ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 15-04

CONECTAR Y MEDIR LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EQUIPOS Y REDES

DURACION DE LA ACTIVIDAD: 2 Sesiones (16 horas)
GRUPOS DE TRABAJO: tríos

Materiales de formación devolutivos: (Equipos/Herramientas)		Materiales de formación (consumibles)		Ambientes de aprendizaje tipificados
Descripción	**Cantidad**	**Descripción**	**Cantidad**	
Analizador de red Pinza calidad de energía Módulo armónicos Schneider	3 2 1	No se requieren		Ambiente 2: Distribución de Energía Eléctrica

ACTIVIDADES DE APROPIACIÓN DEL CONOCIMIENTO.

1. IDENTIFICACION DEL EQUIPO PRODUCTOR DE ARMONICOS



SOLICITUDES DE CABETO SOLUCIONES

Ha llegado una máquina nueva a la empresa, se sabe que produce una cantidad compleja de armónicos y se tienen varios instrumentos de diferentes que miden calidad de energía. Se quiere que usted verifique el estado y compare las lecturas entre los diferentes instrumentos.



Conformar como máximo 5 grupos de estudiantes en tríos. Cada grupo se apropiará de un analizador de red o de una pinza de calidad de energía. A través se vayan realizando las prácticas, la idea es rotar los grupos para que utilicen los diferentes analizadores y puedan leer y configurar los diferentes equipos.

	Equipo	Video de manejo y características
1	Analizador Hioki 3197 	Video ejemplo de configuración: https://www.youtube.com/watch?v=ZAYUzP-tmug
2	Analizador Fluke 435 	Video ejemplo de configuración: https://www.youtube.com/watch?v=PpZxm8cBQdE
3	Pinza Fluke 345 	Video ejemplo de configuración: https://www.youtube.com/watch?v=hEjbXforUdc
4	Pinza UNI-T UT243 	Video ejemplo de configuración: https://www.youtube.com/watch?v=IyKJL39w8ic
5	Tarjeta adquisición Lab-Volt 	Video ejemplo de configuración: https://www.youtube.com/watch?v=XcCQiM7Z-lg

Identifique el banco didáctico productor de armónicos.

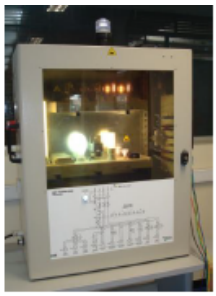
En el **Documento Respuesta "CARCTERISTICAS DEL BANCO DE ARMONICOS"**:

- ✓ Identificar y Relacionar en el documento respuesta 1 los constituyentes siguientes:
  - Bombillas halógenas (**HL1** a **HL3**, **HL8** y **HL9**),
  - Bombilla con balasto magnético (**HL4 + BL4**),
  - Bombilla con balasto electrónico (**HL5**),
  - Bombilla a vapor de mercurio (**HL6 + BL6**),
  - Bombilla tipo halógena con transformador (**HL7 + T1**).
- ✓ Indicar las características eléctricas (referencia y/o valor, Tensión, Potencia) y los elementos de control asociados.

2. IDENTIFICACION DEL BANCO Y EQUIPOS DE MEDIDA

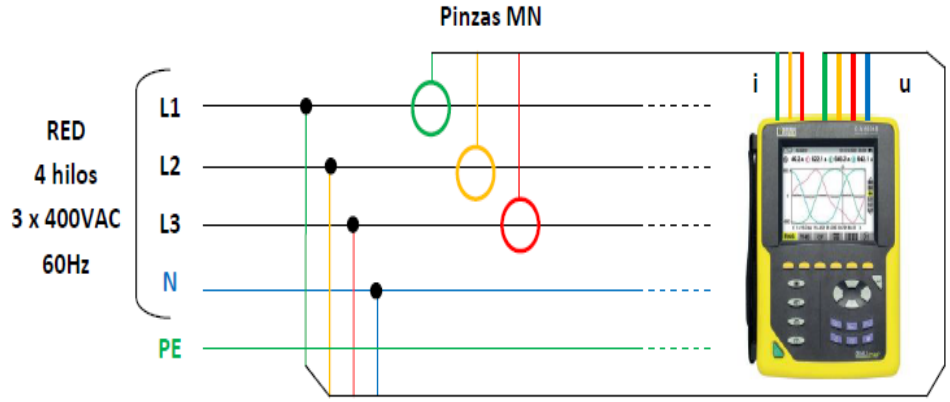
El banco va a ser cableado de tal forma que todos los analizadores y pinzas queden tomando lectura de la primera fase. Las conexiones siguientes de los instrumentos de medida deben ser modificadas por los estudiantes.

Analizar el diagrama unifilar del banco productor de armónicos y probar el encendido de todos los componentes del HL1 al HL9. Llamar al instructor para su acompañamiento.



¡TODAS LAS MODIFICACIONES DE CABLEADO SE DEBEN REALIZAR CON EL BANCO DESENERGIZADO!

- Conectar los equipos de medición como indicado según sea monofásico o trifásico.
- Configurar el equipo de medición (parámetros de cálculo, conexión, sensor de corriente y frecuencia).
- Presentar la conexión y la configuración del equipo de medición al instructor para verificación





3. NATURALEZA DE LAS DIFERENTES CARGAS

Para esta parte, se energizarán los diferentes tipos de bombillas de manera independiente con el SELECTOR S1 = 1 (Activado) Disyuntor Q4 fuera de servicio

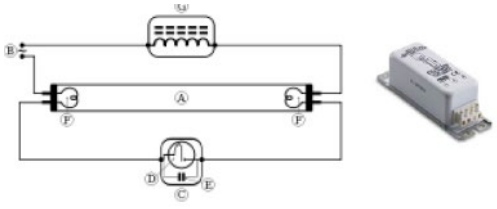
3.1 BOMBILLAS HALÓGENAS



A partir del plano unifilar o el que se encuentra en la puerta del módulo didáctico: Determinar los selectores a accionar para alimentar a plena carga cada bombilla y todas las bombillas de tipo halógeno para la tabla global.

3.2 BOMBILLA CON BALASTO MAGNÉTICO

El balasto ferromagnético está constituido de un estárter, de un condensador y de un núcleo ferroso con espires que constituye la bobina.



Determinar los selectores a accionar para alimentar la bombilla de balasto electrónico.

3.3 BOMBILLA CON BALASTO ELECTRÓNICO

El balasto electrónico está constituido de un circuito semiconductor que asegura las mismas funciones que un balasto magnético. Este tipo de balasto se encuentra integrado en todas las bombillas de bajo consumo





Determinar los selectores a accionar para alimentar la bombilla con balasto magnético.

3.4 BOMBILLA DE VAPOR DE MERCURIO



Determinar los selectores para alimentar la bombilla de vapor de mercurio.

3.5 BOMBILLA HALÓGENA CON TRANSFORMADOR





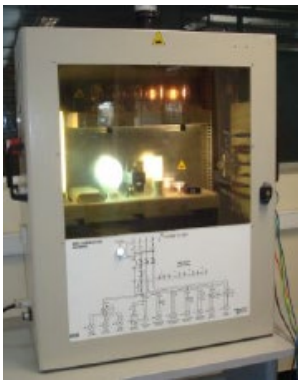
Determinar los selectores para alimentar la bombilla halógena con transformador.

- Conectar cada luminaria de forma independiente y…

En el **Documento Respuesta "CARACTERISTICAS DE LAS CARGAS"**:

- ✓ Caracterizar el tipo (resistiva, inductiva o capacitiva / lineal o no lineal) de cada carga.
- ✓ Completar la **tabla 1, 2, 3, 4, 5** para la carga individual definida.
- ✓ ¿Qué fase del sistema de distribución trifásico alimenta cada luminaria?

3.6 TODO EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN



- Encender todo el sistema de iluminación y…

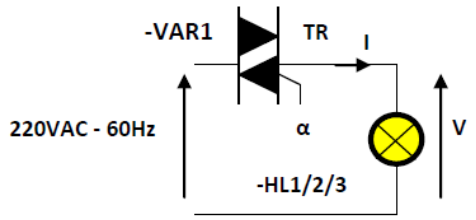
En el **Documento Respuesta "CARACTERISTICAS DE LAS CARGAS"**:

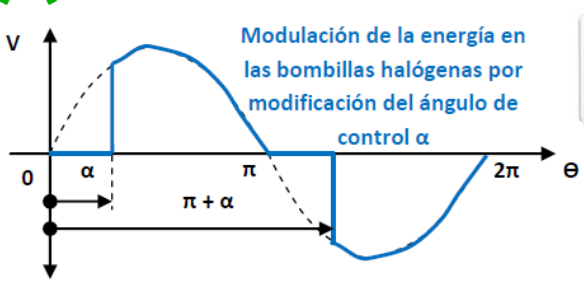
- ✓ Completar la **tabla 6 y tabla 7** para todo el sistema de iluminación encendido.
- ✓ Complete el diagrama indicando con un interruptor a que fase se conecta cada salida.
- ✓ Discutir y analizar en grupo acerca de la contaminación de la red.

4. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS CON CARGAS NO LINEALES

4.1 ALIMENTACIÓN DE LAS BOMBILLAS HALÓGENAS POR DIMMER EN MONOFÁSICO

Veremos cómo el dimmer al recortar la señal a un ángulo α introduce armónicos al sistema. Este corte se efectúa con un componente electrónico llamado Triac. El recorte de la onda se refleja como se muestra a continuación.







- Conectar los tres bombillos halógenos que dependen de la fase 1 controlados por el dimmer, conectarlos **de tal forma que Q_4 quede fuera de servicio**. Conectar el analizador de red y observar los diferentes cortes que se realizan en la señal de voltaje con el dimmer. Establecer la posición en la que debe estar el dimmer para que la onda quede cortada a 30°.

Observe que la tabla del **Documento Respuesta "BOMBILLAS CON DIMMER MONOFASICO"** le solicita diferentes ángulos de corte de onda

En el **Documento Respuesta**:

✓ Completar la **tabla 1**

✓ Con los datos obtenidos, trazar, la curva *THDi = f (α).*

✓ ¿Cómo evoluciona la tasa de distorsión total armónica *THDi* para la corriente *I* de acuerdo con el ángulo de control *α* del dimmer?

- Conectar los tres bombillos halógenos que dependen de la fase 1 controlados por el dimmer, conectarlos **de tal forma que Q_4 entre en servicio** después de quitar el selector que lo pone en cortocircuito.



Observe que la tabla del **Documento Respuesta "BOMBILLAS CON DIMMER MONOFASICO"** le solicita diferentes ángulos de corte de onda

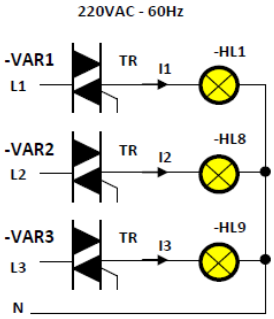
En el **Documento Respuesta**:

✓ Completar la **tabla 2** para las condiciones definidas. ¿Se dispara alguna protección? ¿En qué tiempo?, ¿Qué magnitud eléctrica provoca el disparo de la protección? Concluir y Justificar conforme a los resultados obtenidos

4.2 ALIMENTACIÓN de las BOMBILLAS HALÓGENAS por DIMMER en TRIFÁSICO

Cuando una carga trifásica balanceada es conectada al sistema trifásico, no circula corriente por el neutro. Sin embargo, si la carga es alimentada por una señal perturbada por armónicos, el neutro llevará corriente, incluso puede llegar a ser mayor que en las fases dependiendo de la distorsión armónica en la señal.

- Conectar los tres bombillos halógenos que dependan de la fase 1, 2 y 3 para que quede la carga trifásica balanceada. conectarlos de tal forma que Q_4 quede en servicio y sin dimmer. Mida la corriente por el neutro…. ¿Si es cero?
- Conectar el analizador de red y observar los diferentes cortes que se realizan en la señal de voltaje con el dimmer. Establecer la posición de los dimmer para que la onda quede cortada a 108° en cada uno.



Observe la tabla del **Documento Respuesta "BOMBILLAS CON DIMMER TRIFASICO"**

En el **Documento Respuesta**:

✓ Completar la **tabla 1 y tabla 2**

✓ ¿Se dispara alguna protección? ¿En qué tiempo?, ¿Qué magnitud eléctrica provoca el disparo de la protección? Concluir y Justificar conforme a los resultados obtenidos

✓ Verificar que la intensidad de la corriente eficaz I_N en el conductor neutro corresponde a la suma aritmética de los valores eficaces de los armónicos de rango 3 para cada fase: ($I_N = h_{31} + h_{32} + h_{33}$). Dibujar el oscilograma de la corriente I_N circulando en el conductor neutro.

✓ Determinar las recomendaciones de la NORMA para la sección del conductor neutro conforme a las condiciones de contaminación medidas para la red.

La sección del conductor neutro según la NORMA

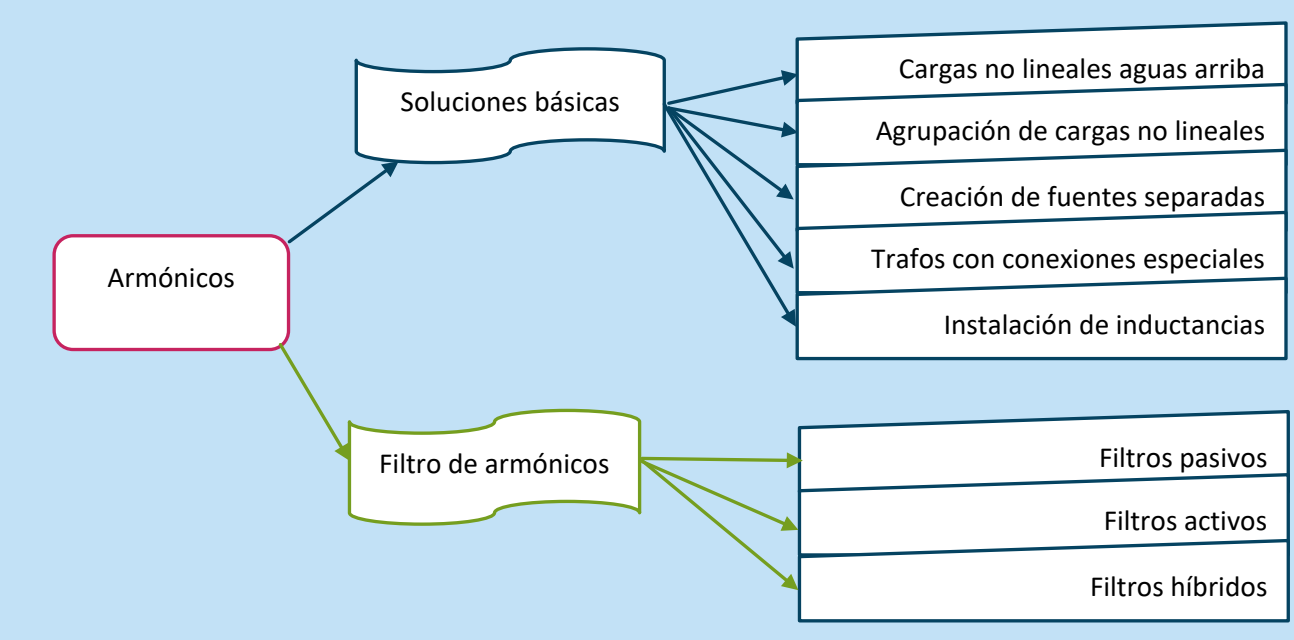
S neutro = S fase	S neutro < S fase S neutro = S fase/2	S neutro > S fase
▪ Circuitos monofásicos ▪ Circuitos polifásicos S ≤ 16mm² cobre S ≤ 25mm² aluminio ▪ Corrientes armónicos con 15% < **THDi** < 33%	▪ Circuitos polifásicos S ≤ 16mm² cobre S ≤ 25mm² aluminio ▪ **THDi3** < 15% ▪ Neutro protegido	▪ **THDi3** > 33% (rango 3 y múltiples) ▪ Considerar $I_{neutro} = 1{,}45 . I_{fase}$

4.3 SOLUCIONES PARA ATENUAR LOS ARMÓNICOS

Este problema se puede enfrentar de varias formas dependiendo en especial de la cantidad de carga contaminada. El siguiente diagrama puede mostrar un concepto general.

Revisar el documento "*01 Solución armónicos*" ubicado en la carpeta "*Recursos aprendiz* ".

Verificar el siguiente diagrama que puede mostrar un concepto general.



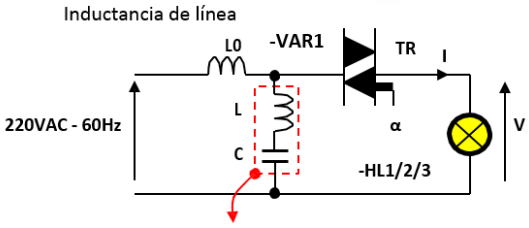
ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO.

4.4 IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES PARA MINIMIZAR LOS EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS

4.4.1 FILTRADO de ARMÓNICOS

El filtrado pasivo de armónicos permite reducir de manera aceptable la contaminación armónica. Esta solución de transición se implementa cuando la distorsión pasa de los 5% en una instalación industrial. Los filtros pasivos están constituidos de inductancia y condensador asociados en serie y sintonizado en resonancia sobre el rango *n* del armónico a filtrar. El filtro resonante debe presentar una impedancia muy baja conforme al armónico de corriente a filtrar. Se requiere una celda de filtrado *LC* por armónico a filtrar.





Resonancia para $L.C.\omega_n^2 = 1$ con $\omega_n = 2.\pi.f_n$
f_n: frecuencia del armónico a filtrar

Un filtro *LC* se basa en la siguiente fórmula sabiendo que *n* es el rango de armónicos que se quiere eliminar y *f* es la frecuencia fundamental:

$$L \cdot C \ (2\pi \ f \ n)^2 = 1$$

- Calcular el producto $L \cdot C$ para sintonizar el filtro sobre el armónico de rango 3 (n=3). ¿Cuál debe ser la capacidad del condensador *C* para una inductancia *L* de 92mH?
- Conectar los tres bombillos halógenos que dependen de la fase 1, conectarlos de tal forma que Q_4 quede fuera de servicio. Conectar el filtro según los cálculos obtenidos.

- Establecer la posición de los dimmer para que la onda quede cortada a 108° en cada uno.

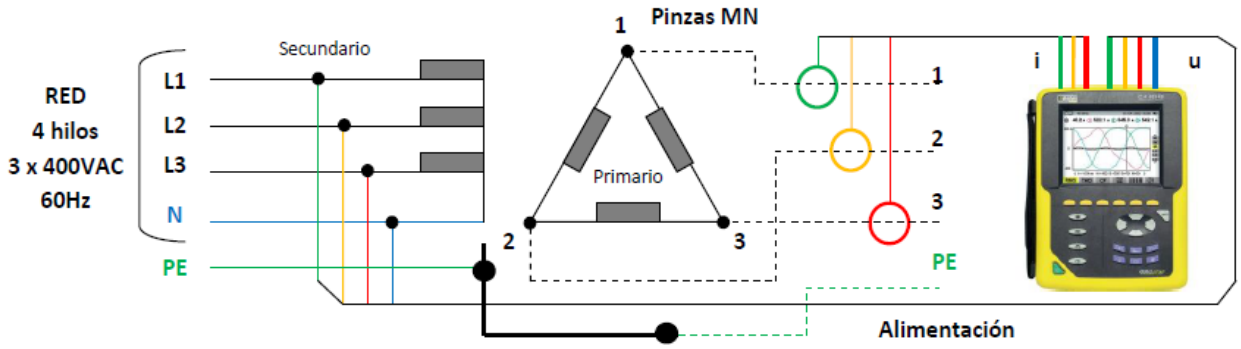
Completar las **tablas 1 y 2** del **documento respuesta "REDUCCION DE ARMONICOS CON FILTRO"** para la condición de control definida. Concluir y Justificar conforme a los efectos del filtro pasivo anti-armónico a nivel de la red.

4.4.2 CONEXIÓN del TRANSFORMADOR de POTENCIA



Determinadas conexiones del transformador pueden eliminar algunos rangos de armónicos. La más usada de todas es la Delta en el primario y la Estrella en secundario o conexión Dyn, en Colombia el índice horario más utilizado es el 5, por lo que es muy común el transformador Dyn5.

- Realice la conexión de los tres bombillos en carga trifásica balanceada y con el dimmer a 108°. Haga esta conexión sin el filtro. Estas lecturas ya las habíamos tomado previamente en el documento respuesta 5. Revise esos resultados.
- Ahora tome los mismos datos leyendo desde el primario del transformador como se observa el diagrama y completando las **tablas 1 y 2** del **documento respuesta "REDUCCION DE ARMONICOS CON TRANSFORMADOR"**. ¿Se observa alguna diferencia? Concluya.



EVIDENCIAS.

Las evidencias de esta actividad pueden ser desarrolladas en su cuaderno o imprimiendo este documento y escribiendo sobre él. En todo caso deben ser subidas a la plataforma en el enlace correspondiente en un único archivo comprimido .RAR.

Evidencia para entregar: **DR_15-04 Documento Respuesta que incluye 6 documentos**

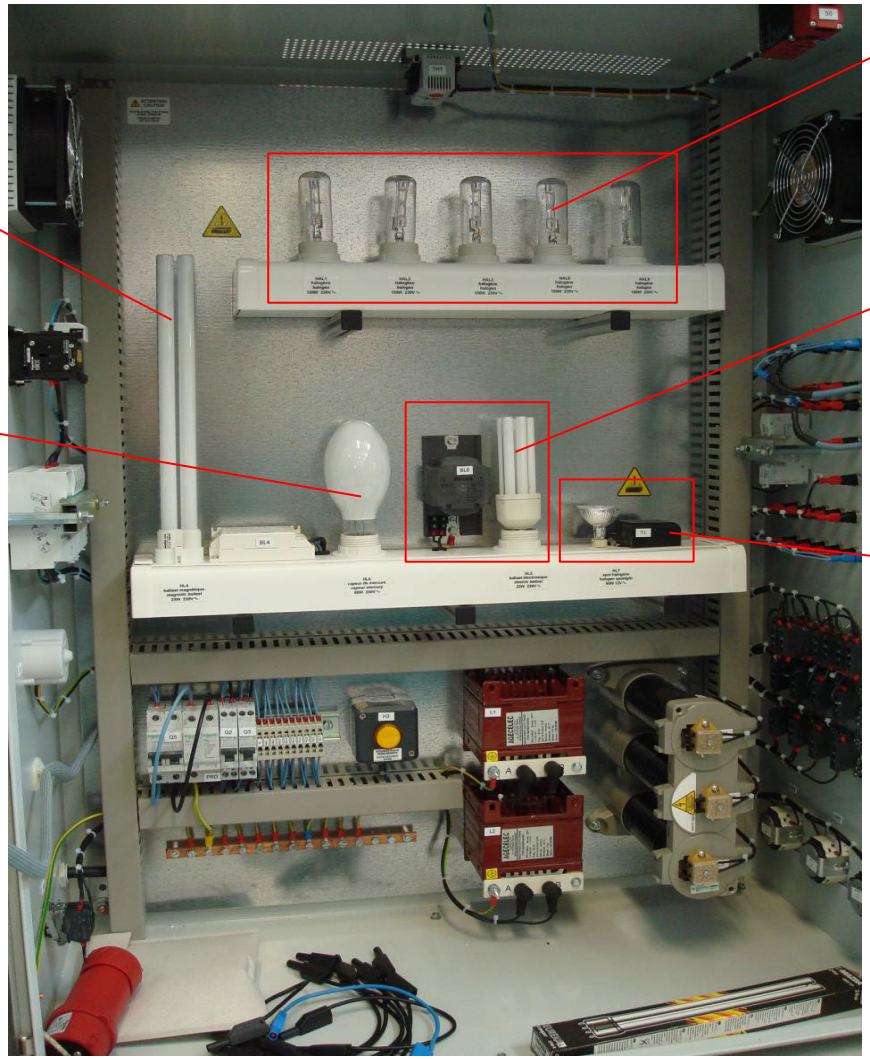
ACERCA DE LA ACTIVIDAD.

	Nombre	Cargo	Dependencia	Fecha
Autor	Sergio Andres Garcia Peña	Instructor	Electricidad CDITI	14 de abril de 2022

DR_15-04 Documento Respuesta

CARCTERISTICAS DEL BANCO DE ARMONICOS

Nombres:	Documento:	Código ficha:	Programa:	Fecha: DD/MM/AA



DR_15-04 Documento Respuesta

CARACTERISTICAS DE LAS CARGAS

Nombres:	Documento:	Código ficha:	Programa:	Fecha: DD/MM/AA

ANALIZADOR DE REDES O PINZA:

TABLA 1 - BOMBILLAS HALÓGENAS **TIPO DE CARGA:** **FASES:**

	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	Tensión (V)	Corriente de línea I / I_1	Factor de potencia FP/DPF	Corriente neutro I_n (A)	THDv (%) THDI (%)
Global								

	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	Tensión U (V)	Corriente I (A)	Factor de potencia FP/DPF
Fase 1						
Fase 2						
Fase 3						

TABLA 2 - BOMBILLA con BALASTO MAGNÉTICO **TIPO DE CARGA:**

	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	Tensión (V)	Corriente de línea I / I_1	Factor de potencia FP/DPF	Corriente neutro I_n (A)	THDv (%) THDI (%)
FASE:								

TABLA 3 - BOMBILLA con BALASTO ELECTRÓNICO **TIPO DE CARGA:**

	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	Tensión (V)	Corriente de línea I / I_1	Factor de potencia FP/DPF	Corriente neutro I_n (A)	THDv (%) THDI (%)
FASE:								

TABLA 4 - BOMBILLA a VAPOR de MERCURIO **TIPO DE CARGA:**

	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	Tensión (V)	Corriente de línea I / I_1	Factor de potencia FP/DPF	Corriente neutro I_n (A)	THDv (%) THDI (%)
FASE:								

TABLA 5 - BOMBILLA HALÓGENA con TRANSFORMADOR TIPO DE CARGA:

	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	Tensión (V)	Corriente de línea I / I_1	Factor de potencia FP/DPF	Corriente neutro I_n (A)	THDv (%) THDI (%)
FASE:								

TABLA 6 – TODO EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	Tensión U (V)	Corriente I (A)	Factor de potencia FP/DPF
Fase 1						
Fase 2						
Fase 3						

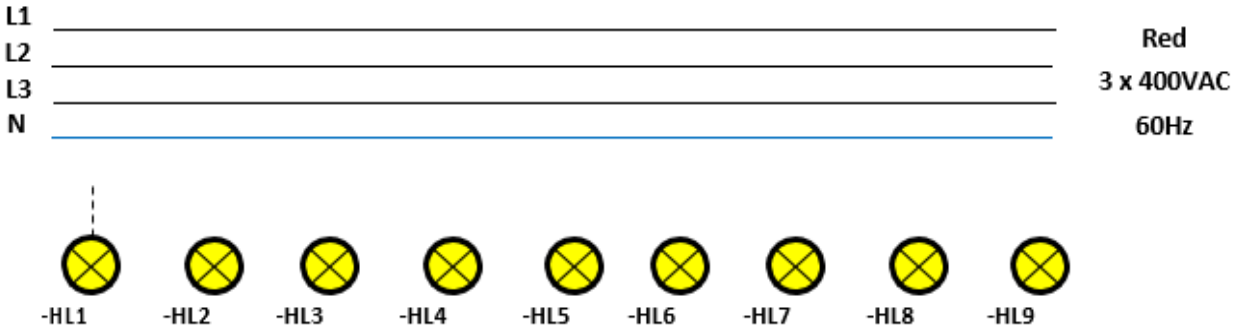


TABLA 7 - ANÁLISIS del SISTEMA DETALLADO

	Valor eficaz fundamental corriente I_1 RMS (A)	Frecuencia fundamental corriente f_1 (Hz)	Tasa de distorsión armónicos THD_I (%)	h > 1 Amplitud armónica h_n Tasa de distorsión individual τ_n					
				*h*__	*h*__	*h*__	*h*__	*h*__	*h*__
				τ__	τ__	τ__	τ__	τ__	τ__
Fase 1									
				%	%	%	%	%	%
Fase 2									
				%	%	%	%	%	%
Fase 3									
				%	%	%	%	%	%

DR_15-04 Documento Respuesta

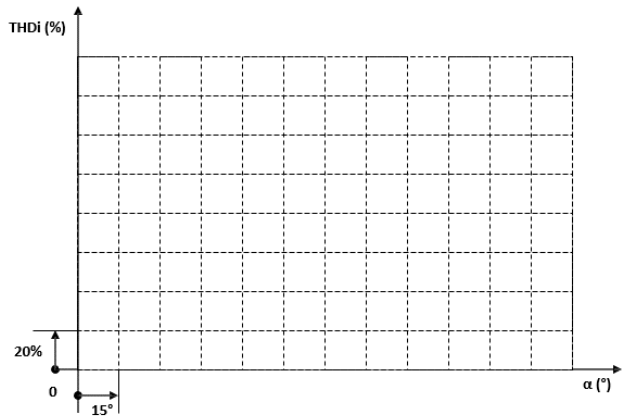
BOMBILLAS CON DIMMER MONOFASICO

Nombres:	Documento:	Código ficha:	Programa:	Fecha: DD/MM/AA

TABLA 1 – Alimentación de las tres bombillas HL1+HL2+HL3 por dimmer monofásico

Angulo de control α	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	Tensión U_{RMS} (V)	Corriente I_{RMS} (A)	FP/DPF	THDi (%)
α = 0°							
α = 30°							
α = 45°							
α = 60°							
α = 90°							
α = 120°							
α = 135°							
α = 150°							
α = 180°							

CARACTERÍSTICA THDi = f(α)



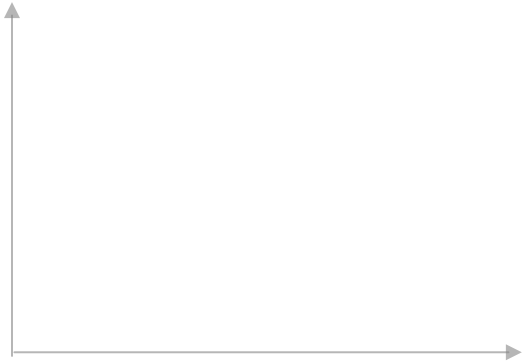


Diagrama espectral

TABLA 2 - ANÁLISIS del SISTEMA DETALLADO

	Condiciones	P (W)	Q (VAr)	Corriente de línea I_{RMS} (A)	Corriente $I_{1\ RMS}$ (A)	THDi (%)	Tiempo de disparo t_d (s)
1	HL1 Plena carga						
2	HL1 + HL2 ángulo de control α para la potencia activa del caso 1						
3	HL1 + HL2 + HL3 ángulo de control α para la potencia activa del caso 1						

DR_15-04 Documento Respuesta

BOMBILLAS CON DIMMER TRIFASICO

Nombres:	Documento:	Código ficha:	Programa:	Fecha: DD/MM/AA

TABLA 1 – BOMBILLAS CON DIMMER TRIFASICO

	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	Tensión U (V)	Corriente I (A)	Factor de potencia FP/DPF
Fase 1						
Fase 2						
Fase 3						

TABLA 2 - ANÁLISIS del SISTEMA DETALLADO

	Valor eficaz fundamental corriente I_1 RMS (A)	Frecuencia fundamental corriente f_1 (Hz)	Tasa de distorsión armónicos THD_I (%)	h > 1 Amplitud armónica h_n Tasa de distorsión individual τ_n					
				h__	h__	h__	h__	h__	h__
				τ__	τ__	τ__	τ__	τ__	τ__
Fase 1									
				%	%	%	%	%	%
Fase 2									
				%	%	%	%	%	%
Fase 3									
				%	%	%	%	%	%

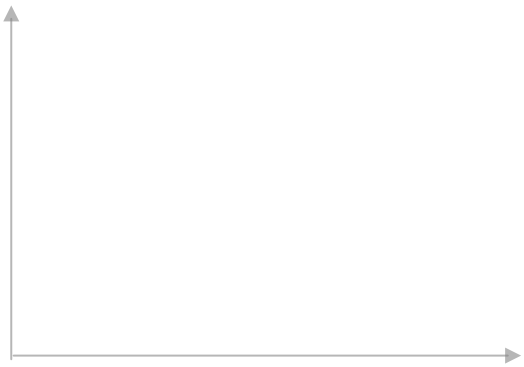


Diagrama espectral

DR_15-04 Documento Respuesta

REDUCCION DE ARMONICOS CON FILTRO

Nombres:	Documento:	Código ficha:	Programa:	Fecha: DD/MM/AA

TABLA 1 – BOMBILLAS CON FILTRO

	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	Tensión U (V)	Corriente I (A)	Factor de potencia FP/DPF
Fase 1						

TABLA 2 - ANÁLISIS del SISTEMA DETALLADO

	Valor eficaz fundamental corriente I_1 RMS (A)	Frecuencia fundamental corriente f_1 (Hz)	Tasa de distorsión armónicos THD_I (%)	h > 1 Amplitud armónica h_n Tasa de distorsión individual τ_n					
				h__	h__	h__	h__	h__	h__
				τ__	τ__	τ__	τ__	τ__	τ__
Fase 1									
				%	%	%	%	%	%
				%	%	%	%	%	%

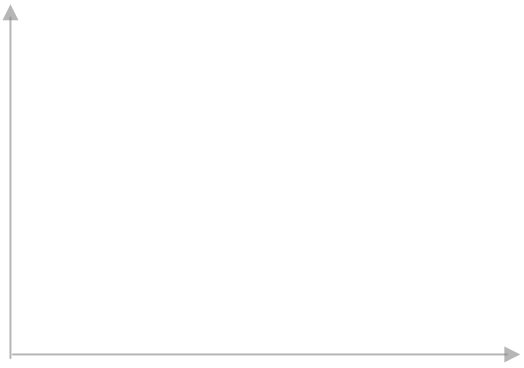


Diagrama espectral

DR_15-04 Documento Respuesta

REDUCCION DE ARMONICOS CON TRANSFORMADOR

Nombres:	Documento:	Código ficha:	Programa:	Fecha: DD/MM/AA

TABLA 1 – BOMBILLAS CON TRANSFORMADOR

	P (W)	Q (VAr)	S (VA)	Tensión U (V)	Corriente I (A)	Factor de potencia FP/DPF
Fase 1						

TABLA 2 - ANÁLISIS del SISTEMA DETALLADO

	Valor eficaz fundamental corriente I_1 RMS (A)	Frecuencia fundamental corriente f_1 (Hz)	Tasa de distorsión armónicos THD_i (%)	h > 1 Amplitud armónica h_n Tasa de distorsión individual τ_n					
				h__	h__	h__	h__	h__	h__
				τ__	τ__	τ__	τ__	τ__	τ__
Fase 1									
				%	%	%	%	%	%
Fase 2									
				%	%	%	%	%	%
Fase 3									
				%	%	%	%	%	%

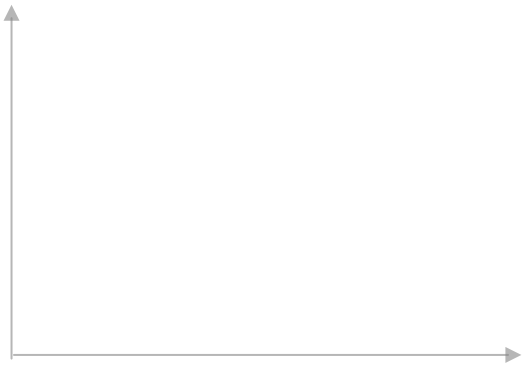


Diagrama espectral