



Powering the

DIGITAL

Economy

Eficiencia Energética

Ing. Damian Lopez Gentile

20 años para alcanzar la **eficiencia**

x1.5
Energy
Consumption

÷2
CO² Emissions

3x
Efficiency

Generación digital - Millennials



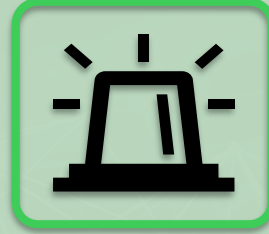
Ecológica



Personalista



Conectada



Demandante

La distribución eléctrica esta pasando por un cambio de paradigma...

Siempre
disponible



La nueva economía digital
requiere energía siempre
disponible

Digital



La generación digital será
el 75% de la fuerza laboral
para 2025

+

10x

Más dispositivos que
personas conectados a
internet para 2025

Descentralizada



70%

De la capacidad de generación de
energía instalada será renovable
para 2040



Nuestro mundo será...



Nuestro mundo deberá ser...

**Más
ELECTRICO**

2X

Mayor crecimiento de la demanda de electricidad en comparación con la demanda esperada para 2040

Fuente: IEA WEO 2014

**Más
DIGITAL**

10X

más dispositivos conectados que personas para 2040

Fuente: United Nations, IHS

**Más
DESCARBONIZADO**

82%

potencial de eficiencia energética en edificios (y más de 58% en la industria)

Fuente: World Energy Outlook 2012

**Más
DESCENTRALIZADO**

70%

de nuevas fuentes adicionales de energía serán renovables para 2040

Fuente: BNEF

Dispositivos con IoT

20 MMillones

Dispositivos conectados en 2017



30 MMillones

Dispositivos conectados en 2020



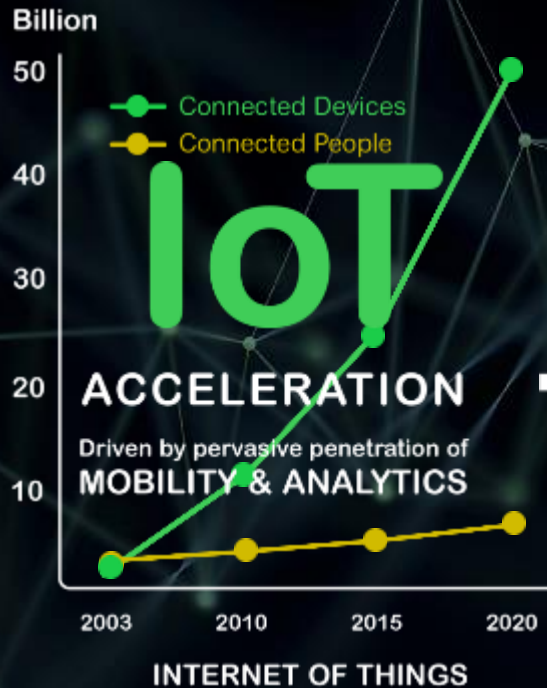
75 MMillones

Dispositivos conectados en 2025

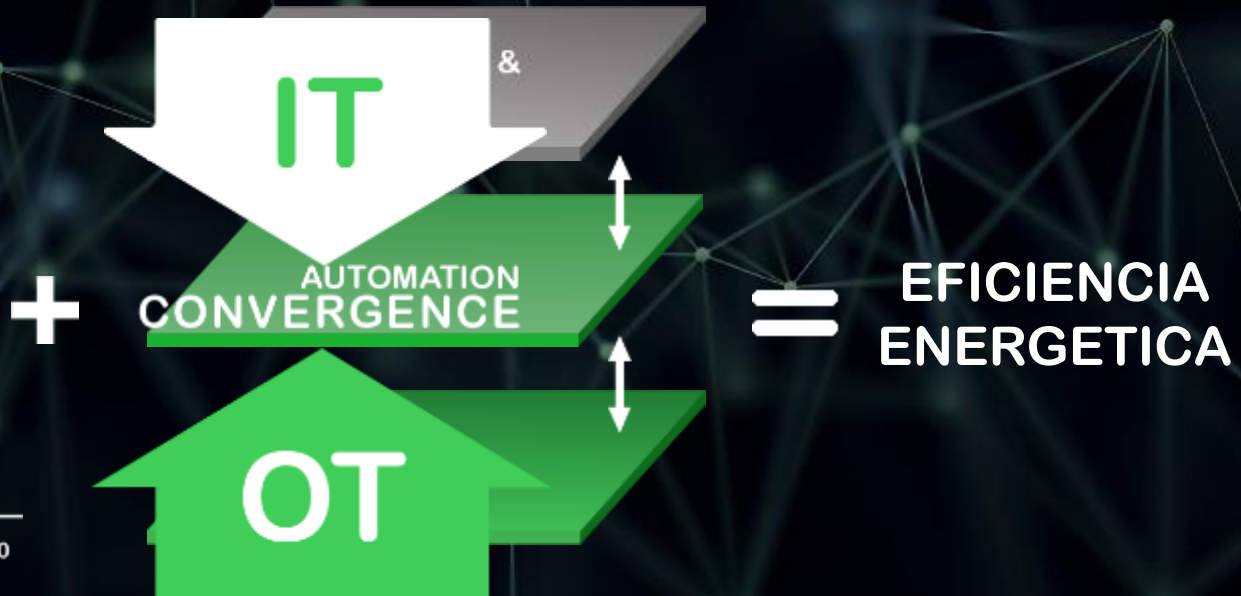


(Gartner; United Nations)

Las mejoras provendrán de la convergencia IT / OT



Source: Cisco



Un cambio transformacional está sucediendo... Ahora

Los servicios tienen un nuevo ADN

Cambios en otras industrias



- La compañía de taxis más grande del mundo **no posee vehículos**



- El propietario de medios más popular del mundo **no crea contenido**



- El minorista más valioso del mundo **no tiene inventario**



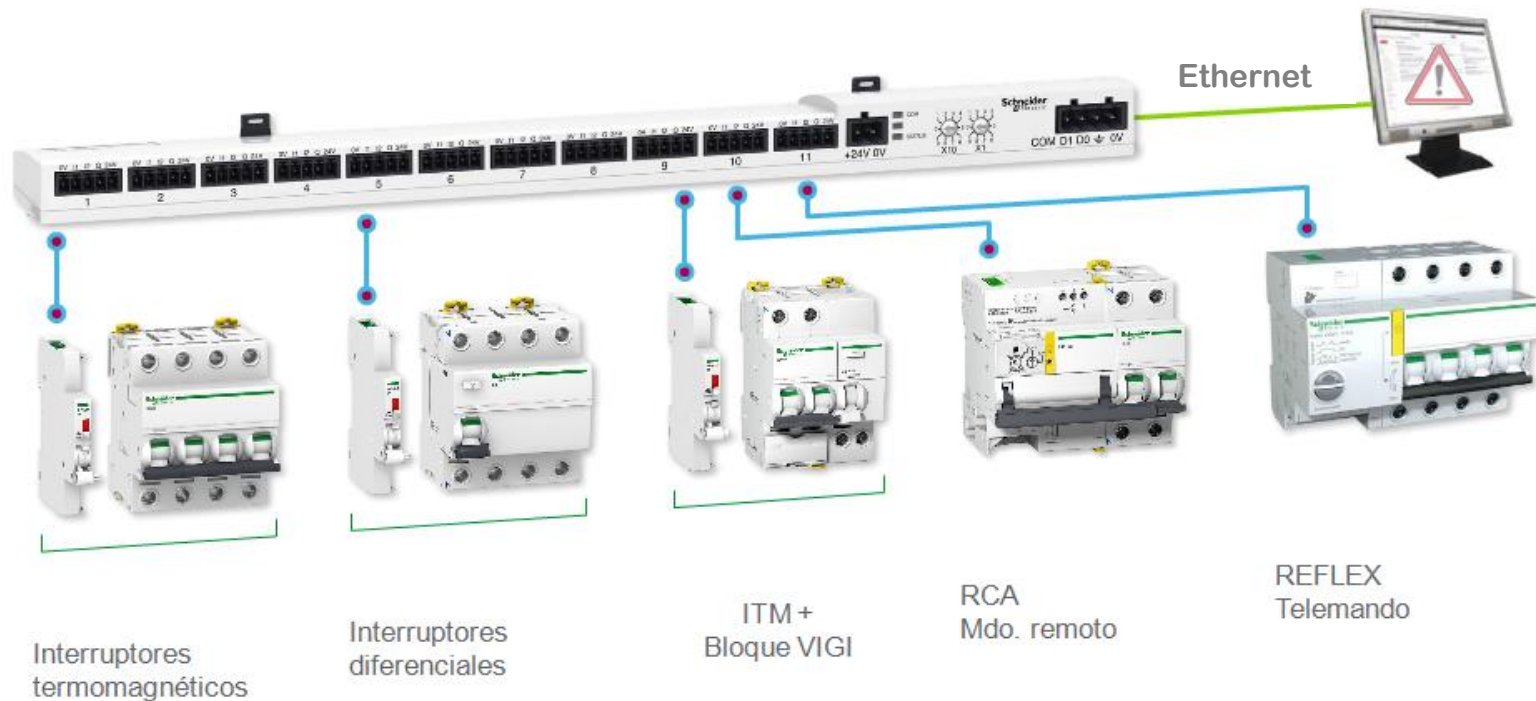
- El proveedor de alojamiento más ágil del mundo **no posee ninguna propiedad**

Cambios en la industria eléctrica

- El mundo esta cambiando de proveedor de servicios a proveedor de análisis.
- El mantenimiento está evolucionando de reactivo a preventivo y a predictivo; De preventivo planificado a enfoques basados en condiciones.
- Las soluciones basadas en la nube son cada vez más convencionales y son ampliamente utilizadas.
- Nuestra cambiante fuerza de trabajo demográfica se está adaptando a diferentes niveles de habilidad (por ejemplo, nativos informáticos)
- Las instalaciones están cambiando de localizada a globalizada; por lo tanto, nuestro enfoque incorpora sucursales y instalaciones remotas para analistas de datos

Auxiliares y mandos remotos

Monitoreo de protecciones y conmutación



Medición en circuitos terminales

Adaptadores inalámbricos ZigBee



Monitoreá tu Energía



Tiempo Real U, I, P, PF



Energía Activa (**Clase 1**) Parcial y total

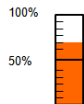
Load by phase



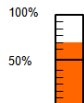
Balance de Cargas (web pages)



Mejorá el mantenimiento



Pre-Alerta de **sobrecarga** (50%, 80%) (e-mail)



Alarma específica en U, I, P... (e-mail)

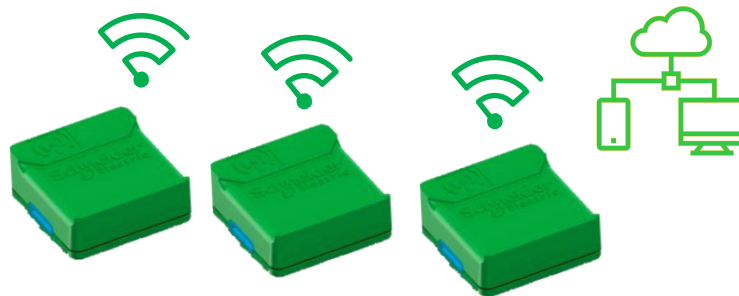


Alarma de **pérdida de tensión**



Monitoreo temperatura

Monitoreo de celdas de MT



Cloud Services



EPMS

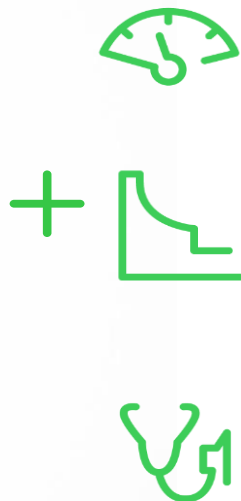


SMS Alerts



Interruptores principales

Interruptores abiertos en aire

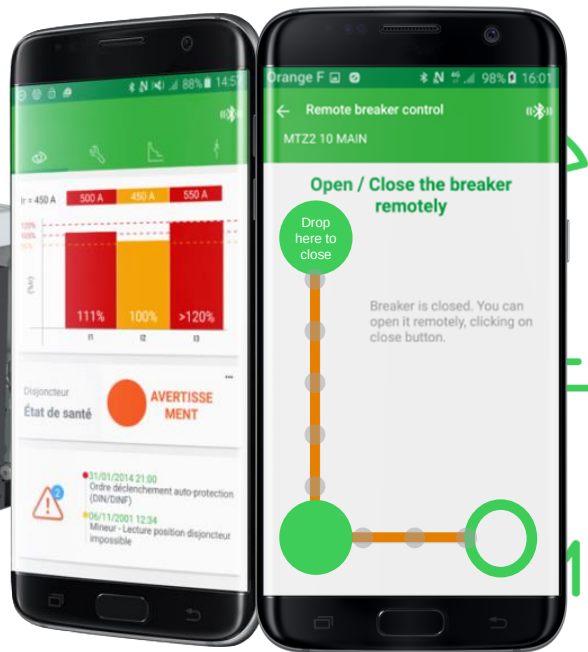


+ Funciones avanzadas

- Medición clase 1
- Protección configurable con registro
- Diagnóstico & mantenimiento predictivo

Interrupidores principales

Interrupidores abiertos en aire



+ Funciones avanzadas

- Medición clase 1
- Protección configurable con registro
- Diagnóstico & mantenimiento predictivo
 - Análisis post-evento
 - Rutina de chequeo
 - Actuación remota

Interrupidores de distribución

Interrupidores compactos



+ Funciones & comunicación

- Medición
- Protección
- Mantenimiento preventivo
 - Algoritmos de uso

Sistemas Ininterrumpidos de Potencia

UPS



+ Funciones & comunicación

- Medición
- Protección
- Mantenimiento preventivo
 - FP 1
 - Batería de Litio-Ion
 - Protección de la carga
 - Sistema de detección de estado

Multimedidores

- Revelar y comprender condiciones complejas de calidad de energía
- IEC61000-4-30 cumplimiento de la clase S
- Captura de forma de onda, sag-swell y detección de la dirección de las fallas
- IEC62053-22/24 clase 0.2 S activo, clase 1S (WAGES)
- Ethernet Dual, RS485, entrada, Modbus, DNP3 y IEC61850
- Integración con software de energía
- Opciones de IO modulares y múltiples factores de forma



Incrementando el valor de los Smart Panels



Medición +

3x más info / más precisa

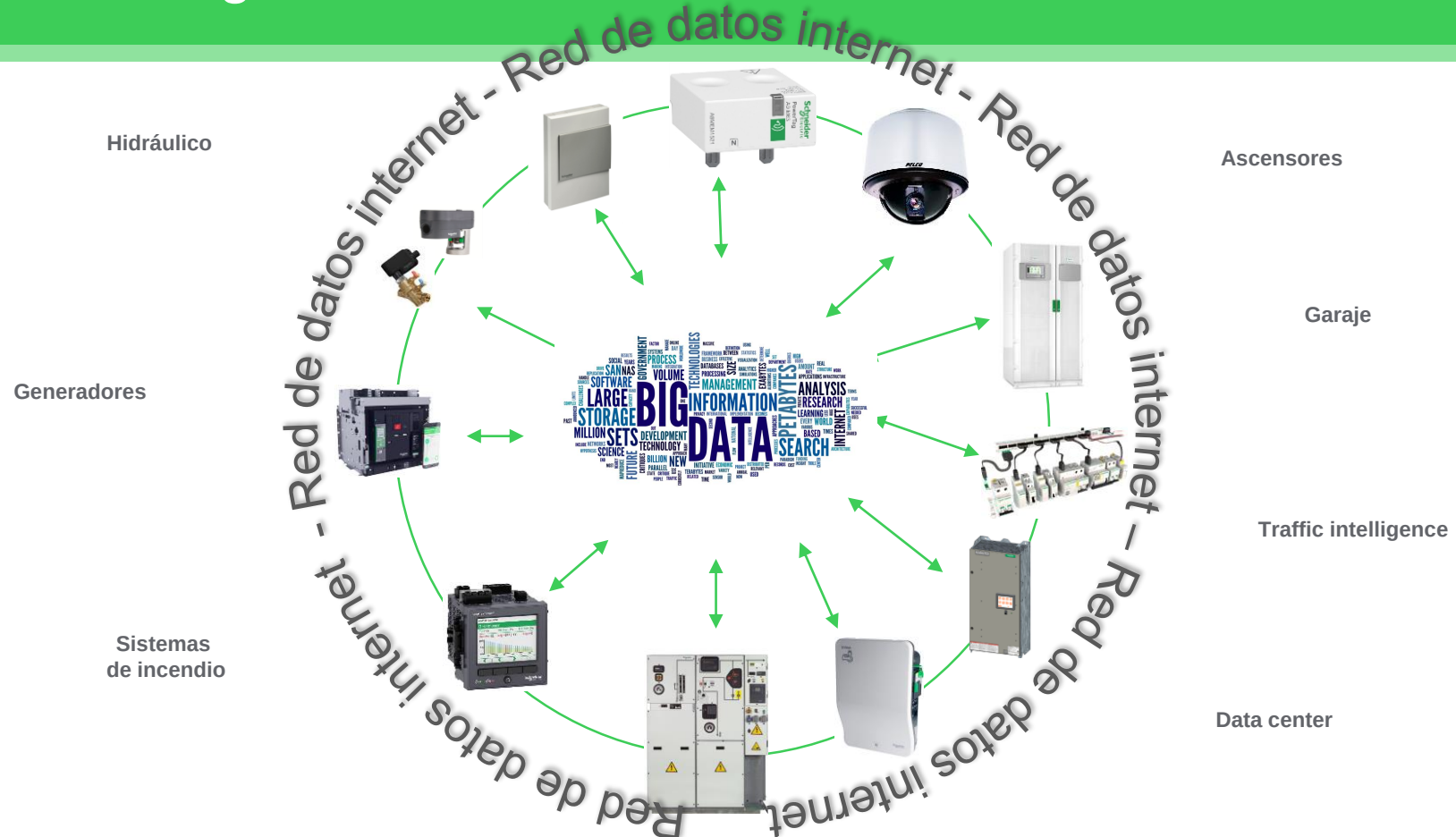
Conectividad +

Conexión directa a Ethernet

Integrable +

Protocolo abierto a software de energía

IoT – Integración de sistemas



Big Data



EcoStruxure



Realidad Aumentada

Reconocimiento de alarmas



Dashboard

Green KPIs

This Year ▼



1/1/2019 - 5/29/2019



140,874 tons

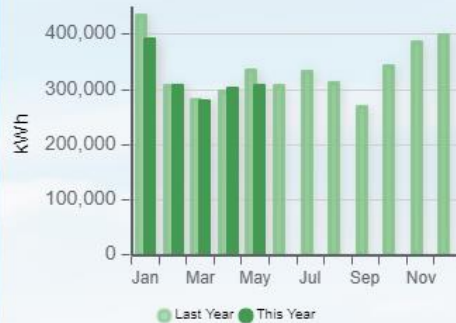
Equivalent metric tons of CO₂
Emissions

Ener...

This Year over Last Year ▼



1/1/2018 - 5/29/2019 (Pacific Time)

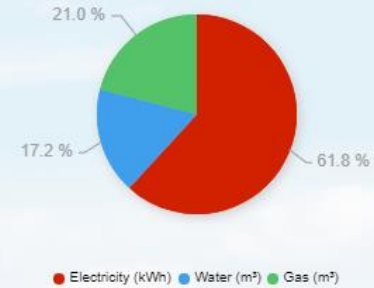


Energy C...

Last 30 Days ▼



4/30/2019 - 5/29/2019 (Central Time)



Weather



Elev 19 m 48.65 °N, 123.43 °W | Updated 16 min ago



Overcast

23 °C

Feels Like 23 °C



Wind from West

Tomorrow is forecast to be **WARMER** than today.

Today

High 26 | Low 6 °C
30% Chance of Precip.

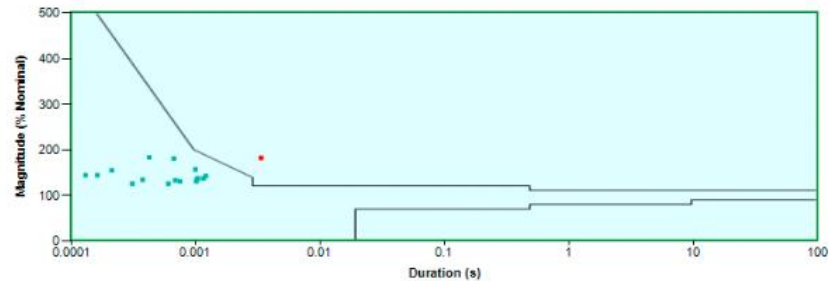
Yesterday

High 25 | Low 7 °C
Precip. 0 mm

Recent Power Quality Events



Disturbances[1996 CBEMA - ITIC]



Saved Trees

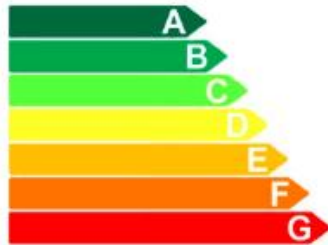
1/1/2019 - 5/29/2019



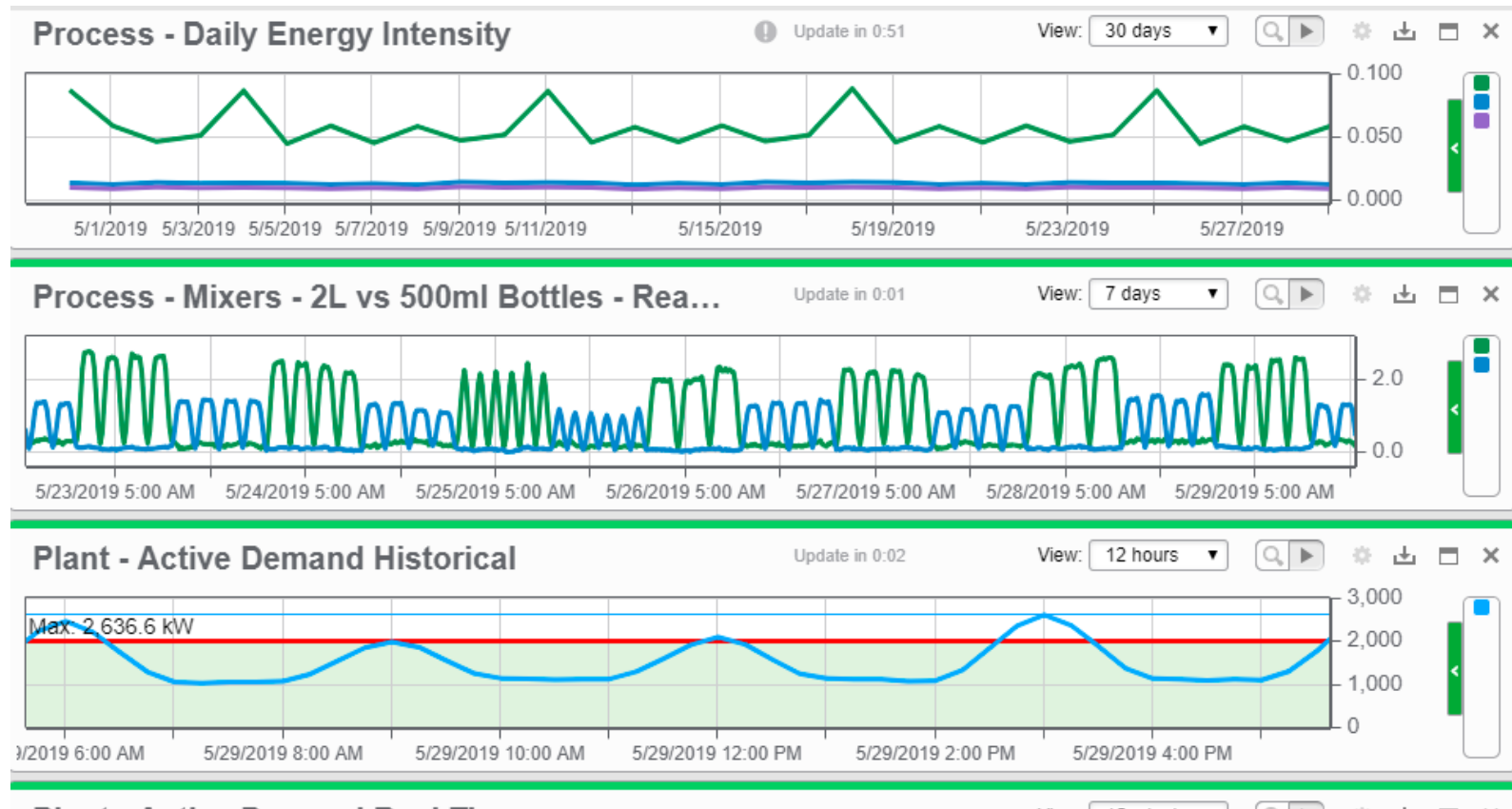
41,159

tree seedlings grown for 10 years

Building Energy Rati...



Diagramas de tendencias históricas



Event logger (Alarmas)

Alarm Status – All Alarms

Update in 14:52

Search Alarm Display

State	Name	Type	Source	Last Occurrence
3 days 23 hr ago	Sag (Voltage)	Sag (Voltage)	Utility.Main	5/25/2023 14:52
8 days 22 hr ago	Switchgear Monitoring – Global Status Pre-Alarm	Thermal Monitor	MV.SMD	5/20/2023 14:52
8 days 22 hr ago	Switchgear Monitoring – Transformer 01 Pre-Alarm	Thermal Monitor	MV.SMD	5/20/2023 14:52
8 days 22 hr ago	Thermal Monitoring – LV Temperature Discrepancy Maximum Pre-Alarm	Thermal Monitor	MV.Transformer	5/20/2023 14:52
12 days 23 hr ago	Swell (Voltage)	Swell (Voltage)	LV.Transformer15	5/16/2023 14:52
12 days 23 hr ago	Swell (Voltage)	Swell (Voltage)	LV.Transformer15b	5/16/2023 14:52

1 - 50 of 62 Alarms (Max records: 2000)

Lines/page : 50

< 1 2 >

Render pantalla principal típica



Render pantalla principal típica



Subestacion



Subestacion



Tablero

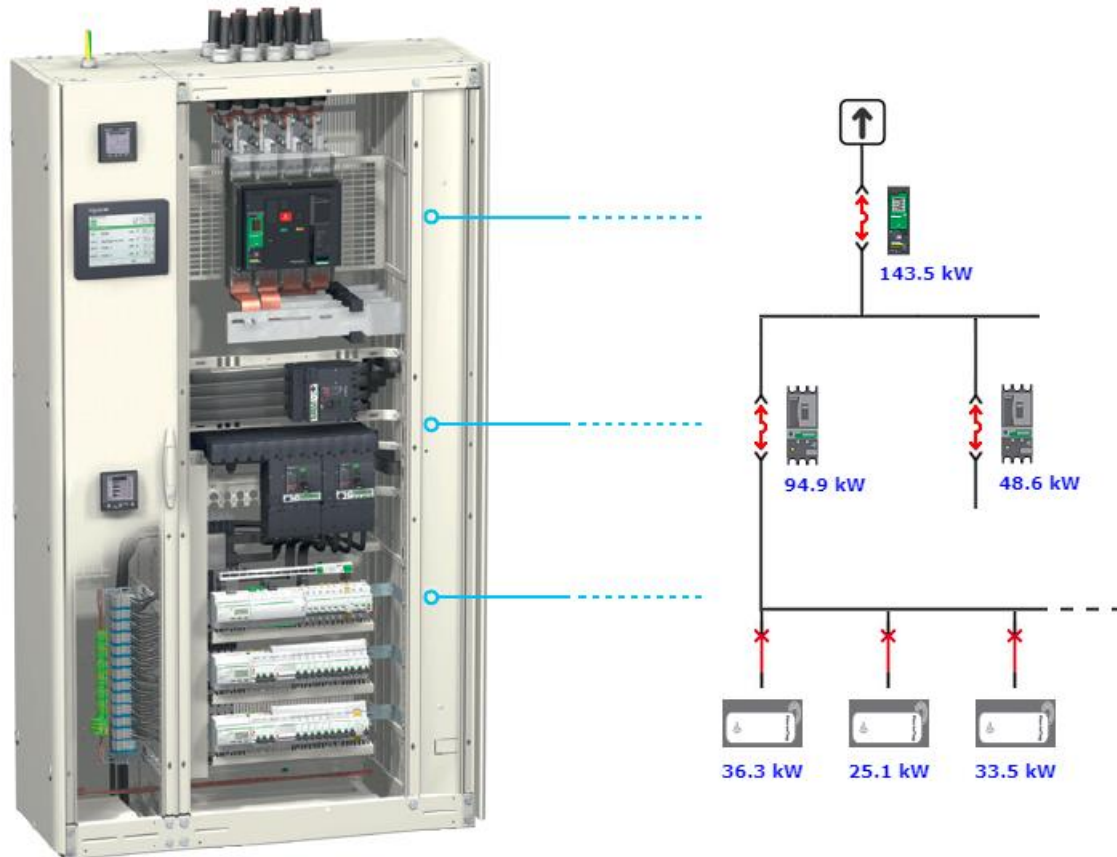


Diagrama de carga

Breaker Capacity

Power Factor

Total Harmonic Distortion

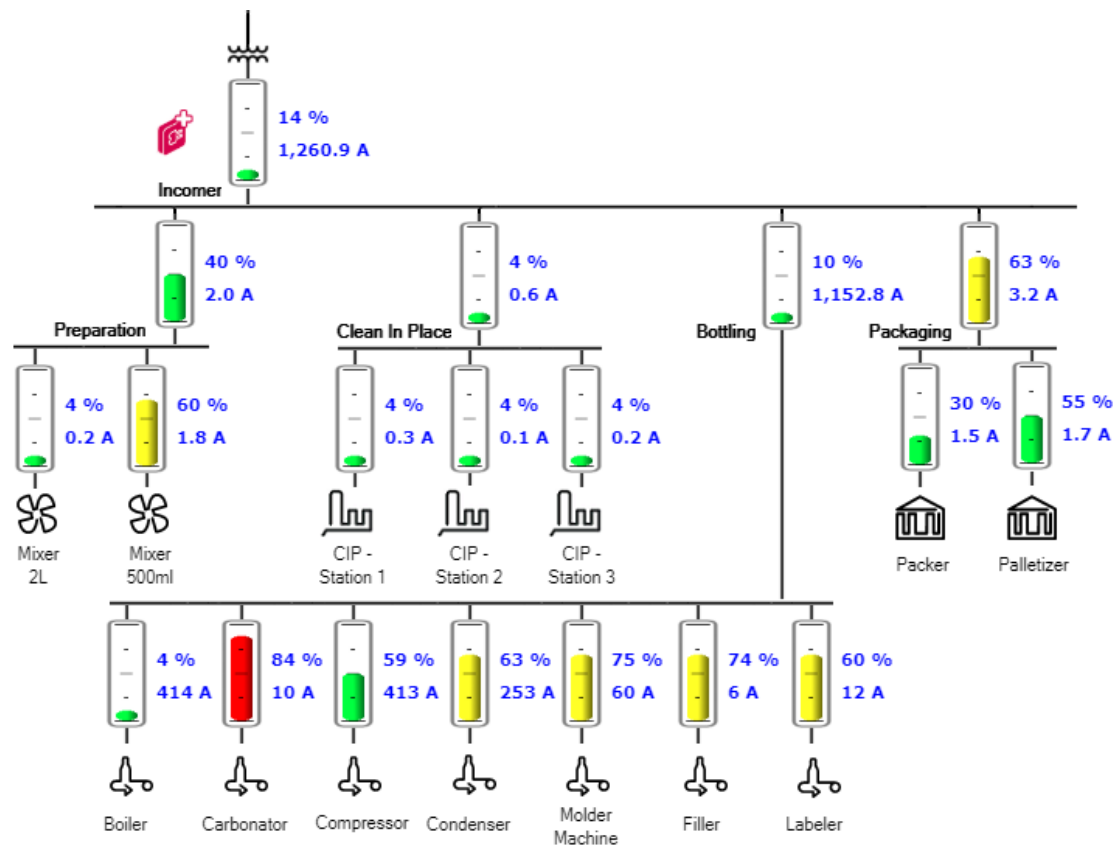
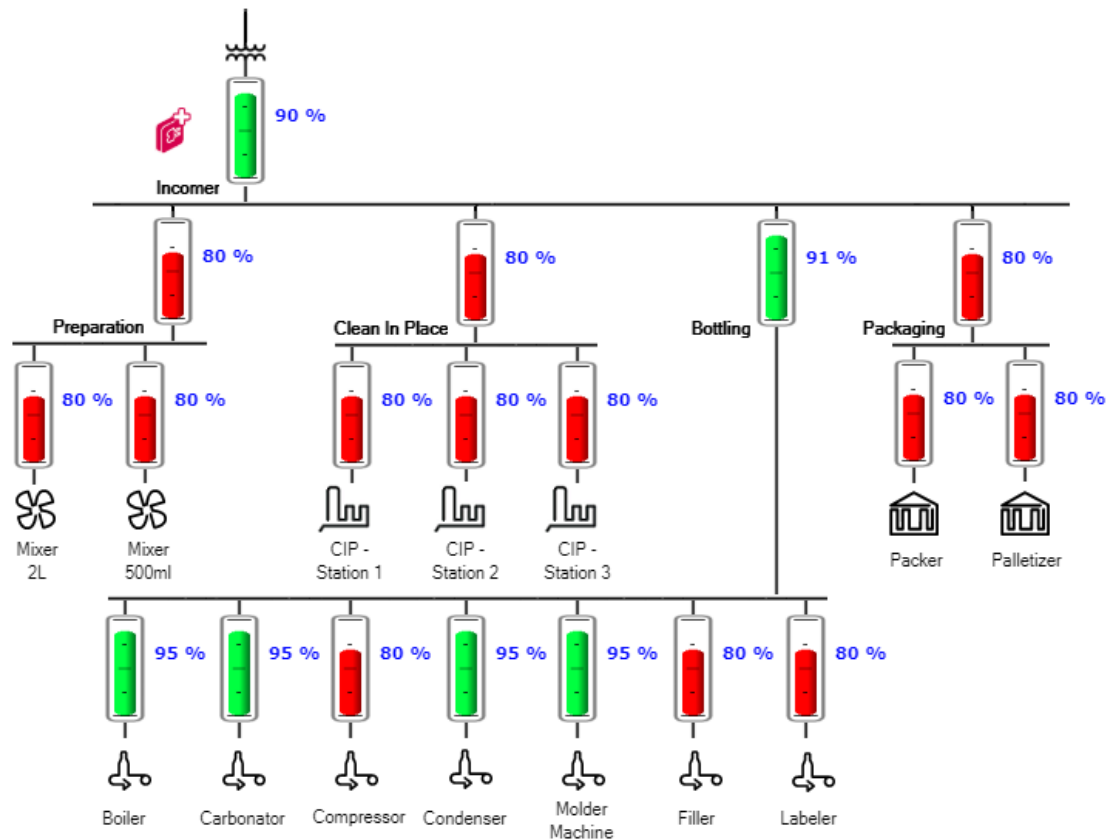


Diagrama de FP

Breaker Capacity

Power Factor

Total Harmonic Distortion



Reportes – Mantenimiento predictive de Interruptores

		Envejecimiento Natural	Envejecimiento Uso	
Switchboard A1	Critical	Breaker A38	32.5	99.0
		Breaker A39	22.4	86.4
		Breaker A40	22.2	64.7
		Breaker A41	65.6	63.6
		Breaker A42	22.4	99.6
		Breaker A43	52.1	76.7
		Breaker A44	82.0	8.9
		Breaker A45	99.6	57.4
		Breaker A46	57.0	6.1
		Breaker A47	56.6	14.7
		Breaker A49	12.2	75.9
		Breaker A50	82.8	80.1
	Moderate	Breaker A1	40.6	44.0
		Breaker A6	44.8	12.8
		Breaker A19	37.6	43.0
		Breaker A20	30.9	47.1
		Breaker A23	31.0	2.6
	Minimal	Breaker A31	28.5	27.2
		Breaker A48	48.8	88.4



Billing Summary Report

Billing Period: 2015-03-01 12:00:00 AM - 2015-04-01 12:00:00 AM (Server Local)

Tenant	Item	Units	Unit Cost	Cost
ABC Soft	Energy Consumption Charge			
Victoria_Keating.main_7650 (24 %)	Victoria_Keating.main_7650 (24 %): 44,929.32 kWh	44,929.32 kWh	\$0.05762	2,588.83
Example Rate - Basic	Peak Demand Charge			
	[ABC Soft Peak @ 2015-03-01 2:00 PM] Victoria_Keating.main_7650 (24 %): 81.17 kW	81.17 kW	\$6.89	559.29
	Processing Fee			20.00
			Total	\$3168.12
ACME Technology	Energy Consumption Charge			
Victoria_Keating.main_7650 (32 %)	Victoria_Keating.main_7650 (32 %): 59,905.76 kWh	59,905.76 kWh	\$0.05762	3,451.77
Example Rate - Basic	Peak Demand Charge			
	[ACME Technology Peak @ 2015-03-01 2:00 PM] Victoria_Keating.main_7650 (32 %): 108.23 kW	108.23 kW	\$6.89	745.72
	Processing Fee			20.00
			Total	\$4217.49

Power Quality Performance



LAST 24 HOURS

LAST 7 DAYS

LAST 30 DAYS

LAST 12 MONTHS

CORRECTIVE EQUIPMENT STATUS



Interruptions

Power Quality Event



Transient Voltage

Power Quality Event



Over Voltage

Power Quality Event



Unbalance

Steady State Disturbance



Frequency Variation

Steady State Disturbance



Voltage Sag

Power Quality Event



Voltage Swell

Power Quality Event



Under Voltage

Power Quality Event



Harmonics

Steady State Disturbance



Flicker

Steady State Disturbance



Capacitor Banks

Corrective Equipment



Active Harmonic Filters

Corrective Equipment



UPS

Corrective Equipment



Power Quality Impact Report

6/1/2015 12:00:00 AM - 5/11/2016 12:00:00 AM (Server Local)

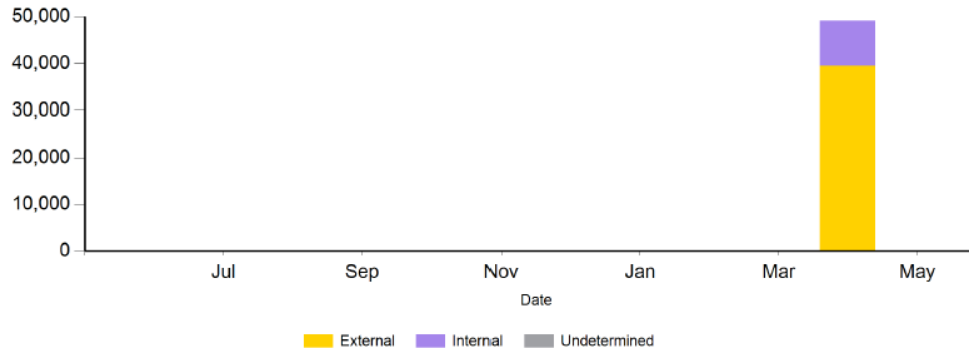
Report Parameters Selected

Event Location	External and Internal	Include Undetermined Events	Yes
Group	Bottling	Downtime Hourly Rate (\$)	10,000

Power Quality Impact Summary

Event Location	Event Count	Downtime Duration	Downtime Estimated Cost (\$)
External	1	03:57:05	39,514
Internal	1	00:57:40	9,611
Undetermined	0	00:00:00	0
Total	2	04:54:45	49,125

Downtime Estimated Cost (\$)



El presente es digital

A hand holding a smartphone is shown in the foreground. Above the phone, several hexagonal icons are floating, representing various digital concepts: a recycling symbol, a cloud, a percentage sign, a magnifying glass, a group of people, a clock, and a dollar sign.

Internet of Things

A person wearing a VR headset is shown in the center. They are wearing a plaid shirt over a white t-shirt. The background is a blurred, colorful scene, possibly a sunset or a virtual environment.

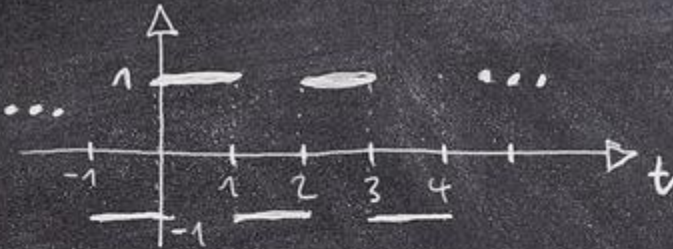
Big data

A person's hands are shown typing on a keyboard in front of a computer monitor. The monitor displays a complex diagram with various components and connections, likely representing a system architecture or a data flow.

Artificial Intelligence



GRACIAS



$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cdot \cos\left(\frac{n\pi t}{L}\right) + b_n \cdot \sin\left(\frac{n\pi t}{L}\right) \right]$$

$$= a_0 + a_1 \cdot \cos\left(\frac{\pi t}{L}\right) + b_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi t}{L}\right) + a_2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{L}\right) + b_2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{L}\right) + \dots$$

Eficiencia Energética y Calidad de energía

Armónicos y sus efectos



$$u=2 \Rightarrow L=1 \quad a_n \approx \frac{1}{n^2}$$

$$a_0 = \frac{1}{2L} \int_{-L}^L f(t) dt = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 f(t) dt$$

$$= \frac{1}{2} \int_{-1}^0 f(t) dt + \frac{1}{2} \int_0^1 f(t) dt$$

$$= \frac{1}{2} \int_{-1}^0 1 dt + \frac{1}{2} \int_0^1 1 dt$$

Ing. Damian E. Lopez Gentile

$$a_n \longrightarrow a(\omega)$$

$$b_n \longrightarrow b(\omega)$$

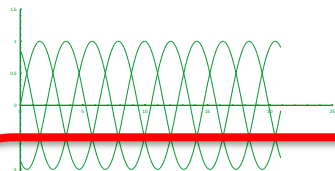
Índice

Armónicas

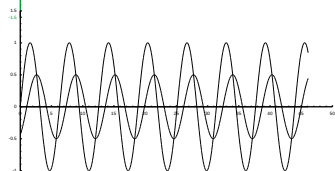
- Efectos en las señales eléctricas
- ¿Que son los armónicos y como se originan?
- Armónicos & Eficiencia
- ¿Que pasa con la tensión?
- Reglamentación & Estándares
- Como mitigar armónicos
- Casos reales

Efectos en las señales eléctricas

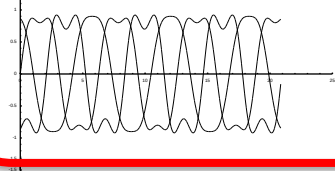
Armónicas



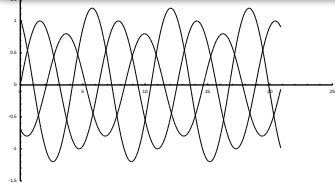
Sistema balanceado



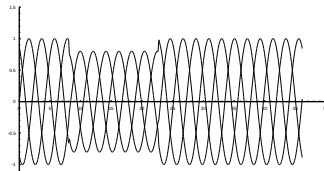
Factor de Potencia



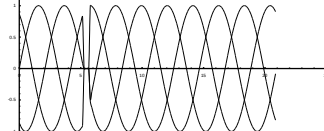
Armónicos



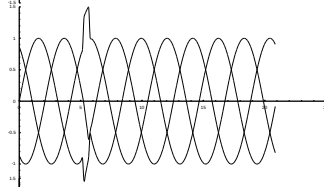
Desbalance de fases



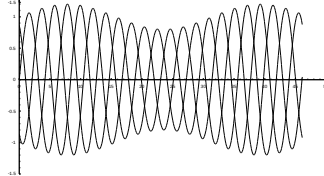
Sags/swells
Bajadas y sobre tensiones



Notches
Discontinuidades



Spikes
Sobretensiones transitorias



Flicker

¿Que son los armónicos?

Fourier

50Hz → Fundamental

100Hz → Armónica 2

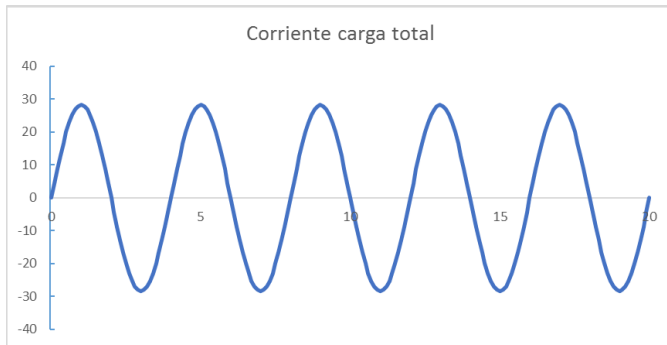
150Hz → Armónica 3

200Hz → Armónica 4

250Hz → Armónica 5



n x 50Hz → Armónica n

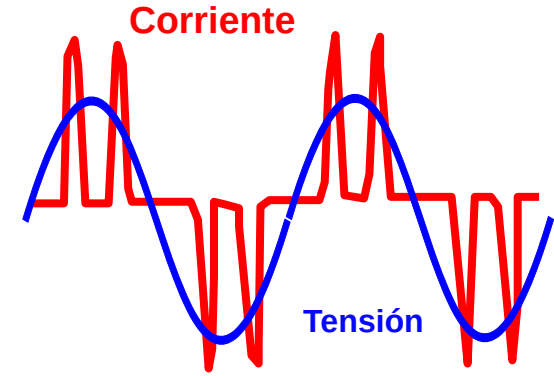
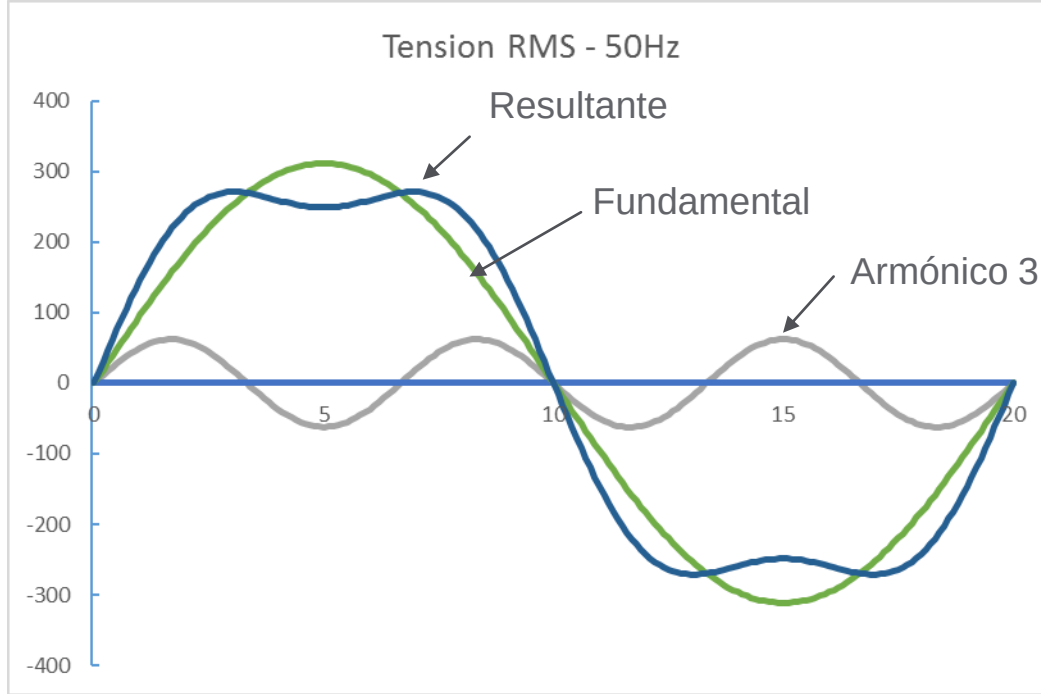


$$i_{real} = i_0 + i_1 + i_2 + i_3 \dots + i_n$$

i_j = valores instantaneos

¿Que son los armónicos?

Fourier



$$v_{resultante} = v_1 + v_3$$

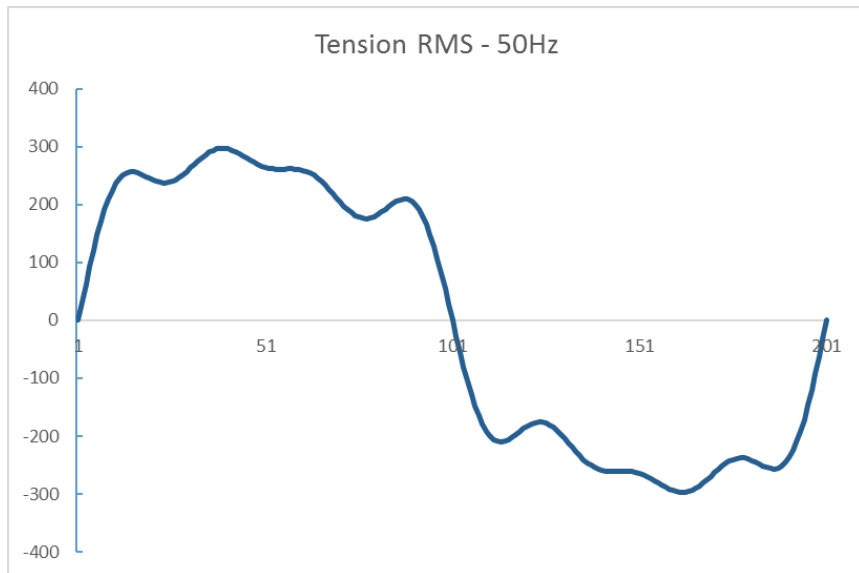
$v_j = \text{valores instantaneos}$

$$V_{TRMS} = \sqrt{V_1^2 + V_3^2}$$

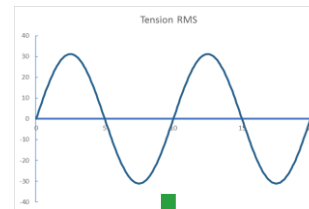
$V_j = \text{valor eficaz del armónico } j$

¿Que son los armónicos?

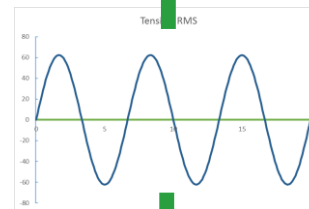
Fourier



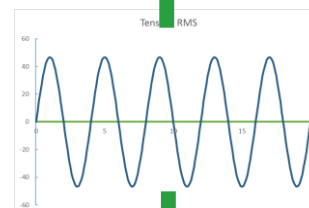
=



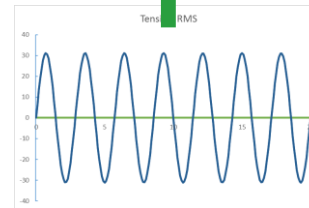
+



+



+



2° Armónico (100Hz)

3° Armónico (150Hz)

5° Armónico (250Hz)

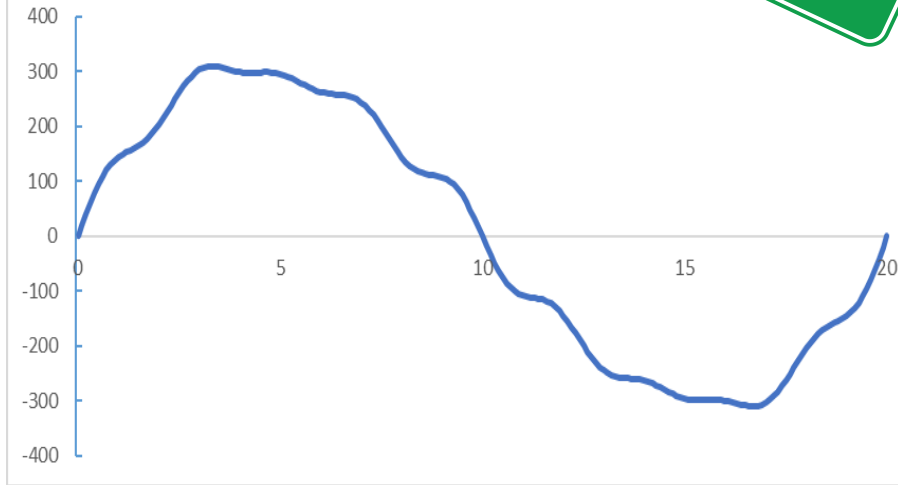
7° Armónico (350Hz)

¿Que son los armónicos?

Fourier

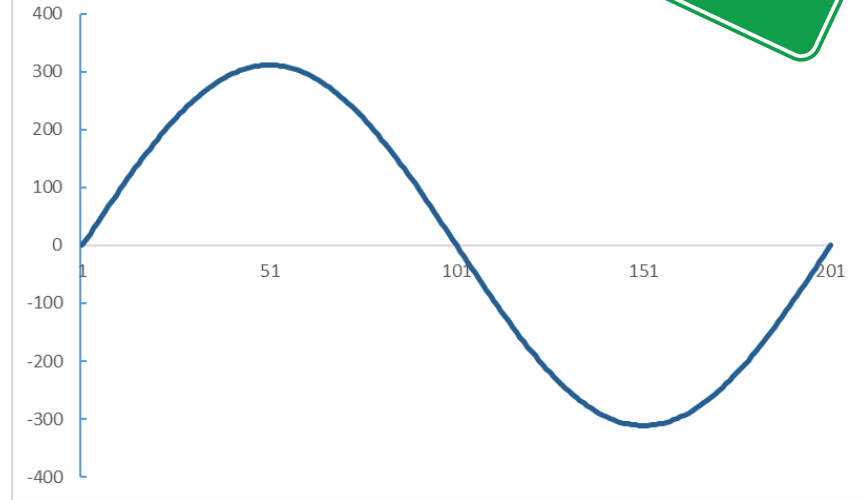
REAL

Tension RMS



IDEAL

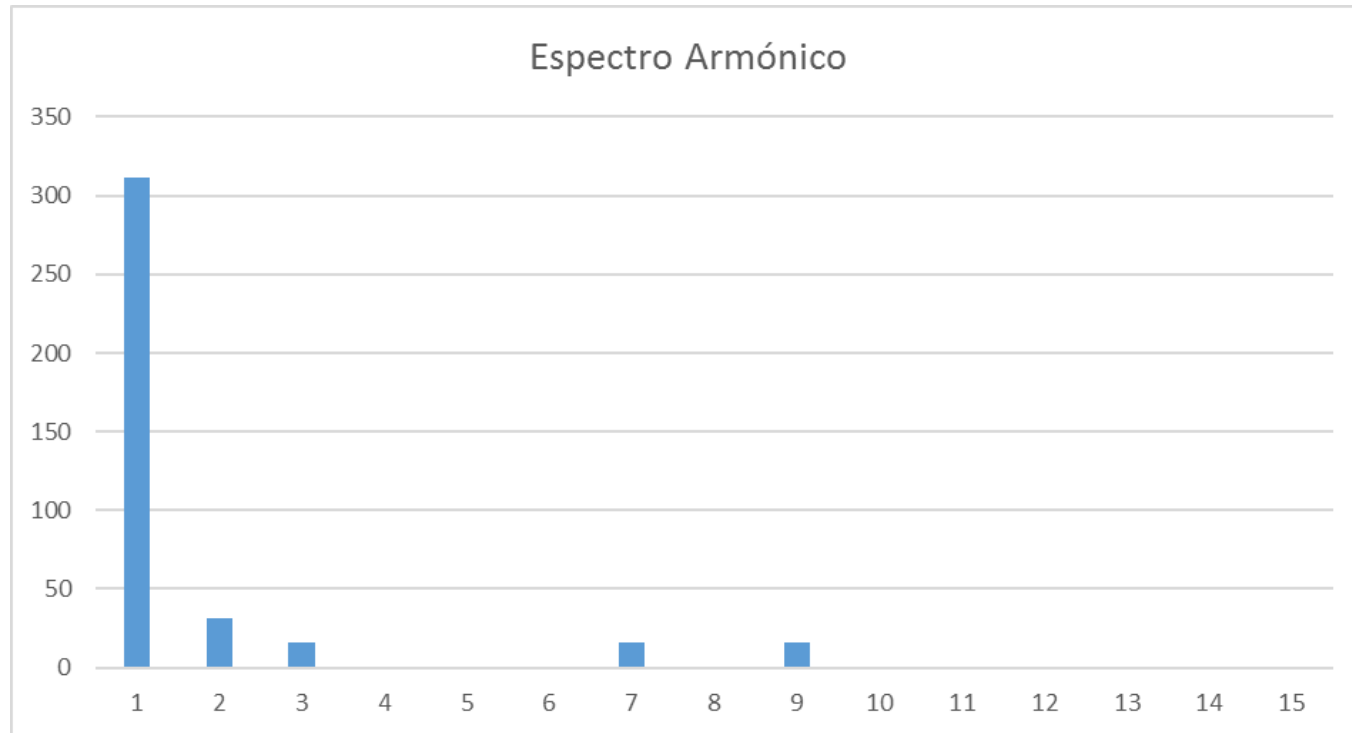
Tension RMS - 50Hz



¿Cómo visualizar los armónicos?

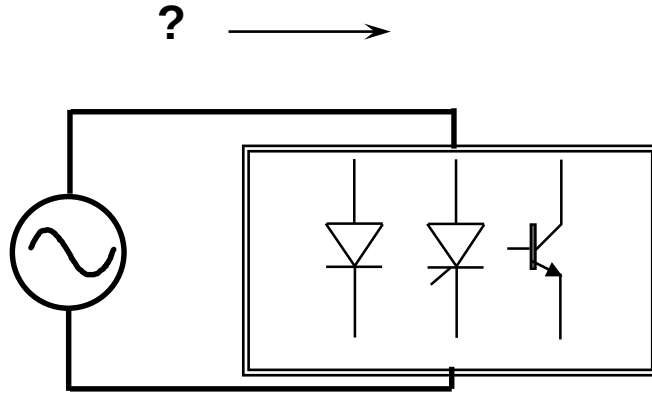
Espectro armónico

V_T	V_h	THD_V
221,92	29,10	13%



¿Qué origina los armónicos?

Armónicas – Que las genera principalmente



- ✓ UPS
- ✓ Computadoras
- ✓ Variadores de velocidad
- ✓ Lámparas LED
- ✓ Toda carga electrónica

Efectos en las señales eléctricas

Distorsión Armónica Total (THD)

$$I_{TRMS} = \sqrt{\sum_{j=0}^{\infty} I_j^2} \quad \longrightarrow \quad I_{TRMS} = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_j^2}$$

I_j = valor eficaz del armónico j

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1}$$

Efectos en las señales eléctricas

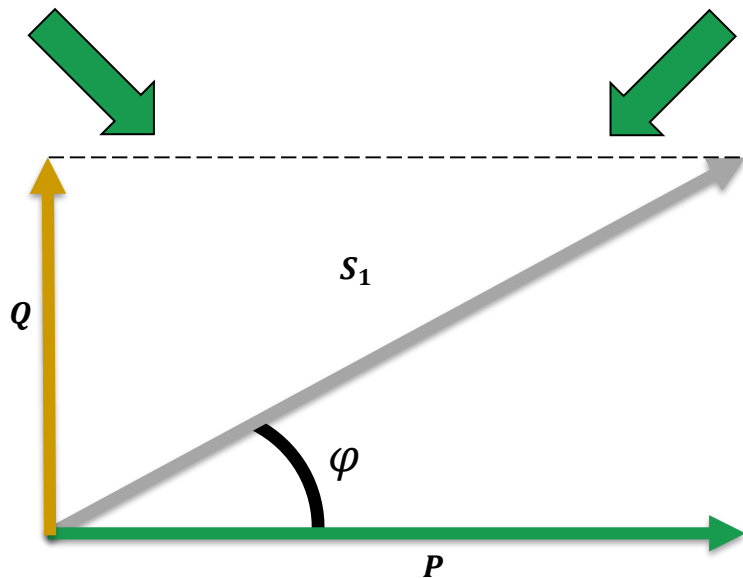
Tensión

Armónicos & eficiencia

Armónicos y eficiencia

Factor de Potencia

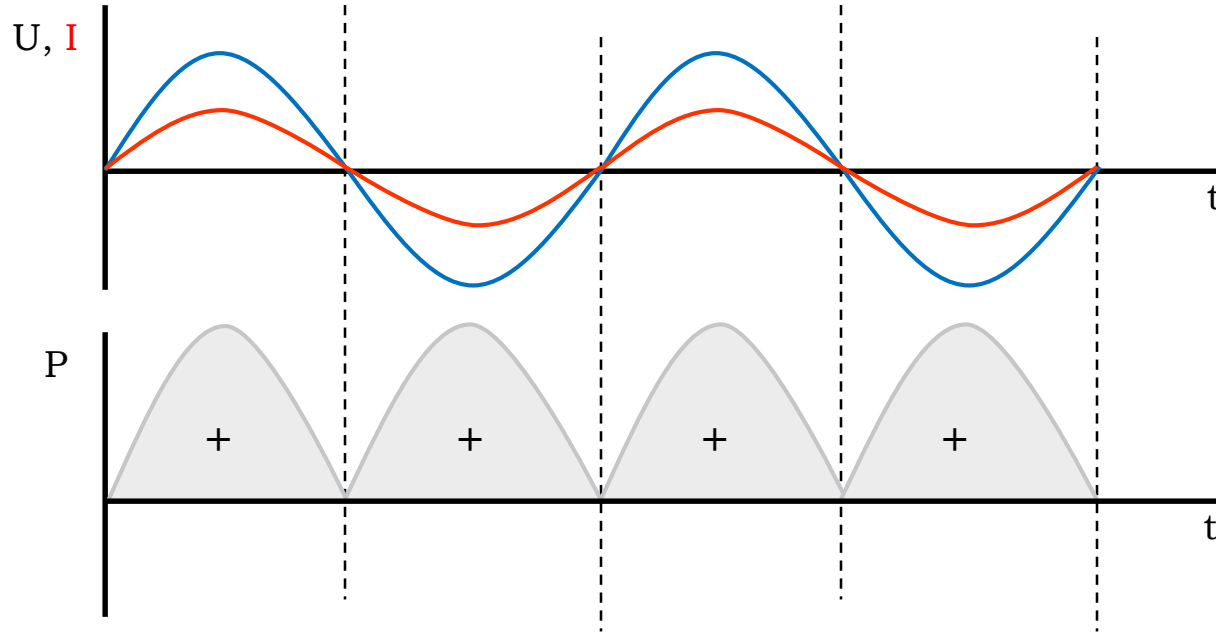
$$FP = \frac{P_{(W)}}{S_{(SA)}} = \cos \varphi = \frac{P_{(W)1}}{S_{(SA)1}}$$



SIN ARMONICOS

Armónicos y eficiencia

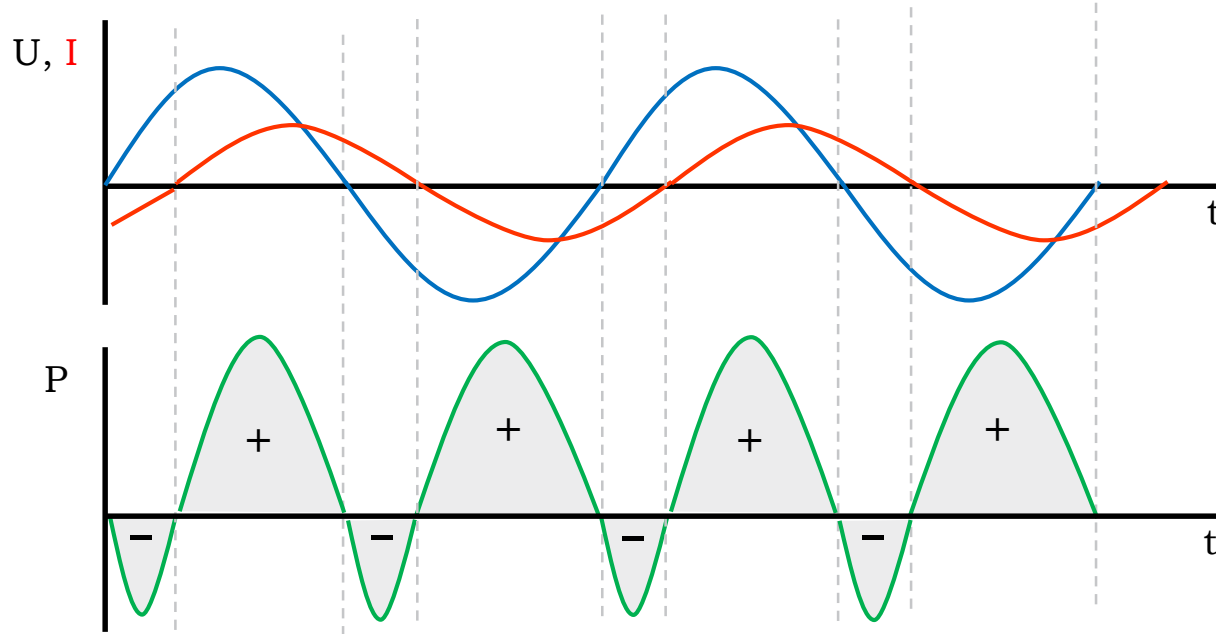
Factor de Potencia



$$FP = 1$$

Armónicos y eficiencia

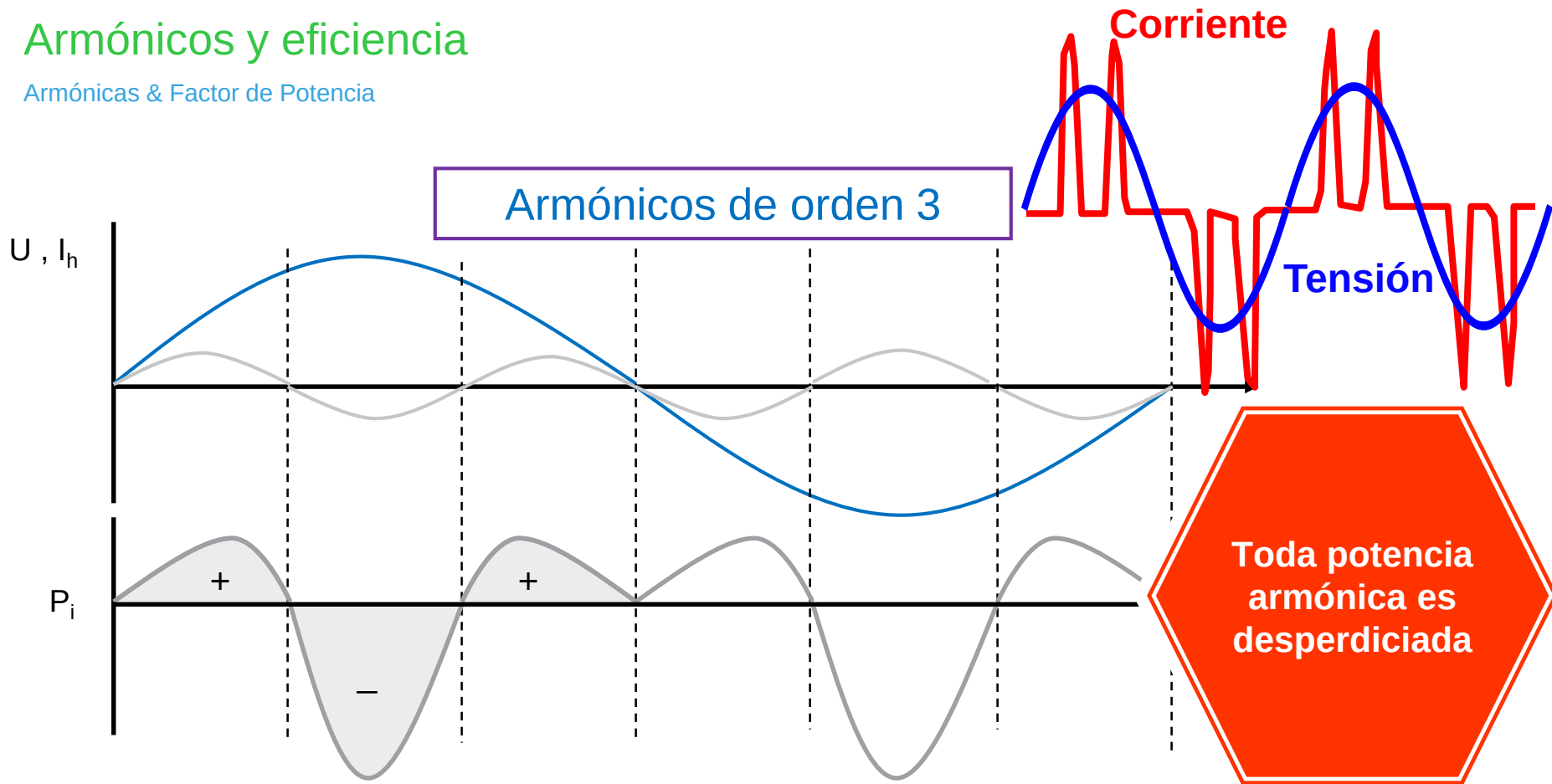
Factor de Potencia



$$FP < 1$$

Armónicos y eficiencia

Armónicas & Factor de Potencia



Armónicos y eficiencia

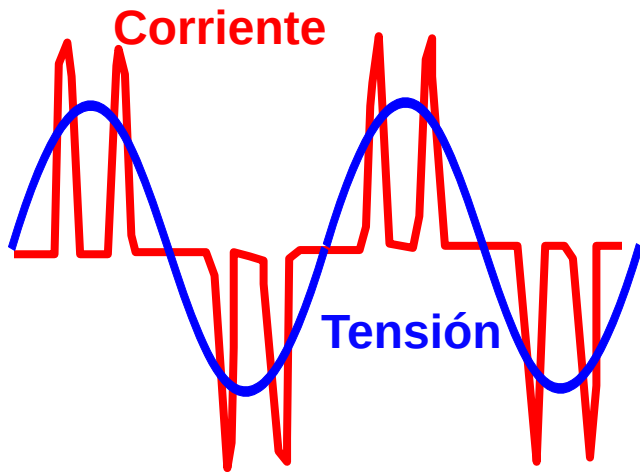
Armónicas & Factor de Potencia

$$P = V_{ef} I_{1ef} \cos \varphi_1$$

$$S = V_{ef} I_{ef}$$

$$Q_1 = V_{ef} I_{1ef} \sin \varphi_1$$

$$D = V_{ef} \sqrt{(I_{2ef}^2 + I_{3ef}^2 + \dots I_{nef}^2)}$$

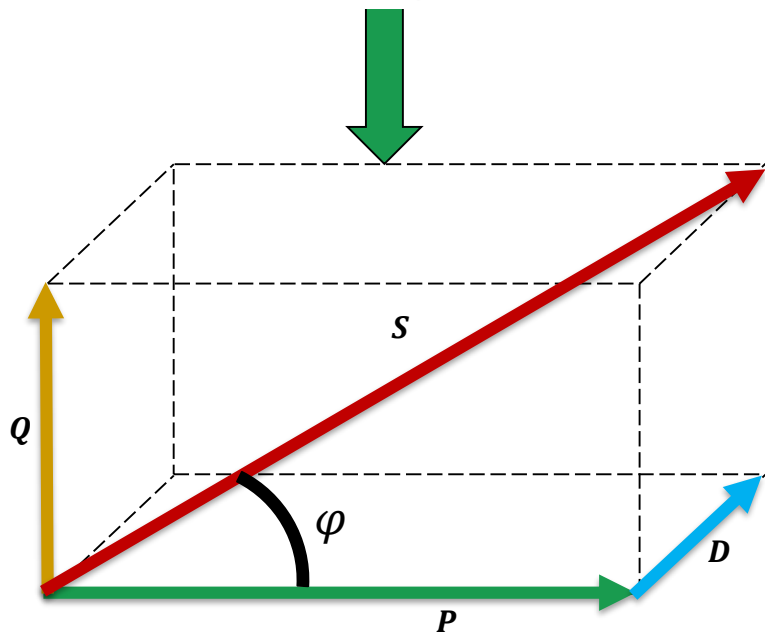


SIN DEFORMACION DE TENSION

Armónicos y eficiencia

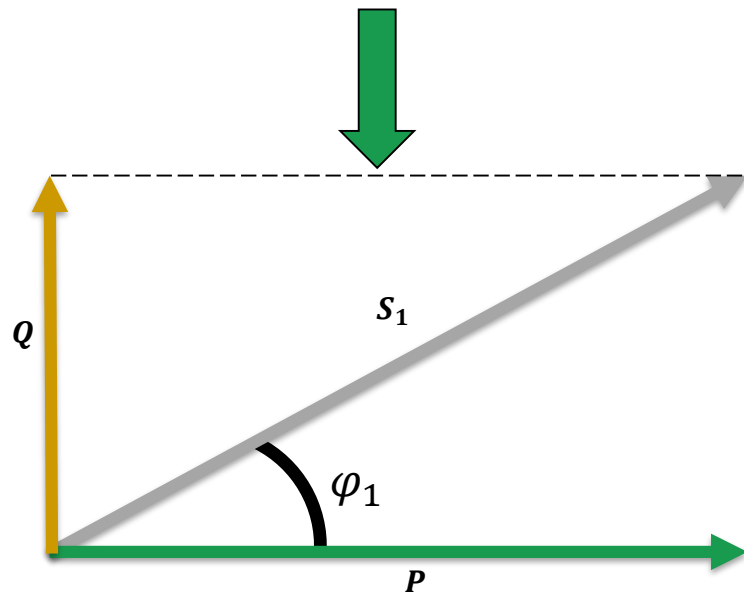
Armónicas & Factor de Potencia

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



CON ARMONICOS

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



Armónicos y eficiencia

Armónicas & Factor de Potencia

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

$\neq$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_{(W)1}}{S_{(SA)1}}$$

Medido por
distribuidora

SI HAY ARMÓNICAS:

LOS CAPACITORES NO PUEDEN COMPENSAR EL
FP COMPLETAMENTE

Armónicos y eficiencia

Factor de Potencia

	Factor de Potencia mínimo
Multa	Varia por distribuidora: EDESUR: 0,85 EDENOR: 0,85 EPE: 0,95 EPEC: 0,95 SPSE: 0,95

Armónicos y eficiencia

Factor de Potencia

	Factor de Potencia mínimo										
Multa	Varia por distribuidora: <table><tr><td>EDESUR:</td><td>0,85*</td></tr><tr><td>EDENOR:</td><td>0,85*</td></tr><tr><td>EPE:</td><td>0,95</td></tr><tr><td>EPEC:</td><td>0,95</td></tr><tr><td>SPSE:</td><td>0,95</td></tr></table>	EDESUR:	0,85*	EDENOR:	0,85*	EPE:	0,95	EPEC:	0,95	SPSE:	0,95
EDESUR:	0,85*										
EDENOR:	0,85*										
EPE:	0,95										
EPEC:	0,95										
SPSE:	0,95										
Corte del servicio	Varia por distribuidora: <table><tr><td>EDESUR:</td><td>0,6*</td></tr><tr><td>EDENOR:</td><td>0,6*</td></tr><tr><td>EPE:</td><td>N/A</td></tr><tr><td>EPEC:</td><td>0,5</td></tr><tr><td>SPSE:</td><td>N/A</td></tr></table>	EDESUR:	0,6*	EDENOR:	0,6*	EPE:	N/A	EPEC:	0,5	SPSE:	N/A
EDESUR:	0,6*										
EDENOR:	0,6*										
EPE:	N/A										
EPEC:	0,5										
SPSE:	N/A										

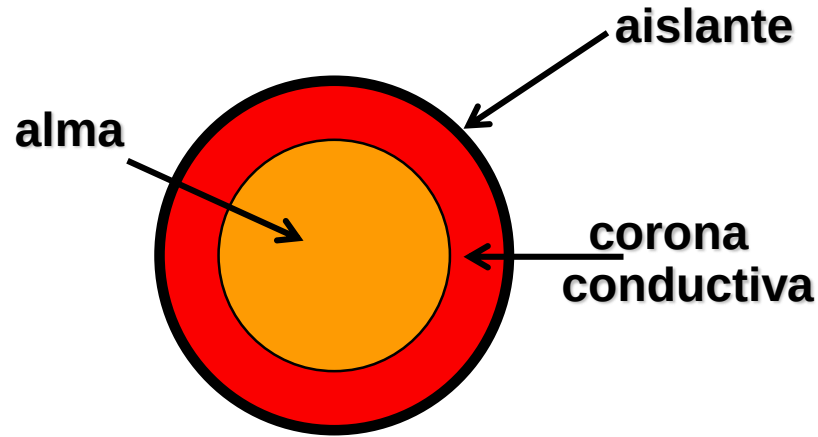
* Solo para T2, T3 y T1 trifásicos

THDI > 35%
imposible
tener
FP > 0,94

Armónicos y eficiencia

Pérdidas eléctricas

Efecto Skin y Pérdidas sobre cables que recalientan por existencia de armónicos



$$I_H = I_{TRMS} \sqrt{\frac{THD}{1 - THD}}$$

$$I_H = 1000A \sqrt{\frac{0,108}{1 - 0,108}} = 348A_{RMS}$$

$$P_H = I_H^2 R = 348A^2 \times 2\Omega \approx 242kW$$

Efecto skin

Armónicos y eficiencia

Pérdidas eléctricas

Pérdidas en transformadores de potencia por armónicos



Calentamiento de las bobinas

$$I_{rms} \uparrow \uparrow$$

$$P_{Cu} = I_{rms}^2 \times R$$

Efecto pelicular (skin)

Pérdidas ++

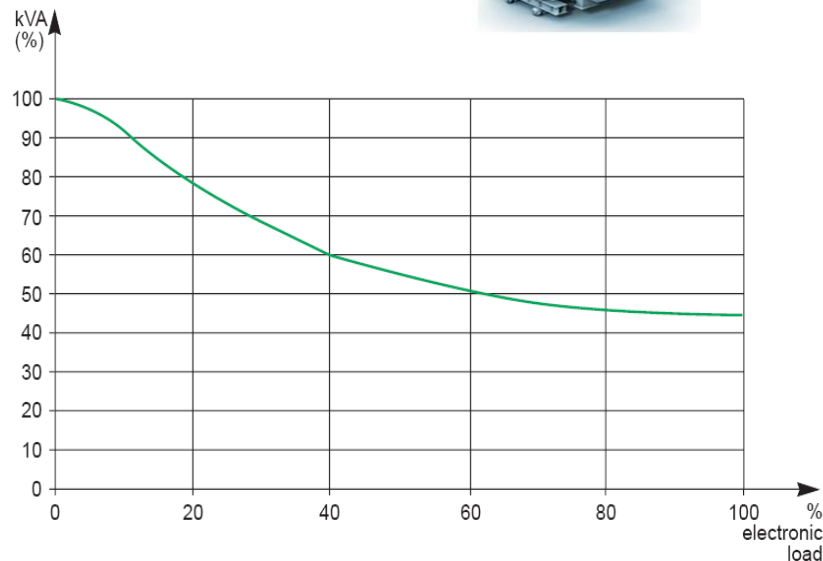
Aumento pérdidas en el hierro

$$P_{Fe} = P_{foucault} + P_{histéresis}$$

$$P_{foucault} = K \times f^2$$

$$P_{histéresis} = K' \times f$$

Pérdidas ++



Armónicos y eficiencia

Pérdidas eléctricas

Corrientes de Neutro elevadas en presencia de armónicos

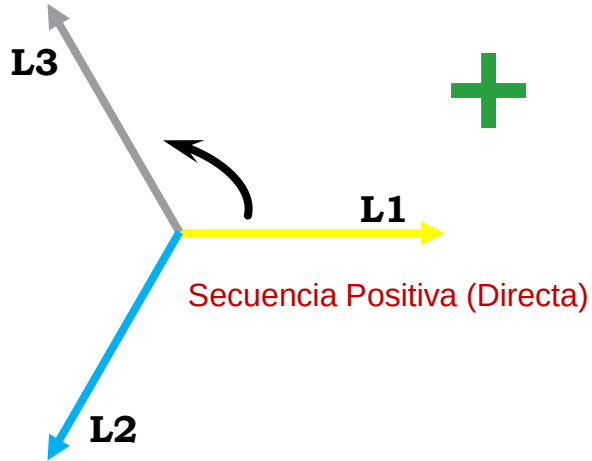
Orden del armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0

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
$3n+1$	$3n+2$	$3n+3$

Perdidas eléctricas

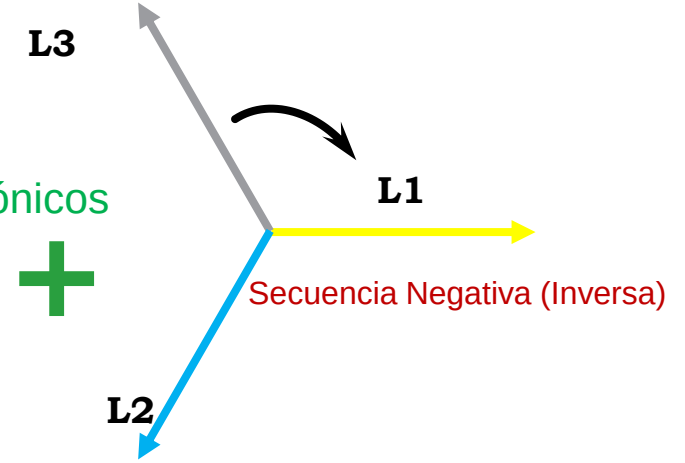
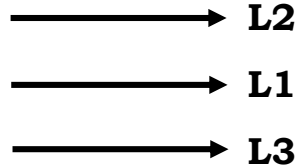
Afecciones

2 – Corrientes de Neutro elevadas en presencia de armónicos



+

Secuencia cero (homopolar)



+

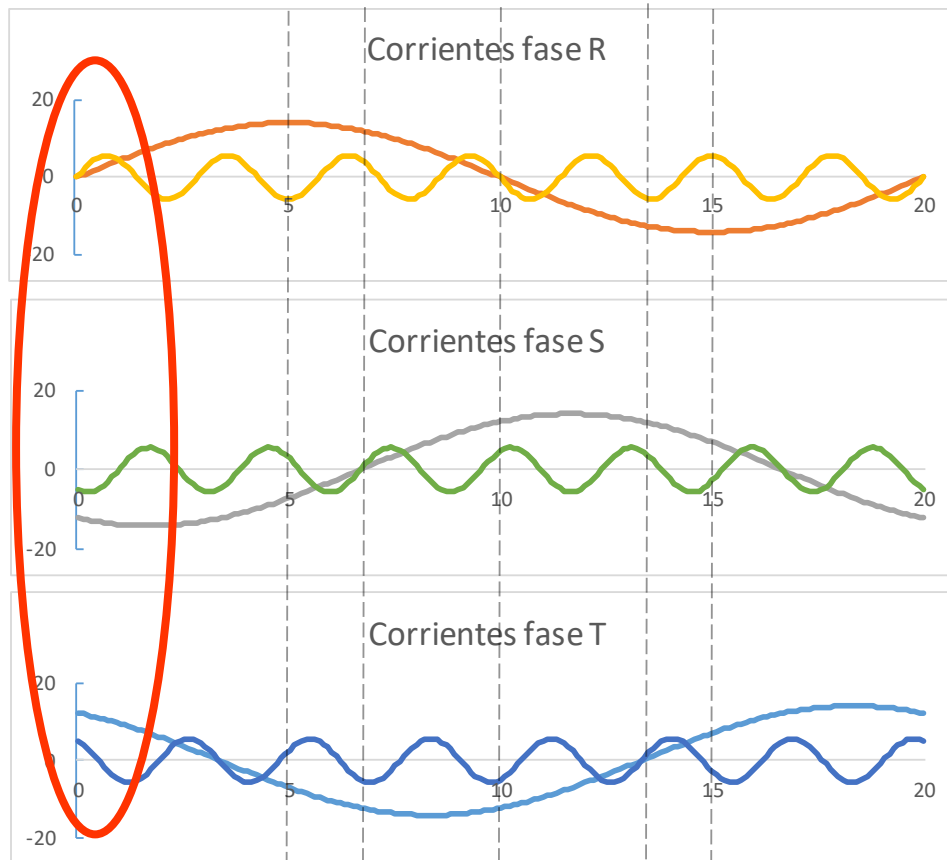
Perdidas eléctricas

Afecciones

2 – Corrientes de Neutro

Secuencia Positiva

Corriente de neutro



Armónico

7

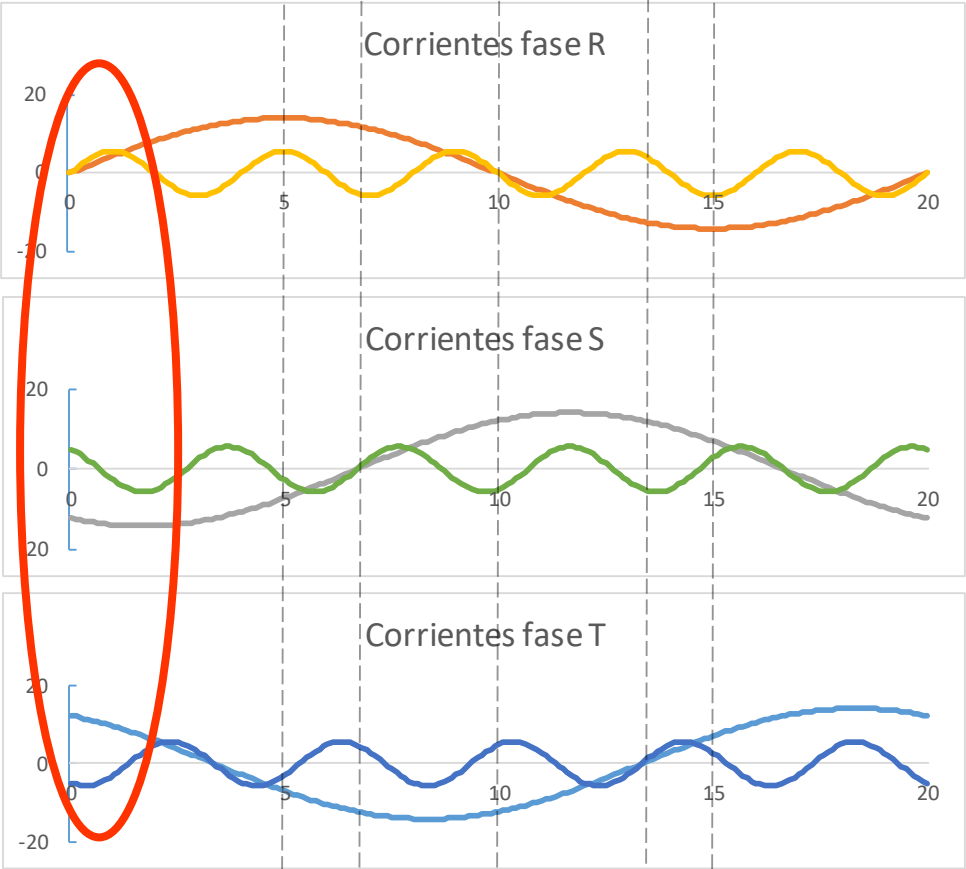
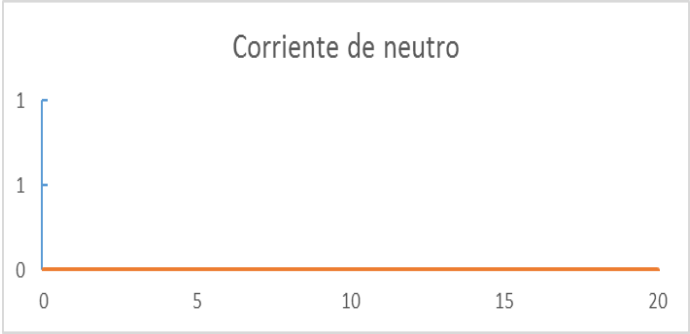
Perdidas eléctricas

Afecciones

2 – Corrientes de Neutro

Secuencia Negativa

Corriente de neutro



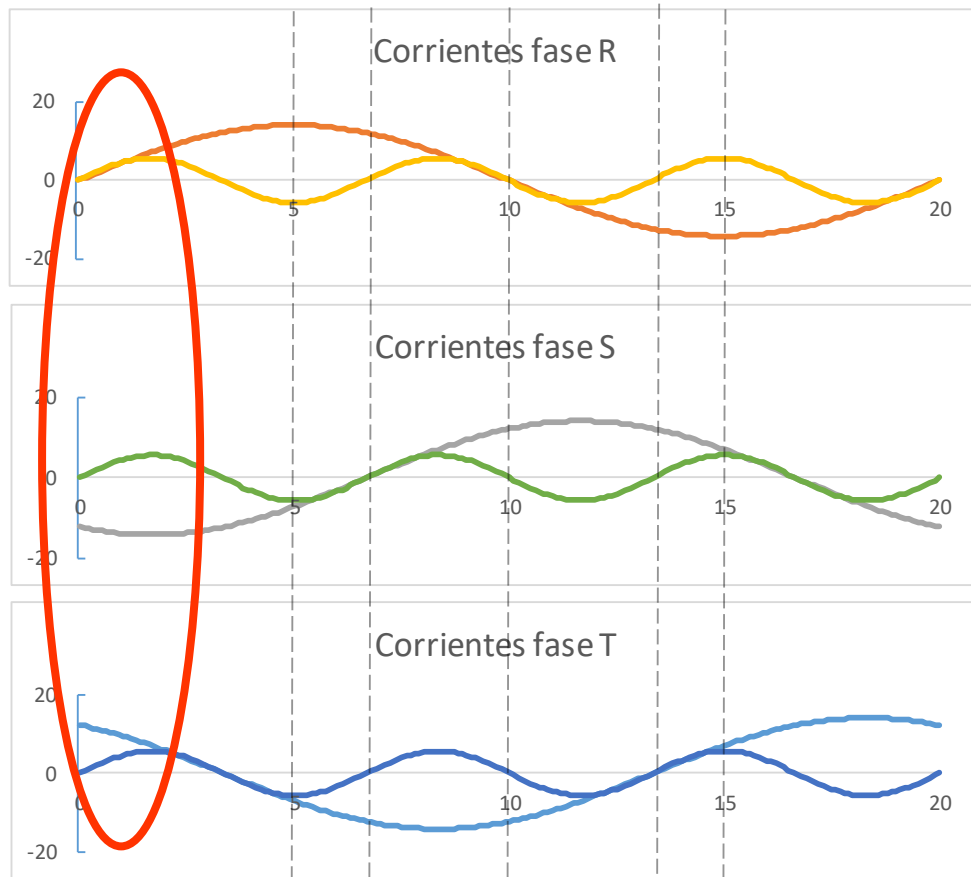
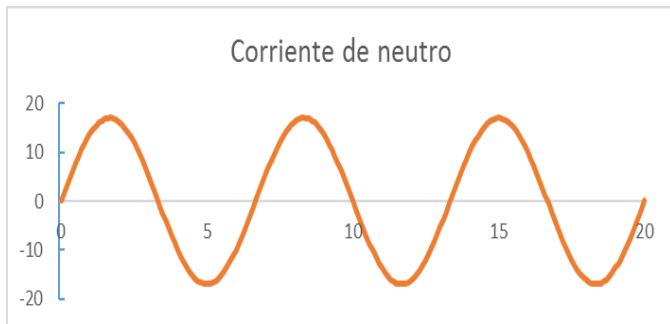
Armónico
5

Perdidas eléctricas

Afecciones

2 – Corrientes de Neutro

Secuencia Homopolar



Armónico

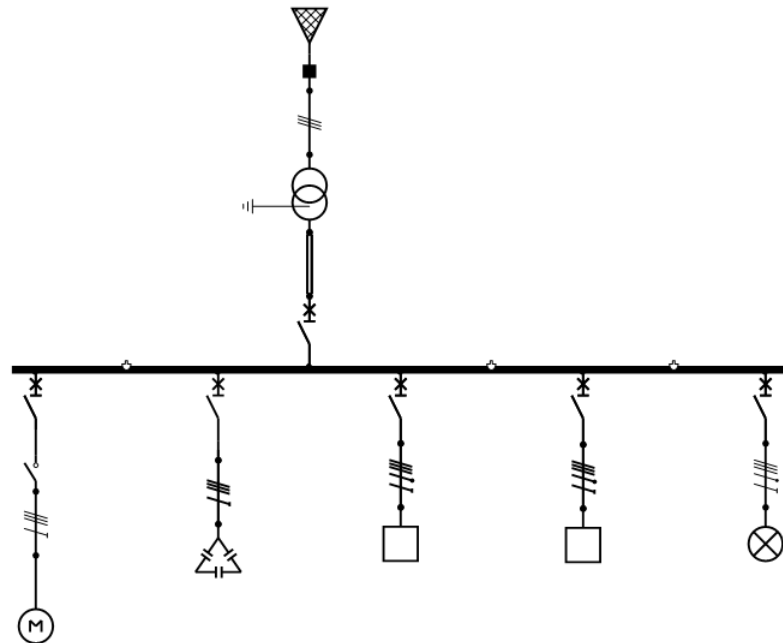
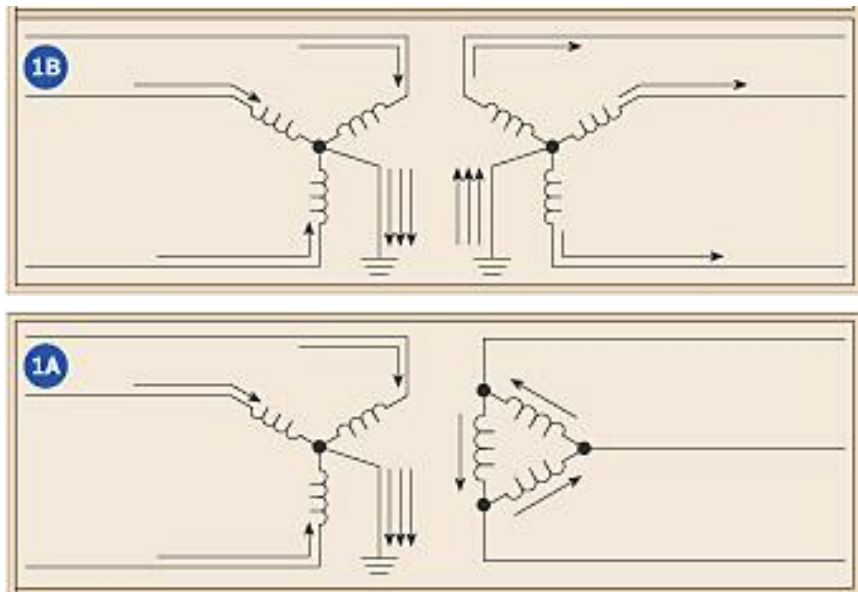
3

Armónicos y eficiencia

Pérdidas eléctricas

Corrientes de Neutro elevadas en presencia de armónicos

Las armónicas de secuencia cero (homopolares) circulan por el hilo neutro de los sistemas eléctricos y se suman en éste de los equipos conectados en cada una de las fases.

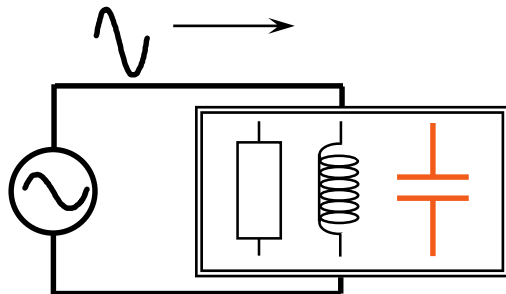


Armónicos y eficiencia

Pérdidas eléctricas

Necesidad de **recambio continuo de capacitores** de $\text{THDi} > 20$ o $\text{NLL} > 50\%$

Los capacitores, al igual que el resto de las cargas lineales, no generan armónicas



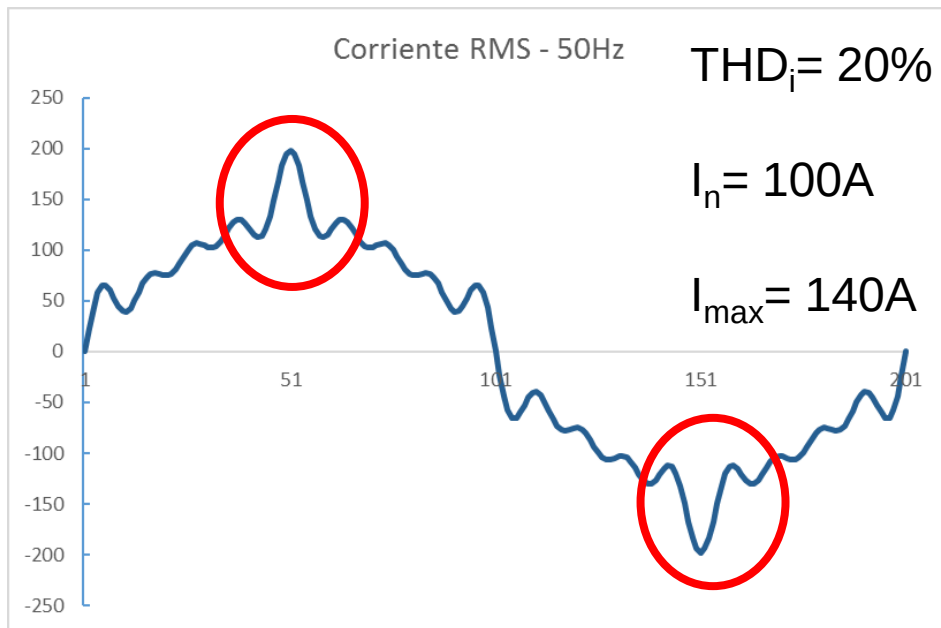
... pero son los elementos más sensibles de la instalación



Armónicos y eficiencia

Pérdidas eléctricas

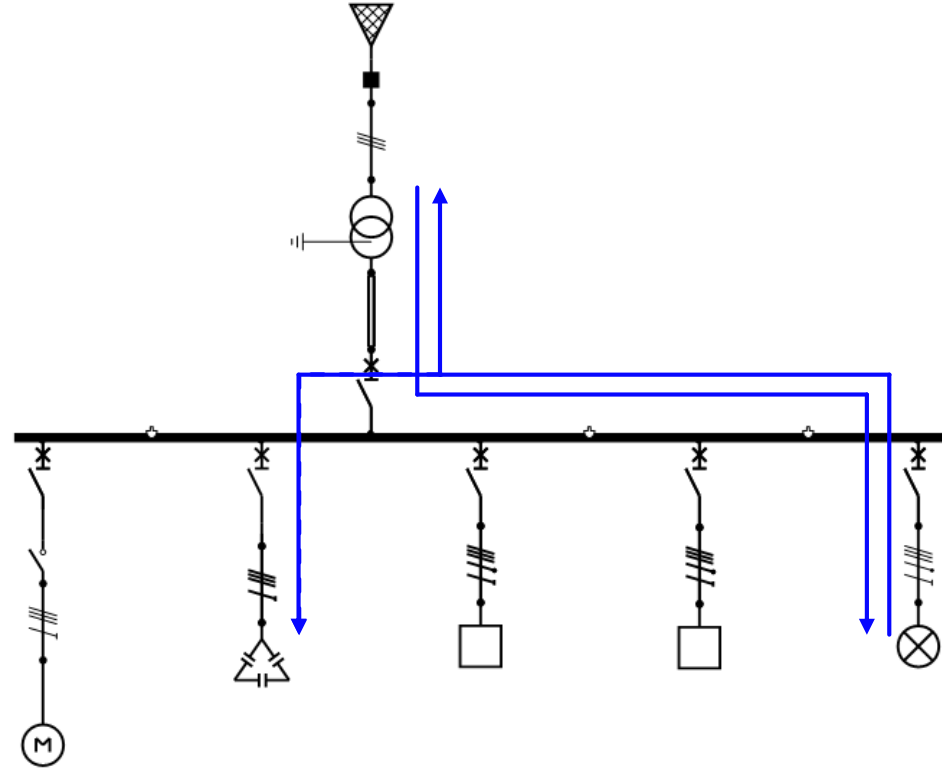
Necesidad de **recambio continuo de capacitores** de $THDi > 20$ o $NLL > 50\%$



Armónicos y eficiencia

Pérdidas eléctricas

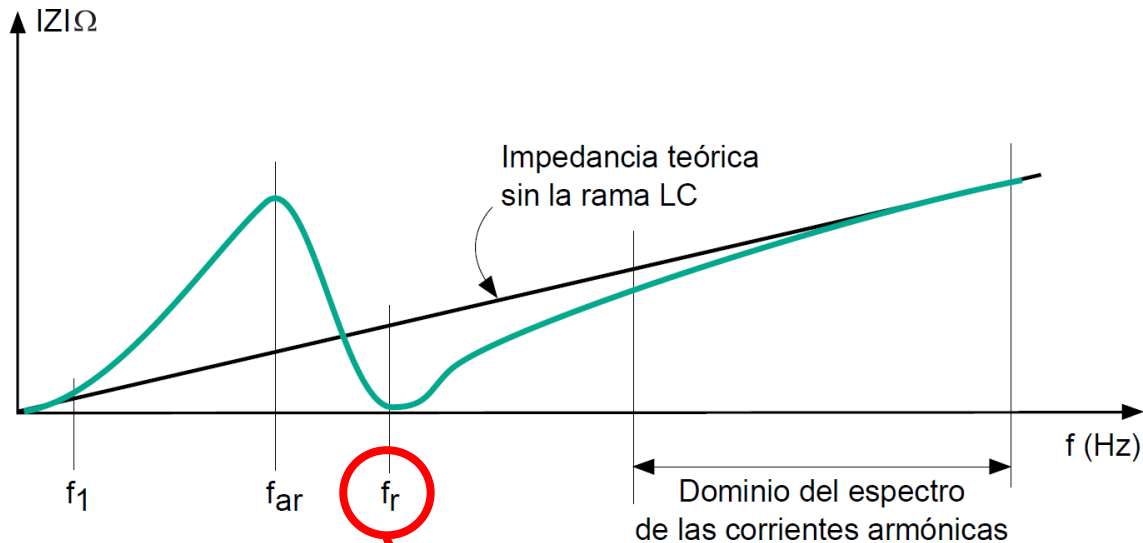
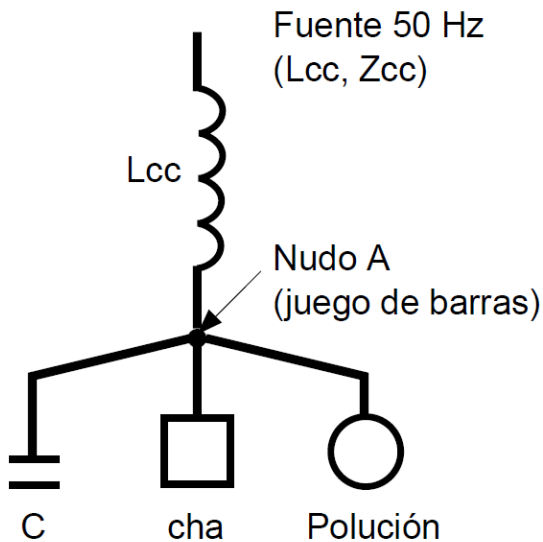
Necesidad de recambio continuo de capacitores de $THDi > 20$ o $NLL > 50\%$



Como mitigar FP y armónicos

Capacitores, riesgo de resonancia

➤ Capacitores



L_{cc} : Reactancia de la red...

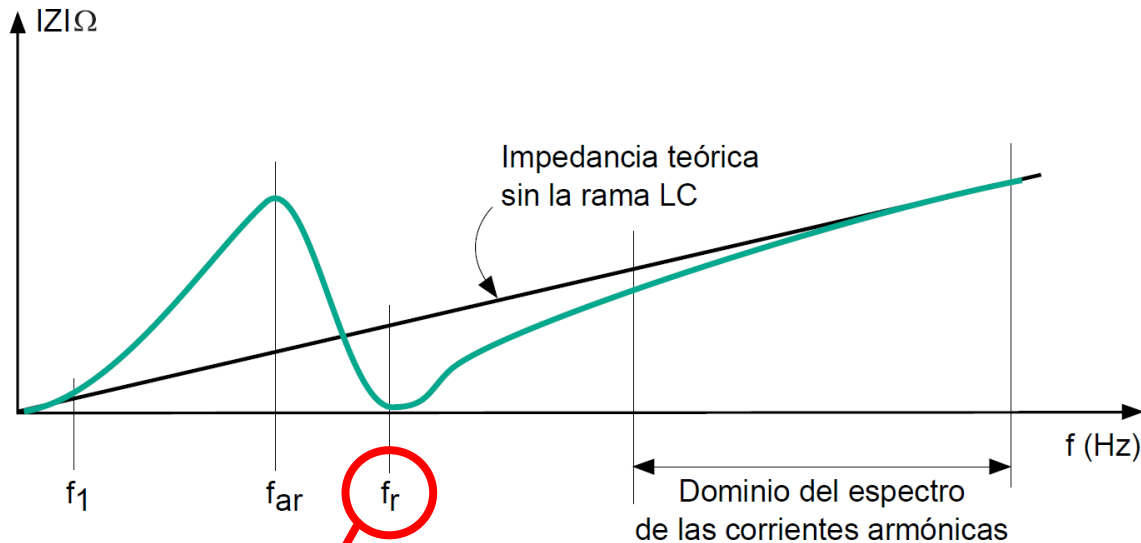
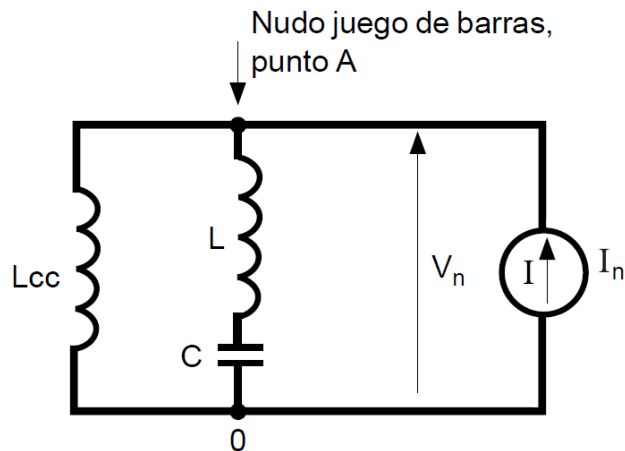
Suele ser desconocida y variable

$$f_r = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot L_{cc} \cdot C}}$$

Como mitigar FP y armónicos

Capacitores, riesgo de resonancia

➤ Capacitores + Reactancia



Objetivo:

Utilizar una reactancia en serie ($L \gg L_{cc}$) con el Capacitor de compensación para “fijar” la f_r debajo del espectro armónico.

$$f_{ar} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot (L + L_{cc}) \cdot C}}$$

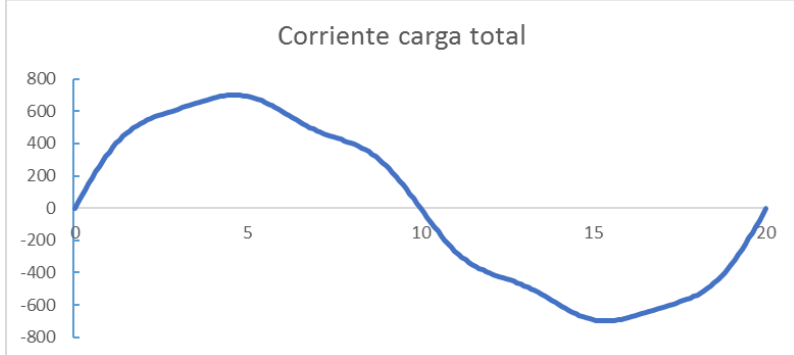
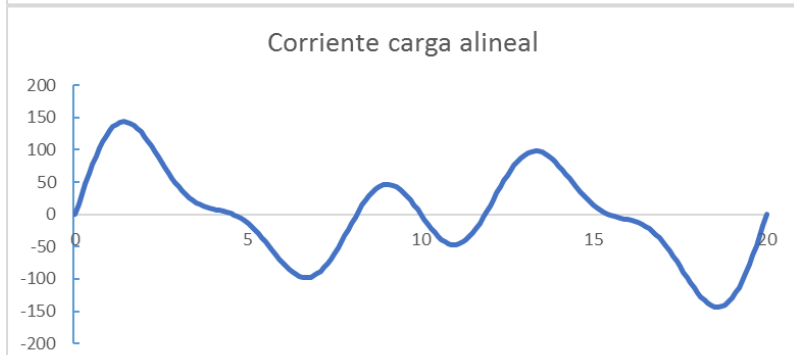
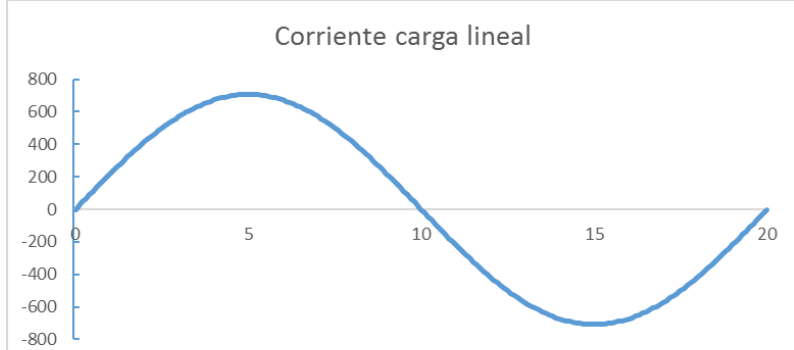
Armónicos y eficiencia

Pérdidas eléctricas

UPS se auto-protecten y entran en By-pass

Ejemplo:

- ✓ $I_T = 505 \text{ A}_{\text{rms}}$
- ✓ $I_1 = 500 \text{ A}_{\text{rms}}$
- ✓ $I_H = 70 \text{ A}_{\text{rms}}$
- ✓ $\text{THD}_I = 14\%$



Armónicos y eficiencia

Pérdidas eléctricas

UPS se auto-protegen y entran en By-pass

Ejemplo:

✓ $I_T = 122 \text{ A}_{\text{rms}}$

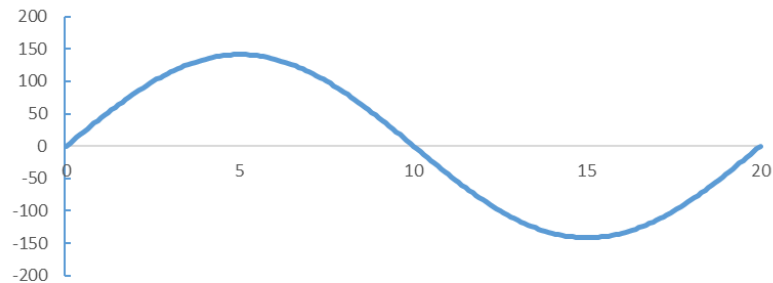
✓ $I_1 = 100 \text{ A}_{\text{rms}}$

✓ $I_H = 70 \text{ A}_{\text{rms}}$

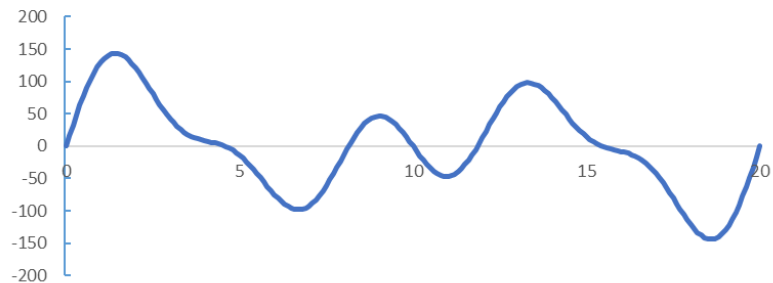
✓ $\text{THD}_I = 71\%$

La carga armónica NO varió

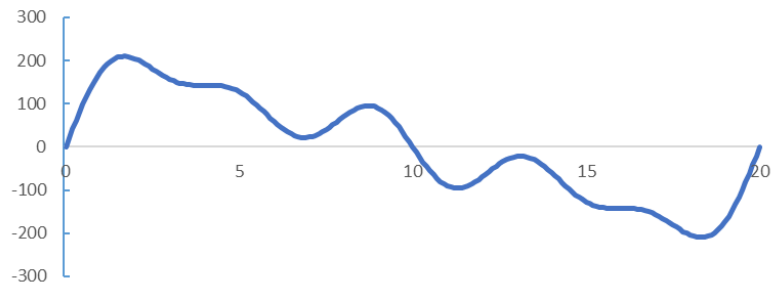
Corriente carga lineal



Corriente carga alineal



Corriente carga total



Efectos en las señales eléctricas

Tensión

¿Que pasa con la
tensión?

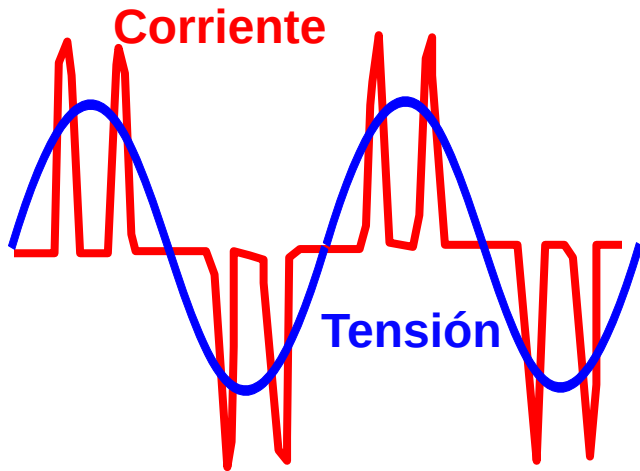
Efectos en las señales eléctricas

Armónicas – Distorsión armónica total

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1}$$

✓ Las cargas alineales

✓ Las cargas lineales



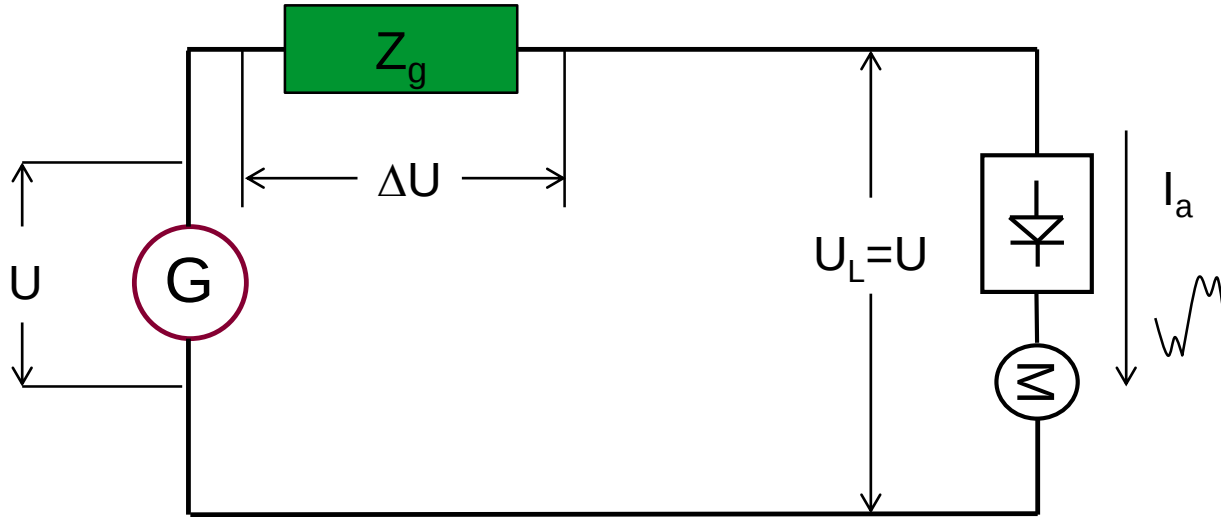
$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1}$$

- ✓ La impedancia de la fuente
- ✓ La forma de la corriente

Efectos en las señales eléctricas

Generador / UPS auxiliar en presencia de armónicos

Alimentación con alto nivel de I_{cc} (Distribuidora)



$$Z_g \ll Z_L$$

$$Z_g \times I_a \ll Z_L \times I_a$$

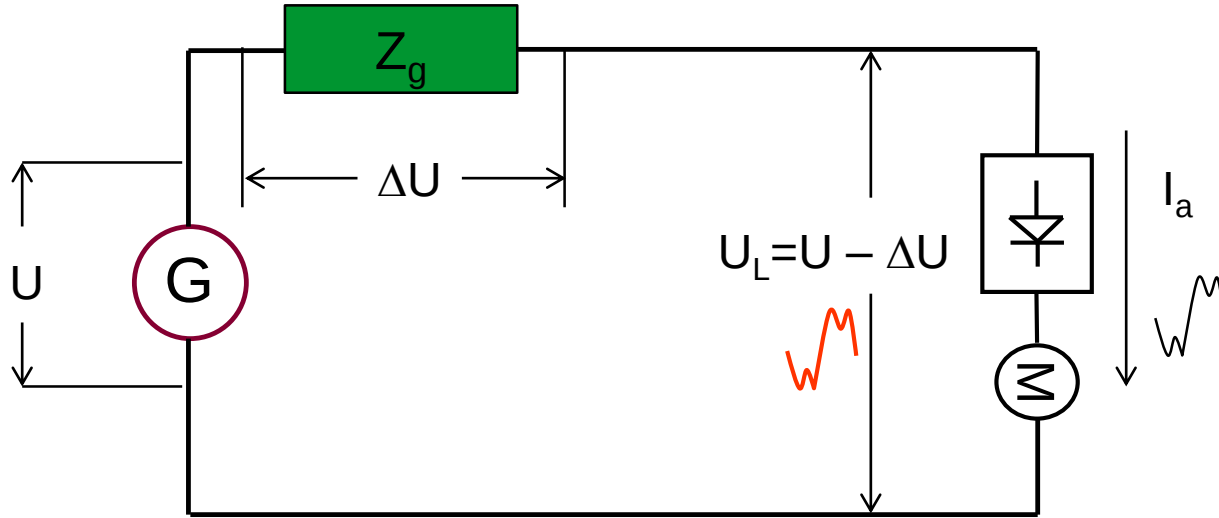
$$\Delta U \approx 0$$

$$U_L \approx U$$

Efectos en las señales eléctricas

Generador / UPS auxiliar en presencia de armónicos

Alimentación con bajo nivel de I_{cc} (Generador/UPS)



$$Z_g \approx Z_L$$

$$Z_g \times I_a \approx Z_L \times I_a$$

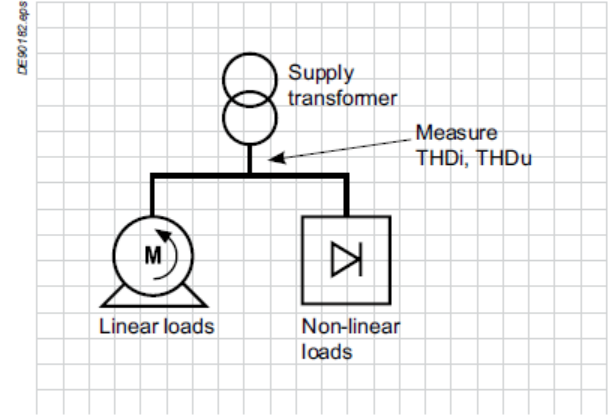
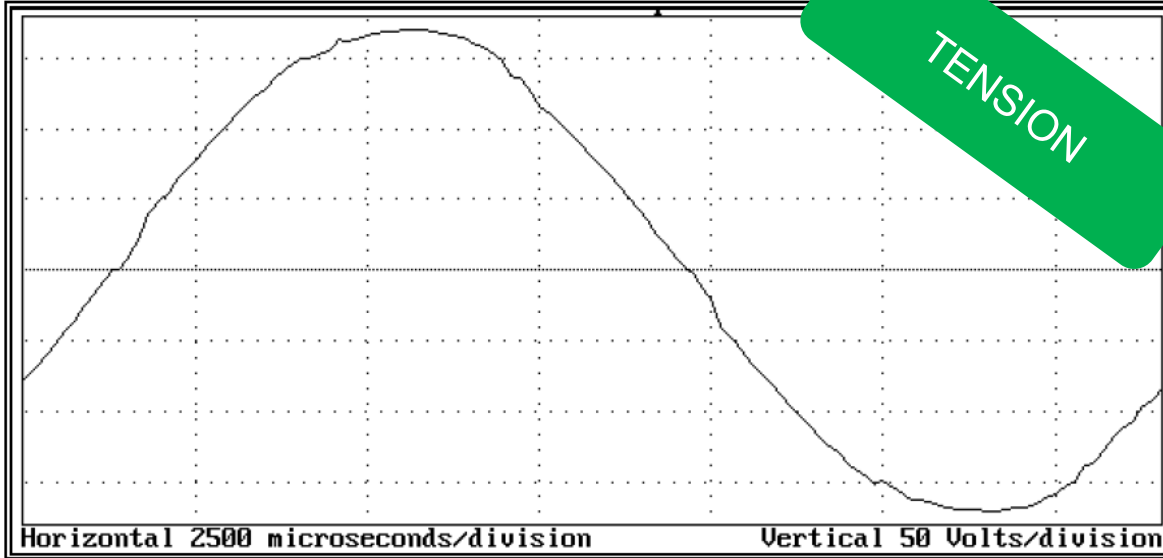
$$\Delta U \approx U_L$$

$$U_L = U - \Delta U$$

Efectos en las señales eléctricas

Generador / UPS auxiliar en presencia de armónicos

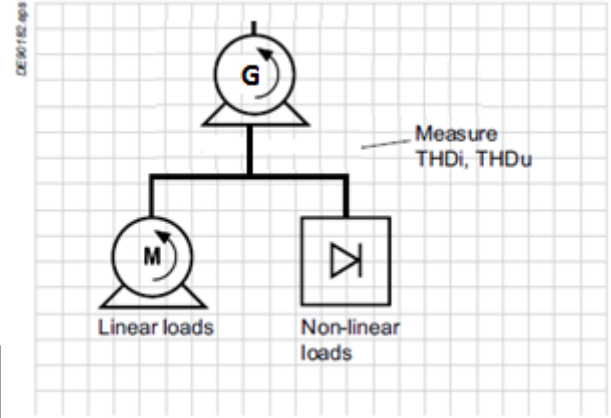
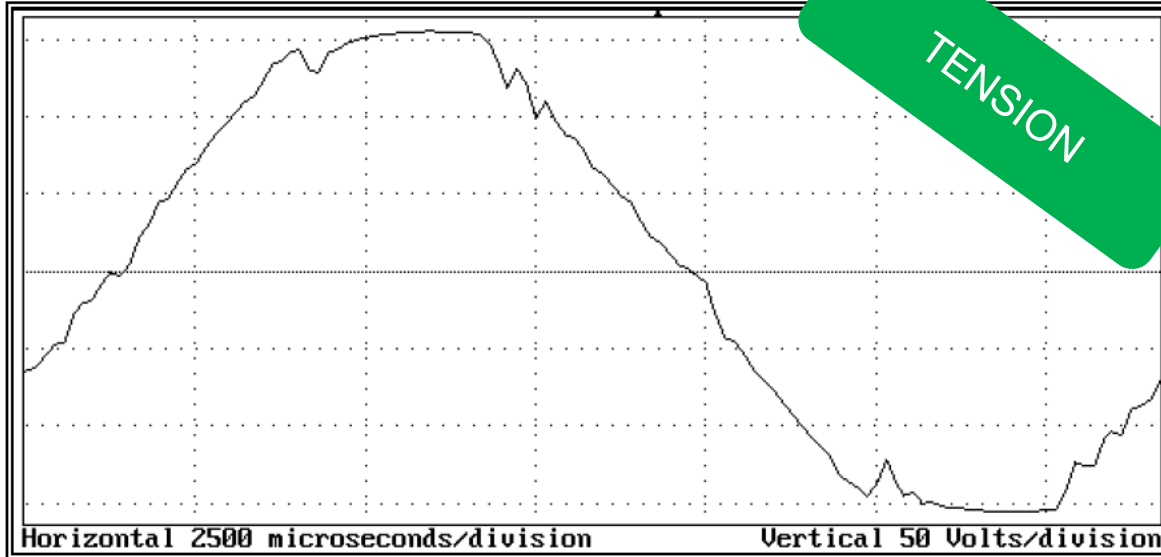
- Carga alimentada en distribuidora (alta I_{cc})
 - Distorsión baja : 5% THDI



Efectos en las señales eléctricas

Generador / UPS auxiliar en presencia de armónicos

- Carga alimentada en generador/UPS (baja I_{cc})
 - Distorsión alta : 25% THDI



Perdidas eléctricas

Afecciones

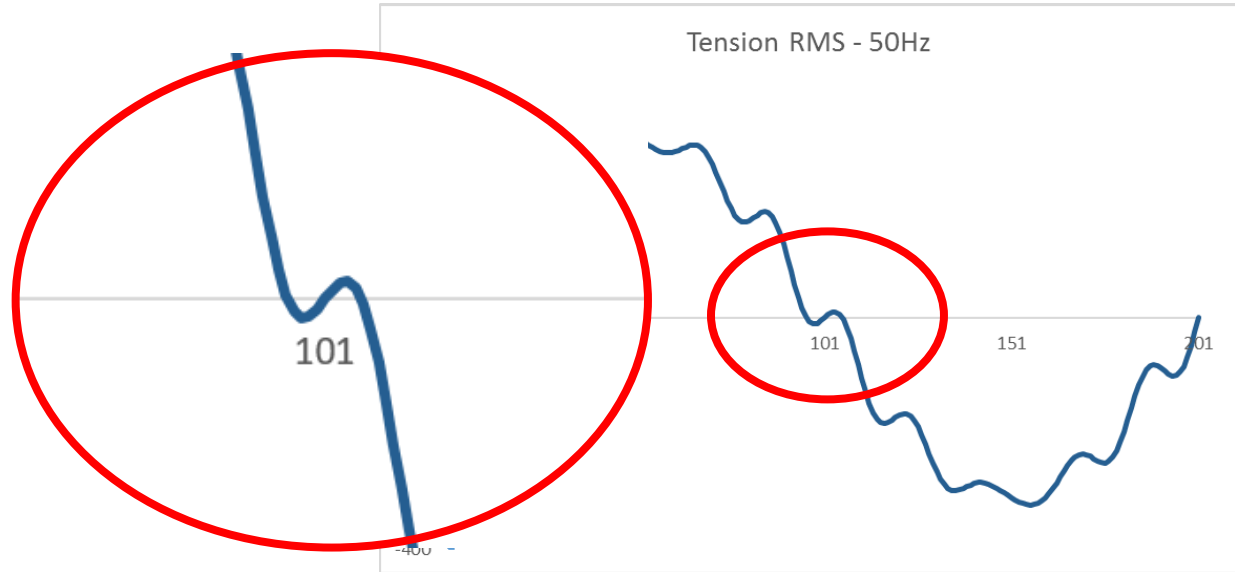
Sistemas de control / PLCs / RTUs que se resetean sin motivo

Cruces por cero

$$\text{THD}_v = 11\%$$

$$V_{12} = 11\text{V}$$

$$V_{10} = 22\text{V}$$

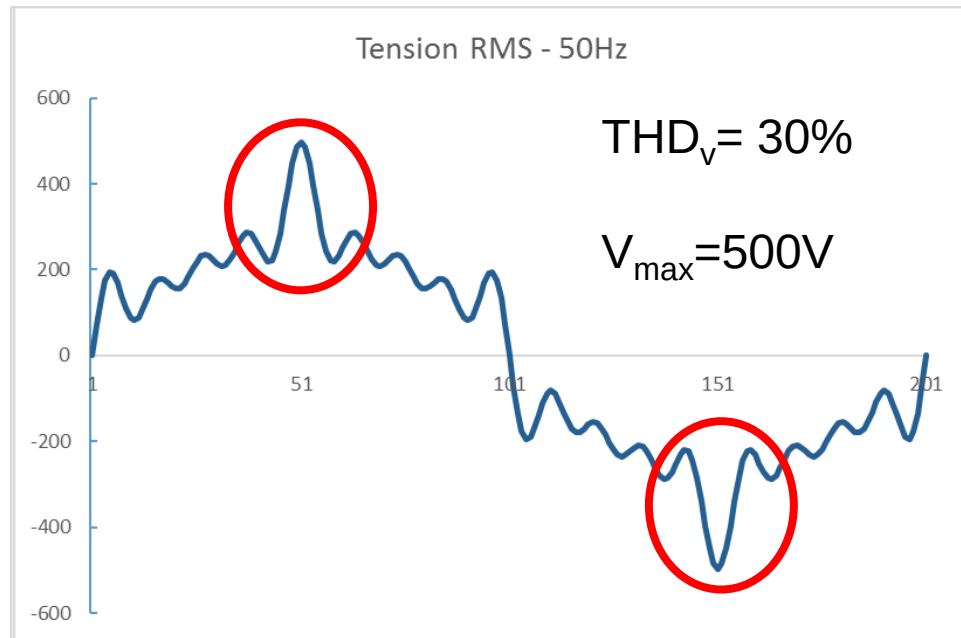
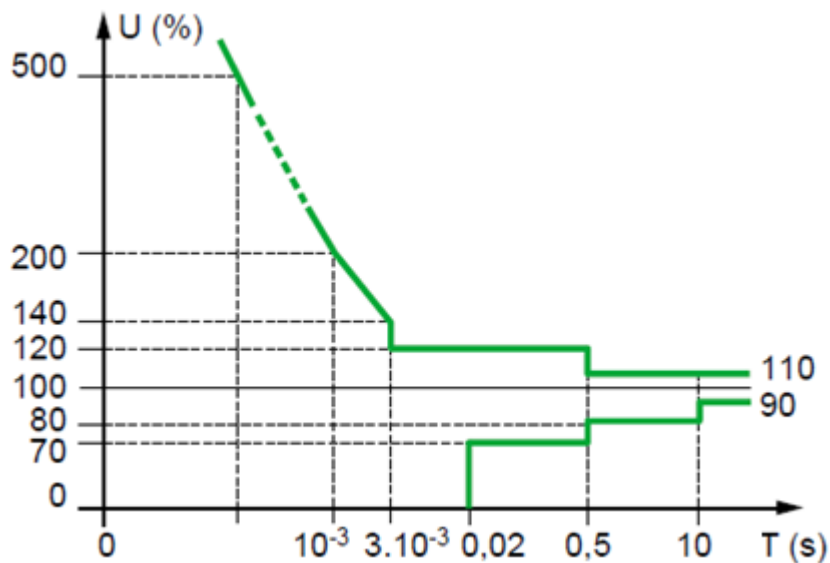


Perdidas eléctricas

Afecciones

Sistemas sensibles que se queman o envejecen sin motivo

CBEMA-ITIC

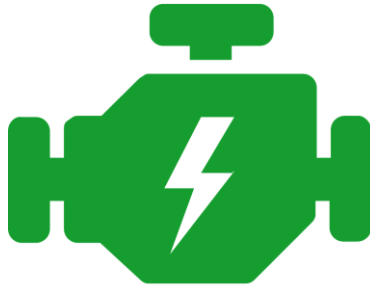


Armónicos y eficiencia

Pérdidas eléctricas

Corrientes de Neutro elevadas en presencia de armónicos

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



Reglamentación & Estándares

Tensión & Corriente Armónica

Reglamentación & Estándares

Armónicos: alto impacto económico, aunque difícil de solucionar.



Encuesta del EPRI (Electric Power Research Institute)

- Los armónicos representan el 22% de todos los problemas de calidad de energía.
- 2da perturbación importante en la calidad de la energía después de los sag

Encuesta de LPQI (Leonardo power quality initiative)

- Aunque se sabe que los armónicos generan pérdidas adicionales, los usuarios no los solucionan.
- Solo el 5% de las pérdidas financieras de calidad eléctrica se atribuyen a los armónicos.

Impacto económico de las armónicas

=> Energy losses

Higher subscription cost

Oversizing of equipment

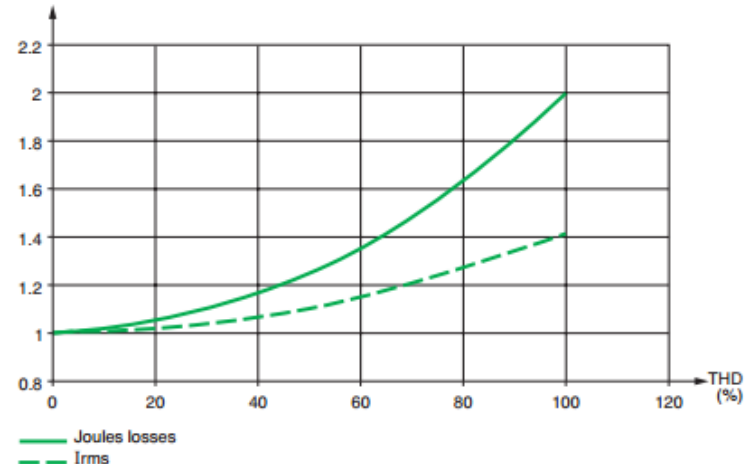
Reduced service life of equipment

Nuisance tripping and installation shutdown

El aumento de la corriente eficaz genera un aumento de las pérdidas en:

- ✓ cables
- ✓ motores
- ✓ transformadores
- ✓ capacitores

$$I_{rms} = I_1 \sqrt{1 + THD_i} \quad W = RI_{rms}^2 t$$



Impacto económico de las armónicas

Energy losses

=> **Higher subscription cost**

Oversizing of equipment

Reduced service life of equipment

Nuisance tripping and installation shutdown

➤ A medida que los armónicos aumentan la corriente eficaz, aumenta la demanda de potencia.

$$S = \sqrt{3}U_{rms}I_{rms}$$

➤ Una mayor demanda de potencia conduce a un mayor nivel de energía contratada y costos suscritos.

➤ Los servicios públicos tienden a cobrar a los clientes por las principales fuentes de armónicos. (Reino Unido, Italia, India....)

Impacto económico de las armónicas

Energy losses

Higher subscription cost

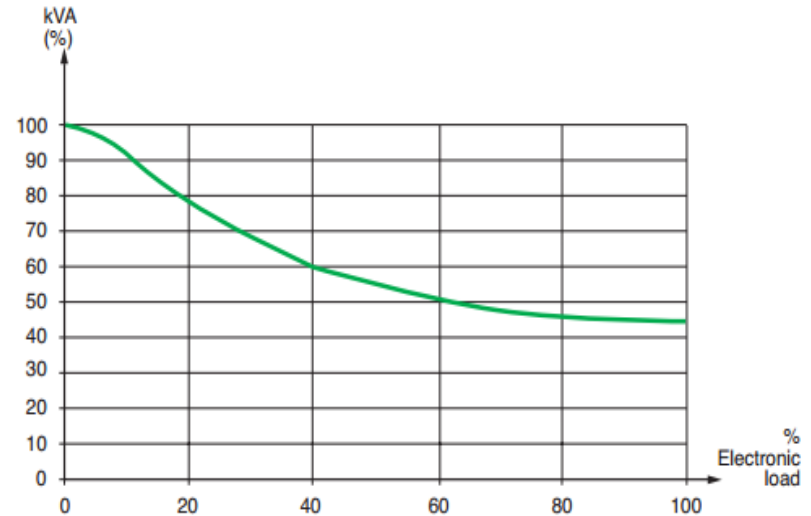
=> **Oversizing of equipment**

Reduced service life of equipment.

Nuisance tripping and installation shutdown

➤ La des-clasificación de los equipos eléctricos (transformadores, generadores, UPS) significa que deben ser sobredimensionados.

➤ Los conductores se dimensionan teniendo en cuenta la distorsión armónica.



Derating required for a transformer supplying electronic loads

Impacto económico de las armónicas

Energy losses

Higher subscription cost

Oversizing of equipment

=> Reduced service life of equipment

Nuisance tripping and installation shutdown

➤ Fórmula sobre la vida útil del equipo integra el factor THD_v

➤ Un $THD_v = 10\%$ conduce a la reducción de la vida útil del equipo estimándose:

- 32,5% para máquinas monofásicas.
- 18% para máquinas trifásicas.
- 5% para transformadores

Impacto económico de las armónicas

Energy losses

Higher subscription cost

Oversizing of equipment

Reduced service life of equipment

=> **Nuisance tripping and installation shutdown**

Costo de inactividad

- **Costos directos:** horas de trabajo, productos o servicios dañados, costos de retrabajo, costo de reprogramar o reemplazar datos perdidos, etc.
- **Costes indirectos:** pérdida de ventas, retraso en la entrega, etc.

En Argentina:

Sector financiero	€ 220.000 por hora
Data center	€ 27.500 por evento
Telecomunicaciones	€ 1.100 por minuto
Metalúrgicas	€ 13.000 por evento
Vidrio	€ 9.000 por evento

Reglamentación & Estándares

Tensión & Corriente Armónica

Table 2—Current distortion limits for systems rated 120 V through 69 kV

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

^aEven harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

^bCurrent distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

^cAll power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L .

where

I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC

I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component)
at the PCC under normal load operating conditions

IEEE 519:2014

➤ Considerar TDD_i con generadores/UPS

➤ TDD_i con distribuidora

Reglamentación & Estándares

Tensión & Corriente Armónica

IEEE 519:2014

PCC: Punto de
interconexión con usuarios

Table 1—Voltage distortion limits

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161$ kV	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5 ^a

^aHigh-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HV system whose effects will have attenuated at points in the network where future users are connected.

- La impedancia entre el PCC y la fuente generadora.
- Los armónicos de corriente que generan todos los usuarios conectados al PCC.

Reglamentación & Estándares

Tensión & Corriente Armónica

Resolución ENRE N° 99/97

Resolución ENRE N° 465/96

➤ Aplicación Nacional

➤ Usuarios :

T1: Demanda_{max} < 10kW

T2: 10 kW < Demanda_{max} < 50kW

T3: Demanda_{max} > 50kW

➤ Alimentación en BT / MT / AT

Orden de la armónica	Usuarios T1	Usuarios T2 y T3 en BT y MT	Usuarios T3 en AT
(n)	Intensidad armónica máxima, en (A)	Intensidad armónica máxima, como % de la corriente de carga contratada.	Intensidad armónica máxima, como % de la corriente de carga contratada.
IMPARES NO MÚLTIPLOS DE 3			
5	2,28	12,0	6,0
7	1,54	8,5	5,1
11	0,66	4,3	2,9
13	0,42	3,0	2,2
17	0,26	2,7	1,8
19	0,24	1,9	1,7
23	0,20	1,6	1,1
25	0,18	1,6	1,1
> 25	4,5/n	0,2+0,8*25/n	0,4
IMPARES MÚLTIPLOS DE 3			
3	4,60	16,6	7,5
9	0,80	2,2	2,2
15	0,30	0,6	0,8
21	0,21	0,4	0,4
> 21	4,5/n	0,3	0,4
Pares			
2	2,16	10,0	10,0
4	0,86	2,5	3,8
6	0,60	1,0	1,5
8	0,46	0,8	0,5
10	0,37	0,8	0,5
12	0,31	0,4	0,5
> 12	3,68/n	0,3	0,5
TDTI (en %)	-	20,0	12,0

Como mitigar armónicos

Tensión & Corriente Armónica

Como mitigar armónicos

Como mitigar Armónicos

Filtros activos

➤ Filtros activos

- ✓ Permite filtrar armónicos en forma automática o manual.
- ✓ Puede compensar FP a 1.
- ✓ No hay riesgo de incendios (resonancia).

¿Como funciona un filtro activo Accusine?

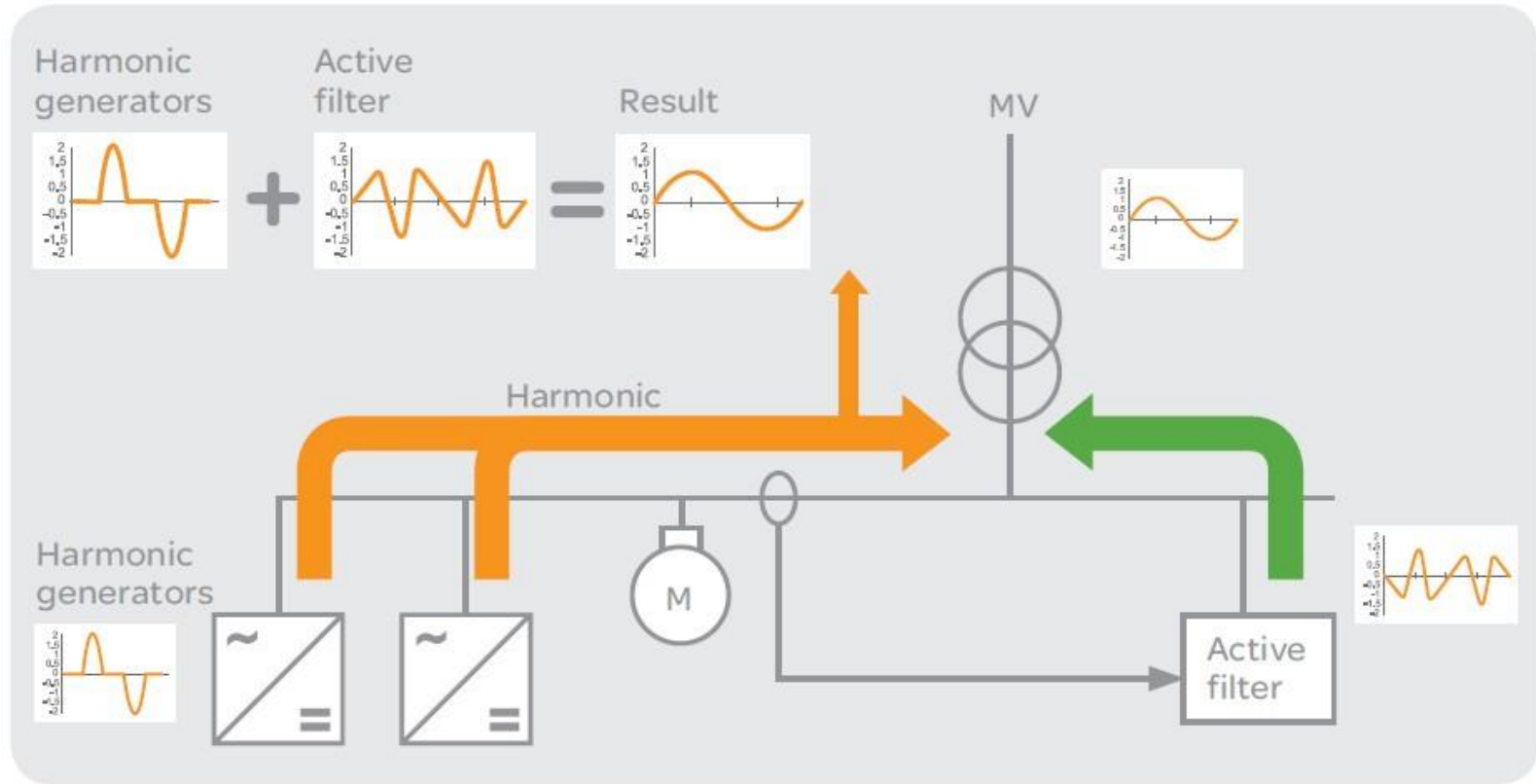
Filtros activos



¡El mismo principio que la cancelación de ruido acústico!

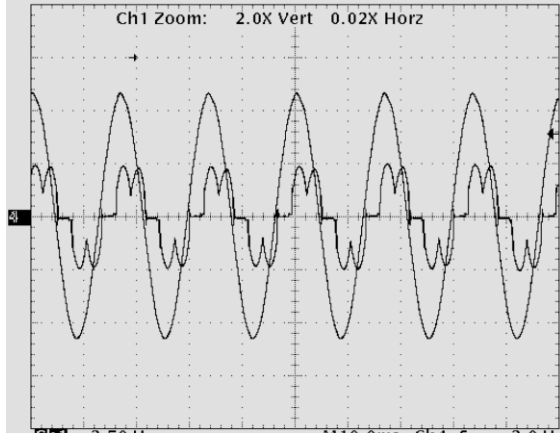
Como mitigar Armónicos

Filtros activos

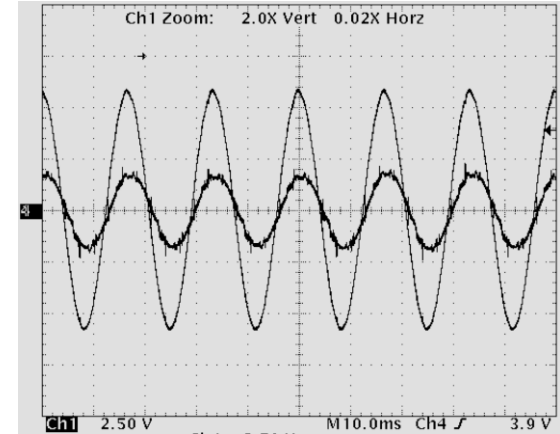


Como mitigar Armónicos

Filtros activos



Filtro ON



Como mitigar Armónicos

Filtros activos – Accusine

Conclusiones

Armónicos & Eficiencia

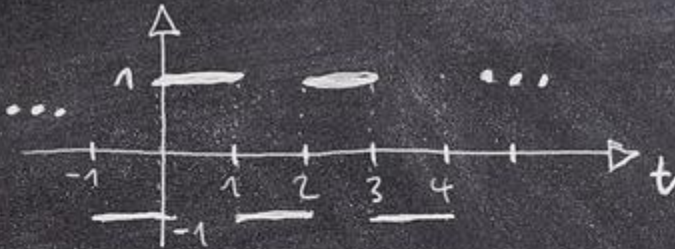
Conclusiones

Conclusiones

Armónicos & Eficiencia

- ✓ Los armónicos están cada vez mas presentes en toda instalación.
- ✓ Los armónicos vinieron para quedarse y son la contracara de la eficiencia descontrolada.
- ✓ Hay que buscar la causa raíz de los problemas.
- ✓ No sirven las soluciones estándar.

Preguntas?



$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cdot \cos\left(\frac{n\pi t}{L}\right) + b_n \cdot \sin\left(\frac{n\pi t}{L}\right) \right]$$

$$= a_0 + a_1 \cdot \cos\left(\frac{\pi t}{L}\right) + b_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi t}{L}\right) + a_2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{L}\right) + b_2 \dots$$

GRACIAS

$$a_0 = \frac{1}{2L} \int_{-L}^L f(t) dt = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 f(t) dt$$



$$N=2 \Rightarrow L=1 \quad a_n \approx \frac{1}{n^2}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \int_{-1}^0 f(t) dt + \frac{1}{2} \int_0^1 f(t) dt \\ &= \frac{1}{2} \int_{-1}^0 1 dt + \frac{1}{2} \int_0^1 1 dt \end{aligned}$$

Ing. Damian E. Lopez Gentile

$$\begin{aligned} a_n &\longrightarrow a(\omega) \\ b_n &\longrightarrow b(\omega) \end{aligned}$$