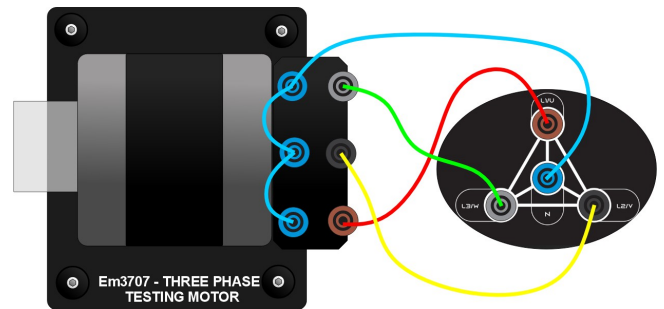
##### Alimentación trifásica:

- Construye el primer circuito, que se muestra al lado.
- Ajuste la frecuencia a 50 Hz y la amplitud a 6V.
- Conecta la alimentación trifásica.



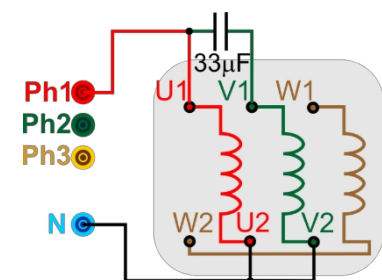
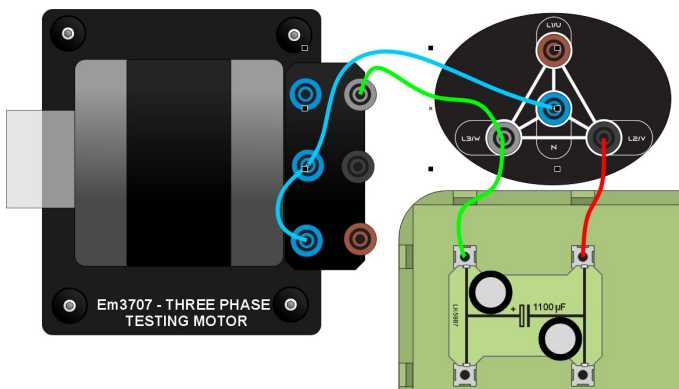
#### Desafíos:

Investiga qué ocurre cuando cambias las conexiones de fase del motor o dejas una desconectada. ¿Cómo invertir el sentido de giro?



##### Alimentación monofásica:

- Construye el segundo circuito, que se muestra al lado. Utiliza sólo una fase de la alimentación para accionar dos conjuntos de bobinas, la bobina "U" y la bobina "V", (si están configuradas como en el diagrama). El condensador añade un desplazamiento de fase entre los suministros a las dos bobinas.
- Con la frecuencia de 50 Hz y la amplitud de 11 V, encienda el motor.
- Cuando el motor esté en marcha, desconecte uno de los cables del condensador. Debería seguir funcionando.



# Ficha 4

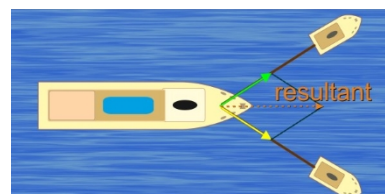
## Y ahora el fasor

### ¿Y ahora qué?

Para entender los circuitos de CA que contienen condensadores e inductores, es necesario entender los fasores. El primer paso es estudiar los vectores:

**Vectores:** las magnitudes vectoriales, como las fuerzas y las velocidades, sólo se describen completamente cuando se indican tanto el tamaño como la dirección. Combinarlas no es sencillo.

Por ejemplo, el diagrama muestra dos remolcadores tirando de un barco. La fuerza ejercida por cada remolcador se muestra como una flecha.



- Su longitud representa el tamaño de la fuerza;
- su dirección es el sentido de la fuerza.

Para hallar la fuerza total (**resultante**), completa el paralelogramo y construye la diagonal, como se muestra. Su longitud da el tamaño de la fuerza resultante; su dirección, el sentido de la fuerza resultante.

**Fasores** - La corriente y la tensión tienen tamaño y dirección, como los vectores, ¡pero cambian con el tiempo! También pueden representarse mediante flechas, pero éstas giran.

La longitud de la componente horizontal indica el tamaño de la tensión o la corriente en ese instante. A medida que el fasor gira, aumenta hasta un máximo, disminuye hasta cero, aumenta y así sucesivamente (como la barra giratoria de la ficha 2).



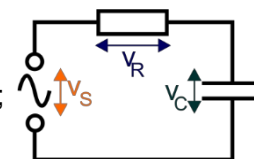
del diagrama, la corriente fluye hacia la derecha, por ejemplo, y cuando la componente está en el lado izquierdo, fluye hacia la izquierda.

fluye hacia la izquierda.

**Combinación de fasores:** también se utiliza la regla del paralelogramo, pero la corriente es "arrastrada" por varias tensiones.

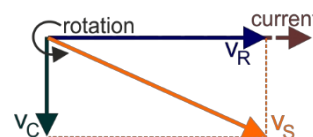
Por ejemplo, en el circuito descrito en el diagrama de al lado:

- la tensión de alimentación,  $V_s$ , se reparte entre la resistencia y el condensador;
- la corriente a través de ambos es la misma ya que están en serie;
- la corriente está en fase con la tensión de la resistencia,  $V_R$ , pero adelanta a la tensión del condensador,  $V_C$ , en  $90^\circ$ .



Esto conduce al diagrama fasorial opuesto. (Las longitudes de  $V_R$  y  $V_C$  son arbitrarias). Aunque todos los fasores giran, (a la frecuencia de alimentación,) el diagrama muestra la situación cuando la corriente es máxima.

- Comprueba el diagrama para asegurarte de que puedes ver la información sobre  $V_R$ ,  $V_C$  y la corriente. La regla del paralelogramo vectorial da  $V_s$  como la resultante de  $V_R$  y  $V_C$ .
- Para tu información:



Describe cómo un fasor de corriente contiene información sobre su tamaño y dirección.

Copia el esquema del circuito y el diagrama fasorial anteriores. Explica la relación entre ambos.

Se añade un inductor puro (sin resistencia) en serie con la resistencia y el condensador. Dibuja el esquema y el diagrama fasorial del nuevo circuito. Elige tamaños iguales para  $V_C$  y  $V_L$ . (Cuando se suman, se anulan mutuamente).

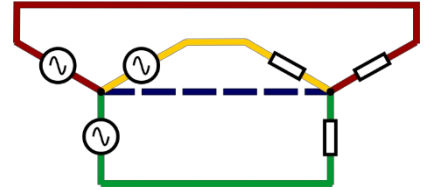
# Ficha 5

¡Es una estrella!

Hay dos formas de conectar cargas y suministros trifásicos: en estrella (o "Wye", por su parecido con la letra "Y") y en triángulo.

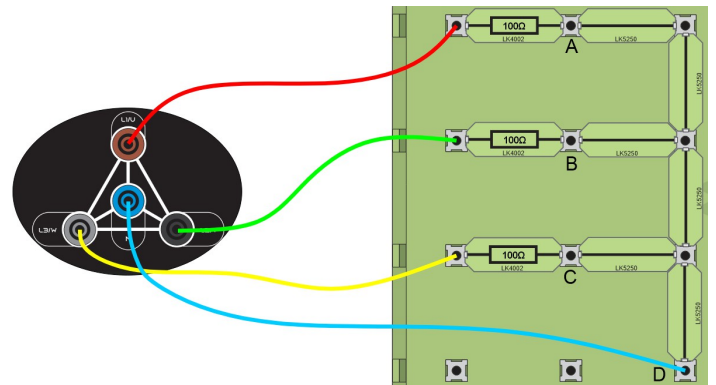
El diagrama muestra una alimentación trifásica conectada en estrella que impulsa una carga configurada en estrella.

En la configuración en estrella, hay un punto "neutro", donde todas las fases o cargas están conectadas entre sí.



## No utilice el osciloscopio del PC:

- Construye el circuito que se muestra al lado.
- En el generador trifásico, ajusta la frecuencia a 60 Hz y la amplitud a 10 V y enciéndelo.



## Tensiones en una configuración en estrella:

Tensiones de fase:

- Mide con un multímetro la tensión alterna medir la tensión de fase "marrón",  $V_U$ , a través de la resistencia superior.
- Del mismo modo, mida la tensión de fase "negra",  $V_V$ , a través de la resistencia central y la tensión de fase "gris",  $V_W$ , a través de la inferior.
- Introduce todos los valores en la tabla.

Tensiones de línea:

- Con los mismos ajustes, mida la tensión de línea,  $V_{UV}$ , entre la fase 'Marrón' y la fase 'Negra'.
- Mida también las tensiones de línea  $V_{VW}$  y  $V_{UW}$ .
- Introduce todos los valores en la tabla.

## Corrientes en una configuración en estrella:

- Retire el eslabón de conexión A. Con un multímetro en el ajuste de corriente alterna, mida la corriente de fase  $I_U$  e introduzca el resultado en la tabla.
- Sustituya la conexión A.
- Mida del mismo modo las corrientes de fase  $I_V$  e  $I_W$ .
- Introduzca sus valores en la tabla.
- Retire el punto de conexión D. Mida la corriente en el conductor neutro,  $I_N$  e introduzca su valor en la tabla.

# Ficha 5

¡Es una estrella!



## ¿Cuáles son?

**Tensiones de fase** - Las magnitudes de las tres tensiones de fase son prácticamente idénticas.

Esto se debe a la forma en que está construido el generador trifásico.

**Tensiones de línea** - La teoría predice la relación:

$$\text{Tensión de línea} = \sqrt{3} \times \text{Tensión de fase}$$

## Corriente en una configuración en estrella -

Este circuito tiene la fuente de alimentación trifásica conectada en estrella y las cargas conectadas en estrella. Los puntos neutros de cada estrella están conectados entre sí. En este caso, la carga se conoce como **carga equilibrada**, ya que la impedancia (en este caso resistencia) en cada fase es idéntica ( $1k\Omega$ ).

- Como puede verse en el circuito, la corriente de fase y la corriente de línea son idénticas.
- Observa que las corrientes en las tres fases son idénticas, lo cual no es sorprendente, ya que las tensiones de fase son idénticas y las cargas son idénticas.
- Lo que puede sorprender es el valor de la corriente en el conductor neutro:  
¡prácticamente cero! Es el resultado de las diferencias de fase entre las corrientes.
  - No están en fase.
  - No alcanzan los máximos a la vez.
  - No suman aritméticamente.

## Para que lo tengas en cuenta:

- Dibuja el esquema del sistema que has construido para esta investigación.
- Resume los resultados del apartado anterior.
- Explica el misterio de la "corriente desaparecida" cuando se utiliza una carga equilibrada.  
¿Adónde ha ido a parar?
- Explica por qué la electricidad se transmite normalmente utilizando un sistema de cuatro hilos, en lugar de uno de tres.  
de tres hilos.

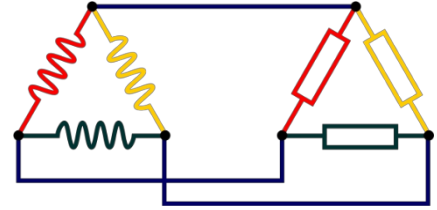
# Ficha 6

## Sobre el delta

La otra forma de configurar circuitos trifásicos es utilizar la conexión 'delta', (llamada así por la similitud de la forma con la letra griega 'delta' ( $\Delta$ )).

El diagrama muestra una fuente de alimentación trifásica, conectada en configuración delta a una carga, también en configuración delta.

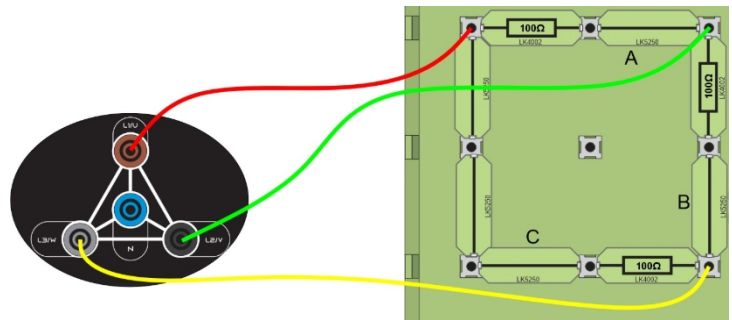
Esta vez, no hay punto neutro, y sólo tres hilos conectan la fuente de alimentación y la carga.



### No utilices el osciloscopio del PC

#### Te toca a ti:

- Construye el circuito que se muestra al lado. Es posible que la conexión en triángulo no resulte obvia a primera vista. Compárela con el esquema del circuito siguiente:
  - las fases están conectadas entre sí a través de cargas de  $100\Omega$ ;
  - las tres resistencias de carga están conectadas en bucle.

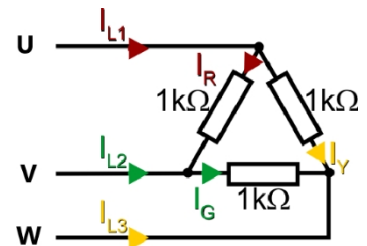


- En el generador, ajuste la frecuencia a 50 Hz y la amplitud a 6 V y enciéndalo.

#### Tensiones en configuración delta:

Como puede verse en el diagrama, la tensión de fase y la tensión de línea son ahora idénticas.

- Utiliza un multímetro para medir las tensiones de línea a través de las tres cargas de  $100\Omega$  y anótalas en la tabla.



#### Corrientes en configuración triángulo:

- Retire el enlace de conexión A. Con el multímetro en el rango de CA, mida la corriente de fase,  $I_1$ , a través de la resistencia de  $100\Omega$  conectada entre las fases **U** y **V**.
- Anote el resultado en la tabla.
- Sustituya la conexión A. A continuación, mida las corrientes de fase  $I_2$  e  $I_3$ . Introduzca sus valores en la tabla.
- Retire el cable rojo que conecta **U** a la carga.
- Sustitúyalo con el multímetro y lea la corriente de línea  $I_{L1}$ . Introduce su valor en la tabla.
- Haga lo mismo para las otras dos corrientes de línea,  $I_{L2}$  e  $I_{L3}$ .

## En una configuración delta:

Tensión de línea = Tensión de fase

Corriente de línea =  $\sqrt{3}$  x Corriente  
de fase

## Un reto

- Conecta el motor trifásico utilizando una configuración en triángulo:
  - conectar las tres bobinas en formación delta - U2 a V1, V2 a W1 y W2 a U1.
  - conectar las tres fases a U, V y W de la caja trifásica

# Ficha 7

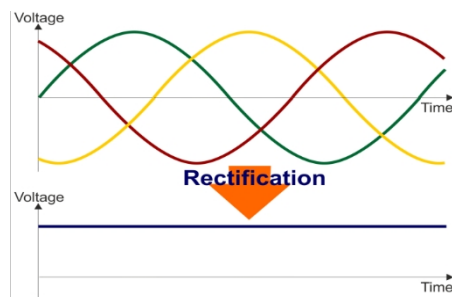
## Rectificación de media onda

Algunos dispositivos eléctricos requieren una alimentación de CC y no funcionan con CA.

La rectificación es el proceso de convertir una alimentación de CA en CC. Se basa en el hecho de que los diodos permiten que la corriente apreciable fluya en una sola dirección. Comparación entre trifásica rectificada y monofásica:

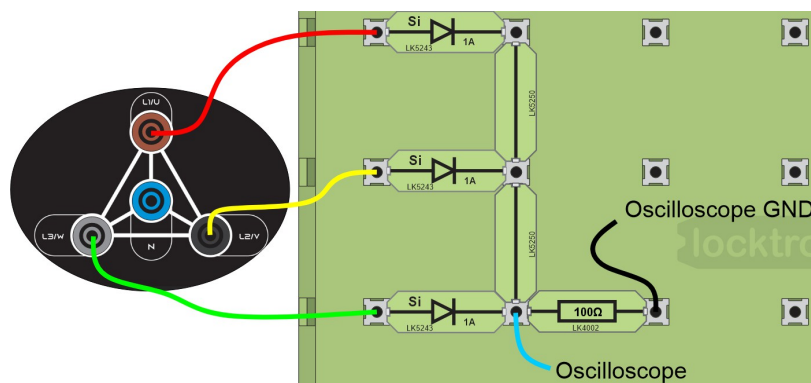
La ventaja es que el resultado es mucho más suave.

La desventaja es que requiere más diodos para lograrlo.



### No utilice el osciloscopio del PC:

- Construye el circuito que se muestra al lado. (El esquema del circuito se da debajo). Utiliza el generador trifásico, en configuración de estrella, para conducir corriente a través de una carga de  $100\Omega$ . Cada fase tiene un diodo en serie para asegurar que la corriente fluya sólo en un sentido a través de la carga.



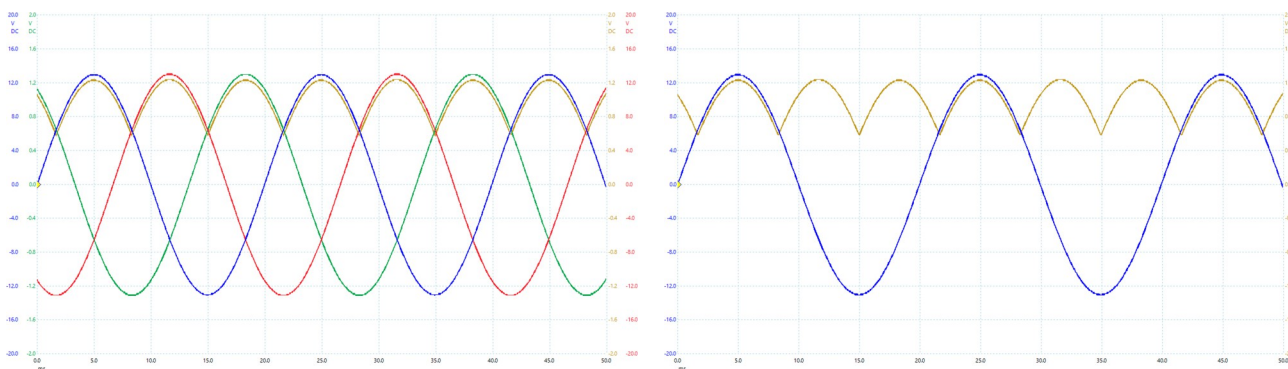
- Observe la pinza de masa del osciloscopio.
- En el generador trifásico, ajuste :
  - la frecuencia a 50Hz;
  - la amplitud a 6V.
- Utilice los siguientes ajustes del osciloscopio: Base de tiempo 5ms/div  
Canales A, B, C y D Auto  
Disparo Auto  
Umbral 0V  
Pre-disparo 0%
- Encienda el generador trifásico.
- Para ver más claramente lo que ocurre, apague los canales B y C en el osciloscopio y obtén otra traza, mostrando las salidas en los canales A y D, es decir, una fase de entrada y la salida.

# Ficha 7

## Rectificación de media onda

### ¿Y entonces?

Los diagramas muestran señales típicas. La salida rectificada está en el canal D, que se muestra en dorado.

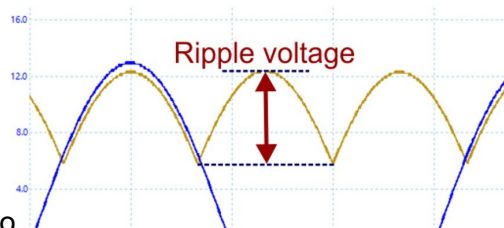


Observa que se sitúa por debajo de la señal de fase de CA correspondiente. Esto se debe a la caída de 0,7 V (aprox.) a través de un diodo de silicio conductor. El trazo es siempre positivo, por lo que se trata de una señal de CC, aunque no de CC suave.

En un ciclo de CA, hay tres picos en la señal rectificada, uno para cada una de las tres fases. Esto indica que sólo se trata de una rectificación de media onda

- se ignora el semiciclo negativo de cada fase. (¡Compara esto con la siguiente hoja de trabajo!)

La variación de la tensión de salida (a través de la carga) se conoce como tensión de ondulación.

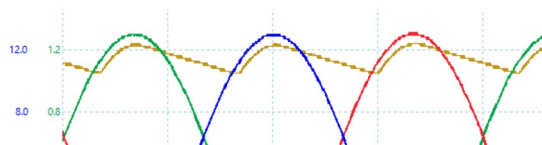


### Desafíos -

- Conecte un condensador no electrolítico de 1200uF en paralelo con la carga de 33Ω.
- Obtenga nuevas trazas de osciloscopio para ver el efecto sobre la tensión de rizado.

Una salida típica se muestra al lado.

Observe la reducción del rizado.



# Ficha 8

## Rectificación de onda completa

Un uso común de la rectificación es en los vehículos de motor. Estos generan electricidad trifásica mediante alternadores, que son más pequeños y ligeros que los generadores de CC equivalentes, El alternador lleva incorporado un rectificador de onda completa. En la hoja de ejercicios anterior se analizó la rectificación de media onda, que da lugar a una tensión de salida de CC, pero con una tensión de ondulación. Esto es a menudo indeseable, ya que puede causar "zumbidos" audibles en los equipos de audio y efectos espurios en los sistemas digitales.



### No utilice el osciloscopio del PC

#### A su disposición:

- Construya el circuito que se muestra al lado. Fíjate en la pinza de masa del osciloscopio.

**Asegúrese de que todos los diodos están conectados correctamente. Y el Neutro no está Conectado**

Cuando se utiliza un osciloscopio para observar un sistema trifásico con un rectificador de onda completa, no se puede ver directamente tanto la salida del rectificador como las formas de onda de cada fase junto con el neutro, junto con el neutro al mismo tiempo, porque la salida del rectificador es flotante, no está referenciada al neutro. Para observar correctamente el sistema En primer lugar, conecte las sondas del osciloscopio con respecto al neutro para medir y verificar las formas de onda trifásicas y comprobar la frecuencia de alimentación. A continuación, desconecte la referencia de neutro antes de sondear la salida del rectificador.

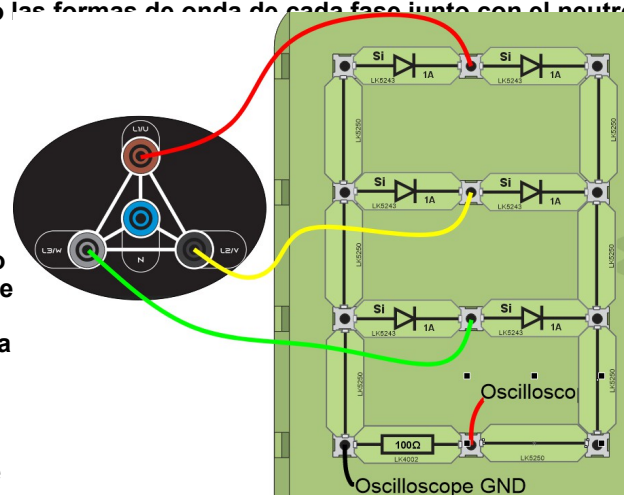
Mida la tensión a través de la resistencia de carga en el lado de CC del rectificador. Si se trata de una salida rectificadora de onda completa, debería ver una forma de onda con una frecuencia de ondulación seis veces superior a la frecuencia de alimentación de CA (es decir, 300 Hz de ondulación para una alimentación de 50 Hz).

Sin sondas especializadas, no puede obtener trazas de todas las fases Y la salida de onda completa

simultáneamente, ya que se cortocircuitaría una parte del circuito. En su lugar, utilice sólo una sonda para monitorizar la salida a través de la carga, como se muestra. Ajustes del osciloscopio:

Base de tiempos	5ms/div
Canal A	Auto
Canales B, C y D	Off
Disparo	Auto
Umbral	0V
Pre-disparo	0%

- Ajuste la frecuencia del generador trifásico a 50 Hz y la amplitud a 6 V y enciéndalo.
- Obtenga una traza que muestre la salida a través de la carga de 100Ω.
- Conecta un condensador de 1100µF en paralelo con la carga de 100Ω y repite el proceso.



# Ficha 8

## Rectificación de onda completa

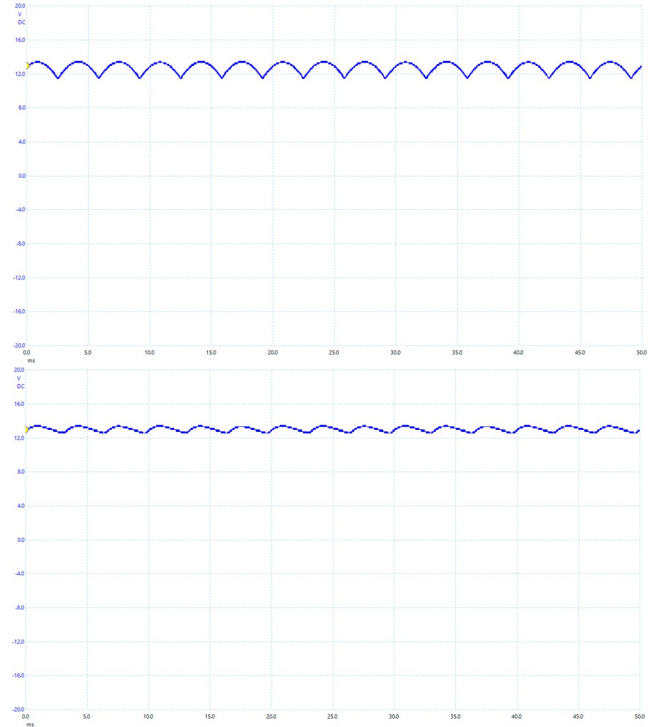


### ¿Y ahora qué?

Las dos trazas de al lado muestran los resultados típicos del Osciloscopio, sin (traza superior) y con suavizado (traza inferior).

Compárelos con los obtenidos para la rectificación de media onda.

La amplitud de la tensión de ondulación es mucho menor y la frecuencia es mayor que con la rectificación de media onda.



# Ficha 9

## Suministrar energía

Al final, se trata de suministrar potencia del transmisor a la carga. Como es lógico, ¡hay una complicación! La potencia real es el producto de la tensión y la corriente *en fase con la tensión*. Como hemos visto, para muchas cargas, la corriente y la tensión no están en fase.

Esta hoja de ejercicios examina cómo se gestiona esta situación, en tres circuitos. Dos utilizan una alimentación monofásica en circuitos que contienen reactancia. El tercero utiliza una alimentación trifásica para accionar un motor trifásico.

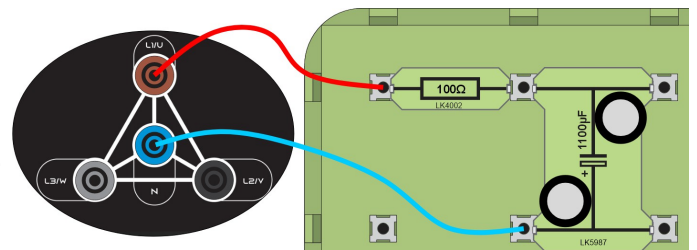


### No utilice el osciloscopio del PC

#### Para usted:

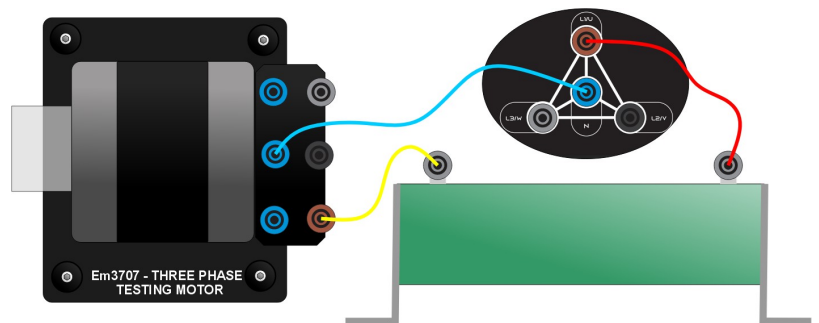
Un circuito R-C:

- Construya el circuito superior que se muestra al lado .
- Ajuste la frecuencia del generador trifásico a 40Hz y la amplitud a 10V. Enciéndelo.
- Utiliza la aplicación Matrix Trifásica para PC
- Apague el generador.



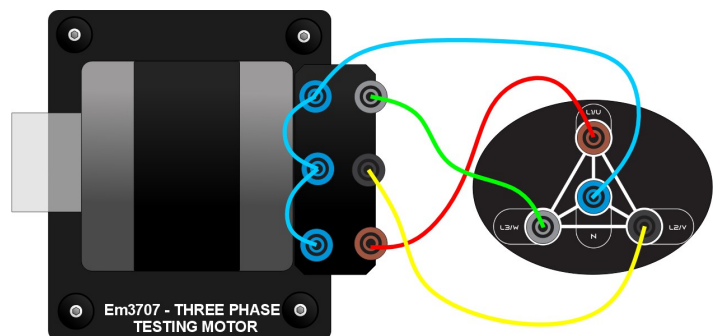
Un circuito R-L:

- Construye el circuito central.
- Ajusta la frecuencia del generador trifásico a 30Hz y la amplitud a 12V. Enciéndelo.
- Utilice la aplicación Matrix Trifásica para PC
- Enciende el generador.



El motor trifásico:

- Construye el circuito inferior.
- Ajusta la frecuencia del generador trifásico a 40Hz y la amplitud a 10V. Enciéndelo.
- Utiliza la aplicación Matrix Trifásica para PC
- Enciende el generador.

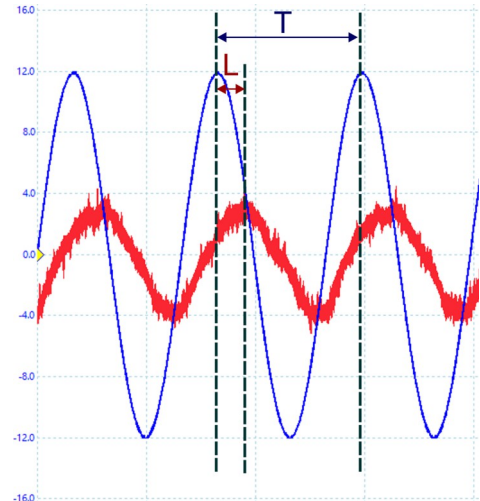


### ¿Y ahora qué?

Las trazas producidas en los tres circuitos pueden analizarse para extraer la potencia real suministrada a los dispositivos de carga. El procedimiento se describe a continuación, utilizando una sección de una traza de corriente/tensión obtenida para un circuito R-L para extraer el ángulo de fase  $\phi$ .

La tensión aplicada se muestra en el trazo azul y la corriente en el rojo. La amplitud de la traza de corriente es pequeña y se ve afectada por el ruido eléctrico. La tensión precede a la corriente, como es de esperar en un circuito con inductancia.

- Traza líneas verticales a través de dos picos de tensión adyacentes y un pico de corriente, como se muestra.
- Utiliza la escala de tiempo para medir los tiempos **T** y **L**. **T** es el periodo de la señal.  
**L** es el desfase experimentado por la corriente.  
Los resultados de ejemplo son: **T** = 6,7ms  
**L** = 1,3ms



- **T** es el tiempo entre puntos con un ángulo de fase de  $360^\circ$  entre ellos.  
Por lo tanto, 1,3 ms representa una diferencia de fase de  $(1,3 / 6,7) \times 360^\circ$  o  $70^\circ$  aproximadamente.  
**En este circuito R-L, la tensión adelanta a la corriente en un ángulo de fase de aproximadamente  $70^\circ$ . Esto implica un factor de fase de 0,34 (es decir,  $\cos 70^\circ$ ).**
- A partir de las trazas  
tensión de pico = 12,0V dando  $V_{rms} = 8,4V$ .  
lectura de corriente de pico = 7mV.  
Con la pinza amperimétrica en el rango de 20A (es decir, 1mV/10mA), la corriente de pico es  $7 \times 10 = 70mA$ , lo que da  $I_{rms} = 49mA$ .

Uniendo todo esto:

$$\begin{aligned} \text{Potencia real suministrada al sistema, } P &= V_{rms} I_{rms} \cos \phi \\ &= 8,4 \times 49 \times 10^{-3} \times 0,34 \\ &= \mathbf{0,14W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Potencia aparente, } S &= V_{(rms)} I_{rms} \\ &= \mathbf{0,41VA} \end{aligned}$$

### Para tu información:

- Determina de la misma forma la potencia real y aparente de los circuitos R-C y R-L que has montado en esta investigación.
- El motor trifásico es una carga equilibrada.  
La potencia total entregada = 3 x potencia entregada a una fase.  
Utiliza los resultados del tercer circuito para determinar la potencia real suministrada al motor.

# Ficha 10

## Corrección del factor de potencia

Un factor de potencia bajo significa que se necesita más corriente para transferir una cantidad dada de energía útil. La corriente adicional almacena energía, temporalmente, en el campo magnético de un motor, por ejemplo. Poco después vuelve a la fuente de alimentación. Suministra la misma energía útil, pero puede necesitar cables más gruesos, transformadores más pesados, etc. para hacer frente a la corriente extra y, como consecuencia, el consumidor puede incurrir en gastos adicionales.



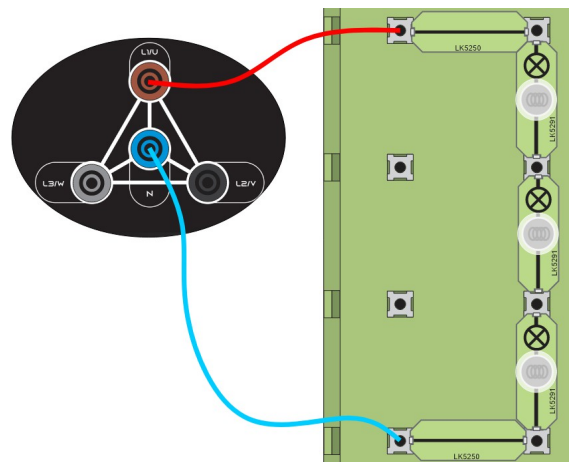
### No utilice el osciloscopio de PC

#### Le toca a usted:

##### Una carga resistiva:

Las tres lámparas representan una carga puramente resistiva.

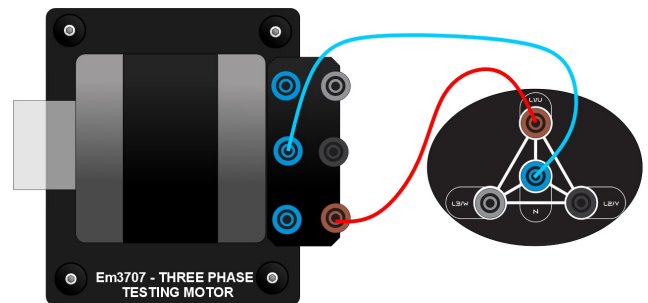
- Construya el circuito que se muestra al lado.
- Ajuste la frecuencia del generador trifásico a 50Hz y la amplitud a 12V. Enciéndelo.
- Utiliza la aplicación Matrix Trifásica para PC para obtener el gráfico.



##### Una carga inductiva:

Una bobina del motor se utiliza como carga inductiva.

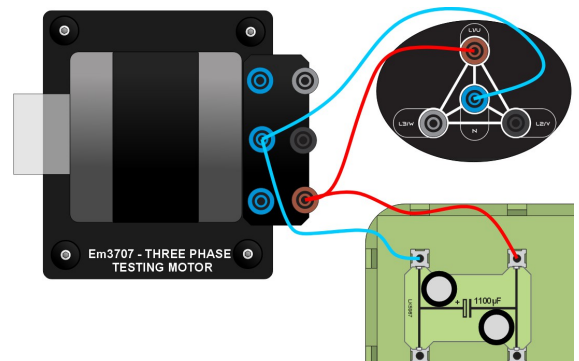
- Construye el segundo circuito.
- Ajusta la frecuencia del generador trifásico a 50Hz y la amplitud a 8V. Enciéndelo.
- Utiliza la aplicación Matrix Trifásica para PC para obtener el gráfico



##### Una carga inductiva con corrección del factor de potencia:

Un condensador equilibra la reactancia inductiva de la carga.

- Construye el tercer circuito.
- Utiliza los mismos ajustes del generador.
- Enciende el generador.



# Ficha 10

## Corrección del factor de potencia

### ¿Qué ocurre?

Con una carga resistiva, la corriente está en fase con la tensión, la disposición óptima para un suministro de energía eficiente.

Sin embargo, en el caso de la carga inductiva no corregida, no es así. En los inductores, la corriente va por detrás de la tensión.

La zona coloreada muestra el tiempo durante el cual se suministra potencia a la carga. Como se trata de un periodo relativamente corto, la corriente debe ser grande para suministrar suficiente energía.

El objetivo de la corrección del factor de potencia es volver a poner en fase la corriente y la tensión para prolongar el tiempo de suministro de energía. Así, la corriente necesaria para suministrar la energía requerida puede ser menor.

En realidad, la mayoría de las cargas son resistivas o inductivas. He aquí algunos ejemplos:

- resistiva - lámpara incandescente, calefactor;
- inductivas: motores, relés, transformadores.

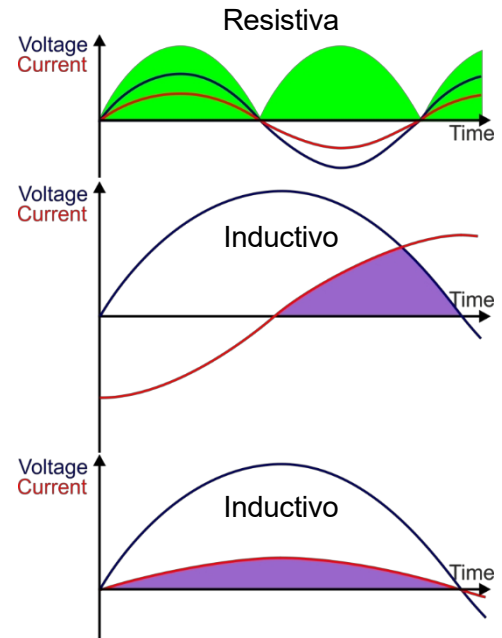
Las cargas inductivas utilizan condensadores añadidos para corregir el factor de potencia.

En el caso de un motor, el valor del condensador necesario para ello depende de aspectos como la velocidad del motor, su carga y la frecuencia de la alimentación. Esto causa complicaciones cuando hay varios motores en la misma fuente de alimentación y cuando su velocidad y cargas varían.

Algunas plantas industriales utilizan baterías de condensadores para aproximar el factor de potencia global a la unidad y reducir así los costes de electricidad.

Ventajas de la corrección del factor de potencia

- reducción de las tarifas eléctricas y ausencia de penalización económica por parte del proveedor de electricidad;
- Reducción de las pérdidas de calor en cables, conmutadores, transformadores y equipos de distribución;
- prolongación de la vida útil de los equipos de transmisión y generación
- reducción de la caída de tensión en los cables, lo que permite utilizar cables de menor calibre.



# Material para el alumno

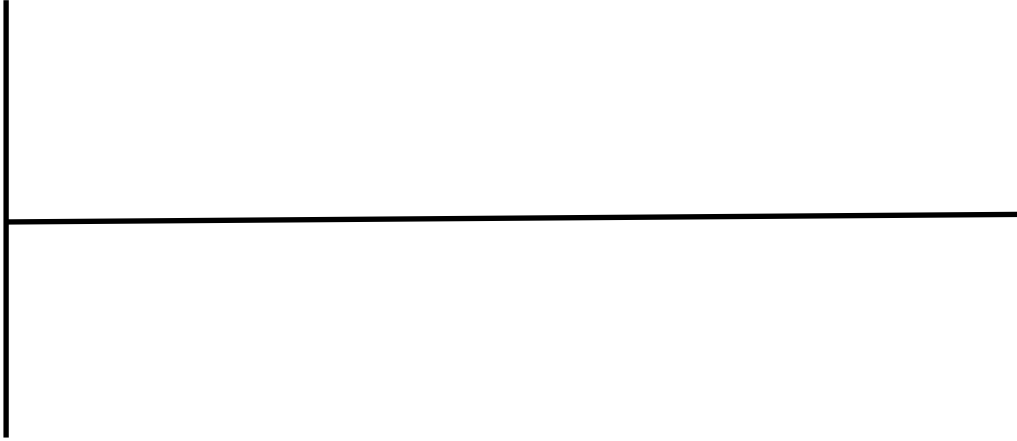
# Ficha 1

CA monofásica

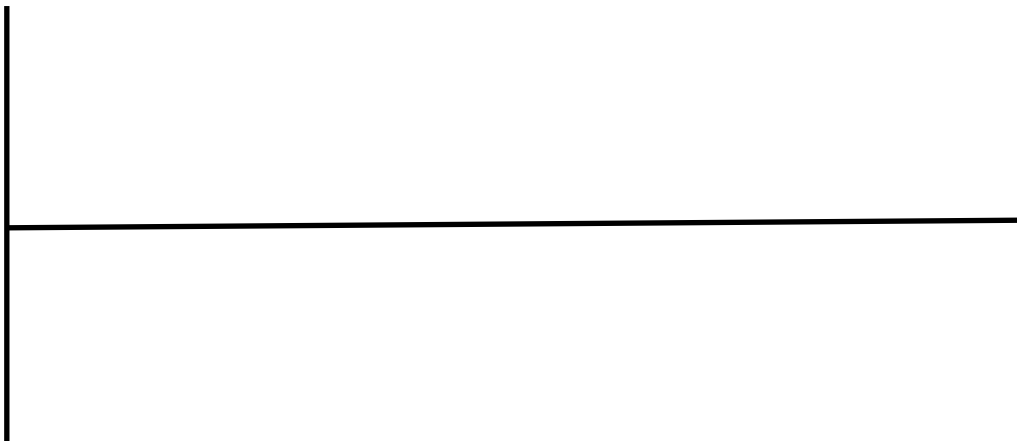


## Para tu información:

Copia del diagrama del **Procedimiento: Parte A: Configuración de 50 Hz, 8 V RMS**



Copie el diagrama del **Procedimiento: Parte B: Configuración de 200 Hz, 12 V RMS**



¿Cuál es la diferencia entre el procedimiento de la parte A y el procedimiento de la parte B?

.....

.....

.....

Copia la tabla y utiliza las medidas que tomaste en la primera parte de la investigación para completarla.

Tensión RMS (V)	Periodo en s	Frecuencia (Hz)	Pico de tensión (V)
8		50	
12		200	

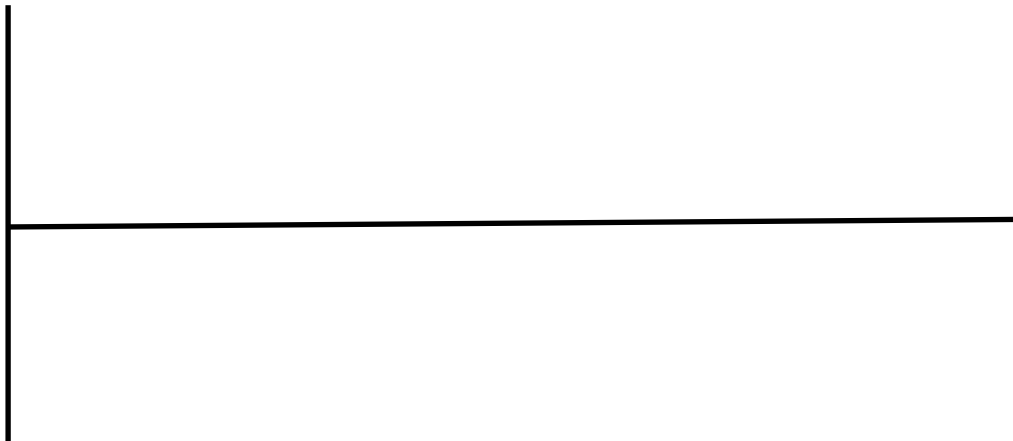
# Ficha 2

Corriente alterna trifásica

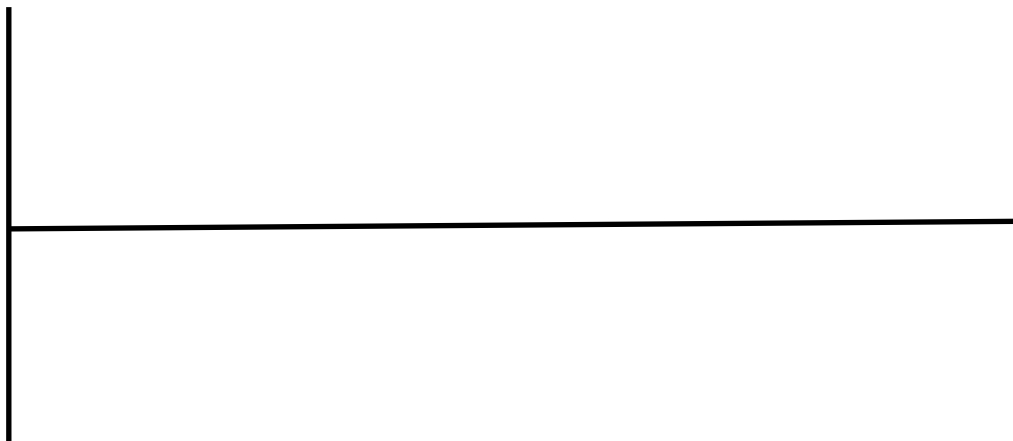


## Para que quede constancia:

Copie el gráfico del **Experimento 1: Observación de baja frecuencia (0,1 Hz)**.



Copie el gráfico del **Experimento 2: Observación de alta frecuencia (50 Hz)**



*¿Cuál es la diferencia* entre la gráfica del **Experimento 1** y la del **Experimento 2**?

.....  
.....  
.....

Describe cinco ventajas de la transmisión de energía trifásica frente a la monofásica. (Es posible que tengas que investigar un poco al respecto, por ejemplo, en Internet).

.....  
.....  
.....  
.....

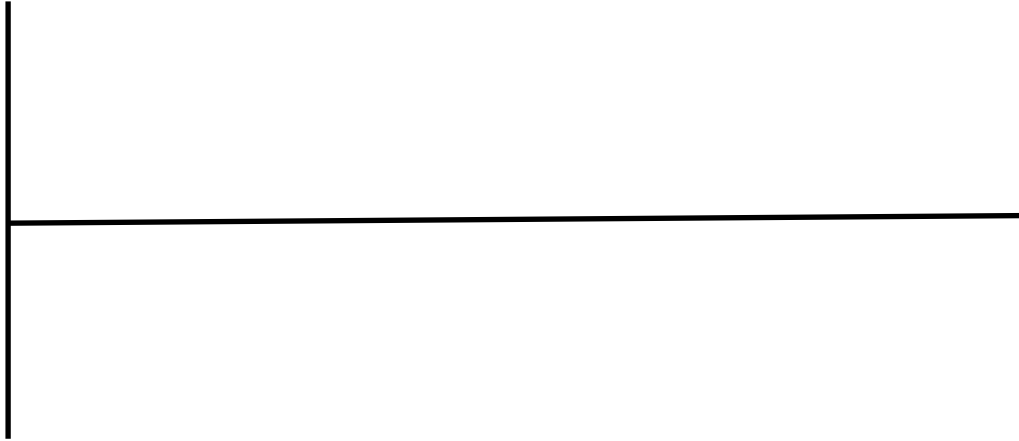
# Ficha 3

Más fases básicas

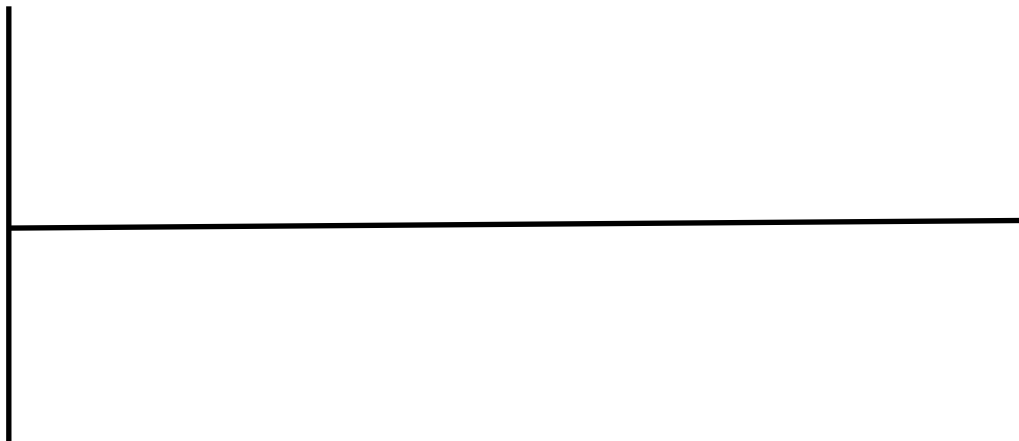


**Para que lo tengas en cuenta:**

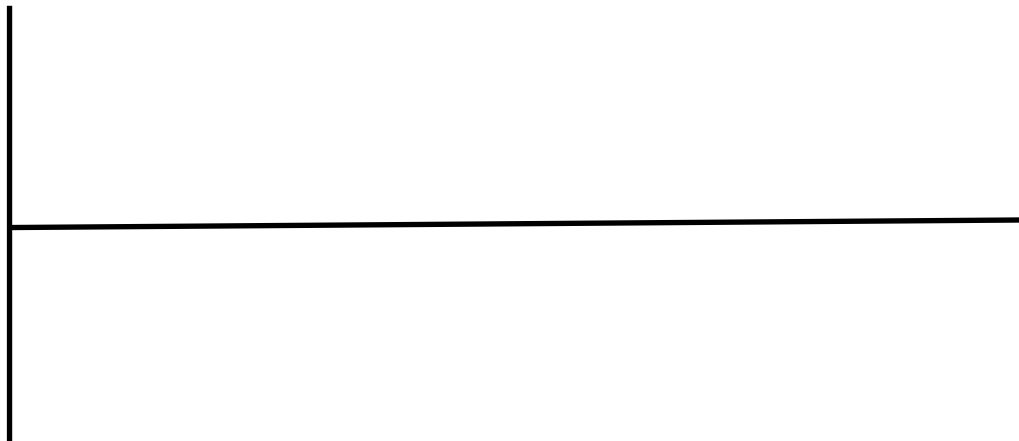
Traza el gráfico con carga resistiva



Traza el gráfico con carga capacitiva



Traza el gráfico con carga inductiva



# Ficha 3

## Más fases básicas



Completa el enunciado:

*Para una carga resistiva, el voltaje y la corriente alterna son .....*

¿Cuál es el ángulo de fase entre la corriente y la tensión en una resistencia?

.....  
.....  
.....

Copia las dos viñetas que describen los ángulos de fase en condensadores e inductores.

.....  
.....  
.....  
.....

# Ficha 4

Y ahora el fasor



¿Cuál es el efecto de girar la amplitud a 9V?

.....  
.....  
.....

¿Cuál es el efecto de aumentar la frecuencia a 60 Hz?

.....  
.....  
.....

¿Qué ocurre al aumentar la frecuencia a 120Hz?

.....  
.....  
.....

¿Investiga qué ocurre cuando dejas uno desconectado?

.....  
.....  
.....

¿Cómo invertir el sentido de giro?

.....  
.....  
.....  
.....

¿Por qué se utiliza un condensador en esta configuración de motor monofásico?

.....  
.....  
.....

¿Qué ocurre si desconectas uno de los cables del condensador después de que el motor esté en marcha?

.....  
.....  
.....

¿Por qué vibra o hace ruido el motor cuando se desconecta el condensador?

.....  
.....  
.....

# Ficha 5

¡Es una estrella!



## Tensiones en una configuración en estrella

Rellena la siguiente tabla

Tensión	Valor en V
Tensión de fase "marrón", $V_U$	
Tensión de fase "negra", $V_V$	
Tensión de fase "gris", $V_W$	
Tensión de línea $V_{UV}$	
Tensión de línea $V_{VW}$	
tensión de línea $V_{UW}$	

## Corrientes en una configuración en estrella:

Rellene la siguiente tabla

Corriente	Valor en mA
Corriente de fase "marrón", $I_U$	
Corriente de fase "negra", $I_V$	
Corriente de fase "gris", $I_W$	
Corriente de neutro, $I_N$	

Retire el cable neutro. ¿Hay alguna diferencia en las lecturas?

.....  
.....  
.....

Investiga qué ocurre cuando la carga está desequilibrada. (Cambia una de las 100 resistencias por un valor diferente, como 200 (dos de 100 en serie) o 50 (dos de 100 en paralelo).

.....  
.....  
.....

Dibuja el esquema del sistema que has construido para esta investigación.

# Ficha 5

¡Es una estrella!



Resume las conclusiones del apartado anterior.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Explica el misterio de la "corriente desaparecida" cuando se utiliza una carga equilibrada.  
¿Adónde ha ido a parar?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Explica por qué la electricidad se transmite normalmente utilizando un sistema de cuatro hilos, en lugar de uno de tres.  
de tres hilos.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



# Ficha 6

Sobre el delta



Dibuja el esquema del motor en triángulo con alimentación trifásica.

¿Qué ocurre cuando se invierten dos de las fases?

.....  
.....  
.....

Compara el rendimiento del motor en configuración estrella y triángulo.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

# Ficha 7

## Rectificación de media onda



Dibuje el esquema de un circuito rectificador trifásico de media onda e incluya el alisado del condensador.

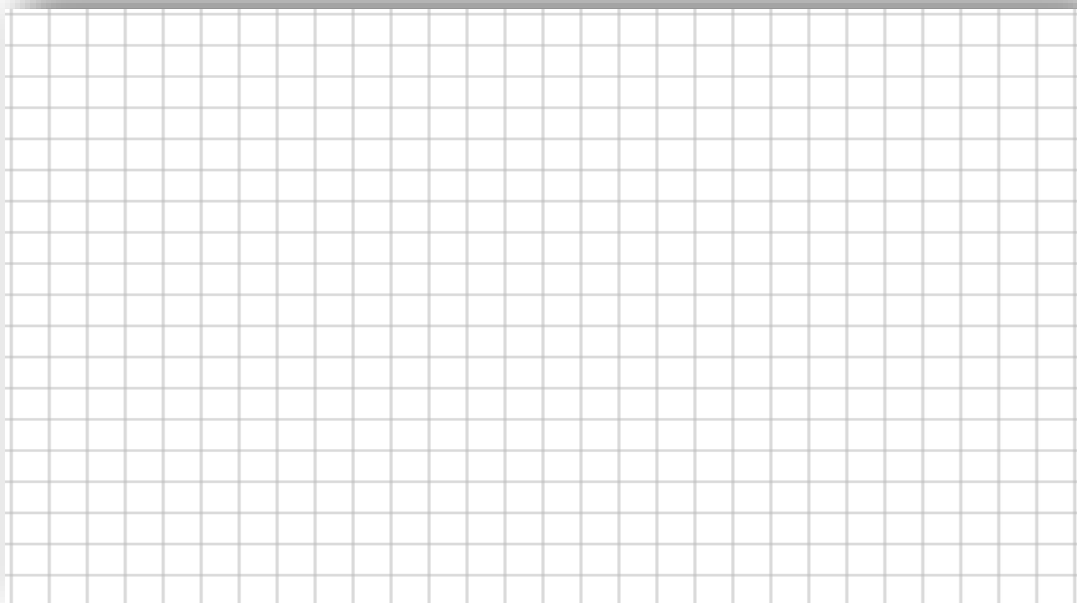
Explique por qué se considera que la salida de este circuito es CC.

.....  
.....  
.....  
.....

Explique el término "tensión de rizado" y explique por qué la adición de un condensador de suavizado (o "de reserva") reduce el rizado.

.....  
.....  
.....  
.....

Obtenga una traza que muestre las tres fases que suministran potencia a la carga y la salida rectificadora de media onda aplicada a la misma.



# Ficha 7

## Rectificación de media onda



Explica lo que muestra.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

¿Cuál es el efecto sobre la tensión de rizado de utilizar diferentes valores de resistencia de carga? Podrías aumentar la resistencia de carga conectando varias resistencias de  $1k\Omega$  en serie, o reducirla conectándolas en paralelo. (Dos resistencias de  $1k\Omega$  en paralelo tienen una resistencia combinada de  $0,5k\Omega$ , cuatro en paralelo tienen una resistencia combinada de  $0,25k\Omega$ ).

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

# Ficha 8

## Rectificación de onda completa



Dibuje el esquema de un circuito para un rectificador trifásico de media onda, e incluya el suavizado del condensador?

¿qué indica que se trata de una salida rectificadora de onda completa, en lugar de media onda?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

¿qué indicaba que la salida era CC?

.....  
.....  
.....

Describe y *explique* el efecto sobre la tensión de rizado de aumentar el tamaño de la resistencia de carga.

.....  
.....  
.....  
.....

..... Describa y *explique* el efecto sobre la tensión de rizado de aumentar el tamaño del condensador de alisado....

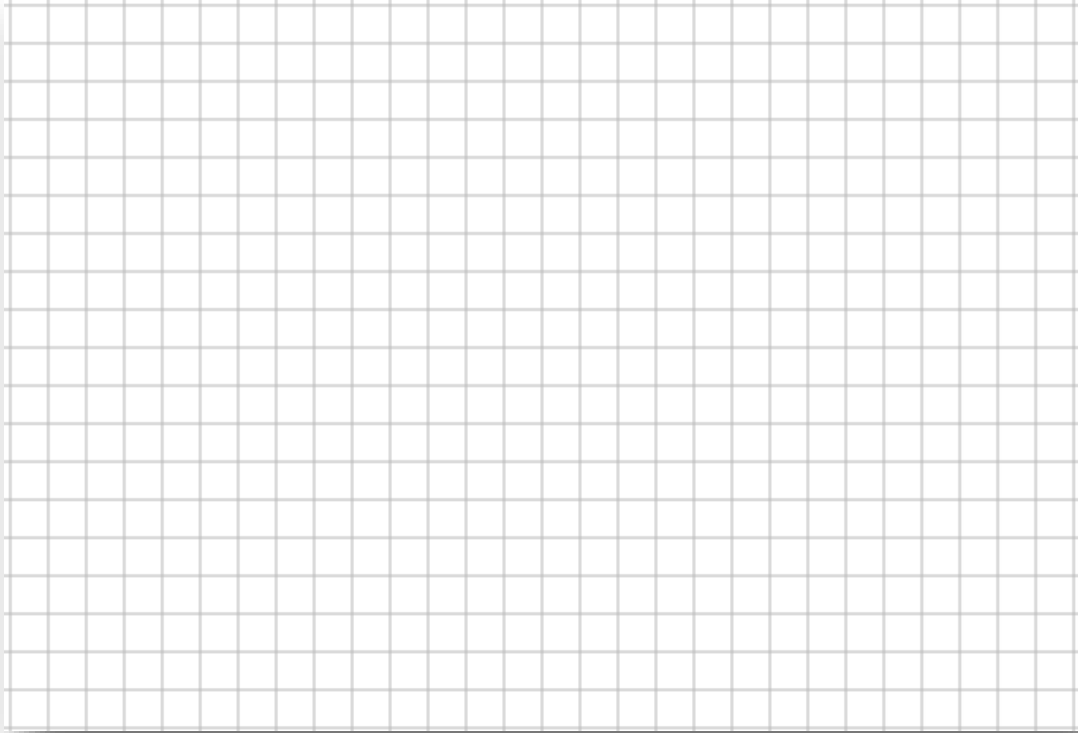
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

# Ficha 8

## Rectificación de onda completa



Obtenga una traza que muestre las tres fases que suministran potencia a la carga y la salida rectificada de media onda aplicada a la misma.

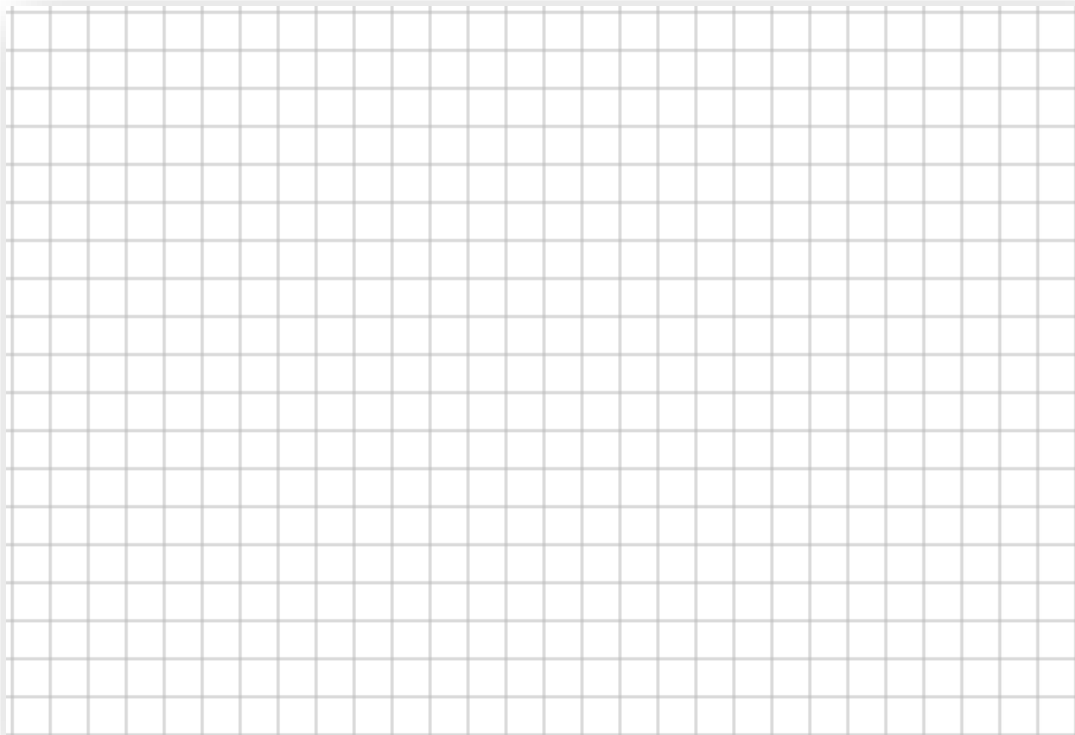


# Ficha 9

## Suministrar energía



Un circuito R-C: Obtenga y guarde una traza que muestre la tensión de alimentación y la corriente a través del circuito.



Un circuito R-L: Obtenga y guarde una traza que muestre la tensión y corriente de alimentación a través de este circuito.

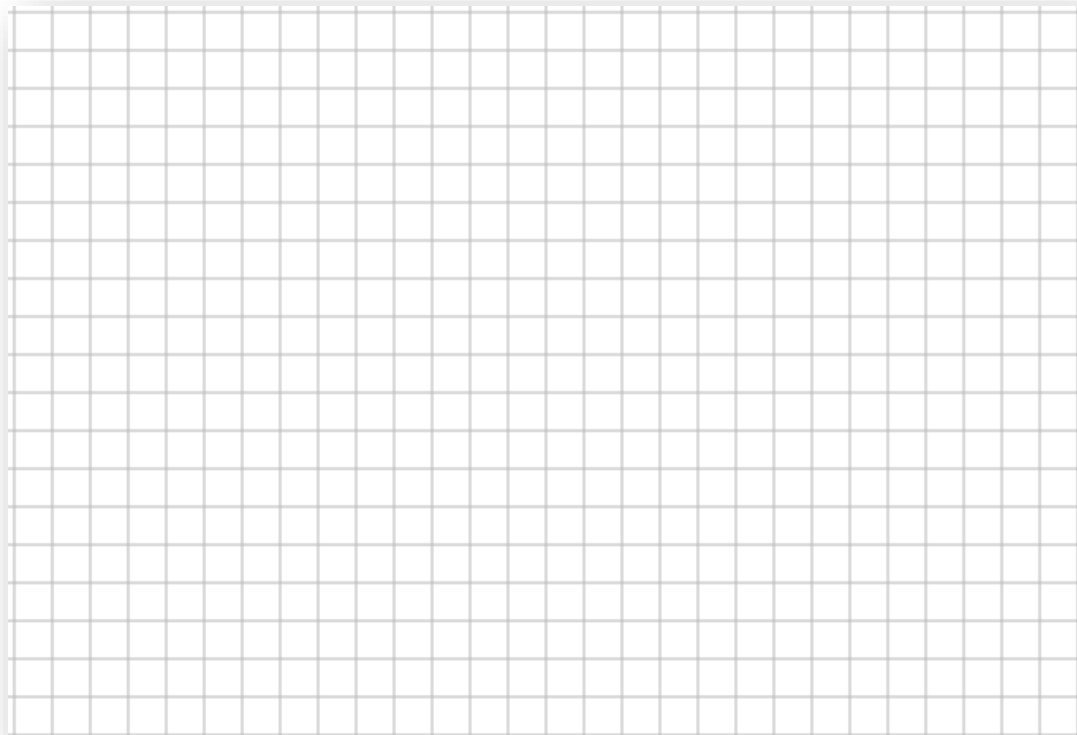


# Ficha 9

Suministrar energía



El motor trifásico: Obtén y guarda una traza que muestre la tensión y corriente de alimentación a través de una fase de este circuito.

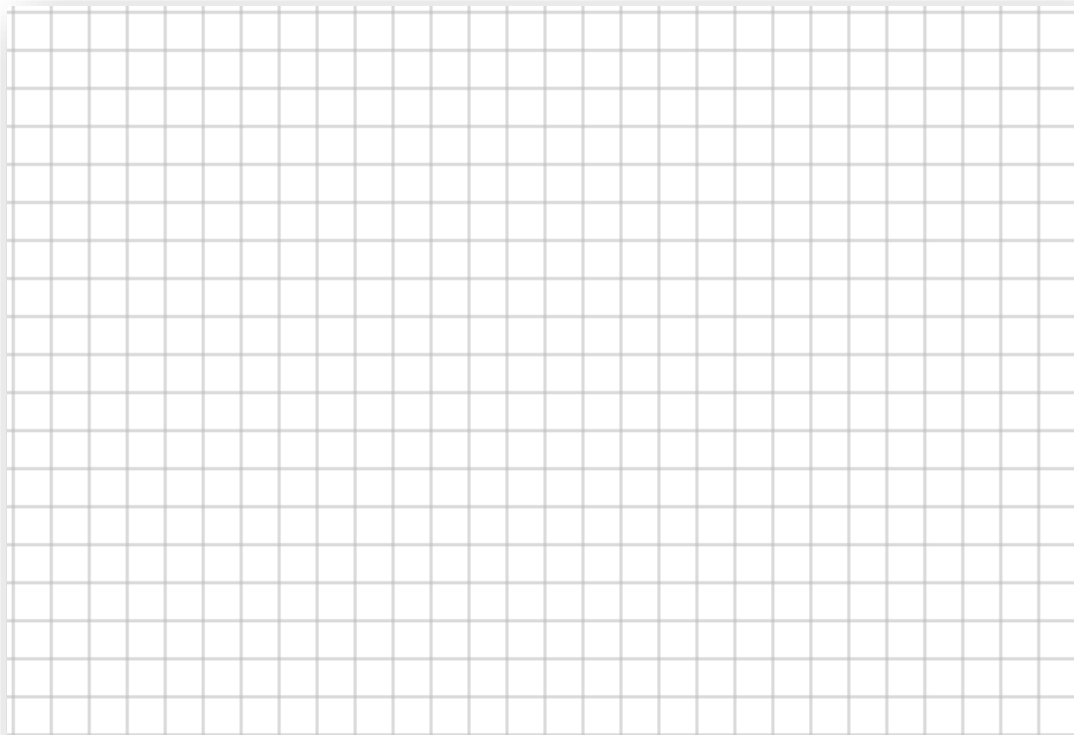


# Ficha 10

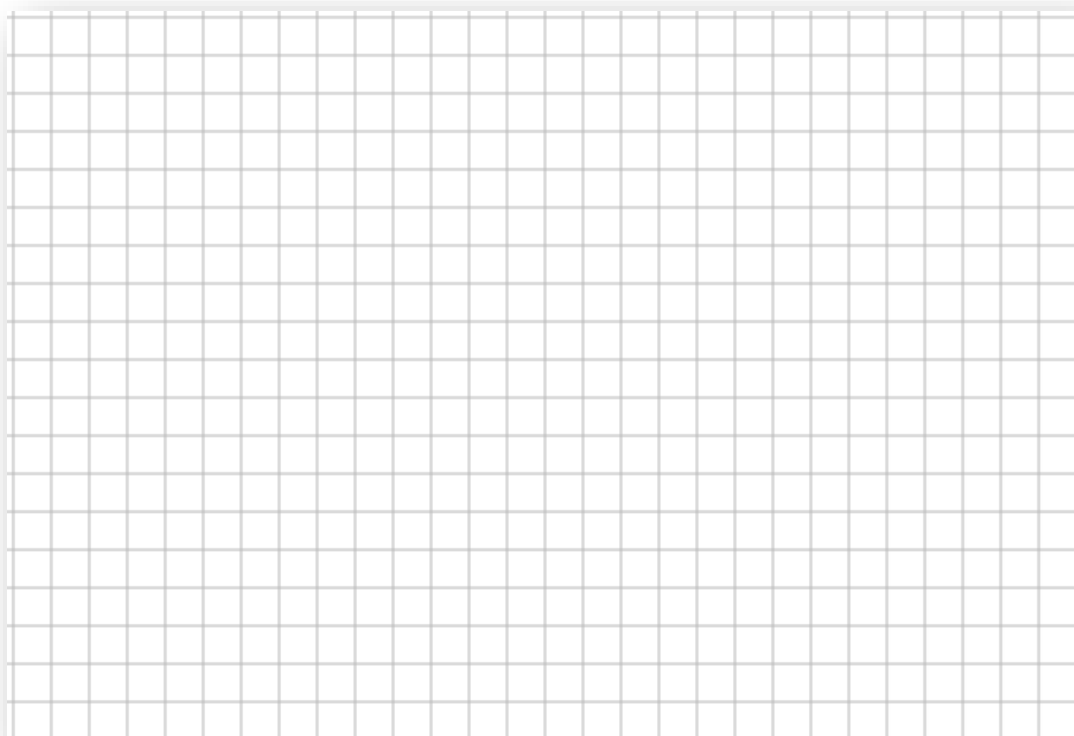
## Corrección del factor de potencia



Una carga resistiva: Obtenga y guarde una traza que muestre la tensión de alimentación y la intensidad a través del circuito.



Una carga inductiva: Obtenga y guarde una traza que muestre la tensión y corriente de alimentación a través de este circuito.

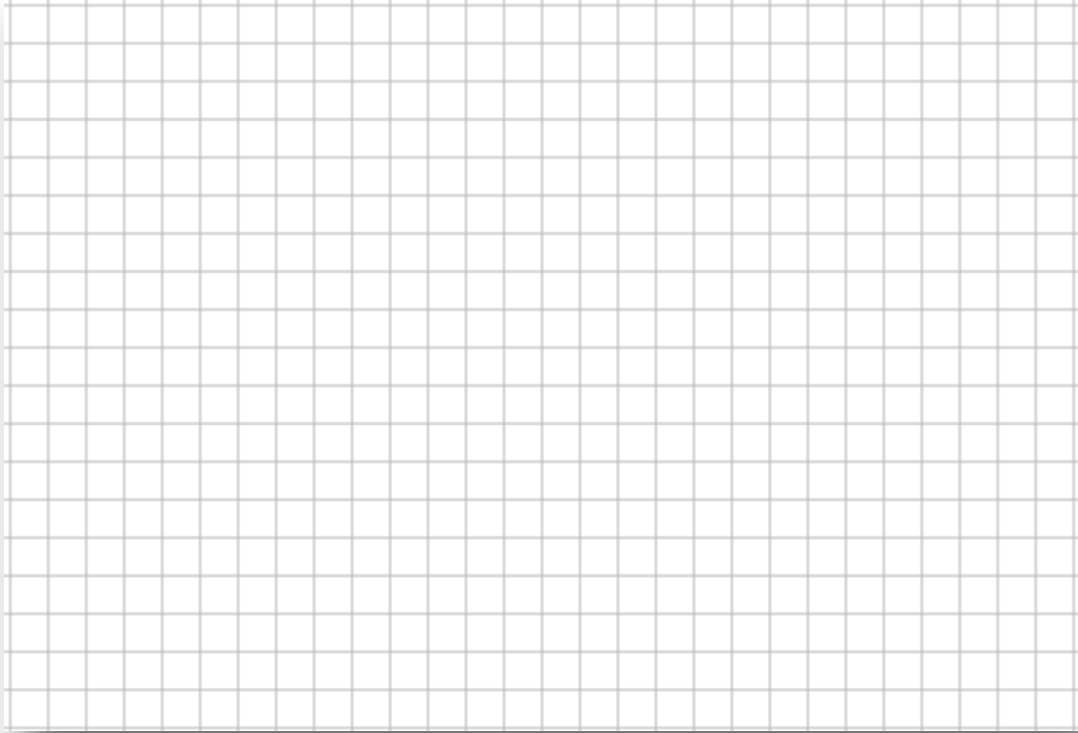


# Ficha 10

## Corrección del factor de potencia



Una carga inductiva con corrección del factor de potencia: Obtenga y guarde una traza que muestre la tensión de alimentación y la corriente a través del circuito.



Investiga el efecto de cambiar la frecuencia de la alimentación trifásica. ¿Qué frecuencia proporciona la mejor corrección del factor de potencia para la carga inductiva?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Explicar, utilizando gráficos de tensión / tiempo, el significado del término "corrección del factor de potencia".

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Describe dos ventajas de la corrección del factor de potencia para un consumidor industrial.

.....  
.....  
.....  
.....

# Ficha 10

Corrección del factor de potencia

