



David Palavecino – diciembre de 2020

COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA - PARTE II -

Esquema 3



¡ADVERTENCIA! Este archivo es simplemente el conjunto de las diapositivas de una capacitación en vivo , en la que se dan muchísimas ampliaciones y aclaraciones; y se realizan eventuales correcciones.

Si a usted le llega este material digital y no presencié la disertación, sea responsable en su uso y sepa que este archivo contiene solo una fracción de toda la información brindada durante la charla.

Para seguir aprendiendo :



https://www.youtube.com/channel/UCLWagee-ntRCsJ-2A5wIXHg?view_as=subscriber



<https://davidpalavecino capacitaciones.tiendup.com/>

Tipos de compensación de energía reactiva:

Según la fracción de la instalación que compensa el banco:

Según la simultaneidad de conexión entre el banco y la carga:

Global o central

Sectorial o sectorizada

Individual

Fija

Automática



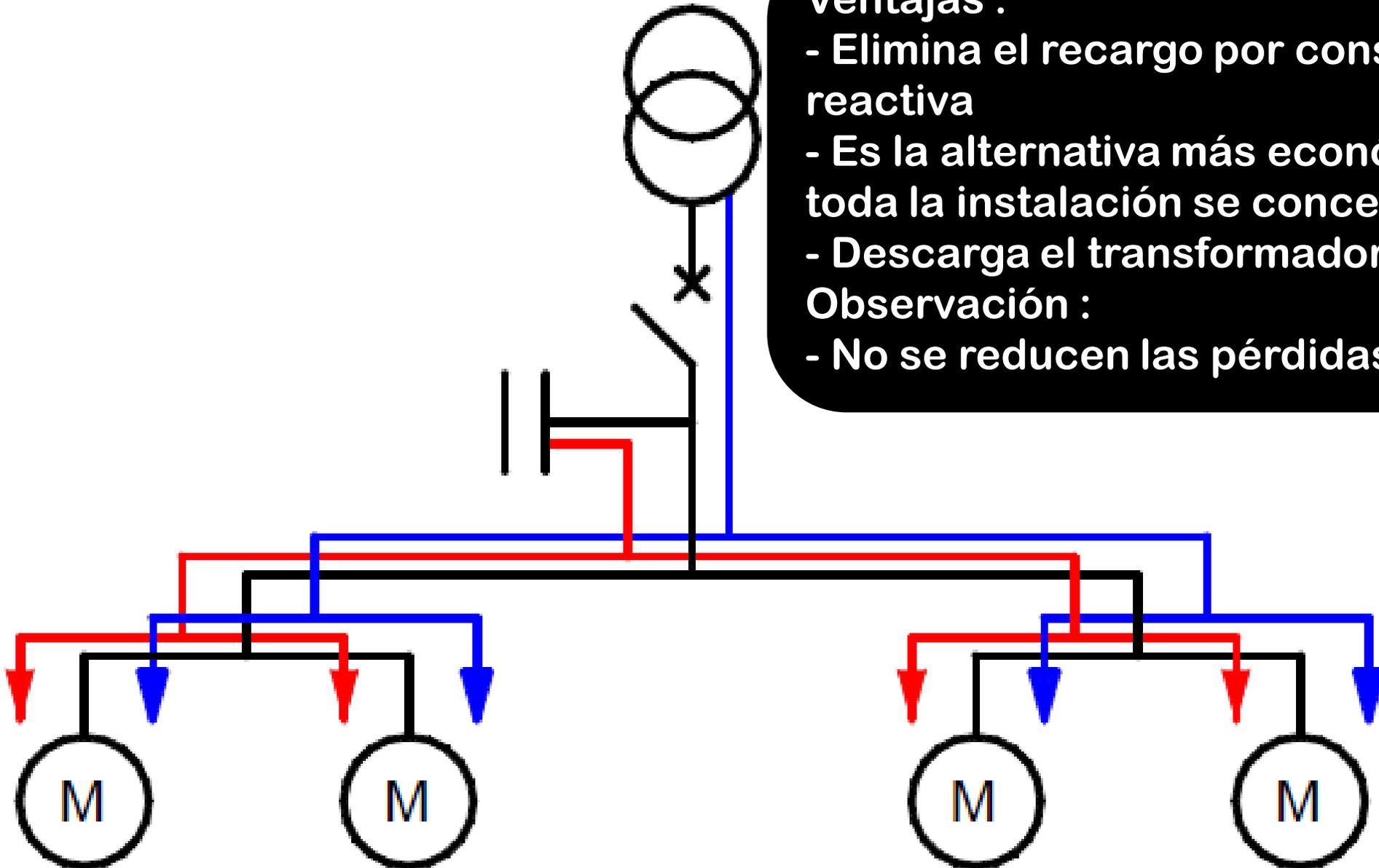
Compensación global

Ventajas :

- Elimina el recargo por consumo de energía reactiva
- Es la alternativa más económica porque toda la instalación se concentra en un lugar
- Descarga el transformador

Observación :

- No se reducen las pérdidas en los cables



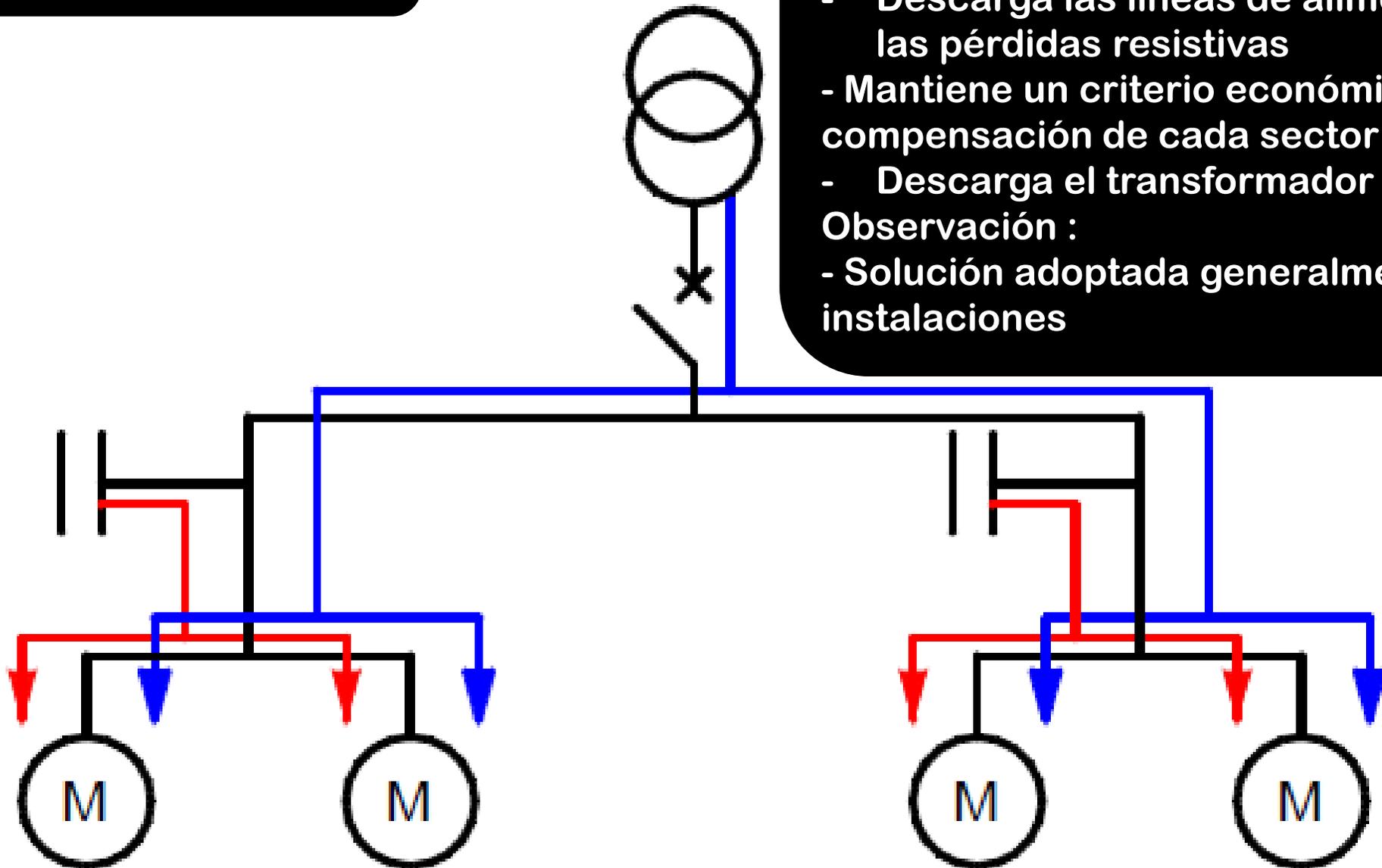
Compensación Sectorial

Ventajas :

- Elimina el recargo por consumo de energía reactiva
- Descarga las líneas de alimentación reduciendo las pérdidas resistivas
- Mantiene un criterio económico al concentrar la compensación de cada sector
- Descarga el transformador

Observación :

- Solución adoptada generalmente en grandes instalaciones



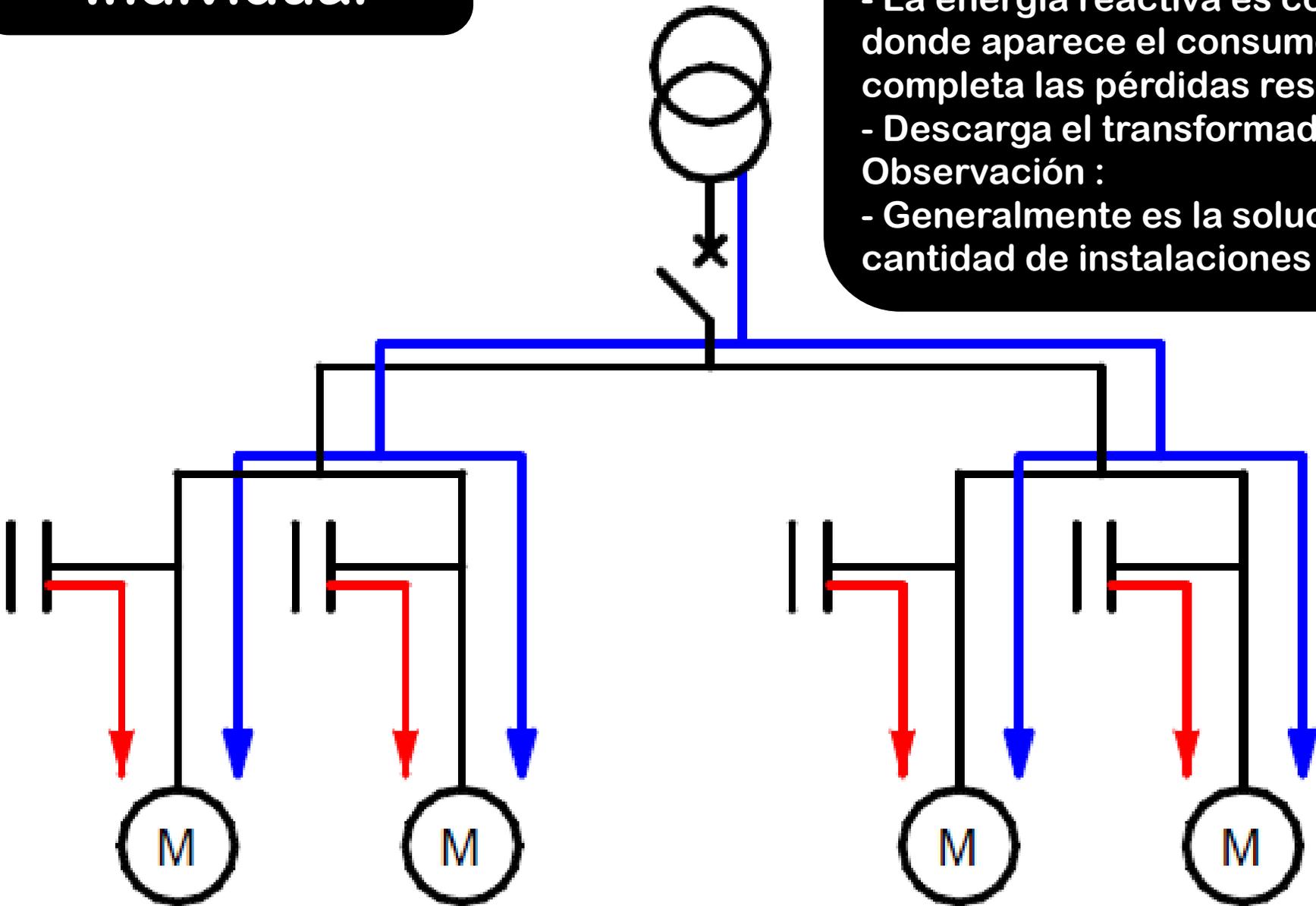
Compensación Individual

Ventajas :

- Elimina el recargo por consumo de energía reactiva
- La energía reactiva es compensada en el mismo lugar donde aparece el consumo; por lo tanto elimina en forma completa las pérdidas resistivas
- Descarga el transformador

Observación :

- Generalmente es la solución más costosa por la gran cantidad de instalaciones que requiere



Compensación Individual: capacitores requeridos para la compensación de motores trifásicos en función de la potencia y de la velocidad del motor.

Potencia en el eje		Velocidad sincrónica	Corriente a plena carga	cosφ a plena carga	Potencia reactiva de vacío	Capacitor para compensación óptima
CV	kW	r.p.m.	A	-	kVAr	kVAr
1	.75	750	2.48	0.67	0.80	0.56
		1000	2.28	0.72	0.74	0.52
		1500	2.04	0.75	0.54	0.38
		3000	1.84	0.82	0.39	0.28
1.5	1.1	750	3.48	0.67	1.34	0.94
		1000	3.28	0.72	1.03	0.72
		1500	2.76	0.80	0.93	0.65
		3000	0.55	0.86	0.51	0.36
2	1.5	750	4.06	0.72	1.31	0.91
		1000	3.98	0.76	1.22	0.85
		1500	3.60	0.81	1.10	0.77
		3000	3.42	0.86	0.51	0.37
3	2.2	750	6.00	0.71	2.17	1.52
		1000	5.53	0.77	1.46	1.02
		1500	5.15	0.82	1.32	0.92
		3000	4.93	0.87	0.64	0.45
4	3	750	7.81	0.72	2.9	2.03
		1000	7.46	0.76	2.22	1.55
		1500	6.95	0.82	1.92	1.34
		3000	6.29	0.90	0.81	0.57
5.5	4	750	10.22	0.72	3.56	2.67
		1000	9.88	0.76	2.66	2.00
		1500	8.60	0.84	2.07	1.55
		3000	8.14	0.90	0.89	0.66
7.5	5.5	750	13.8	0.73	4.49	3.37
		1000	13.5	0.76	3.48	2.61
		1500	11.75	0.83	2.47	1.85
		3000	11.31	0.88	0.91	0.69
10	7.5	750	18.23	0.74	5.77	4.33
		1000	16.85	0.78	4.45	3.33
		1500	15.65	0.84	3.40	2.55
		3000	14.96	0.90	1.08	0.81
15	11	750	25.82	0.77	7.33	5.86
		1000	24.52	0.81	5.64	4.51
		1500	22.00	0.86	4.03	3.22
		3000	22.04	0.88	2.21	1.76



Compensación Individual: Motores Monofásicos SIN capacitor permanente

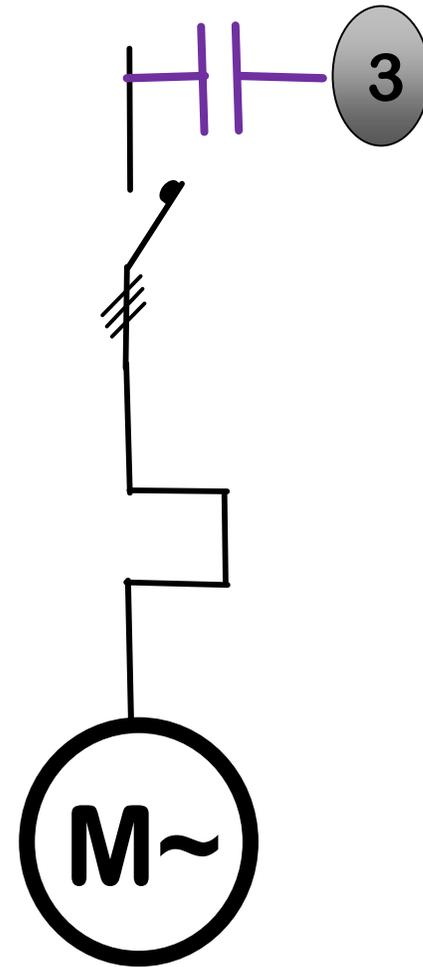
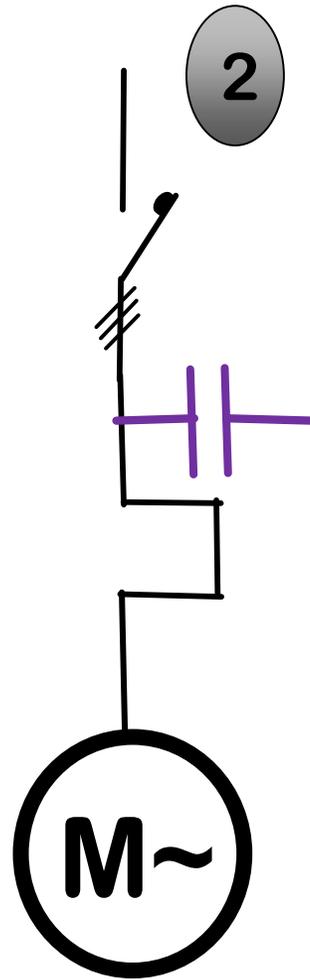
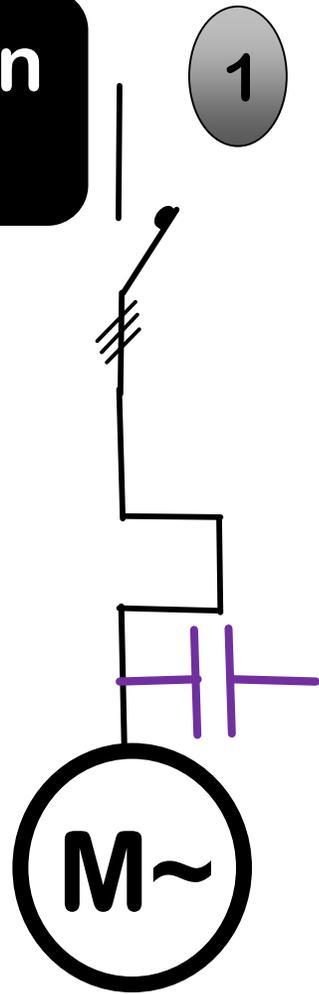
Características del motor a plena carga							
Potencia			Corriente	Factor de Potencia	Capacitor de compensación en μF para factor de potencia:		
HP	kW		A	-	0,85	0,9	0,95
1/8	0.092		1.7	.495	16	16	18
1/6	0.123		2.1	0.519	16	18	25
1/5	0.147		2.3	0.543	18	20	25
1/4	0.184		2.45	0.575	16	20	25
1/3	0.245		3.25	0.587	25	25	33
1/2	0.368		4.4	0.633	25	33	36(2x18)
3/4	0.552		6.1	0.686	33	36	44
1	0.736		8	0.643	44	53(20+33)	66
1 1/2	1.1		13	0.715	50(2x25)	66	88(2x44)
2	1.47		13	0.715	50(2x25)	66	88(2x44)



Compensación Individual: Motores Monofásicos CON capacitor permanente

Características del motor a plena carga							
Potencia		Velocidad	Corriente	Factor de Potencia	Capacitor de compensación en μF para factor de potencia:		
HP	kW	rpm	A	-	0,85	0,9	0,95
1 1/2	1.1	1440	8.9	0.817	10	25	44
		2880	8	0.859	-	12.5	33
2	1.47	1440	11	0.845	-	20	44
		2880	9.5	0.88	-	8	25
3	2.2	1440	17	0.843	-	33	66
		2880	15	0.88	-	12.5	44
4	2.94	1440	21	0.797	33	66	110(44+66)
		2880	18.5	0.927	-	-	18
5	3.68	1440	24	0.86	-	33	77(33+44)
		2880	21.5	0.909	-	-	44
7 1/2	5.52	1440	36.5	0.849	-	66	132(2x66)
		2880	30	0.909	-	-	53(20+33)
10	7.36	1440	45	0.875	-	44	132(2x66)
		2880	45	0.929	-	-	44

Compensación Individual



¿Cuáles serían las ventajas y desventajas de cada configuración?

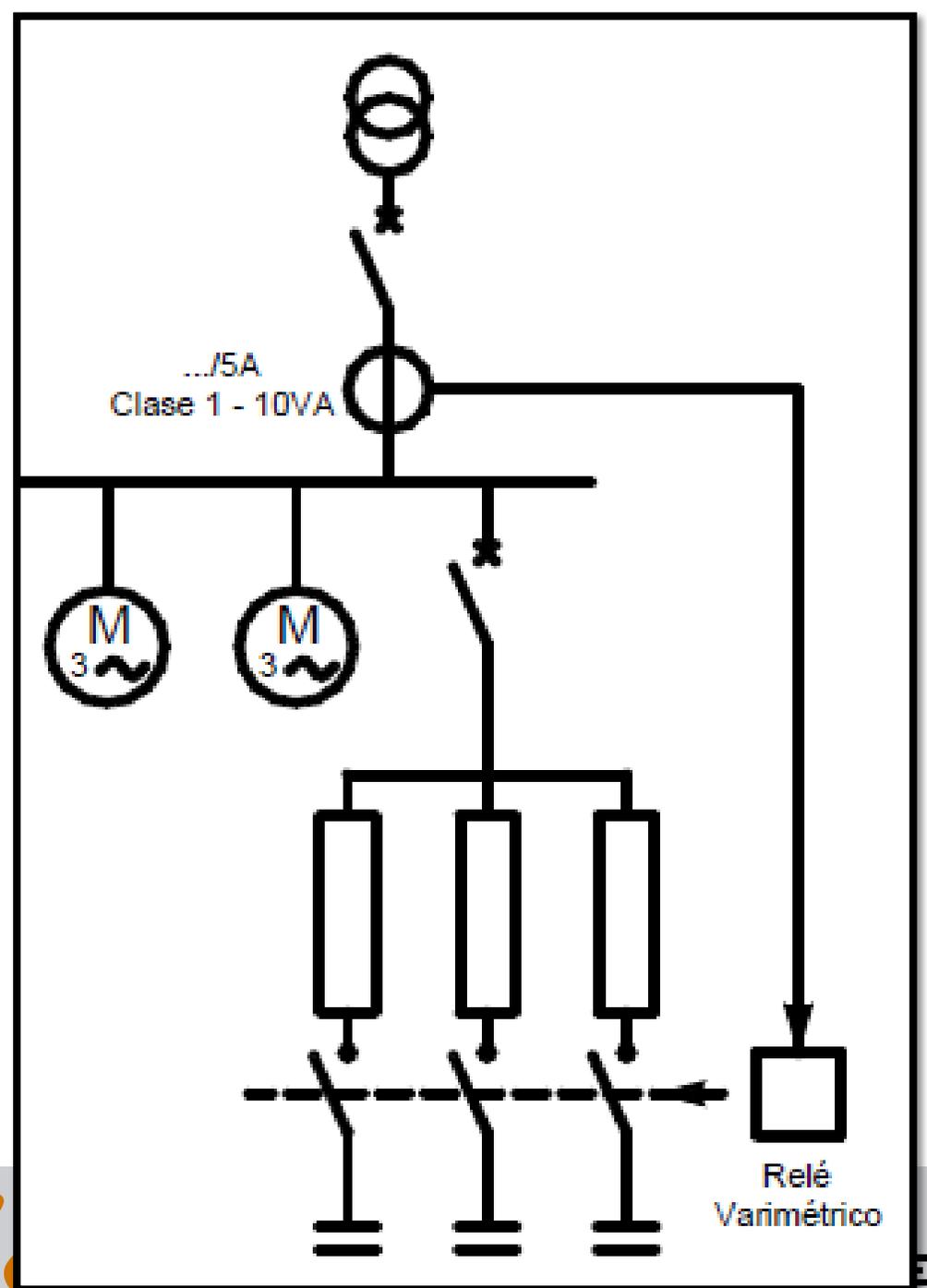
Banco automático

La potencia reactiva del banco puede ser regulada de acuerdo a las variaciones del estado de carga de la instalación.

Estos bancos están formados por varios pasos de capacitores conectados en paralelo : el control de estos pasos es realizado por un regulador electrónico incorporado en el banco.

Estos bancos son usados generalmente en :

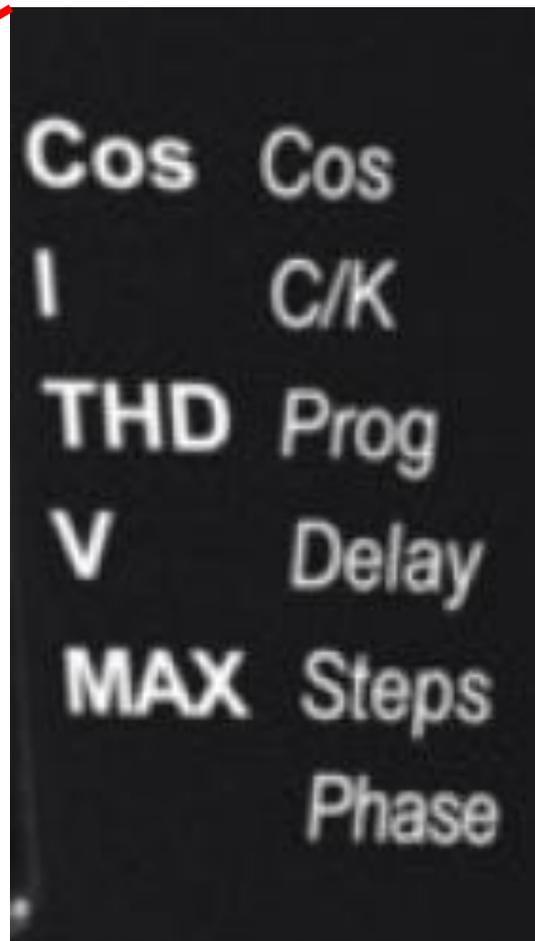
- Instalaciones que presentan variabilidad en su estado de carga
- Compensación de tableros generales de distribución en baja tensión.



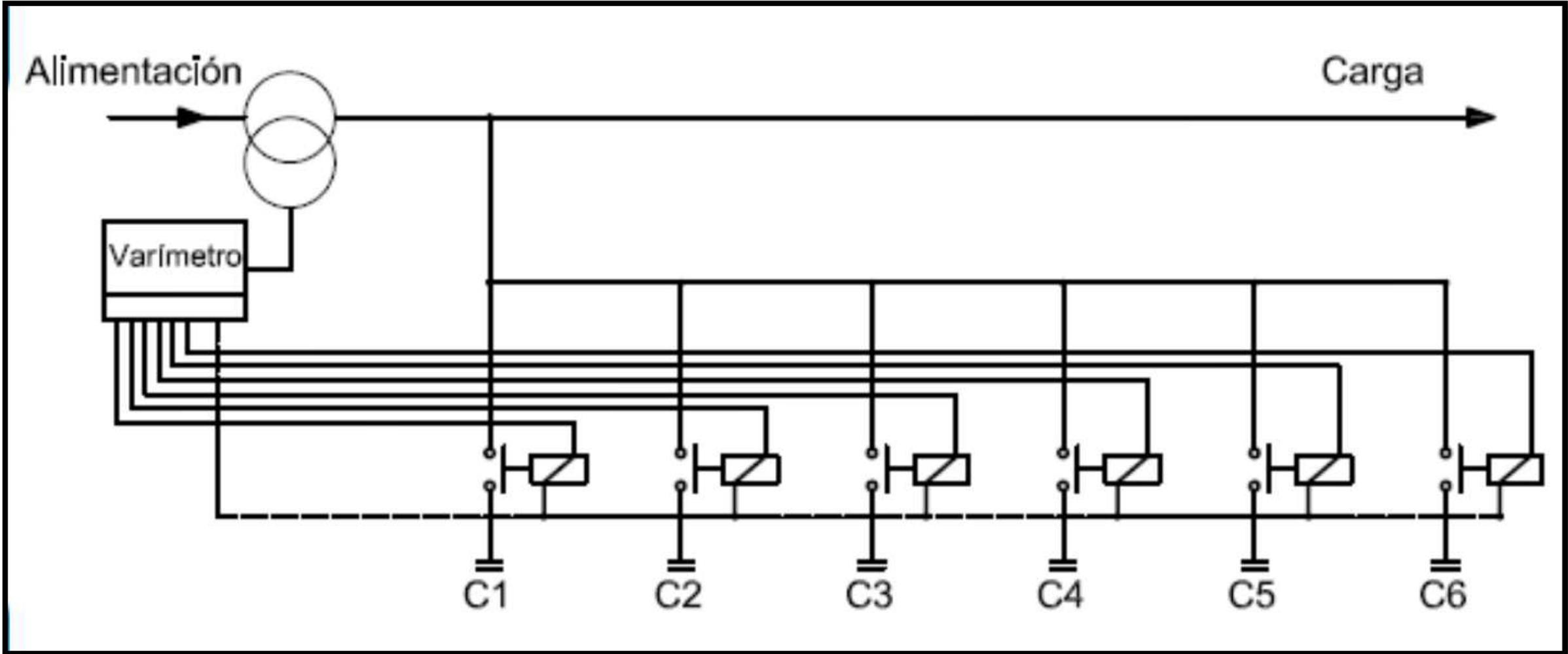


**Relés varimétricos
(también conocidos como
controladores de factor de potencia)**





Esquema unifilar general



Alimentación de tensión

Conexión del transformador de intensidad (T.I.)

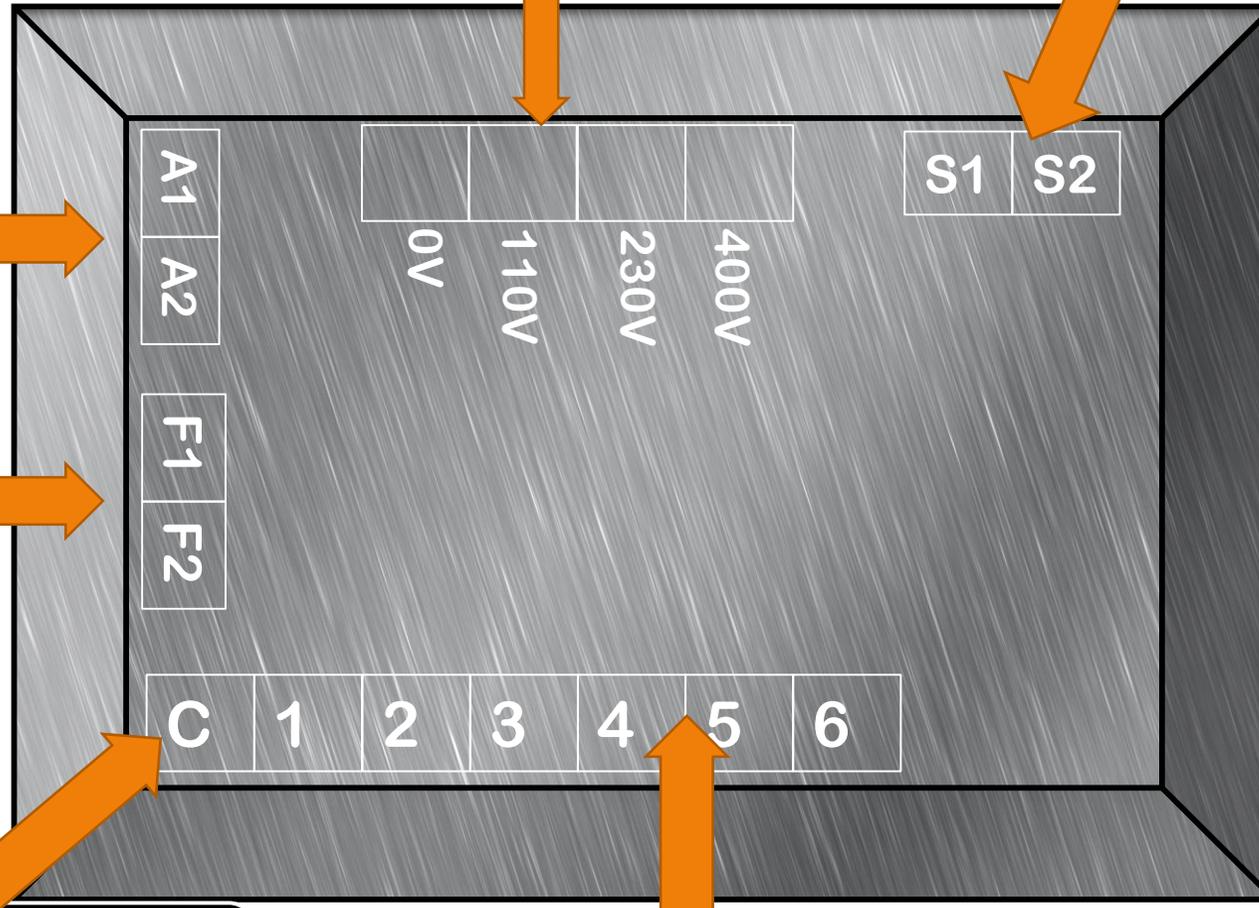
Salida a relé para Alarma (opcional)

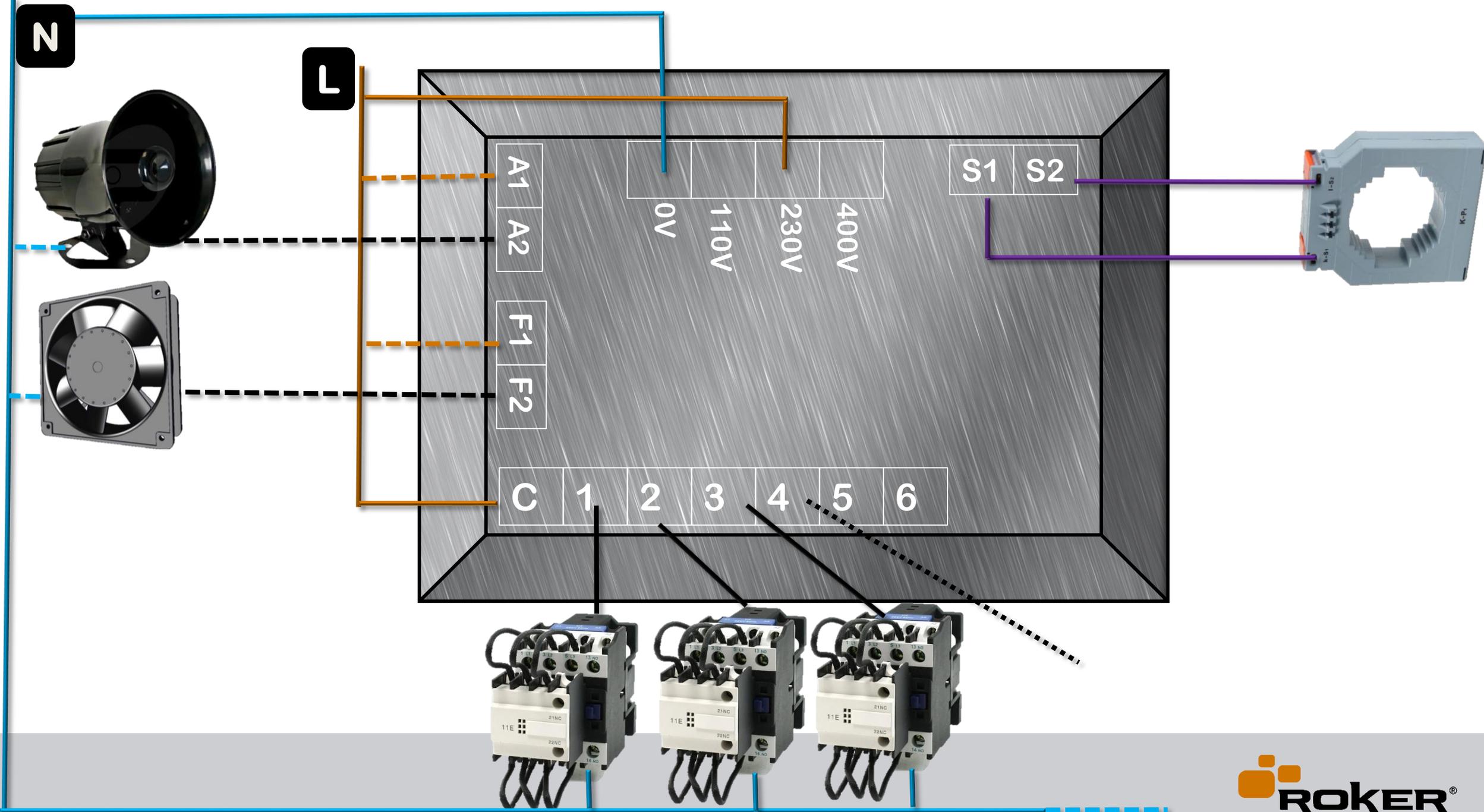
Salida a relé para ventilador de tablero (opcional)

Formato típico de los bornes de conexión de un relé varimétrico

Común (entrada) de los relés para los contactores

Salidas hacia las bobinas de los contactores (tantas como pasos tenga el controlador)





Nota: en Argentina la entrada de tensión puede hacerse conectando el neutro en “0V” y la fase en “230V”, en ese caso conectamos el T.I. en esa misma fase.

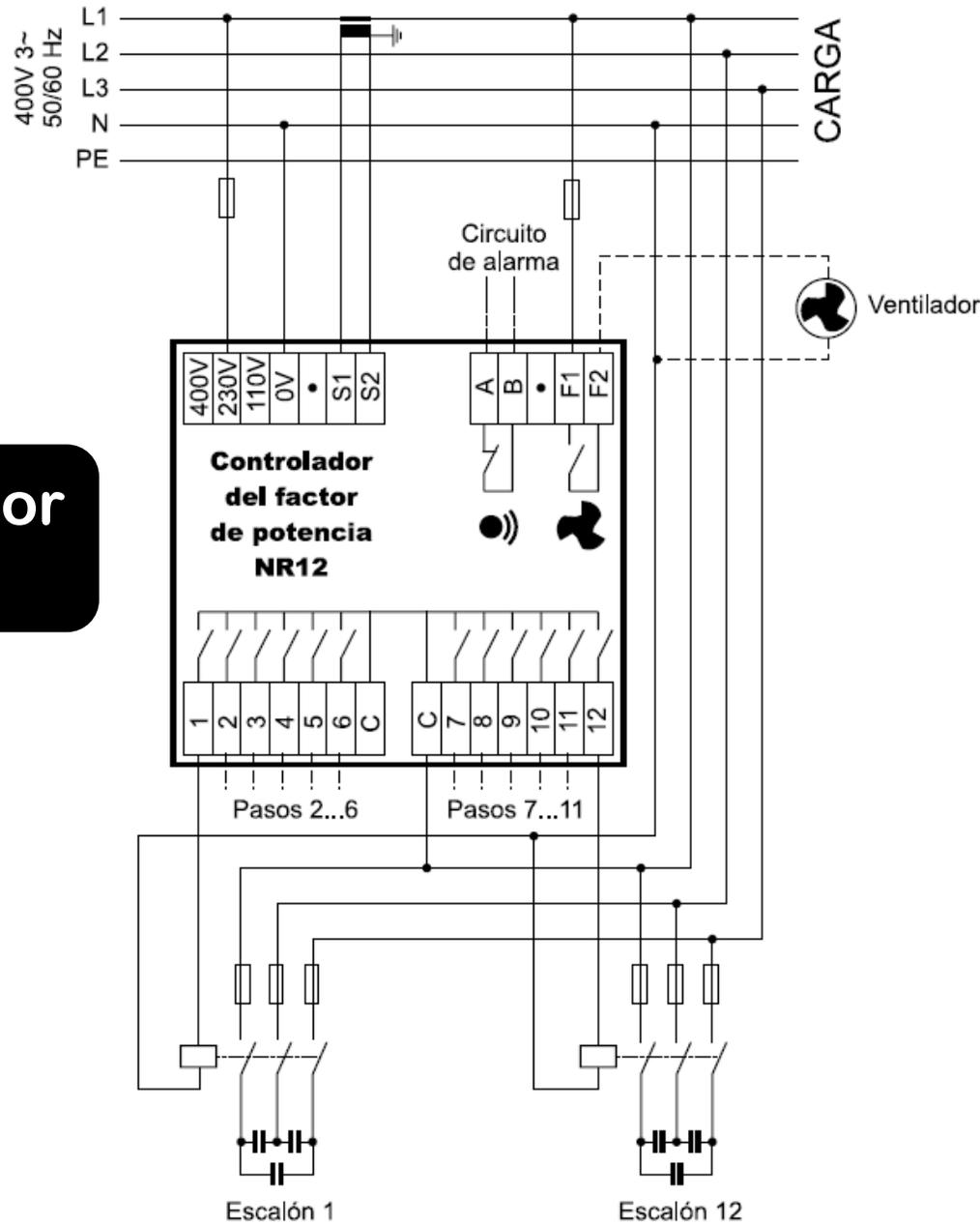
También puede alimentarse la tensión con dos fases (una en “0V” y la otra en “400V”), en cuyo caso conectamos el T.I. en la fase restante. Es decir, si por ejemplo la tensión es con L1 y L2 , el transformador de corriente debe ir en L3.

En algunos controladores hay solo dos tornillos para la alimentación de voltaje, es decir ,son “multitensión” y pueden alimentarse con tensiones por ejemplo desde 90V hasta 500V.

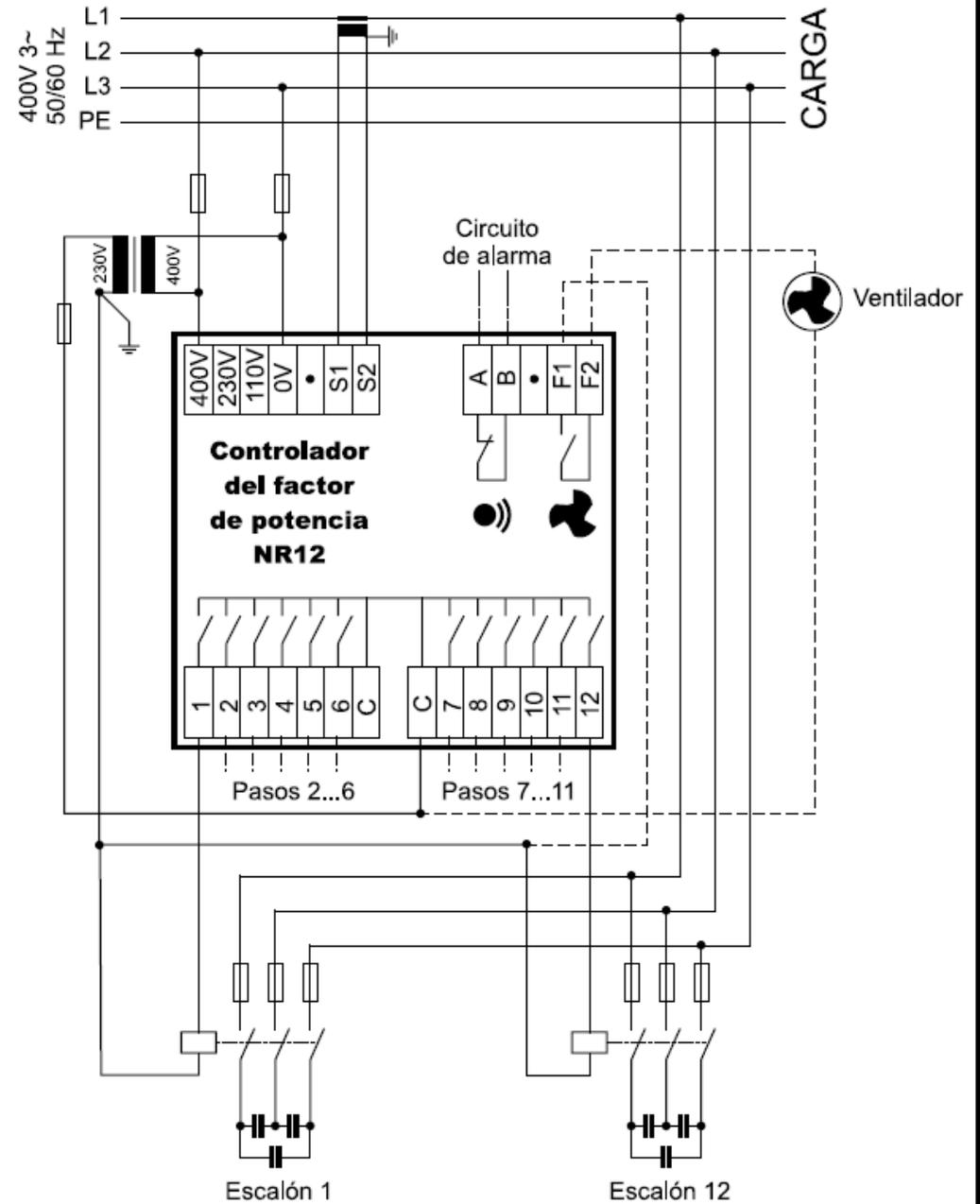


**Controlador
marca 1**

Conexión Fase - Neutro



Conexión Fase - Fase



Nº	Descripción	Nº	Descripción
A	Entrada corriente S1	4	Salida Relé 4
B	Entrada corriente S2	5	Salida Relé 5
COM	Común relés	6	Salida Relé 6
1	Salida Relé 1	C	Entrada de tensión 0 V
2	Salida Relé 2	D	Entrada de tensión ⁽¹⁾
3	Salida Relé 3		

(1) Tensión nominal según tipo. Ver etiqueta del equipo

Controlador marca 2

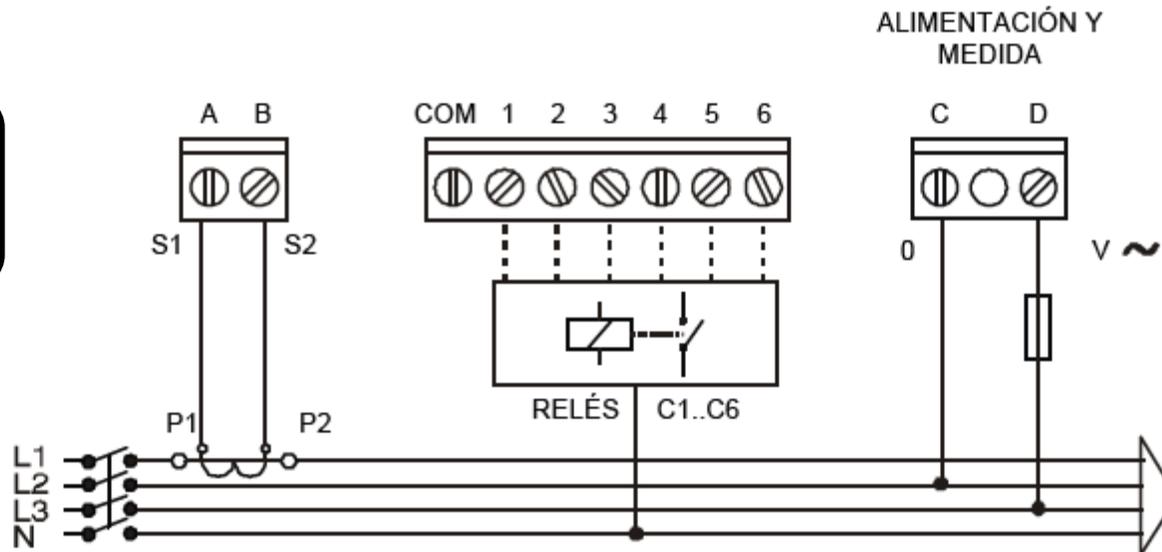
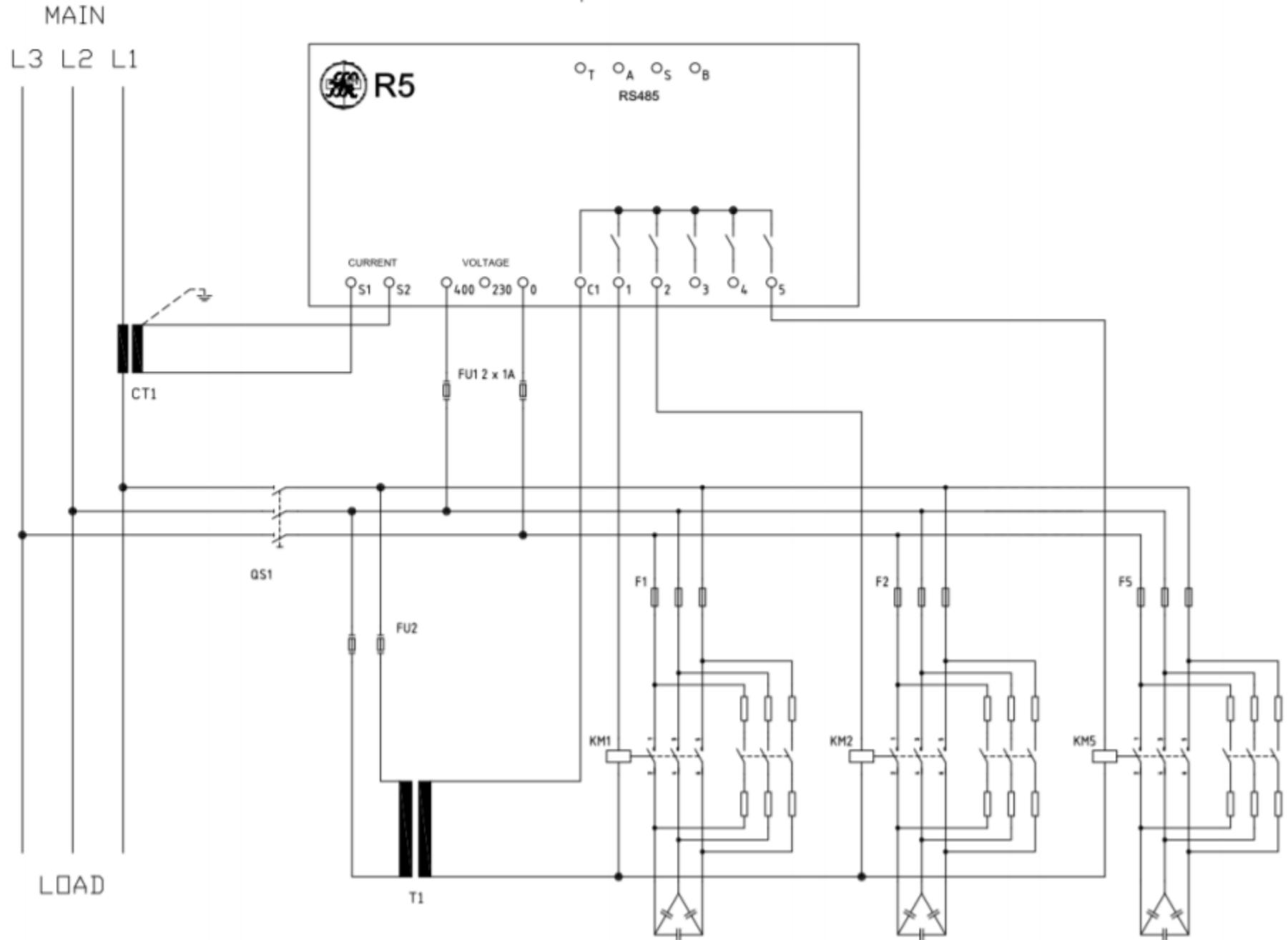


Figura 4: Computer Max 6.

R5 Standard three-phase 400V FF1 installation



**Controlador
marca 3
(en este caso
en una red
trifásica sin
neutro)**

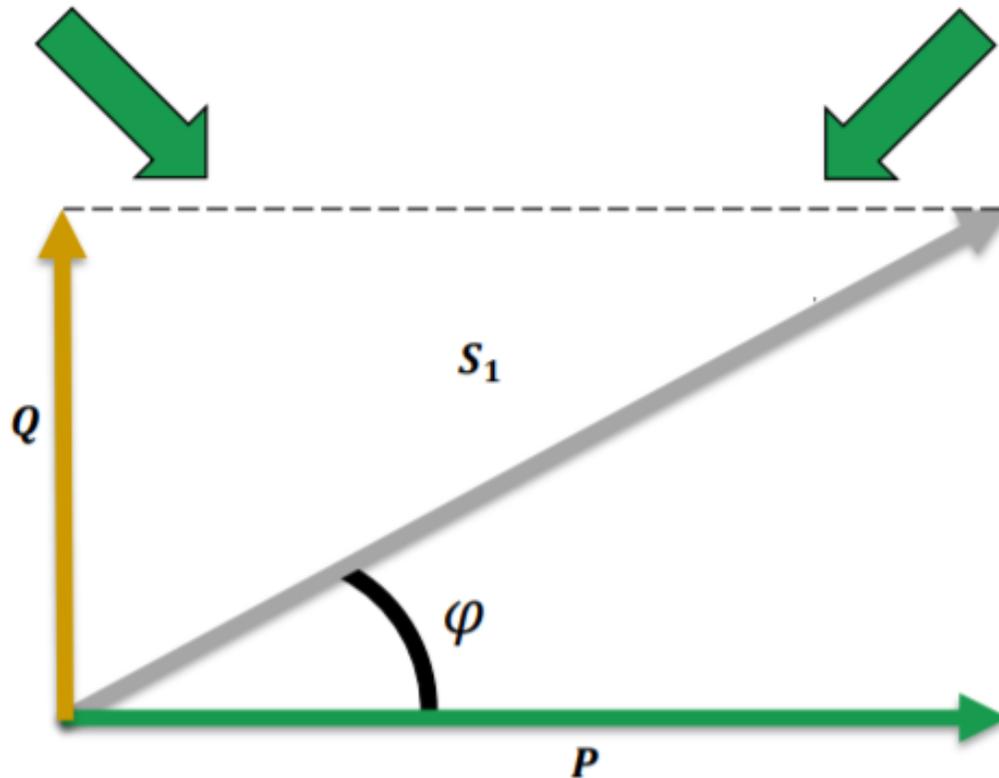
**Controlador
marca 4**



$$FP = \frac{P_{(W)}}{S_{(SA)}}$$

==

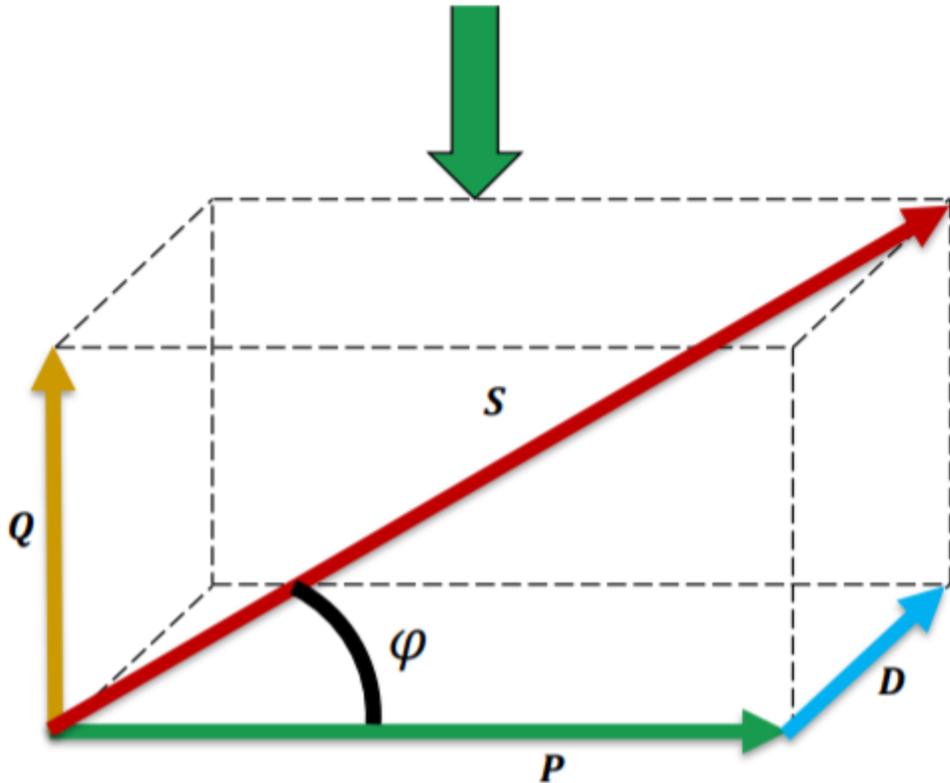
$$\cos \varphi = \frac{P_{(W)1}}{S_{(SA)1}}$$



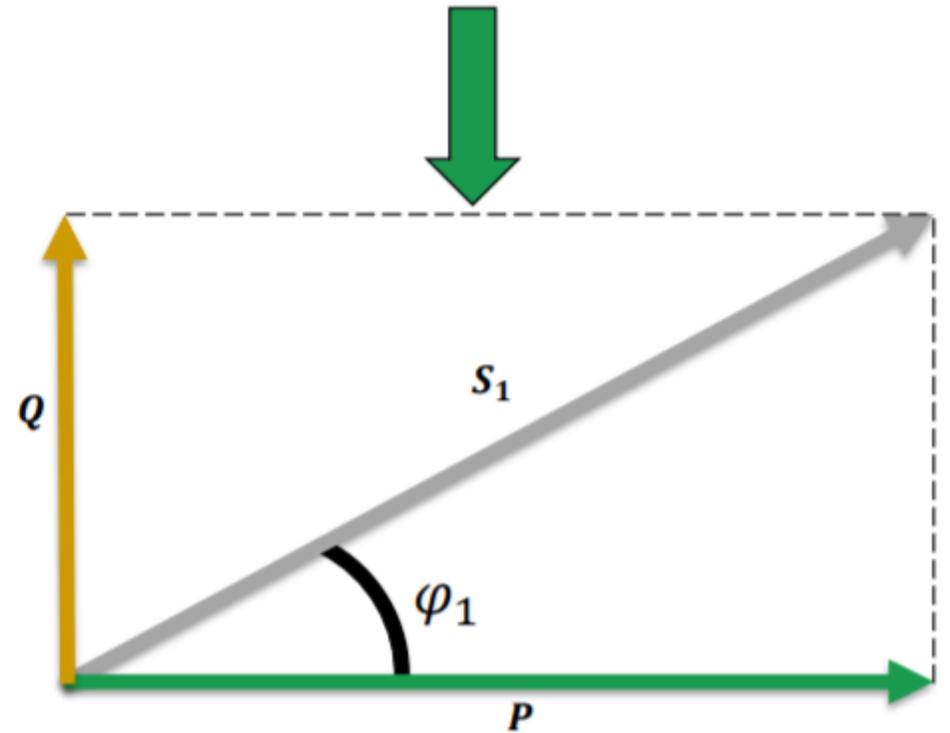
SIN ARMONICOS

CON ARMONICOS

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2 + D^2}}$$



$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}}$$

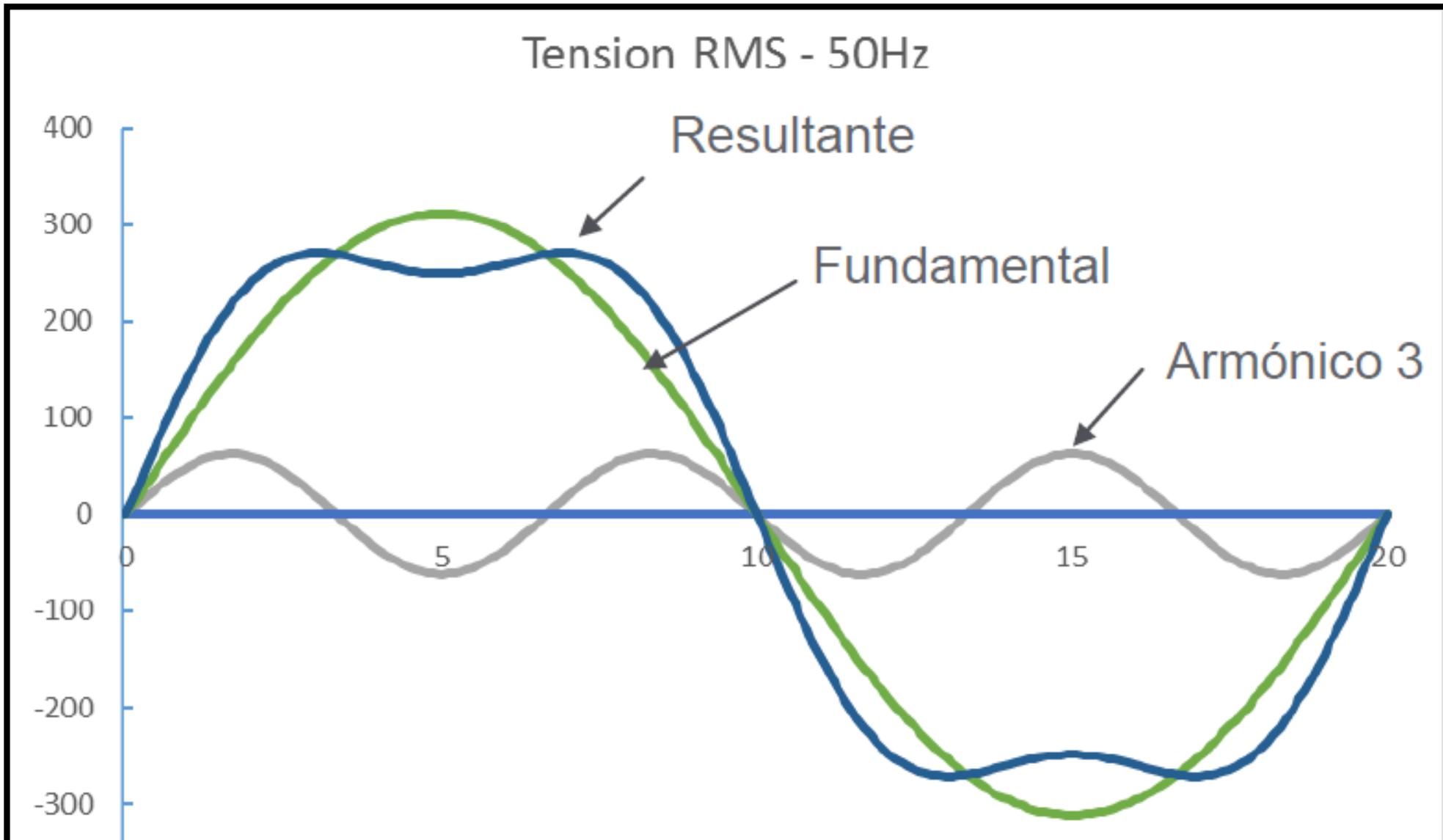


¿Qué son los armónicos?

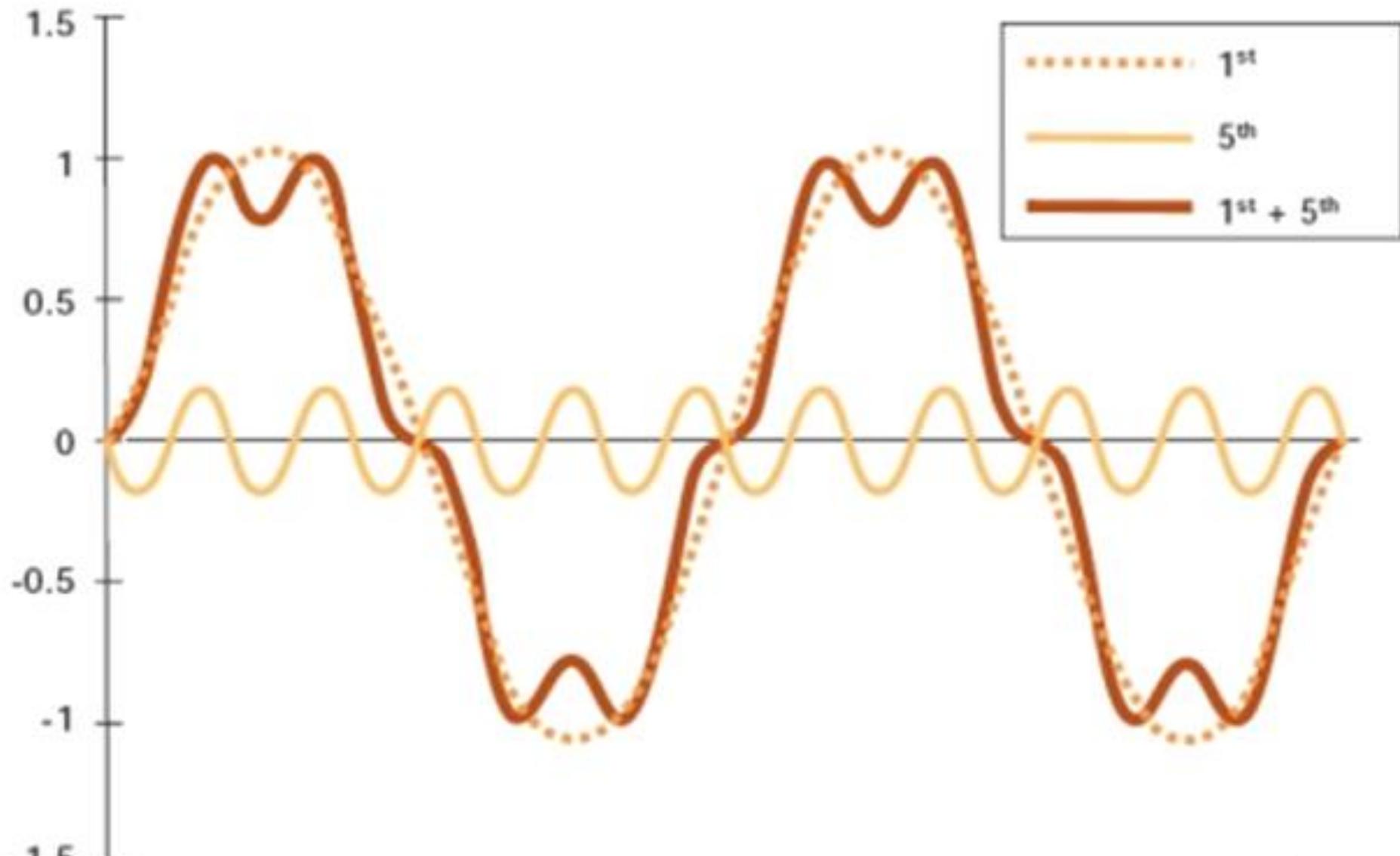
Son señales senoidales que poseen una frecuencia que es múltiplo entero de la señal fundamental (en el caso de Argentina la fundamental es 50hz. Por lo tanto los armónicos tienen una frecuencia n veces 50, siendo n un n° natural)

Los armónicos se suman a la fundamental, y como resultado la onda total no es una senoidal pura sino deformada.

Con “señal” nos estamos refiriendo tanto a tensión como a intensidad. Es decir, existen armónicos tanto de voltaje como de corriente.



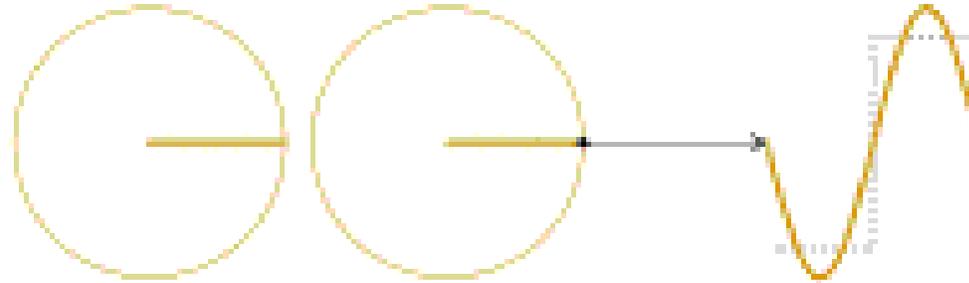
En este ejemplo la señal de tensión resultante es la suma de la fundamental (50hz) y la 3er armónica (150Hz).



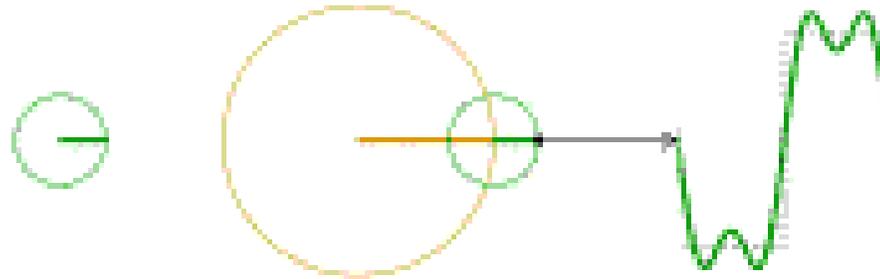
En este ejemplo la señal de corriente resultante es la suma de la fundamental (50hz) y la 5ta armónica (250Hz).

Representación de la fundamental y de cómo se va deformando a medida que se suman la 3ra, 5ta y 7ma armónica.

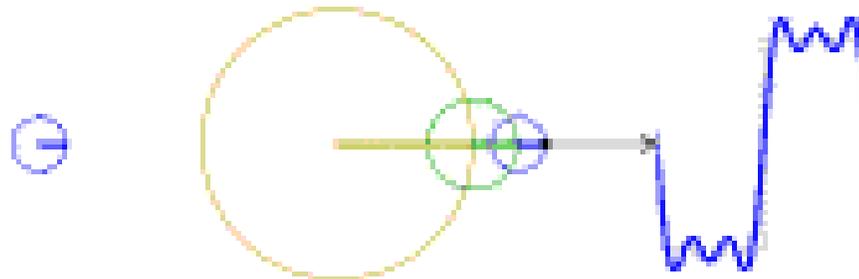
$$\frac{4 \sin \theta}{\pi}$$



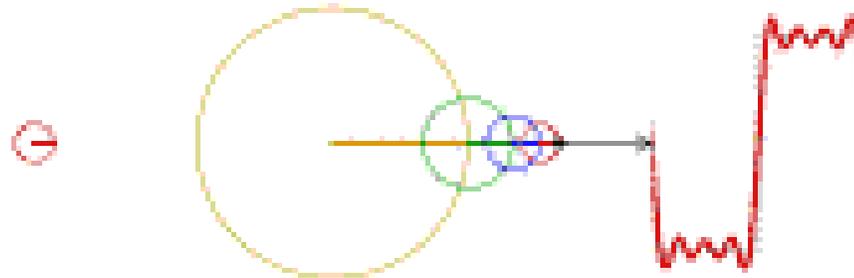
$$\frac{4 \sin 3\theta}{3\pi}$$



$$\frac{4 \sin 5\theta}{5\pi}$$



$$\frac{4 \sin 7\theta}{7\pi}$$

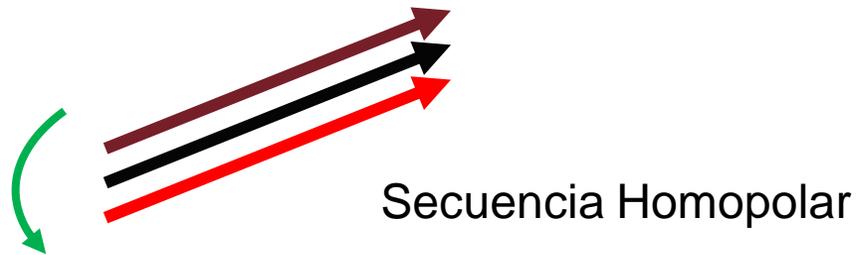
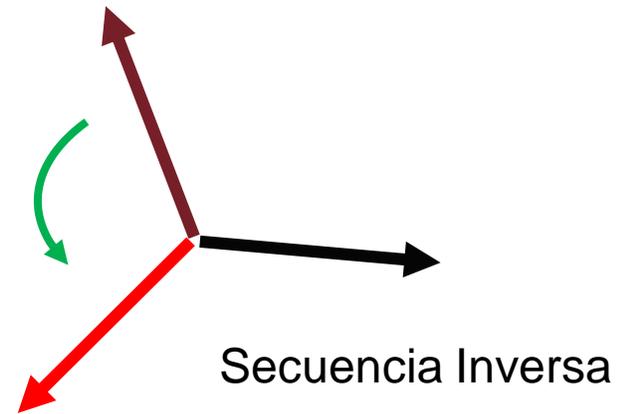
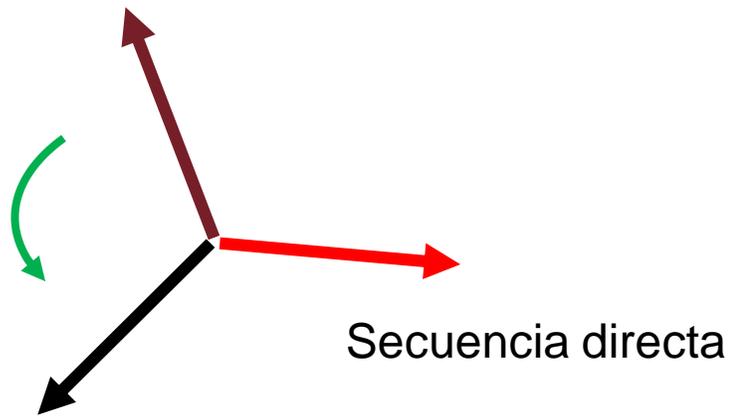


El orden del armónico es el número de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que la de la componente fundamental. Los armónicos impares son los que se encuentran en las instalaciones eléctricas en general. Los armónicos de orden par sólo existen cuando en la señal hay una componente de continua.

La secuencia del armónico puede ser positiva (o directa), negativa (o inversa) o neutra (llamada también homopolar).

Orden del armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0

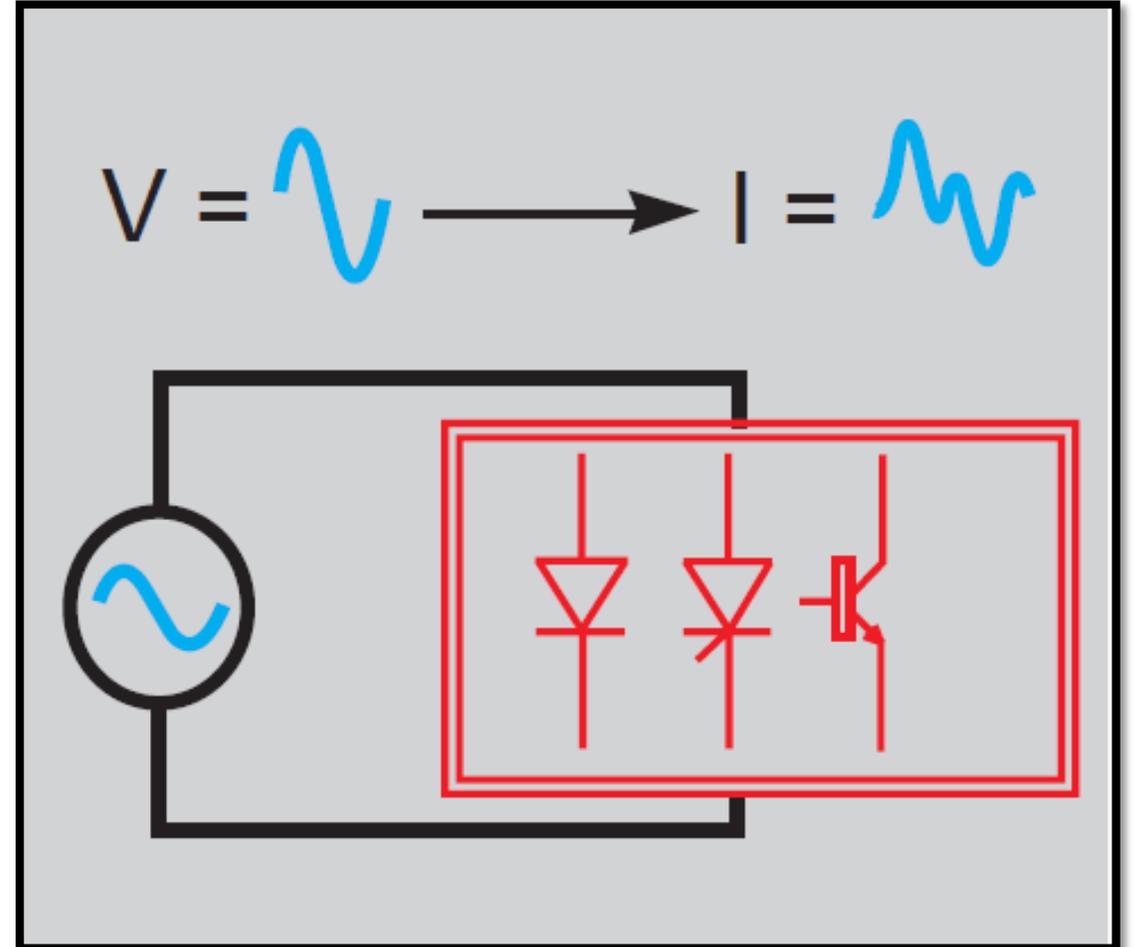
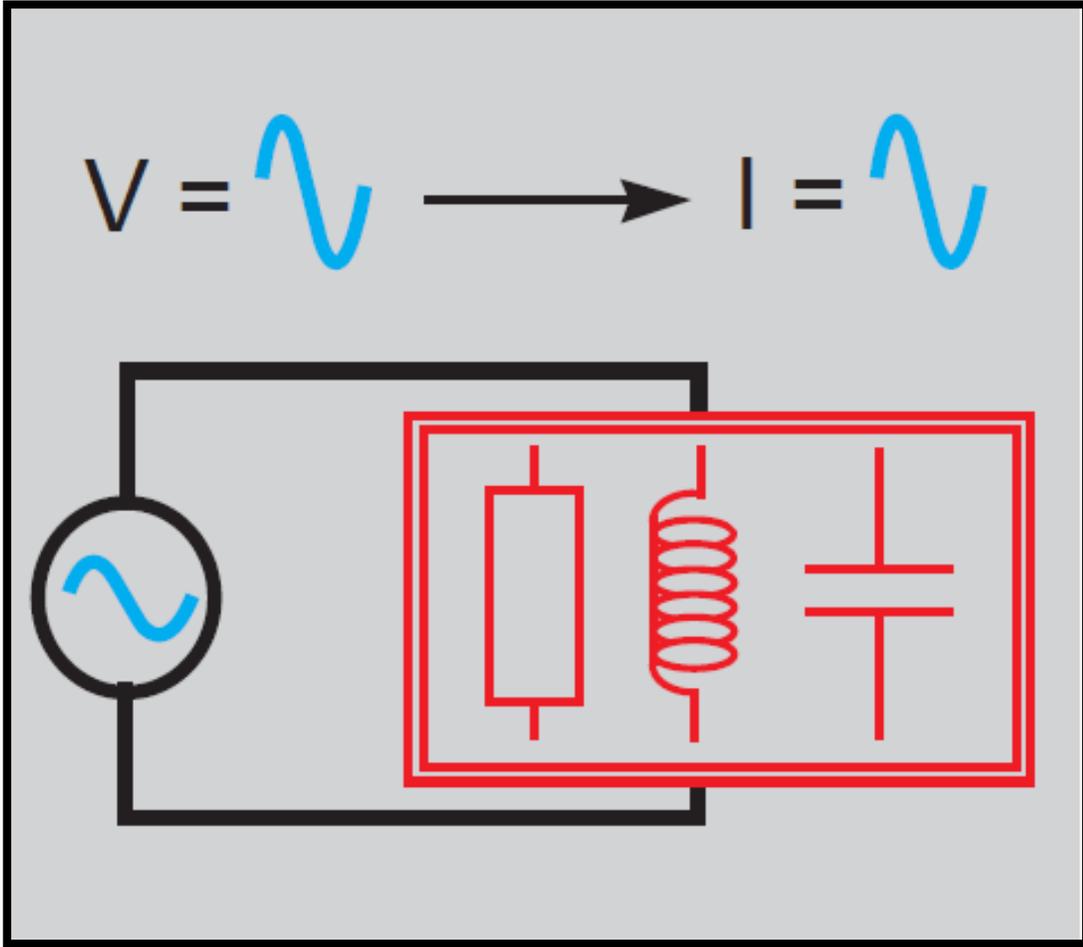
Secuencia Directa	Secuencia Inversa	Homopolares
Fundamental	2º Armónica	3º Armónica
4º Armónica	5º Armónica	6º Armónica
7º Armónica	8º Armónica	9º Armónica
10º Armónica	11º Armónica	12º Armónica
$3n+1$	$3n+2$	$3n+3$

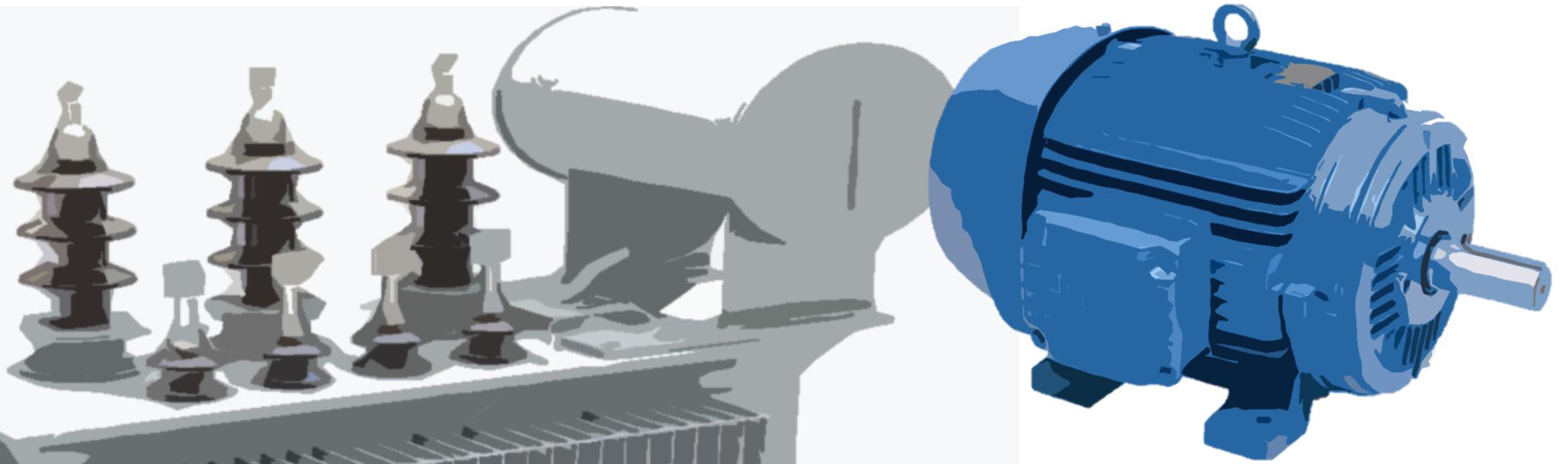


¿Quién produce los armónicos?

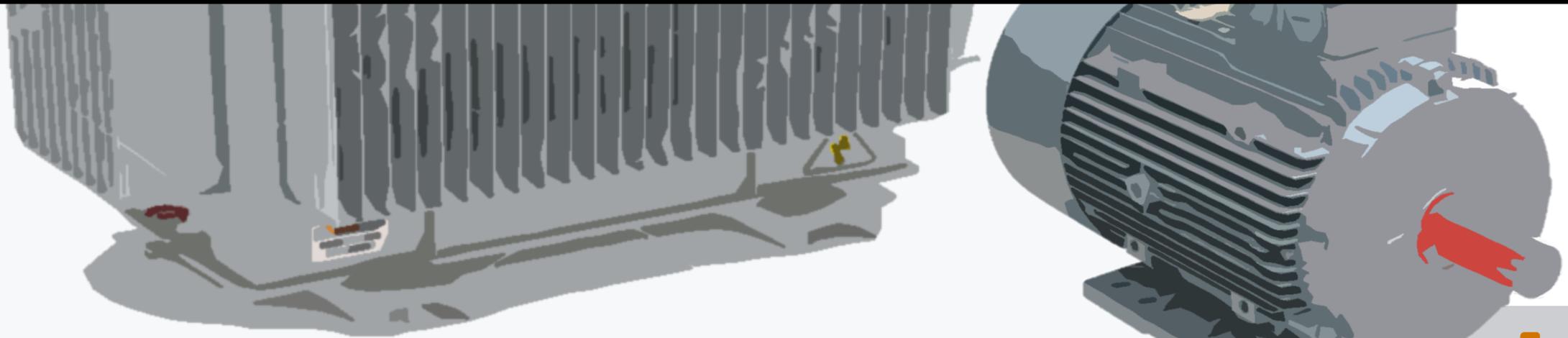
Es más fácil decir quien NO produce armónicos. Los únicos elementos que no producen armónicos son las bobinas, resistencias y capacitores. Todos los demás elementos (diodos, transistores, tiristores, triacs, etc.) generan armónicos.







¿Cómo afectan a los motores y a los transformadores?



Transformadores:

Calentamiento de los bobinados por efecto pelicular o skin : En frecuencias altas los electrones tienden a circular por la zona más externa del conductor, en forma de corona, en vez de hacerlo por toda su sección, con lo que, de hecho, disminuye la sección efectiva por la que circulan estos electrones aumentando la resistencia del conductor. Este efecto es apreciable en conductores de grandes secciones, especialmente si son macizos. Aumenta con la frecuencia, en aquellos conductores que están arrollados en un núcleo ferromagnético.

Calentamiento del núcleo de hierro: Existen dos tipos de pérdidas por calentamiento en el núcleo ferromagnético de los transformadores. Ambos dependen de la frecuencia, por lo que el problema se agrava si hay armónicos.

*Pérdidas por histéresis, que son proporcionales a la frecuencia.

*Pérdidas por corrientes de Foucault(también llamadas turbillonarias o eddy) , que son proporcionales al cuadrado de la frecuencia.

Motores:

Los armónicos de secuencia positiva o directa tienden a hacer girar al motor en el mismo sentido que la componente fundamental. Como consecuencia producen una sobrecorriente en el motor, el cuál se calienta. Esto reduce su vida útil, aumenta el consumo y pone en riesgo el bobinado.

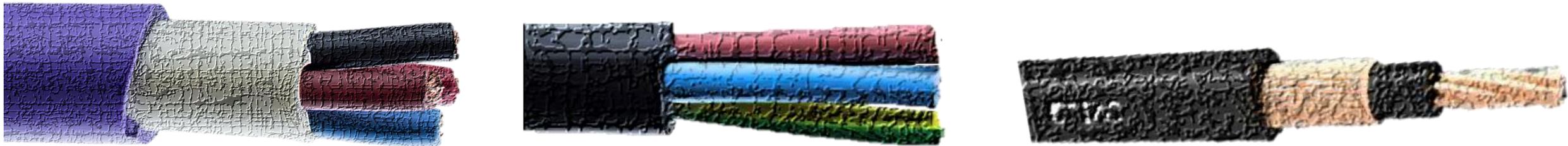
Los armónicos de secuencia negativa o inversa tienden a hacer girar al motor en el sentido contrario que la componente fundamental. Por lo tanto frenan al motor y producen calentamientos, con las consecuencias antes mencionadas.

Los armónicos de secuencia cero u homopolar no tienen efecto en el giro del motor.



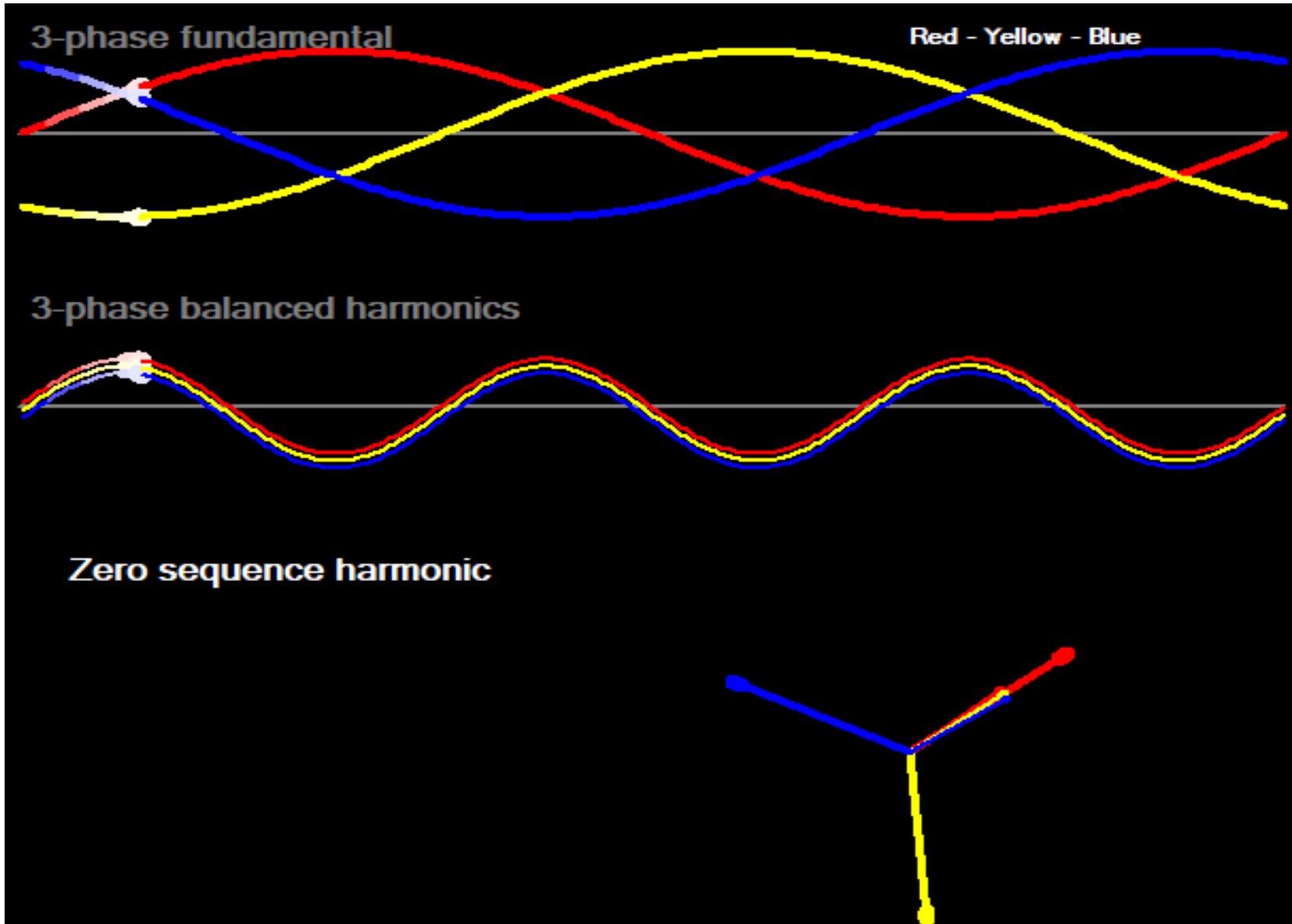


¿Cómo afectan a los cables y conductores?



En un sistema trifásico con neutro, los armónicos de secuencia cero u homopolar de las tres líneas se suman en el neutro. Esto produce que la corriente en el neutro pueda ser igual e incluso mayor que en las fases (por más que las cargas estén equilibradas).

El armónico de secuencia homopolar con mayor efecto es el de orden tres, los restantes armónicos homopolares tienen una magnitud pequeña en comparación.



La AEA proporciona una tabla que nos indica cómo debemos sobredimensionar los conductores según el contenido de 3er armónico.

Tabla 771.16.XIII - Factor de corrección (por reducción de la intensidad de corriente admisible) en los conductores de línea y neutro

Contenido de tercera armónica en la corriente de línea (%)	Factor de reducción	
	Selección basada en la corriente de línea	Selección basada en la corriente de neutro
$(\%) \leq 15$	1,00	-
$15 < (\%) \leq 33$	0,86	-
$33 < (\%) \leq 45$	-	0,86
$(\%) > 45$	-	1,00

AEA

Aclaración: el hecho de que la selección pueda basarse en la corriente de línea o en la de neutro no debe confundirnos. Una vez hechos los cálculos de corriente, elegimos la sección correspondiente y la sección de los conductores de línea y del conductor de neutro serán iguales.

De no contarse con datos aportados por los fabricantes de los equipos podrán utilizarse a título de orientación los valores de la Tabla 771-H.XIII siguiente:

Tabla 771-H.XIII – Datos orientativos de contenido armónico en equipos eléctricos

Aparato conectado	% de 3ª armónica	% de 5ª armónica	% de 7ª armónica	% de 9ª armónica
Balasto pasivo	20	---	---	---
Balasto activo	50	11	---	8
Variador de velocidad (monofásico)	20	40	15	---
Variador de velocidad (trifásico)	---	40	15	---
Equipo informático	85	65	40	20
UPS	5	---	---	---

AEA



¿Cómo afectan a los capacitores?

Los capacitores no generan armónicos, pero los amplifican.

Los bancos de corrección de FP se transforman en un “embudo” para los armónicos, lo que puede producir explosiones en los capacitores.

¡Muchas Gracias!



David Exequiel Palavecino

Link al canal de YouTube https://www.youtube.com/channel/UCLWagee-ntRCsJ-2A5wIXHg?view_as=subscriber



<https://davidpalavecino capacitaciones.tiendup.com>

Link a la plataforma de cursos <https://davidpalavecino capacitaciones.tiendup.com/>

