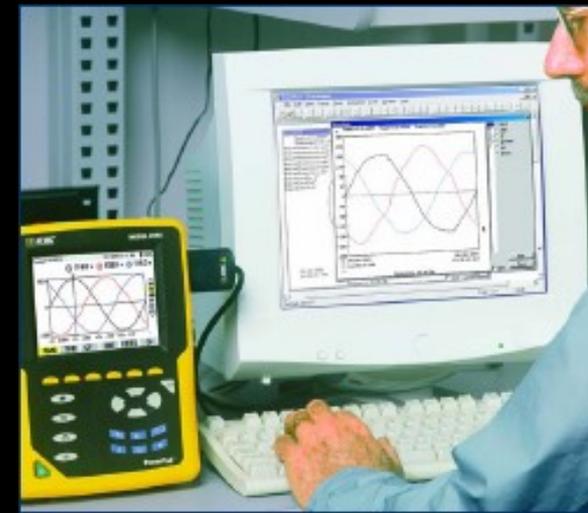




# Corrección del Factor de Potencia en Presencia de Armónicas

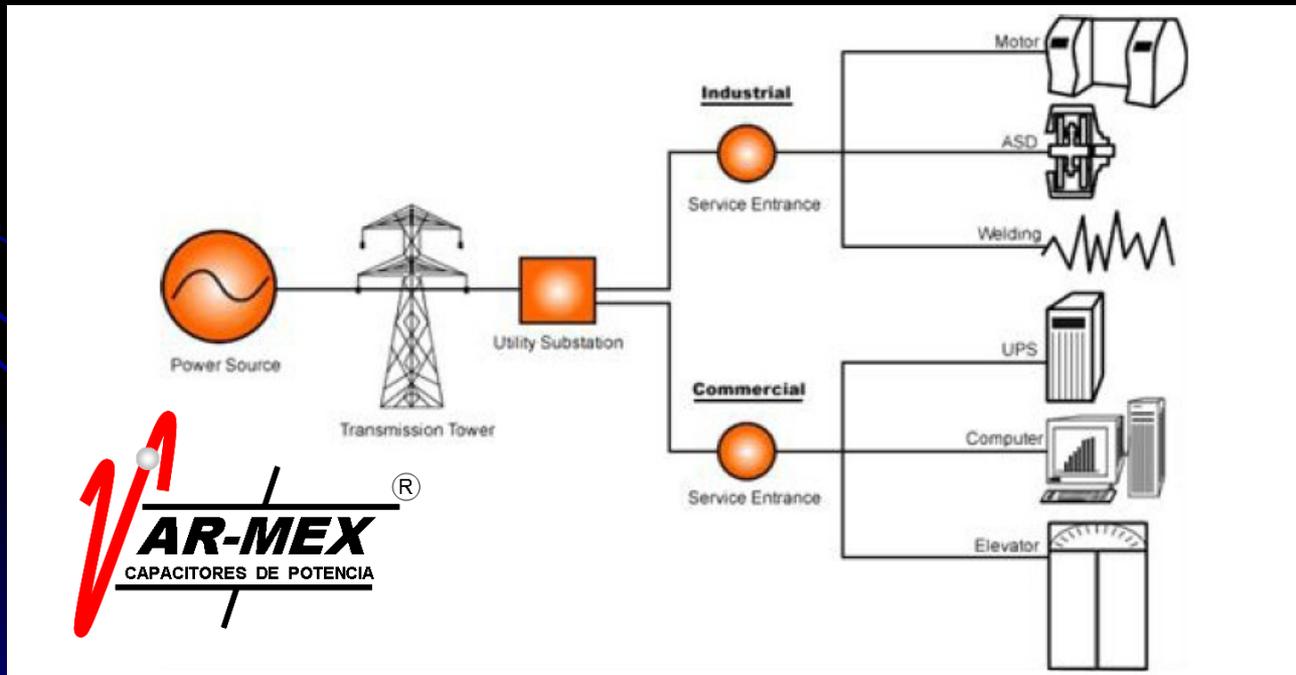
*ING. ERNESTO VIVEROS  
DOMINGUEZ*

*EXPO ELECTRICA INTERNACIONAL 2019  
5 DE JUNIO 2019*



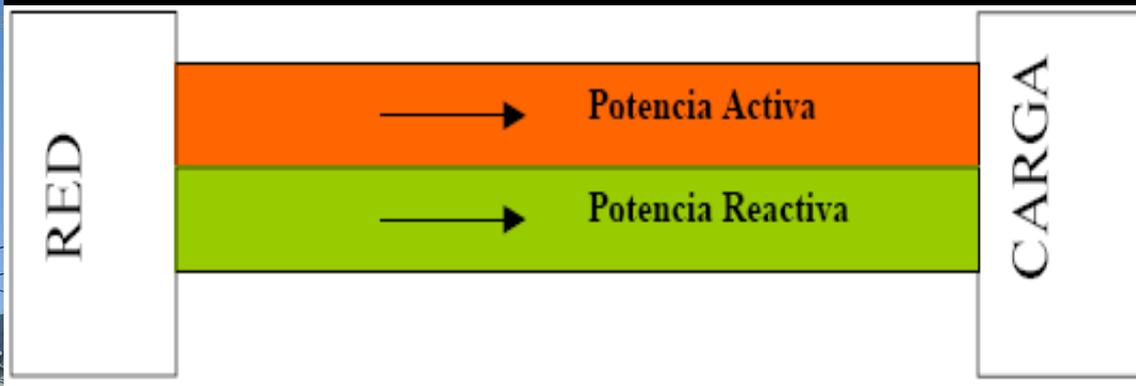
# 0. Introducción al FP.- Definiciones Básicas

- **POTENCIA ELÉCTRICA ACTIVA.** Es aquella que al momento utilizarla se transforma en otro tipo de energía: calórica, mecánica, radiante, etc. y es capaz de aprovecharla como Trabajo Útil. Su Unidad es el Watt (W) o en forma de energía Watts-hora (Wh).



- **POTENCIA ELÉCTRICA REACTIVA.** Es aquella que requieren ciertos tipos de máquinas eléctricas para producir un Trabajo Útil, pero que es almacenada en el circuito eléctrico como campo magnético y no se consume y se tiene que retornar a la Red Eléctrica. Su unidad son los VAR's o kVAR's en forma de energía VAR-hora (VAR-h).

**CFE** *Comisión Federal de Electricidad*

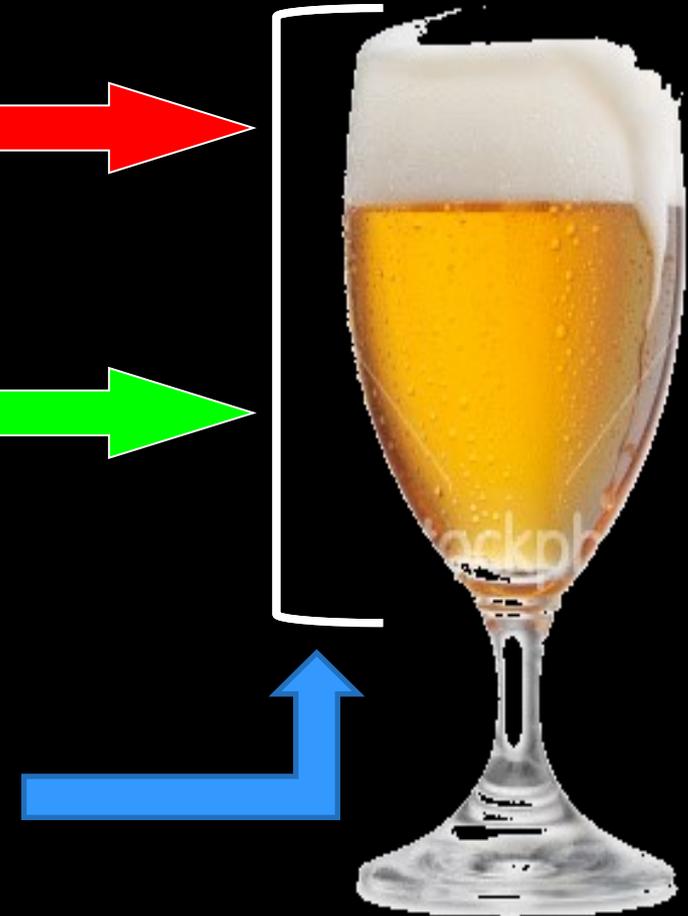


- En sistemas trifásicos, las máquinas demandan:

- **Potencia Reactiva** 
- Debido a los circuitos magnéticos. Se mide en kVAr

- **Potencia Activa** 
- Debida a la potencia mecánica y de utilización para producir un trabajo. Se mide en kW

- La compañía suministra ambas como Potencia Aparente (kVA)

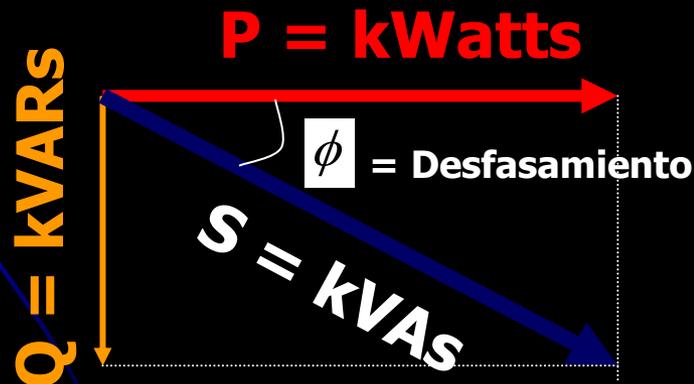


- Factor de Potencia. Se define como el cociente de la relación de la Potencia Activa entre la Potencia Aparente; es decir la relación entre la potencia consumida (kW) y la potencia total requerida (kVA).

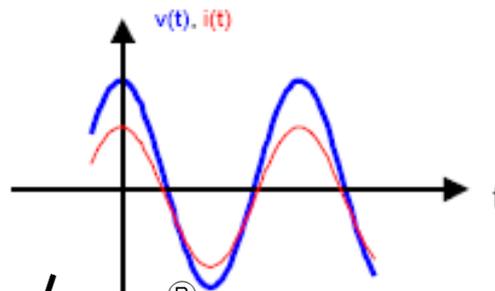
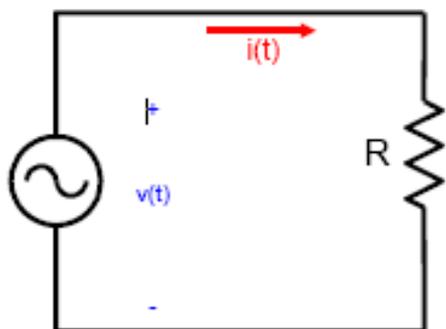
$$\text{F.P.} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}}$$



$$FP = \cos \phi$$

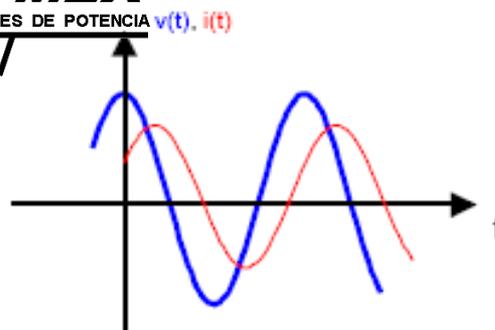
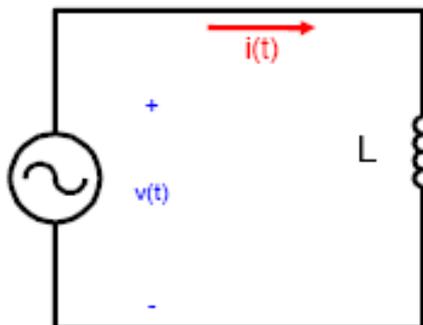


## Desfasamiento entre corriente y voltaje



— voltaje  
— corriente

Corriente y voltaje  
en fase



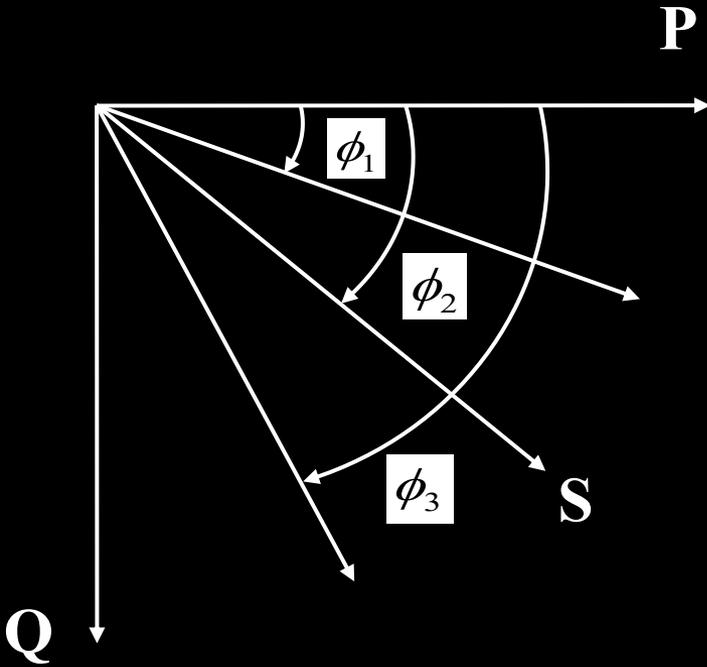
Corriente atrasa al  
voltaje por 90 grados



# Factor de potencia VS ángulo



$\phi$	FP=Cos $\phi$
0	1
30	0.866
60	0.5
90	0





Máquina	Potencia Reactiva	Cos $\varphi$	
Motor asíncrono o inducción		25 % carga	0,55
	33%	75 % carga	0,8
Lámparas fluorescentes	5%	Entre 0,85 y 0,93	
Hornos inducción	8%	0,8	
Transformadores	5%	0,7 a 0,9	

# 1.0 ¿Qué problemas se originan cuando el Factor de Potencia es bajo?

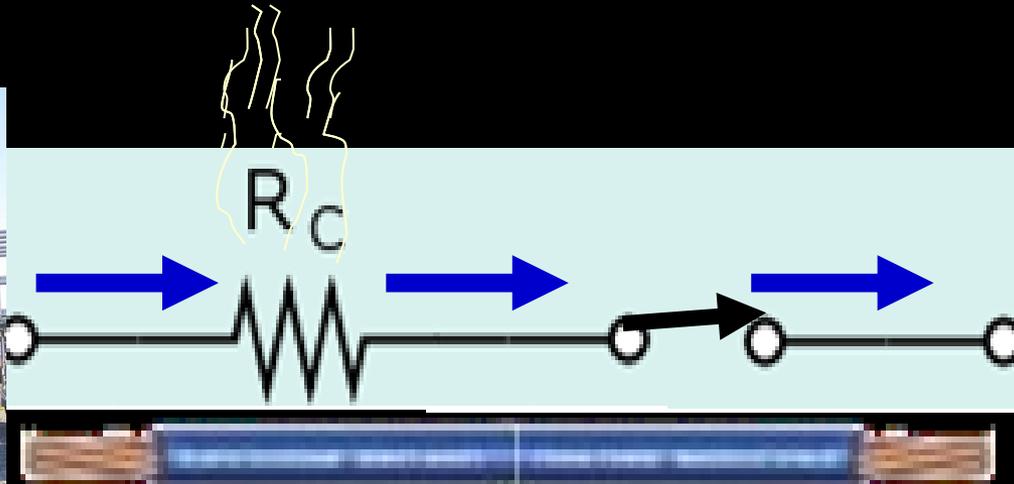


- Incremento de la facturación eléctrica por pérdidas en Watts al tener mayor consumo de corriente.

$$P = I^2 \times R$$

- Penalización de hasta un 120 % del costo de la facturación.

$$\text{Penalización (\%)} = \frac{3}{5} \times \left[ \frac{0.9}{FP} - 1 \right] \times 100$$



Demanda facturable Rev

4,968

74.6800

Conceptos	Importes \$
Cargo por Energía	2,107,595.58
Reducción por Energía	250,710.50
Cargo por Demanda	517,159.00
Reducción por Demanda	146,148.76
<u>Cargo Factor de Potencia</u>	<u>120,306.34</u>
Subtotal	2,346,201.66
IVA	352,230.25
Facturación del Periodo	2,700,431.91
Adeudo Anterior	2,101,293.66
Su Pago	2,101,293.00
<b>Total</b>	<b>\$2,700,432.57</b>

OCT 04	559	43,235	88.25	57	0.556
NOV 04	4,462	1,701,264	90.93	49	0.959
DIC 04	4,466	1,495,188	87.36	44	0.994
ENE 05	4,662	1,649,600	88.69	48	0.979
FEB 05	4,406	1,787,853	87.99	57	0.894
MAR 05	4,667	1,954,649	88.66	50	0.875
ABR 05	1,368	77,557	85.96	57	0.686
ABR 05	4,391	1,779,069	85.61	59	0.824
MAY 05	3,415	1,959,980	91.87	56	0.720
JUN 05	3,223	1,953,491	92.76	58	0.733
JUL 05	4,526	2,093,084	93.28	37	0.786
AGO 05	5,254	2,031,223	88.01	37	0.899
SEP 05	4,968	2,719,600	82.58	54	0.863

Fecha y lugar de expedición:

01 OCT 05, MONTERREY, N.L.

Son:

**(DOS MILLONES SETECIENTOS MIL CUATROCIENTOS TREINTA Y DOS PESOS 57/100 M.N.)**

### AVISOS IMPORTANTES

- » Uno superior al 90% significa bonificación. Le sugerimos vigilar su factor de potencia (FP%).
- » Gracias por su pago efectuado el 12 SEP 05 por \$2,101,293.00
- » Nos transformamos para servirle mejor.
- » **Servicio a Clientes Teléfono 071**



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

Total a pagar: **\$2,700,432.57**

**(DOS MILLONES SETECIENTOS MIL CUATROCIENTOS TREINTA Y DOS PESOS 00/100 M.N.)**

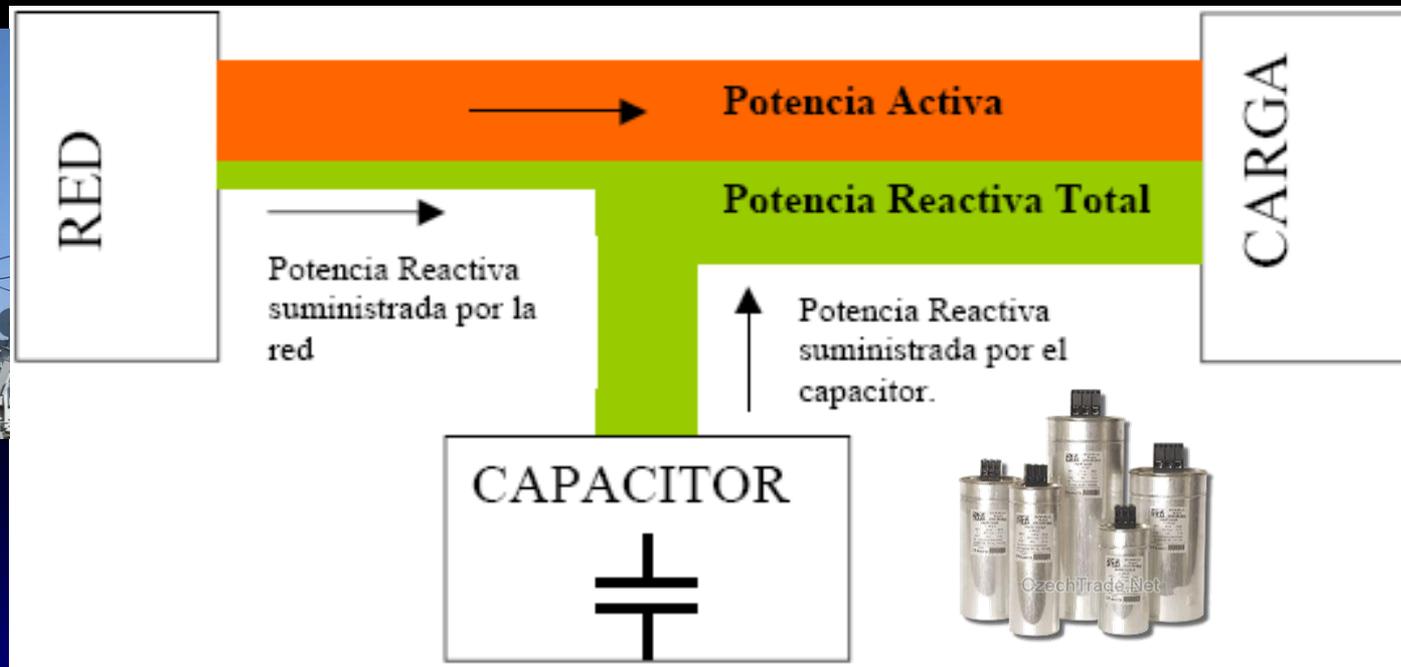
01 999981100015 051012 002700432



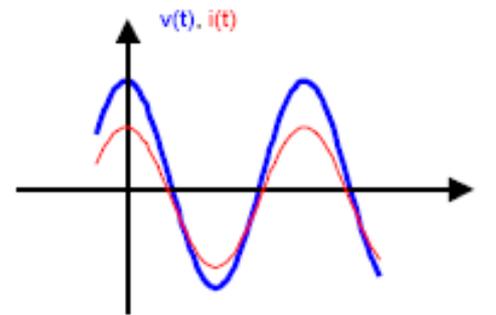
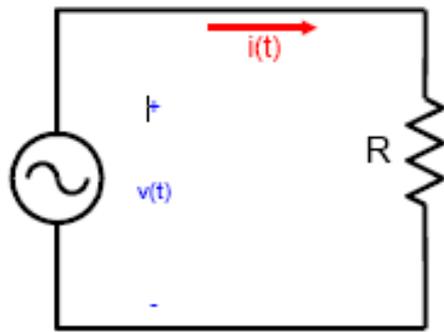
51 DD 10.E 01 001 5300

# 1.1 ¿Cómo Corregir el F.P.?

- ❖ Los capacitores son equipos eléctricos que son capaces de entregar energía reactiva. Entonces, los capacitores en vez de consumir energía reactiva la producen, lo cual permite compensar el Factor de Potencia Resultante en el sistema eléctrico.

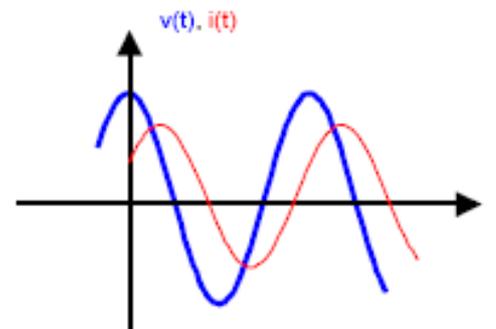
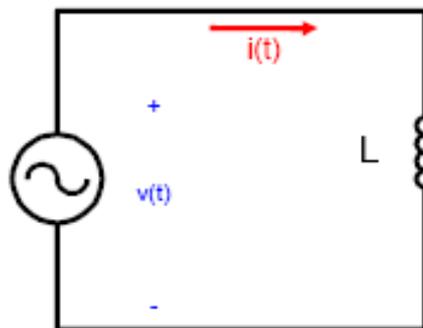


## Desfasamiento entre corriente y voltaje

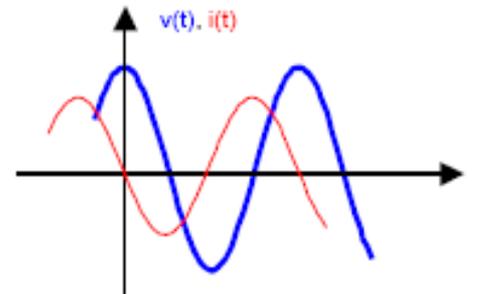
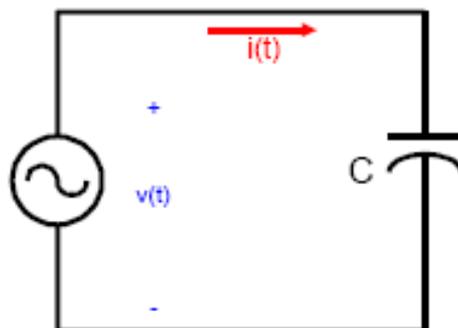


— voltaje  
— corriente

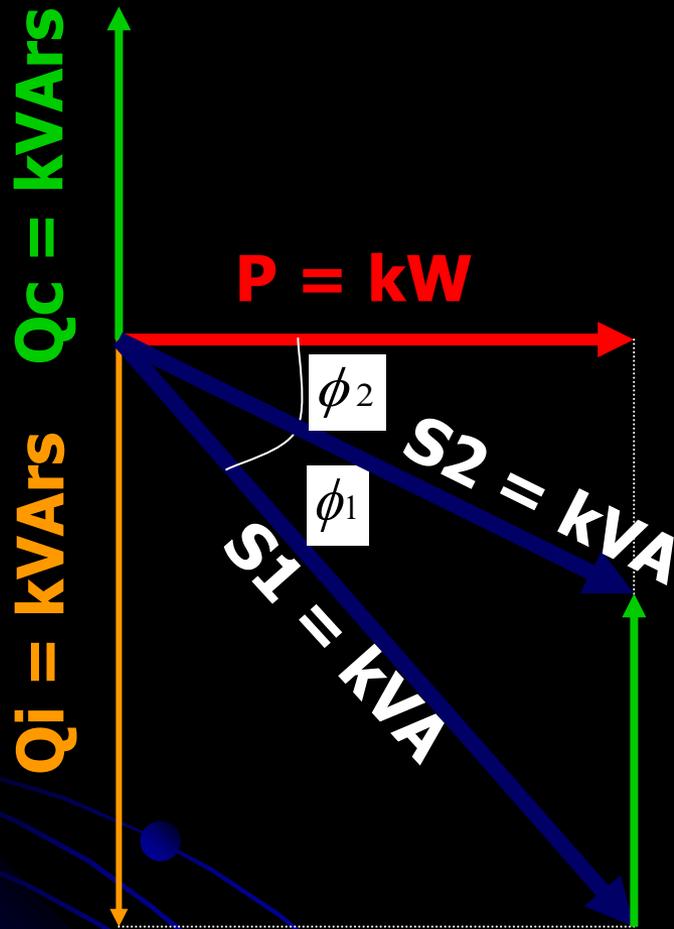
Corriente y voltaje  
en fase



Corriente atrasa al  
voltaje por 90 grados



Corriente adelanta al  
voltaje por 90 grados



Donde :

$Q_i$  = Potencia Inductivos

$Q_c$  = Potencia Capacitiva

$P$  = Potencia Activa

$S_1$  = Potencia Total antes de Corregir el FP

$S_2$  = Potencia Total después de Corregir el FP

$$kVAR = kW \left[ \operatorname{tg} \left( \cos^{-1} FP_1 \right) - \operatorname{tg} \left( \cos^{-1} FP_2 \right) \right]$$

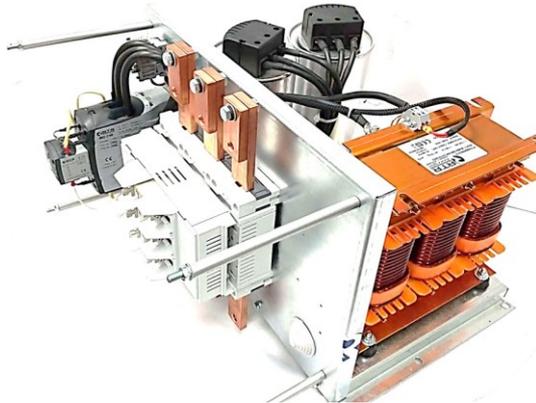
Ejemplo: Se tiene una carga que demanda 50 kW instantáneos con un Factor de Potencia de 0.80 atrasado, determinar los kVAr capacitivos para elevar el Factor de Potencia a 0.95

$$\text{kVAr cap} = \text{kW} \left( \tan \left( \cos^{-1} \phi_1 \right) - \tan \left( \cos^{-1} \phi_2 \right) \right)$$

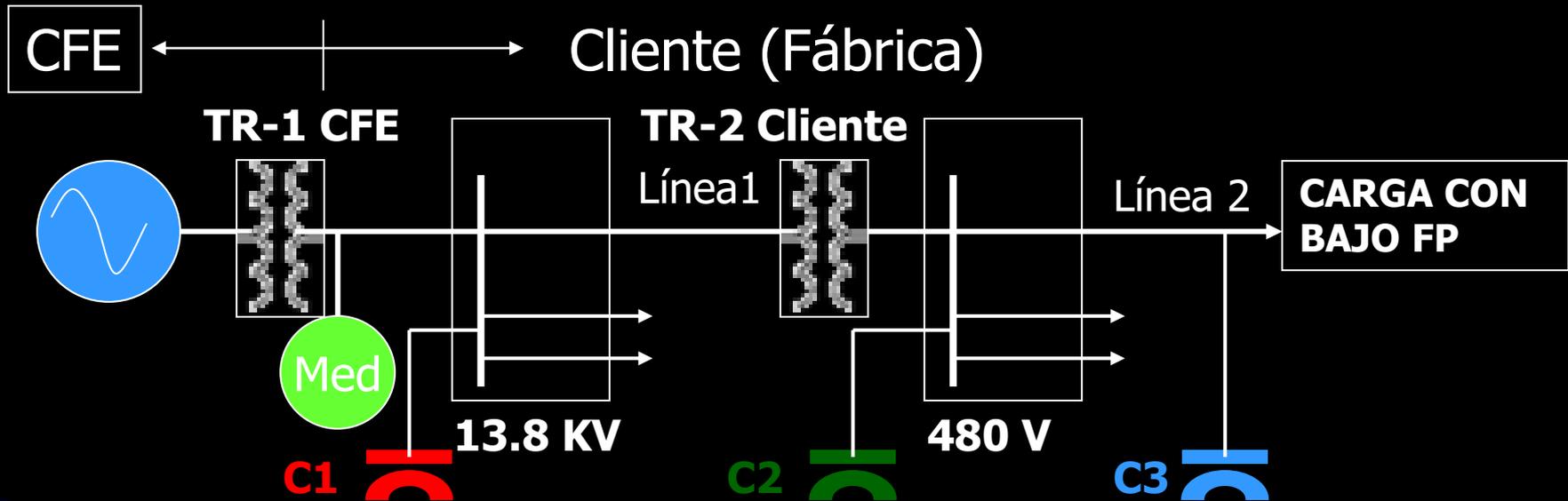
1 = 36.86° , ángulo de desfase actual

2 = 18.19° , ángulo de desfase corregido

$$\begin{aligned} \text{kVAr cap} &= 50 \left( \tan \left( 36.86^\circ \right) - \tan \left( 18.19^\circ \right) \right) \\ &= 21 \text{ kVAr} \end{aligned}$$



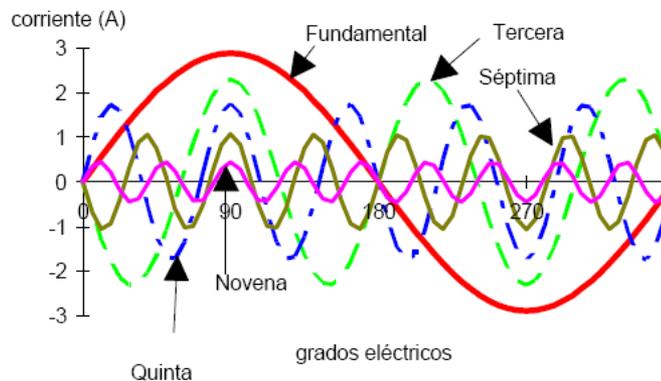
# Instalación de Capacitores



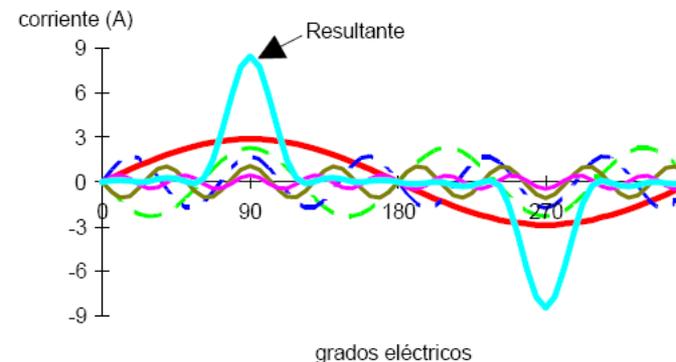
	Eliminación de Penalización o Bonificación	Liberación de carga en TR-1 CFE	Liberación de Carga en TR-2 Cliente	Reducción de Pérdidas en Línea 1	Reducción de Pérdidas en Línea 2
C1	Si	Si			
C2	Si	Si	Si	Si	
C3	Si	Si	Si	Si	Si

# 2.0 Armónicas

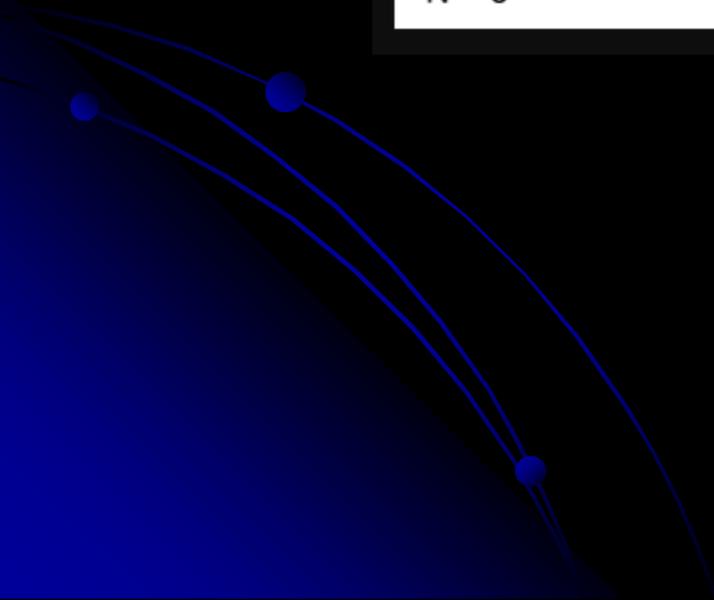
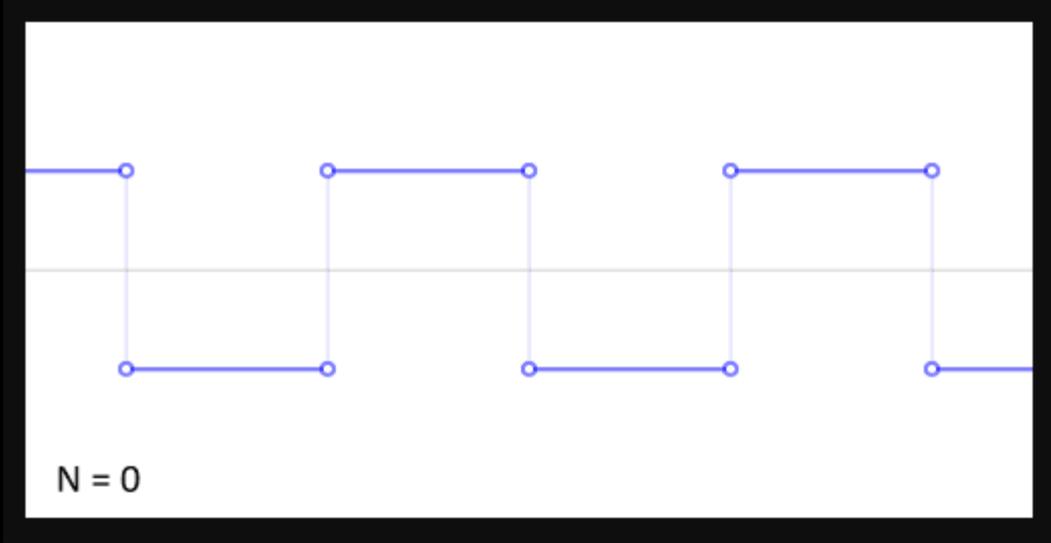
- Armónicas. Son señales periódicas de ondas senoidales de voltaje y corriente con fase y amplitud a una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental (60 Hz), producidas por cargas No-Lineales (Convertidores electrónicos) cuando consumen potencia.



(a) Componentes armónicas



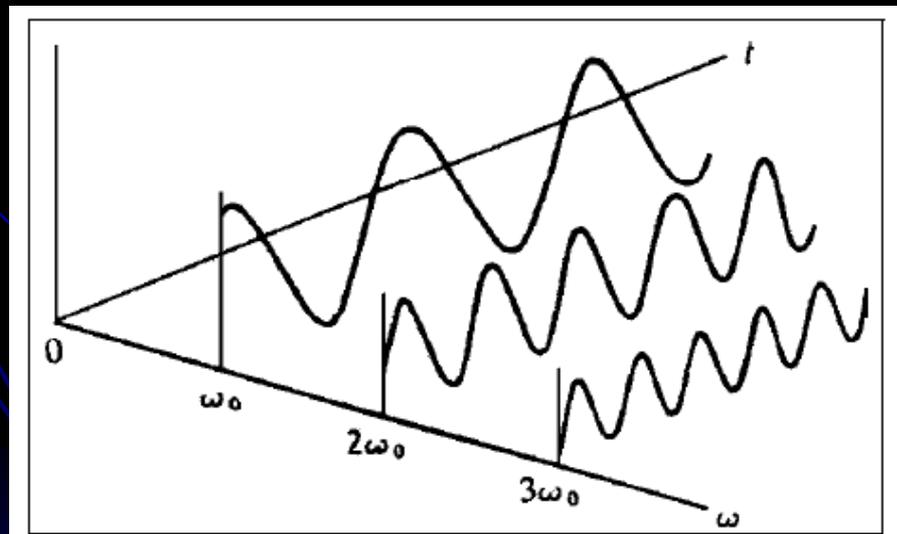
(b) Componentes armónicas y resultante



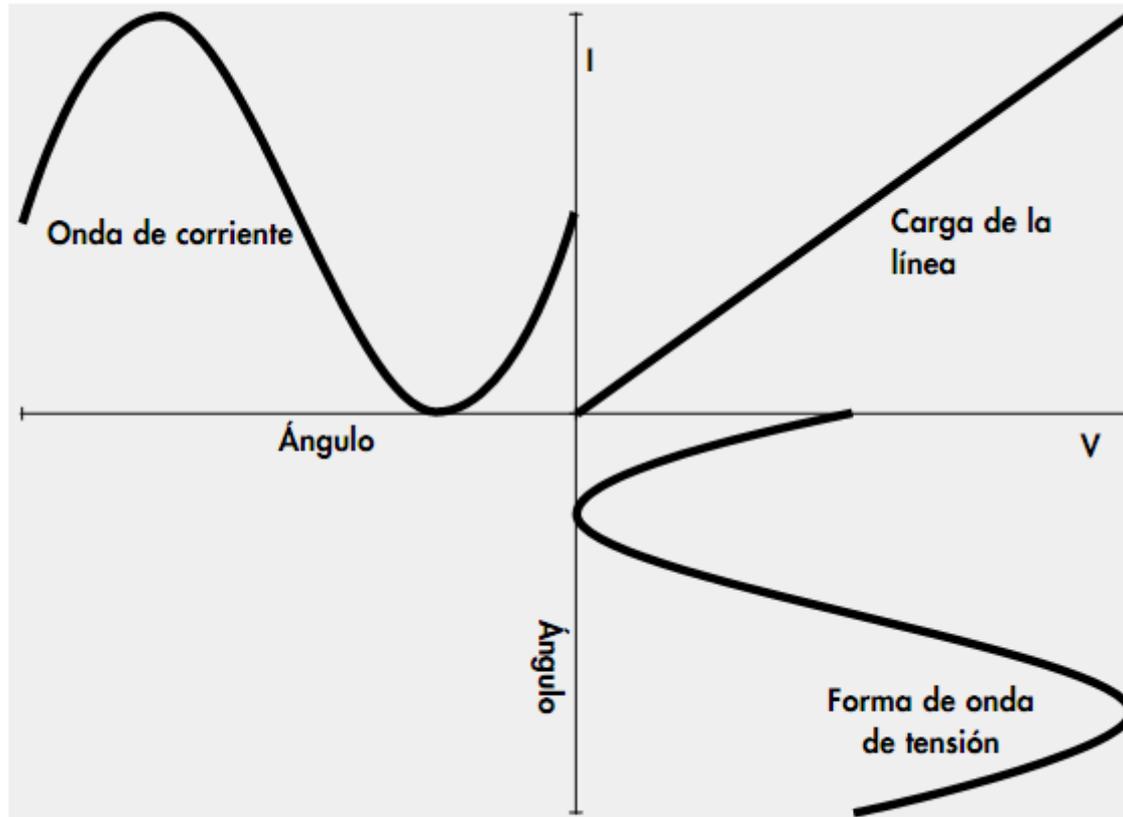
- Serie de Fourier. En 1822 el matemático francés Jean-Baptiste Joseph Fourier desarrolla su famosa serie infinita de funciones senoidales donde establece que cualquier función periódica puede ser descompuesta en una suma infinita de funciones básicas senoidales. Donde las frecuencias de dichas funciones, es un múltiplo entero de la frecuencia de la función periódica fundamental ( $h=1$ ).

$$V(\tau) = V_{m1} \cos(\omega\tau + \phi_{v1}) + V_{m2} \cos(2\omega\tau + \phi_{v2}) + V_{m3} \cos(3\omega\tau + \phi_{v3}) + \dots + V_{mh} \cos(h\omega\tau + \phi_{vh})$$

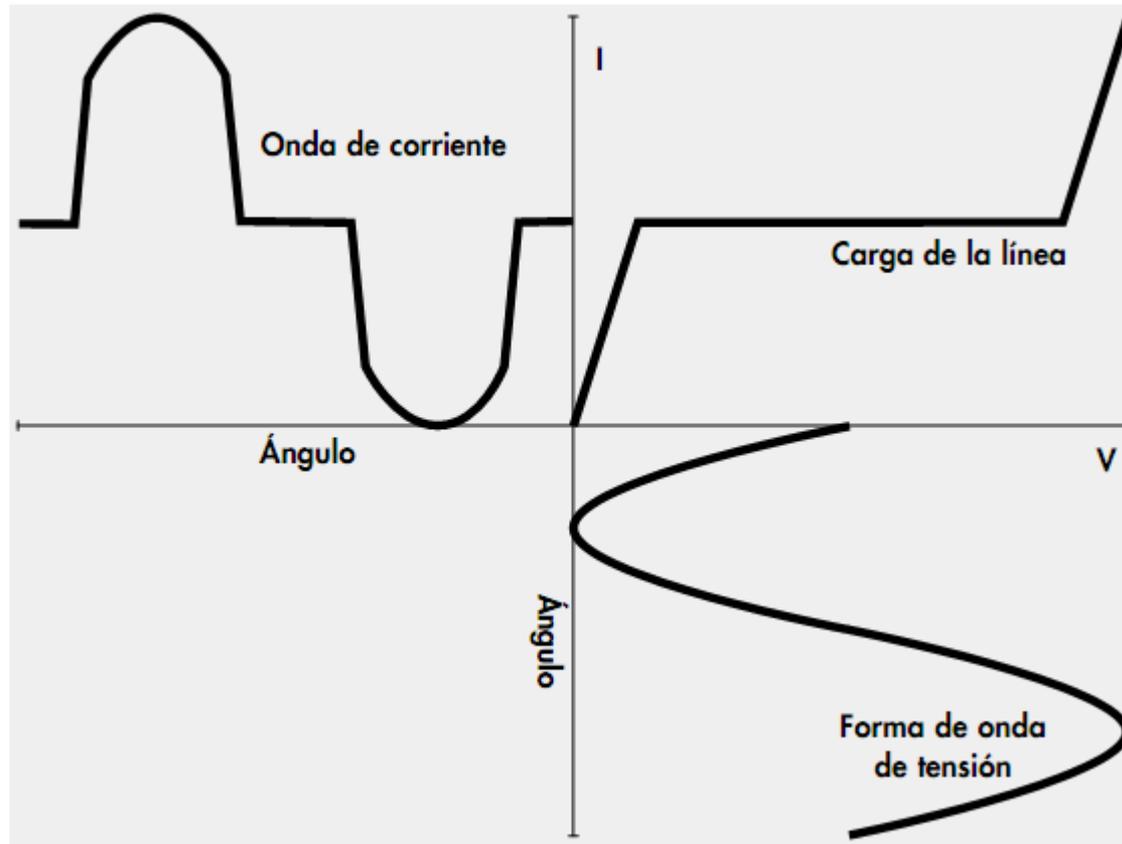
$$i(\tau) = I_{m1} \cos(\omega\tau + \phi_{i1}) + I_{m2} \cos(2\omega\tau + \phi_{i2}) + I_{m3} \cos(3\omega\tau + \phi_{i3}) + \dots + I_{mh} \cos(h\omega\tau + \phi_{ih})$$

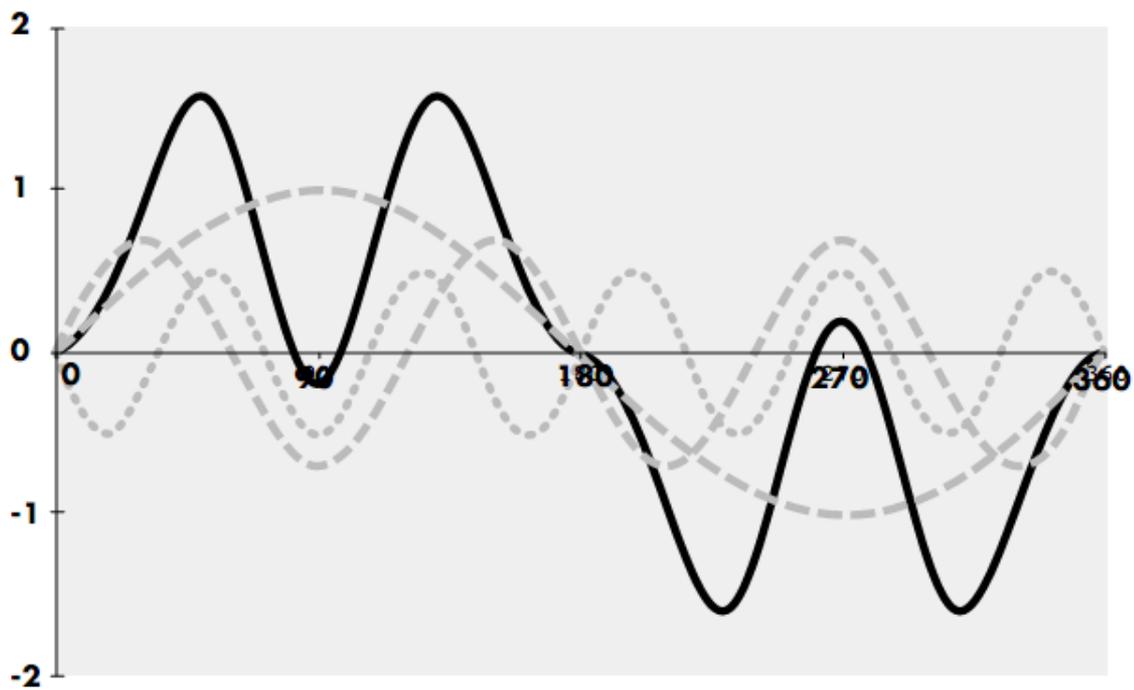
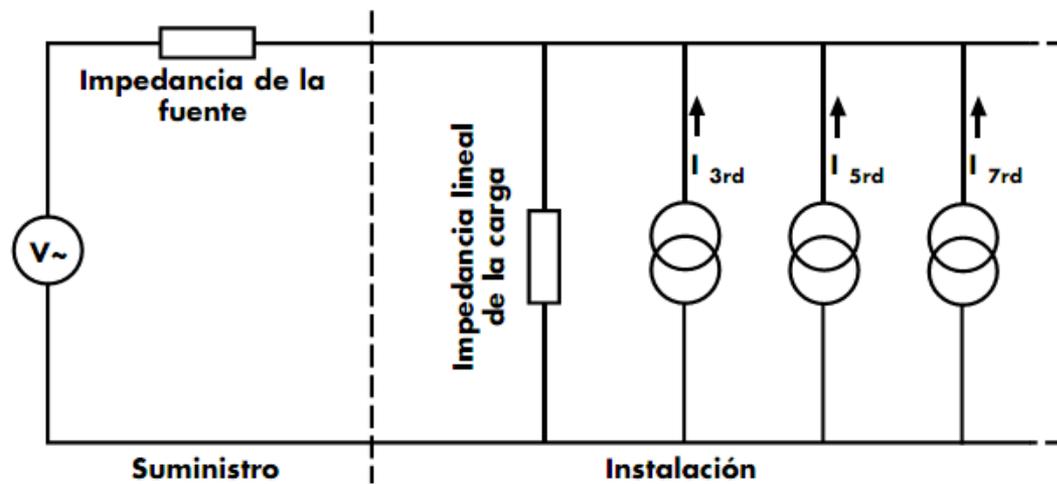


# Comportamiento de Cargas Lineales



# Comportamiento de Cargas No Lineales





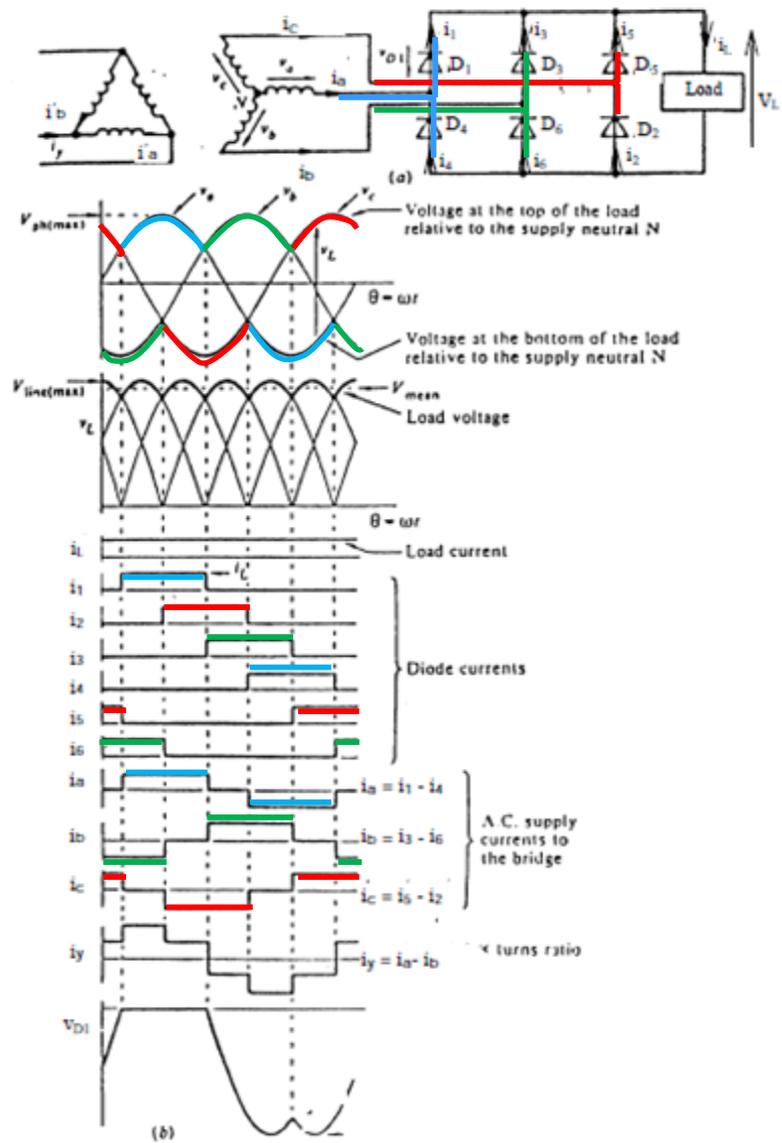


Fig. 3.6. Rectificador trifásico puente con transformador delta-estrella

# 2.1 Equipos que producen Armónicas

- Variadores de Velocidad Electrónicos

- **Convertidor de Frecuencia AC-AC de 6 pulsos.**

Un convertidor de frecuencia de 6 pulsos, de amplio uso por la industria petrolera como una opción más eficiente que los balancines para la extracción de crudo en pozos, puede producir un nivel típico de  $THD_i = 32\%$ .

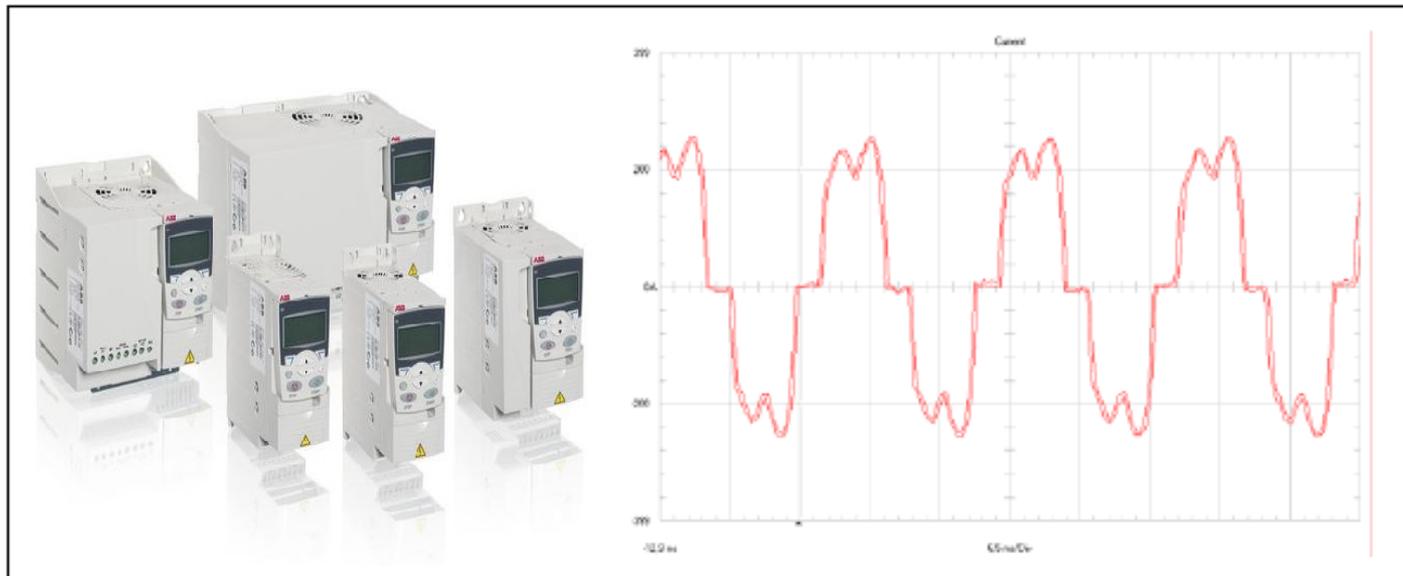


Figura V-25. Niveles de armónicos de corriente en Convertidores AC-AC de 6 Pulsos.

# ● Focos Fluorescentes

- **Bombillos de Alta Eficiencia.**

Para un bombillo de alta eficiencia de 20 W, 120V, puede generar un  $\text{THD}_i = 77,6\%$ .

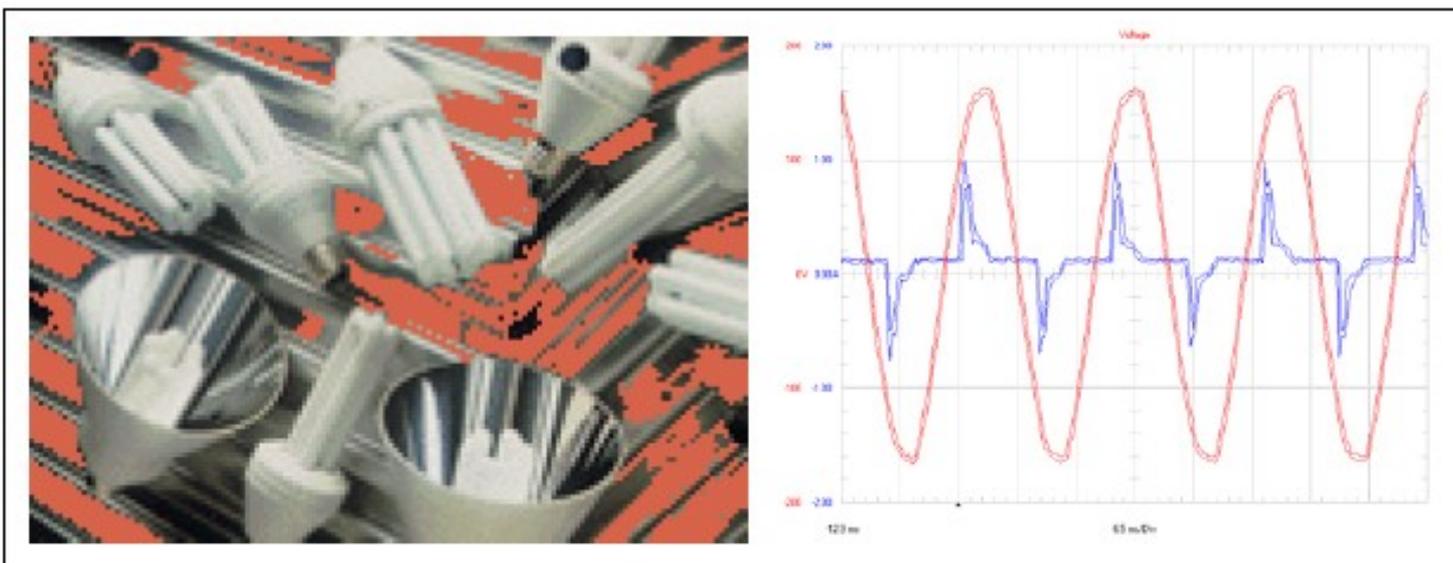


Figura V-23. Niveles de armónicos de corriente de Bombillos de Alta Eficiencia.

# ● Equipo de Computo

- **Computador Personal (PC).**

Un computador personal (CPU) puede consumir 1,13 Amp (RMS) el cual puede producir un  $THD_i = 67,9\%$ .

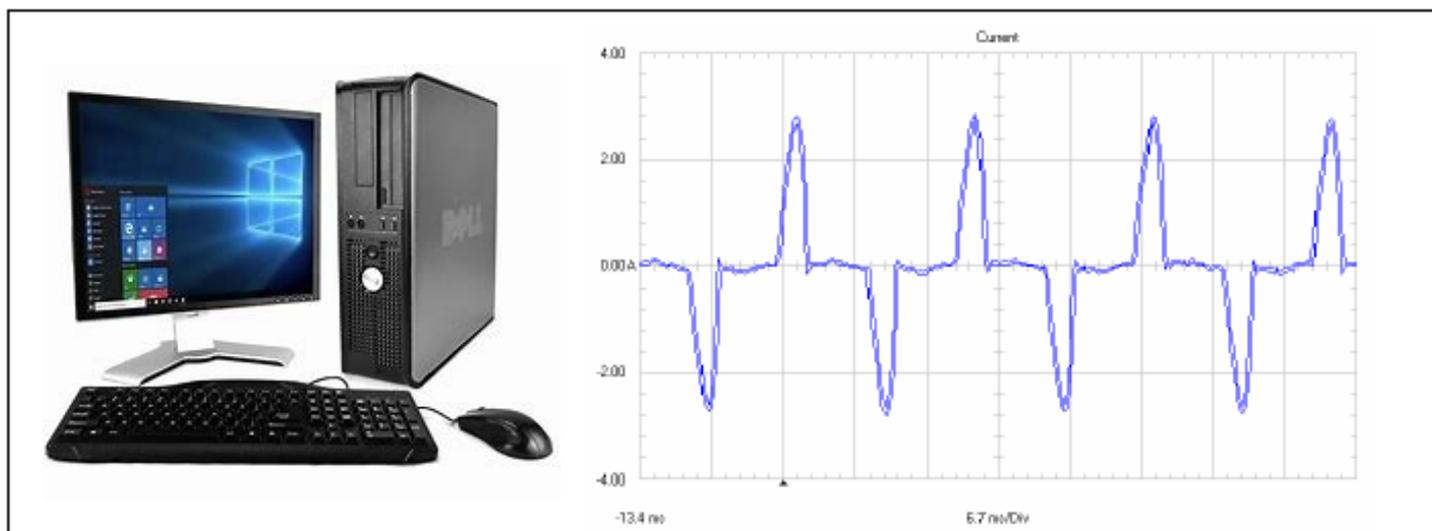
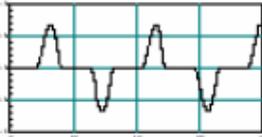
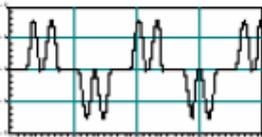
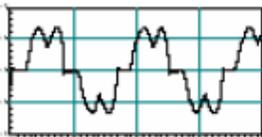
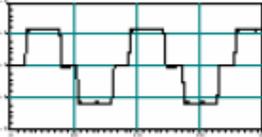
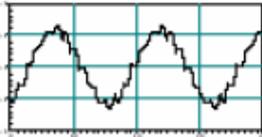
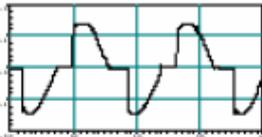
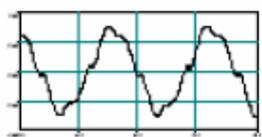


Figura V-24. Niveles de armónicos de corriente de Computadores Personales.

Tipo de Carga	Onda Tipica	Distorsión de Corriente
<b>Equipo Monofasico</b> Ej.: Computadores.		<b>80%</b>
<b>Semiconvertidores</b>		<b>Valores Altos de 2do, 3ro y 4to</b>
<b>Convertidores de 6 Pulsos sin Inductancia en Serie</b>		<b>80%</b>
<b>Convertidores de 6 Pulsos con Inductancia &gt; a 3% en Serie</b>		<b>40%</b>
<b>Convertidores de 6 Pulsos con una Inductancia Grande</b>		<b>28%</b>
<b>Convertidores de 12 Pulsos</b>		<b>15%</b>
<b>Regulador de Tensión AC</b>		<b>Varia con el Angulo de Disparo</b>
<b>Luminaria Fluorecente</b>		<b>20%</b>

## 2.2 Orden Armónico

- Los armónicos característicos son aquellos armónicos producidos por equipos convertidores semiconductores en el curso de la operación normal. En un convertidor de seis (6) pulsos, los armónicos característicos son: 5, 7, 11, 13, etc.
- $h = k \cdot q \pm 1$
- donde,
  - h: orden del armónico.
  - k: número entero.
  - q: números de pulsos del convertidor.

## 2.3 Distorsión Total Armónico THD

- Es la cantidad de corriente armónico contenido en la forma de onda resultante con respecto a la fundamental.

$$\text{THD} = \frac{\text{valor rms de la distorsión}}{\text{valor rms de la fundamental}} = \frac{I_{\text{dist}}}{I_1}$$

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots + I_{h\text{max}}^2}}{I_1}$$

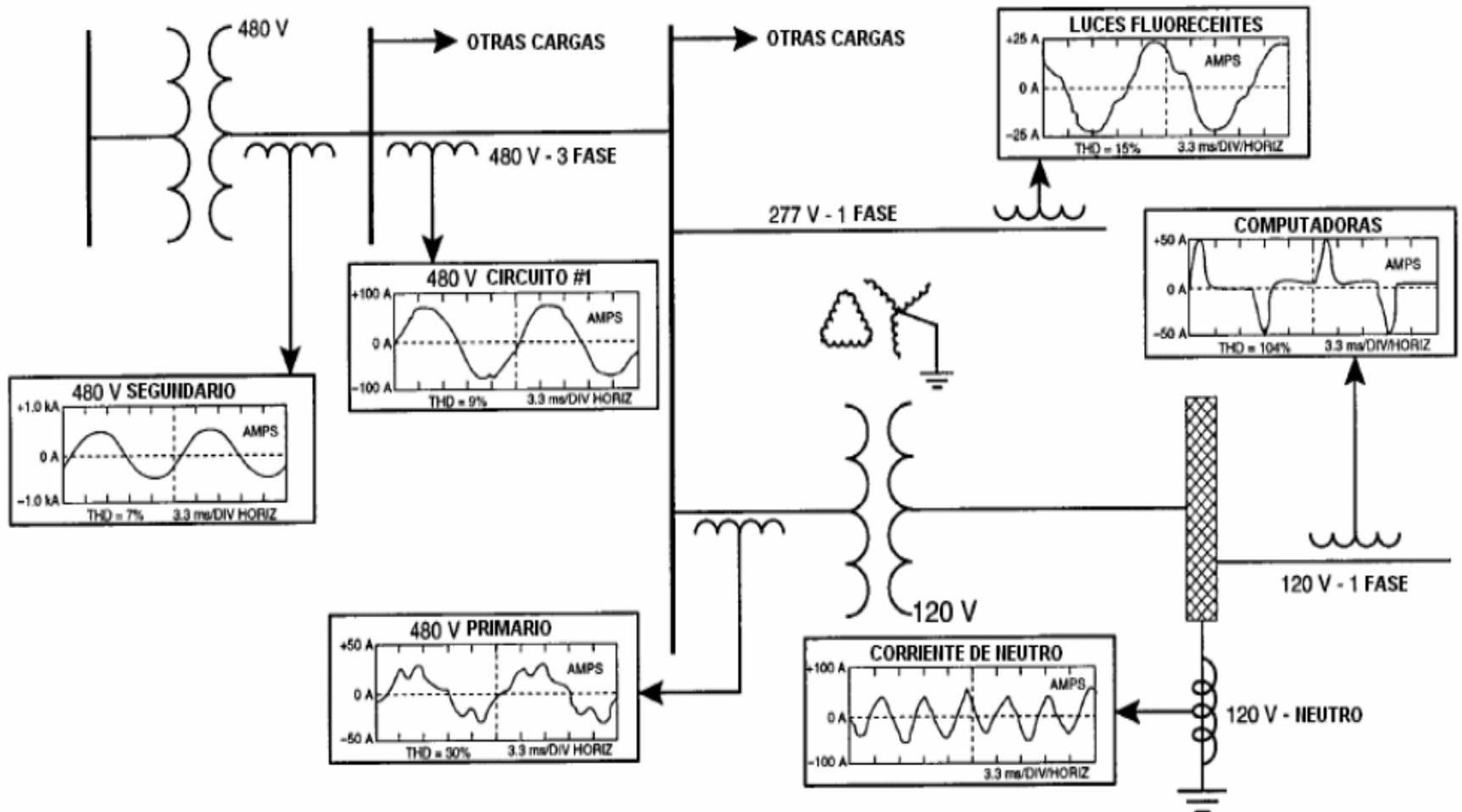
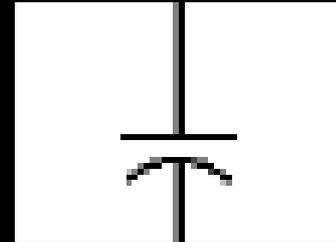


Figura V-34. Distribución típica en una instalación.

# 3.0 Efectos Adversos entre Capacitores y Armónicas

- Respuesta de la Reactancia Capacitiva  $X_c$  a la frecuencia (f).

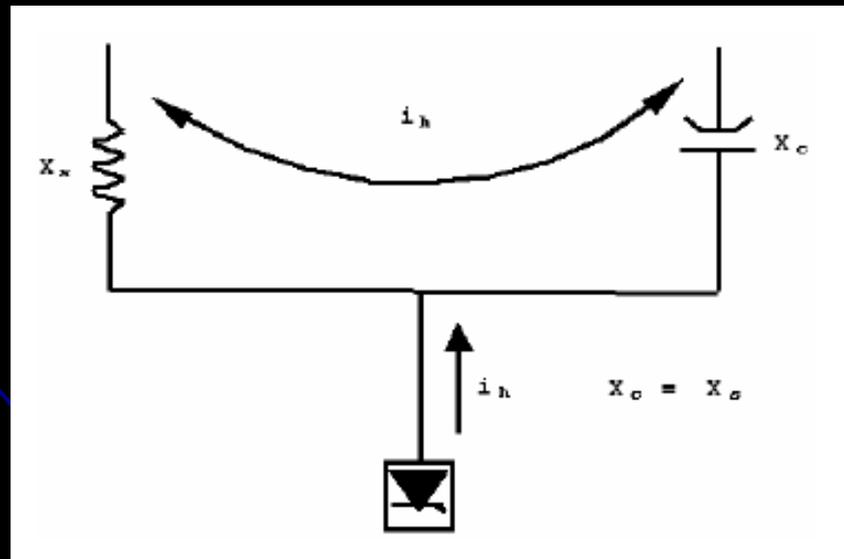
$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$



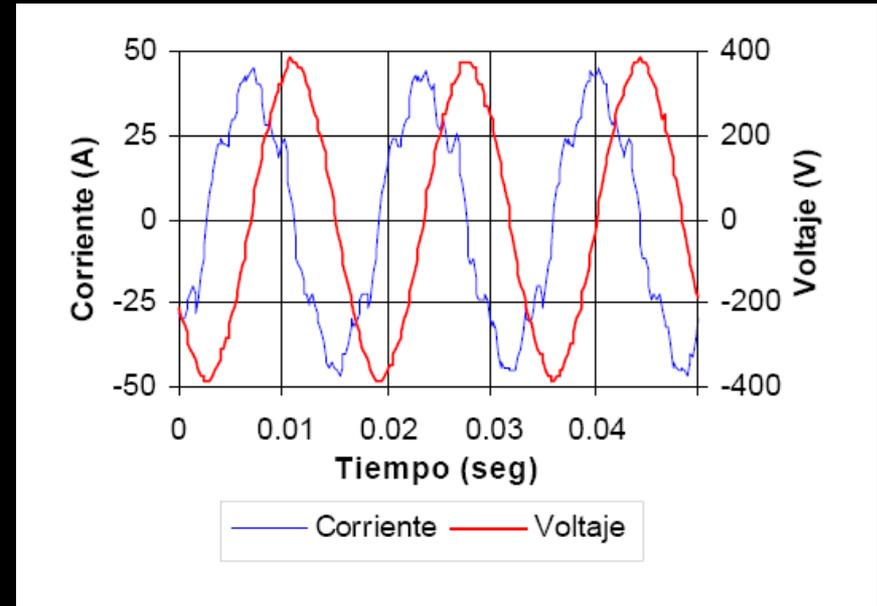
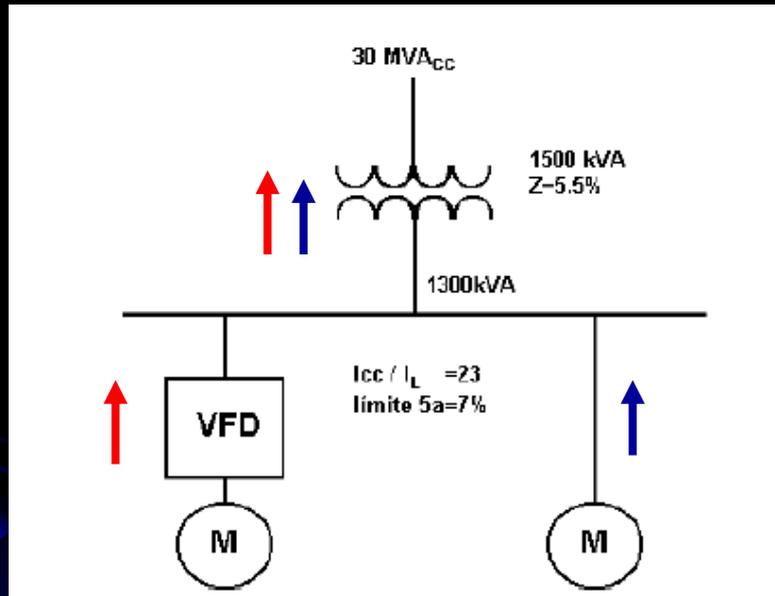
- A mayor Frecuencia (f) menor Reactancia Capacitiva ( $X_c$ ).
- A menor Reactancia Capacitiva ( $X_c$ ) mayor corriente absorbida por el Capacitor.

# 3.0 Resonancia Armónica

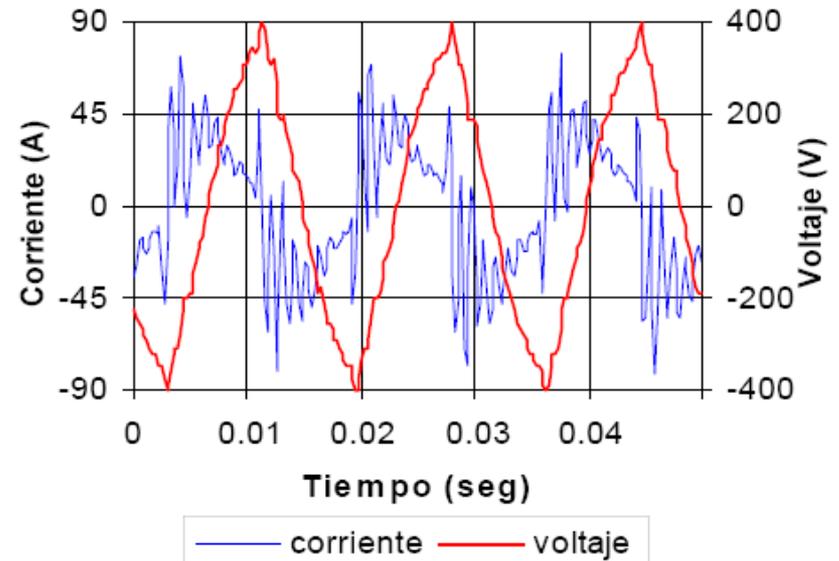
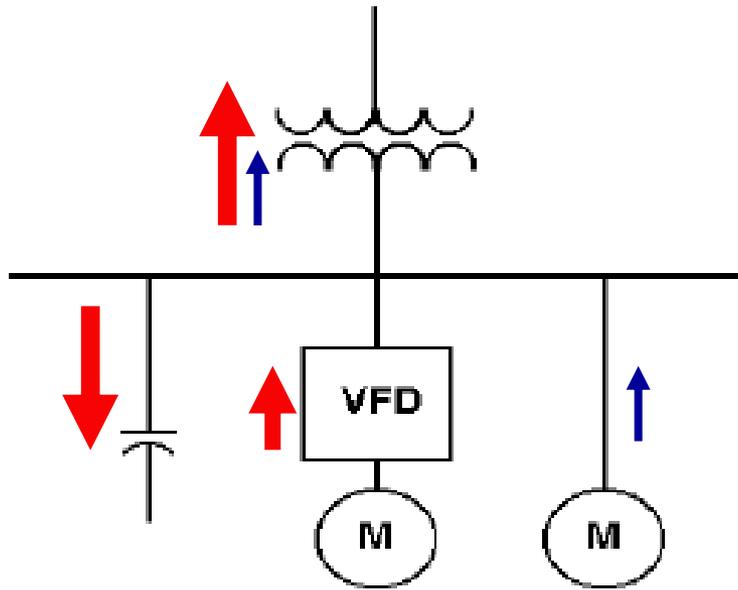
- La resonancia paralela ocurre cuando la reactancia inductiva del sistema y las reactancias capacitivas son iguales a la misma frecuencia y ambas están en paralelo con respecto a la fuente armónica.



# 3.1 Flujos de Armónicas sin Capacitores



# 3.2 Flujos de Armónicas con Capacitores



# 3.3 Frecuencia de Resonancia

$$h_r = \sqrt{\frac{MVA_{sc}}{Mvar_{cap}}} = \sqrt{\frac{X_c}{X_{sc}}}$$

Donde,

**hr:** es la frecuencia resonante como múltiplo de la frecuencia fundamental.

**MVA<sub>sc</sub>:** es la potencia de cortocircuito en el punto de estudio.

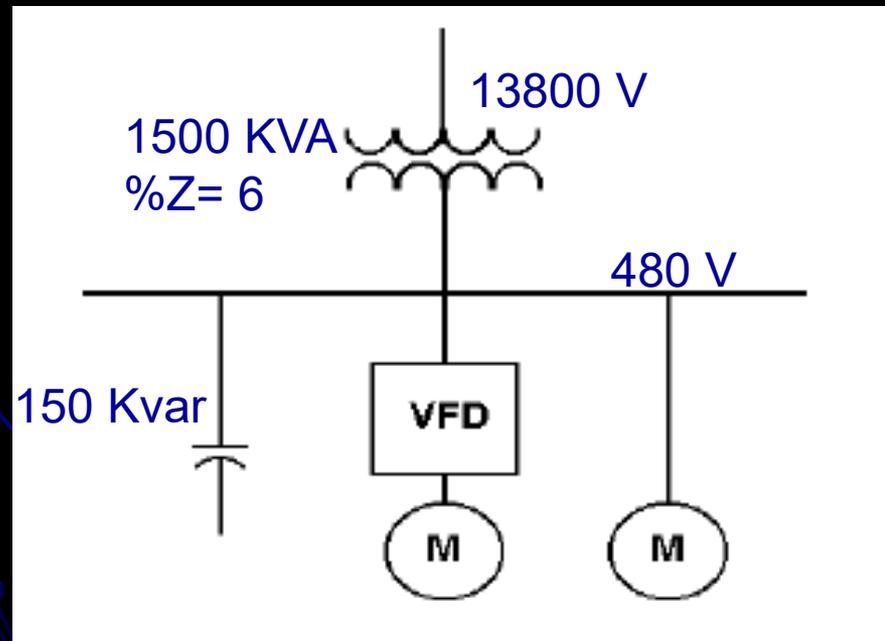
**Mvar<sub>cap</sub>:** es el valor nominal del condensador a la tensión del sistema.

**X<sub>c</sub>:** es la reactancia capacitiva del banco de condensadores a la frecuencia fundamental.

**X<sub>sc</sub>:** es la reactancia de cortocircuito de la subestación.

## 3.4 Ejemplo de Resonancia

- Tenemos el siguiente sistema eléctrico compuesto por un transformador de 1500 kVA, 13.8kV – 480/277 V D-Y, %Z= 6. Se requiere instalar un banco de capacitores para corregir el F.P. del sistema y se ha estimado instalar un Banco automático de 150 kVAR 480 V. Determine la frecuencia de resonancia con el Banco de Capacitores funcionando.



# Solución

- Primer Paso: Tenemos que Calcular la Potencia de Corto Circuito en el Secundario de Transformador (480 V)

$$\text{MVA}_{sc} = \frac{\text{kVA}_{Tr} \times 100}{\% Z_{Tr}} = \frac{1500 \times 100}{6} = 25,000 \text{ kVA}_{sc}$$

- Segundo Paso: Calculamos la frecuencia armónica de resonancia  $h_r$  de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$h_r = \sqrt{\frac{\text{MVA}_{sc}}{\text{Mvar}_{cap}}} = \sqrt{\frac{25,000}{150}} = 12.9$$

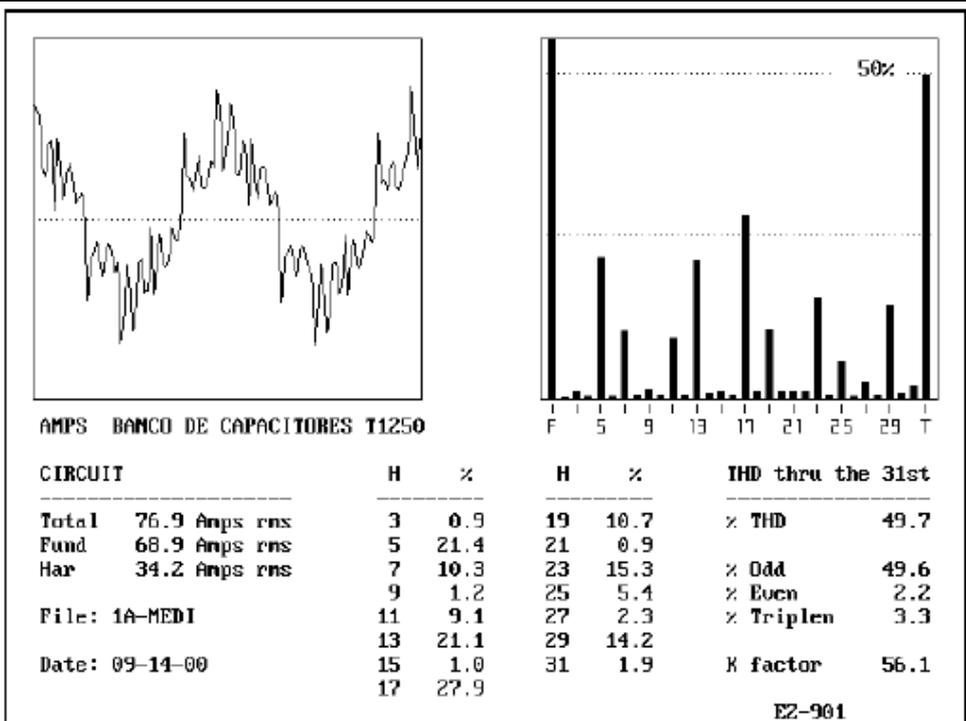
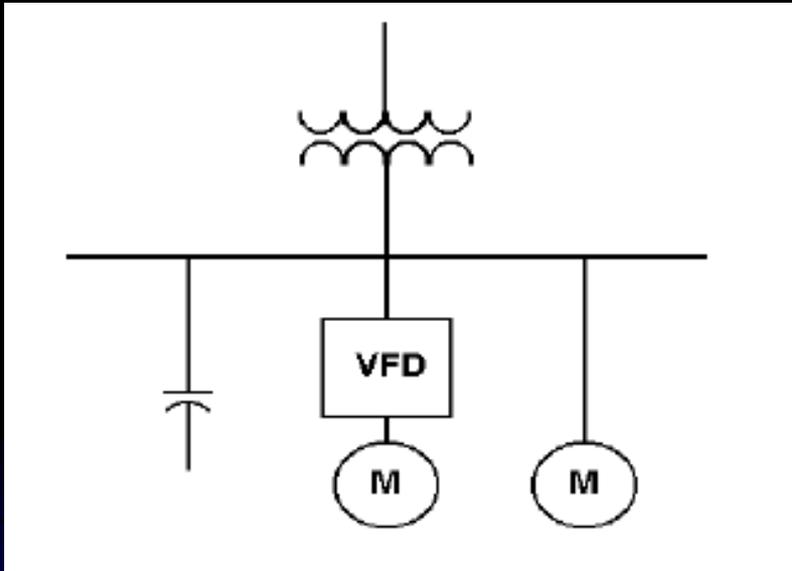


Fig. 4.2.3) Corriente en capacitor instalado en sistema con cargas no lineales



# 4.0 Métodos para Corregir el F.P. en presencia de Armónicas



- En las plantas industriales se busca operar a factores de potencia superiores a 0.90 para evitar la penalización por este concepto e incluso es conveniente alcanzar valores cercanos a la unidad, que típicamente se ubican en un factor de potencia arriba de 0.95, para lo cual se instalan capacitores que pueden provocar resonancias paralelas en el rango de la 3<sup>a</sup> y 21<sup>a</sup> armónica.
1. Determinar o medir el THDi y THDv en el punto de conexión de los capacitores.
    - a) Si el THDi es menor al 10% y THDv menor al 2%, es posible la instalación de Bancos de Capacitores Estándar, no mas del 5% fijo y el resto Automático.
    - b) Si el THDi es mayor al 10% o el THDv es mayor del 2%, recomendamos instalar Filtros de Armónicas de Rechazo.
    - c) Si el THDi es mayor al 40%, recomendamos instalar Filtros de Armónicas de Absorción y filtros Activos para la cancelación.

# 4.0 Métodos para Corregir el F.P. en presencia de Armónicas



2. Determinar la frecuencia de resonancia que se formará con los KVAR de los bancos de capacitores que se conectarán a la red.
  - a) Si el resultado determina una frecuencia de resonancia muy cercana a los ordenes armónicos 5, 7, 11, 13, 17, 19, ... es necesario cambiar la capacidad del Banco de Capacitores, ya sea por una capacidad inmediata superior o inmediata inferior y volver a recalcular.
  - b) Si el resultado determina una frecuencia de resonancia alejada a los ordenes armónicos 5, 7, 11, 13, 17, 19, ... es posible la instalación de un Banco de Capacitores Estándar de preferencia automatico.

# 4.0 Métodos para Corregir el F.P. en presencia de Armónicas



3. Un cálculo empírico para determinar los KVAR del Banco de Capacitores para alejarnos de una frecuencia de resonancia armónica donde exista una corriente armónica a esa frecuencia, será:
  - a) KVAR mínimos entre el 7 y 8% de los KVA del Transformador de manera fija o automática
  - b) KVAR máximos entre el 22% y 40% de los KVA del Transformador solo de manera automática.

# 4.1 Filtros de Armónicas



- Para el logro de la corrección del F.P. en presencia de Armónicas, hoy en día existen dos tipos de filtros pasivos que son capaces de evitar la resonancia armónica y corregir el F.P. simultáneamente.

a) Los Filtros Sintonizados (Absorción)  $\rho=4.5\%$  . Estos están compuestos por una inductancia en serie con un capacitor que puede estar conectado en delta o en estrella y sintonizados a la frecuencia armónica existente en el sistema eléctrico. Por ejemplo: Filtro de Absorción de 5<sup>a</sup> ( $h_r=4.8$   $f_r= 288$  Hz)..

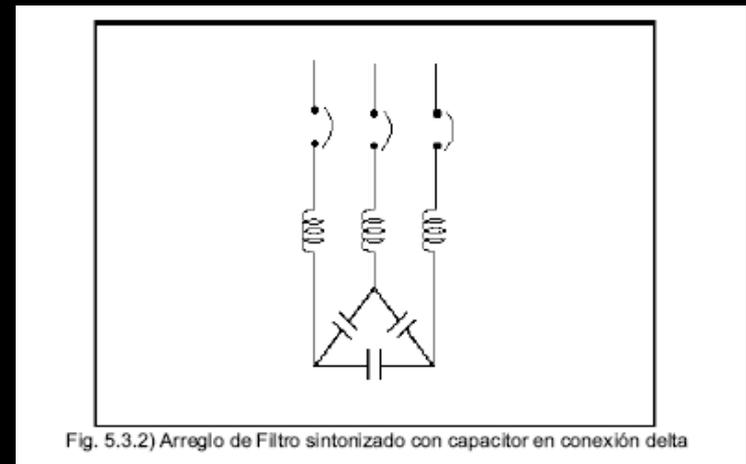
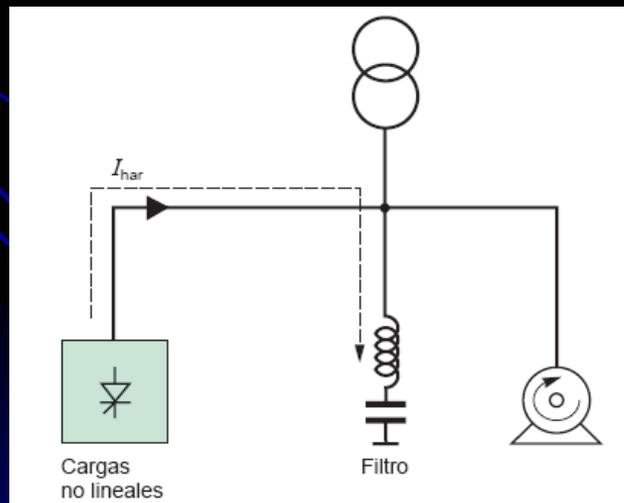
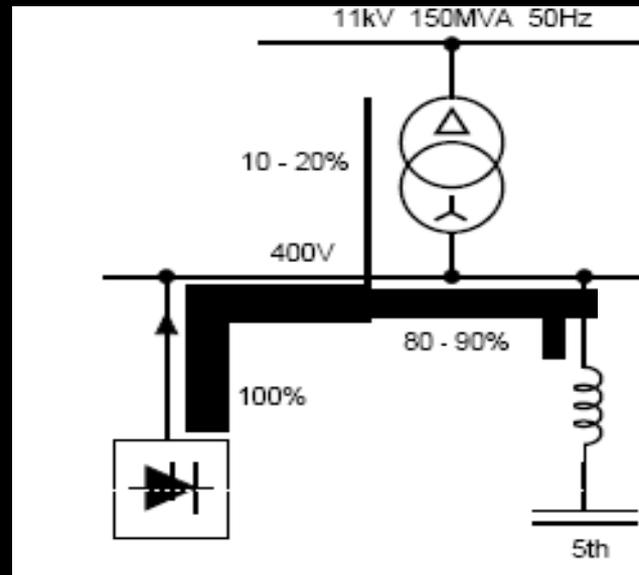


Fig. 5.3.2) Arreglo de Filtro sintonizado con capacitor en conexión delta

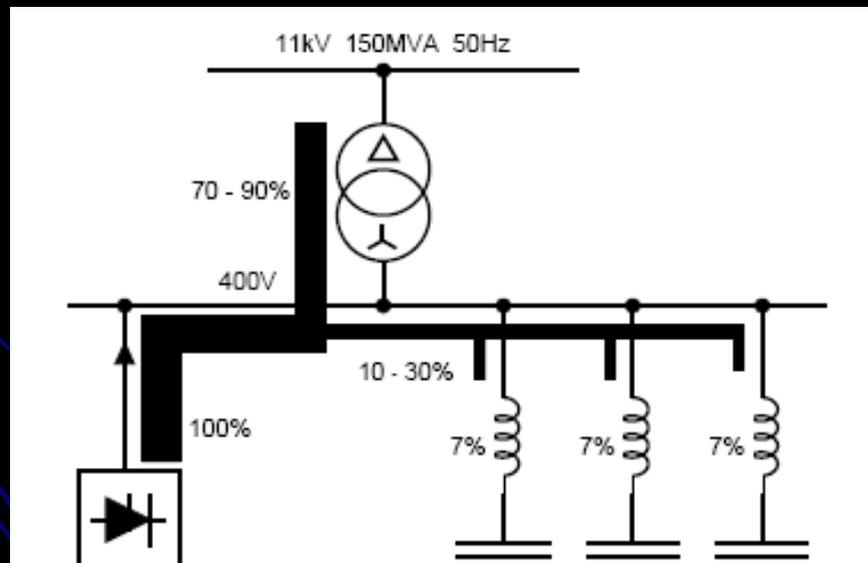
Estos pueden llegar a absorber entre el 70 y 90% de la corriente total armónica en el punto de conexión del equipo.



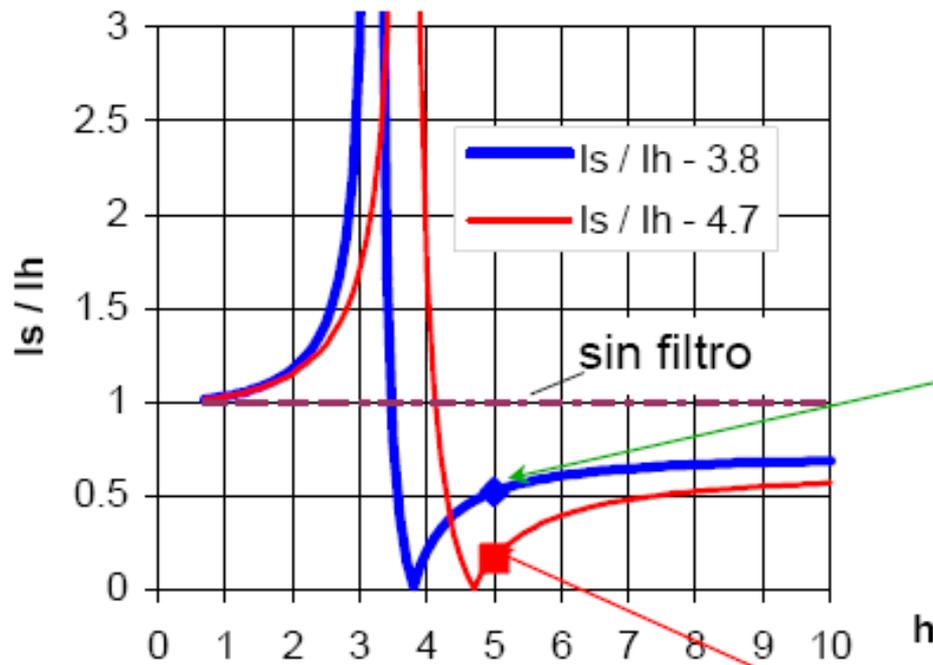
Filtros Sintonizados  $\rho=4.5\%$

b) Los Filtros Desintonizados (Rechazo)  $\rho=7\%$  . Al igual que los de absorción, estos están compuestos por una inductancia en serie con un capacitor que puede estar conectado en delta o en estrella y sintonizados a una frecuencia armónica alejada de las existentes en el sistema eléctrico. Por ejemplo: Filtro de Rechazo de 5<sup>a</sup> ( $h=3.8$   $f_r= 228$  Hz).

Estos pueden llegar a absorber entre el 30 y 40% de la corriente total armónica en el punto de conexión del equipo.



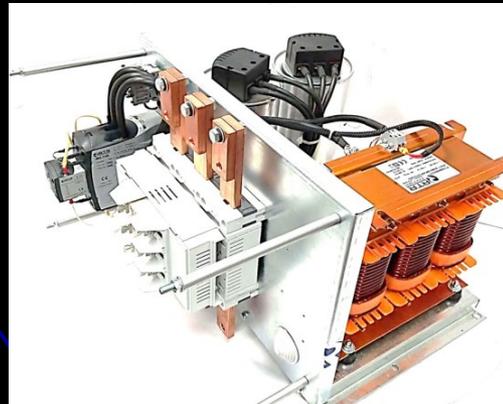
Filtros Desintonizados  $\rho=7\%$



Atenuación del 50%

Atenuación del 80%

# 5.0 Nuestra Propuesta Técnica



## ● Características eléctricas de los Capacitores

- Voltajes: 240 V / 525 V AC
- Frecuencia: 60 Hz
- Tecnología: Seco Autorregenerable
- Expectativa de Vida: 120,000 hrs
- Sobrecarga: 1.3 IN
- Sobretensión: 10 %, 8 sobre 24 horas
- 15 %, hasta 15 min. al día
- 20 %, hasta 5 min. al día
- 30 %, hasta 1 min. Al día
- Nivel de aislamiento: < 690 V : 3,000 V AC, 10 s
- Tolerancia de potencia: -5 + 10 %
- Resistencia de descarga: 75 V / 3minutos
- Pérdidas: Dieléctricas:< 0.2 W / KVAR
- Totales:< 0.5 W / KVAR
- Protecciones: Regeneración dieléctrica
- Fusible interno
- Sistema de sobre presión

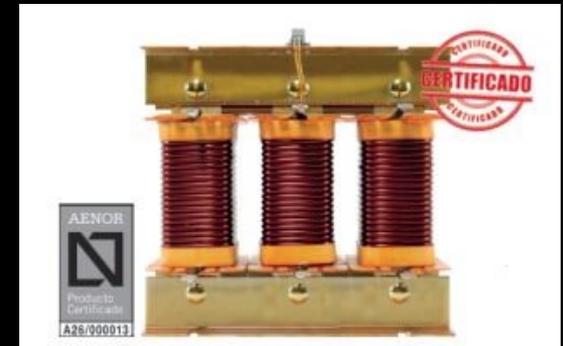
## Normas de Fabricación

- Capacitores: IEC 60831-1/2  
UL 810



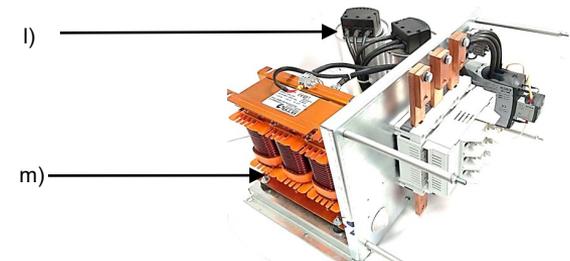
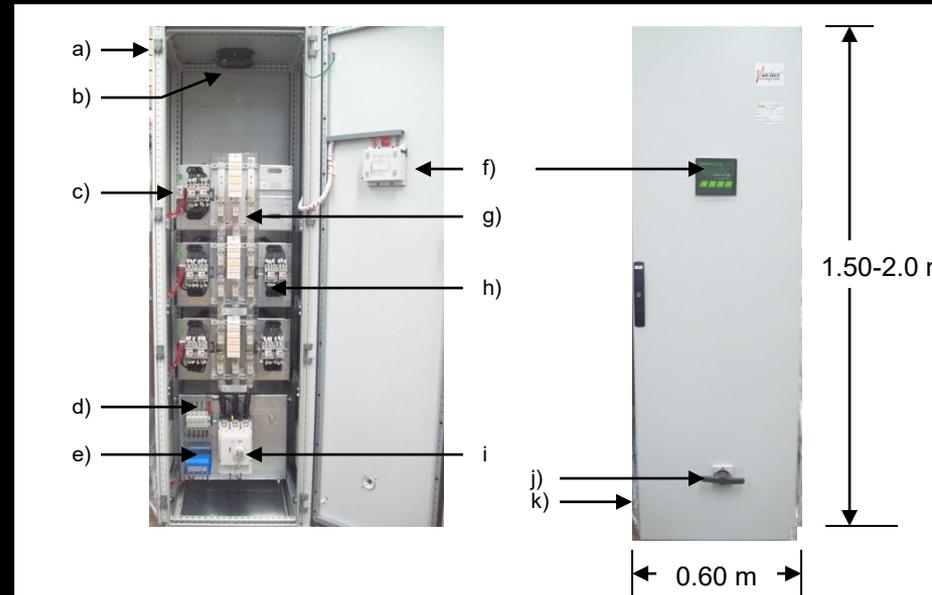
- Características eléctricas de los Reactores

- Voltajes Nominales: 240 V / 480 V AC
- Frecuencia: 60 Hz
- Material: Aluminio de alta cond.
- Tolerancia de la inductancia: +-5%
- Linealidad I lin: 1.6...2 IN
- Sobretensión: 10 %, 8 sobre 24 horas
- 15 %, hasta 15 min. al día
- 20 %, hasta 5 min. al día
- 30 %, hasta 1 min. Al día
- Nivel de aislamiento: 3KV
- Temperatura Ambiente Max: 40°C
- Protector térmico: Switch integrado
- Diseño: Trifásico con laminado de acero ventilado



# Equipamiento de Serie

- a) Gabinete Metálico tipo Mural.
- b) Extractor de calor.
- c) Termostato ajustable
- d) Fusibles de Control
- e) Transformador de Control
- f) Controlador Electrónico de Pasos
- g) Fusibles de Potencia de Pasos
- h) Contactores para capacitores
- i) Interruptor Termomagnético Principal
- j) Seccionador externo de seguridad
- k) Rejillas de Ventilación
- l) Capacitores Secos Autorregenerables
- m) Reactor resintonizado para corrientes armónicas



# Certificados de Calidad ISO9001



## Certificado AENOR de Producto AENOR Product Certificate



A26/000021

### Anexo al Certificado Annex to Certificate

Referencia/ Reference	Marcas Comerciales/ Trade Mark	Tipo (monofásica/trifásica) / Type (single-phase/three-phase)	Uso (interior/exterior) / Service (indoor/outdoor)	Potencia reactiva y frecuencia industrial asignadas/ Rated reactive power and industrial frequency	Tensión asignada y de aislamiento/ Rated and insulating voltages	Inductancia asignada a frecuencia industrial/ Rated inductance at industrial frequency	Frecuencia de resonancia asignada/ Rated resonance frequency	Clase térmica del aislamiento (Insulation thermal class)
RTR0230-0523XXXXXX	RTR Energía	Trifásica / three-phase	Interior / indoor	25 - 130 kVar; 50/60 Hz	210 - 525 V-; 4 kV	0,35 - 573,3 mH; 50/60 Hz	Valores (kVar) ordinary ratings: 100 - 300 Hz	Clase F / Class F



Asociación Española de Normalización y Certificación

Fecha de emisión / First issued on: 2015-02-17  
Fecha de expiración / Validity date: 2020-02-17



Asociación Española de Normalización y Certificación

Girona 6, 28004 Madrid, España  
Tel: 902 102 201 - www.aenor.es



## AR-MEX

### CAPACITORES DE POTENCIA



## CERTIFICATE OF COMPLIANCE

Certificate Number: 20141031-E470994  
Report Reference: E470994-20111114  
Issue Date: 2014-OCTOBER-31

Issued to: RTR ENERGIA S L  
Gavilanes 11 Bis  
Pol Ind Pinto Estacion  
Pinto  
28320 Madrid SPAIN

This is to certify that representative samples of COMPONENT - PLASTICS Polyurethane (PUR) NUBAPOL 2030 UL

Have been investigated by UL in accordance with the Standard(s) indicated on this Certificate.

Standard(s) for Safety: (<https://my.secure.home1.ul.com/portal/page/portal/usa/iQ/iQWelcome>)

Additional Information: See the UL Online Certifications Directory at [www.ul.com/database](http://www.ul.com/database) for additional information

Only those products bearing the UL Certification Mark should be considered as being covered by UL's Certification and Follow-Up Service.

Recognized components are incomplete in certain constructional features or restricted in performance capabilities and are intended for use as components of complete equipment submitted for investigation rather than for direct separate installation in the field. The final acceptance of the component is dependent upon its installation and use in complete equipment submitted to UL LLC.

Look for the UL Certification Mark on the product.



www.bardal.com, Tech-Net Client Program, Global Inspection and Field Review



UL LLC  
Any information and documentation handling UL Mark certifies, in accordance with UL 1110 (UL) or any international Standard of UL. For questions, please contact at least 30 business days before the start of production at [globalcertification@ul.com](mailto:globalcertification@ul.com)



FIN

Gracias por su atención

[ventas@fervisa.com](mailto:ventas@fervisa.com)

[ventas@varmex.com.mx](mailto:ventas@varmex.com.mx)