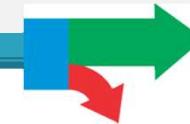


OCT 2023

EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICADA

BAJANDO COSTOS MEDIANTE EL AHORRO DE ENERGÍA



*Guía práctica para un ahorro real
en el consumo eléctrico*



Nubemotic Energía

Lo que vamos a abordar

- Problemática actual de la Energía
- Conceptos sobre la Eficiencia Energética
- Producir ahorro de energía
- Control del ahorro logrado
- Enfoque integral para la Eficiencia Energética
- La problemática de la distorsión armónica
- Otros efectos no deseados
- Detección de pérdida de calor





La demanda de energía mundial aumenta inexorablemente



El impacto ambiental se hace evidente



El impacto Social se agrava



Introducción a la Eficiencia Energética – Problemática

El costo de la energía estará en constante aumento

- La oferta tradicional disminuye



- Petróleo y gas más caro
- Problemática con el agua (Clima)
- Energía atómica con reparos para el desarrollo

- Las energías renovables tienen mayor costo de producción

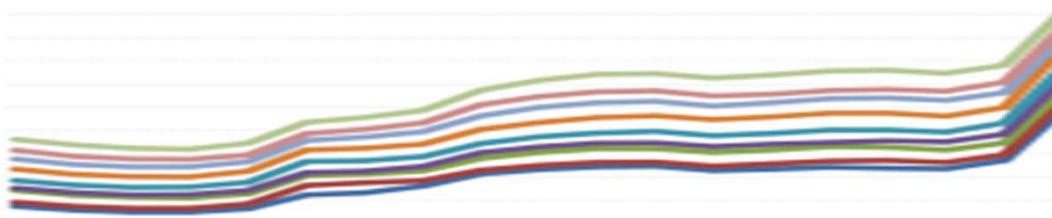


Introducción a la Eficiencia Energética – Problemática

La demanda energética se duplicará en 20 años

El sector de la electricidad en América Latina experimentará un incremento sustancial en las próximas dos décadas. Hasta 2040, la demanda crecerá a un ritmo medio de entre el 2,7% y el 3,6% anual y serán necesarios entre 2.800 y 3.500 TWh (Teravatios/hora), cifra que prácticamente duplica la actual.

*(informe *The Energy Path of Latin America and the Caribbean*, ha publicado recientemente por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).*



LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN AMÉRICA LATINA

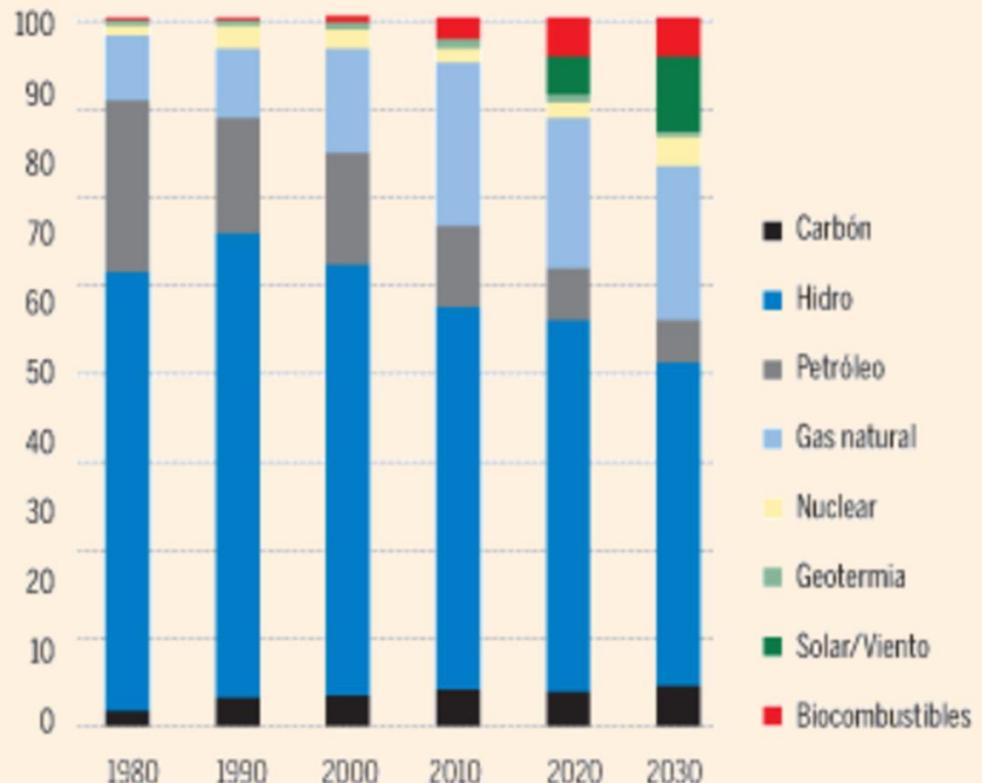
› La demanda aumenta

Incremento anual previsto de la demanda de electricidad entre 2016 y 2040. En %.



› Cambios en la matriz

Matriz de la generación de electricidad en América Latina entre 1980 y 2030. En porcentaje.



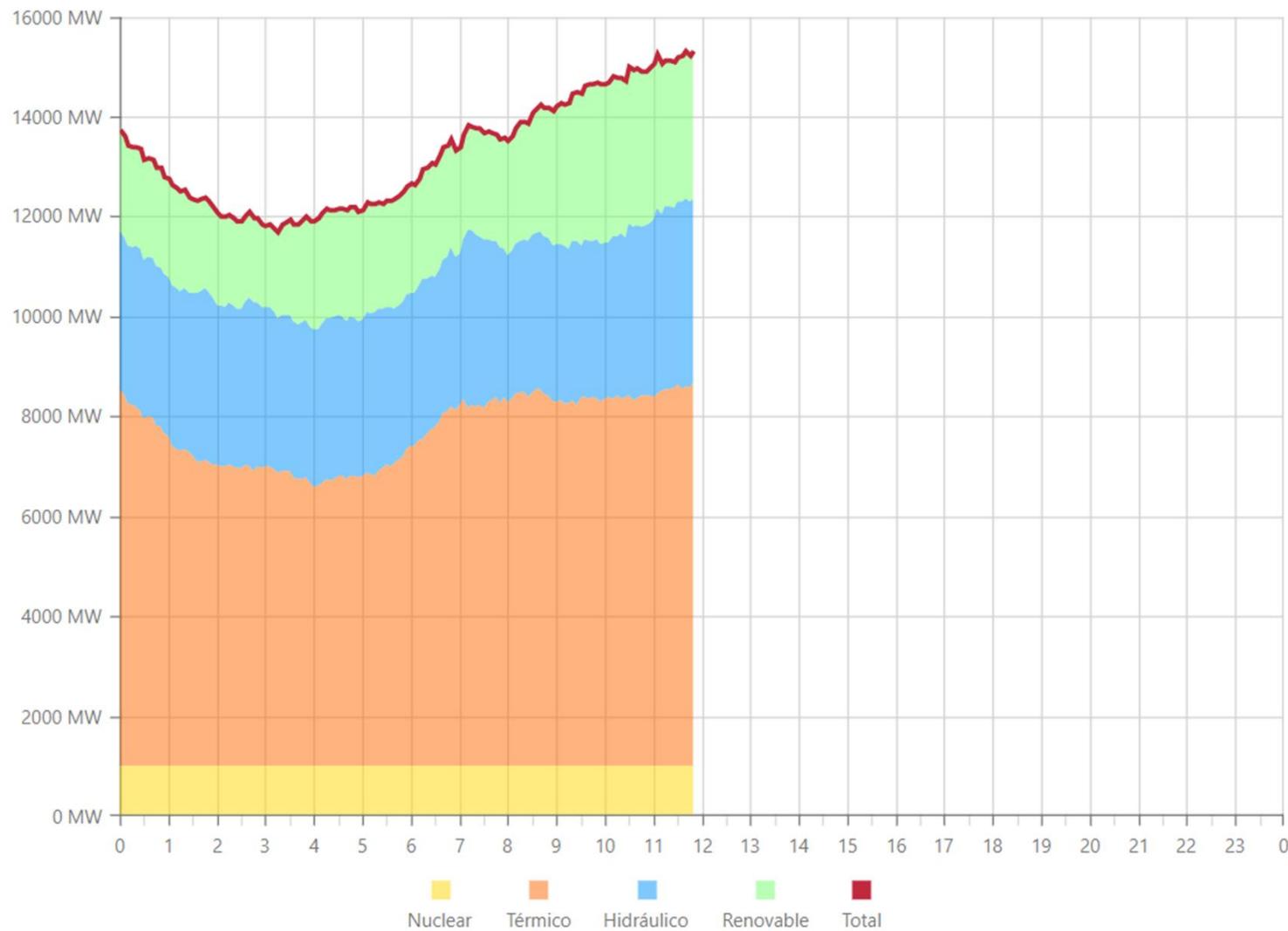
Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo

Expansión

Pero...»La historia son las consecuencias no previstas de los actos planeados»



Generación hoy en Argentina (fuente: CAMESA)





Estimación de las pérdidas por ineficiencia

20 al 30%



Introducción a la Eficiencia Energética

Qué es la Eficiencia?

Lograr las metas con la menor cantidad de recursos, dicho de otra manera:

ahorrar o reducir los recursos al mínimo
logrando los mismos objetivos



METAS



RECURSOS



Introducción a la Eficiencia Energética – Objetivos Generales

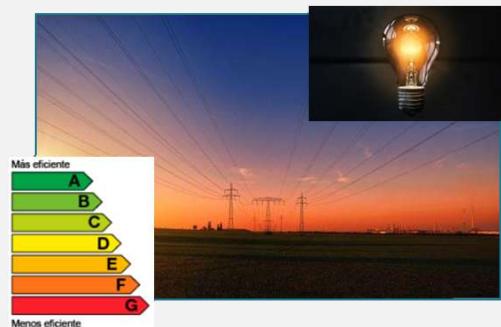
 **Demanda de energía**

 **Impacto ambiental**

 **Impacto Social**

 **Productividad**

 **Confort**



Sobre las acciones para aplicar la eficiencia energética

Hay situaciones que no podemos cambiar, no están a nuestro alcance.

Hay situaciones que podemos mejorar pero tendremos un impacto económico y loharemos por filantropía

Pero hay acciones que están a nuestro alcance y reducirán nuestros costos

y a su vez, contribuiremos a preservar el medio ambiente...



Introducción a la Eficiencia Energética – Objetivos Particulares



Disminuir la energía consumida



Mantener la Productividad

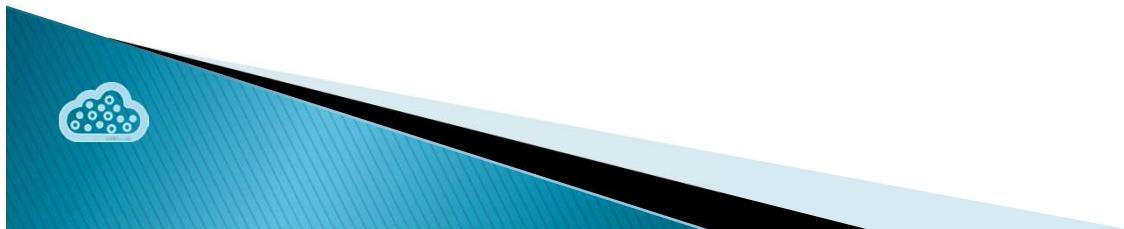
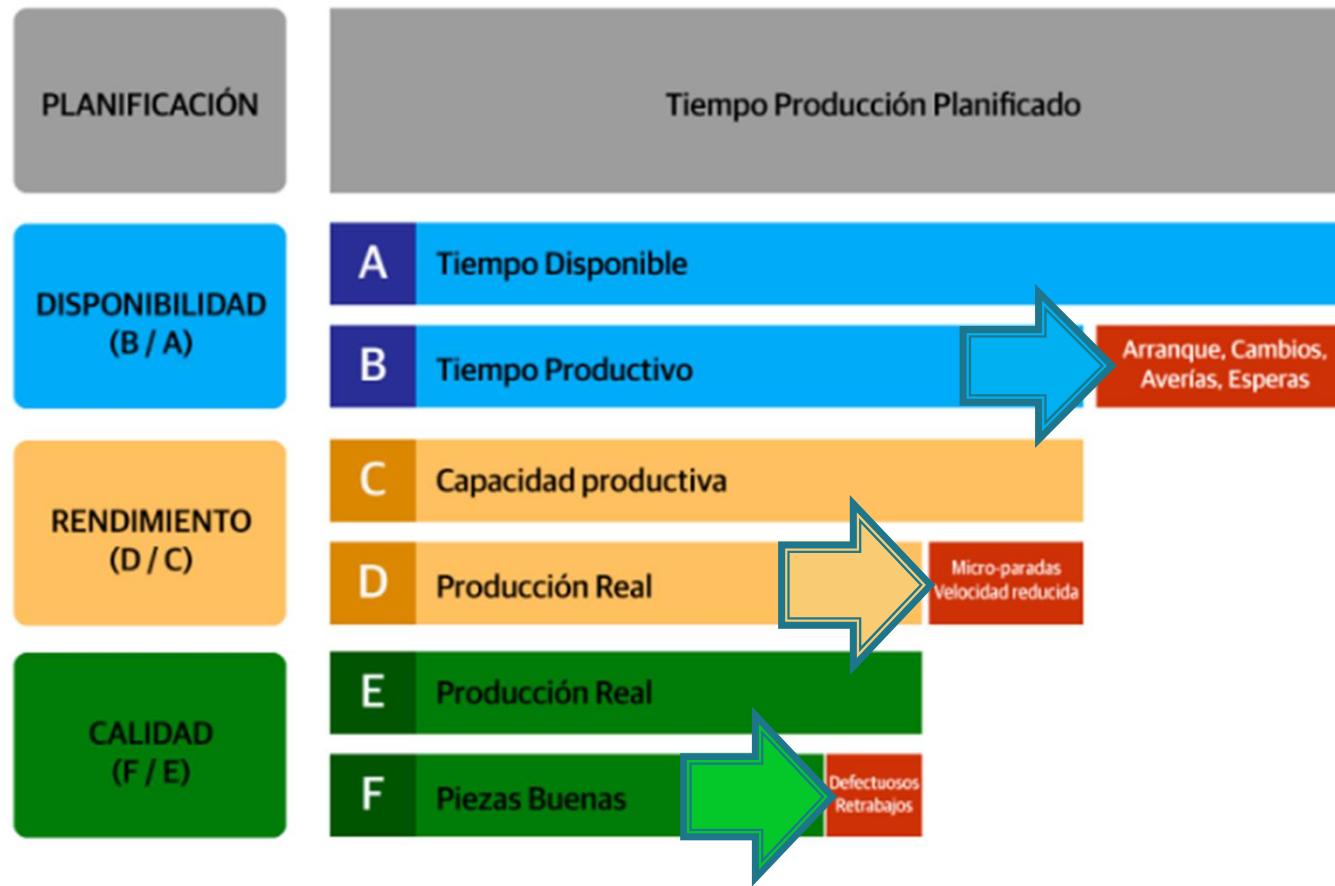


Mantener el Confort

***CONSIDEREMOS LA ENERGÍA COMO UN
INSUMO, NO COMO UN SERVICIO
Bajar el consumo es bajar costos***

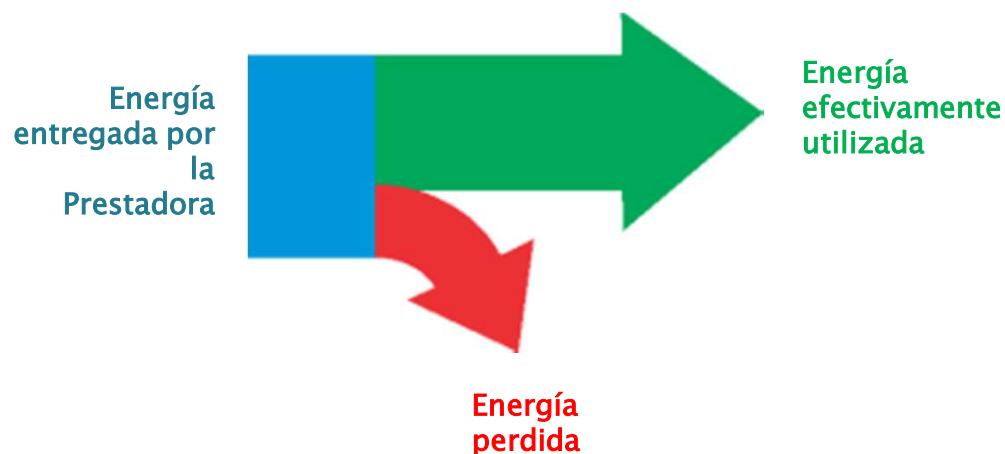


Ahorro de energía. Primeros pasos



Qué es el rendimiento energético

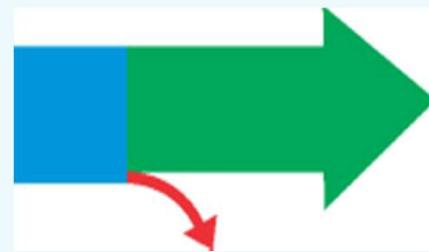
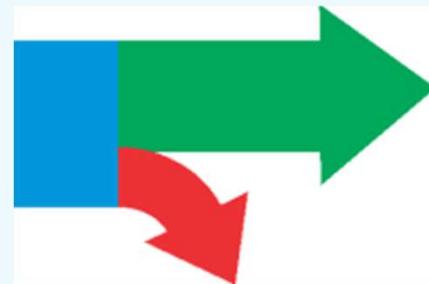
Consideramos el rendimiento como la relación entre la energía que requerimos a la prestadora de servicio y lo que efectivamente utilizamos en nuestro proceso productivo o comercial



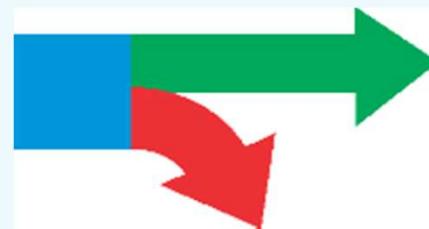
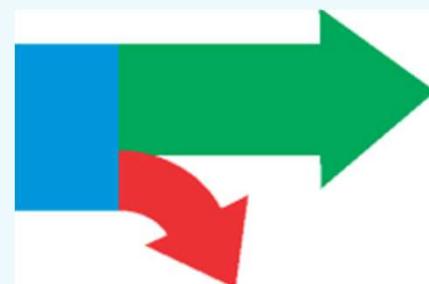
Ahorro de energía. Líneas de acción

Oportunidades de ahorro

Energía disipada



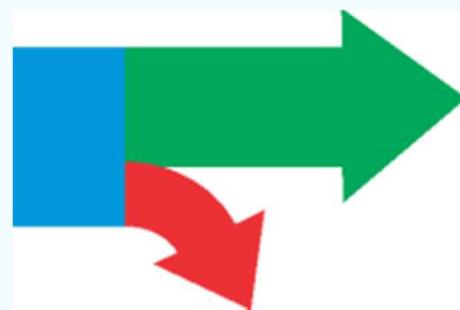
Energía útil mal gastada



Ahorro de energía. Objetivo final

Resultados esperados aplicando las
Acciones de ahorro energético

ANTES



DESPUÉS



Ahorro de energía. Clasificación de las acciones

- Bajo costo de implementación. Obras nuevas
- Bajo costo de implementación. Correcciones
- Costos de amortización razonables
- Altos costos de implementación, beneficios a largo plazo
- Altos costos con dudoso beneficio real



Ahorro de energía. Primeros pasos

Primer Paso al ahorro. Evaluación superficial

Revisión de planos eléctricos y facturas eléctricas

Clasificación de los equipos según la energía consumida

Detección de consumos con evidente factibilidad de mejora



Ahorro de energía. Primeros pasos

Segundo Paso al ahorro. Evaluación Exhaustiva

Ciclo de Mediciones

Tablero Principal – Tableros Secundarios – Máquinas específicas



Evaluación detallada. Análisis y búsqueda de energías
dissipadas y mal gastadas



Ahorro de energía. Primeros pasos

Tercer Paso al ahorro

Clasificación de las correcciones

Bajo costo, de implementación inmediata

Con costos de amortización razonables

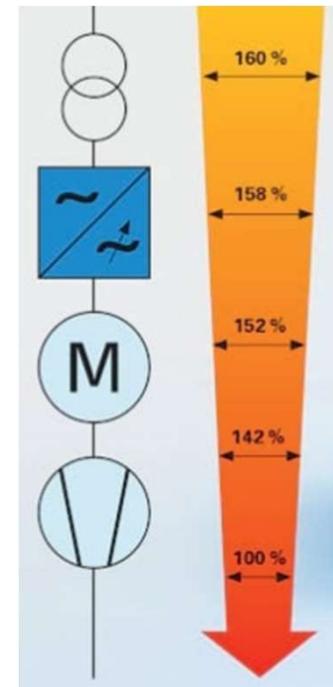
Con costos de amortización en el
largo plazo



Ahorro de energía. Primeros pasos

Cuarto Paso al ahorro

Ejecución



Ajuste de tarifa eléctrica acorde
Power Factor
Corrientes de neutro
Puestas a tierra
Conductores y aislaciones
Automación de equipos
Accesorios de arranque de fza motriz
Energías alternativas
Maquinaria bajo rendimiento



POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

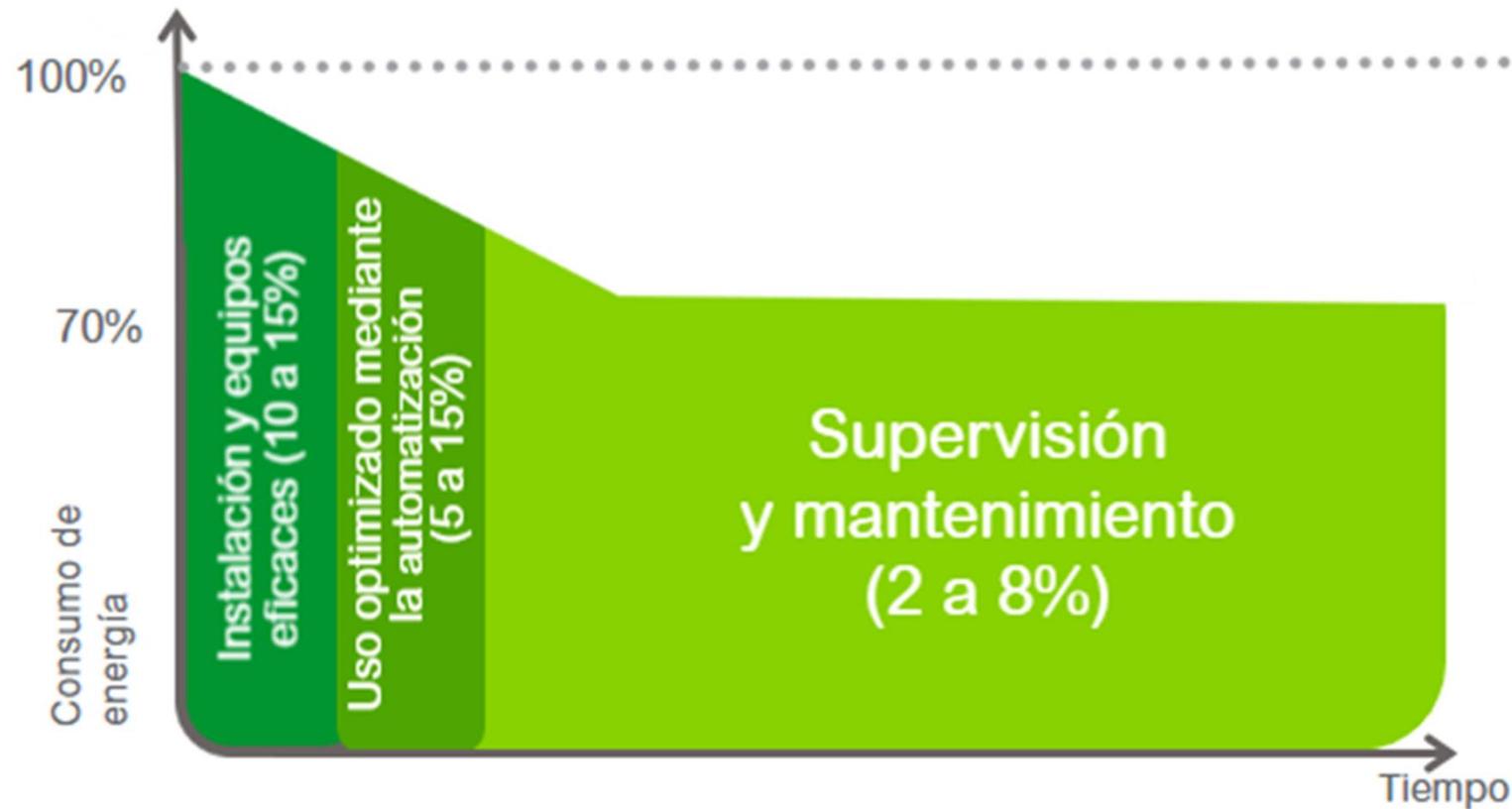
- Conocer y medir los consumos de nuestros equipos para encontrar las oportunidades de ahorro de energía
- Imponer hábitos de consumo e identificar a los usuarios por su consumo
- Desconectar la energía de los elementos fuera de su horario útil

Algunos datos

- El rendimiento de una máquina disminuye por el desgaste.
- La Maquinaria importada frecuentemente no incorpora los elementos de ahorro energético obligatorias en otras partes del mundo (IEC 61000-3-2).

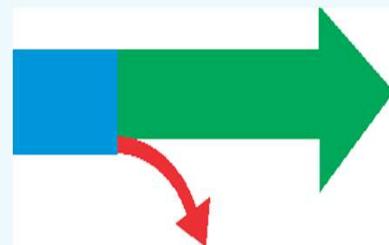
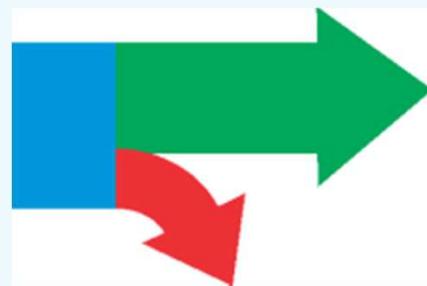


POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA



Fuente Schneider Electric 2022

Ahorro de energía. Líneas de acción

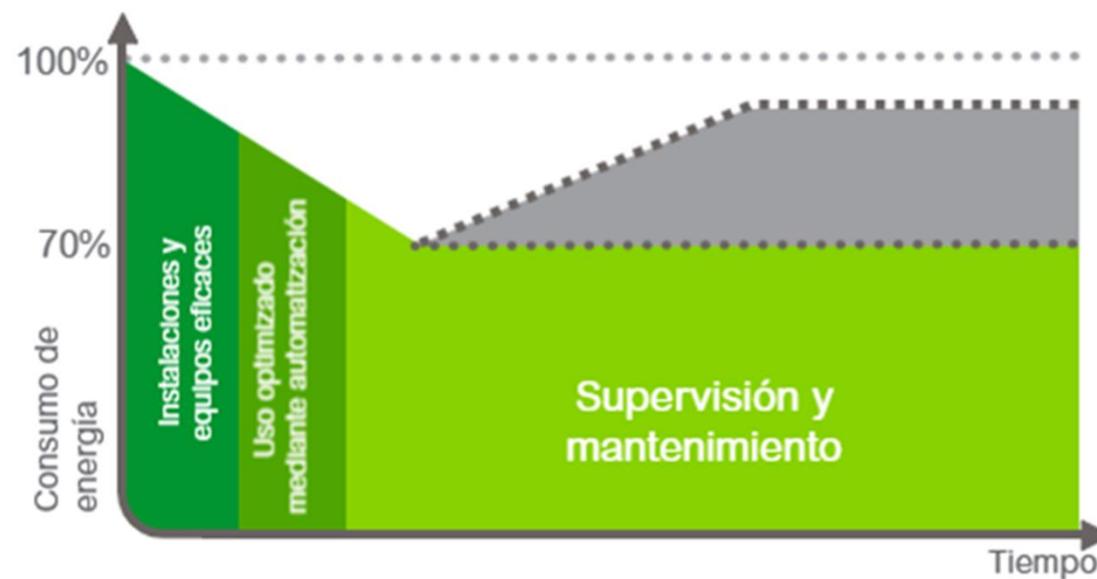


Lo logramos!...y ahora qué?



POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

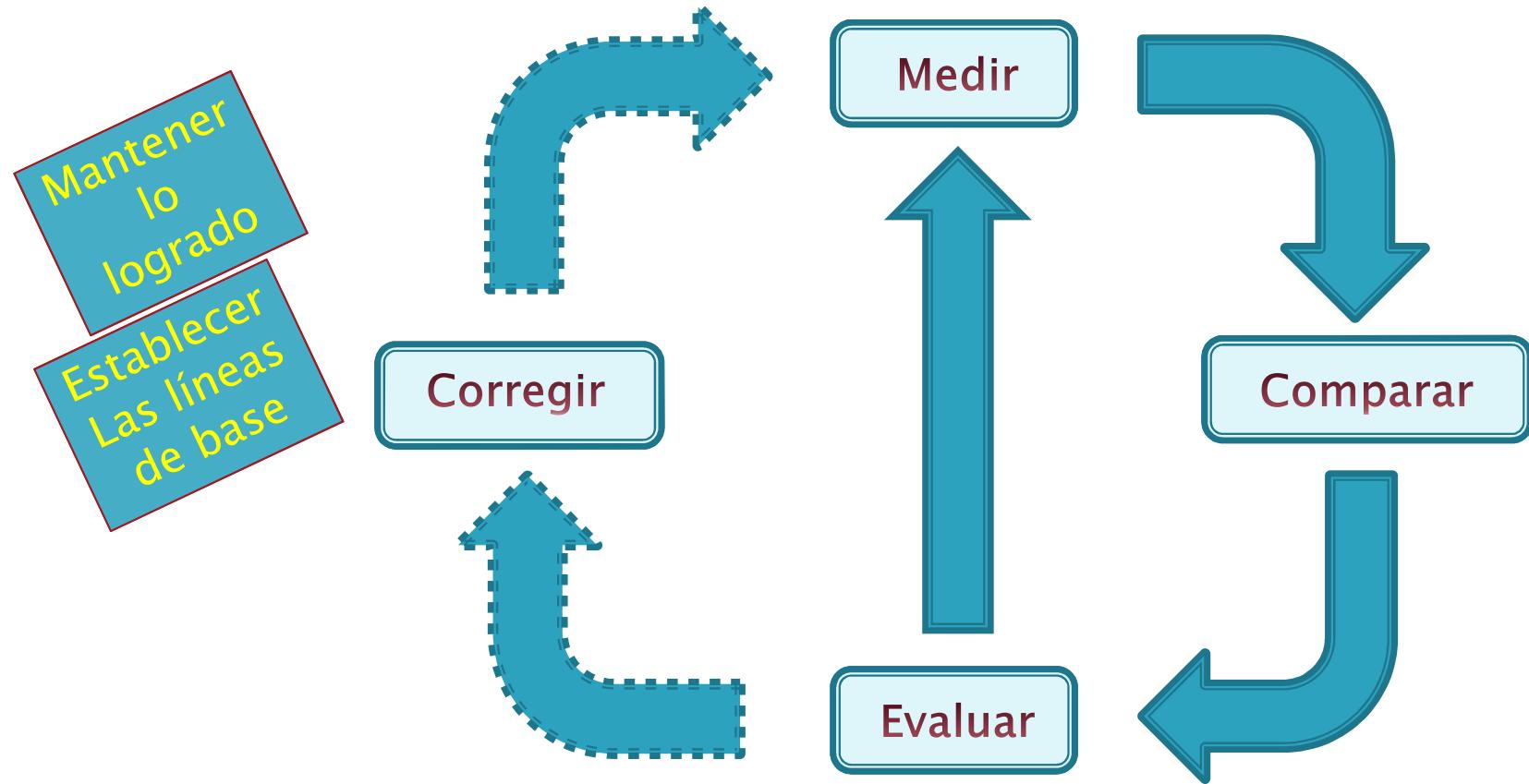
- Las paradas no planificadas e incontroladas
 - Costosas, en términos energéticos
- Ausencia de automatización y regulación



Cada año se pierde hasta un 12% sin sistemas de control y regulación en áreas como los motores y la calefacción

Fuente Schneider Electric 2022

Ahorro de energía. Líneas de acción

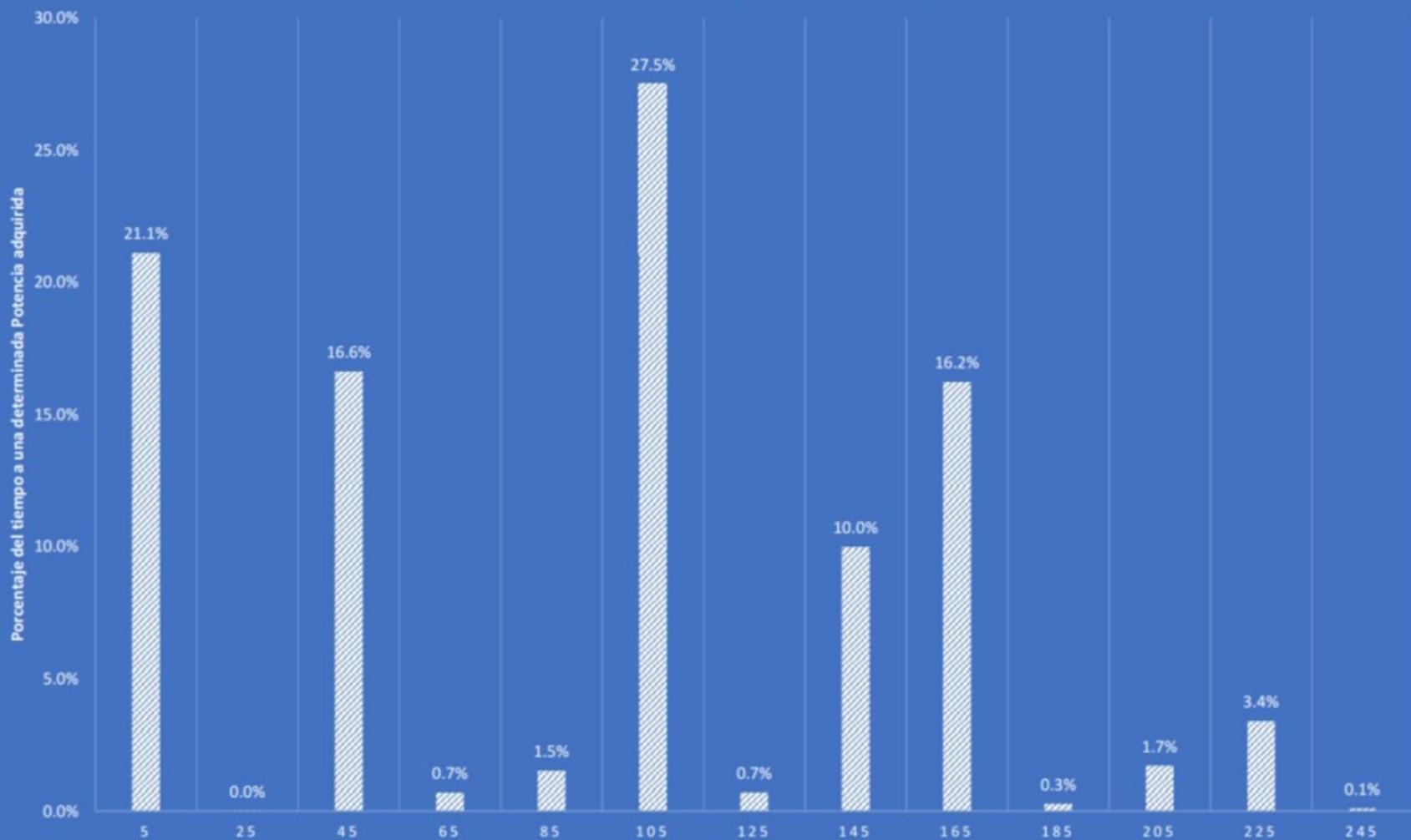


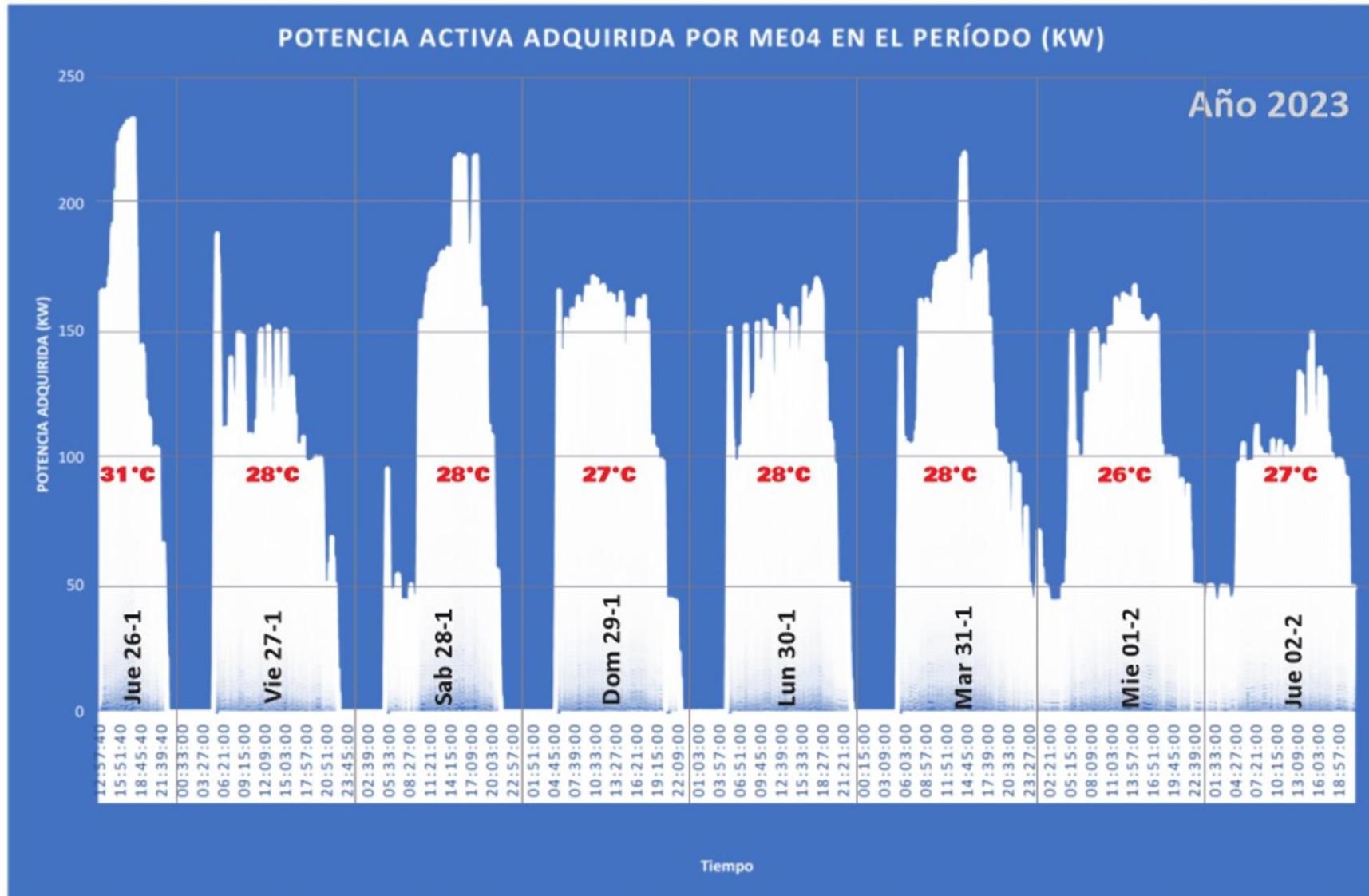
Monitorizar es la mejor herramienta de diagnóstico

«La historia son las consecuencias no previstas de los actos planeados»



% DEL TIEMPO A DIFERENTES POTENCIAS ADQUIRIDAS EN EL PERÍODO





Ahorro de energía. Líneas de acción

Preguntas más frecuentes:

Entonces, necesito personal especializado y permanente para recabar la información y los datos?

No, hay elementos de medición que registran los consumos las 24Hs. Los registros pueden estar en línea para la auditoría permanente

Como puedo saber si todavía puedo ahorrar más?

La auditoría permanente puede analizar los patrones de energía y sugerir cambios o correcciones en la metodología de trabajo o maquinaria para bajar costos. Cuanto mas largo sea el período de medición mas evidentes serán las oportunidades de ahorro



Ahorro de energía. Líneas de acción en Europa



Uno de los objetivos de la política ambiental de la Unión Europea es **reducir significativamente sus emisiones de gases de efecto invernadero** y sus niveles de consumo de energía para este 2020. De hecho, como parte de su estrategia “20/30-20-20”, la UE se ha comprometido a lograr tres puntos clave:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero hasta en un 30%,
 - Aumentar la proporción de energía renovable al 20%,
 - Aumentar la eficiencia energética en un 20% en general.

Como parte de su plan, la UE diseñó el **Reglamento (CE) 640/2009**, en el que se establecen los **requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos y los variadores de velocidad de conformidad con la Directiva 2009/125/CE** del Parlamento Europeo. Tras diversas obligaciones legales relativas a la eficiencia de los motores en 2011 y 2017, el octubre de 2019 entró en vigor un nuevo reglamento que derogaba el anterior, el Reglamento (UE) 2019/1781 de conformidad con la misma directiva ya citada.

Esta nueva normativa se desarrollará en dos fases, en las que los motores IE3 e IE4 se convertirán, prácticamente, en un estándar:

- **A partir del 1 de julio de 2021**, los motores trifásicos con una Pn entre 0,75 – 1.000 kW, con 2, 4, 6 u 8 polos, que no sean motores «Ex eb», serán de al menos eficiencia IE3 o cumplirán el nivel de eficiencia IE2 y estarán equipados con un control electrónico de velocidad. Además, los motores trifásicos con una Pn entre 0,12 – 0,75 kW, con 2, 4, 6 u 8 polos, que no sean motores «Ex eb», serán de al menos eficiencia IE2.
- **Del 1 de julio de 2023 en adelante**, por un lado, los motores de seguridad aumentada «Ex eb» con una Pn entre 0,12 – 1.000 kW, con 2, 4, 6 u 8 polos, y motores monofásicos con una Pn igual o superior a 0,12 kW, serán de al menos nivel de eficiencia IE2. Por otro lado, los motores trifásicos que no sean motores-freno, motores «Ex eb» u otros motores protegidos contra explosión, con una Pn entre 75 – 200 kW, con 2, 4 o 6 polos, serán de al menos nivel de eficiencia IE4.



Ahorro de energía. Líneas de acción

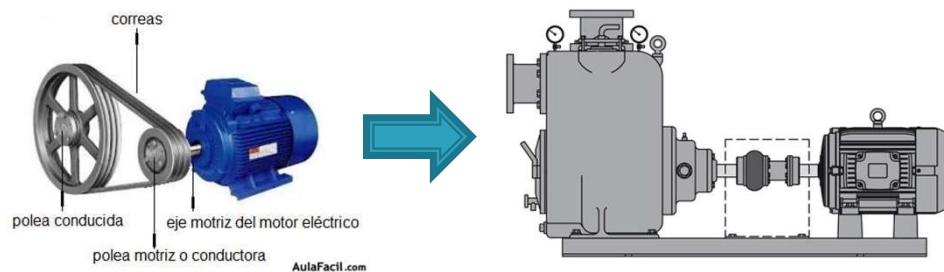


Un enfoque integral para la eficiencia del sistema

Además de seleccionar un motor eficiente, hay otros dos enfoques que hay que tener en cuenta para reducir el consumo de energía del sistema: controlar la velocidad con una tracción variable en lugar de una válvula reguladora mecánica, y llevar a cabo una optimización general del mismo.

Para aumentar de manera efectiva la eficiencia de un sistema, por tanto, no es suficiente con reemplazar componentes individuales con productos más eficientes; el sistema debe considerarse como un todo. Los resultados óptimos solo se pueden lograr en la interacción perfecta de todos los componentes y seleccionando la solución de automatización adecuada para la aplicación en cuestión.

“El enfoque integral también significa la necesidad de un análisis integral del consumo de energía de todo el sistema y de sus componentes, de manera que se puedan identificar brechas de eficiencia y se proceda a solucionarlas con las herramientas más adecuadas”, comenta el responsable de Eaton Iberia. “El Reglamento que entrará en vigor el año que viene es la base, pero tanto los fabricantes como los instaladores y la propia industria tenemos que buscar ir un paso más allá para implantar la directiva con éxito para el



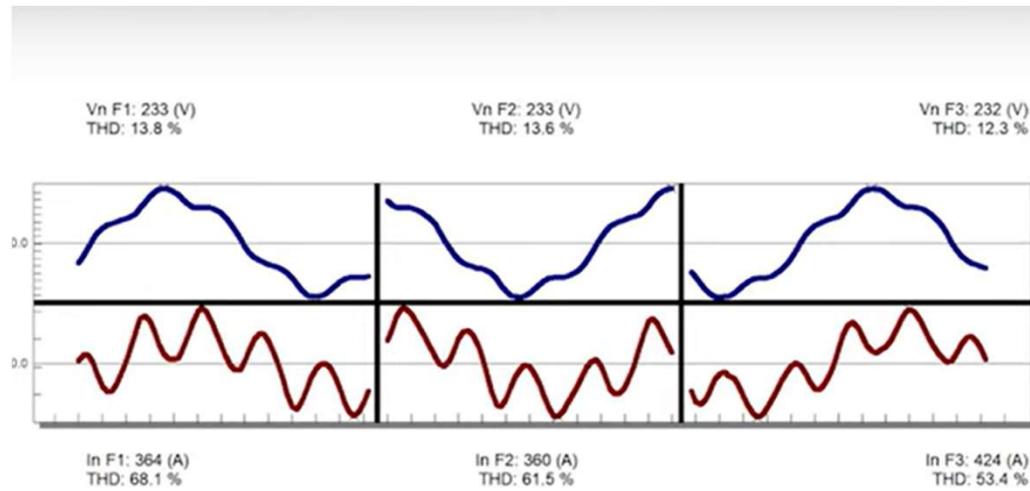
Capetas

$W=QP$



LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

El problema que llegó para quedarse



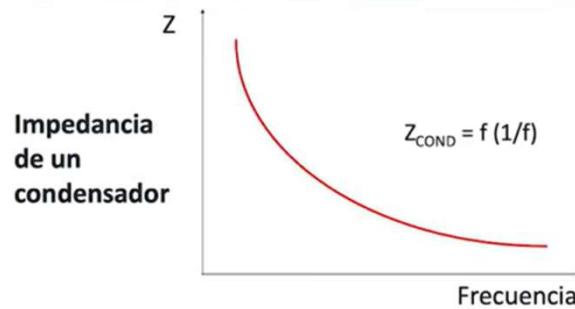
Problemas de la Distorsión Armónica

Sobre la corriente:

- Corrientes en el neutro especialmente la 3º armónica (homopolar) donde se suma el aporte de cada fase. Calentamientos, salto de protecciones, corte de neutro.
- Aumento de pérdidas, especialmente en el hierro, las pérdidas aumentan con frecuencias mas elevadas. Baja calidad de suministro y aumento de temperatura.
- Aumenta la probabilidad de salto de disyuntores (tipo B).

Sobre la tensión

- Fallas en cargas sensibles: PLC, sistemas electrónicos de control, etc. (**>5% IEEE-519**)
- Sobrecarga en los capacitores de corrección de FP (mas frecuencia, menor impedancia a estas frecuencias) Un **2%** ya los empiezan a afectar.
- Peligros de resonancia (amplificación de armónicos) en el caso que el orden de resonancia del sistema (n) se encuentre cerca de algunas de las frecuencias armónicas:



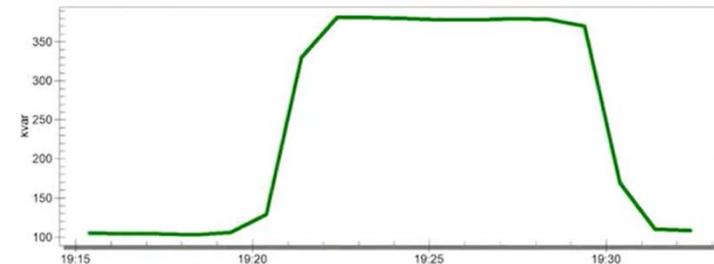
$$n = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$$

Dónde **S_{cc}** : Potencia de cortocircuito y **Q** : Potencia reactiva de los capacitores.

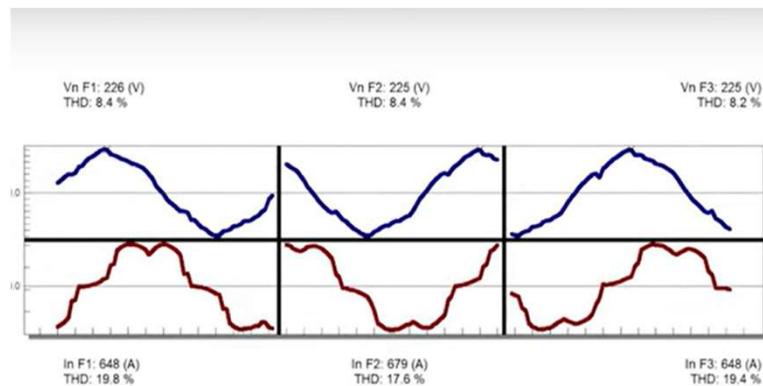


Problemas de la Distorsión Armónica

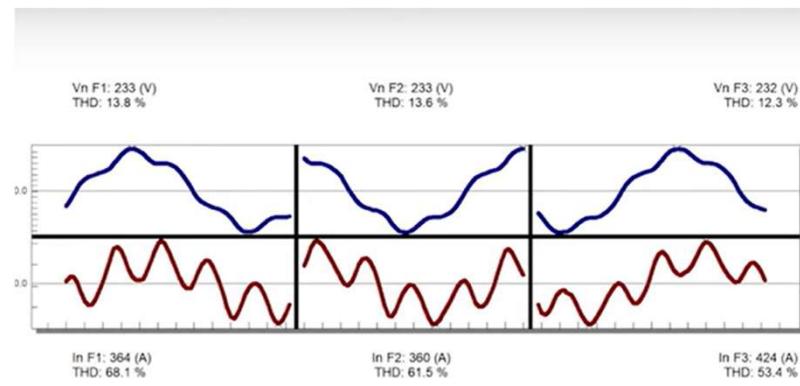
Sistema con y sin el Banco de capacitores conectado



Potencia reactiva inductiva trifásica



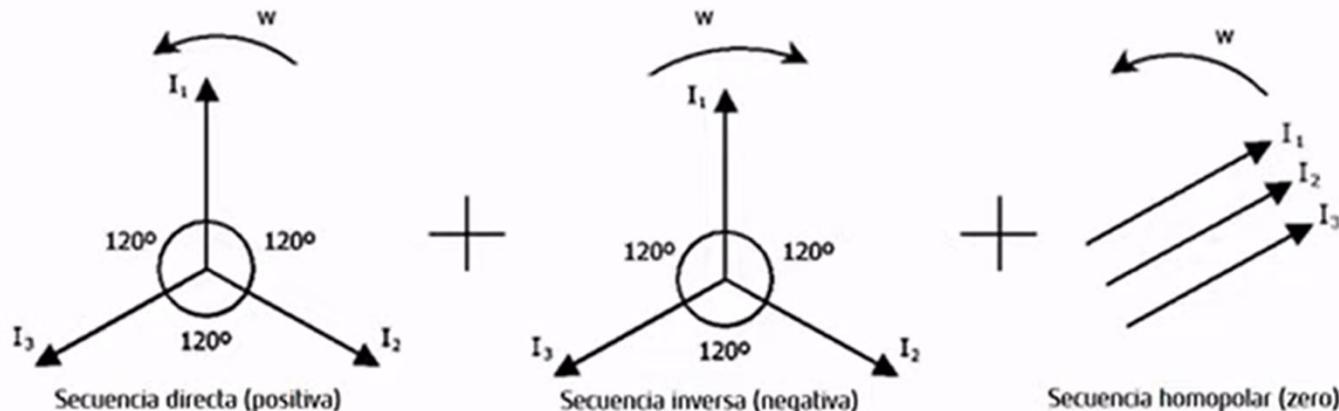
Sin el banco de capacitores



Al conectar el banco de capacitores
Amplificación del 5º Armónico
Alta corriente en capacitores y altas perdidas en transformador de alimentación



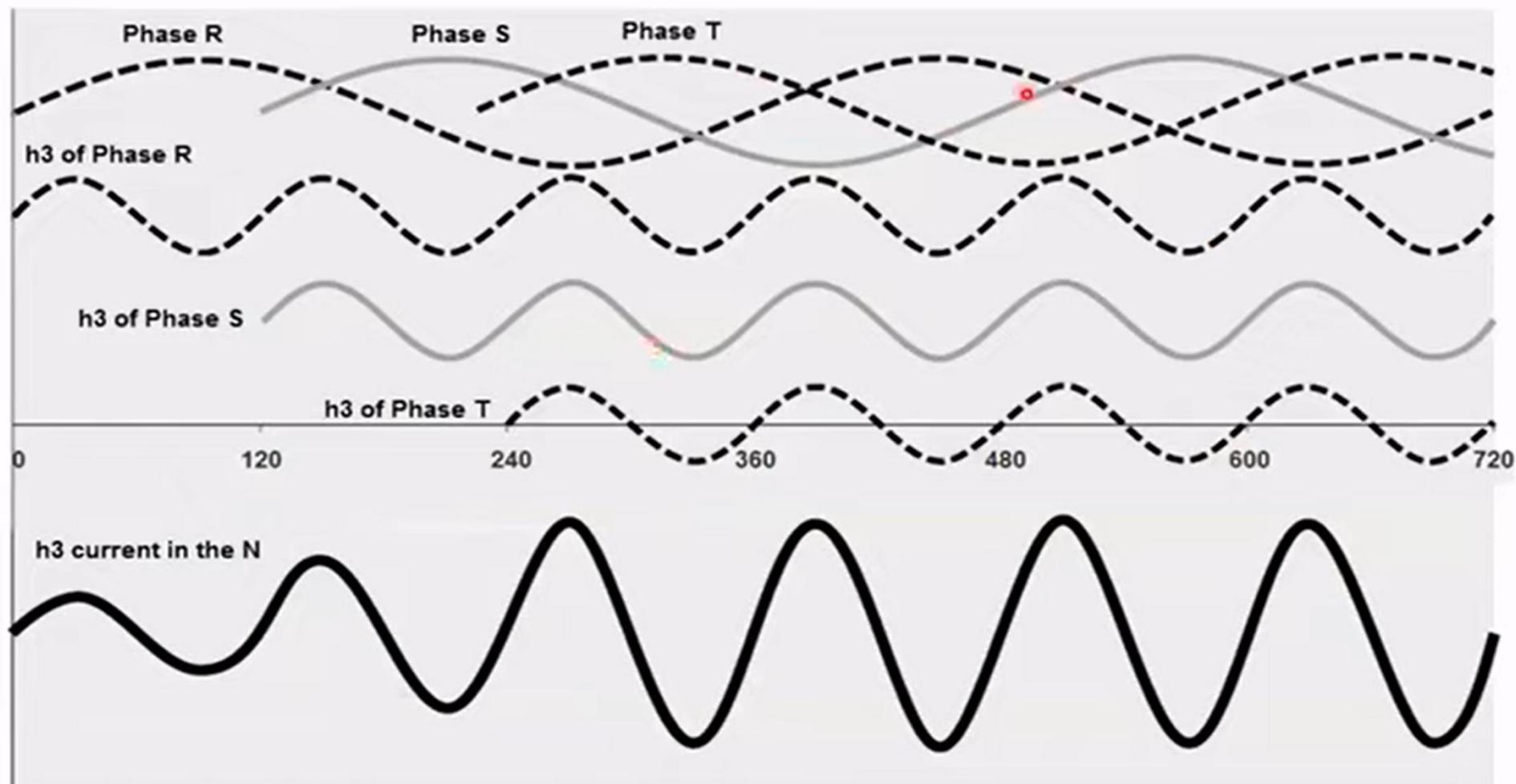
Armónicos Tipos de armónicos



Secuencia					
Positiva		Negativa		Homopolar	
Armónico	Frecuencia	Armónico	Frecuencia	Armónico	Frecuencia
1	50 Hz	2	100 Hz	3	150 Hz
4	200 Hz	5	250 Hz	6	300 Hz
7	350 Hz	8	400 Hz	9	450 Hz
10	500 Hz	11	550 Hz	12	600 Hz
13	650 Hz	14	700 Hz	15	750 Hz
16	800 Hz	17	850 Hz	18	900 Hz
19	950 Hz	20	1000 Hz	21	1050 Hz
22	1100 Hz	23	1150 Hz	24	1200 Hz



Armónicos Homopolares



La tasa de distorsión armónica total (THD):

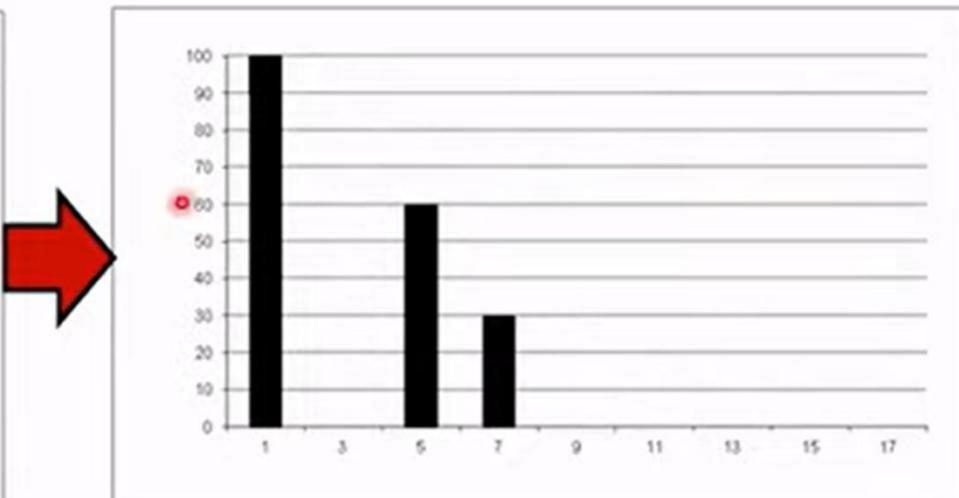
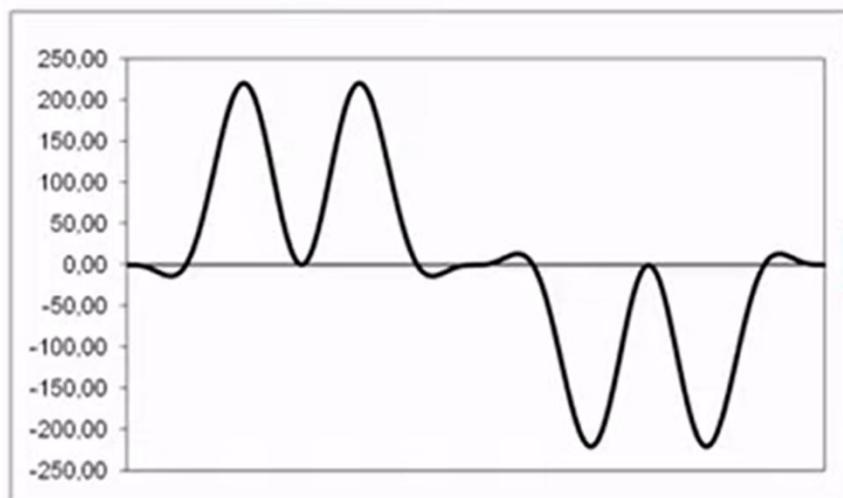
- Relación entre: suma de armónicos vs valor fundamental:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \cdot 100 \text{ (%)}$$

$$THD_U = \frac{\sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \cdot 100 \text{ (%)}$$

Armónicos Interpretación

La forma de mostrar la cantidad de armónicos es mediante el espectro.



Dominio del tiempo

Dominio de la frecuencia
(Espectro)

"Como más alta es la frecuencia más pequeña es la amplitud. Por eso los armónicos más importantes son los primeros (3,5,7,9...)"



Interarmónicos de corriente

Las frecuencias de estas ondas no son múltiplo natural de las ondas de tensión o de corriente fundamental.

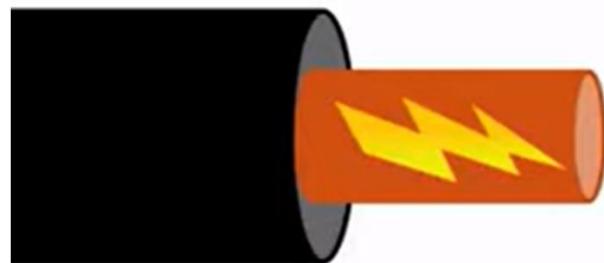
- **Variaciones bruscas en la corriente**
- **Comutación asíncrona de los dispositivos semiconductores de los convertidores estáticos**

EFECTOS

Aumento de calor producido por el efecto Joule, oscilaciones no deseadas de frecuencia baja en sistemas mecánicos y torsionales en máquinas eléctricas, saturaciones en los transformadores de corriente, y el fenómeno «Flicker»

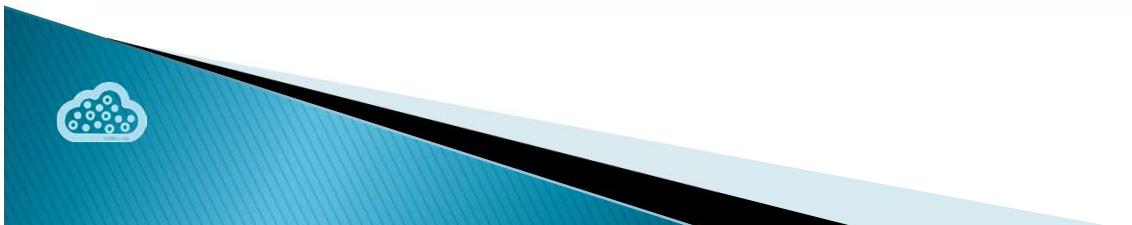


Armónicos Efecto en los conductores



Circulará una mayor corriente eficaz

$$I_{RMS} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots + I_n^2}$$



Armónicos Efecto en los conductores

Efecto pelicular (Skin effect):



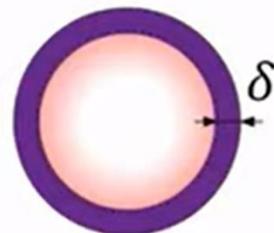
Área disponible para conducir CC.



Área disponible para conducir CA de baja frecuencia



Área disponible para conducir CA de alta frecuencia



Armónico	Freq. (Hz)	Profund. (mm)
3 rd	150	5,38
5 th	250	4,18
7 th	350	3,52
11 th	550	2,81
13 th	650	2,58

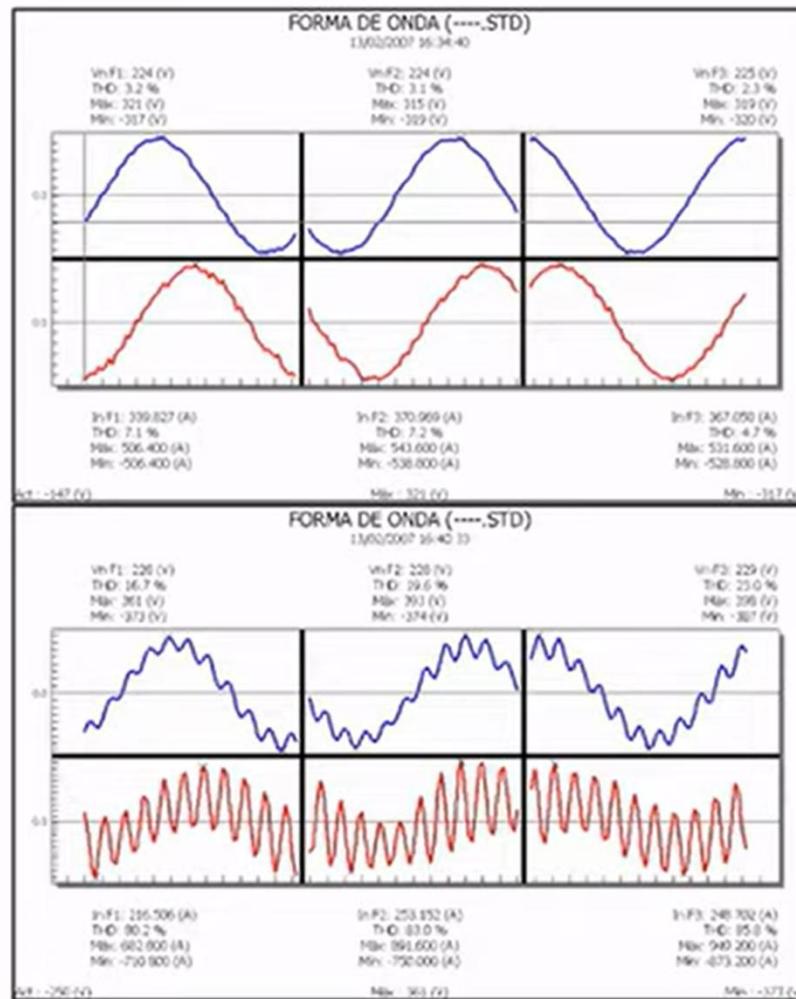
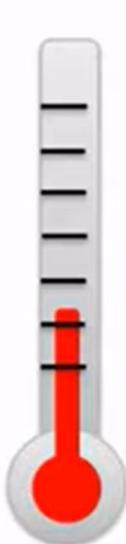
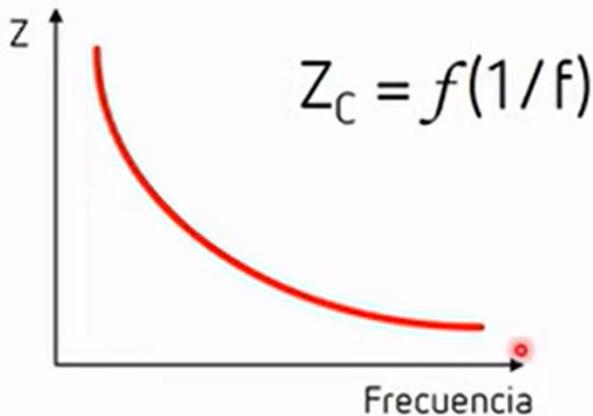
$$\delta = \frac{1}{2 \times \pi} \sqrt{\frac{\rho \times 10^5}{f}} = \frac{1}{2 \times \pi} \sqrt{\frac{1,72 \times 10^5}{50}} = 9,32 \text{ mm}$$

ρ : Resistividad del cobre en $\mu\Omega \cdot \text{cm} = 1,72 \mu\Omega \cdot \text{cm}$



Armónicos

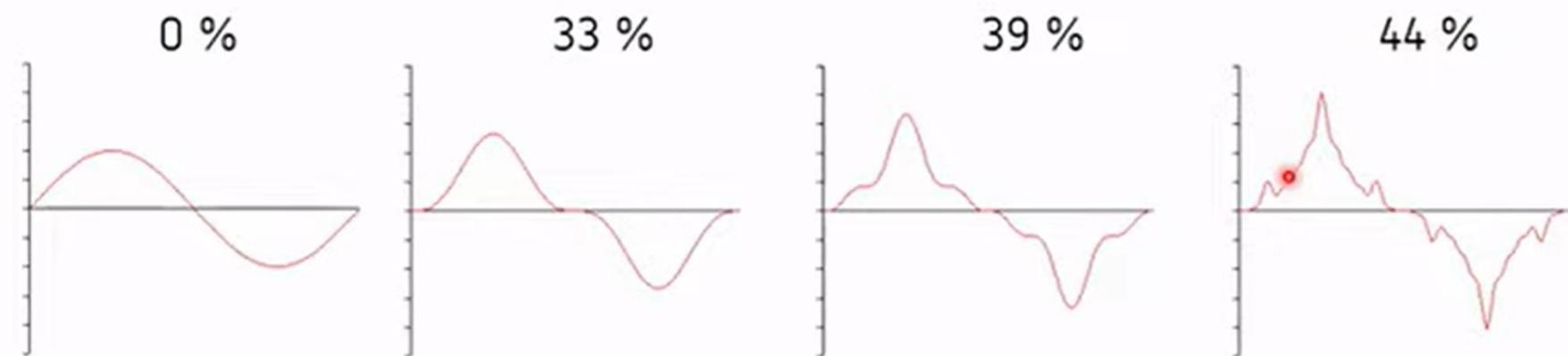
Efecto en los condensadores



Armónicos

Efecto en las protecciones

Distorsión armónica total en corriente THD_I



Pico 100 %

133 %

168 %

204 %

RMS 100 %

105 %

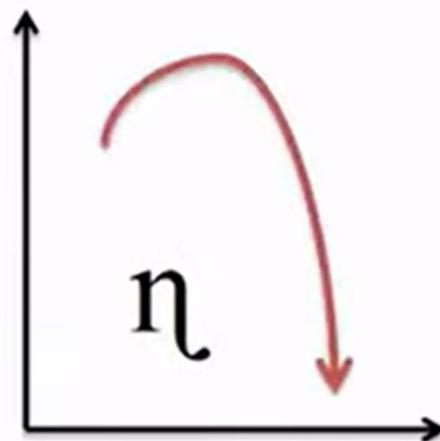
108 %

110 %

- Incremento del valor eficaz (RMS)
- Modificación del valor de pico de la forma de onda



Armónicos Efecto en motores eléctricos



Pérdida de rendimiento
Pérdida de Par
Vibraciones en el eje,
Desgaste mecánico en rodamientos



Armónicos

Efecto en transformadores



- Sobrecalentamiento en los conductores por efecto Joule:

$$P_{CU} = R \cdot I_{RMS}^2 = R \cdot I_1^2 + \textcolor{red}{R} \cdot \sum I_h^2$$

- Sobrecalentamiento por las perdidas en el hierro:

$$P_{Fe} = P_{Focault} + P_{Histéresis}$$



Armónicos Efecto en sistemas de control

Sistemas de Control: PLC's:

- Mediciones incorrectas
- Errores en procesos de control
- Interferencias en comunicaciones y control



Armónicos

Instalaciones potenciales

Cargas no lineales

Instalaciones que tengan:

- Máquinas de climatización → Cualquier tipo de instalación
- Cámaras frigoríficas → Supermercados
- Sistemas de bombeo → Estaciones de bombeo, industria
- Sistemas de automatización y control → Industria
- Gran proporción de equipos de ofimática o iluminación LED → Oficinas, centros comerciales
- Variadores de velocidad → Industria
- Equipos de recarga de vehículo eléctrico → Cualquier tipo de instalación





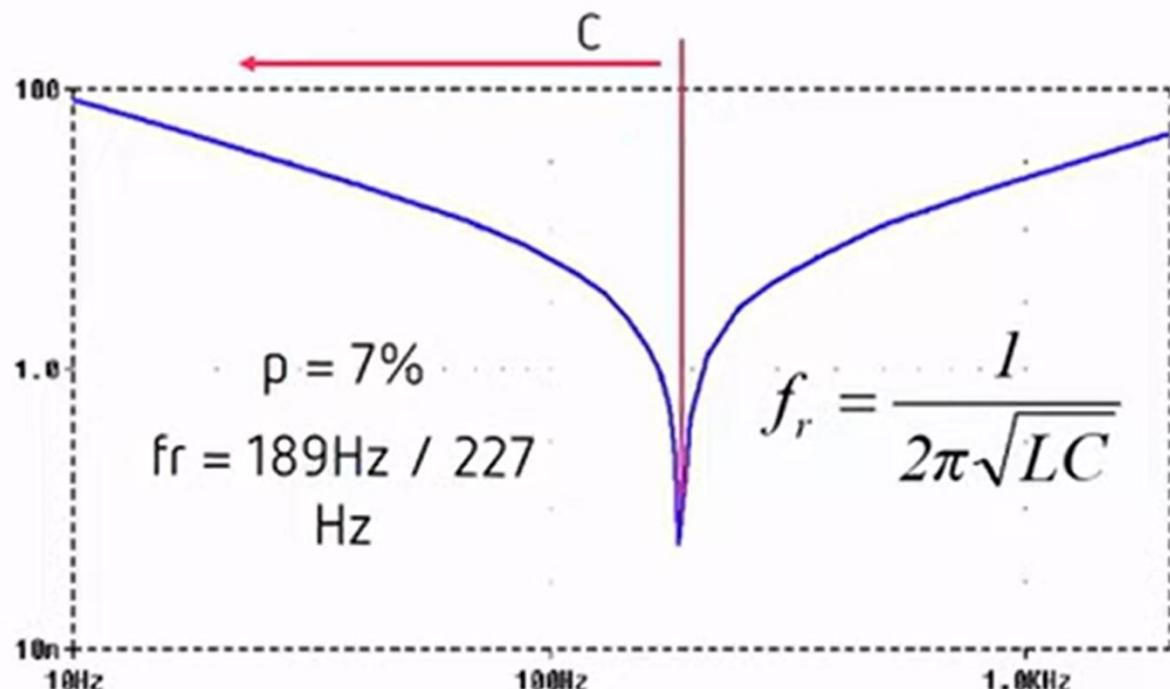
Solución para redes
distorsionadas y con alto
riesgo de resonancia

Reactancias de filtrado

Condensador diseñado para
filtros de rechazo



Eliminación del riesgo de resonancia, batería con filtros modelo FR.

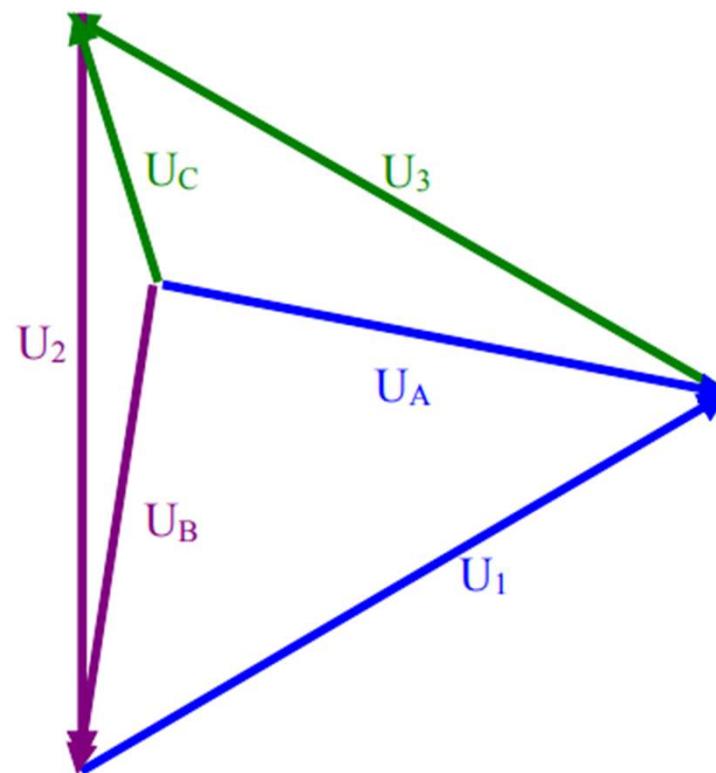


$$p(\%) = 100 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_r} \right)^2$$

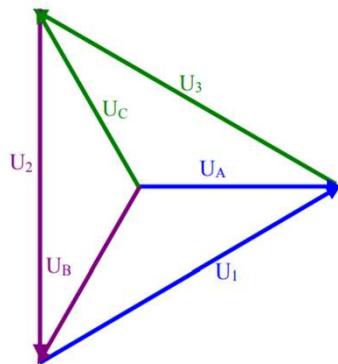
p%	fr	Armónico rechazado
7%	189 Hz / 227 Hz	$h > 5^\circ$, $f > 250\text{ Hz} / 300\text{ Hz}$
14%	134 Hz / 160 Hz	$h > 3^\circ$, $f > 150\text{ Hz} / 180\text{ Hz}$



Otros efectos indeseados

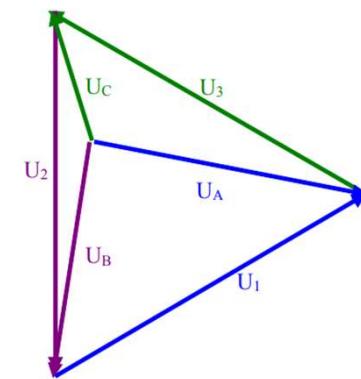


Desequilibrio de tensión de red



Cuando un sistema de tensiones trifásico es equilibrado, el neutro de este sistema se encuentra en el centro de gravedad del mismo.

Cuando este neutro no se encuentra en el centro de gravedad, se dice que el sistema no es equilibrado.



EFFECTOS

Los efectos de estos desequilibrios son una modificación del neutro haciendo que los motores conectados a estos sistemas desequilibrados se sobrecalienten, también producen oscilaciones en el par del motor y problemas en el funcionamiento y rendimiento de los transformadores trifásicos.



Flicker (Parpadeo)

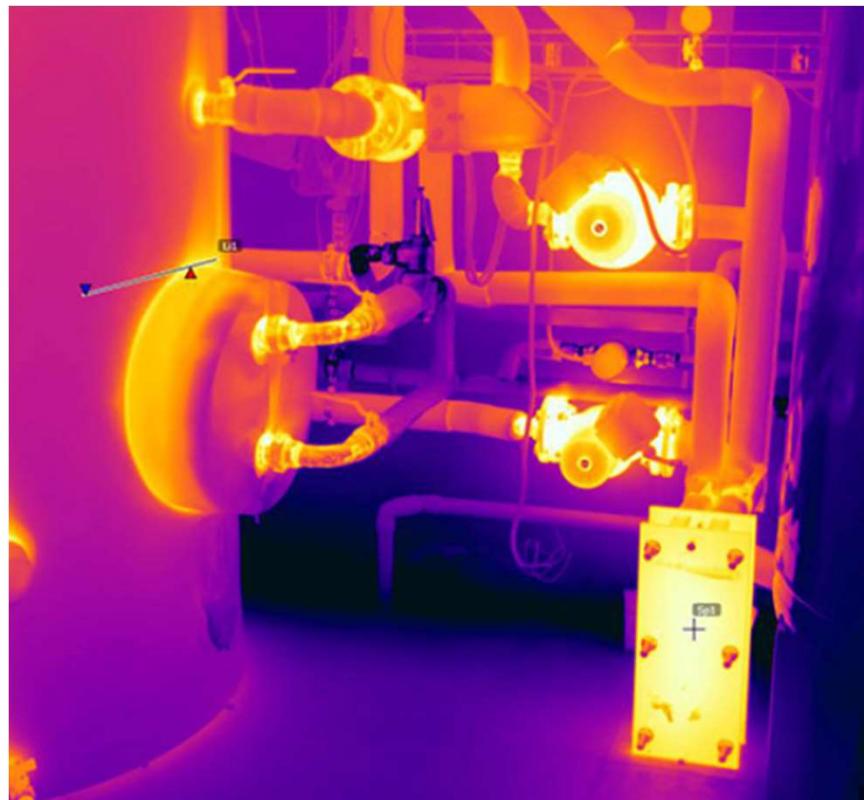
El origen de este fenómeno está en las fluctuaciones bruscas en las tensiones de la red de las lámparas incandescentes. La amplitud de estas fluctuaciones suele ser menor a un 10% de la tensión nominal de la red.

EFECTOS

El Flicker es un problema relacionado con la percepción de los seres humanos y la luz incandescente, es una impresión subjetiva de la fluctuación de la luz, que puede llegar a ser muy molesta.



DISIPACIÓN DE ENERGÍA



PERDIDAS DE ENERGÍA – CALOR

Conceptos básicos de transferencia de calor

Conducción es el flujo directo de calor a través de la materia sólida y resulta del contacto FÍSICO

Convección es el mecanismo de transporte de calor dentro de un gas o líquido

Radiación es la transmisión de energía electromagnética a través del espacio (ondas de radio) y es invisible.



ENsayos Termográficos

Tipos de Inspección con una Cámara Termográfica

- **Cualitativo** (la mayor parte de las imágenes térmicas que se toman)

Las inspecciones de tipo cualitativo se basan en las diferencias o variaciones térmicas para localizar anomalías.

1. Las diferencias térmicas son suficiente para indicar la mayor parte de las anomalías en el equipamiento eléctrico y mecánico.
2. Se programan actividades de mantenimiento correctivo sobre la base de los hallazgos termográficos



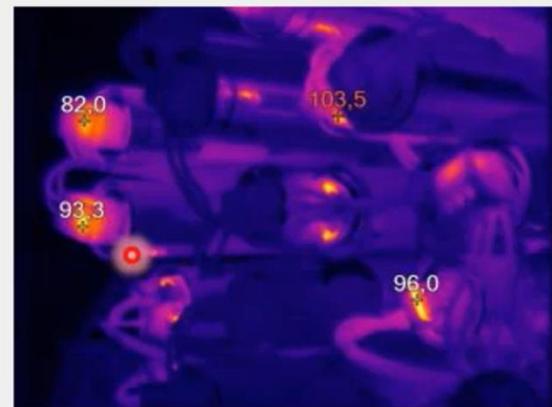
ENsayos termográficos

Tipos de Inspección con una Cámara Termográfica

- **Cuantitativo**

- Medición Precisa de temperatura o distribución de temperatura**

1. Pequeñas variaciones causadas por cambios en la emisividad, condiciones atmosféricas y otros factores pueden distorsionar las mediciones
2. Las distorsiones en los valores medidos pueden ser provocadas por el tamaño (spot size) del blanco/objeto así como por las condiciones del ambiente de fondo.



Para tener en cuenta en los ensayos termográficos cuantitativos

- Reflexión, absorción y transmisión de las superficies
- Emisividad del material
- Temperatura reflejada
- Efecto de la distancia
- Condiciones atmosféricas en exterior

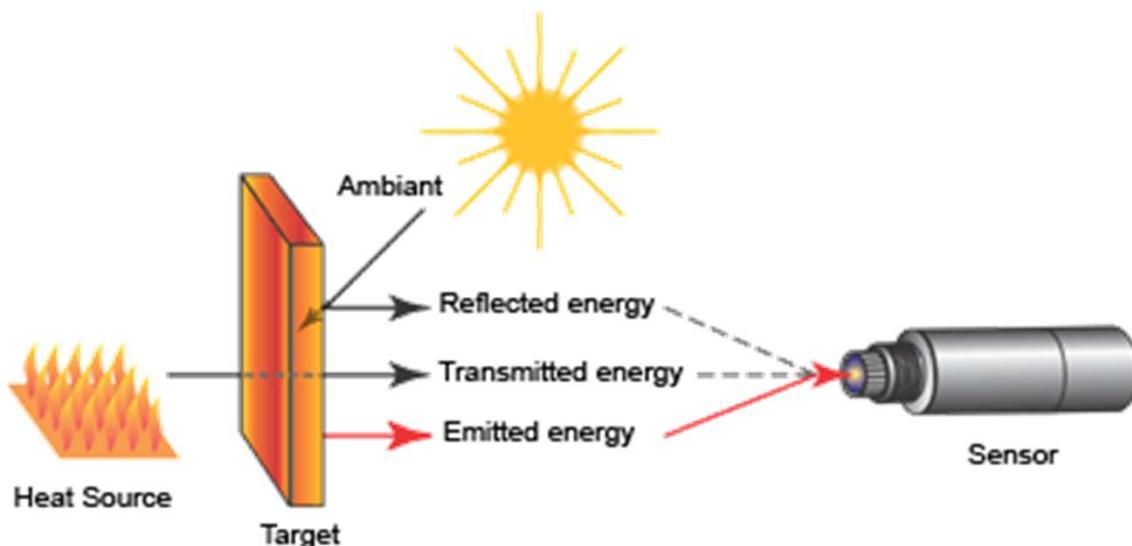
Las mediciones son sobre la capa superficial !



Para tener en cuenta en los ensayos termofráticos cuantitativos

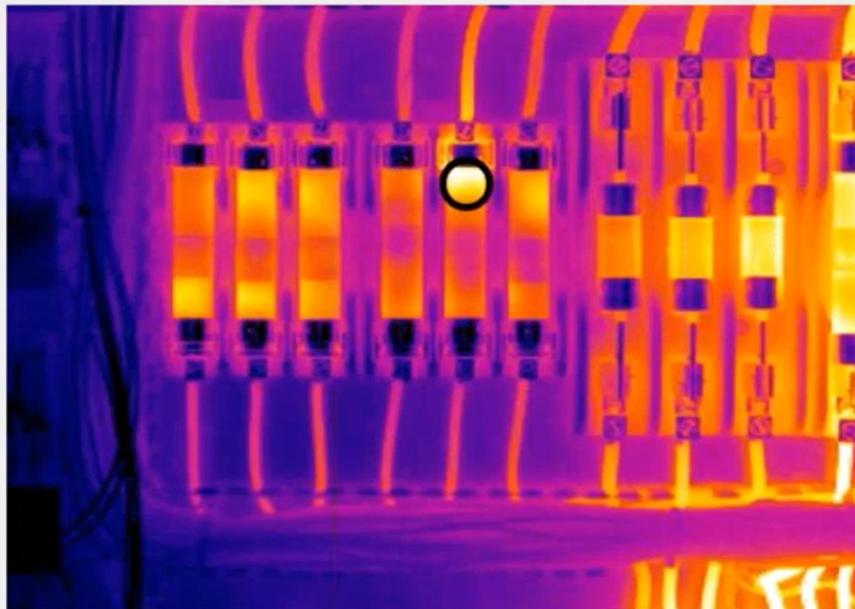
La emisividad es la medición de la capacidad de un objeto de emitir energía infrarroja. El valor de la emisividad se calcula por la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a una diferencia de temperatura con su entorno.

La emisividad puede tener un valor entre 0 (espejo brillante) y 1.0 (cuerpo negro)

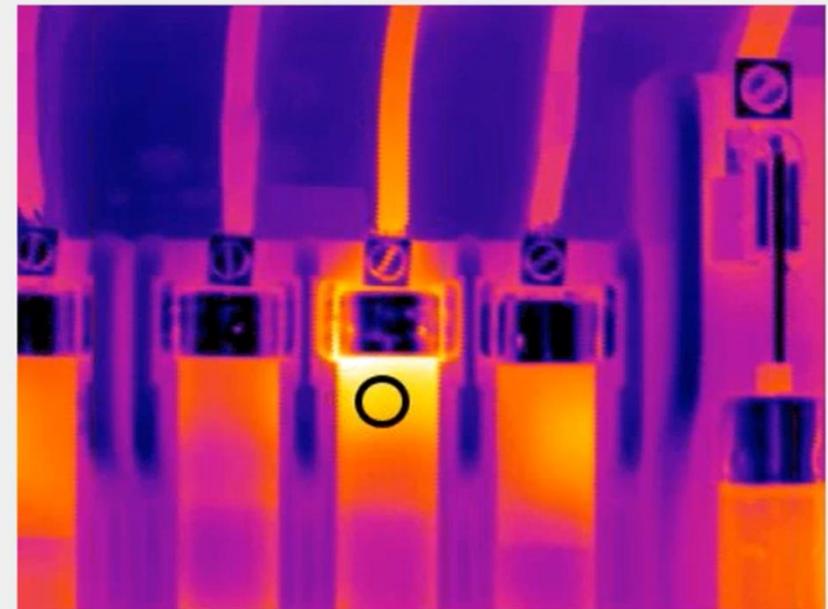


Para tener en cuenta en los ensayos termoráficos cuantitativos

Efecto de la Distancia - Ejemplo



Un punto caliente puede ser visto o detectado, pero la temperatura podrá ser imprecisa porque el área de proyección del sensor (spot size) incluye áreas vecinas al objeto de interés



Se debe aproximar para realizar una medición de temperatura correcta!

Fuente: FLUKE

Para tener en cuenta en los ensayos termofráticos cuantitativos

Técnicas de Inspección

Norma NETA (Asociación Internacional de Pruebas Eléctricas)

Esta norma proporciona los criterios que ayudan a determinar el grado de criticidad de un problema eléctrico en base a la medida de temperatura con una cámara termográfica, indicando acciones sugeridas en los incrementos de temperatura: Tabla 100.18 ANSI/NETA ATS-2013

Diferencia de temperatura basada en comparaciones entre componentes similares, bajo similares condiciones de carga	Diferencia de temperatura basada en comparaciones entre componentes y la temperatura ambiente	Acción recomendada
1°C – 3°C	1°C – 10°C	Possible deficiencia
4°C – 15°C	11°C – 20°C	Probable deficiencia
-----	21°C – 40°C	Deficiencia
> 15°C	>40°C	Mayor deficiencia

FUENTE: Tabla 10.18. NETA. Inspecciones con termografía.

Fuente: FLUKE

Para tener en cuenta en los ensayos termofráticos cuantitativos

Técnicas de Inspección

Norma OSHA (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional)

Esta norma establece que se puede minimizar los riesgos de heridas por arco eléctrico simplemente ubicándose a una distancia prudente de la zona de arco. Las distancias mínimas para realizar una inspección termográfica están definidas en la tabla a continuación:

TENSIÓN	DISTANCIA MÍNIMA DE SEGURIDAD
300V - 750V	1 m
750V - 2kV	1,2 m
2kV - 15kV	5 m
15kV - 36kV	5,8 m

FUENTE: Norma OSHA

Fuente: FLUKE

Para tener en cuenta en los ensayos termofráticos cuantitativos

Técnicas de Inspección

Definiciones:

Possible Deficiencia: (Incipiente) Los correctivos deben ser ejecutados en el próximo programa de mantenimiento.

Probable Deficiencia: (Pronunciada) Debe colocarse en observación y los correctivos deben ser ejecutados cuando el programa lo permita.

Deficiencia: (Severa) Los correctivos deben ser ejecutados tan pronto sea posible.

Mayor Deficiencia: (Crítica) Reparar inmediatamente.

Fuente: FLUKE



Algunas normativas:

EN 50160

Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución.

Directiva 2009/125/CE - Reglamento (CE) 640/2009

Eficiencia en motores eléctricos.

IEEE-519 - IEC 61000-3-2

Contenido armónico cargas no lineales.

Resolución SRT 900/15

Seguridad eléctrica.





RMI Electrónica SRL

RMI.COM.AR

Víctor Rigacci
Técnico Universitario en Ingeniería Electromecánica

