

www.cisar.net

CISAR[®]

ENERGÍA REACTIVA Y ARMÓNICOS DESDE 1979
 POWER FACTOR CORRECTION AND HARMONICS, SINCE 1979
 ÉNERGIE REACTIVE ET HARMONIQUES, DÉPUIS 1979



c/ Cobalto, 110-08907-Hospitalet de Llobregat (Barcelona - Spain) - tel. +(34) 933 378 264 - fax +(34) 933 378 169 - cisarbcn@cisar.net

CONDENSADORES INDUSTRIALES, S.L.

ENERGÍA APARENTE, ACTIVA y REACTIVA	4
¿ qué es la energía reactiva ?	4
¿ qué es el $\cos \varphi$?	5
¿ qué es factor de potencia "PF" ?	5
Tarifas eléctricas en el "mercado libre"	6
Cómo se penaliza la energía reactiva consumida	6
¿ por qué hay que "compensar" la energía reactiva?	7
¿ dónde aparece la energía reactiva consumida en la factura eléctrica?	7
¿ qué es una batería automática de condensadores?	7
¿ En qué punto de la instalación hay que compensar la reactiva?	7
¿ cómo calcular la potencia (kVAr) y el tipo de batería de condensadores necesaria ?	8
Errores más comunes al calcular ó elegir una batería de condensadores	8
La importancia de una batería de condensadores con configuración "fina", sobretodo en instalaciones de pequeña potencia	9
ARMÓNICOS	10
Tipos de armónicos en una instalación	10
¿ como "intuir" la presencia de armónicos en una instalación ?	11
¿ como medir los armónicos en una instalación ?	11
¿ qué es el "espectro armónico" ?	11
¿ qué es la tasa de distorsión armónica (Thd) ?	12
Inter-relación ThdI & ThdU	13

<u>¿ cómo identificar la forma de un 3º, 5º ó 7º armónico ?</u>	<u>13</u>
<u>¿ qué orden (tipo) de armónicos predominan en los procesos?</u>	<u>14</u>
<u>¿ qué consecuencias provocan los armónicos ?</u>	<u>15</u>
<u>Tipos de filtros de armónicos</u>	<u>15</u>
<u>Estrategias a seguir en una instalación con armónicos</u>	<u>16</u>
<u>¿ qué es la resonancia en un sistema eléctrico ?</u>	<u>16</u>
<u>¿ qué es el factor p (%) de una reactancia/inductancia trifásica ?</u>	<u>17</u>
<u>Afectación de los armónicos sobre un transformador de potencia</u>	<u>17</u>
<u>ELEGIR CORRECTAMENTE UNA BATERIA DE CONDENSADORES</u>	<u>18</u>
<u>¿ los kVAr útiles a 400 V son iguales que a 440V ? NO</u>	<u>18</u>
<u>Qué batería de condensadores escoger según la instalación a compensar</u>	<u>18</u>
<u>Diferencia entre una batería de condensadores con filtros de bloqueo/rechazo y un filtro de absorción de armónicos</u>	<u>20</u>
<u>INSTALACIÓN de una BATERIA de CONDENSADORES</u>	<u>20</u>
<u>CONSEJOS útiles para COMPROBACIÓN</u>	<u>22</u>
<u>PROPIEDADES de los CONDENSADORES</u>	<u>24</u>
<u>Productos CISAR</u>	<u>25</u>
<u>Compensación de motores (fabricados según Norma EN60034-30)</u>	<u>26</u>
<u>Compensación de transformadores</u>	<u>27</u>
<u>Sección de cables e interruptores aconsejados según KVAR a 400 V.50 Hz</u>	<u>28</u>
<u>Tabla de cálculo para KVAR según Cos φ Tg (φ)</u>	<u>32</u>

CISAR aporta en este manual técnico su gran experiencia y especialización desde 1979 al conocimiento y gestión en la corrección del factor de potencia y el filtrado de armónicos en el ámbito de la eficiencia energética, para todos los sectores de actividad (industrial, generación de energía, hostelería, hospitalario, comercio, residencial , ...).

Nuestro departamento técnico está a su disposición para cualquier consulta que desee formularnos, ampliación de detalles técnicos, información complementaria, etc.

ENERGÍA APARENTE, ACTIVA y REACTIVA

La potencia eléctrica APARENTE (S) es la resultante de la suma de otras dos componentes vectoriales: La potencia ACTIVA (P) y la Potencia REACTIVA (Q)

La energía Activa es la que un receptor necesita para ser transformada en trabajo útil, luz o calor. Se expresa en kWh (kilo watios-hora)

¿ qué es la energía reactiva ?

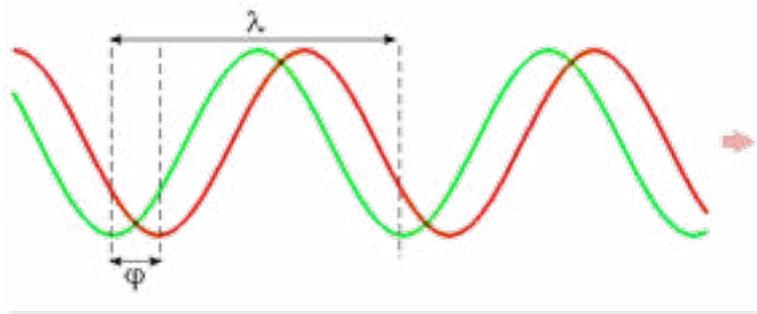
Es la energía que necesitan receptores tales como: transformadores , motores, aparatos de climatización, etc.) para generar los campos magnéticos que les harán funcionar. Estos aparatos necesitan esta energía (reactiva) aunque no la consumen. Esta energía se genera en los denominados "devanados eléctricos" fijos (p. ej. transformadores) ó móviles (p. ej. motores) La energía reactiva generada por los estos elementos es inductiva (IND), mientras que la generada por los condensadores es capacitiva (CAP).

El consumo de energía reactiva se expresa en kVAh (kilo voltio amperios reactivos-hora), tanto para motores y transformadores, como para condensadores.

¿ qué es el $\cos \varphi$?

Es el desfase entre la tensión y la intensidad (retraso o adelanto en el tiempo que experimente la onda de intensidad respecto a la de tensión, en un punto determinado).

Por tanto, el $\cos \varphi$ depende sólo de la potencia Activa (P) y de la potencia Reactiva (Q)



$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

P = potencia activa (trabajo)

S = potencia aparente de la instalación.

Q = potencia reactiva

Ver tabla del $\cos \varphi$

Ejemplo:

motor de 100 kW

$\cos \varphi$ inicial = 0,78

$\cos \varphi$ objetivo = 0,98

Según la tabla del $\cos \varphi$ factor = 0,599

*$Q = P * 0,599 = 100 * 0,599 = 59,9 \text{ kVAr}$*

¿ qué es factor de potencia "PF" ?

El factor de potencia (FP), del mismo modo que el $\cos \varphi$, se define como el desfase entre la tensión y la intensidad, pero teniendo en cuenta además la distorsión armónica "D".

De tal forma que en una instalación sin presencia de armónicos el $\cos \varphi$ y el PF son iguales, pero en una instalación en la que existen armónicos, el FP será inferior al $\cos \varphi$.

Aunque la señal de corriente pueda estar muy deformada, la de tensión no suele presentar grandes variaciones.

Tensión armónica x Corriente armónica = 0 $\cos \varphi$ y FP son valores muy parecidos.

$$D = V_h * I_h$$

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}$$

Tarifas eléctricas en el “mercado libre”

Según ITC/1723/2009, del 29 de junio de 2009, las tarifas eléctricas son:

2.0 A (sin Discriminación Horaria) 2.0 DHA (con D.H.)	Tensión < 1kV Potencia ≤10kW	
2.1 A (sin D.H.) 2.1 DHA (con D.H.)	Tensión < 1 kV 10kW < Potencia ≤15kW	
3.0 A (3 periodos_franjas horarias_ tarifarios)	Tensión < 1kV Potencia >15kW	
3.1 A (3 periodos tarifarios)	6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 (6 periodos tarifarios).	Alta Tensión

En muchas ocasiones las comercializadoras eléctricas indican los consumos en 6 periodos aunque la tarifa sea del tipo 3.0A. En estos casos hay que sumar P1 y P4, P2 y P5, P3 y P6, tanto la energía activa como la energía reactiva.

Cómo se penaliza la energía reactiva consumida

Según la potencia contratada: para cualquier potencia contratada, sin mínimo ni máximo cuando exista consumo de energía reactiva.

Tipo de tarifa según la actual ITC/3519/2009 de 28 de diciembre

Según el Factor de Potencia: se penaliza cuando éste es inferior a 0,95 IND, en la actualidad con este baremo del F.P. y según estos precios:

cos φ entre 0,95 y 1,00	0 € / kVArh
cos φ entre 0,95 y 0,80	0,041554 € / kVArh
cos φ inferior a 0,80	0,062332 € / kVArh

Según el tipo de Tarifa:

En tarifas 3.0 y 3.1 = se paga el exceso de reactiva que supere el 33% de la activa.

$$\text{Energía}_{\text{reactiva facturada}} = \text{Energía}_{\text{reactiva leída}} - 0,33 \times \text{Energía}_{\text{activa leída}}$$

En tarifas 2.0 y 2.1 = se paga el exceso de reactiva que supere el 50% de la activa.

$$\text{Energía}_{\text{reactiva facturada}} = \text{Energía}_{\text{reactiva leída}} - 0,50 \times \text{Energía}_{\text{activa leída}}$$

El precio por kVArh puede ser distinto en punta (P1), llano (P2) y valle (P3), al igual que la tarifa a aplicar en cada uno de los periodos.

Los periodos P3 y P6 NO penalizan por reactiva consumida.

¿ por qué hay que “compensar” la energía reactiva?

En primer lugar, obviamente para dejar consumirla y por tanto de pagarla.

La instalación está “compensada” cuando el consumo de energía reactiva no excede el 33% del consumo de energía activa.

Se tiende a compensar siempre al 100%, para alcanzar un $\cos \varphi = 1,00$

Compensando la energía reactiva se consigue menos circulación de intensidad por la instalación

$$(I^2_{\text{instalación}} = I^2_{\text{activa}} + I^2_{\text{reactiva}}).$$

¿ dónde aparece la energía reactiva consumida en la factura eléctrica?



¿ qué es una una batería automática de condensadores?

Es un equipo capaz de detectar la presencia de energía reactiva inductiva en una instalación eléctrica, y mediante la conexión de sus grupos de condensadores, conseguir la potencia reactiva capacitiva necesaria para eliminar la energía reactiva inductiva.

La potencia de una batería de condensadores se expresa en kVAR (kilo voltio amperios reactivos).

Los kVAR totales se dividen a su vez en varios grupos de condensadores

La “formación” de una batería de cond. reside en su configuración de grupos. Ej.: 75 kVAR (5+10+3x20 kVAR).

Las baterías de condensadores son elementos imprescindibles para reducir el coste energético de una instalación y mejorar su rendimiento eléctrico.

¿ En qué punto de la instalación hay que compensar la reactiva?

Lo habitual es compensar en la cabecera de la instalación, aunque también es posible compensar de forma individual donde exista un importante elemento consumidor de reactiva.

En el caso de los transformadores de potencia será siempre necesario un condensador fijo para compensar la energía reactiva del mismo, además de una batería automática para el resto de la instalación.

Compensación de transformadores: 5% de su potencia aparente (kVA) en kVAR

Ver tabla “Compensación de transformadores”

Comp. directa de motores:

Ver tabla “Compensación de motores”

mediante un contacto auxiliar del arranque estrella/triángulo ó temporización a la conexión.

¿ cómo calcular la potencia (kVAr) y el tipo de batería de condensadores necesaria ?

1) Con las facturas de la compañía eléctrica o comercializadora:

kVArh, kWh y lectura de maxímetro (kW) se obtendrán los kVAR necesarios
CISAR calcula la batería de condensadores según el consumo y la potencia máxima utilizada.

2) Realizando una medición con un analizador de redes eléctricas:

se obtendrán todos los parámetros de la red (tensión, intensidad, armónicos, kW, kVAr)
Complementando los dos procesos, se podrá calcular tanto la potencia necesaria de la batería, así como el tipo necesario: estándar a tensión de red, reforzada, con filtros de armónicos, etc.

CISAR dispone de un exclusivo y práctico software para cálculo de baterías de condensadores.
Programa de cálculo

CLIENTE:		Tensión de red [V]		400											
Referencia:		Configuración		Rápida											
Att.:															
Potencia contratada		P1(kw)	P2(kw)	P3(kw)											
		ENERGÍA ACTIVA (kWh)		ENERGÍA REACTIVA (kVArh)											
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6	POTENCIA MÁXIMETRO (kW)	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6		
Enero															
Febrero															
Marzo															
Abril															
Mayo															
Junio															
Julio															
Agosto															
Septiembre															
Octubre															
Noviembre															
Diciembre															
		cosφ		POTENCIA (kVAr)		AHORRO (€/mes)		POTENCIA NECESARIA		kVAr					
		P1	P2	P4	P5	Q1	Q2	Q4	Q5			BATERÍA			
		P1	P2	P4	P5	Q1	Q2	Q4	Q5			FAST CAP			
Enero												AHORRO ANUAL(estimado)		€/año	
Febrero												Impuesto eléctrico			
Marzo												IVA			
Abril												AHORRO ANUAL(estimado)		€/año	
Mayo												(Incluidos impuestos e IVA)			
Junio															
Julio															
Agosto															
Septiembre															
Octubre															
Noviembre															
Diciembre															

Errores más comunes al calcular ó elegir una batería de condensadores

• Usar sólo como indicativo la potencia contratada:

en muchas ocasiones sólo se utiliza una mínima parte de la potencia contratada, por lo que dimensionar la batería de condensadores según este valor puede significar una potencia excesiva en kVAr que nunca se usará al completo.

• Usar sólo como indicativo el maxímetro:

en los suministros que sólo pagan por maxímetro, dimensionar la batería de condensadores según la potencia contratada ocasionará que ésta (kVAr) sea insuficiente.

• No tener en cuenta las cargas residuales o pequeñas, aunque la potencia de la batería sea grande.

• No compensar el transformador de potencia cuando es necesario (el devanado secundario de un transf. consume energía reactiva).

La importancia de una batería de condensadores con configuración “fina”, sobretodo en instalaciones de pequeña potencia

Si los grupos de condensadores (kVAr) son lo más pequeños posibles y aumentan progresivamente en potencia, se conseguirá que en momentos de bajo consumo siempre habrá algún grupo en funcionamiento compensando la energía reactiva inductiva. Se debe optar por una batería de estas características cuando en la instalación existan pequeñas cargas de consumo permanente (por ej.: comunidades de vecinos, bares, restaurantes, supermercados, etc.)

En este tipo de instalaciones una batería de condensadores poco “fina” puede llegar a sobrecompensar y provocar elevaciones de tensión.



ARMÓNICOS

La distorsión armónica de una instalación eléctrica es un elemento fundamental a tener en cuenta, que incide directamente sobre el rendimiento y seguridad de un condensador.

En la actualidad el uso generalizado de elementos de "carga no lineal" (sais, variadores de frecuencia, arrancadores estáticos, iluminación led, etc.) provocan en una instalación eléctrica una serie de perturbaciones que, en menor o mayor medida afectan directamente a las mismas y a los propios condensadores.

¿ qué son los "armónicos" ?

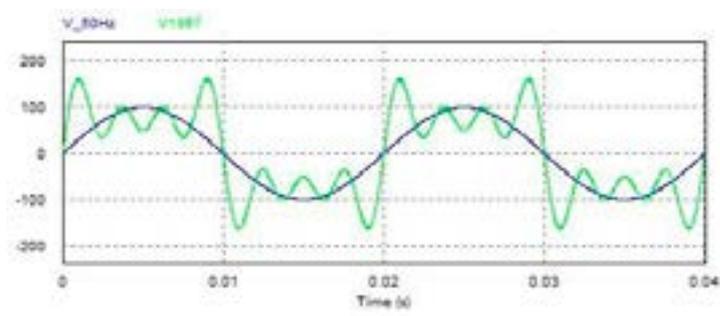
Una señal periódica contiene armónicos cuando la forma de onda de dicha señal no es senoidal, es decir, cuando se convierte en una señal deformada.

El valor "armónico" se analiza por cada frecuencia.

La frecuencia armónica es la frecuencia resultante de multiplicar 50 Hz por el número de orden del armónico.

Ej.: para el 5º armónico, la frecuencia es 250 Hz (5 x 50 Hz).

En el gráfico se presenta un armónico de 3er orden, del 5º orden y del 7º orden.



Nota: gráficas obtenidas de simulaciones.

Tipos de armónicos en una instalación

Los armónicos se clasifican por su: orden, frecuencia y secuencia.

Orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	n
Frec.(Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	n*50
Secuencia	+	-	0	-	+	0	+	-	0	

Los armónicos "pares" sólo existen cuando hay asimetría en la señal debida a la componente continua.

Pueden llegar a ser el resultado de una resonancia con la instalación.

Ej.: presencia de armónicos de orden 2 y 4 en instalaciones de hornos de inducción, generados por condensadores sin proteger con filtros de rechazo.

Los armónicos de secuencia neutra, es decir 0, o también llamados "homopolares", se suman en el neutro de la instalación, por el que puede llegar a circular hasta 3 veces más corriente del tercer armónico que por cualquiera de los conductores de fase. Provocan calentamiento en los condensadores y su destrucción.

Junto con los homopolares, los armónicos que más afectan a una batería de condensadores y, en general a una instalación, son los armónicos impares, siendo los más importantes: 3º, 5º, 7º, 11º, 13º.

¿ como “intuir” la presencia de armónicos en una instalación ?

- Disparo intempestivo de protecciones y diferenciales
- Sobrecalentamiento en conductores
- Ruído excesivo del/los transformador/es de potencia
- Desgaste prematuro de los condensadores sin protección específica contra armónicos

En una instalación eléctrica con armónicos, si la batería de condensadores no es la adecuada, ésta amplifica la distorsión armónica existente.

¿ como medir los armónicos en una instalación ?

- Con analizadores de panel (sólo valores totales)
- Con un analizador de red trifásico que mida verdadero valor eficaz “rms” (valores totales y desglosados de cada uno de los armónicos predominantes). Los instrumentos que miden valor medio aportan un error considerable. En este caso la medición debe realizarse con la eventual batería de condensadores desconectada

PARÁMETROS a MEDIR con un ANALIZADOR TRIFÁSICO:

- ✓ U(V), I(A), $\cos\phi$, FP, P(kW), Q(kVAr), ThdI(%), ThdU(%)
- ✓ y para cada fase = $I_{h_3}(\%)$, $I_{h_5}(\%)$, $I_{h_7}(\%)$, $I_{h_{11}}(\%)$, $I_{h_{13}}(\%)$, $I_{h_{17}}(\%)$.

DÓNDE y CÓMO MEDIR:

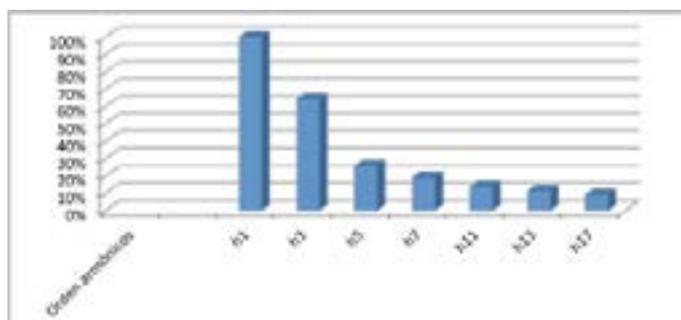
- ✓ en la cabecera de la instalación
- ✓ con la/s batería/s de condensadores desconectada/s
- ✓ durante período de carga máxima en la instalación

Un buen análisis de armónicos permitirá diseñar correctamente la batería de condensadores adecuada y/o el filtro para cancelación de armónicos necesario.

¿ qué es el “espectro armónico” ?

En términos de frecuencia, el espectro armónico permite descomponer una señal en sus armónicos y representarla mediante un gráfico de barras, donde cada barra representa un armónico en % o en intensidad eficaz (rms).

Orden armónicos	ARMÓNICOS						
	h1	h3	h5	h7	h11	h13	h17
	100,00%	64,19%	25,90%	19,01%	13,77%	11,29%	9,09%



Donde h1 es el 100% ya que corresponden a la componente fundamental.

¿ qué es la tasa de distorsión armónica (Thd) ?

La Thd (Total harmonic distortion), o tasa de distorsión armónica, es una forma de cuantificar numéricamente los armónicos existentes en un determinado punto de medida.

En Europa se utiliza el Thd referenciado respecto a h1, la onda fundamental (f) (50Hz) de intensidad teórica calculada según potencia.

$$\text{ThdI}_f = \frac{\sqrt{(h_2)^2 + (h_3)^2 + \dots (h_n)^2}}{h_1} \times 100\%$$

$$\text{ThdI}_3 = \frac{\sqrt{h_3^2}}{h_1} \times 100\%$$

La ThdI (%) es la distorsión de la corriente y la ThdU (%) es la distorsión referida a la tensión.

La ThdI (%) se genera por la no linealidad de la carga, mientras que la ThdU se genera por la fuente como resultado de una corriente muy distorsionada.

A partir de las corrientes eficaces (rms) de los diferentes armónicos, además de la fundamental:

- se calcula el ThdI (%) general
- se calcula el I_{hn} (%) para cada uno de los armónicos (n = 3,5,7,...) en relación a la fundamental.

Orden armónicos	ARMÓNICOS							I _{eff} (A rms)	ThdI (%)	Reducción corriente eficaz
	h1	h3	h5	h7	h11	h13	h17			
Intensidad Armónica (rms) (A)	3,63	2,33	0,94	0,69	0,5	0,41	0,33	4,53	74,51%	19,81%
h (%) armónico	100,00%	64,19%	25,90%	19,01%	13,77%	11,29%	9,09%			

Por otro lado, conociendo la I_{eff} y el ThdI, es posible calcular el % de reducción en Intensidad eficaz para poder cancelar la tasa de armónicos.

Ej.: con un ThdI(%)=63%, calcular la reducción en corriente si se eliminan totalmente los armónicos.

$$\frac{1}{\sqrt{(1 + \text{ThdI}^2)}} = \frac{1}{\sqrt{(1 + 0,63^2)}} = 0,84 = \frac{I_f}{I_{ef}}$$

I_{ef} = corriente eficaz leída por el contador

I_f = corriente fundamental que teóricamente debería consumir una carga

En el ejemplo,

$$I_{ef} = 1,18 \times I_f$$

(la corriente eficaz es un 18% mayor que la fundamental)

Inter-relación ThdI & ThdU

En presencia de ThdU (%) _distorsión armónica en tensión_, los armónicos en corriente ThdI (%) se amplifican entre tres y cuatro veces.

Cuando no existe ThdU (%), la amplificación de los armónicos en corriente ThdI (%) es aproximadamente el doble.

Por lo general los valores más habituales de ThdU (%) están en torno al 1%, pero cuando existe distorsión armónica generada por los elementos descritos anteriormente, este valor puede aumentar.

El ThdU(%) es un reflejo de la caída de tensión armónica (a distintas frecuencias) provocada por la corriente armónica ThdI (%) a lo largo de los conductores de la instalación.

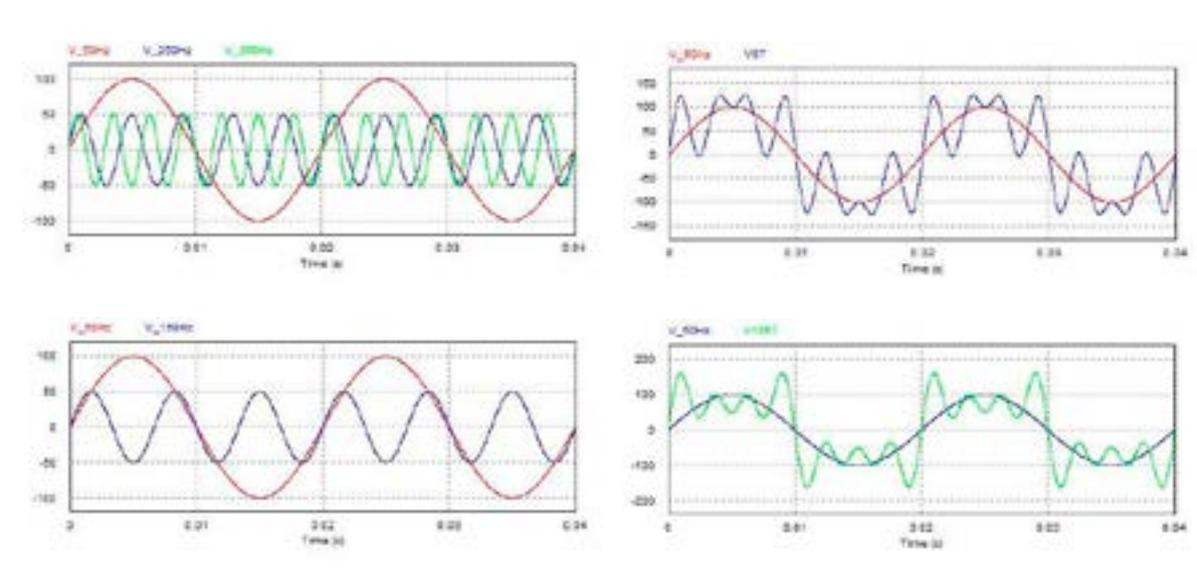
Todas las instalaciones que se alimenten de un mismo transformador de potencia comparten el mismo ThdU (%).

No ocurre lo mismo con el ThdI (%); en este caso dependerá del tipo de cargas existentes en cada instalación.

¿ cómo identificar la forma de un 3º, 5º ó 7º armónico ?

A continuación se muestran los armónicos predominantes generados por un variador de frecuencia (5º y 7º).

Por otro lado se muestra la forma típica de un SAI con el 3er armónico como predominante (color azul).



Nota: gráficas obtenidas de simulaciones.

¿ qué orden (tipo) de armónicos predominan en los procesos?

A continuación se muestra una tabla que indica los principales procesos productivos y el orden de los armónicos predominantes en dichos procesos.

SECTOR INDUSTRIAL					
Actividad	Procesos	3er armónico	5º armónico	7º armónico	con tiristores
metalúrgico	soldadura por puntos y/o baños galvánicos				
	estampación, bombeo, corte por laser				
	fresado, torneado, pulido				
cementera, canteras, minería	triturado, moleteado, transporte, elevación, ventilación.				
siderurgia	Hornos de inducción				
	laminados, trefilados				
agroalimentaria, farmacia, refinería	filtración, concentración, bombeo				
maderero	transporte, serrado				
plásticos	extrusión, termoconformado				

SECTOR TERCIARIO					
Actividad	Procesos	3er armónico	5º armónico	7º armónico	con tiristores
centros comerciales	informática, iluminación, climatización, montacargas				
<i>hospitales, residencias</i>	informática, iluminación, climatización, ascensores, equipos electrónicos				
<i>hostelería</i>	informática, iluminación, climatización, ascensores, equipos electrónicos				
oficinas	informática, iluminación, climatización, ascensores, equipos electrónicos				
clubs deportivos	informática, iluminación, climatización, ascensores, equipos electrónicos				

¿ qué consecuencias provocan los armónicos ?

A continuación mostramos una tabla donde se indican los efectos sobre diferentes partes de la instalación, sus causas y sus consecuencias.

EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS	CAUSAS	CONSECUENCIAS
en los condensadores	Posibilidad de que entren en resonancia con la instalación.	Amplificación de los armónicos y reducción de su vida útil.
		Aparición de armónicos pares.
en los conductores	El efecto pelicular "skin" hace que la corriente circule por la zona superficial del conductor.	Sobrecalentamiento de los conductores.
	Aumento de la Irms.	Disparo intempestivo de diferenciales y/o de magnetotérmicos.
	Saturación de las líneas	Necesidad de ampliar la sección por fase.
en el conductor neutro	Las componentes homopolares no se cancelan entre ellas.	Sobrecalentamiento de los conductores.
		Necesidad de ampliar la sección del neutro a 1,5 veces la de la fase.
en los transformadores	Aumento de las pérdidas por un aumento de corriente	Pérdida de potencia disponible (factor k de desclasificación).
	Posibilidad de saturación del trafo.	Posible fuente generadora de armónicos, concretamente del 3er armónico.
en los motores	Aparición de un campo magnético rotatorio.	Puede frenar o acelerar los motores.
en equipos electrónicos	La insuficiente inmunidad de éstos frente a los armónicos.	Dstrucción de las fuentes de alimentación.

Tipos de filtros de armónicos

La primera consideración a tener en cuenta es que no es lo mismo una batería de condensadores con filtros de bloqueo que un filtro para absorción de armónicos.

En el primer caso se trata de proteger los condensadores contra los efectos de los armónicos, y evitar que éstos amplifiquen la señal en la instalación.

En el segundo caso se trata de eliminar o cancelar los armónicos existentes en una instalación eléctrica, exista o no una batería de condensadores.

Una BATERÍA con FILTROS para RECHAZO/BLOQUEO de ARMÓNICOS, puede ser:

- ✓ con filtros para bloquear a partir del 5º armónico
- ✓ con filtros para bloquear a partir del 3er armónico
- ✓ con grados de ThdU: $\leq 3\%$ / $\leq 6\%$ / $\leq 9\%$

Un FILTRO para ELIMINACIÓN o CANCELACIÓN de ARMÓNICOS, puede ser:

- ✓ un filtro pasivo
- ✓ filtro activo
- ✓ un filtro de absorción
- ✓ un transformador compensador o de aislamiento

Estrategias a seguir en una instalación con armónicos

CISAR propone dos estrategias según la instalación:

CANCELAR si las cargas son grandes y pocas. Será conveniente filtrar "a pie" de cada una de las cargas.

PROTEGER: si las cargas son pequeñas y distribuidas. Será conveniente proteger el equipo o máquina afectado/a por los armónicos.

Sólo en casos excepcionales es necesario recurrir a filtros activos.

La mayoría de los filtros se instalan en serie.

¿ qué es la resonancia en un sistema eléctrico ?

Es la amplificación de los armónicos de una forma exagerada.

En una instalación eléctrica se presenta una resonancia en paralelo entre el transformador y la batería de condensadores (sin tener en cuenta los conductores como primera aproximación).

Se obtiene una frecuencia cercana a una frecuencia armónica que puede expresarse de la siguiente forma:

$$h_r = \sqrt{\frac{100 * S_t}{U_{cc} * Q}}$$

S_t = potencia aparente del trafo (kVA)

U_{cc} =tensión de cc del transformador (%), habitualmente 6%.

Q = potencia reactiva de la batería (kVAR)

h_r = armónico de resonancia.

Por regla general, la frecuencia de resonancia de la instalación debe estar alejada de los armónicos predominantes.

Ej.1:

S_t del transformador = 800 kVA

u_k = 6%

Q = 100 kVAR

Armónicos predominantes = 5º y 7º.

$$h_r = \sqrt{\frac{100 * 800}{6 * 100}} = 11,54$$

Valor alejado del 5º y 7º armónico predominante en la instalación del ejemplo 1, por lo que habría que preveer problemas de este tipo.

Ej. 2:

S_t del transformador = 800 kVA

u_k = 6%

Q = 250 kVAR

Armónicos predominantes = 5º y 7º.

$$h_r = \sqrt{\frac{100 * 800}{6 * 250}} = 7,3$$

Valor muy cercano al 5º armónico predominante en la instalación del ejemplo 2, por lo que habría que preveer dicha situación, instalando una batería con filtros de rechazo desintonizada a 189 Hz.

FACTOR de RESONANCIA:

Es la relación entre la frecuencia a la que se sintoniza el filtro y la frecuencia fundamental de la red.

Ej. 1: sintonización de un filtro para armónicos de orden 5º y superior en una red de 50 Hz.

$$h_r = \frac{f_r}{f_n} = \frac{189}{50} = 3,78$$

Ej. 2: sintonización de un filtro para armónicos de orden 3º y superior en una red de 50 Hz.

$$h_r = \frac{f_r}{f_n} = \frac{134}{50} = 2,68$$

¿ qué es el factor p (%) de una reactancia/inductancia trifásica ?

Es un valor en porcentaje que indica la frecuencia de sintonización del filtro.

Ej. 1: sintonización de un filtro para armónicos de orden 5º y superior.

$$p (\%) = \frac{100}{h_r^2} = \frac{100}{3,78^2} = 7\%$$

Ej. 2: sintonización de un filtro para armónicos de orden 3º y superior.

$$p (\%) = \frac{100}{h_r^2} = \frac{100}{2,68^2} = 14\%$$

Afectación de los armónicos sobre un transformador de potencia

Los centros de transformación son muy sensibles a la corriente armónica, ya que puede provocar en ellos fuertes sobrecalentamientos y averías.

La potencia nominal y el calor que disipa un transformador en régimen de plena carga se calculan en base a que en la instalación sólo existen cargas lineales y por tanto que no generan armónicos.

Si el transformador tiene que aportar corriente con armónicos, se sobrecalentará incrementando el riesgo de averías.

El factor k es un factor de desclasificación de los transformadores que indica cuánto se debe de reducir la potencia máxima de salida cuando existen armónicos.

$$K = \frac{I_{\text{pico}}}{(I_{\text{rms}} \cdot \sqrt{2})}$$

Hay que obtener los valores promedio en el secundario del transformador y aplicar la fórmula.

Ej.:

transformador de 1000 kVA con un valor de desclasificación K de 1,3.

Máxima potencia que se le podría solicitar para no sobrecalentarse y no distorsionar la tensión 769 kVA.

ELEGIR CORRECTAMENTE UNA BATERIA DE CONDENSADORES

En este apartado se indican los parámetros a tener en cuenta para elegir correctamente la batería de condensadores necesaria según el tipo de instalación eléctrica a compensar.

Es imprescindible disponer de esta información:

- ✓ Potencia del transformador (sólo en el caso de usuarios con transf. propio)
- ✓ 12 últimas facturas de electricidad
- ✓ Tensión nominal de la red en B.T.
- ✓ Tipo de maquinaria en la instalación
- ✓ Tipo de iluminación en la instalación
- ✓ Tasa de distorsión armónica y armónicos predominantes

A continuación se irán planteando cuestiones e indicando consejos.

¿ los kVAr útiles a 400 V son iguales que a 440V ? NO

$$X_c = \frac{1}{(2 * \pi * f_c * C)}$$

$$I = \frac{V_c}{X_c}$$

$$Q_{real} = V_{real} * I_{real} = V_{real} * 2 * \pi * f_{real} * C$$

Igualando la parte constante $2 * \pi * C$, se obtiene:

$$Q_{real} = \frac{U_r^2}{U_c^2} * \frac{f_r}{f_c} * Q_c$$

Ej.:

Batería de condensadores de 100 kVAr/440V conectada a una red de 400 V

$Q_{real} = 80$ kVAr (es un 20% menos).

Si en una instalación con $U_n = 400V$ se decide instalar una batería de condensadores a 440V, la potencia de la misma deberá ser un 20% mayor

Qué batería de condensadores escoger según la instalación a compensar

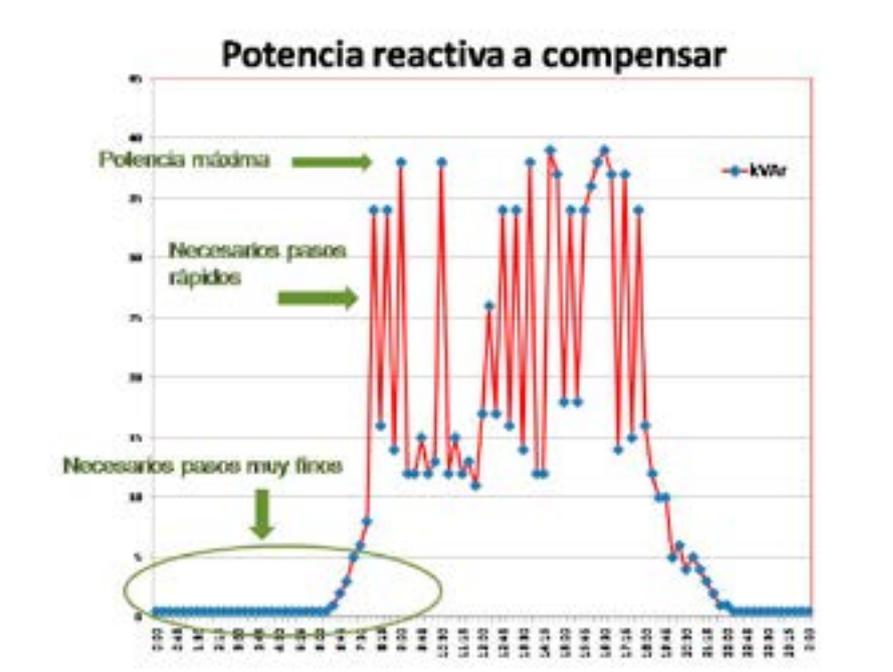
BATERÍAS DE CONDENSADORES "ESTÁNDAR":

Series CISAR_"PHICAP" / "PHICAP PLUS" (con interr. automático de serie según potencia)

PARA CARGAS PEQUEÑAS Y CONSTANTES:

Baterías de condensadores CISAR_"FAST CAP"

- ✓ consiguen tiempos de conexión de 5 seg.
- ✓ ideales para cdades. de vecinos, bares, restaurantes, parkings, etc.
- ✓ regulador electrónico digital multifunción
- ✓ interruptor automático de serie, con posibilidad de integrar el diferencial



PARA PEQUEÑAS INSTALACIONES CON POCA PENALIZACIÓN POR REACTIVA:

Equipos automáticos CISAR_ "CRC" y/o "A_4"

- ✓ bajo coste y extrema facilidad de montaje
- ✓ ideales para pequeñas instalaciones donde sea necesaria una rápida amortización de la inversión.
- ✓ relé de intensidad reactiva
- ✓ interruptor automático de serie

PARA INSTALACIONES CON CARGAS MUY RÁPIDAS:

- ✓ Baterías de condensadores con tiristores
- ✓ Mediante las exclusivas baterías automáticas "mixtas" de CISAR, que consiguen tiempos de conexión de 20 ms. y son más económicas que las baterías de condensadores con tiristores.

PARA INSTALACIONES CON MODERADO CONTENIDO ARMÓNICO:

Mediante las exclusivas baterías "R-CAP" de CISAR

- ✓ condensadores especiales reforzados en tensión
- ✓ soportan hasta $ThdI \leq 10\%$ y/o $ThdU \leq 2\%$.

PARA INSTALACIONES CON ELEVADA DISTORSIÓN ARMÓNICA:

Si la $ThdI$ supera el 10% ó la $ThdU$ supera el 2% será necesario instalar una batería de cond. con filtros de rechazo.

Hay dos opciones en función de la distorsión del 3er armónico:

- Si $I_{h_3}(\%)_{3er\ armónico}$ no supera el 20% de la distorsión generada por $I_{h_5}(\%)_{5º\ armónico}$, la batería deberá tener una desintonización a 189 Hz ($p=14\%$).
- Si $I_{h_3}(\%)_{3er\ armónico}$ supera el 20% de la distorsión del $I_{h_5}(\%)_{5º\ armónico}$, la batería deberá tener una desintonización a 134 Hz ($p=7\%$) en este caso estará "desintonizada al 3er armónico".

En esta tabla se indica el tipo de batería de condensadores recomendada según el % de distorsión armónica existente. Cabe destacar para las baterías "con tiristores" y "mixtas", que están disponibles también con filtros de armónicos si fuera necesario.

ThdI (%)	Armónico nº	ThdU < 2%	2% ≤ ThdU < 6%
ThdI (%) < 6%		Serie PHICAP Serie PHICAP_PLUS Serie FAST-CAP Con tiristores ó mixta	Batería con filtros de rechazo
6% ≤ ThdI (%) < 10%		Serie R-CAP	
ThdI (%) ≥ 10 %	Si 3er armónico: $I_{h_3}(\%) \leq 20\% \times I_{h_5}(\%)$ 5º armónico: $I_{h_5}(\%) \neq 0$	Batería con filtros de rechazo desintonizada a $p=7\%$ ($f = 189 \text{ Hz}$) y $\text{ThdU}(\%) < 6\%$.	
	Si 3er armónico: $I_{h_3}(\%) > 20\% \times I_{h_5}(\%)$ 5º armónico: $I_{h_5}(\%) \neq 0$ 7º armónico: $I_{h_7}(\%) \neq 0$	Batería con filtros de rechazo desintonizada a $p=14\%$ ($f = 134 \text{ Hz}$) y $\text{ThdU}(\%) < 6\%$.	

Diferencia entre una batería de condensadores con filtros de bloqueo/rechazo y un filtro de absorción de armónicos

Una batería de condensadores se construye con **filtros de rechazo** cuando hay que impedir que los armónicos contaminantes existentes en la instalación puedan dañar a los condensadores y éstos a su vez puedan amplificar los armónicos, afectando al resto de la instalación. Estos filtros, denominados también "**de bloqueo**", se conectan en serie a los condensadores.

Un **filtro de absorción** se utiliza para absorber el/los armónicos para los que ha sido diseñado y los elimina.

Al tratarse de una solución "a medida", el cálculo de un filtro de absorción requiere un exhaustivo análisis previo para determinar la necesidad de instalar: un filtro pasivo, un filtro activo, un compensador de armónicos, etc.

El departamento técnico de CISAR está a su disposición para cualquier consulta al respecto, en búsqueda de la solución más adecuada.

INSTALACIÓN de una BATERIA de CONDENSADORES

PROTECCIONES:

Según el R.B.T 2002 hay la obligación proteger la batería de condensadores mediante interruptor automático; deberá protegerse además con un diferencial cuando se instale en lugares de concurrencia pública.

Esta protección se puede integrar en la batería de condensadores, o mediante la instalación de dichas protecciones en el cuadro general.

Cuando la distancia entre la acometida desde el cuadro general eléctrico y la batería de condensadores es menor a 3 metros, sirve cualquiera de las opciones mencionadas

Si no se cumple la condición anterior es recomendable que el interruptor automático + diferencial esté(n) en el cuadro general eléctrico; de esta forma los cables que alimentan a la batería de condensadores también estarán protegidos.

SECCIÓN de CABLES:

Las diferentes secciones de cables se basan en las disposiciones de RBT 2002 _actualización UNE 20-460-5-523 (2004).
Según la tabla adjunta:

- B2: para cables multipolares bajo tubo en montaje superficial o encastado en obra.
- E: para cables multipolares al aire o en bandeja perforada separados de la pared a una distancia 0,3D
- F: para cables unipolares en contacto mútuo al aire o en una bandeja perforada, separados de la pared una distancia superior a su diámetro.

En el caso de ternas, los cables tendrán una disposición con alternancias RST- TSR y en una sola capa sobre pared, suelo o superficie sin perforar, aplicando el coeficiente 0,85 de reducción por agrupamiento de conductores a las intensidades admisibles según UNE 20-460-5-523 (2004).

Hay que considerar además la caída de tensión en función de la distancia y que la sección elegida proteja toda la longitud del cable en caso de cortocircuito.

En las instalaciones con cable al aire a una altura superior a 1000 m., deberá aplicarse un coeficiente de reducción en función de la altura sobre el nivel del mar (DIN 43671).

✓ Ver tabla "Cables y Protecciones"

TRANSFORMADOR de INTENSIDAD (..... / 5 Amp.):

El valor de primario (Amp.) del transf. de intensidad debería ser siempre del mismo orden (Amp.) que el IGA.

En la práctica, será la lectura del maxímetro quien indicará la corriente máxima alcanzada por la instalación.

En situaciones de poca carga, el regulador de la batería de condensadores puede indicar error por corriente baja cuando esté leyendo el 2,5 % del fondo de escala del TI. Por dicho motivo es importante ajustar al máximo este valor.

Ej.: Si el IGA (interruptor general) es de 1500 A, el TI (trafo de intensidad) debería ser de 1500/5 Amp.

El 2,5 % de 1000 son 25^a la batería no arrancará hasta que no circulen por la instalación un mínimo de 25 A.

	elección del T.I. (transf. de intensidad) (Amp.)																		
potencia contratada (kW)	17,32	20,78	24,24	27,71	31,17	34,64	43,64	55	69	87	111	139	173	218	277	346	436	554	693
Int. nominal (A)	25	30	35	40	45	50	63	160				400			630		1000		
IGA	25	30	35	40	45	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	600	800	1000
TI (X/5)	25	37,5	37,5	50	50	50	75	100	100	150	150	200	250	400	400	500	800	800	1000
mínimo consumo (A) para que la batería compense (2,5% del TI).	0,63	0,94	0,94	1,25	1,25	1,25	1,88	2,50	2,50	3,75	3,75	5,00	6,25	10,00	10,00	12,50	20,00	20,00	25,00

El T.I. deberá instalarse en la cabecera de la instalación, con la finalidad de leer la totalidad de la corriente, incluyendo la de la batería de condensadores.

- Si la unión física de los cables está aguas arriba del TI, éste debe abrazar tanto el cable de la batería de condensadores como los cables de alimentación del resto de la instalación.
- Si la unión física de los cables está aguas abajo del TI, éste debe abrazar sólo los cables de alimentación del total de la instalación (por los que pasa la totalidad de la corriente).
- El T.I. debe instalarse en la fase con mayor consumo.
- En el caso de instalaciones con cargas muy desequilibradas pero constantes, es aconsejable buscar una fase intermedia, ni la de mayor consumo ni la de menor consumo.
- Siempre deberá coincidir con la fase que se conecte en la entrada de alimentación de la batería de condensadores indicada como "L-TRAFO".
- Para instalaciones muy desequilibradas y fluctuantes es aconsejable un regulador que lea en las 3 fases, de forma que la reactiva total sea siempre la suma de la reactiva de cada una de las fases.

$$Q_{tot} = Q1 + Q2 + Q3$$

Un transformador de intensidad se puede averiar principalmente por:

- sobrecorriente: si por él circula más corriente que su corriente nominal de primario.
- secundario abierto (hay que mantenerlo siempre cortocircuitado o conectado al regulador).

CONSEJOS útiles para COMPROBACIÓN

VERIFICAR la INSTALACIÓN de una BATERÍA de CONDENSADORES:

- comprobar la correcta posición del T.I.
- comprobar que corriente medida en la cabecera de la instalación con unas pinzas amperimétricas, coincide con la corriente que indica la batería de condensadores (en modo manual).
- comprobar que el regulador de la batería indique un $\cos \varphi$ inductivo (IND).
- comprobar que el regulador en modo automático conecte los escalones de forma gradual y estable.

COMPROBAR la CAPACIDAD (C) de un CONDENSADOR:

- Siempre con el condensador desconectado y descargado.
- Es aconsejable medir la Capacidad C en bornes del contactor, en el lado donde se conectan los cables con el condensador.
- Con la frecuencia de medida del capacímetro cercana a 1,2 kHz.
- Tomar la medida entre 1-2, 2-3 y entre 1-3.
- El valor Cm (capacidad monofásica) es 2/3 del valor medido.

COMPROBACIÓN del ESTADO de los CONDENSADORES e INDUCTANCIAS en una BATERÍA con FILTROS de ARMÓNICOS:

Como ocurre con cualquier otro componente eléctrico, el paso del tiempo provoca desgaste en los condensadores, en este caso pérdida de capacidad (μF); también ocurre lo mismo con las inductancias ó filtros de rechazo (mH).

Con la batería de condensadores desconectada:

- ✓ Aunque algunos capacímetros pueden leer la capacidad de un condensador sin desconectarlo de su inductancia asociada, es preferible desacoplar el filtro del condensador y medir capacidad por separado.

Con la batería de condensadores conectada:

- ✓ Intensidad en cada grupo de condensadores (tanto con filtros como sin filtros):
 - Medir la corriente I_{h1} en la entrada de la batería de condensadores con ésta conectada, para obtener la potencia reactiva a 50 Hz que aportan los condensadores.

$$Q(\text{kVar}) = \sqrt{3} * U * I(\text{A})$$

Cuando los condensadores de un batería con filtros de armónicos pierden capacidad, varía la frecuencia de desintonización a la que inicialmente se habían calculado los valores para conectar entre sí ambos elementos, pudiendo incluso llegar a ser peligrosa si se aproxima a la sintonía de los armónicos.

El conjunto condensador-inductancia se calcula para una determinada frecuencia de resonancia. Si esta frecuencia varía, el filtro de rechazo se convertirá en un filtro de absorción, provocando efectos dañinos colaterales importantes sobre la propia batería y sobre la instalación eléctrica en general.

IMPORTANTE: cuando hay que sustituir los condensadores a causa de un desgaste por tiempo de uso, deben ser de la misma capacidad (μF) y tensión; y deben sustituirse también las inductancias trifásicas teniendo en cuenta las mismas consideraciones.

SI HAY GENERADORES:

Si existen generadores en la instalación aguas arriba o en el misma acometida que la que alimenta la batería de cond., es recomendable desconectar la batería de condensadores cuando entre en funcionamiento el generador:

- mediante la instalación de una maniobra de desconexión del regulador gobernada por un contacto desde el generador. La reconexión de la batería se realizará en modo automático.
- mediante la colocación del transformador de intensidad en el lado de compañía suministradora y no en la salida del conmutador. Al no leer corriente, la batería de condensadores entrará en modo "stand by".

MANIOBRA "MAESTRO/ESCLAVO":

Se puede hacer que el tiempo de conexión y desconexión de los condensadores de dos baterías distintas sea diferente en ambas, logrando que puedan trabajar para que las dos tengan la potencia distribuida.

Se lleva a la práctica con dos reguladores, uno programado como maestro y otro como esclavo. El segundo actuará como una ampliación del primero, pudiendo llegar a controlar hasta 24 salidas.

COMPROBAR si la POTENCIA de la BATERÍA es CORRECTA

- ✓ Con la máxima potencia posible conectada en la instalación, y con el regulador de la batería en modo manual (MAN), éste indicará los kVAR necesarios para compensar la instalación.
- ✓ Con el regulador en modo automático (AUT), comprobar de nuevo los kVAR.
..... la diferencia de kVAR será la potencia que aporta la batería de condensadores.
- ✓ Verificar los kVAR que requiere la instalación cuando ésta está con la mínima carga y con el regulador en modo manual (MAN).
..... si la potencia es inferior al primer escalón y la instalación está penalizando, será necesario adaptar la batería al modo de funcionamiento de la instalación (conseguir una regulación "más fina" por ejemplo).

SECUENCIAS de CONEXIÓN/DESCONEXIÓN:

Los tiempos de conexión y desconexión de los condensadores deben estar entre los 30 y 60 segundos.

En conexiones de condensadores monofásicos montados en triángulo o estrella, es posible reducir el tiempo de conexión y desconexión a 5 segundos (consultar departamento técnico CISAR).

Si hay que reducir todavía más los tiempos, será preciso utilizar resistencias de descarga rápida.

Para tiempos menores de reacción deberán utilizarse tiristores (20 ms.) en lugar de contactores.

PROPIEDADES de los CONDENSADORES

PRINCIPALES "ENEMIGOS" de un CONDENSADOR:

- Temperatura:
 - Si la temperatura máxima media de servicio supera los 45°C de forma sostenida, puede provocar la degradación del dieléctrico (polipropileno), dejando sin aislamiento los polos contiguos del condensador, produciendo un spot (intenso foco de calor).
 - Causas:
 - ✓ mala ventilación de los condensadores
 - ✓ elevada tensión, tanto permanente como transitoria
 - ✓ elevada corriente armónica
 - ✓ elevados picos de corriente
- Armónicos:
 - ✓ elevada ThdI (%)
 - ✓ elevada ThdU (%)
 - ✓ entrada de órdenes de armónicos para los cuales el filtro no está calculado.
 - Ej.:
 - baterías sintonizadas a 189 Hz (5º armónico) compensando en instalaciones en las que predomina el 3er armónico
 - baterías preparadas para una ThdU($\%$<math><6\%</math>, en instalaciones con una ThdU ($\%$) superior

RESPECTO a la TENSIÓN:

Por normativa un condensador debe soportar un 10% más de tensión que su valor nominal, pero sólo durante 8 horas al día.

En el caso de un condensador de 400 Vac:

Tensión (V)	tiempo
400 V	24 h /día
440 V	8 h /día
460 V	30 min /día
480 V	5 min /día
520 V	1 min / día

PROPIEDAD "AUTOCICATRIZANTE":

Hace desaparecer un cortocircuito interno en el condensador a cambio de una pérdida de capacidad

Productos CISAR

En el catálogo CISAR se halla la batería automática, el condensador fijo o el equipo de medida que más se ajuste a cada necesidad de compensación.

Gama de fabricación según tensión nominal de condensador (tanto para baterías automáticas como para condensadores fijos): de 230 Vac hasta 1050 Vac

CISAR fabrica con componentes de 1ª calidad.

Bajo demanda, CISAR fabrica equipos especiales que no figuren en catálogo.

Nos adaptamos a las necesidades de cada proyecto en particular e intentamos siempre encontrar la mejor solución técnica.

BATERÍAS AUTOMÁTICAS de CONDENSADORES:



- Serie PHICAP
- Serie PHICAP PLUS
- Serie FAST CAP
- Serie R-CAP
- Con MANIOBRA ESTÁTICA (TIRISTORES)
- Serie "MIXTA"
- Con FILTROS de ARMÓNICOS

Ventajas de las baterías de condensadores CISAR:

- ✓ Armario metálico especialmente diseñado para facilitar la instalación y mantenimiento del equipo.
- ✓ Fusibles con alto poder de corte.
- ✓ Condensadores con dispositivo de desconexión por sobrepresión y resistencias de descarga.
- ✓ Contactores con resistencias de preinserción, especiales para condensadores (Ac6b)
- ✓ Relé térmico en las reactancias (sólo en baterías con filtros de rechazo y filtros de absorción).
- ✓ Protección en metacrilato contra contactos directos.
- ✓ Termostato de máxima del regulador en caso de temperatura elevada.
- ✓ En conjuntos modulares sistema para corte de tensión en caso de caída de alimentación.
- ✓ Contactos auxiliares en los interruptores.
- ✓ Regulador multifunción reprogramable.
- ✓ Ventilación forzada según potencias.
- ✓ Manual técnico completo con Certificados según Normas.

CONDENSADORES FIJOS (de 230 VAC hasta 1050 VAC)



- Cilíndricos:
 - CRM
 - CRT
 - RDC
- En caja metálica o armario
 - con o sin protección adicional (fusibles, interr. automático)
 - con filtro de armónicos

MEDIDA y CONTROL:



- Reguladores de potencia reactiva:
 - estándar
 - "tres-en-uno": regulador, analizador de red, contador de energía
- Analizadores de red portátiles.
- Transformadores de intensidad.
 - núcleo cerrado
 - núcleo abierto
 - sumadores
- Contactores especiales para condensadores.

Compensación de motores (fabricados según Norma EN60034-30)

(kW)			(CV)			1500 r.p.m kVAr	1000 r.p.m kVAr	750 r.p.m kVAr
1	-	1,9	1,4	-	2,6	0,5	0,5	0,6
2	-	2,9	2,7	-	3,9	1	1,1	1,2
3	-	3,9	4,1	-	5,3	1,5	1,6	1,7
4	-	4,9	5,4	-	6,7	2	2,1	2,3
5	-	5,9	6,8	-	8	2,5	2,6	2,9
6	-	7,9	8,2	-	10,7	3	3,2	3,5
8	-	10,9	10,9	-	14,8	4	4,2	4,6
11	-	13,9	14,9	-	18,9	5	5,3	5,8
14	-	17,9	19	-	24,3	6	6,3	6,9
18	-	21,9	24,5	-	29,8	7,5	8	8,6
22	-	29,9	29,9	-	40,6	10	10,5	11,5
30	-	39,9	40,8	-	54,2	aprox. 40% kW / C.V.		
40			54			aprox. 35% kW / C.V.		

Compensación de transformadores

Transf. (kVA)	(kVAr)
25	1,25
50	2,5
100	5
150	7,5
200	10
250	12,5
400	20
500	25
600	30
700	35
800	40
900	45
1000	50
1250	62,5
1600	80
2500	125

Sección de cables e interruptores aconsejados según KVar a 400 V.50 Hz

Sección del conductor de cobre(Cu) para una temperatura de 40°C y un aislamiento termoestable de XLPE (0,6kV/1kV). Para otras temperaturas hay que aplicar el coeficiente corrector apropiado				
Q (kVar)	I (A)_400 Vac	I (A)x1,5_400 Vac	cable/wire/câble (homopolar) mm2	Interruptor aut. recomendado Recommended aut. circuit breaker Disjoncteur aut. recommandé (Amp.)
2,50	3,61	5,42	1 x 10	25
5,00	7,23	10,84	1 x 10	25
7,50	10,84	16,26	1 x 10	25
10,00	14,45	21,68	1 x 10	25
12,00	17,34	26,01	1 x 10	30
12,50	18,06	27,10	1 x 10	30
15,00	21,68	32,51	1 x 10	50
16,00	23,12	34,68	1 x 10	50
17,50	25,29	37,93	1 x 10	50
18,75	27,10	40,64	1 x 10	50
20,00	28,90	43,35	1 x 16	50
22,50	32,51	48,77	1 x 16	50
24,00	34,68	52,02	1 x 16	63
25,00	36,13	54,19	1 x 16	63
27,50	39,74	59,61	1 x 16	63
28,00	40,46	60,69	1 x 16	80
30,00	43,35	65,03	1 x 16	80
32,00	46,24	69,36	1 x 16	80
35,00	50,58	75,87	1 x 25	80
36,00	52,02	78,03	1 x 25	80
37,50	54,19	81,29	1 x 25	100
40,00	57,80	86,71	1 x 25	100
40,00	57,80	86,71	1 x 25	100
43,75	63,22	94,83	1 x 25	100
44,00	63,58	95,38	1 x 25	100
50,00	72,25	108,38	1 x 25	125
55,00	79,48	119,22	1 x 35	125
60,00	86,71	130,06	1 x 35	160
62,50	90,32	135,48	1 x 35	160
65,00	93,93	140,90	1 x 35	160
67,50	97,54	146,32	1 x 50	160
70,00	101,16	151,73	1 x 50	160

(continua en la página siguiente)

Sección del conductor de cobre(Cu) para una temperatura de 40°C y un aislamiento termoestable de XLPE (0,6kV/1kV).
Para otras temperaturas hay que aplicar el coeficiente corrector apropiado

Q (kVAr)	I (A)_400 Vac	I (A)x1,5_400 Vac	cable/wire/câble (homopolar) mm2	Interruptor aut. recomendado Recommended aut. circuit breaker Disjoncteur aut. recommandé (Amp.)
75,00	108,38	162,57	1 x 50	240
80,00	115,61	173,41	1 x 50	240
87,50	126,45	189,67	1 x 70	240
90,00	130,06	195,09	1 x 70	240
100,00	144,51	216,76	1 x 70	240
104,85	151,52	227,28	1 x 95	240
110,00	158,96	238,44	1 x 95	240
112,50	162,57	243,86	1 x 95	300
116,50	168,35	252,53	1 x 95	300
120,00	173,41	260,12	1 x 95	300
125,00	180,64	270,95	1 x 95	300
128,15	185,19	277,78	1 x 120	300
130,00	187,86	281,79	1 x 120	300
137,50	198,70	298,05	1 x 120	400
140,00	202,31	303,47	1 x 120	400
150,00	216,76	325,14	1x150	400
151,45	218,86	328,29	1x150	400
160,00	231,21	346,82	1x150	400
163,10	235,69	353,54	1x150	400
165,00	238,44	357,66	1x150	400
170,00	245,66	368,50	1x185	400
174,75	252,53	378,79	1x185	400
175,00	252,89	379,34	1x185	400
180,00	260,12	390,17	1x185	400
186,40	269,36	404,05	1x185	500
195,00	281,79	422,69	1x240	500
198,08	286,24	429,36	1x240	500
200,00	289,02	433,53	1x240	500
209,90	303,32	454,99	1x240	500
210,00	303,47	455,20	1x240	500
221,35	319,87	479,80	1x240	500
225,00	325,14	487,72	1x240	500

(continua en la página siguiente)

Sección del conductor de cobre(Cu) para una temperatura de 40°C y un aislamiento termoestable de XLPE (0,6kV/1kV). Para otras temperaturas hay que aplicar el coeficiente corrector apropiado				
Q (kVAr)	I (A)_400 Vac	I (A)x1,5_400 Vac	cable/wire/câble (homopolar) mm2	Interruptor aut. recomendado Recommended aut. circuit breaker Disjoncteur aut. recommandé (Amp.)
233,00	336,71	505,06	2x95	600
240,00	346,82	520,23	2x95	600
250,00	361,27	541,91	2x95	600
256,30	370,38	555,56	2x120	600
270,00	390,17	585,26	2x120	600
275,00	397,40	596,10	2x120	600
279,60	404,05	606,07	2x120	800
285,00	411,85	617,77	2x120	800
300,00	433,53	650,29	2x150	800
302,90	437,72	656,58	2x150	800
325,00	469,65	704,48	2x150	800
326,20	471,39	707,08	2x150	800
330,00	476,88	715,32	2x150	800
349,50	505,06	757,59	2x185	800
350,00	505,78	758,67	2x185	800
360,00	520,23	780,35	2x185	800
372,80	538,73	808,09	2x185	1000
375,00	541,91	812,86	2x185	1000
396,10	572,40	858,60	2x240	1000
400,00	578,03	867,05	2x240	1000
419,40	606,07	909,10	2x240	1000
425,00	614,16	921,24	2x240	1000
442,70	639,74	959,61	2x240	1000
450,00	650,29	975,43	2x240	1000
466,00	673,41	1010,12	3x150	1250
475,00	686,42	1029,62	3x150	1250
489,00	706,65	1059,97	3x150	1250
500,00	722,54	1083,82	3x185	1250
512,60	740,75	1111,13	3x185	1250
525,00	758,67	1138,01	4x120	1250
535,90	774,42	1161,63	4x120	1250
550,00	794,80	1192,20	4x120	1250
559,20	808,09	1212,14	4x120	1250

(continua en la página siguiente)

Sección del conductor de cobre(Cu) para una temperatura de 40°C y un aislamiento termoestable de XLPE (0,6kV/1kV). Para otras temperaturas hay que aplicar el coeficiente corrector apropiado				
Q (kVAr)	I (A)_400 Vac	I (A)x1,5_400 Vac	cable/wire/câble (homopolar) mm2	Interruptor aut. recomendado Recommended aut. circuit breaker Disjoncteur aut. recommandé (Amp.)
575,00	830,92	1246,39	4x120	1250
600,00	867,05	1300,58	4x150	1600
605,80	875,43	1313,15	4x150	1600
625,00	903,18	1354,77	4x150	1600
650,00	939,31	1408,96	4x150	1600
652,40	942,77	1414,16	4x150	1600
699,00	1010,12	1515,17	4x185	1600
675,00	975,43	1463,15	4x185	1600
700,00	1011,56	1517,34	4x185	1600
725,00	1047,69	1571,53	4x185	1600
745,60	1077,46	1616,18	4x185	2000
750,00	1083,82	1625,72	4x240	2000
775,00	1119,94	1679,91	4x240	2000
792,20	1144,80	1717,20	4x240	2000
800,00	1156,07	1734,10	4x240	2000
825,00	1192,20	1788,29	4x240	2000
838,80	1212,14	1818,21	4x240	2000
850,00	1228,32	1842,49	4x240	2000
875,00	1264,45	1896,68	4x240	2000
885,40	1279,48	1919,22	4x240	2000
900,00	1300,58	1950,87	4x240	2000
925,00	1336,71	2005,06	6x150	2500
932,00	1346,82	2020,23	6x150	2500
950,00	1372,83	2059,25	6x150	2500
975,00	1408,96	2113,44	6x150	2500
1000,00	1445,09	2167,63	6x150	2500
1050,00	1517,34	2276,01	6x185	2500
1100,00	1589,60	2384,39	6x185	2500
1150,00	1661,85	2492,77	6x185	2500
1200,00	1734,10	2601,16	6x240	2500

Se recomienda el trenzado de cables en instalaciones con distorsión armónica
Datos según RBT 2002 actualizado con Tabla A.52-1 BIS (UNE 20460-5-523:2004)

Tabla de cálculo para KVar según Cos φ Tg (φ)

tg (φ)	cos (φ)	Factor a multiplicar por la potencia y obtener los KVar, según tg ó cos (φ)													
		tg (φ)	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,00
		cos (φ)	0,8	0,86	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,541	1,698	1,807	1,836	1,865	1,896	1,928	1,963	2,000	2,041	2,088	2,149	2,291
2,22	0,41		1,475	1,631	1,740	1,769	1,799	1,829	1,862	1,896	1,933	1,974	2,022	2,082	2,225
2,16	0,42		1,411	1,567	1,676	1,705	1,735	1,766	1,798	1,832	1,869	1,910	1,958	2,018	2,161
2,10	0,43		1,350	1,506	1,615	1,644	1,674	1,704	1,737	1,771	1,808	1,849	1,897	1,957	2,100
2,04	0,44		1,291	1,448	1,557	1,585	1,615	1,646	1,678	1,712	1,749	1,790	1,838	1,898	2,041
1,98	0,45		1,235	1,391	1,500	1,529	1,559	1,589	1,622	1,656	1,693	1,734	1,781	1,842	1,985
1,93	0,46		1,180	1,337	1,446	1,475	1,504	1,535	1,567	1,602	1,639	1,680	1,727	1,788	1,930
1,88	0,47		1,128	1,285	1,394	1,422	1,452	1,483	1,515	1,549	1,586	1,627	1,675	1,736	1,878
1,83	0,48		1,078	1,234	1,343	1,372	1,402	1,432	1,465	1,499	1,536	1,577	1,625	1,685	1,828
1,78	0,49		1,029	1,186	1,295	1,323	1,353	1,384	1,416	1,450	1,487	1,528	1,576	1,637	1,779
1,73	0,50		0,982	1,139	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51		0,937	1,093	1,202	1,231	1,261	1,291	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,687
1,64	0,52		0,893	1,049	1,158	1,187	1,217	1,247	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
1,60	0,53		0,850	1,007	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54		0,809	0,965	1,074	1,103	1,133	1,163	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,559
1,52	0,55		0,768	0,925	1,034	1,063	1,092	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518
1,48	0,56		0,729	0,886	0,995	1,024	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229	1,276	1,337	1,479
1,44	0,57		0,691	0,848	0,957	0,986	1,015	1,046	1,079	1,113	1,150	1,191	1,238	1,299	1,441
1,40	0,58		0,655	0,811	0,920	0,949	0,979	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405
1,37	0,59		0,618	0,775	0,884	0,913	0,942	0,973	1,006	1,040	1,077	1,118	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60		0,583	0,740	0,849	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333
1,30	0,61		0,549	0,706	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62		0,515	0,672	0,781	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63		0,483	0,639	0,748	0,777	0,807	0,837	0,870	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233
1,20	0,64		0,451	0,607	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
1,17	0,65		0,419	0,576	0,685	0,714	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169
1,14	0,66		0,388	0,545	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67		0,358	0,515	0,624	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68		0,328	0,485	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078
1,05	0,69		0,299	0,456	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049
1,02	0,70		0,270	0,427	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020

tg (φ)	cos (φ)	Factor a multiplicar por la potencia y obtener los KVAR, según tg ó cos (φ)													
		tg (φ)	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,00
	cos (φ)	0,8	0,86	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1	
0,91	0,74	0,159	0,316	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909	
0,96	0,72	0,214	0,370	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964	
0,94	0,73	0,186	0,343	0,452	0,481	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936	
0,91	0,74	0,159	0,316	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909	
0,88	0,75	0,132	0,289	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882	
0,86	0,76	0,105	0,262	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855	
0,81	0,78	0,060	0,217	0,326	0,355	0,384	0,415	0,447	0,481	0,519	0,560	0,607	0,668	0,810	
0,80	0,78	0,052	0,209	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802	
0,78	0,79	0,026	0,183	0,292	0,320	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776	
0,75	0,80	0,000	0,157	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750	
0,72	0,81		0,131	0,240	0,268	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724	
0,70	0,82		0,105	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698	
0,67	0,83		0,079	0,188	0,216	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672	
0,65	0,84		0,053	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646	
0,62	0,85		0,026	0,135	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620	
0,59	0,86		0,000	0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593	
0,57	0,87			0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567	
0,54	0,88			0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540	
0,51	0,89			0,028	0,057	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512	
0,48	0,90			0,000	0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484	
0,46	0,91				0,000	0,030	0,060	0,093	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,456	
0,43	0,92					0,000	0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,426	
0,40	0,93						0,000	0,032	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,395	
0,36	0,94							0,000	0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,363	
0,33	0,95								0,000	0,037	0,078	0,126	0,186	0,329	
0,29	0,96									0,000	0,041	0,089	0,149	0,292	
0,25	0,97										0,000	0,048	0,108	0,251	
0,20	0,98											0,000	0,061	0,203	
0,14	0,99												0,000	0,142	
0,00	1,00													0,000	



www.cisar.net

BATERÍAS AUTOMÁTICAS de CONDENSADORES
AUTOMATIC CAPACITOR BANKS
BATTERIES AUTOMATIQUES de CONDENSATEURS

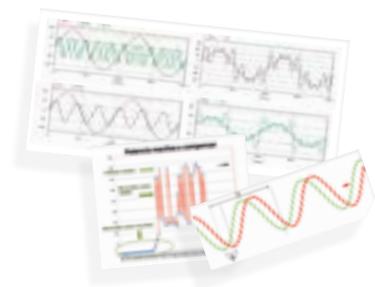
CONDENSADORES para corrección del factor de potencia
POWER FACTOR CAPACITORS
CONDENSATEURS pour correction du facteur de puissance

FILTROS DE ARMÓNICOS
HARMONICS FILTERING
FILTRAGE D'HARMONIQUES

REGULADORES de energía reactiva
POWER FACTOR CONTROLLERS
REGULATEURS VARMÉTRIQUES

ANALIZADORES de ARMÓNICOS (de panel y portátiles)
HARMONICS ANALYZERS (fixed and hand-held)
ANALYSEURS d'HARMONIQUES (fixes et portables)

MANUAL TÉCNICO



CISAR[®]

ENERGÍA REACTIVA Y ARMÓNICOS DESDE 1979
POWER FACTOR CORRECTION AND HARMONICS, SINCE 1979
ÉNERGIE REACTIVE ET HARMONIQUES, DÉPUIS 1979

CONDENSADORES INDUSTRIALES, S.L.

c/. Clobalto, 110-08907-Hospitalet de Llobregat (Barcelona-Spain)-tel. +(34) 933 378 264-fax +(34) 933 378 169-cisarbcn@cisar.net

