

Módulo VII: Sistemas e Instalaciones

(Curso: Gestor Tecnológico en Eficiencia Energética)



Ing. Juan M. Serrano Mora

E-mail: : jserrano@iee-unsjconicet.org

Ing. Gustavo D. Baron

E-mail: gbaron@iee-unsjconicet.org

Dr. Ing. Maximiliano Martinez

E-mail: mmartinez@iee-unsjconicet.org



Descripción General Módulo VII:

- ❑ **Sistemas Eléctricos Industriales (SEI)**
 - Transformadores
 - Motores Eléctricos
 - Variadores de Velocidad
 - Armónicos en sistemas eléctricos
 - Sistemas de Corrección del Factor de Potencia
 - Sistemas de Iluminación
 - Sistemas de Gestión de Energía Eléctrica
- ❑ Refrigeración
- ❑ Aire Comprimido
- ❑ Vapor
- ❑ Ventilación

IEE

 **IRPHA**



CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

SISTEMAS ELECTRICOS INDUSTRIALES (SEI)

IEE

 **IRPHA**

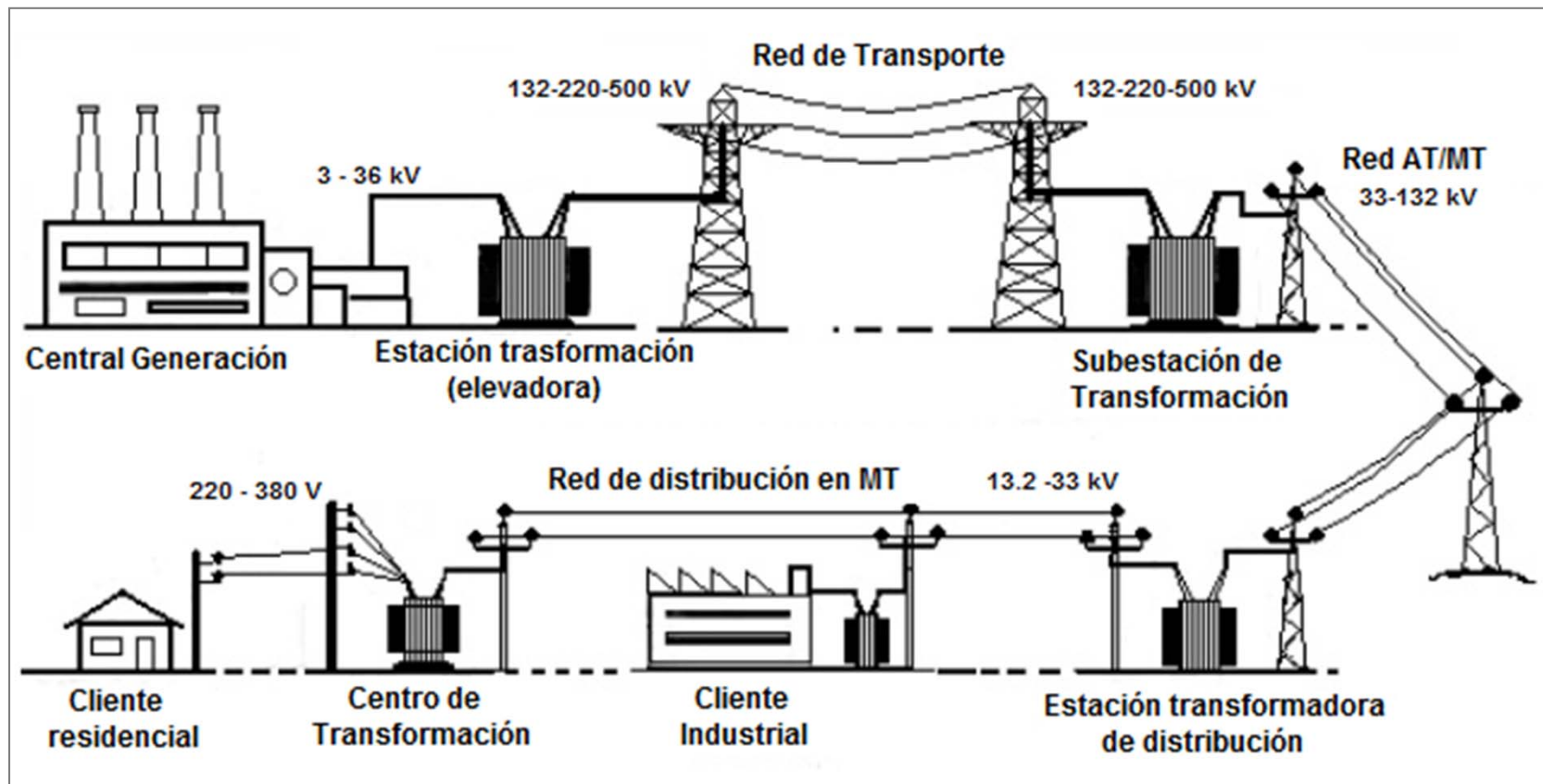


CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

Sistemas Eléctricos Industriales (SEI) - Introducción

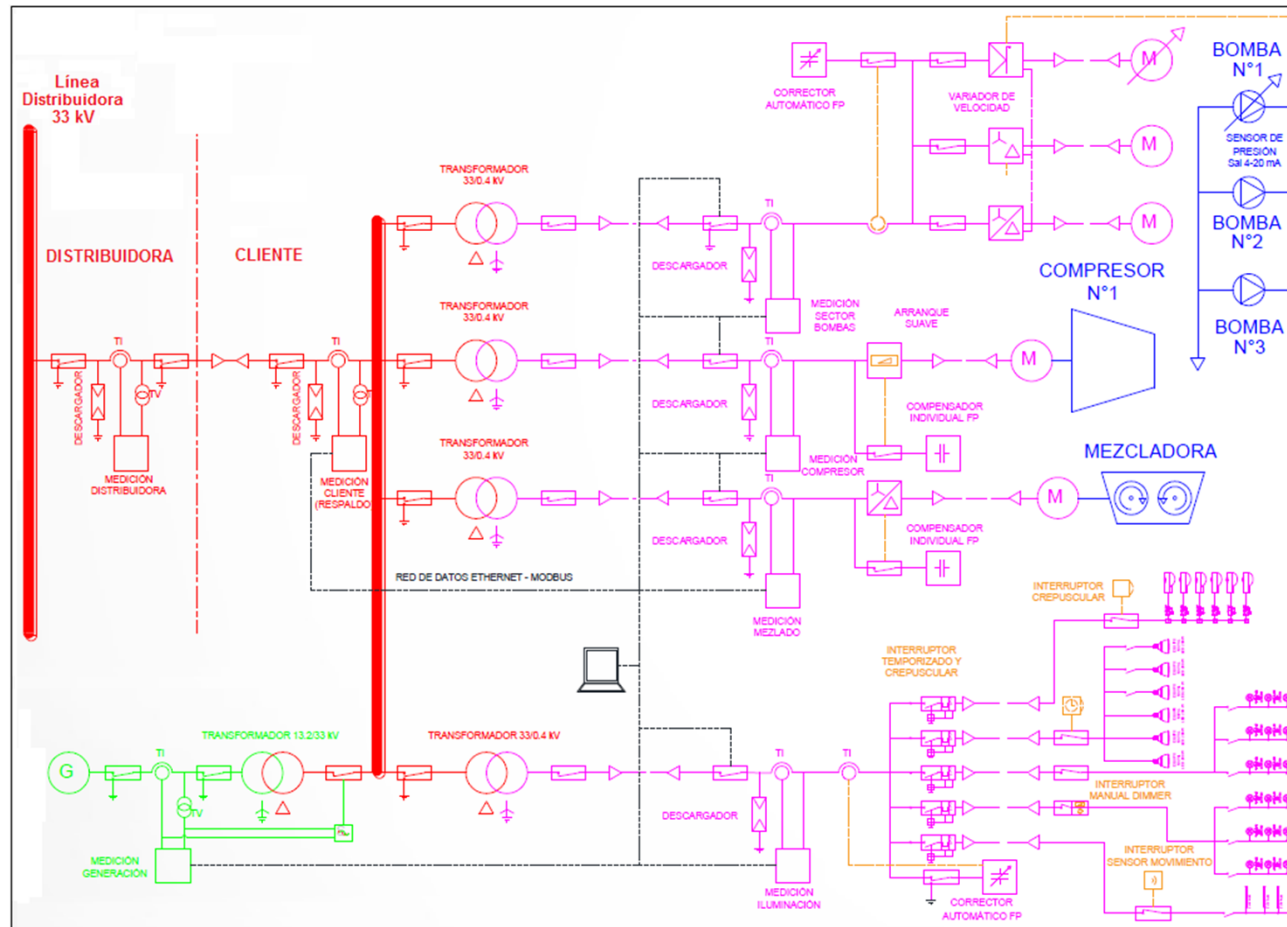
El suministro eléctrico en un SEI se realiza generalmente a partir de una red de suministro público. Un sistema de suministro eléctrico está básicamente formada por tres subsistemas: Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica.



Esquema de un sistema de suministro eléctrico

Sistemas Eléctricos Industriales (SEI)

SEI: conjunto de elementos, aparatos y equipos que tienen por finalidad la recepción, conducción, transformación, control, medición, protección, distribución y utilización de la energía eléctrica en un sector industrial.



Componentes de un SEI

- Acometida principal (Armario/Cabina de Medición y Maniobras)
- Líneas y Cables
- Subestaciones de Distribución (Transformadores)
- Tableros (Tablero General de Baja Tensión - Tablero Seccional)
- Motores Eléctricos (Variadores de velocidad – Centro Control Motores)
- Sistemas de corrección del Factor de Potencia (Bancos de Capacitores)
- Sistemas de Iluminación
- Generadores (p/emergencia, cogeneración, generación c/energía renovable)
- Sistemas y red de puesta a tierra

IEE

 **IRPHA**



CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

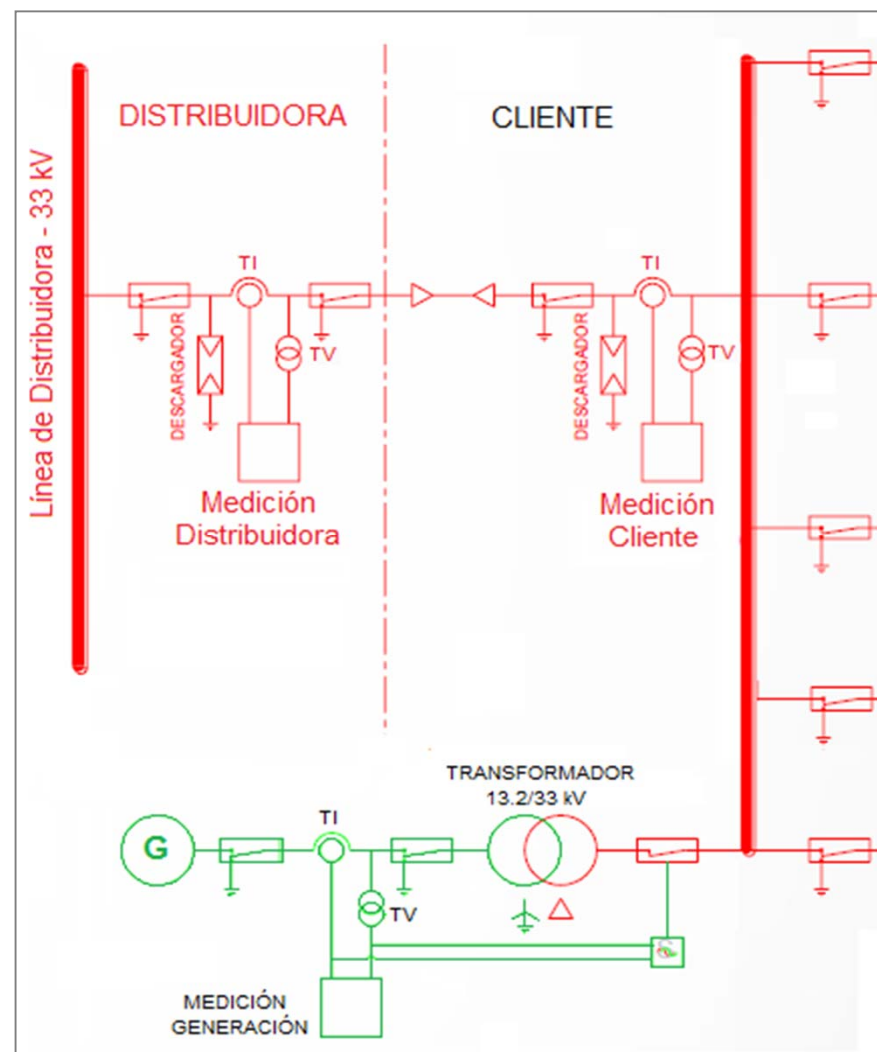
Acometida principal

Armario/Cabina de Maniobra y Medición:

Conjunto de equipamientos y componentes que permiten la conexión con la Red de suministro de energía eléctrica en el nivel de tensión suministrado por la Distribuidora (BT o MT).

Esta formada por:

- Línea de acometida
- Seccionadores
- Interruptores
- Equipos de medición
- Barra de distribución en MT
- Elementos de protección
- Elementos de medición
- Líneas de salidas a subestaciones de distribución.



Acometida principal



Acometida en BT – 380 V



Tablero acometida y maniobra en 33 kV

IEE

IRPHa



CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

Líneas y Cables de Potencia

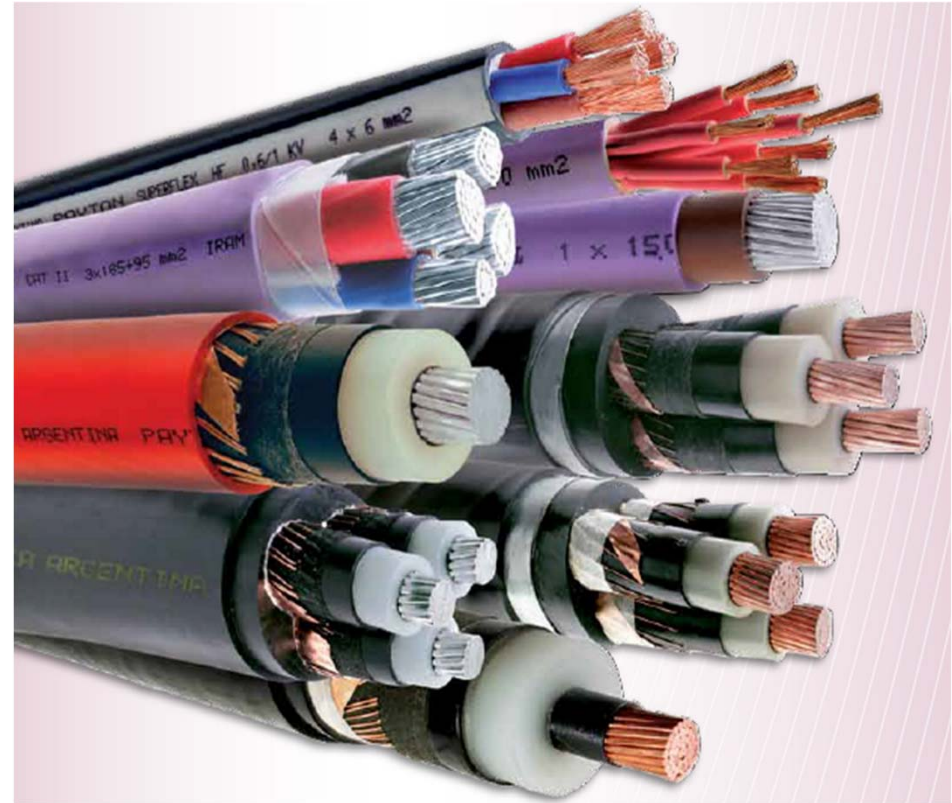
Permiten transmitir energía eléctrica de un lugar a otro con corriente y tensión determinadas, minimizando las pérdidas eléctricas que ocurren a causa de la transferencia de energía.

Hay una gran variedad y tipos de conductores de potencia dependiendo de sus características:

- material del conductor
- cantidad de conductores
- aéreo o subterráneo
- tipo de aislación
- tipo de blindajes
- nivel de tensión de operación,
- etc.

De acuerdo al nivel de tensión a la que operan, se pueden clasificar en:

- Cables de BT : < 1,1 kV.
- Cables en MT : 1,1 kV a 36 kV.



Fuente: IMSA – Conductores potencia MT

Líneas y Cables de Potencia

Se componen de 3 partes principales: Conductor, Aislación y Protección

Conductor:

- Cobre recocido, desnudo o recubierto de capa metálica
- Aluminio, o aleación de aluminio

Aislación:

- Papel impregnado en aceite
- Policloruro de Vinilo (PVC)
- Polietileno Reticulado (XLPE)
- Etileno Propileno (EPR)

Protección contra daños:

- Origen Eléctrico (capa semiconductora y pantallas)
- Origen Mecánico (cubierta y armadura)

1. Conductor de aluminio
2. Pantalla semiconductora
3. Aislación XLP
4. Pantalla semiconductora

5. Cinta semiconductora (humedad)
6. Pantalla electrostática.
7. Cinta aislante (humedad).
8. Cubierta exterior de PVC



Fuente: Condumex – Conductor MT

Líneas y Cables de Potencia

Consideraciones en el dimensionamiento de Conductores:

- 1) Capacidad de Conducción de corriente en condiciones de trabajo: La intensidad de corriente no deberá ocasionar un calentamiento sobre el conductor que eleve su temperatura por encima de la especificada para cada tipo de cable .
 - **Máxima temperatura de trabajo (70°C para PVC o 90°C para XLPE).**
- 2) Capacidad de soportar cortocircuitos (en coordinación con sus protecciones).
- 3) Caída de Tensión porcentual.
 - **5% para fuerza motriz**
 - **3% iluminación**

Aspectos de eficiencia energética:

- Pérdida de energía ($I^2 \times R$) en la resistencia propia del conductor (Ohms/km).
- El aumento de la sección disminuye la resistencia del conductor y las pérdidas asociadas (aumento el costo del conductor, análisis de costo/beneficio).
- Evaluar el cambio o modificación de la carga receptora por una más eficiente.
- Redistribución de la conexión de cargas en circuitos muy cargados en otros con capacidad ociosa (evitar calentamiento, envejecimiento prematuro).

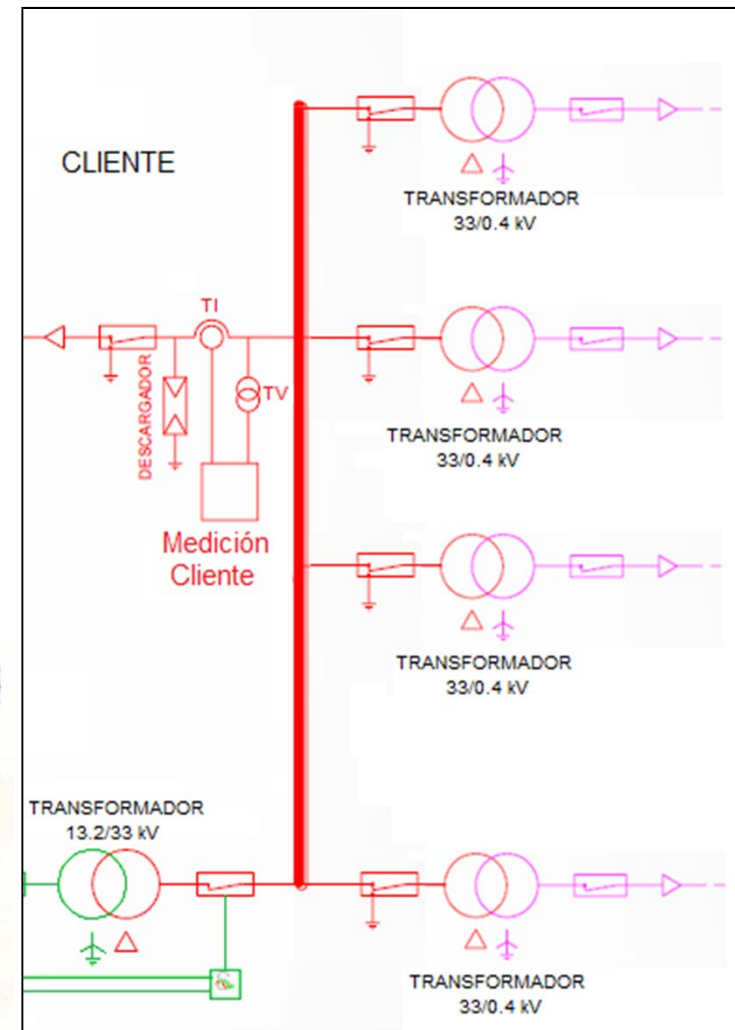
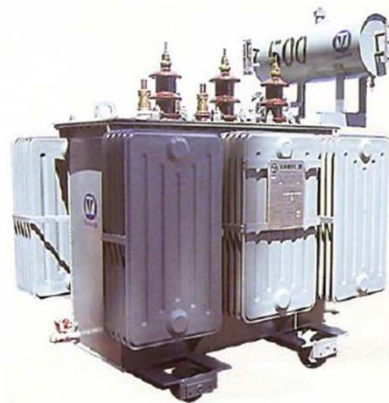
Subestaciones de Distribución

Permiten transformar la tensión de distribución de red de MT (externa y/o interna) a niveles de BT adecuados para el funcionamiento de los equipos.

Esto facilita la distribución de energía eléctrica a distintos sectores con conductores de menor sección reduciendo las pérdidas por efecto Joule.

El principal componente de las subestaciones de distribución es el **Transformador** el cual permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia prácticamente constante (lado MT corrientes bajas, del lado de BT son elevadas).

El primario del Transformador se conecta a una barra de distribución (MT) y el/los secundarios en BT alimentan distintos sectores o conjuntos de cargas.



Tableros Eléctricos

Los Tableros eléctricos cumplen con todas o algunas de las siguientes funciones: Maniobra, Protección, Comando, Medición.

Se pueden distinguir dos tipos: El Tablero General de Baja Tensión (**TGBT** o Principal), y el Tablero Seccional (**TS**).

El TGBT permite la distribución del suministro eléctrico en baja tensión a los tableros TS de las instalación para la alimentación de cargas centralizadas por procesos o sectores (fuerza motriz, iluminación, mixtas).

Los Tableros en general pueden incluir:

- aparatos de medición (V, I, Energía, etc., transductores TI, TV)
- barras de distribución
- dispositivos de maniobra y protección (llaves, interruptores, fusibles)
- borneras de conexión, conductores
- dispositivos corrección factor de potencia.



Tableros Eléctricos

Características fundamentales que definen y califican un tablero:

- Funcionalidad eléctrica y mecánica.
- Continuidad del servicio.
- Seguridad de quien lo opera.
- Solidez estructural.
- Grado de protección mecánica.
- Intercambiabilidad de sus componentes.
- Terminación superficial.

Las normas respectivas indican pautas de diseño y de ensayo para garantizar niveles de seguridad y calidad.

Aspectos de eficiencia energética:

- Diseño adecuado de barras de Cobre/Conductores con bajas densidades de corriente (menores pérdidas Joule ($I^2 \times R$) y elevación de temperatura).
- Favorecer, en lo posible, en los tableros y sus salas, el uso de la convección natural para la ventilación de los mismos.
- Las salas de tableros deben tener en lo posible una adecuada iluminación natural.
- En sistemas trifásicos equilibrar las cargas en cada fase.
- Ubicar los tableros, en el baricentro eléctrico de la instalación o de las cargas, para disminuir pérdidas ($I^2 \times R$) y caídas de tensión en conductores.

Motores Eléctricos

Un motor eléctrico es un componente que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, permitiendo impulsar el funcionamiento de una máquina. Esto ocurre por acción de los campos magnéticos que se generan en sus bobinas.

Existen diferentes tipos de motores eléctricos y en función del tipo de suministro eléctrico que utilizan para su funcionamiento, se pueden clasificar en:

- ❑ **Motores de Corriente Alterna (CA)**

- ❑ **Motores de Corriente Continua (CC)**

Generalmente los motores se complementan con **Variadores de velocidad** que permiten adecuar su funcionamiento a los requerimientos de la carga o proceso.

Luego se detallan mayores características y particularidades de los motores eléctricos.

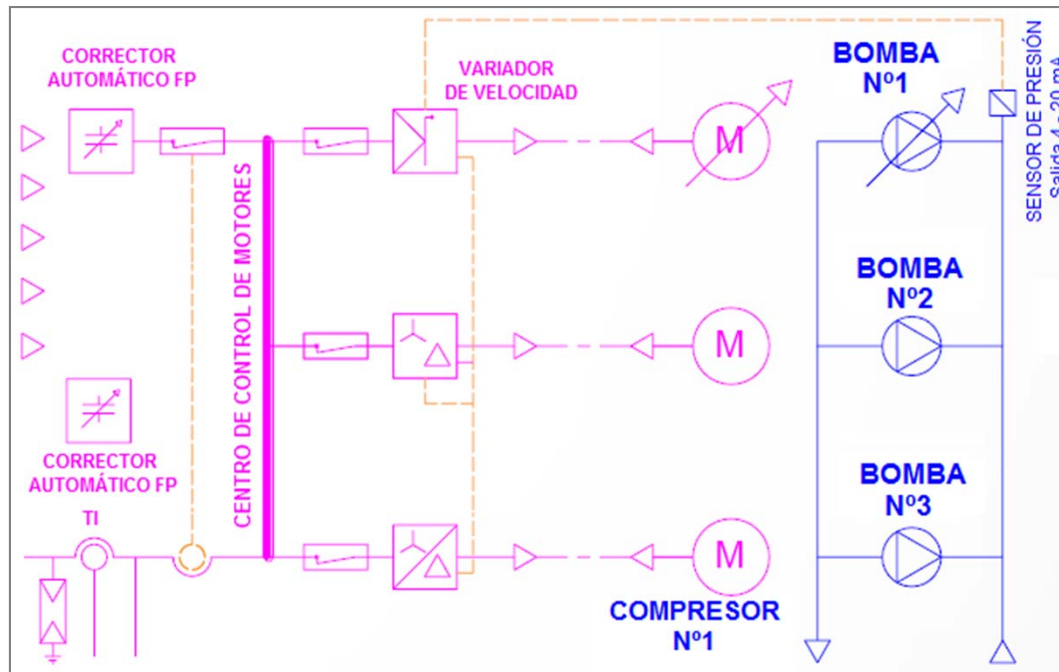


Motores Eléctricos – Centro de Control de Motores (CCM)

Los **CCM** son sistemas encargados de controlar distintas variables relacionadas con el funcionamiento, automatización y protección adecuada de un conjunto de motores.

Son gabinetes metálicos que contienen las unidades de control y comunicaciones, Convertidores, elementos de medición y señalización, comandos de arranque/parada, sistemas de corte de energía para emergencia, etc.

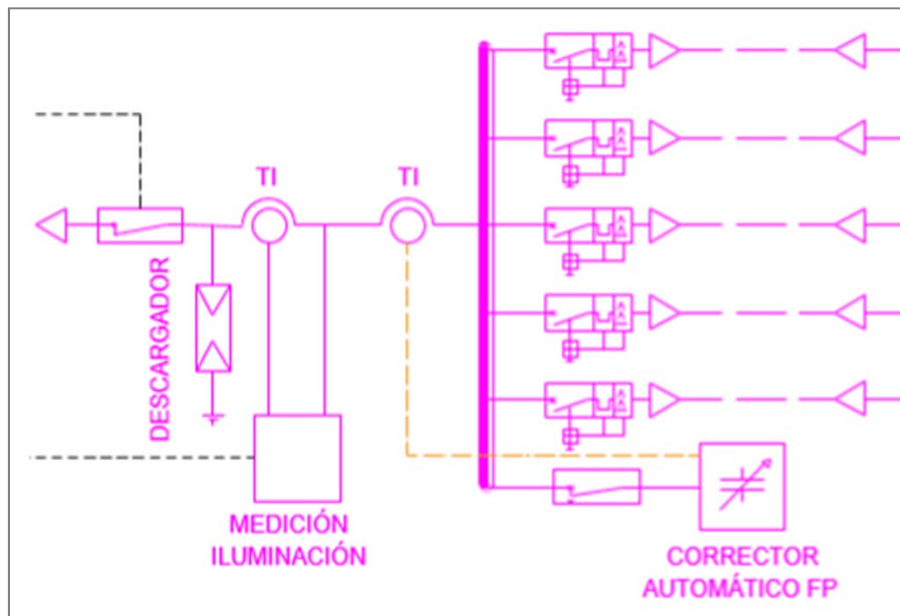
Permiten un mínimo costo de supervisión, capacidad de operación individual y proveen medidas de seguridad.



Sistema de corrección del Factor de Potencia (Banco capacitores)

Permite corregir el factor de potencia (FDP), compensando la componente reactiva requerida por las cargas para su funcionamiento. El mejoramiento del FDP reduce la componente reactiva de la corriente de alimentación en una instalación, con las siguientes ventajas:

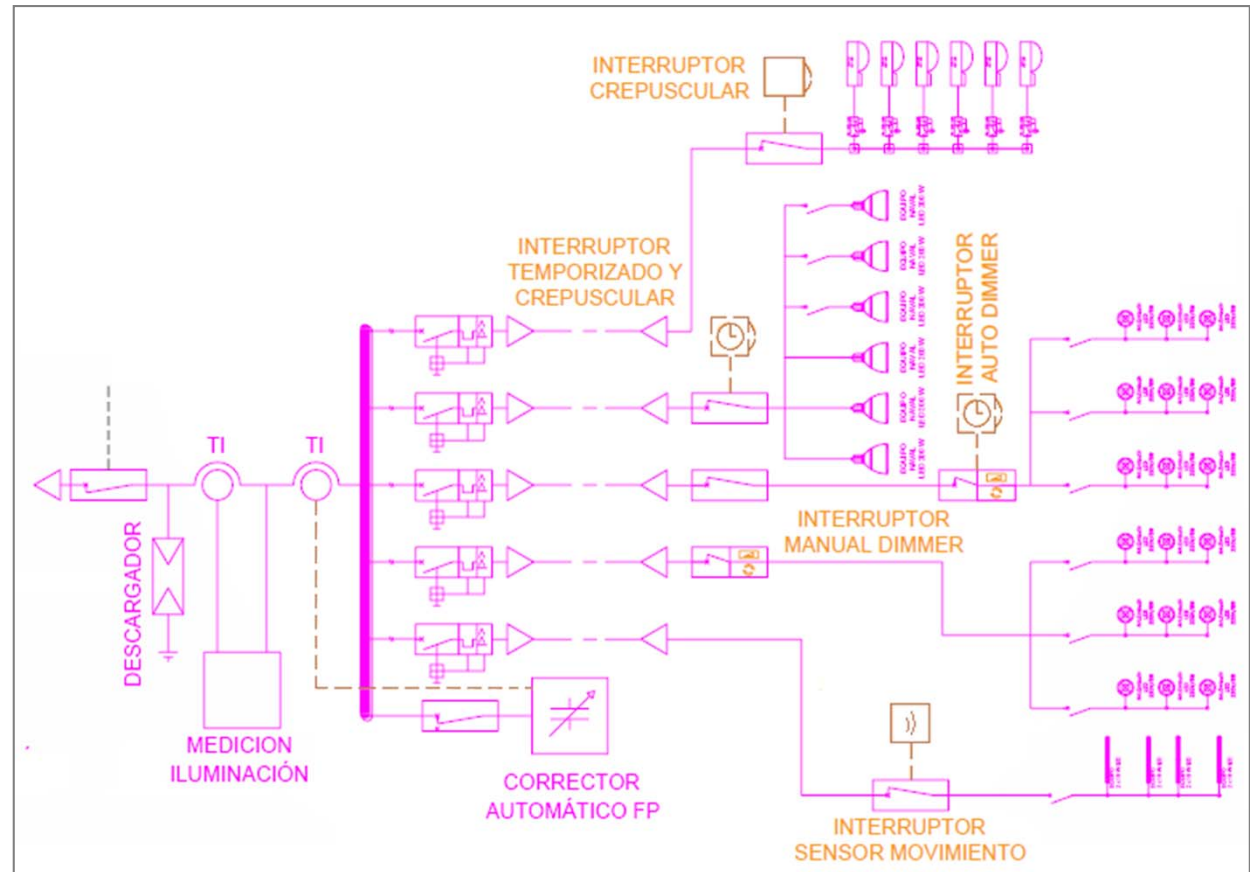
- ✓ Evitar multas por parte de la distribuidora.
- ✓ Disminuir el calentamiento de los conductores.
- ✓ Reducir las caídas de tensión en la instalación.
- ✓ Ampliar la capacidad de carga en conductores permitiendo reducir su sección.



Sistemas de Iluminación

En un SEI existen distintos tipos de sectores de circuitos de iluminación:

- Perimetral
- General de Naves Industriales
- Focalizada
- Sectores Sociales
- Oficinas
- Vigilancia
- Escape y Emergencia



Generadores

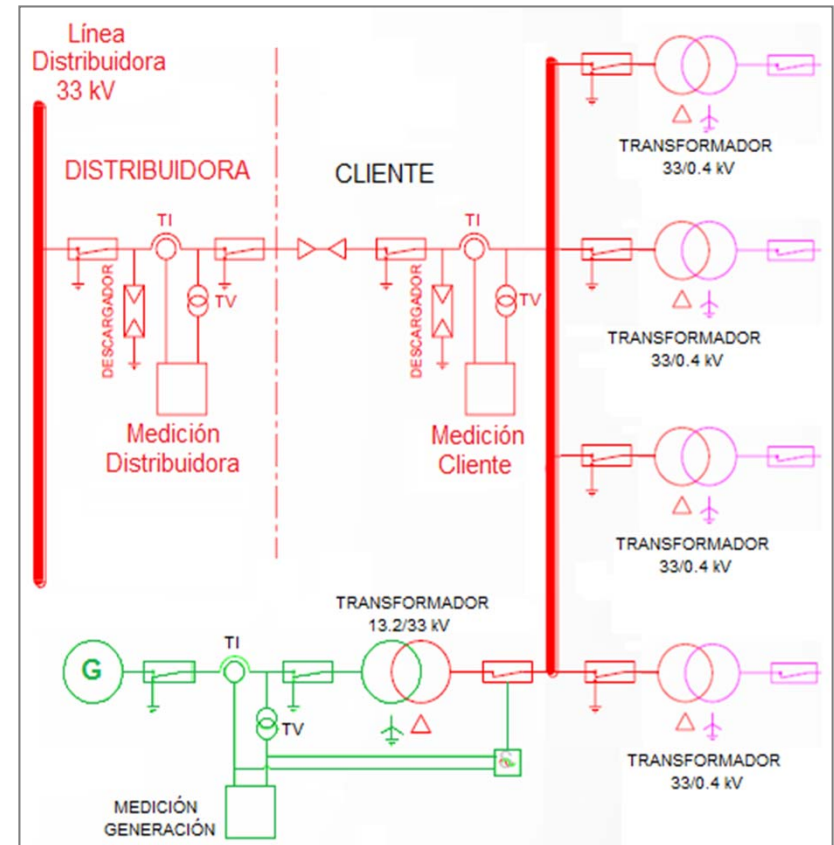
Algunos SEI cuentan con una planta de generación de energía eléctrica propia (accionados por distintos tipos de fuerza motriz), tal es el caso de los ingenios azucareros, aceiteras, complejos petroquímicos, papeleras, industrias frigoríficas, etc.

Algunas empresas utilizan temporalmente sistemas de generación propios/terceros, para el auto abastecimiento de energía eléctrica en horas de demanda máxima para no pagar mayores cargos por demanda o potencia máxima contratada.

(cargo por máxima capacidad de suministro contratada, ej. grupos electrógenos en bodegas).

Otras situaciones requieren de un sistema de suministro ininterrumpido de energía eléctrica c/generación propia, combinado con sistemas de respaldo, ej. UPS.

Actualmente: Ley 27191 obliga a Grandes Usuarios c/demanda >300kW, a utilizar un porcentaje mínimo del consumo c/fuentes de energía renovables FV, eólica, etc., propia o contratada. (variable 8-20%, desde 2018 al 2025).

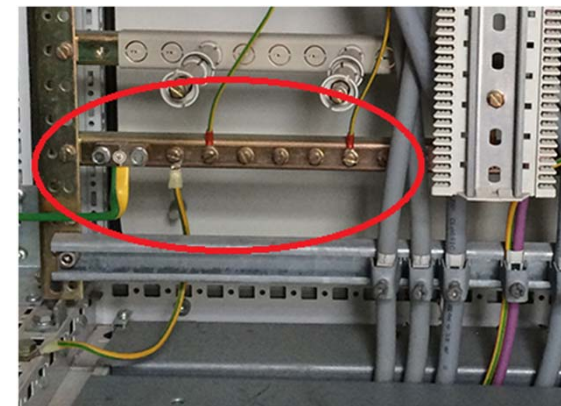
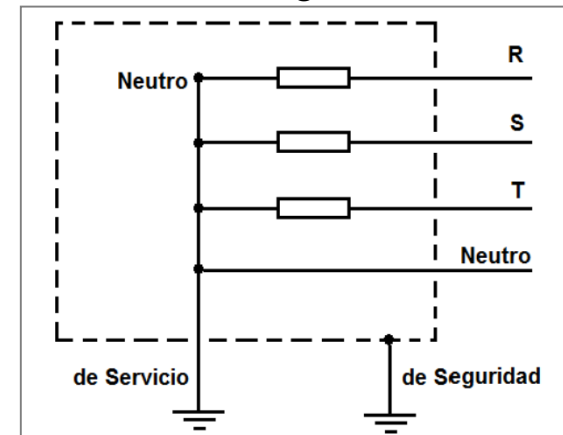


Sistemas y red de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra (**PAT**) es una parte esencial de las instalaciones y redes de energía eléctrica, tanto en los niveles de alta como de baja tensión.

Permiten proteger principalmente la vida de personas en contacto con equipos que utilizan electricidad. También protegen los propios equipos y componentes ante descargas atmosféricas o alguna falla del sistema eléctrico. Se pueden distinguir :

- ❑ **PAT de Servicio:** Permite asegurar el funcionamiento adecuado y confiable del equipamiento eléctrico en la instalación. Se utilizan para conducir permanentemente corriente a tierra en condiciones normales de funcionamiento, tal como el centro estrella en transformadores y generadores.
- ❑ **PAT de Protección:** A esta tierra se conectan todas las partes metálicas que normalmente no están sometidas a tensión, pero que pueden estarlo en caso de avería de la instalación. Para protección de personas y/o situaciones donde alguna parte de instalación/equipo tengan una falla de aislación, evitando el contacto directo (masas y carcasas de equipos, gabinetes de tableros, bandejas portacables, etc.).



SISTEMAS ELECTRICOS INDUSTRIALES (SEI)

TRANSFORMADORES

IEE

 **IRPHA**



**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**

**Módulo VII:
Sistemas e instalaciones**

TRANSFORMADORES

Dispositivo que permite convertir la energía eléctrica de corriente alterna de un cierto nivel de tensión y corriente, en energía con otro nivel de tensión y corriente, por medio de la acción de un campo magnético.

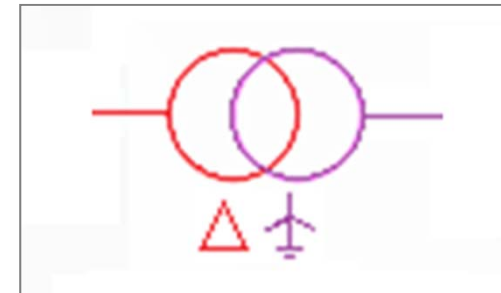
Es una máquina estática de bajas pérdidas y tiene un uso muy extendido en los sistemas eléctricos de transmisión y distribución de energía eléctrica.



Transformador en aceite



Transformador tipo seco



*Ej. Símbolo Transformador
(tipo triángulo – estrella, 33/0.4 kV)*

TRANSFORMADORES – Componentes básicos

Núcleo:

Constituido por chapas de acero al silicio aisladas entre si.

Se construye en columnas, donde se montan los devanados, y las culatas, donde se realiza la unión entre las columnas.

El núcleo conduce el flujo magnético, ya que está construido con material ferro magnético.

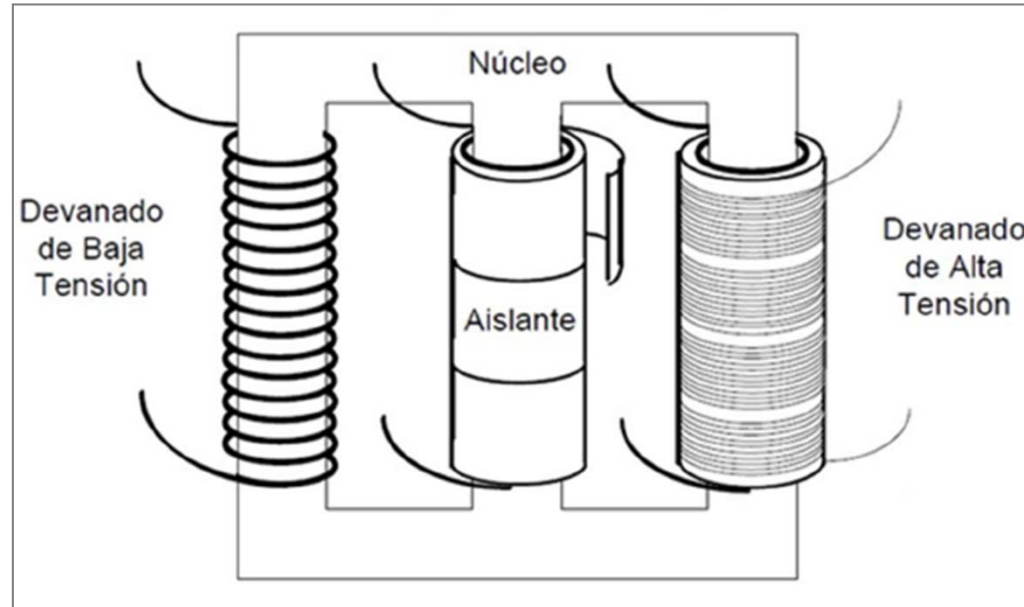


TRANSFORMADORES – Componentes básicos

Devanados o bobinas:

Un devanado está compuesto de hilos, bandas o chapas de cobre o aluminio enrollado alrededor del núcleo y recubiertos por una capa aislante (papel impregnado o barniz).

Etapas de montaje de los devanados en un transformador trifásico



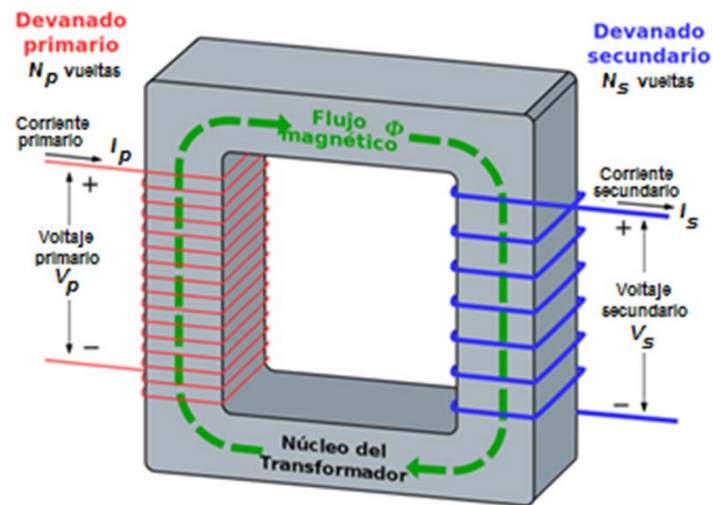
En su versión mas simple, un transformador tiene dos bobinas, la primaria y la secundaria. La relación de vueltas del hilo conductor entre el primario y el secundario indica la relación de transformación (*primario y secundario son nombres simbólicos, donde se aplica la tensión de entrada es el primario y donde se obtiene la tensión de salida el secundario*).

TRANSFORMADORES – Funcionamiento, Relación transformación

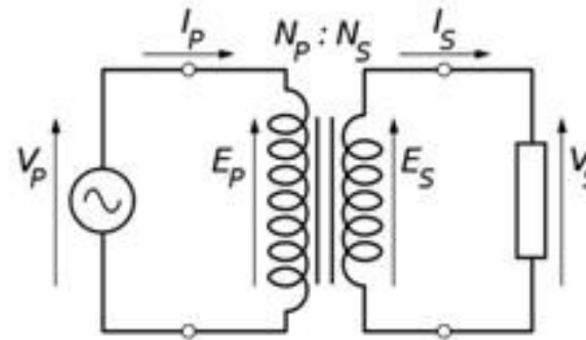
Los transformadores basan su funcionamiento en el principio de **inducción electromagnética**.

Al aplicar una tensión alterna en el primario, circula una corriente por la bobina que origina un flujo magnético variable en el núcleo de hierro del transformador. Este flujo recorrerá el circuito magnético e inducirá una tensión también alterna en el devanado secundario.

En un **transformador ideal**, la potencia de entrada es igual a la potencia de salida.



Esquema funcionamiento



Transformador ideal

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = r_t$$

Relación de transformación (r_t)

TRANSFORMADORES: Transformador real - Pérdidas

En transformadores **reales** existen pérdidas que se manifiestan en forma de calor en los **materiales** que componen al transformador

En los **conductores de los devanados** existe una resistencia al paso de corriente que depende de la resistividad del material del cual están compuestos.

En el **núcleo del transformador** hay pérdidas por corrientes de Foucault y por el efecto de Histéresis.

Existen otras pérdidas por **efecto de dispersión** de flujo magnético en los devanados.

Las principales pérdidas que tiene un **transformador real** son:

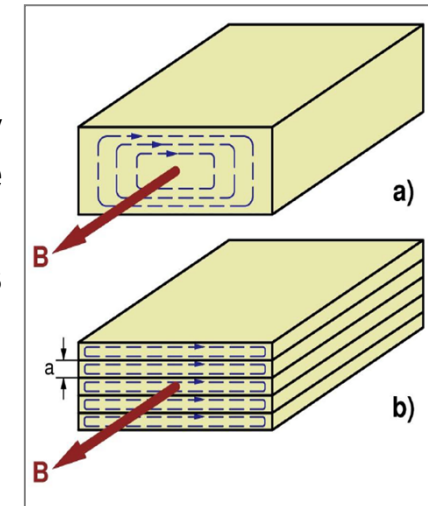
- ❑ **Pérdidas en los Devanados:** Debidas a la resistencia propia de los conductores al paso de la corriente (aumento de sección).
- ❑ **Pérdidas por Corrientes Foucault:** Producidas por la resistencia que presenta el núcleo ferromagnético al ser atravesado por el flujo magnético (corrientes en forma de espiras cerradas que rodean las líneas de flujo magnético).
- ❑ **Pérdidas por Histéresis.** Provocadas por el rozamiento molecular en los dipolos elementales del material cuando es sometido a la acción de un campo magnético variable (hay dipolos que se orientan en el mismo sentido que las líneas del campo, mientras que otros adoptan un sentido diferente).
- ❑ **Flujos de Dispersión en el Primario y Secundario.** Estos flujos provocan una auto inductancia en las bobinas primarias y secundarias.

TRANSFORMADORES: Transformador real - Pérdidas

Pérdidas por corrientes parásitas (corrientes de Foucault):

Se minimizan utilizando delgadas hojas de acero eléctrico, apiladas y separadas entre sí, mutuamente aisladas mediante un barniz aislante u oxidadas.

Cuanto más fino el laminado mayor será la eliminación de las corrientes de Foucault y menor el calentamiento del núcleo.

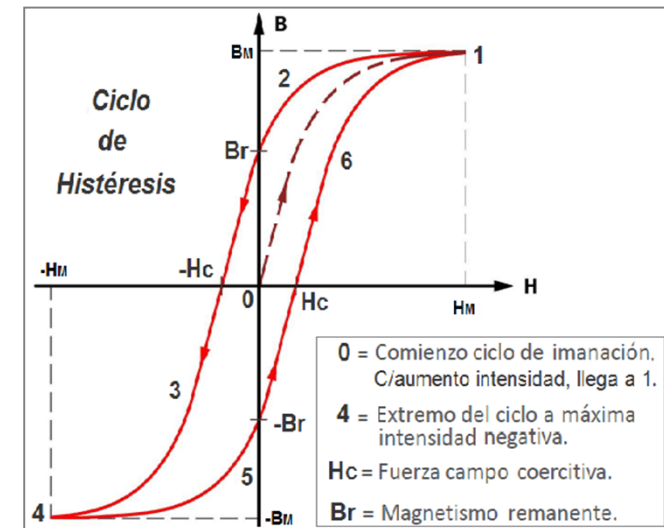


Pérdidas por Histéresis:

Cuando un material ferromagnético es sometido a la acción de un campo magnético, los imanes (o dipolos) elementales giran para orientarse según el sentido del campo.

Las pérdidas por el efecto de histéresis aparecen cuando el campo magnético varía en forma alternada.

Al disminuir el campo, la mayoría de los imanes elementales recuperan su posición inicial, sin embargo, otros no llegan a alcanzarla debido a rozamientos moleculares, conservando parte de su orientación forzada, haciendo que persista un magnetismo remanente (B_r), aun sin tener un campo magnético aplicado.



TRANSFORMADORES: Rendimiento del Transformador

El rendimiento de un transformador se expresa por:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{per}} = \frac{P_2}{P_2 + P_{Cu} + P_{Fe}}$$

Donde:

P_2 es la Potencia de Salida del transformador.

P_1 es la Potencia de Entrada del transformador.

P_{per} es la Potencia de Pérdidas en Bobinas (**P_{Cu}**) y Núcleo (**P_{Fe}**).

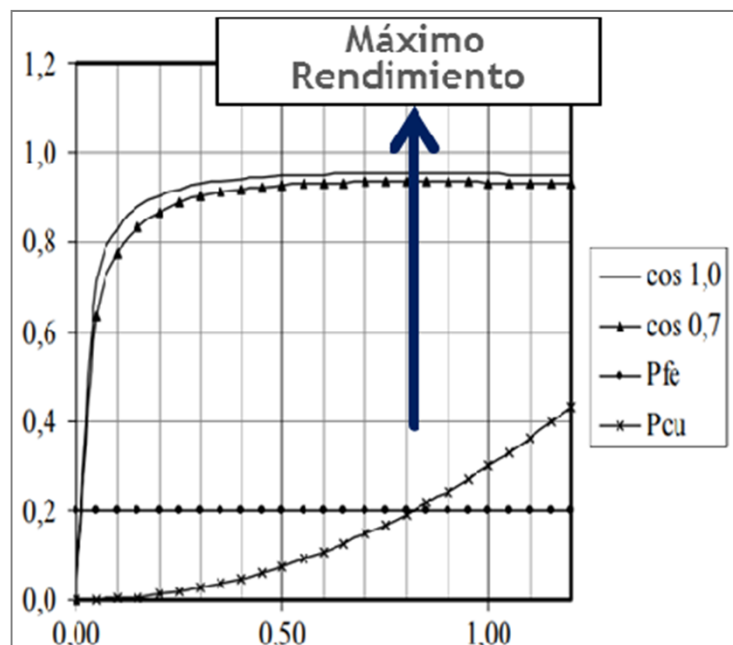
(en esta ecuación no están incluidas las pérdidas por ventilación)

Las pérdidas en Bobinas y en el Núcleo se determinan por medio de ensayos:

- Ensayo de Vacío (*Pérdidas en el Fe*).
- Ensayo de Cortocircuito (*Pérdidas en el Cu*).

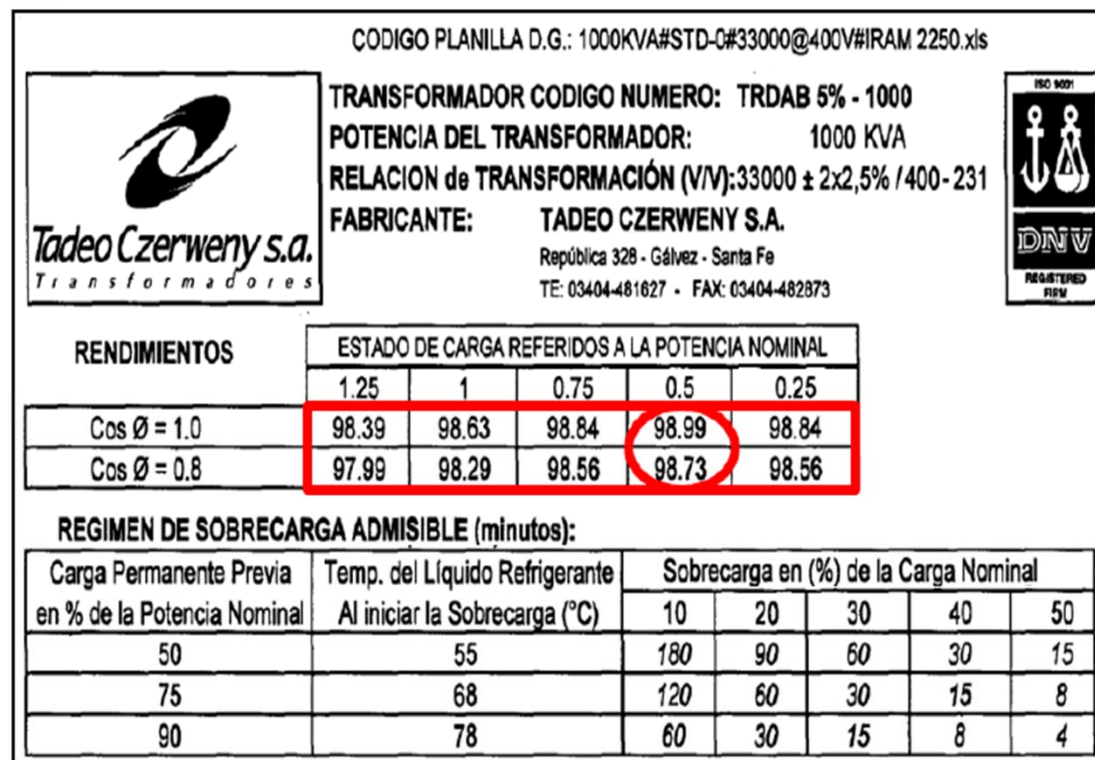
TRANSFORMADORES: Rendimiento del Transformador

Rendimiento en función de la corriente de carga I_2 para distintos factores de potencia.



Máximo rendimiento: cuando las pérdidas en el cobre (**cuadráticas**) son iguales a las del hierro (**constantes**).

PEI (índice de eficiencia máxima)



Datos garantizados
 Transformador 1000 kVA

IEE

IRPHa

CFI

CONSEJO FEDERAL
 DE INVERSIONES

Módulo VII:
 Sistemas e instalaciones

TRANSFORMADORES: Rendimiento del Transformador

Ejemplo del Rendimiento del transformador para un día completo con diferentes cargas



La eficiencia de día completo para la siguiente carga típica:

Potencia Nominal	3	kVA
Potencia Perdida Cobre	0,085	kW
Potencia Perdida Hierro	0,045	kW

Curva de Cargas			Energía (kW-h)		
Hs	S (kVA)	FP	Ws (1)	W cu (2)	Wfe (3)
3	3,5	0,95	9,98	0,347	0,135
7	3	0,9	18,90	0,595	0,315
1	3,2	0,85	2,72	0,097	0,045
5	2,4	0,8	9,60	0,272	0,225
8	1	1	8,00	0,076	0,36
			49,20	1,386	1,08

% Rendimiento Día Completo:	$100 \times Ws / (Ws + Wcu + Wfe)$	95,23 %
-----------------------------	------------------------------------	---------

Salida (1)	$kVA \times t \times FP$
P cobre (2)	$(kVA_r / kVA_n)^2 \times P_{cu} \times t$
P Hierro (3)	$P_{fe} \times t$

kVA_r : Potencia Aparente real (de carga)

kVA_n: Potencia Aparente nominal

TRANSFORMADORES: Rendimiento del Transformador

IRAM 2250: Transformadores de distribución - Características y accesorios normalizados:

Establece características técnicas generales y de accesorios de fabricación de transformadores trifásicos de distribución en baño de aceite, c/enfriamiento natural (ONAN), c/tensión secundaria nominal de 400V, tensión primaria nominal de 13,2kV, o 33kV, y potencia nominal desde 25kVA a 2500kVA, inclusive. En particular esta norma fija valores de las pérdidas.

Tabla 2 - Dimensiones máximas para los transformadores de distribución con tensión primaria nominal de 13,2 kV

Transformador		Potencia S_r (kVA)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
Con tanque de expansión	Tipo I	$S_r \leq 315$	1 650	1 100	1 800
		500	1 700	1 100	1 900
		630	1 900	1 200	2 000
		800	2 100	1 400	2 100
		1 000	2 300	1 550	2 300
		1 250	2 350	1 800	2 400
		1 600	2 400	2 200	2 500
		2 000	2 500	2 550	2 600
		2 500	2 800	2 600	2 700
	Tipo II	$S_r \leq 500$	1 650	1 100	1 750
		630	1 650	1 100	1 950
		800	1 650	1 100	1 950
		1 000	1 650	1 100	2 100
		1 250	2 100	1 500	2 200
		1 600	2 200	1 900	2 300
		2 000	2 300	2 250	2 400
		2 500	2 600	2 300	2 500
Sin tanque de expansión	Tipo III	$S_r \leq 315$	1 400	1 050	1 600
		500	1 500	1 100	1 650
		630	1 550	1 100	1 750
		800	1 600	1 100	1 950
		1 000	1 650	1 100	2 100

Tabla 5 - Potencias nominales, corrientes y pérdidas en vacío, y pérdidas debidas a la carga para transformadores con tensión primaria de 13,2 kV

Potencia nominal S_r (kVA)	Corriente en vacío I_0 (% de I_r)	Transformadores con tanque de expansión				Transformadores sin tanque de expansión	
		Tipo I		Tipo II		Tipo III	
		P_0 (W)	P_K (W)	P_0 (W)	P_K (W)	P_0 (W)	P_K (W)
25	3,5	160	600	160	600	160	600
63	2,9	270	1 350	270	1 350	270	1 350
100	2,5	350	1 750	350	1 750	350	1 750
160	2,3	500	2 500	500	2 500	500	2 500
200	2,2	600	3 000	600	3 000	600	3 000
250	2,1	700	3 500	700	3 500	700	3 500
315	2,0	850	4 250	850	4 250	850	4 250
500	1,9	1 200	6 000	1 200	6 000	1 200	6 000
630	1,8	1 450	7 250	1 450	7 250	1 450	7 250
800	1,8	1 750	8 750	1 600	8 000	1 600	8 000
1 000	1,7	2 000	10 500	1 900	9 500	1 900	9 500
1 250	1,6	2 300	13 800	2 200	11 900		
1 600	1,5	2 700	17 000	2 450	13 600		
2 000	1,5	3 000	21 500	2 900	19 800		
2 500	1,4	3 300	24 800	3 200	21 000		

TRANSFORMADORES: Gastos Anuales por Pérdidas

La energía disipada por las pérdidas en el hierro y en el cobre dependen de la curva de carga del transformador y se estiman para un año empleando la ecuación:

$$E_p = \left(P_{Fe} \times H + P_{Cu} \times \sum \left(\frac{P}{P_n} \right)^2 \times h \right) \times d$$

Donde

E_p = Pérdidas de energía en kWh,

P_{Fe} = Pérdidas en el hierro a tensión nominal en kW,

P_{Cu} = Pérdidas en el cobre a plena carga en kW,

P_n = Potencia nominal del transformador en kVA,

P = Carga real del transformador en kVA,

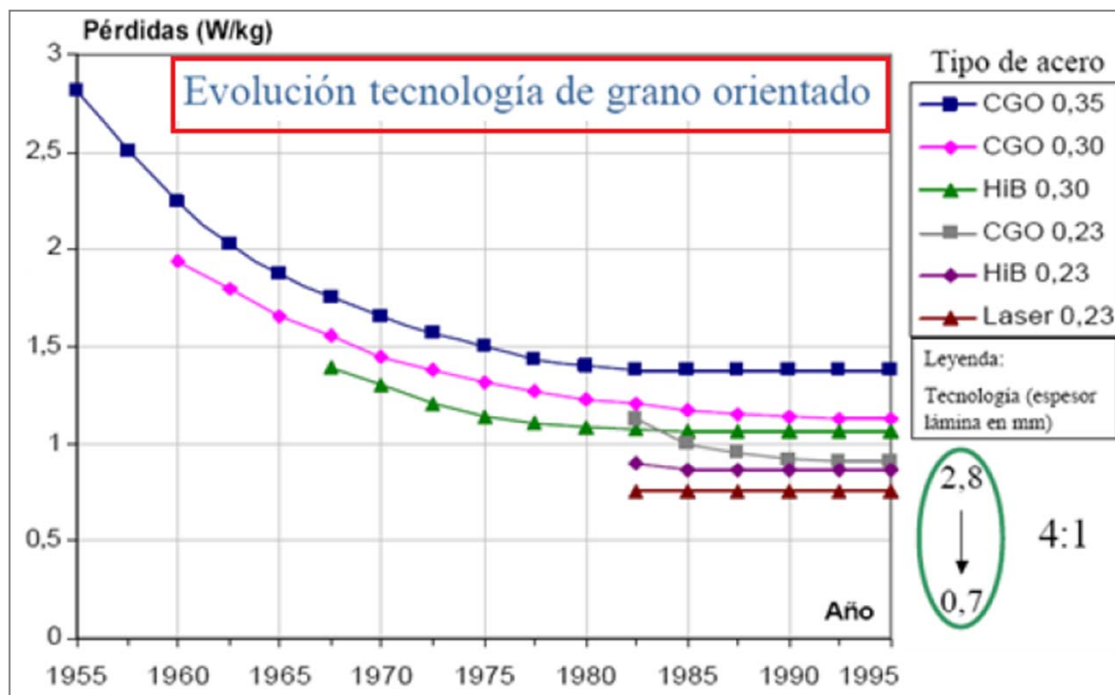
H = Número horas diarias conectado el transformador,

h = Número de horas al día en que el transformador suministra carga P ,

d = Número de días al año en que funciona el transformador.

TRANSFORMADORES: Núcleo Grano Orientado (CGO – HiB)

- ❖ CGO: Cold Grain Orientated (grano orientado con laminación en frío)
- ❖ HiB: (High Orientation – grano orientado con elevada orientación)



Evolución tecnológica de las chapas de grano orientado

Los núcleos de chapa de hierro silicio de grano orientado poseen espesores entre 0,23 y 0,35 mm, en calidades comerciales estándares (tipo M3, M4 o M5), o del tipo tipo HiB (chapas de hierro silicio grano orientado con alta orientación, que también pueden ser tratadas por láser).

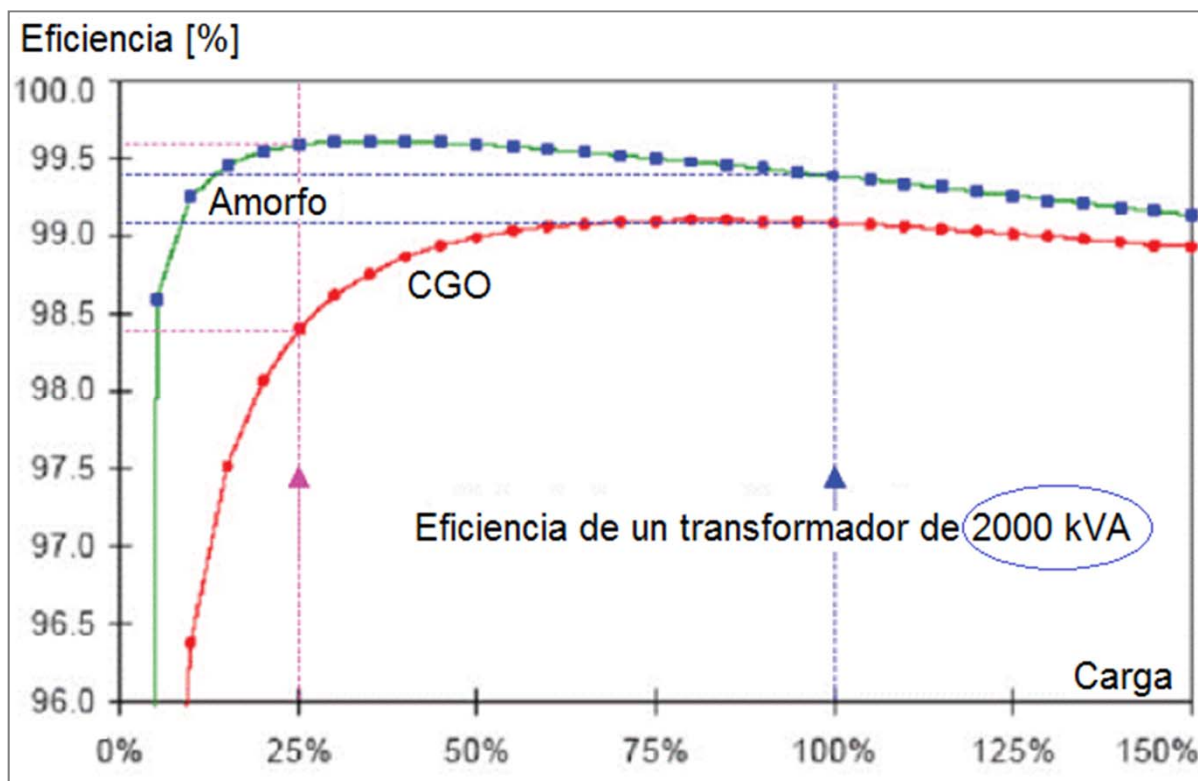
Las del tipo HiB se utilizan ante requerimientos de valores reducidos de pérdidas en vacío.

TRANSFORMADORES: Transformadores de Núcleo Amorfo

Los transformadores de núcleo de metal amorfo permiten **reducir las pérdidas** en vacío hasta un 80% y en carga hasta un 15% con respecto a los transformadores de distribución regulares, con lo cual el ahorro en pérdidas totales es alrededor del **20%**.

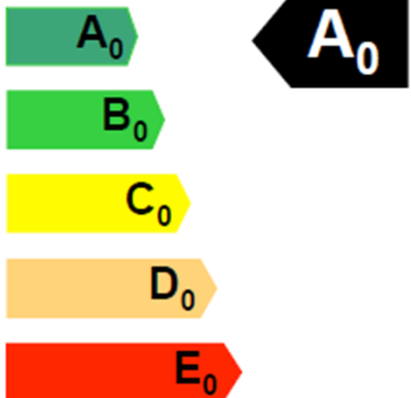
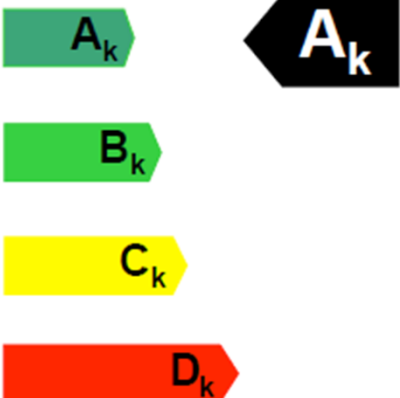
Poseen un ciclo de histéresis mas reducido que los convencionales.

(metales amorfos: son aleaciones metálicas donde la estructura atómica no es cristalina)



Comparación del rendimiento entre un transformador con núcleo Amorfo y otro de Grano Orientado (CGO)

TRANSFORMADORES: Pérdidas - Clasificación EN 50464-1

No-load losses performance oil-immersed transformers according to EN 50464-1	Load losses performance oil-immersed transformers according to EN 50464-1
Optimum efficiency  Standard efficiency	Optimum efficiency  Standard efficiency

Clasificación EN 50464-1
Eficiencia para transformadores
en aceite.
(Pérdidas en Vacío y en Carga)

TRANSFORMADORES: Eficiencia energética en el uso

Se indican algunas medidas y recomendaciones a tener en cuenta en el uso de transformadores desde el punto de vista de la eficiencia energética:

Medidas:

- ✓ Sustituir los transformadores antiguos por otros nuevos.
- ✓ Desconectar los transformadores que estén en vacío.
- ✓ Acoplar correctamente los transformadores en paralelo.

Recomendaciones:

- ✓ Conocer la carga asociada al transformador para no sobrecargarlo, y así reducir las pérdidas en el Cobre.
- ✓ Evitar operar con transformadores a baja carga (menor al 20%), si es posible redistribuir las cargas.
- ✓ Revisar periódicamente el nivel y la rigidez dieléctrica del aceite (c/6 meses), con el fin de controlar la capacidad aislante y refrigerante del mismo.
- ✓ Realizar una limpieza periódica del transformador (superficie del tanque, aletas disipadoras de calor, bornes, etc.).
- ✓ Medir con frecuencia la temperatura superficial del transformador. No debe superar lo recomendado por el fabricante (aprox. superior a 55°C), de ser así debe revisarse el aceite dieléctrico.

SISTEMAS ELECTRICOS INDUSTRIALES (SEI)

MOTORES ELÉCTRICOS

IEE

 **IRPHA**



**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**

**Módulo VII:
Sistemas e instalaciones**

MOTORES: Uso de la Energía

Gran parte de la Electricidad Energiza Motores Eléctricos Industriales

42%

of all electricity used
powers industry



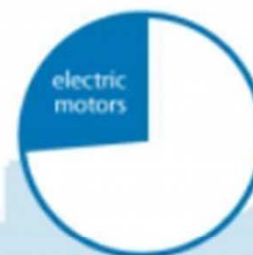
2/3

of this is used
by electric motors



= 28%

Global electricity
consumption



*Utilizando tecnología actualmente disponible
podemos hacer que millones de motores sean más
eficientes.*

La eficiencia energética pueden reducir el consumo mas del

60%



IEE

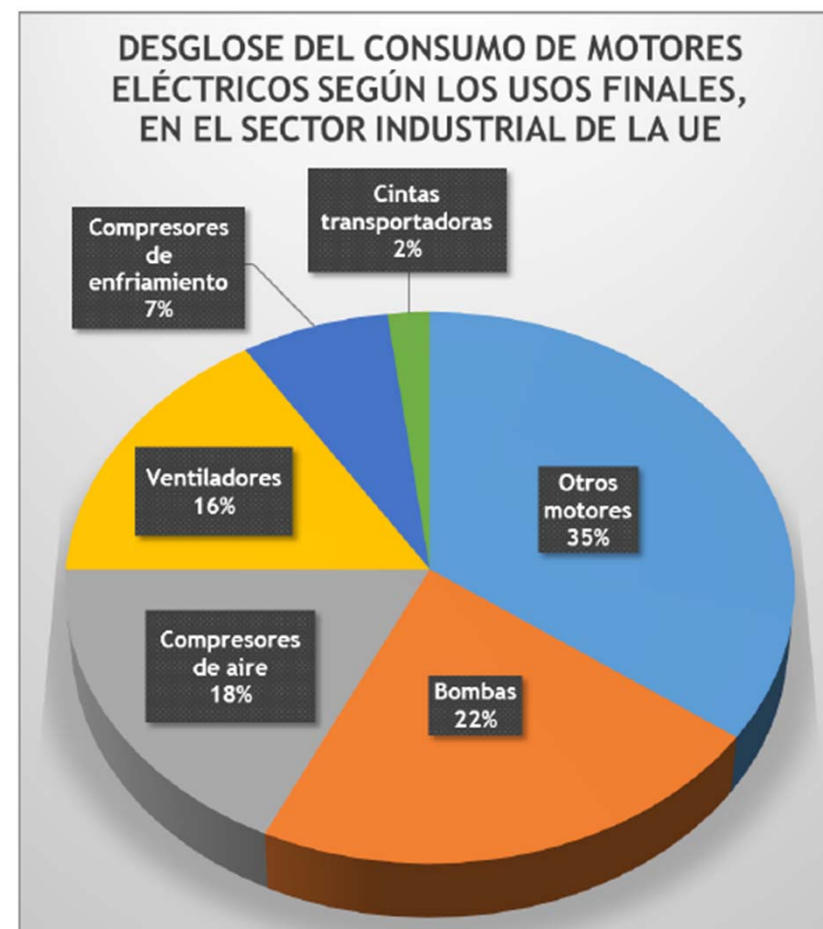
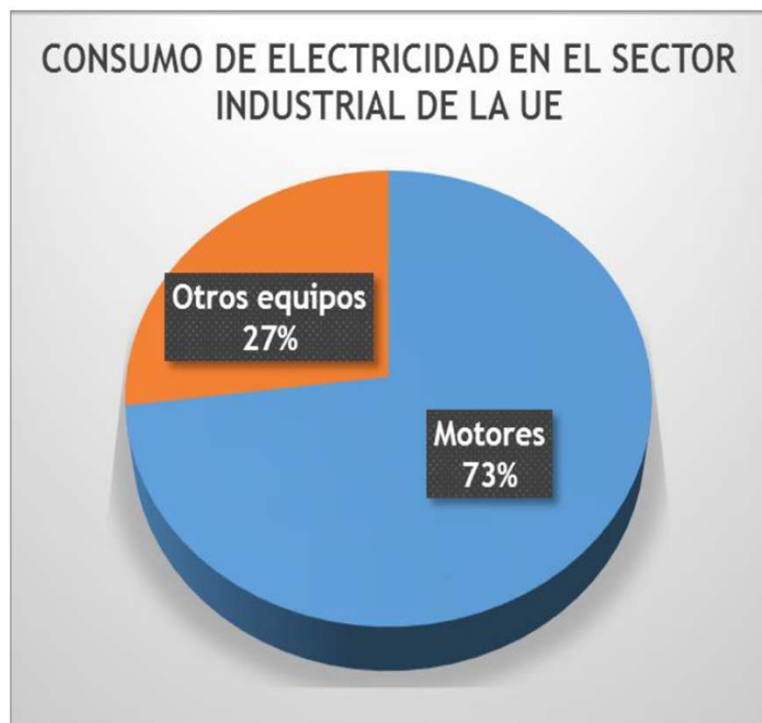
IRPHA



CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

MOTORES: Uso de la Energía



MOTORES: Eficiencia de un sistema con motores eléctricos

La eficiencia de los sistemas de Motores depende de varios factores:

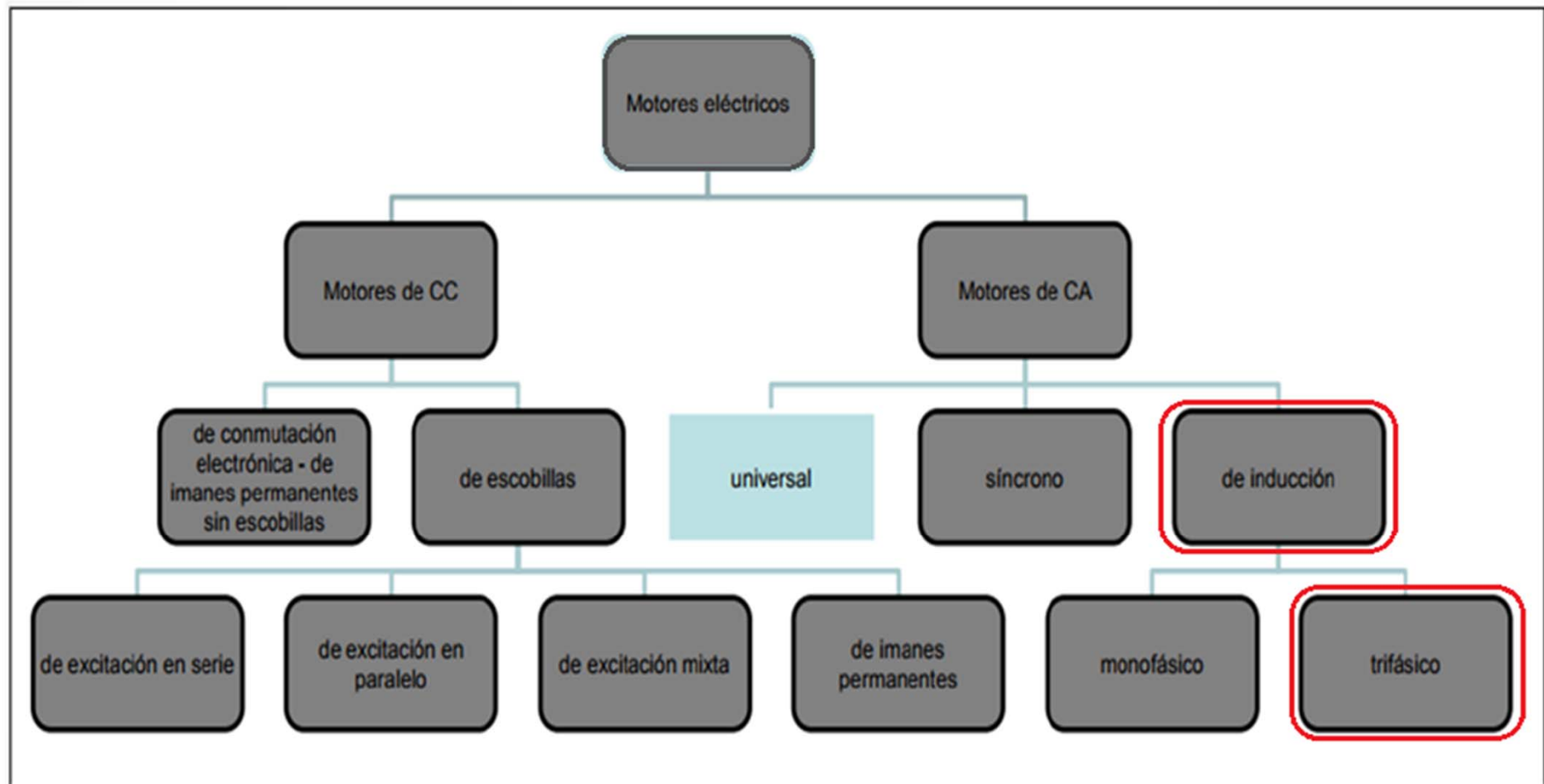
- ✓ Eficiencia del Motor
- ✓ Control de Velocidad y Par Motor
- ✓ Dimensionamiento Correcto
- ✓ Calidad del Suministro Eléctrico
- ✓ Pérdidas por Distribución
- ✓ Transmisión Mecánica.
- ✓ Prácticas de Mantenimiento.
- ✓ Eficiencia del Uso Final (Bomba, Ventilador, Compresor, etc.).

$$\eta_{MOTOR} = \frac{P_{SALIDA (ÚTIL)}}{P_{ENTRADA}} = \frac{P_{EJE}}{P_{ELÉCTRICA}} = 1 - \frac{P_{PÉRDIDAS}}{P_{ENTRADA}}$$

$$P_{EJE} = T \cdot \omega$$

$$\eta_{SISTEMA} = \eta_{VDF} \cdot \eta_{MOTOR} \cdot \eta_{TRANSMISIÓN} \cdot \eta_{USO-FINAL} = \frac{P_{ÚTIL}}{P_{ENTRADA}}$$

MOTORES: Tipos de Motores Eléctricos



MOTORES: Motores de CC y CA asincrónicos

Motores de CC:

- ❑ Los motores de CC tienen la desventaja de ser relativamente mas costosos y requieren de mayor mantenimiento debido a existencia de escobillas y conmutadores.
- ❑ Los convertidores electrónicos destinados al control de velocidad son más sencillos y menos costosos que los empleados en el control de motores de CA

Motores de CA Asincrónicos o de Inducción:

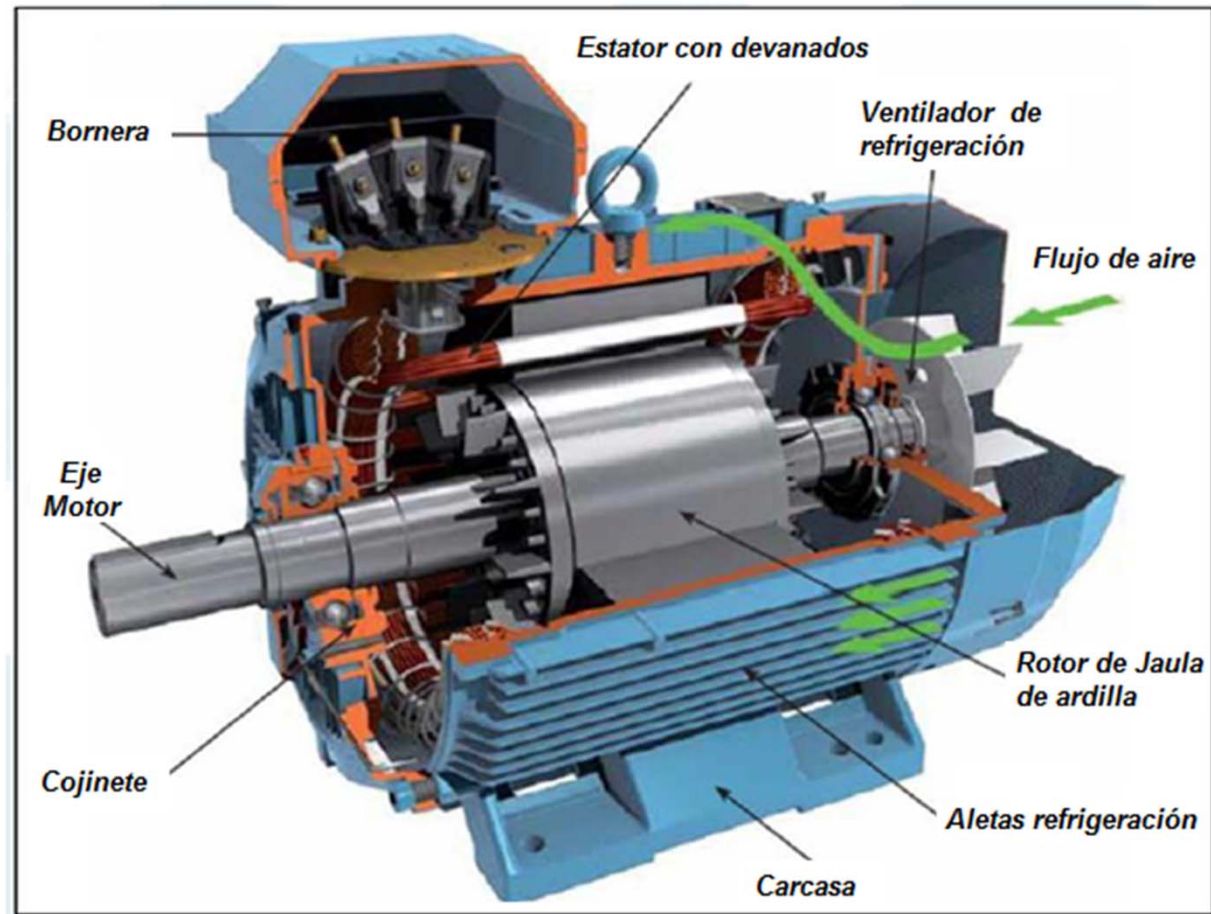
- ❑ Son más rápidos que sus equivalentes en CC en el orden de 30 %, más robustos y compactos, de menor peso, más económicos y con menor mantenimiento especialmente cuando trabajan en ambientes hostiles.
- ❑ Para aplicaciones de velocidad variable requieren de convertidores electrónicos que son más complejos y costosos que los empleados en motores de CC. El avance tecnológico actual ha permitido reducir los costos asociados a los convertidores y su control, aumentando también la eficacia y confiabilidad.

Por estas razones, en la actualidad los motores de **CA Asincrónicos** son los más utilizados tanto para aplicaciones de velocidad fija o variable. Particularmente los del tipo **jaula de ardilla**, empleados para controlar: bombas, ventiladores, compresores y muchas otras aplicaciones industriales.

MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Partes principales:

- Carcasa
- Estator
- Rotor (Jaula de ardilla)
- Cojinetes
- Ventilador refrigeración
- Bornera de conexión
- Otras

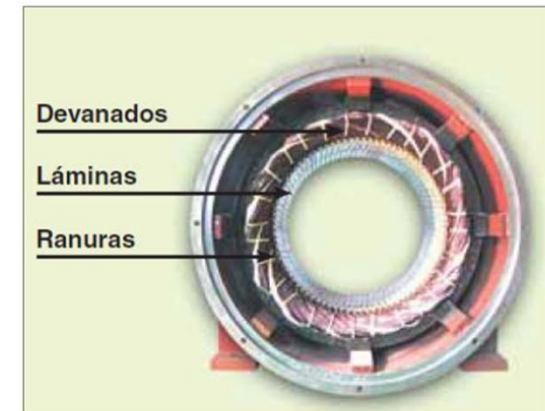


MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Estator:

Parte **fija** de la máquina y constituye el circuito **inductor** de la máquina. Está formado por un conjunto o paquete de láminas de acero al silicio y por los devanados inductores que proveen los polos magnéticos, alojados en ranuras adecuadas en el paquete.

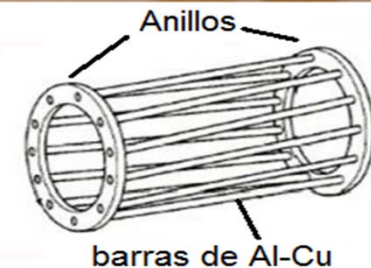
Los devanados estáticos son trifásicos y pueden conectarse en estrella (Y) o triángulo (Δ).



Rotor Jaula de ardilla:

Es la parte giratoria o **móvil** del motor y constituye el **inducido** del circuito magnético.

Son barras conductoras (Cu o Al) paralelas que se cortocircuitan en sus extremos por anillos, y que se insertan en las ranuras practicadas de la periferia externa del núcleo ferromagnético (chapas cilíndricas de acero al silicio apiladas y aisladas entre sí).



MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Principio de funcionamiento:

Energizando el circuito del estator con un suministro de CA trifásico, se produce un campo magnético rotante en el estator que gira a la **velocidad de sincronismo** (n_0), la cual depende de la frecuencia de la red y del número de polos de la máquina.

El rotor, cerrado en cortocircuito y sometido al campo magnético del estator, produce una fuerza electromotriz inducida generando corrientes cuyo efecto es el de crear un par motor que hace girar el rotor a fin de oponerse a la causa que la origina (ley de Lenz).

El rotor luego se acelera hasta alcanzar una **velocidad** (n) siempre inferior a la velocidad de sincronismo, tal que:

- ✓ **En vacío** (sin carga externa conectada al eje del motor) el par motor iguala el par de fricción y de ventilación.
- ✓ **Con carga** externa conectada al eje, el par motor iguala la suma de los pares precedentes y del par de resistencia de la carga aplicada al eje.

La diferencia de velocidad es lo que da lugar al fenómeno de inducción en este tipo de motor. Sin diferencia de velocidad, no existe variación de campo en el rotor ni par motor que permita hacer girar al rotor (concepto de **deslizamiento** entre la velocidad del campo magnético estatórico y la velocidad del rotor).

MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Principio de funcionamiento:

La velocidad sincrónica (n_o) depende de la frecuencia de alimentación y del número de pares de polos implementados en el bobinado del estator, es decir:

$$n_o = \frac{60 \times f}{p}$$

$$s = \frac{n_o - n}{n_o}$$

p = N° de polos	velocidad sincrónica - n_o [rpm]	
	f = 50 Hz	f = 60 Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

Donde:

n_o : velocidad de sincronismo en vueltas por minuto (*rpm*)

f : frecuencia de la red de alimentación (50 ó 60 Hz)

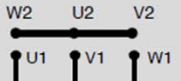
p : número de pares de polos (*N° de polos de la máquina dividido en 2*).

s : deslizamiento (*s = 1 cuando n = 0 c/rotor detenido/bloqueado; s = 0 cuando n = n_o c/rotor girando a la velocidad sincrónica, solo teórico*)

Los motores asíncronos funcionando a plena carga poseen valores s comprendidos entre el 3 y el 7%, (valores inferiores corresponden a motores de potencia elevada).

MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Datos Placa motor

				IE3	
IEC/EN 60034-1					
Frame: IE2-EGQ 180 M2		3-Mot. 00000000000000		Conn.	
IM B35	I.Clas. 155 (F)	IP 55	S1	40 °C	203 Kg
50 Hz	22 kW	60 Hz	26,4 kW		
400/600 V D/Y	Cosφ 0,90	480 V D/Y	Cosφ 0,90		
38,7 / 22,4 A	2940 min ⁻¹	38,7A	3530 min ⁻¹		
IE2-91,3%		IE2-91,3%			
DE Brg. 6311 C3		NDE Brg. 6311 C3			

- Logo clase de eficiencia (IE1 o IE2)
- Número de serie
- Tipo (IE2-EGQ 180M 2): clase de eficiencia (IE2), serie (EGQ), tamaño (180M) y polos (2)
- Tensión nominal a 50 Hz
- Intensidad nominal a 50 Hz
- Clase de eficiencia IE y eficiencia nominal al 100 % de la carga a 50 Hz
- Tipo de rodamientos
- Diagrama de conexiones (para motores carcasa ≥ 160)



IEE

IRPHa



CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

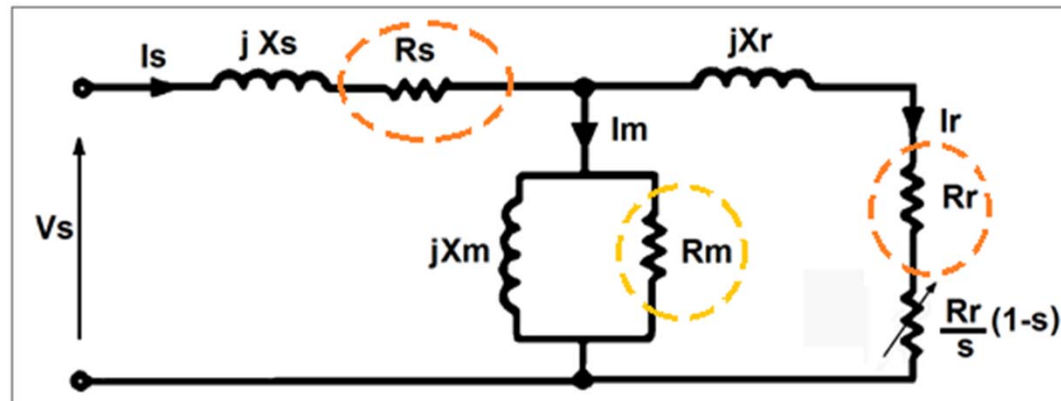
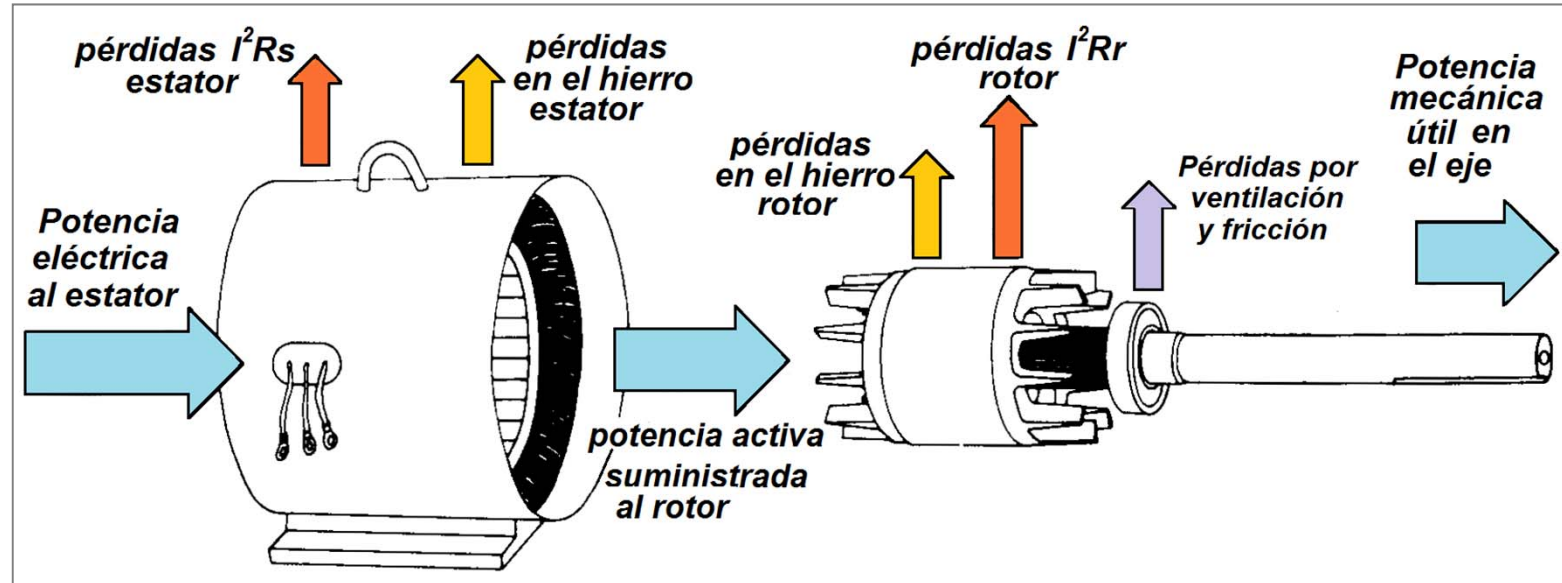
MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Pérdidas en un Motor Asíncrono:

- ❑ **Pérdidas Eléctricas (de efecto Joule)** dependen del cuadrado de la corriente y aumentan con la carga del motor. Aparecen como calor generado por la resistencia eléctrica a la corriente que fluye por los devanados estatórico y rotórico.
- ❑ **Pérdidas Magnéticas** ocurren en el laminado de acero del estator y del rotor. Se deben a la histéresis y a las corrientes de Foucault, aumentan aproximadamente con la densidad de flujo al cuadrado.
- ❑ **Pérdidas Mecánicas** debidas a la fricción en cojinetes y pérdidas por ventilación.
- ❑ **Pérdidas por Flujos Dispersos:** originadas por flujos dispersos del rotor y estator, por armónicos en el flujo del entrehierro, a la falta de uniformidad en la distribución de las corrientes entre las barras, a imperfecciones mecánicas del entrehierro y a irregularidades en la densidad del flujo en el entrehierro.

MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

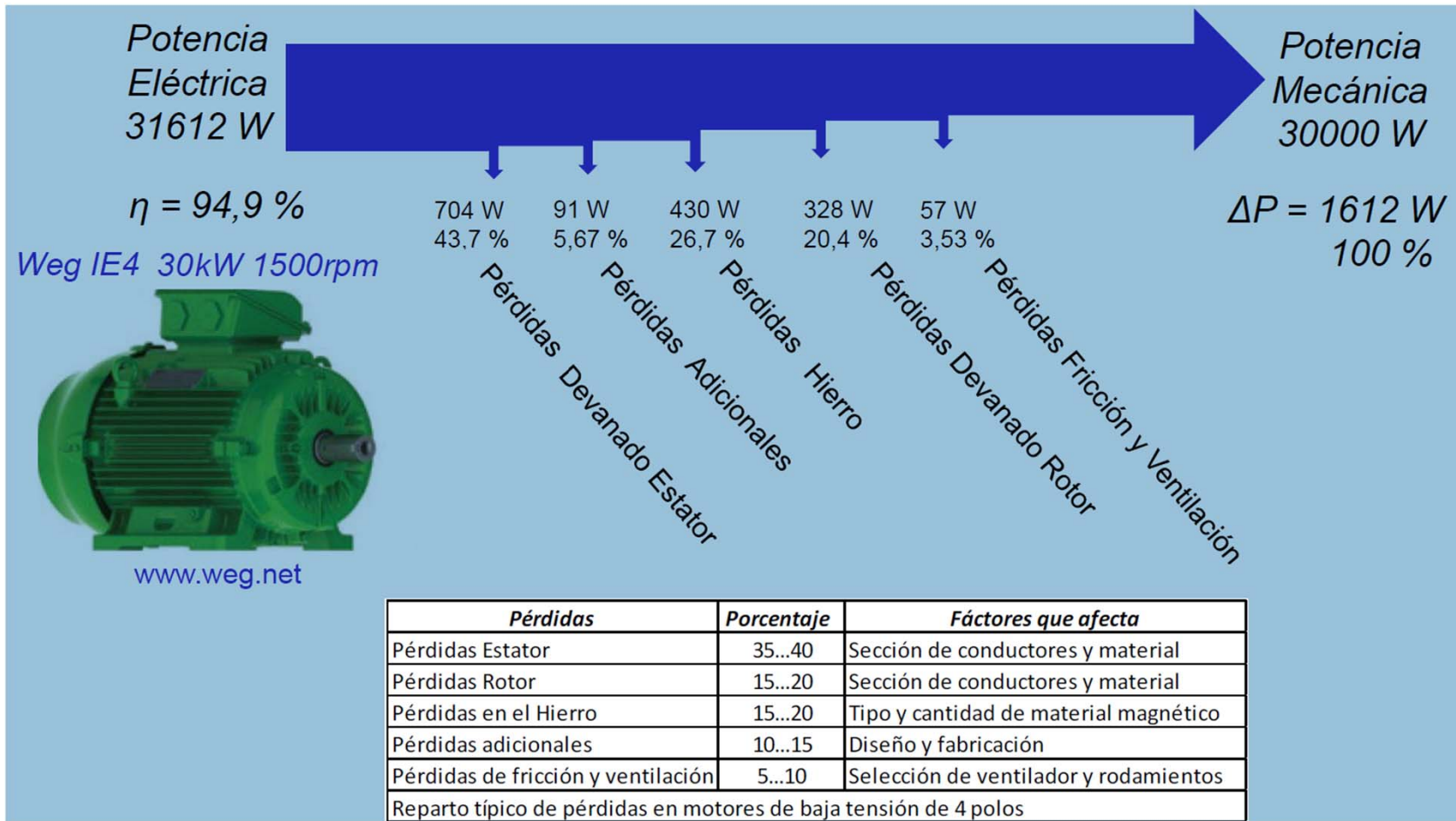
Pérdidas en un motor Asíncrono:



Circuito equivalente por fase de un Motor de Inducción

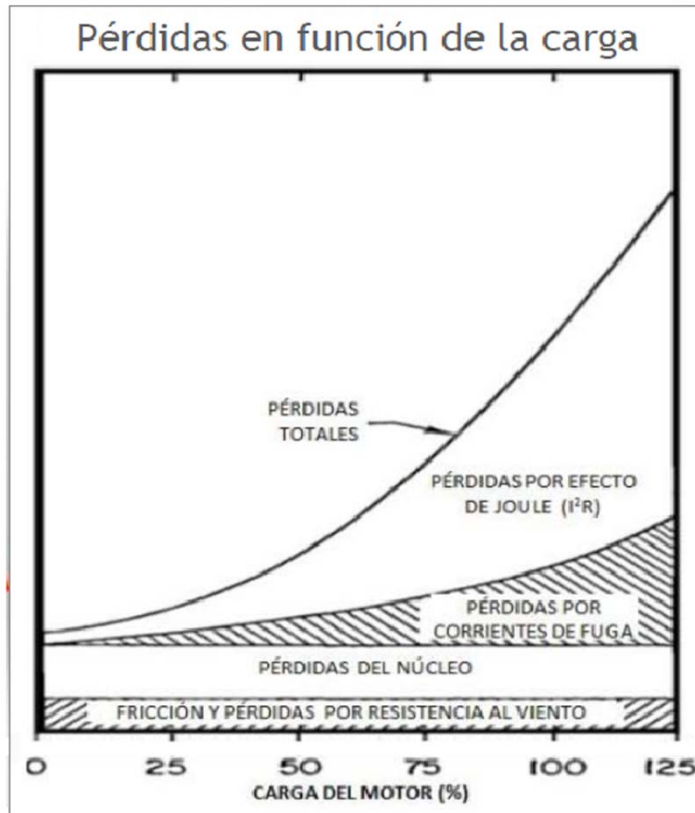
MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Ejemplo de Pérdidas en un motor Asíncrono:

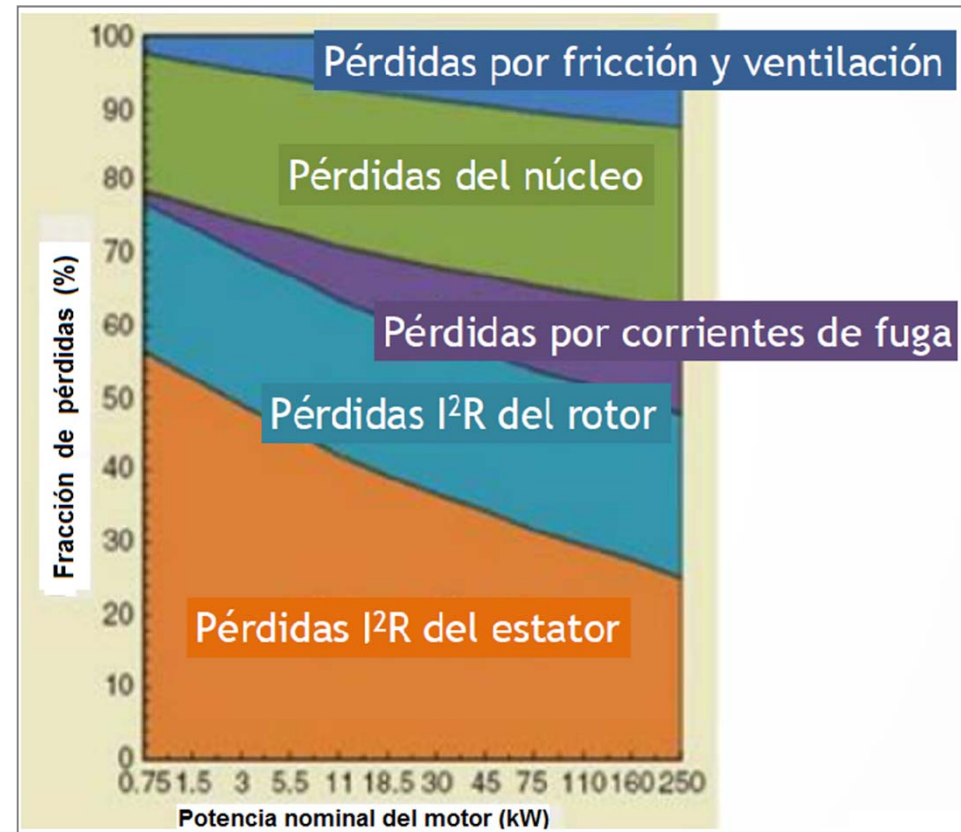


MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Pérdidas en un motor Asíncrono:



Pérdidas en función de la carga del motor



Fracción típica de las pérdidas de un motor de Inducción, 50 Hz, 4 polos

MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Características de los Motores de Inducción Energéticamente Eficientes:

- ✓ Mayor Eficiencia (2-6% más).
- ✓ Reducción de costos energéticos y mantenimiento.
- ✓ Mayor cantidad de material de mejor calidad.
- ✓ Costos de adquisición más caros (25-30%).
- ✓ Mayor vida útil (menor temperatura operativa, menor envejecimiento).
- ✓ Menor par de arranque (forma de las ranuras del rotor).
- ✓ Mayor corriente de arranque.
- ✓ Menor deslizamiento.
- ✓ Mayor inercia del rotor.

IEE

 **IRPHA**



CONSEJO FEDERAL

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Características de los Motores de Inducción Energéticamente Eficientes:

La fabricación de este tipo de motores considera los siguientes aspectos (*):

- ✓ Mayor cantidad de material conductor.
- ✓ Mejor calidad de chapas magnéticas para reducir corrientes parásitas.
- ✓ Sistema de ventilación más eficiente (diseño de álabes).
- ✓ Reducción de la dispersión del campo electromagnético por medio de una mayor área de laminación.
- ✓ Rodamientos antifricción de bajo calentamiento, escaso nivel de ruido y bajas pérdidas por fricción.
- ✓ Entrehierro más estrecho que permite reducir pérdidas magnéticas y por fricción.

() Guía de para Eficiencia Energética de Motores Eléctricos –Ministerio de Energía y Minería . República Argentina.*

IEE

 **IRPHA**



CONSEJO FEDERAL

**Módulo VII:
Sistemas e instalaciones**

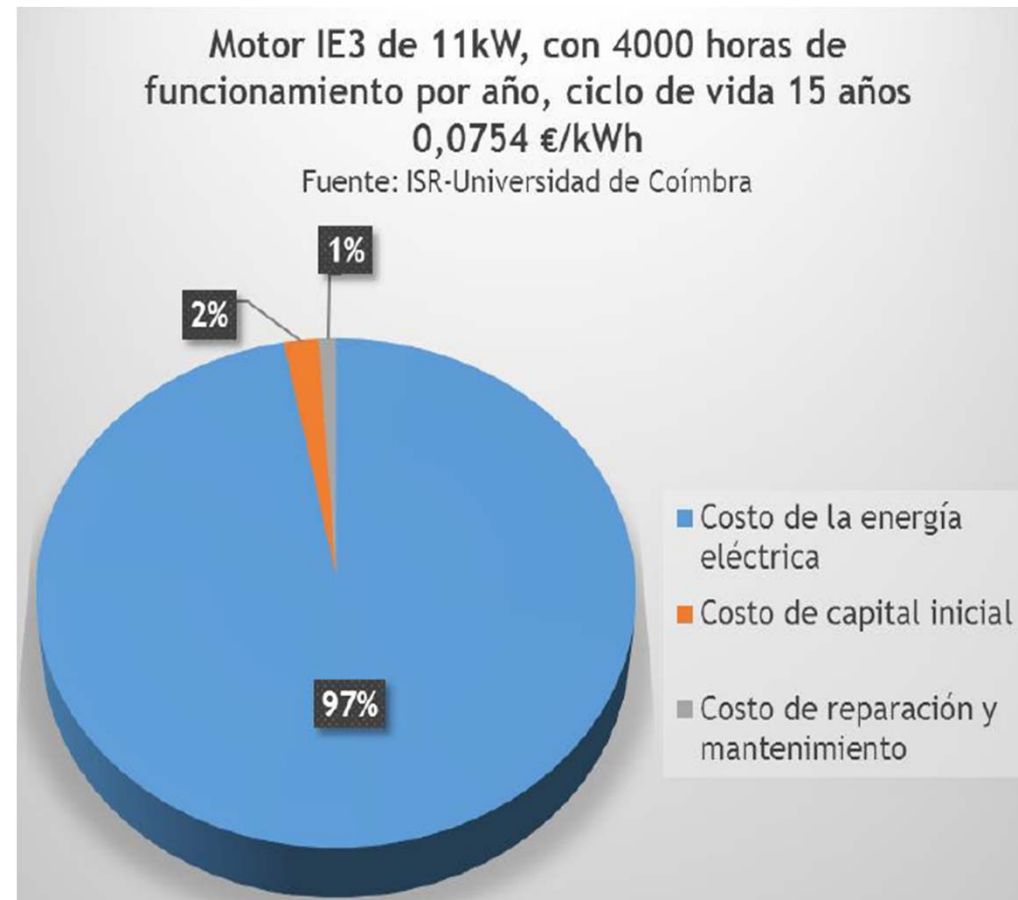
MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Ejemplo Comparación Costos (consumo, inversión , mantenimiento):

En la industria, un motor de inducción puede consumir anualmente una cantidad de energía equivalente entre 5 y 10 veces su costo inicial.

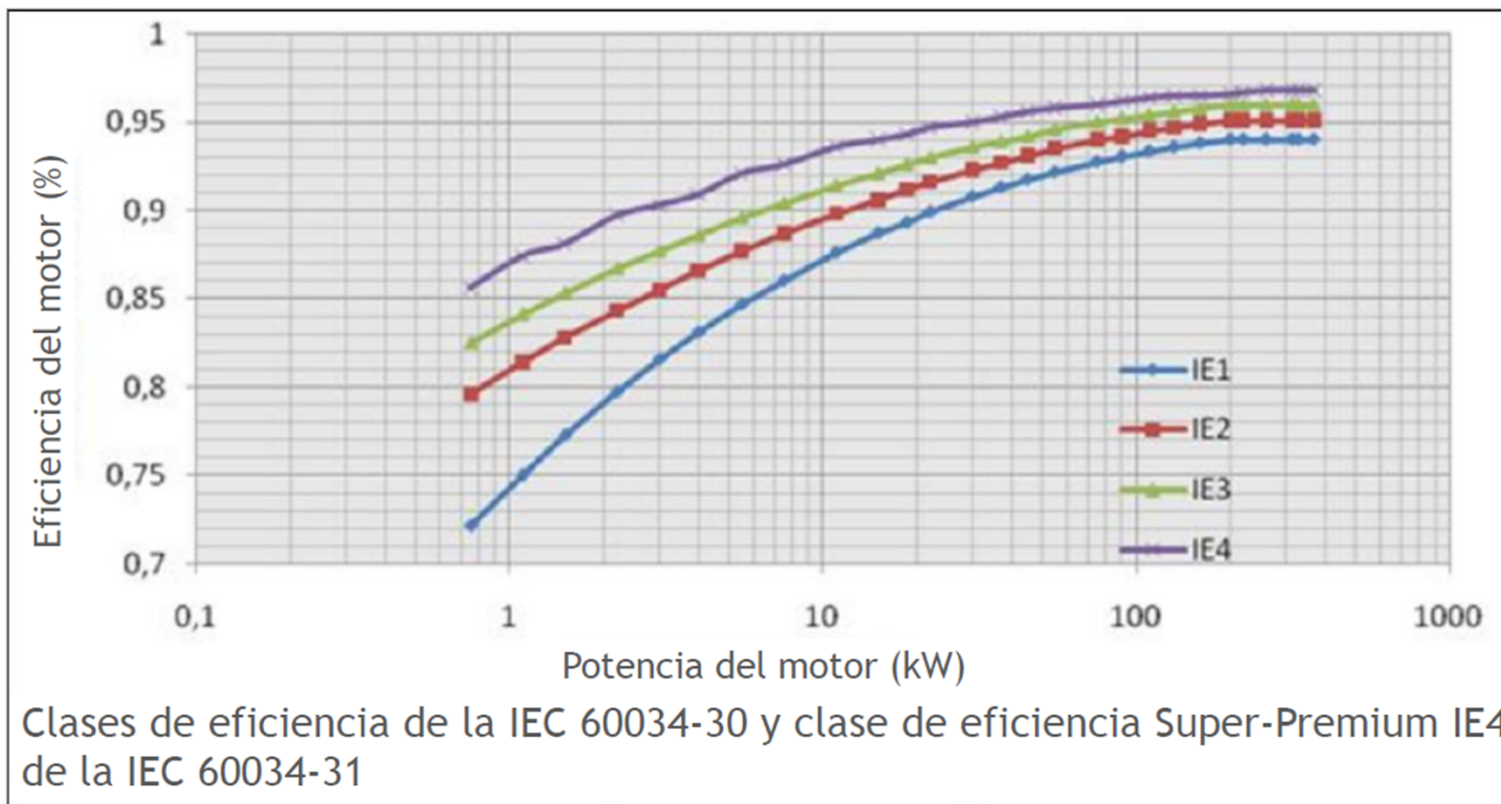
En su vida útil (entre 12 a 20 años), representa entre 60 y 200 veces su costo inicial.

Ello justifica un análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC) que incluya la reparación y el mantenimiento.



MOTORES: de CA Asíncrono (inducción) - tipo Jaula de ardilla

Clases de Eficiencia:



MOTORES:

Clases de Eficiencia:

Normas de Motores

IEC/EN 60034-30-2-1:2007 y Clases de Eficiencia

NEMA MG-1 Part 12	IEC 60034-2-1:2007 (IE4 - Super-premium: IEC/TS 60034-31: 2010 -04)
Super Premium Efficiency	IE4
Premium Efficiency	IE3
High Efficiency	IE2
Standard Efficiency	IE1

IEC/EN 60034-30 cubre la gran mayoría de los motores (por ejemplo estándar, motores para áreas explosivas, marino y con freno):

- 1 Velocidad, 3 fases, 50 y 60 Hz
- 2, 4 ó 6-polos
- Potencia en el eje 0.75 a 375[KW]
- Voltaje de operación U_N up to 1000[V]
- Operación continua S1 o S3 (intermitente con operaciones periódicas >80%).

Se encuentran excluidos:

- Motores que operan con Variadores de frecuencia.
- Motores integrados en un equipo mayor y que no pueden ser testeados de manera independiente.



IEE

 **IRPHA**



CONSEJO FEDERAL

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

MOTORES:

Clases de Eficiencia:

La norma IEC 60034-30:2014 define el rendimiento de los motores asíncronos de baja tensión ($U_N \leq 1000V$)

desde 0,75 kW hasta 1000 kW

con 2,4, 6 y 8 polos.

Para servicio S1 ó S3

2 Polos	IE1	IE2	IE3	IE4
Potencia [kW]	Rendimiento Estándar	Alto Rendimiento	Rendimiento Premium	Rendimiento Súper Premium
0,75	72,1	77,4	80,7	84,9
1,1	75,0	79,6	82,7	86,7
1,5	77,2	81,3	84,2	87,5
2,2	79,7	83,2	85,9	89,1
3	81,5	84,6	87,1	89,7
4	83,1	85,8	88,1	90,3
5,5	84,7	87,0	89,2	91,5
7,5	86,0	88,1	90,1	92,1
11	87,6	89,4	91,2	93,0
15	88,7	90,3	91,9	93,4
18,5	89,3	90,9	92,4	93,8
22	89,9	91,3	92,7	94,2
30	90,7	92,0	93,3	94,5
37	91,2	92,5	93,7	94,8
45	91,7	92,9	94,0	95,1
55	92,1	93,2	94,3	95,4
75	92,7	93,8	94,7	95,6
90	93,0	94,1	95,0	95,8
110	93,3	94,3	95,2	96,0
132	93,5	94,6	95,4	96,0
160	93,7	94,8	95,6	96,2
200	94,0	95,0	95,8	96,3
250	94,0	95,0	95,8	96,4
315	94,0	95,0	95,8	96,5
355	94,0	95,0	95,8	96,6
1000	94,0	95,0	95,8	96,6
IEC-60034-30 2014 Rendimiento [%]				

MOTORES:

Clases de Eficiencia (4 y 6 polos):

4 Polos	IE1	IE2	IE3	IE4
Potencia [kW]	Rendimiento Estándar	Alto Rendimiento	Rendimiento Premium	Rendimiento Súper Premium
0,75	72,1	79,6	82,5	85,6
1,1	75,0	81,4	84,1	87,4
1,5	77,2	82,8	85,3	88,1
2,2	79,7	84,3	86,7	89,7
3	81,5	85,5	87,7	90,3
4	83,1	86,6	88,6	90,9
5,5	84,7	87,7	89,6	92,1
7,5	86,0	88,7	90,4	92,6
11	87,6	89,8	91,4	93,6
15	88,7	90,6	92,1	94,0
18,5	89,3	91,2	92,6	94,3
22	89,9	91,6	93,0	94,7
30	90,7	92,3	93,6	95,0
37	91,2	92,7	93,9	95,3
45	91,7	93,1	94,2	95,6
55	92,1	93,5	94,6	95,8
75	92,7	94,0	95,0	96,0
90	93,0	94,2	95,2	96,2
110	93,3	94,5	95,4	96,4
132	93,5	94,7	95,6	96,5
160	93,7	94,9	95,8	96,5
200	94,0	95,1	96,0	96,6
250	94,0	95,1	96,0	96,7
315	94,0	95,1	96,0	96,8
355	94,0	95,1	96,0	96,8
375	94,0	95,1	96,0	96,8
IEC-60034-30 Rendimiento [%]				

6 Polos	IE1	IE2	IE3	IE4
Potencia [kW]	Rendimiento Estándar	Alto Rendimiento	Rendimiento Premium	Rendimiento Súper Premium
0,75	70,0	75,9	78,9	83,1
1,1	72,9	78,1	81,0	84,1
1,5	75,2	79,8	82,5	86,2
2,2	77,7	81,8	84,3	87,1
3	79,7	83,3	85,6	88,7
4	81,4	84,6	86,8	89,5
5,5	83,1	86,0	88,0	90,2
7,5	84,7	87,2	89,1	91,5
11	86,4	88,7	90,3	92,5
15	87,7	89,7	91,2	93,1
18,5	88,6	90,4	91,7	93,5
22	89,2	90,9	92,2	93,9
30	90,2	91,7	92,9	94,3
37	90,8	92,2	93,3	94,6
45	91,4	92,7	93,7	94,9
55	91,9	93,1	94,1	95,2
75	92,6	93,7	94,6	95,4
90	92,9	94,0	94,9	95,6
110	93,3	94,3	95,1	95,6
132	93,5	94,6	95,4	95,8
160	93,8	94,8	95,6	96,0
200	94,0	95,0	95,8	96,1
250	94,0	95,0	95,8	96,1
315	94,0	95,0	95,8	96,1
355	94,0	95,0	95,8	96,1
375	94,0	95,0	95,8	96,1
IEC-60034-30 Rendimiento [%]				

IEE

IRPHa



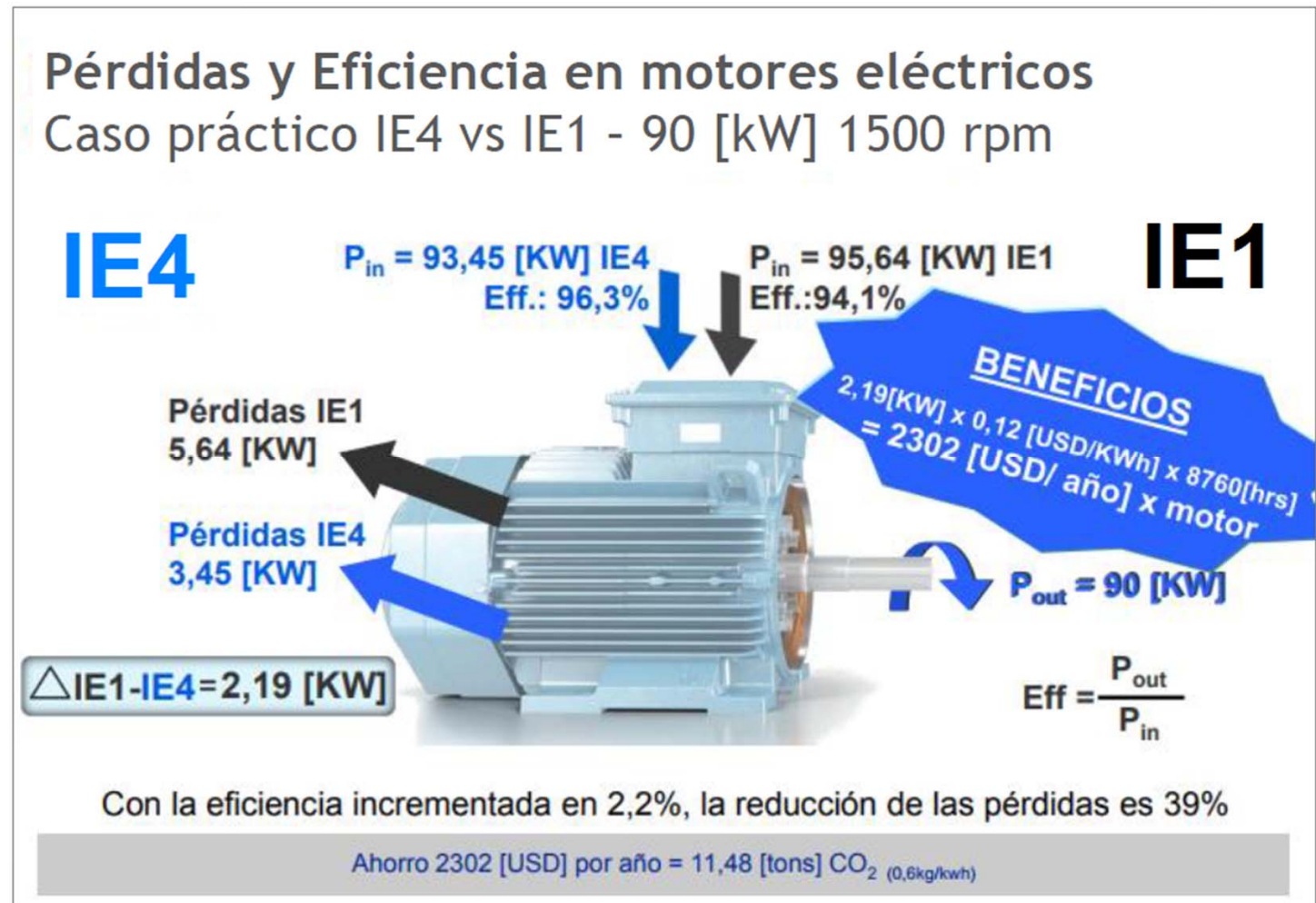
CONSEJO FEDERAL

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

MOTORES:

Clases de Eficiencia:

Ejemplo de
disminución de
pérdidas en
motores con
distinta
eficiencia



MOTORES:

Clases de Eficiencia:

Eficiencia Super Premium IE4
(IEC 60034-31)

Motor Sincrónico de Reluctancia

+

Convertidor VDF c/software de control avanzado

SynRM IE4 Drive Package Solución eficiente para aplicaciones generales



Motor estándar
+
Rotor especial



Drive estándar
+
Nuevo Software



¡Una nueva y revolucionaria solución de Accionamiento!

Accionamiento Eficiencia IE4 / Super Premium (SPE):

- Rango de Potencia: 11 a 200 kW
- Reducción de las pérdidas en hasta un 40%
- Cumple con la próxima nueva clase de eficiencia IE4
- Retorno de inversión menores a 2 años – considerando únicamente los ahorros en energía

Solución basada en tecnología de motores sincrónicos controlados por VDF.

Drive Package combina el motor, drive y un avanzado software en una solución integral.



IEE

IRPHa



CONSEJO FEDERAL

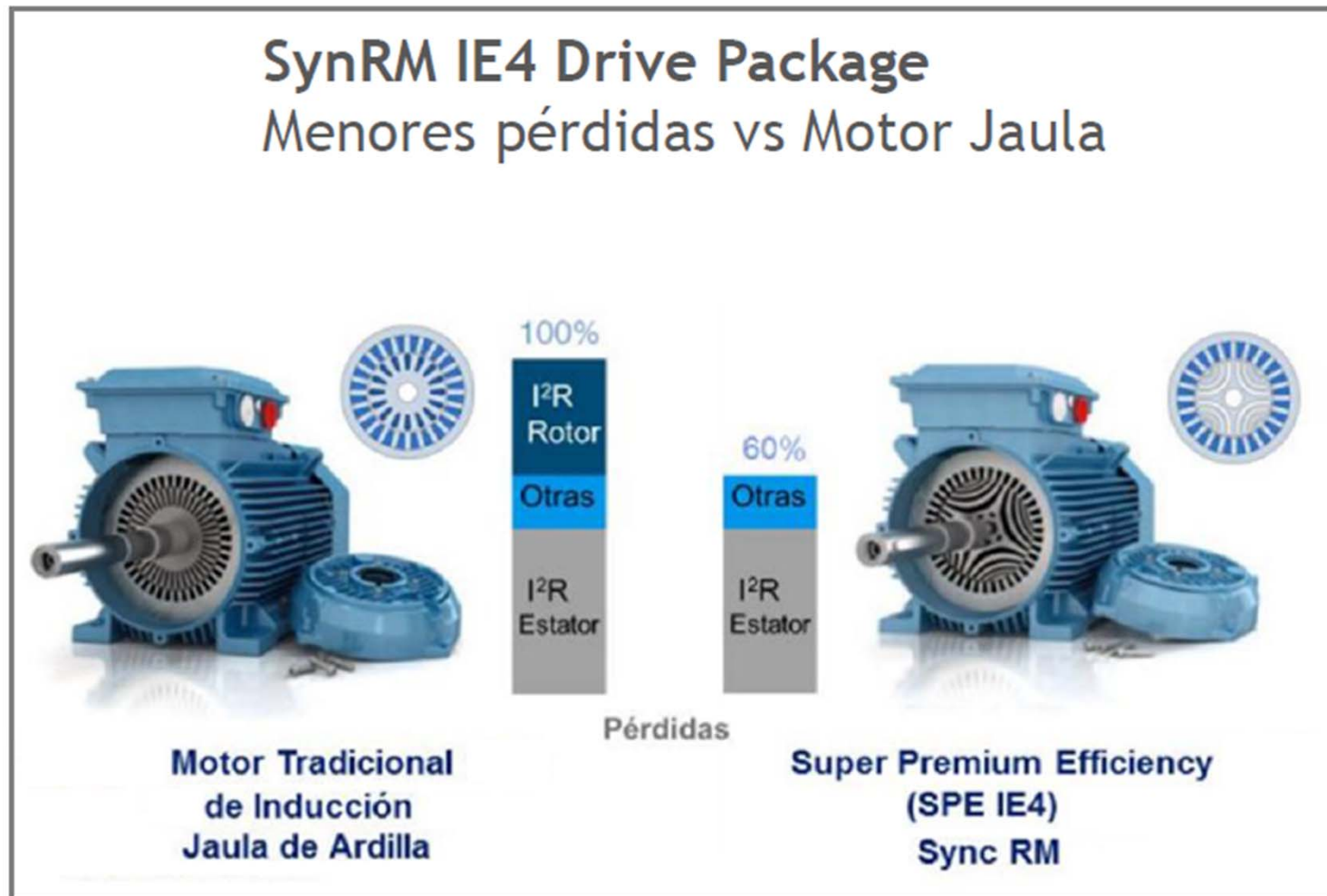
Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

MOTORES:

Clases de Eficiencia:

Eficiencia Super Premium IE4

Motor Sincrónico de Reluctancia



IEE

IRPHa



CONSEJO FEDERAL

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

MOTORES:

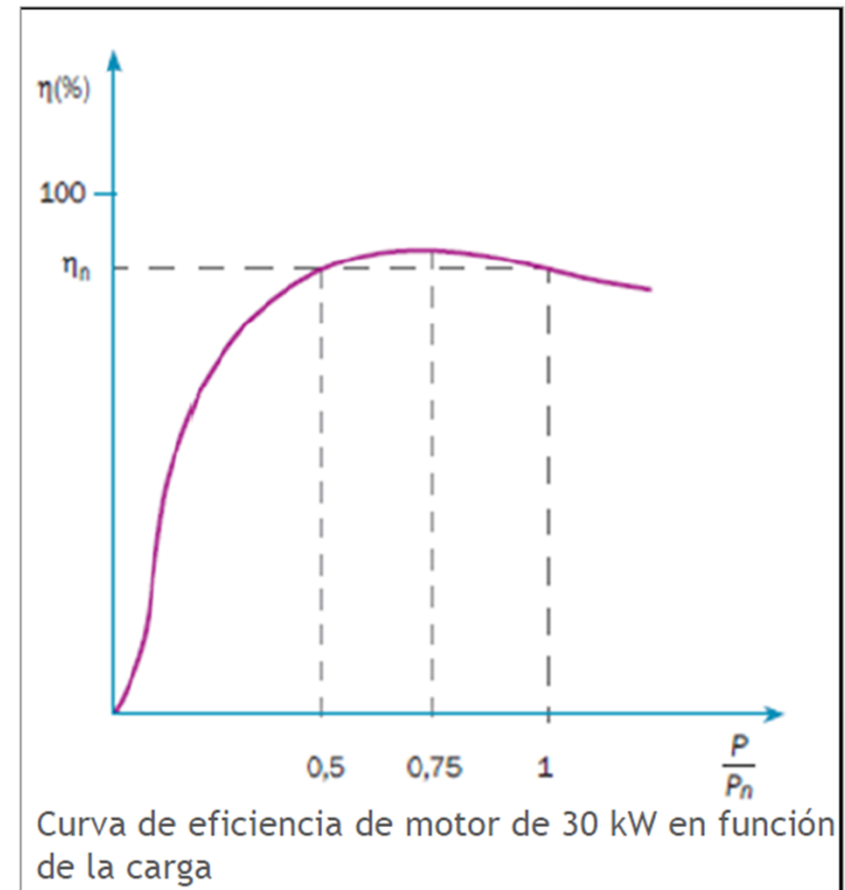
Variación de la Eficiencia con la carga (*):

El factor de carga tiene gran influencia en la eficiencia del motor.

Con factores de carga menores al 50% la eficiencia desciende abruptamente, por lo que no se recomienda trabajar en estas condiciones.

La condición óptima de trabajo se encuentra alrededor del 75% de la potencia nominal.

Resulta muy importante que al seleccionar un motor este no se sobredimensione y se contemplen de forma adecuada las condiciones de operación futuras.



(*) *Guía de para Eficiencia Energética de Motores Eléctricos – Ministerio de Energía y Minería . República Argentina.*

IEE

IRPHa

CFI

CONSEJO FEDERAL

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

MOTORES:

Factores a considerar para mejorar la Eficiencia (*):

- ✓ Es recomendable un buen sistema de alimentación que permita un suministro de energía eléctrica seguro y adecuado al motor.
- ✓ Tener en cuenta que la diferencia de tensión y el desbalance en las fases se encuentren en el menor rango posible, ya que afectan la eficiencia (*menor que el 1%*).
- ✓ Las instalaciones mecánicas también deben estar en óptimas condiciones, ya que una correa de transmisión mal tensada, un anclaje mal hecho o vibraciones excesivas originarán una disminución de la eficiencia del motor.
- ✓ Proveer una buena circulación de aire para garantizar que el sistema de ventilación opere en forma adecuada.
- ✓ Una mala lubricación afectará el rendimiento del motor y un mantenimiento insuficiente deteriora la eficiencia.
- ✓ Se recomienda el uso de motores en períodos continuos en vez de intermitentes.

(*) *Guía de para Eficiencia Energética de Motores Eléctricos – Ministerio de Energía y Minería . República Argentina.*

IEE

 **IRPHa**

CFI

CONSEJO FEDERAL

**Módulo VII:
Sistemas e instalaciones**

MOTORES:

Ejemplo de cuanto se puede ahorrar por año (*):

Si se toma un motor de 20 HP, el ahorro económico asociado al recambio de un motor antiguo por uno de alta eficiencia, en este caso un 5% más eficiente:

- Motor antiguo 20 HP (15 kW) (Motor 1), Eficiencia 100% de carga = 85%
- Motor nuevo más eficiente 20 HP (15 kW) (Motor 2), Eficiencia 100% de carga = 90,2%

A partir de la diferencia entre los consumos de los dos motores se calcula el ahorro económico por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Ahorro} = (P_{C1} - P_{C2}) \times N(\text{horas}) \times C(\$/\text{kWh})$$

Siendo:

$P_C = P(\text{kW}) / \text{eficiencia}$.

P_{C1} = Potencia consumida del motor 1 (motor antiguo) en kW.

P_{C2} = Potencia consumida del motor 2 (motor nuevo “eficiente”) en kW.

$N(\text{horas})$ = número de horas trabajadas en el año.

$C(\$/\text{kWh})$ = costo del kWh.

Potencia en kW = Potencia en HP x 0,746

(*) *Guía de para Eficiencia Energética de Motores Eléctricos – Ministerio de Energía y Minería . República Argentina.*

IEE

 **IRPHa**

CFI

CONSEJO FEDERAL

**Módulo VII:
Sistemas e instalaciones**

MOTORES:

Ejemplo de cuanto se puede ahorrar por año (*):

Ahorro (ejemplo con un costo final de 1,83 \$/kWh):

$(15 \text{ kW}/0,85) - (15 \text{ kW}/0,902) \times (24 \text{ h/día} \times 350 \text{ días/año}) \times 1,83 \text{ \$/kWh} =$

Ahorro = \$ 15.600 /año

Lo anterior indicado hace referencia a un trabajo continuo todo el año y para un solo motor.

Imaginemos este escenario para una industria con cientos de motores!!!

A pesar de que el costo inicial de un motor de alta eficiencia es mayor al convencional, **con los ahorros obtenidos es posible recuperar la inversión en un plazo que dependerá de la horas de utilización del motor en el año!!!**

() Guía de para Eficiencia Energética de Motores Eléctricos – Ministerio de Energía y Minería . República Argentina.*

IEE

IRPHa



CONSEJO FEDERAL

**Módulo VII:
Sistemas e instalaciones**

MOTORES:

Ejemplo de cuanto se puede ahorrar por año (*):

Como caso general, el cálculo del tiempo de recuperación de la inversión se expresa como:

$$Rs = \frac{I}{A} = \frac{C_2 - C_1}{0.746 \times (hp_{nom} \times fc) \times \left[\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2} \right] \times h \times T}$$

Donde:

Rs = recuperación simple de la inversión en meses

I = inversión en dólares USD. Para instalaciones nuevas o motores que cumplieron su vida útil, la inversión es la diferencia entre el costo de un motor de alta eficiencia (C_2) y el costo de un motor estándar (C_1)

A = ahorro mensual en dólares (USD)

T = tarifa de energía eléctrica en USD/kWh

hp_{nom} = potencia nominal del motor en HP

η_1 = rendimiento del motor estándar

fc = Factor de carga del motor.

η_2 = rendimiento del motor de alta eficiencia

h = número de horas de uso mensual

(*) *Guía de para Eficiencia Energética de Motores Eléctricos – Ministerio de Energía y Minería . República Argentina.*

IEE

IRPHa

CFI

CONSEJO FEDERAL

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

SISTEMAS ELECTRICOS INDUSTRIALES (SEI)

VARIADORES DE FRECUENCIA

IEE

 **IRPHA**



CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

VARIADORES DE FRECUENCIA

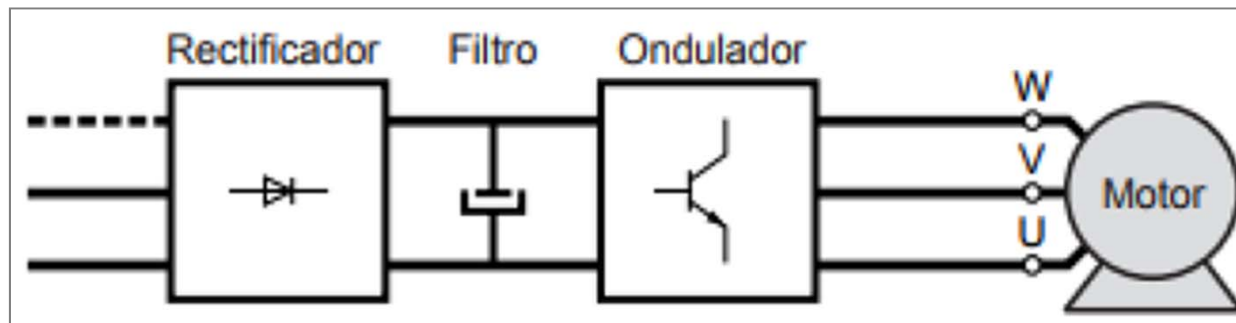
Necesidad de Regulación de Velocidad:

Los motores de inducción trifásicos con rotor en jaula de ardilla, conectados a una red trifásica de frecuencia y tensión fija, poseen una velocidad prácticamente constante, que solamente difiere muy levemente de la velocidad sincrónica.

En aplicaciones de velocidad variable, es necesario un suministro de frecuencia (y tensión) ajustable utilizando los Variadores de Frecuencia (VDF) que permiten modificar la velocidad según requerimientos de la carga.

Otros motivos por el cual se emplean los variadores de frecuencia son los siguientes:

- ✓ Optimizar el control y protección del motor.
- ✓ Reducir el estrés eléctrico y/o mecánico (incluyen arranque/frenado progresivo).
- ✓ Ahorrar energía (frenado regenerativo, corrección Factor de Potencia).



Esquema de un variador de frecuencia electrónico

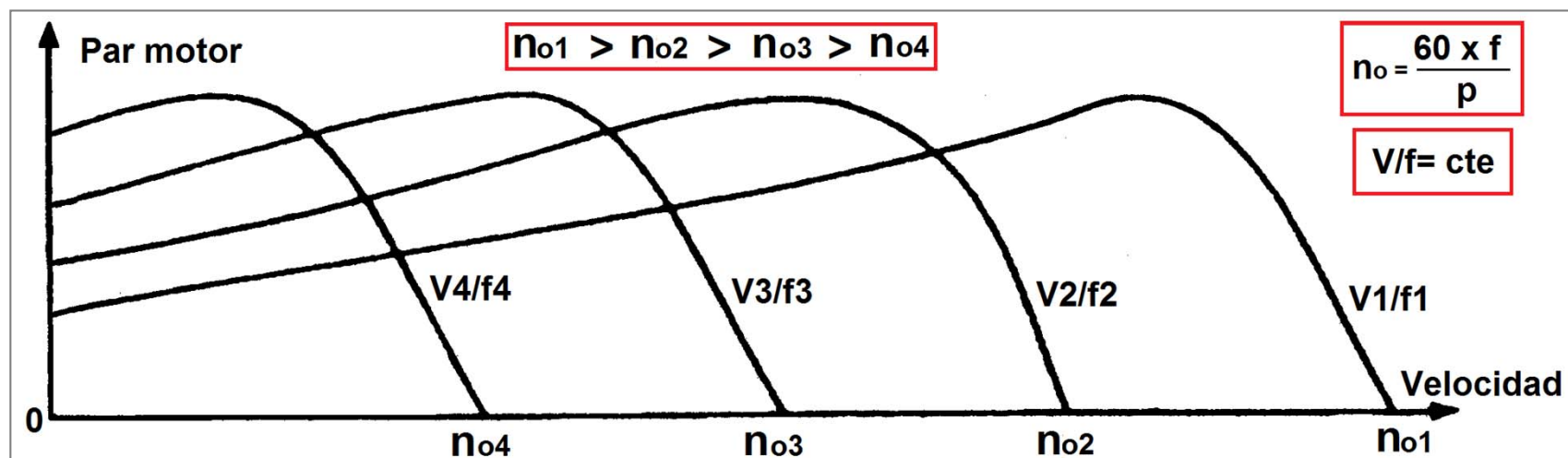
VARIADORES DE FRECUENCIA

Regulación Tensión/Frecuencia constante (Volt/Herz):

Este tipo de regulación es muy utilizado en motores de inducción de jaula de ardillas.

Consiste en mantener constante la relación Tensión/Frecuencia del suministro al motor.

La variación simultánea de la tensión y la frecuencia aplicada al estator del motor permite modificar en un amplio rango la velocidad del motor manteniendo el flujo constante similar al que se consigue para tensión y frecuencia nominal.



Regulación Volt/Herz: Característica Par motor – Velocidad para distintos valores de tensión y frecuencia, manteniendo la relación $V/f = \text{cte}$.

VARIADORES DE FRECUENCIA

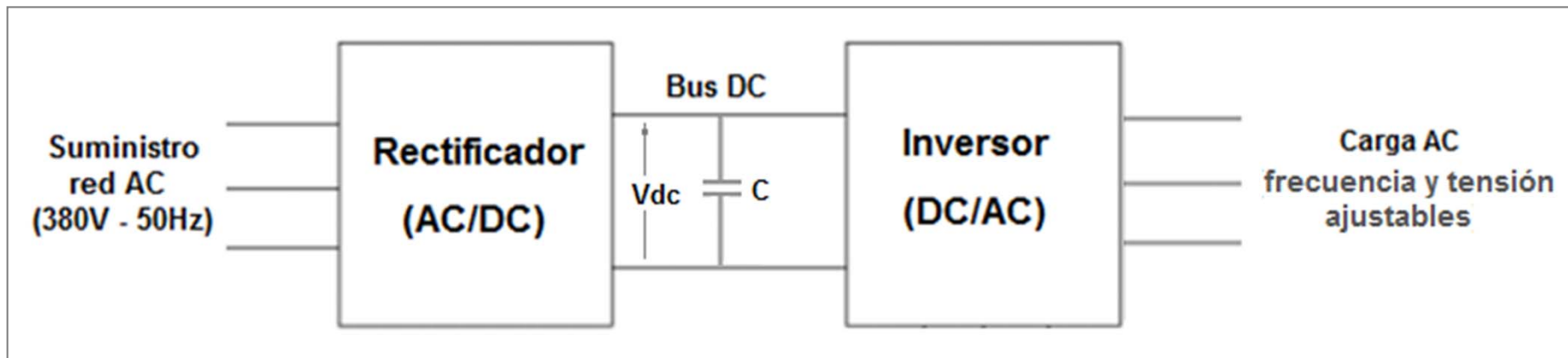
Esquema de un Variador de Frecuencia:

Los Variadores de estado sólido constan básicamente de 2 tipos de Convertidores:

Rectificador: convierte tensión alterna de la red de suministro (tensión y frecuencia fija) a una tensión continua en la barra o bus DC.

Inversor: convierte la tensión continua del Bus DC en una tensión alterna trifásica, la cual es ajustable en frecuencia y tensión.

Bus DC: Incorpora generalmente un capacitor en paralelo y/o inductor en serie.



Cada bloque puede adoptar diferentes esquemas de configuración y formas de operación.

VARIADORES DE FRECUENCIA

Rectificador: De acuerdo al tipo de semiconductores que utiliza se clasifican en:

- ❑ No Controlados (c/diodos), la tensión de DC es fija.
- ❑ Controlados (c/tiristores, incluso con transistores), la tensión DC es regulable.

Diodos	Diodos + DC Chopper	Tiristores
Control: No Voltaje DC: Constante Rizo DC: Bajo V/Hz: Se ajusta en Inversor Inversor: PWM FPd: Alto para todas las velocidades Armónicas: Alto Regeneración: No	Control: SCR, GTO, Transistor Voltaje DC: Variable Rizo DC: Varía V/Hz: Rectificador-Inversor Inversor: 6 pasos FPd: Se reduce con la velocidad Armónicas: Alto Regeneración: No	Control: SCR Voltaje DC: Variable Rizo DC: Varía V/Hz: Rectificador-Inversor Inversor: 6 pasos, PWM FPd: Se reduce con la velocidad Armónicas: Alto Regeneración: Sí

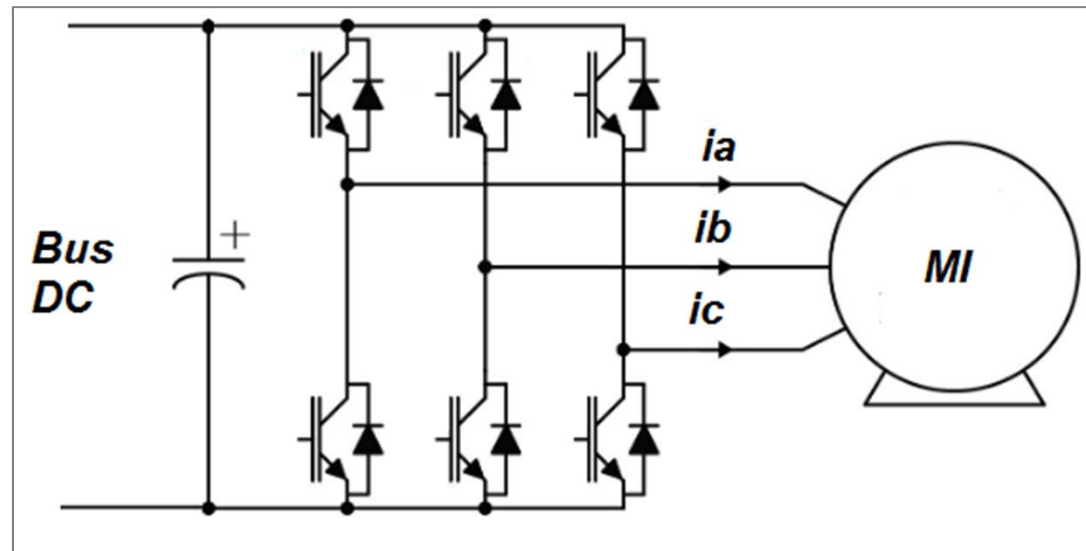
*Esquemas
básicos
de
Rectificadores*

VARIADORES DE FRECUENCIA

Inversor: Consta de semiconductores (Tiristores, GTO's, IGBT's, Mosfet's) controlados por microprocesador para conmutar la tensión continua del Bus DC y generar una señal de CA trifásica de frecuencia y tensión ajustable.

Se pueden distinguir dos tipos de control:

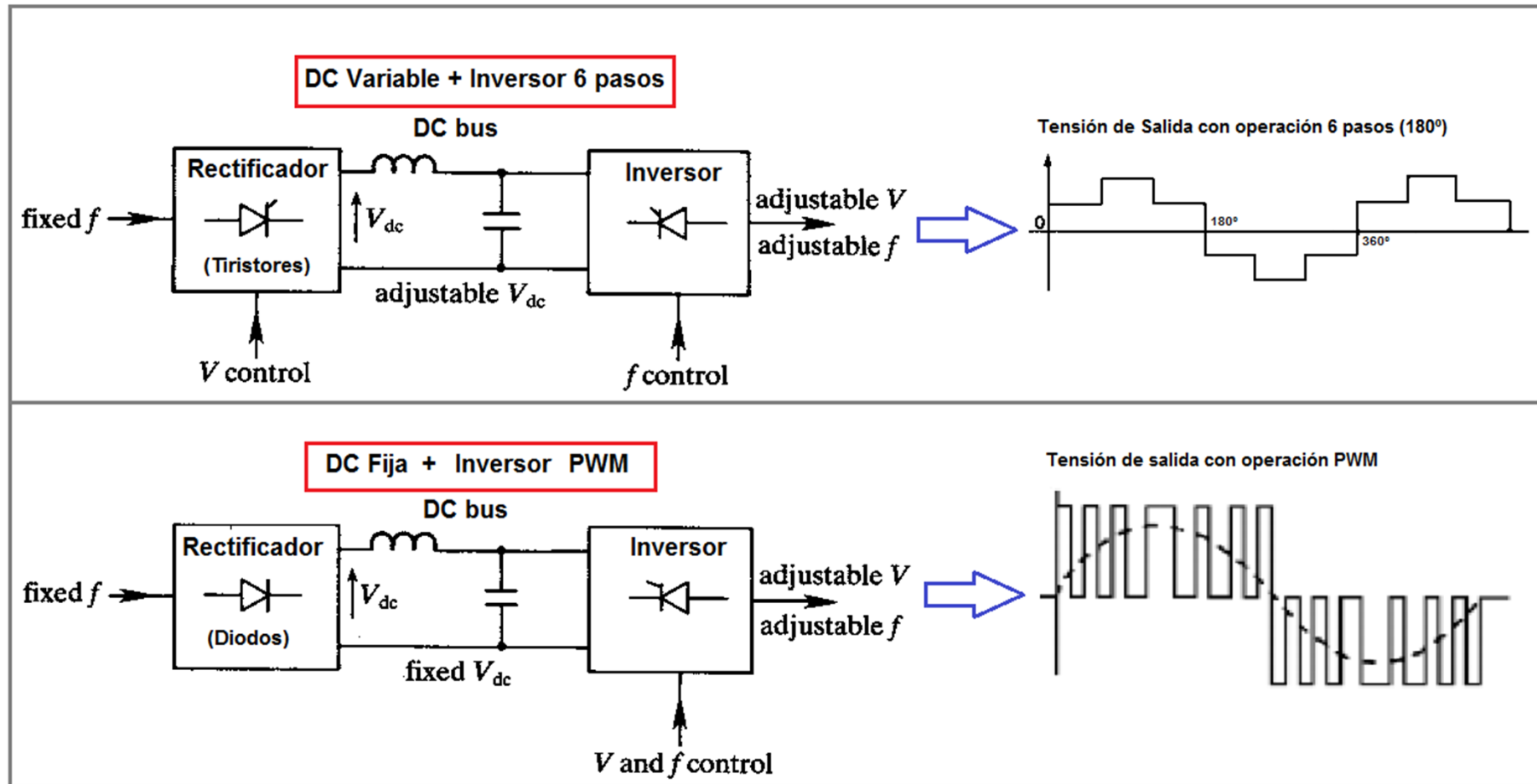
- ❑ Inversor con control de 6 pasos (llamado también de operación con disparo de 180°).
- ❑ Inversor con control PWM (Pulse Width Modulation - modulación de ancho de pulso).



*Esquema
Inversor
Trifásico*

VARIADORES DE FRECUENCIA

Esquemas típicos de regulación de frecuencia y tensión (6 pasos y PWM) – forma de onda tensión de salida



VARIADORES DE FRECUENCIA

Regulación del tipo Flujo Vectorial:

Este método de control del par motor es similar al usado en los motores de CC, que incluyen un amplio rango de velocidades con una respuesta más rápida y precisa a las variaciones del par demandado por la carga.

Este variador usa un sofisticado control de lazo cerrado del motor, donde la posición y velocidad del rotor es monitoreada en **tiempo real** para determinar y controlar la velocidad, el par y la potencia del motor.

El Inversor en este tipo de control es similar al de regulación tensión/frecuencia, pero se modifica la estrategia de control y disparo. El variador “explora” al motor haciendo un auto-reconocimiento (autotuning), donde inyecta corriente y tensión para determinar su comportamiento, creando un algoritmo o modelo matemático de sus características de funcionamiento para controlarlo de la manera más adecuada.

Este tipo de VDF es ideal para aplicaciones de una complejidad mayor que generalmente se controlan con motores de CC, tal como extrusoras, grúas, elevadores, máquinas de papel, y molinos entre otras.

IEE

 **IRPHa**



CONSEJO FEDERAL

**Módulo VII:
Sistemas e instalaciones**

VARIADORES DE FRECUENCIA (VDF)

Variadores de Frecuencia - Eficiencia Energética:

Los variadores VDF permiten reducir el consumo de energía con un uso más eficiente.

La posibilidad de ajustar la velocidad en el punto óptimo de la demanda, puede minimizar el consumo energético de los motores entre un 20 y un 70%.

Algunas aplicaciones permiten realizar el frenado electromagnético del motor en forma regenerativa, posibilitando que la energía durante el frenado sea devuelta a la red de suministro (en el frenado electromagnético, el motor asincrónico opera como generador).

El uso de variadores de frecuencia en los procesos industriales proporciona importantes ventajas financieras, operativas y medioambientales. Entre ellas se pueden mencionar:

- Mejorar la productividad
- Incrementar la eficiencia energética
- Aumentar la vida útil de los equipos e instalación asociada, optimizar mantenimiento
- Prevenir el deterioro y evitar paradas inesperadas con tiempos improductivos

Algunas fabricantes de variadores de frecuencia ofrecen herramientas que permiten calcular el consumo de energía de sus procesos. Ej.:

[\(<https://new.abb.com/drives/energy-efficiency/energysave-calculator>\)](https://new.abb.com/drives/energy-efficiency/energysave-calculator)

IEE

IRPHa



CONSEJO FEDERAL

Módulo VII:
Sistemas e instalaciones

VARIADORES DE FRECUENCIA (VDF)

Variadores de Frecuencia - Eficiencia Energética:

En estos equipamientos se pueden reconocer las siguientes pérdidas principales:

Pérdidas en los dispositivos semiconductores:

- Los semiconductores de potencia disipan calor durante su funcionamiento debido a las pérdidas provocadas por la tensión a la que están sometidos y la corriente que conducen (*pérdidas $V \times I$*).
- Estas pérdidas son variables en función del ciclo de operación y del estado del semiconductor (*cuando conduce, cuando está bloqueado, durante la conmutación de encendido y/o apagado*).
- En general las pérdidas en conducción y conmutación son las más importantes.

Pérdidas en el sistema de refrigeración o enfriamiento de semiconductores

- Generalmente los semiconductores de potencia disponen de disipadores de calor (*de aluminio o cobre*) y de un sistema de refrigeración forzada que permite evacuar el calor interior en los gabinetes que lo contienen.

Las pérdidas de energía por estos motivos son difíciles de cuantificar dado que dependen de muchas variables (*tipo de operación del motor, diseño de los convertidores, tipo de control, diseño del sistema de refrigeración, temperatura ambiente, etc.*).

IEE

 **IRPHA**



CONSEJO FEDERAL

**Módulo VII:
Sistemas e instalaciones**

VARIADORES DE FRECUENCIA (VDF)

Tipos de Carga:

Para la selección de un VDF es necesario conocer el tipo de carga y sus características, en relación con los requerimientos de Par y Velocidad.

Par = Fuerza x Distancia

Fuerza = Masa x Aceleración

Existen distintos tipos de cargas, que se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- **Cargas de Par Variable** (la masa de la carga varía con la velocidad, por lo tanto el par cambia con la variación de la velocidad. Ej. bombas centrífugas, cierto tipo de ventiladores sopladores, compresores, cargas centrífugas)
- **Cargas de Par Constante** (la masa permanece constante, y los requerimientos de par permanecerán constantes independientemente de la velocidad. Ej. Bandas transportadoras, Bombas de desplazamiento positivo, Grúas y malacate, Mezcladoras, Extrusoras, accionamientos de tracción)
- **Cargas de Potencia Constante** (Ej. Molinos, Bobinadoras)
- **Cargas de Impacto** (Ej. Prensas)

IEE

 **IRPHa**



CONSEJO FEDERAL

**Módulo VII:
Sistemas e instalaciones**

VARIADORES DE FRECUENCIA (VDF)

Cargas – Leyes de Afinidad en Bombas Centrífugas:

Para bombas centrífugas, las leyes de afinidad expresan la relación matemática que existe entre el caudal, la velocidad de la bomba (rpm), la altura y el consumo de energía.

Las leyes muestran que una pequeña reducción en el caudal se convertirá en reducciones importantes de potencia y, por tanto, de consumos energéticos (ahorro energético).

Cuando se modifica una de las variables involucradas en el rendimiento de la bomba, las otras variables se pueden calcular utilizando la ley de afinidad.

Caudales	Alturas	Potencias
$Q_1/Q_2 = n_1/n_2$	$H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2$	$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3$
Q = caudal [m ³ /h]	n = velocidad de la bomba [rpm]	H = altura [bar]
		P = potencia [kW]

Disminuyendo la velocidad de la bomba en un 50%, el caudal se reduce en un 50%.

La altura se reducirá al 25%, y el consumo de energía se reducirá al 12,5%.

Para el caso de Ventiladores, las **Alturas** se reemplazan por la **Presión**.

Módulo 7: Sistemas e instalaciones

Armónicas en Redes Eléctricas



Ing. Gustavo D Baron

email: gbaron@iee-unsjconicet.org

Ing. Juan Serrano Mora

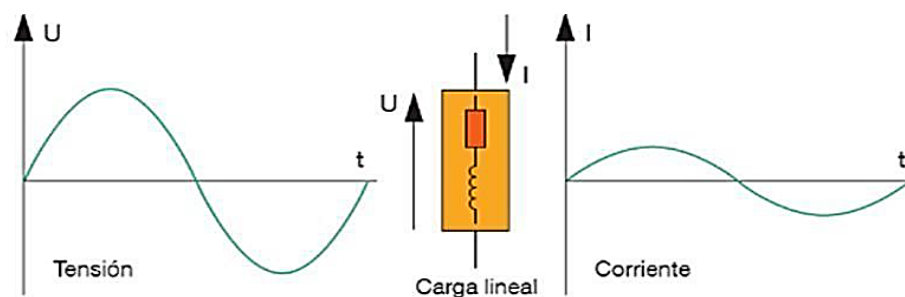
email: jserrano@iee-unsjconicet.org



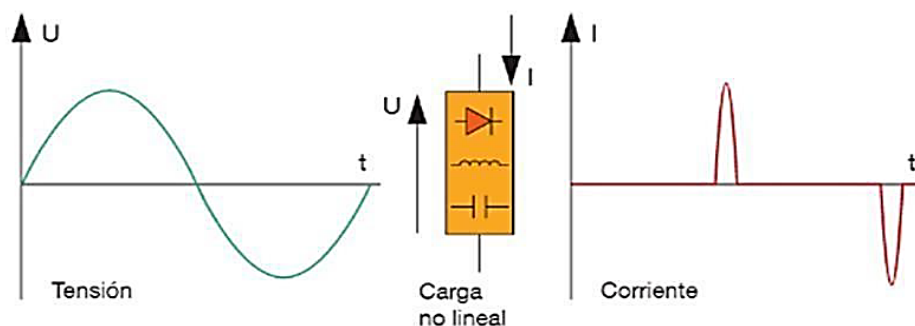
Armónicos en Sistemas Eléctricos: Lineales o No Lineales

El fin de una red eléctrica es suministrar con energía a las cargas conectadas a dicha red.

Cuando la corriente que consume una carga tiene la misma forma que la tensión, la carga se denomina **lineal**.



Cuando la forma de la corriente no se corresponde con la forma de la tensión, la carga se denomina **no lineal**.



Las cargas no lineales provocan perturbaciones (ondas distorsionadas, fluctuaciones, etc.) en la red eléctrica.

Armónicos en Sistemas Eléctricos: Cargas Distorsionantes

Cargas o equipos que consumen corrientes no lineales:

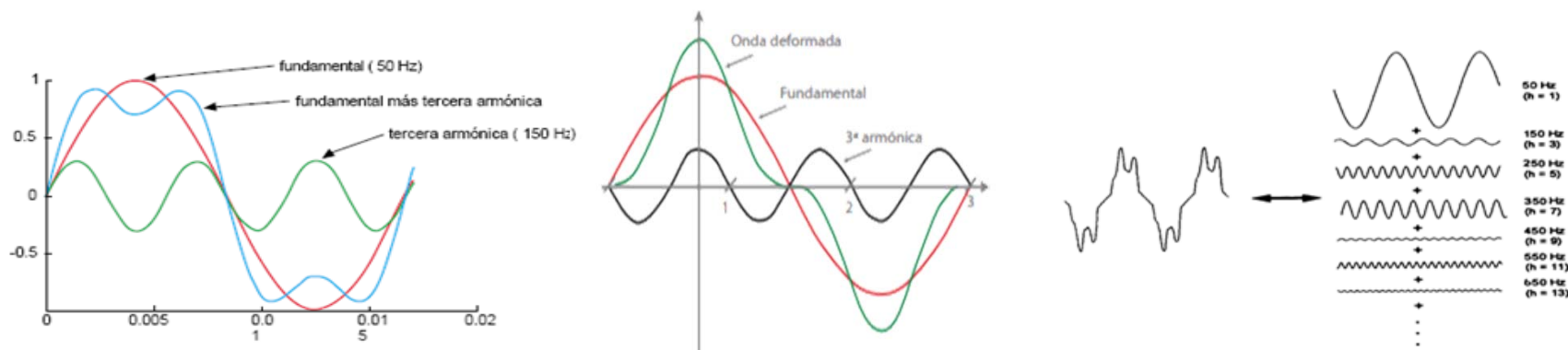
- ✓ Computadores (PC, PLC, etc.)
- ✓ Lámparas de descarga o LED
- ✓ Fuentes conmutadas
- ✓ UPS's
- ✓ Controladores de motores (ADS)
- ✓ Soldadoras
- ✓ Hornos de arco e inducción
- ✓ etc.

Debe considerarse que:

Equipamientos industriales (ASD, PLC, UPS, etc.) son fuentes importantes de distorsión, pero electrónica de consumo masivo (reguladores de iluminación, PC, lámparas fluorescentes, TV, Fax, etc.) en su conjunto, también son grandes responsables de la circulación de corrientes deformadas en las redes eléctricas.

Armónicos en Sistemas Eléctricos: Armónicos

Las ondas deformadas se pueden representar como una suma de señales senoides, de ciertas frecuencias y amplitudes adecuadas (Análisis de Fourier):



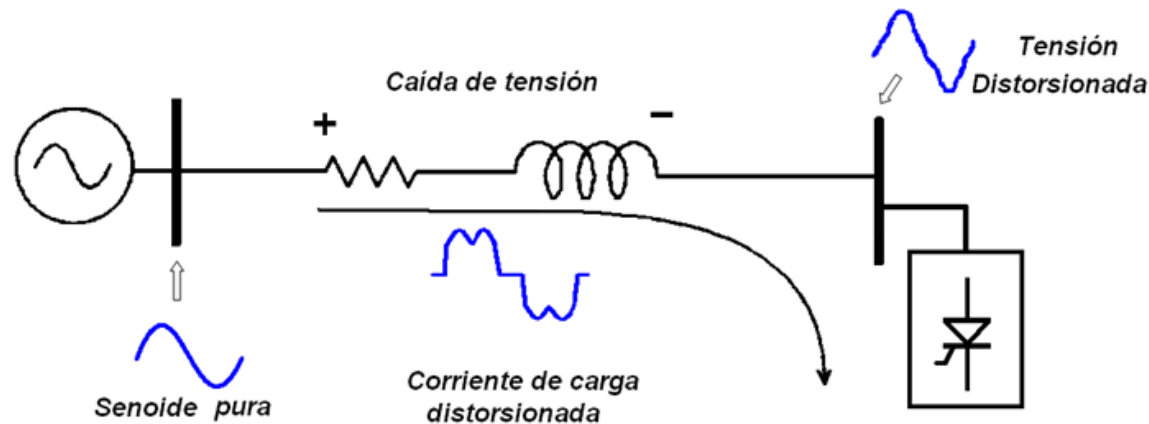
Realizando el análisis en las condiciones adecuadas, se pueden obtener las señales a sumar de la amplitud correspondiente, con frecuencias iguales a los múltiplos enteros de la fundamental. Estas componentes son llamadas “armónicas” y es así que cualquier onda distorsionada puede ser representada por sus armónicas (medida de la distorsión).

Los armónicos son señales de tensión o corriente con frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia de a red (50Hz).

Armónicos en Sistemas Eléctricos: Distorsión de Tensión

Las cargas no lineales consumen corrientes deformadas, se las considera fuentes de corriente armónicas las cuales son conducidas (inyectadas) por el sistema de suministro.

La distorsión de tensión es el resultado de la circulación de corrientes deformadas a través de la impedancia del sistema generando en el punto de conexión una tensión también distorsionada.

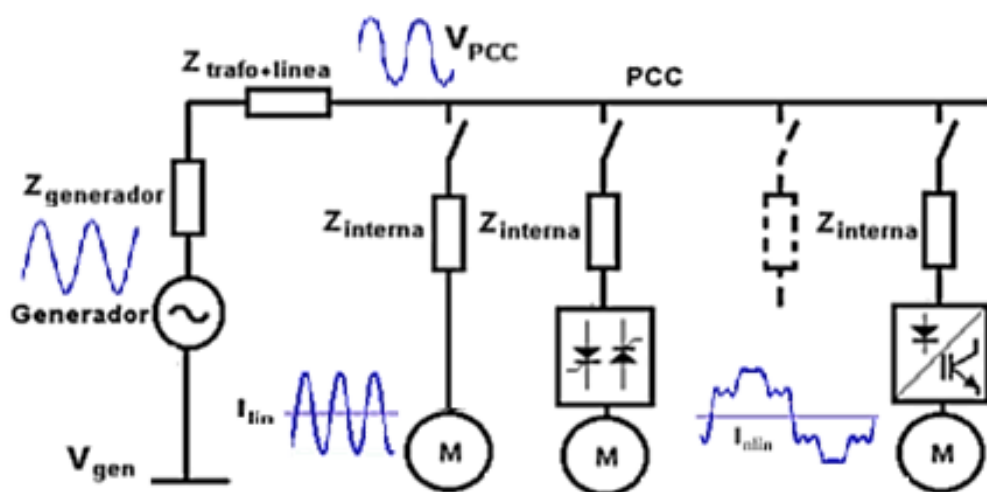


Armónicos en Sistemas Eléctricos: Suministro Distorsionado

El suministro eléctrico distorsionado (distorsión de tensión), alimenta a otras cargas.

Si son cargas lineales, provocan corrientes proporcional a la tensión distorsionada.

Si son cargas no lineales, pueden llegar a provocar aun mas distorsión de lo esperado por ser suministradas con una tensión no senoidal.



Armónicos en Sistemas Eléctricos: Evolución de Cargas

Antes del desarrollo de la electrónica de potencia, las fuentes de distorsión armónica eran algunas cargas especiales (hornos de arco, soldadoras, balastos, etc.). Maquinas rotantes y transformadores no causan niveles significativos de distorsión, excepto bajo regímenes transitorios o condiciones que provoquen corrientes magnetizantes elevadas.

El aumento en el uso de electrónica alteró este escenario y su desarrollo no se enfocó inicialmente en generar menos perturbaciones o diseños mas robustos.

En general, fabricantes siempre han estado interesados en mejorar la funcionalidad más que en valorar el impacto de sus diseños.



Muchos equipos electrónicos además de comportarse como generadores de perturbaciones son muy sensibles a ellas.

Armónicos en Sistemas Eléctricos: Medición y Caracterización

La medición consiste en evaluar una onda distorsionada, obteniendo los valores de amplitud de las componentes armónicas que la conforman. Índices mas utilizados:



Armónicas Individuales:
$$v_h = \frac{V_h}{V_1} \% \quad i_h = \frac{I_h}{I_1} \%$$

Distorsión Armónica Total (THD):
$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots}}{V_1} \%$$

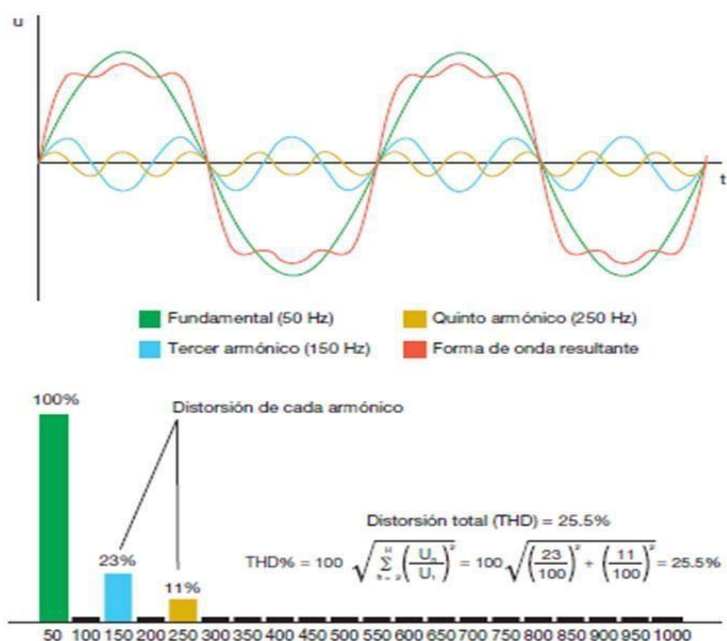
Distorsión Total de Demanda (TDD):
$$TDD = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}{I_L^2}} \%$$

Existen otros índices y parámetros

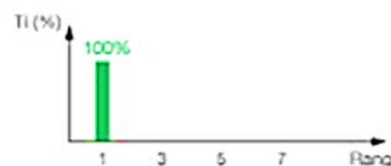
Armónicos en Sistemas Eléctricos: Medición y Caracterización

Espectro de frecuencias armónicas

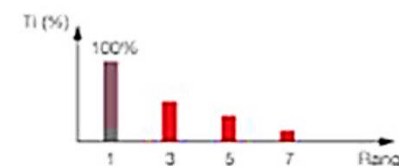
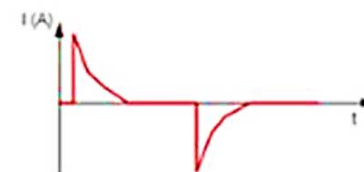
Es una representación gráfica que presenta los armónicos existente, a través de un grafico amplitud vs frecuencia



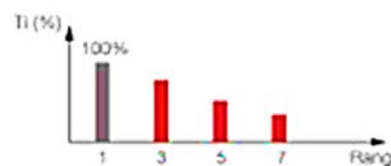
Bombilla incandescente



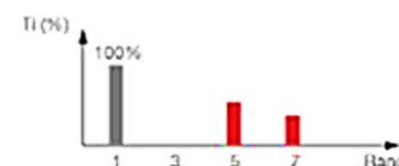
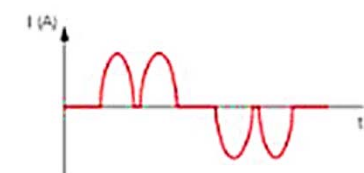
Tubo fluorescente



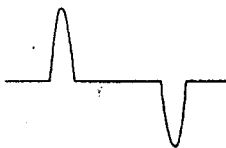
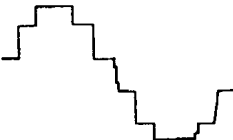
Alimentación de un ordenador



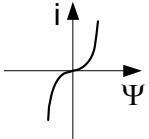
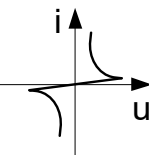
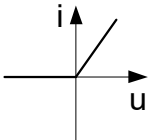
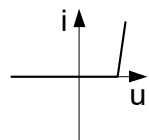
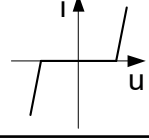
Variador de velocidad de motor asíncrono trifásico



Armónicos en Sistemas Eléctricos

Tipo de circuito	Forma de corriente	THD _i	Ejemplos de aplicación
Rectificadores monofásicos con capacitor de filtrado		≈ 150%	TV, Iluminación controlada electrónicamente, (lámparas de emergencia), computadoras, etc.
Rectificadores de 6 pulsos con capacitor de filtrado		≈ 80%-90%	Sistemas interrumpibles de energía (UPS), convertidores para motores trifásicos (bombas, ventiladores, industria papelera, etc.)
Rectificadores de 6 pulsos con capacitor de filtrado e inductancia en serie		≈ 40%-70%	
Convertidor de 6 pulsos controlado (tiristores) con inductancia de filtrado		≈ 25%-40%	UPS, rectificadores para motores de CC
Convertidor de 12 pulsos controlado (tiristores) con inductancia de filtrado		≈ 15%	Rectificadores para control de motores de CC de alta potencia (DC drives)

Armónicos en Sistemas Eléctricos

Causa	Carácter.	Ejemplo	(I _h / I ₁) [%]				
			h = 2	h = 3	h = 4	h = 5	h = 7
Saturación		Motores		3-10		1-5	
		Corriente Magnetiz. Transformador $I_1 = I_\mu = (0,02 - 0,07) I_n$		25-55		8-30	2-10
Descarga de gas		Lámp. fluorescentes	1-2	8-20		2-3	1-2
		Hornos de arco	5-12	6-12	2-5	3-7	1-3
Rectificador media onda con carga resistiva			42		8		
Rectificador media onda con carga capacitiva		Fuentes de suministro (Aparatos de TV)	70-90	40-60	35-50	25-50	12-25
Rectificador onda completa con carga capacitiva		Fuentes de suministro (TV, computadoras)		65-85		50-80	25-60

Armónicos en Sistemas Eléctricos: Efectos

- Mal funcionamiento de dispositivos de regulación, control y protección.
- Mal funcionamiento en sistemas que utilizan red pública para comunicación.
- Interferencia en telecomunicaciones debido al acoplamiento inductivo.
- Pérdidas adicionales y calentamiento en equipamientos (capacitores, cables, transformadores, motores y generadores).
- Sobrecarga en conductor de neutro por excesiva corriente de secuencia cero.
- Ruido adicional en motores y otros equipos. Pulsación de torque en motores.
- Daños de equipos por casos de resonancia (ej. bancos de compensación pueden provocar tensiones elevadas en puntos de red por condición de resonancia serie y paralelo para algunas frecuencias armónicas).
- Efectos asociados con fallas, operación defectuosa, o degradación del desempeño de dispositivos por desplazamiento del cruce por cero de la onda de tensión.
- Efectos de largo plazo asociados a problemas térmicos. Sobrecalentamiento adicional provoca envejecimiento prematuro e incluso daño en capacitores y máquinas rotantes.

Armónicos en Sistemas Eléctricos: Efectos

Efectos asociados a eficiencia energética: Las armónicas pueden disminuir la eficiencia de los equipos individuales y de los sistemas productivos.

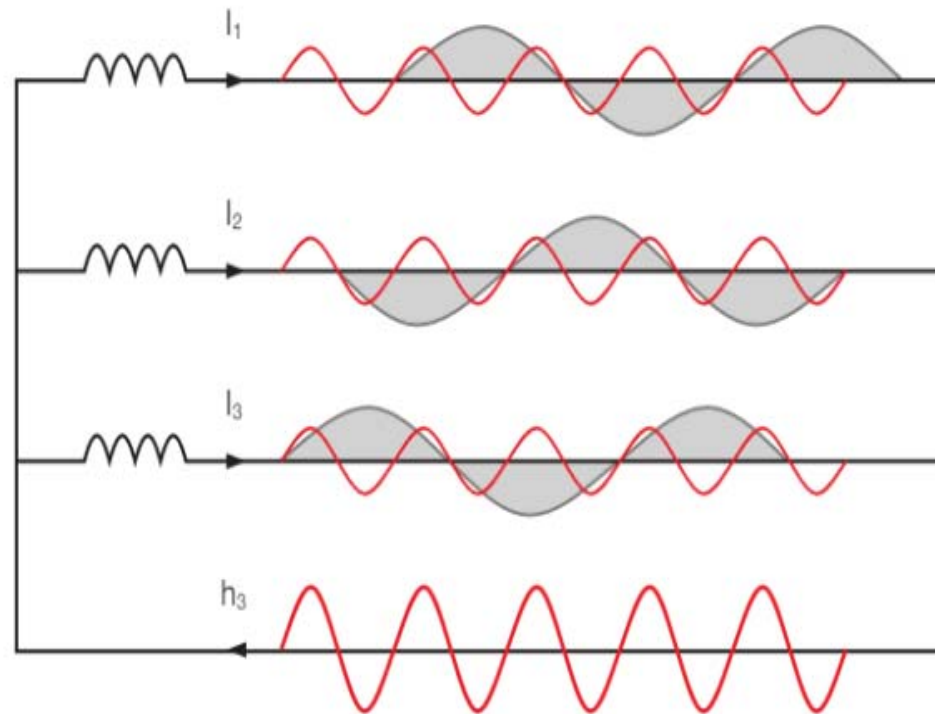
- En CABLES y CONDUCTORES: Disminución de capacidad de conducción y pérdidas por efecto Joule, efecto skin y de proximidad
- En TRANSFORMADORES: La circulación de armónicas implica mayores pérdidas por joule y pérdidas magnéticas.
- En MÁQUINAS ROTANTES: Además de las pérdidas extras por Joule y magnéticas, las tensiones armónicas pueden provocar pares pulsantes con vibraciones mecánicas que disminuyen el rendimiento mecánico.
- En equipamiento de MEDICIÓN Y PROTECCIÓN: Las armónicas pueden perturbar la medición para monitoreo y control, al igual que en equipos de corte y protección no inmunizados ante los armónicos.
- Las fallas en COMPUTADORES y CONTROLADORES afectan el funcionamiento de equipamientos, máquinas y líneas de producción.

Armónicos en Sistemas Eléctricos: Efectos

Dimensión correcta de la sección del neutro.

Habitualmente, por ahorrar costo, se instala el cable de neutro con sección inferior a la de fases.

Al tener en cuenta que las instalaciones están expuestas a armónicos de orden impar, múltiplos de 3, se pueden observar pérdidas por encima de las esperadas e incluso superar la capacidad de conducción.



Armónicos en Sistemas Eléctricos: Efectos

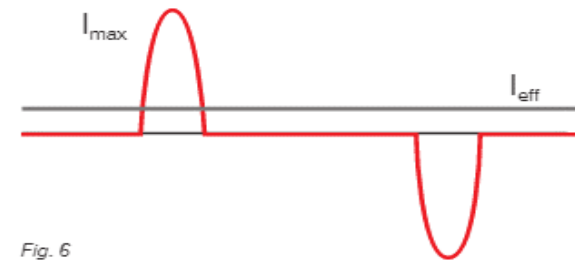
Efecto sobre la medición y equipamiento de protección.

Muchos equipos de medición asumen un régimen senoidal, por lo que en presencia de armónicas evalúan la señal de manera errónea.

El factor de cresta es la relación entre el valor de cresta (pico) y el valor eficaz. En régimen senoidal el Factor de Cresta es $\sqrt{2}$ y el valor eficaz puede obtenerse como $V_{pico} \times \sqrt{2}$.

En presencia de armónicos, lo anterior no es correcto y los equipos de medición deben medir “*Verdadero Valor Eficaz*”.

Las armónicas también pueden perturbar la medida de los equipos no inmunizados asociados a corte y protección. Armónicas circulando por neutro y armaduras metálicas, pueden provocar variaciones de potencial que influyen en la electrónica de equipos sensibles, incluso creando bucles magnéticos que generan tensiones o corrientes inducidas (actuación de diferenciales).

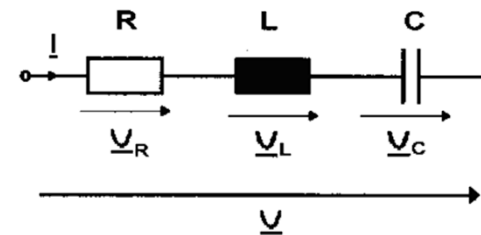
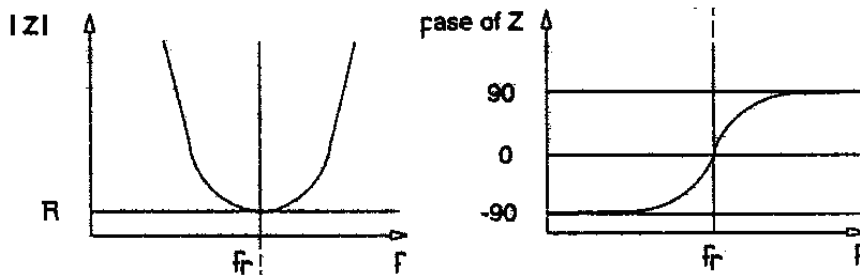


Armónicos en Sistemas Eléctricos: Efectos

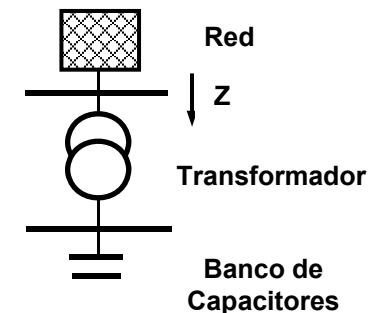
Resonancia: condición de operación en que la impedancia puede alcanzar valores extremos, mínimos o máximos, provocando corrientes o tensiones elevadas.

RLC en conexión serie: existe una frecuencia para la cual la reactancia inductiva es igual a la capacitiva.

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R \rightarrow 0$$



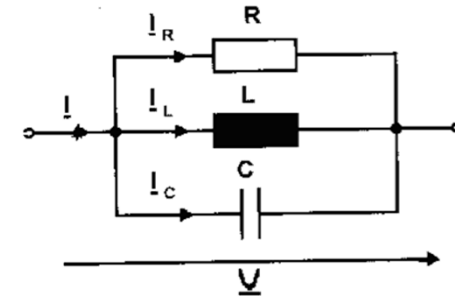
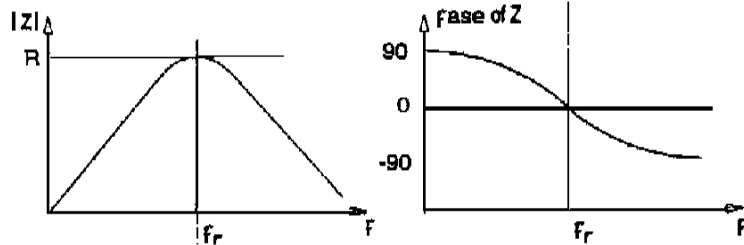
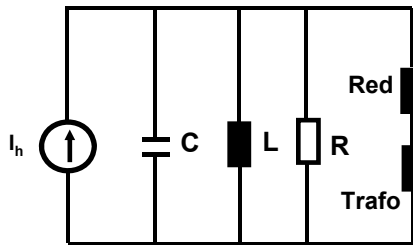
La resonancia serie puede darse en la conexión de capacitores suministrados a través de transformadores.



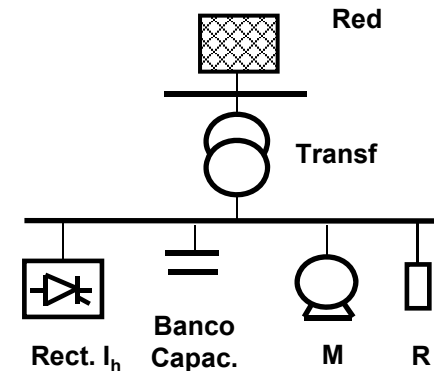
Armónicos en Sistemas Eléctricos: Efectos

RLC en conexión paralelo: existe una frecuencia para la cual la susceptancia inductiva es igual a la capacitiva.

$$Y = G + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) = G \rightarrow 0 \quad \therefore Z \rightarrow \infty$$

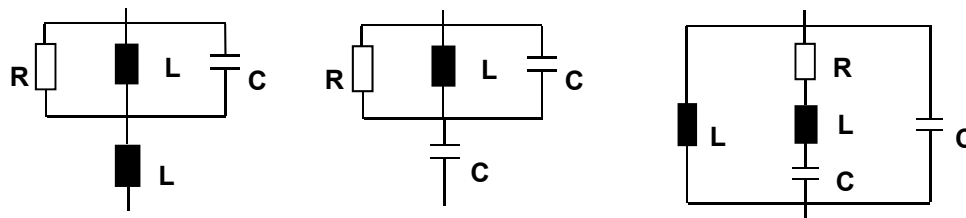


La resonancia paralelo puede darse en la conexión de cargas y capacitores a un mismo transformador.



Armónicos en Sistemas Eléctricos: Efectos

Hay situaciones más complejas donde se producen combinaciones de ambos tipos de resonancias.



La resonancia tiene lugar a una frecuencia concreta, llamada Frecuencia de Resonancia.

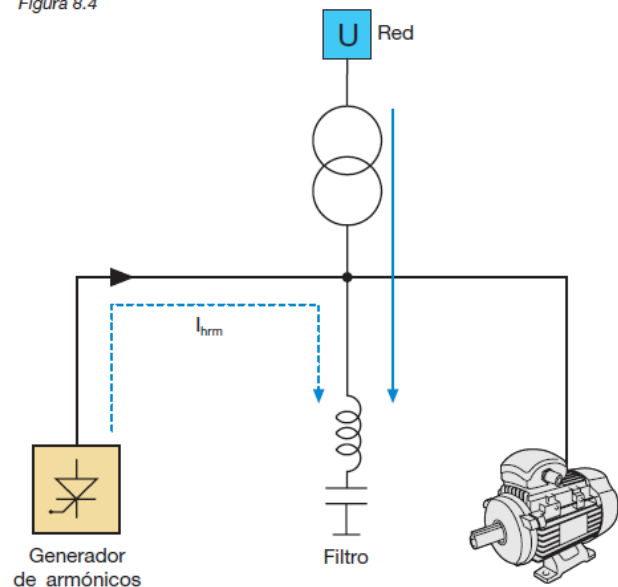
$$\begin{aligned} X_L = X_C &\Rightarrow \omega_r \cdot L = \frac{1}{\omega_r \cdot C} \Rightarrow \omega_r^2 \cdot L \cdot C = 1 \\ &\Rightarrow (2 \cdot \pi \cdot f_r)^2 = \frac{1}{L \cdot C} \Rightarrow f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \end{aligned}$$

La solución radica en modificar L o C y por lo tanto desplazar la frecuencia a la cual se produce la resonancia: generalmente conectando una reactancia inductiva adecuada o instalando un filtro para mitigación.

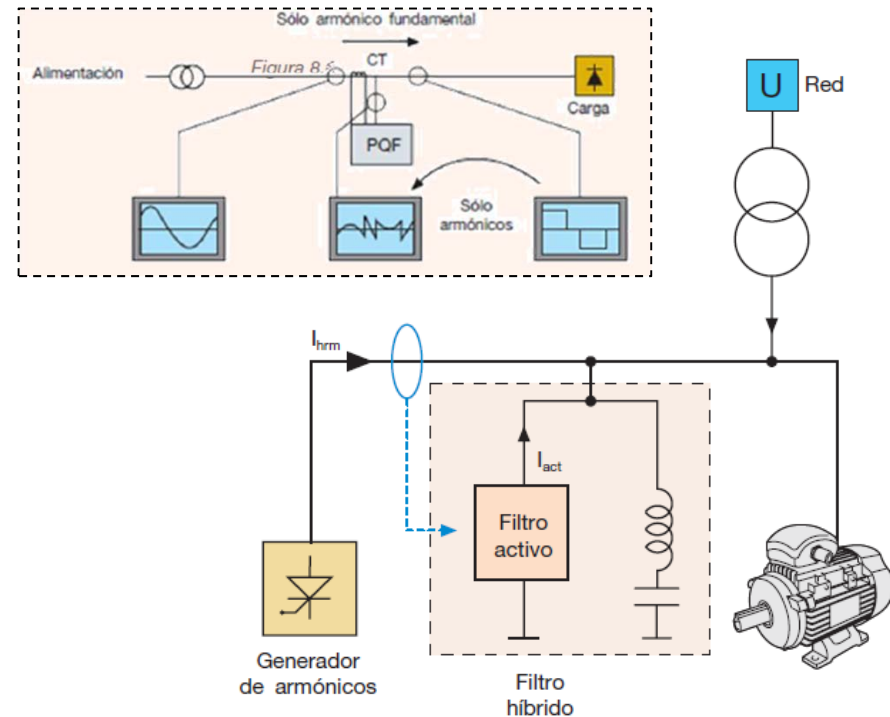
Armónicos en Sistemas Eléctricos: Efectos

Filtro de armónicas: Pasivo y Activo

Figura 8.4



El filtro *pasivo* es un capacitor en serie a un inductor, ajustado para la frecuencia que se desea eliminar



El filtro *activo* puede eliminar una amplia gama de armónicos. Su electrónica generará señales capaces de anular los armónicos presentes en la red.

Módulo 7: Sistemas e instalaciones

Factor de Potencia



Ing. Gustavo D Baron

email: gbaron@iee-unsjconicet.org

Ing. Juan Serrano Mora

email: jserrano@iee-unsjconicet.org



Factor de Potencia: Potencia Eléctrica

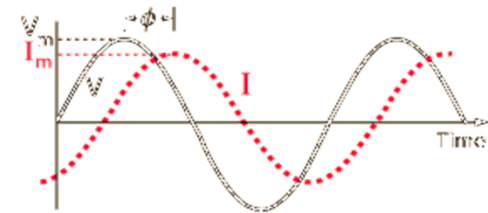
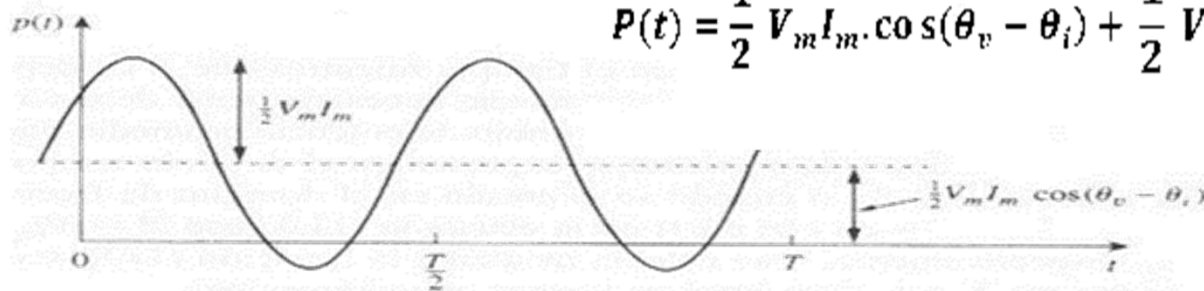
Los elementos conectados a una red eléctrica, generalmente, utilizan la potencia eléctrica para transformarla en:

- Otras Formas de Energía como Luz o Calor (p. ej., lámparas y/o estufas)
- Trabajo Útil, en general Movimiento (p. ej., motores eléctricos o máquinas)
- Suministro de Energía (p. ej., fuentes de alimentación/ordenadores y equipos, etc.)

Para que esto ocurra, se debe aplicar una tensión eléctrica que fuerza la circulación de corriente, produciendo la potencia necesaria para obtener el producto esperado:

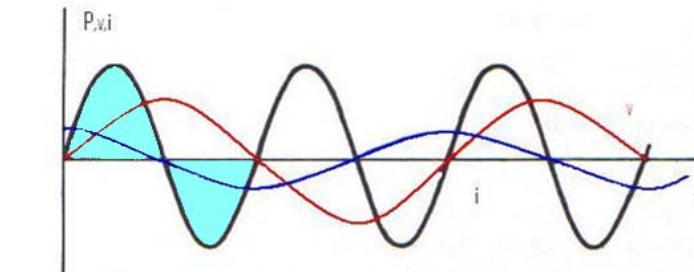
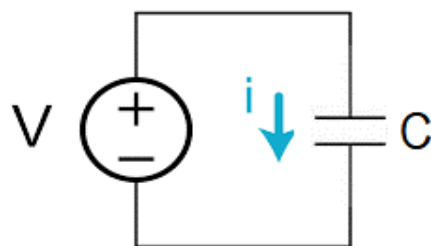
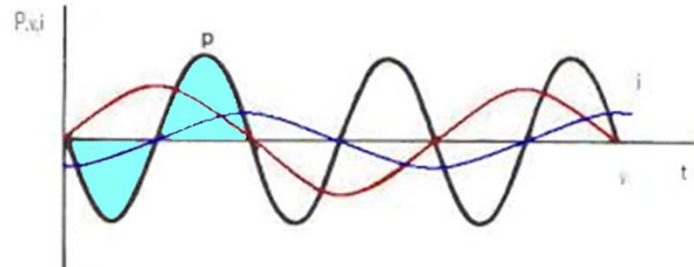
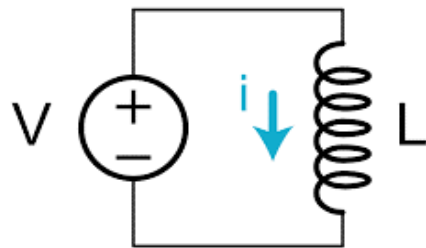
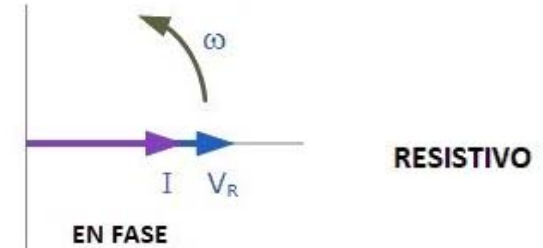
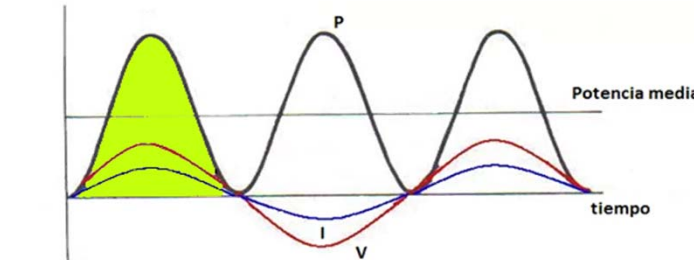
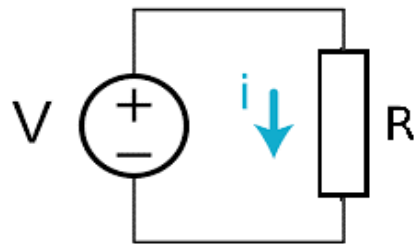
$$\left. \begin{aligned} v(t) &= V_m \cos(\omega t + \theta_v) \\ i(t) &= I_m \cos(\omega t + \theta_i) \end{aligned} \right\} P(t) = v(t) i(t) = V_m I_m \cos(\omega t + \theta_v) \cos(\omega t + \theta_i)$$

$$P(t) = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{1}{2} V_m I_m \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i)$$



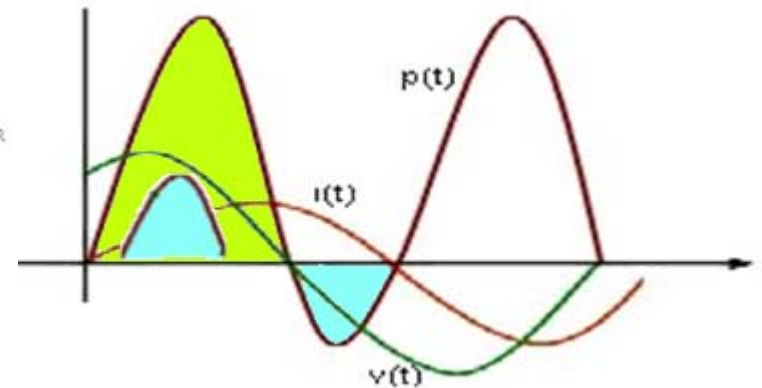
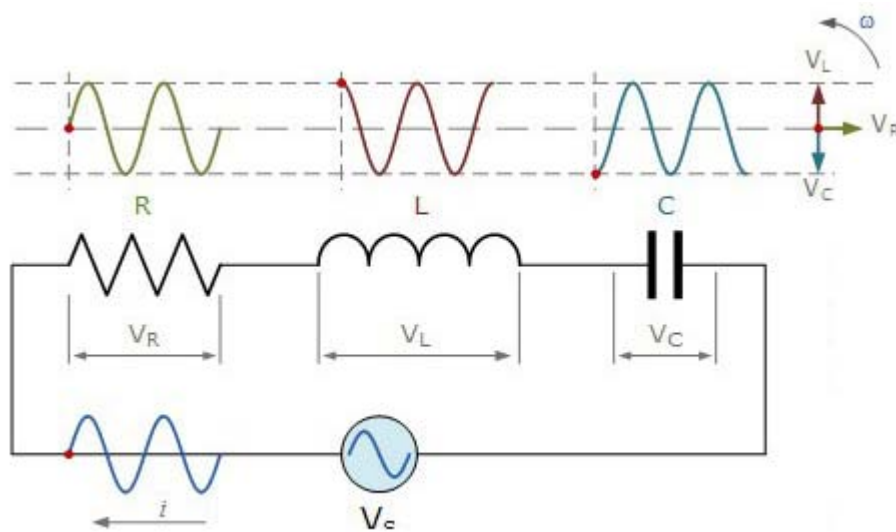
Factor de Potencia: Potencia Activa y Reactiva

$$P(t) = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{1}{2} V_m I_m \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i) dt$$



Factor de Potencia: Activa, Reactiva y Factor de Potencia

Circuito resistivo, inductivo y capacitivo (RLC)



Definiciones:

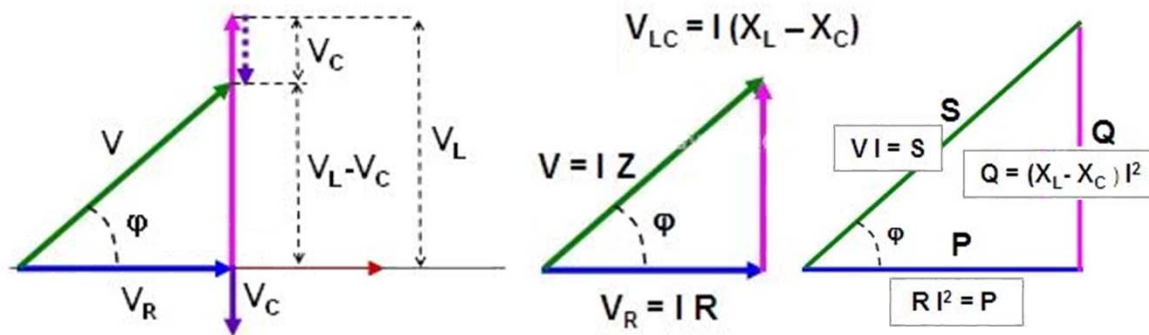
Potencia aparente: $S = VI$

Potencia activa: $P = VI \cos \varphi$

Potencia reactiva: $Q = VI \sin \varphi$

$$\bar{S} = P + jQ = VI \cos \varphi + jVI \sin \varphi$$

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



Factor de Potencia: Activa, Reactiva y Factor de Potencia



En una instalación eléctrica, además de potencia activa (P) se presenta una potencia reactiva (Q), que no es utilizada para producir trabajo útil sino intercambiada con la red.

La potencia reactiva es indispensable y sirve para producir el flujo necesario para la conversión de potencia a través del campo eléctrico o magnético, sin ella no podría haber transferencia neta por acoplamiento magnético (transformadores o motores)

Factor de Potencia

Factor de potencia típico de equipamientos eléctricos:

Carga	$\cos\varphi$ factor de potencia
Transformadores en vacío	0.1÷0.15
Motores	0.7÷0.85
Dispositivos para el tratamiento del metal:	
- soldadoras de arco	0.35÷0.6
- soldadoras de arco compensadas	0.7÷0.8
- soldadoras de resistencia	0.4÷0.6
- hornos de arco	0.75÷0.9
Lámparas fluorescentes:	0.4÷0.6
Convertidores de CA - CC	0.6÷0.95
Accionamientos de CC	0.4÷0.75
Accionamientos de CA	0.95÷0.97
Cargas resistivas	1

Consecuencia de un bajo Factor de Potencia:

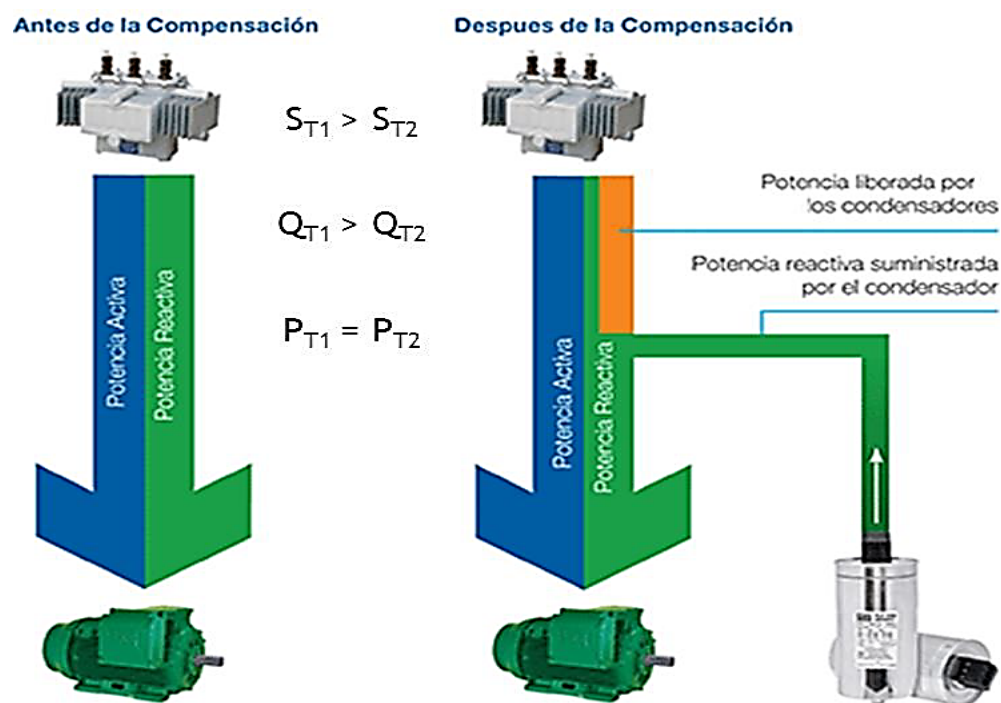
- Mal aprovechamiento de cables (conducen mas corriente reactiva)
- Generación de calor en exceso sobre los conductores
- Incremento de perdidas
- Sobrecarga de transformadores
- Sobrecargas de generadores
- Aumento de caídas de tensión

Factor de Potencia: Corrección del Factor de Potencia

Los equipos eléctricos como motores y transformadores, presentan un comportamiento inductivo con un FP por debajo de 0.8. Esta cantidad de reactivo provoca circulación de corriente “no útil” por cables y elementos de la red, por lo que se prefiere acotar la circulación de esta corriente a las inmediaciones del equipo eléctrico suministrado.

Esta acción se denomina *corrección del Factor de Potencia* y se logra mediante la conexión de capacitores (compensación) que generan in situ la energía reactiva necesaria.

Desde la red, el conjunto equipo/compensación presenta un FP mas elevado, permitiendo una gestión técnico-económica mejor y más racional de las instalaciones.



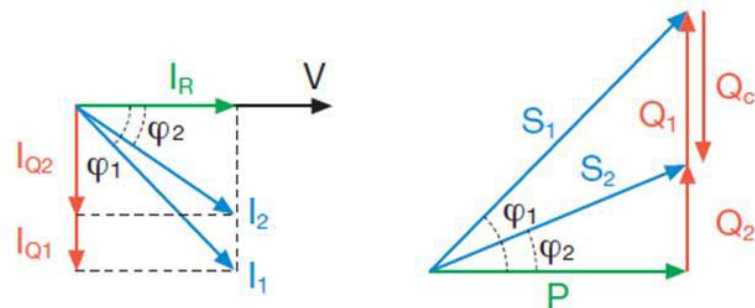
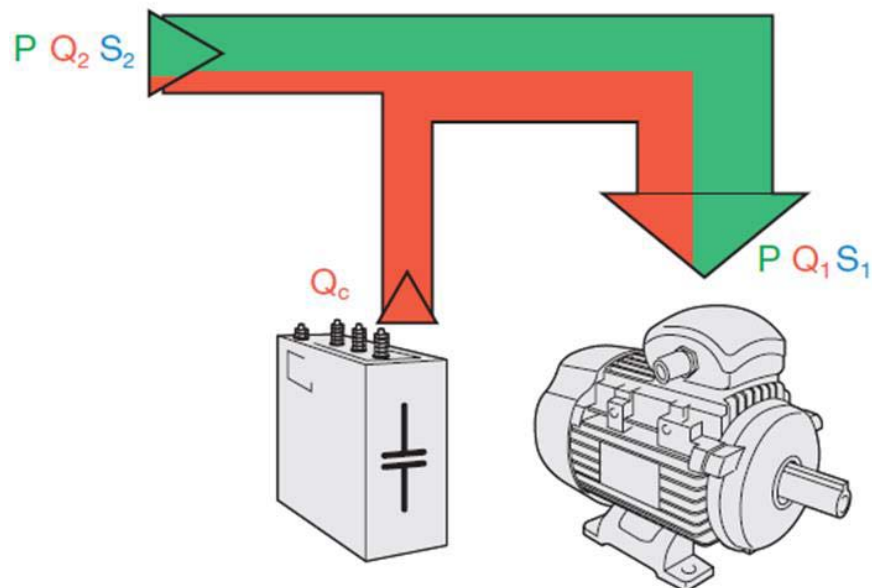
Factor de Potencia: Corrección del Factor de Potencia

De la relación de triángulos se puede obtener:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2)$$

Donde:

- P es la potencia activa.
- Q1, φ_1 son la potencia reactiva y el ángulo de desfase antes de la corrección.
- Q2, φ_2 son la potencia reactiva y el ángulo de desfase después de la corrección.
- Qc es la potencia reactiva de corrección.



Factor de Potencia: Ventajas de la Corrección de FP

- Uso optimizado de máquinas eléctricas

Ejemplo: Si se requiere alimentar una carga con una potencia total de 170 kW y $\cos \varphi = 0.7$, hace falta un transformador de 250 kVA.

Si las cargas absorbieran la misma potencia con $\cos \varphi = 0.9$, en vez de 0.7, bastaría con utilizar un transformador de 200 kVA.

Con generadores se presenta una situación similar.

Potencia del transformador [kVA]	Potencia activa transmitida [kW]					
	$\cos \varphi$					
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
63	32	38	44	50	57	63
100	50	60	70	80	90	100
125	63	75	88	100	113	125
160	80	96	112	128	144	160
200	100	120	140	160	180	200
250	125	150	175	200	225	250
315	158	189	221	252	284	315
400	200	240	280	320	360	400
630	315	378	441	504	567	630
800	400	480	560	640	720	800
1000	500	600	700	800	900	1000
1250	625	750	875	1000	1125	1250

Factor de Potencia: Ventajas de la Corrección de FP

- Uso optimizado de líneas eléctricas

La corrección reduce la corriente circulante, permitiendo que a igual potencia útil se utilicen conductores de menor sección. Permite un dimensionado mas eficiente.

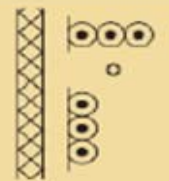
Ejemplo. Una carga trifásica de potencia
 $P = 170 \text{ kW}$ y $\cos \varphi = 0.7$, con tensión
 $U_n = 400 \text{ V}$; absorbe una corriente:

$$I_{0.7} = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi_1} = \frac{170}{\sqrt{3} 400 0.7} = 350.5 \text{ A}$$

Es necesario utilizar sección de 120 mm^2 .

Para las mismas condiciones pero con
 $\cos \varphi = 0.9$ en lugar de 0.7:

$$I_{0.9} = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi_2} = \frac{170}{\sqrt{3} 400 0.9} = 272,6 \text{ A}$$

S [mm²]		
	Cu	
	XLPE/EPR	PVC
	I ₀ [A]	
25	141	114
35	176	143
50	216	174
70	279	225
95	342	275
120	400	321
150	464	372
185	533	427
240	634	507
300	736	587
400	868	689
500	998	789
630	1151	905

Con el mismo tipo de cable, es posible utilizar sección de 70 mm^2 en lugar de 120 mm^2 .

Factor de Potencia: Ventajas de la Corrección de FP

- Reducción de Pérdidas

Las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente circulante, $I^2 \times R$. Para una misma potencia activa P , la corriente se incrementa con la disminución del FP.

En un sistema trifásico, las pérdidas (p) se expresan de la siguiente manera:

$$p = 3 \cdot R \cdot I^2 = R \cdot \frac{(P^2 + Q^2)}{U_n^2} \quad \text{dado que} \quad I = \frac{S}{\sqrt{3} U_n} = \frac{\sqrt{(P^2 + Q^2)}}{\sqrt{3} U_n}$$

La reducción de pérdidas (Δp), entre dos $\cos \varphi$ diferentes, viene dada por:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{R}{U_n^2} \cdot \frac{P^2}{(\cos \varphi_1)^2} = p_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)^2 \right]$$

La mejora del FP de 0.7 a 0.9 logra una disminución del 39,5% en pérdidas.

	$\cos \varphi_1$						
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95
$\Delta p\%$ de $\cos \varphi_1$ a 0.9	80.2	69.1	55.6	39.5	20.9	-	-

Factor de Potencia: Tipos de Corrección de FP

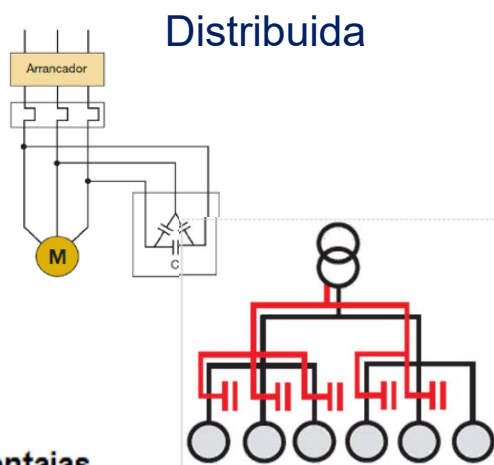
La compensación puede emplazarse en diferentes puntos de una instalación eléctrica, debiendo evaluar su ejecución práctica y económica.

Según esta ubicación, los métodos de corrección se clasifican en:

- *Distribuida*: Conexión directamente en terminales del equipo a compensar.
Instalación sencilla, menor costo, utiliza las mismas protecciones, aconsejable para grandes cargas y factor de potencia constantes con tiempos de conexión prolongado (Motores y Lámparas Fluorescentes).
- *Por Grupos*: Corrige grupos de cargas con características de funcionamiento similar.
- *Centralizada*: Único sistema de corrección en el punto inicial de la instalación, adecuada en instalaciones con varias cargas con diversos tiempos de conexión. Normalmente se emplean con inserción escalonada.
- *Mixta*: Solución de compromiso entre distribuida y centralizada, combinando ventajas de ambos. Se usa la corrección distribuida para los aparatos eléctricos de mayor potencia y la centralizada para la parte restante.

Factor de Potencia: Tipos de Corrección de FP

Tipos de compensación según ubicación

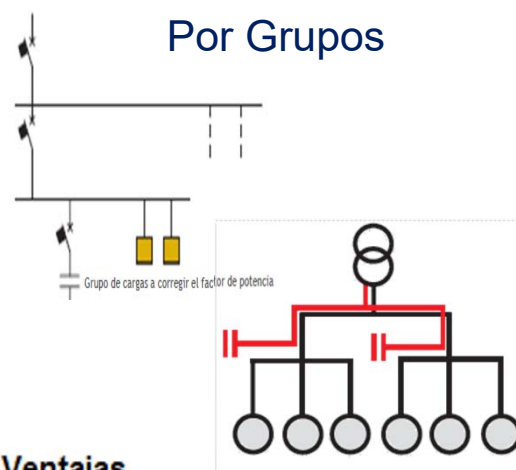


Ventajas

- suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva,
- optimiza toda la instalación eléctrica. La corriente reactiva I_r se abastece en el mismo lugar de su consumo,
- descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

Observaciones

- la corriente reactiva no está presente en los cables de la instalación.
- las pérdidas por efecto Joule en los cables se suprimen totalmente.

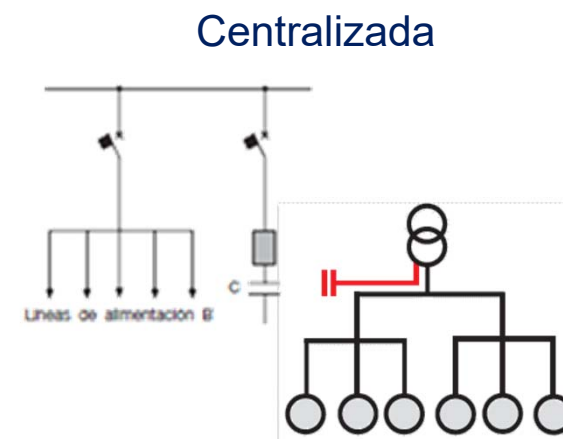


Ventajas

- suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva,
- optimiza una parte de la instalación, la corriente reactiva no se transporta entre los niveles 1 y 2,
- descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

Observaciones

- la corriente reactiva (I_r) está presente en la instalación desde el nivel 2 hasta los receptores.
- las pérdidas por efecto Joule en los cables se disminuyen.



Ventajas

- suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva,
- ajusta la potencia aparente (S en kVA) a la necesidad real de la instalación,
- descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

Observaciones

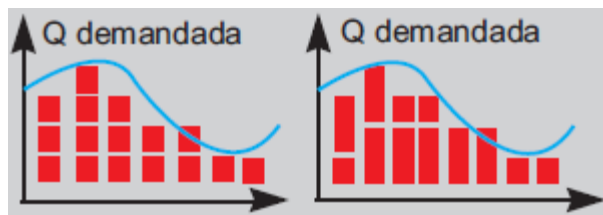
- la corriente reactiva (I_r) está presente en la instalación desde el nivel 1 hasta los receptores,
- las pérdidas por efecto Joule en los cables no quedan disminuidas.

Factor de Potencia: Tipos de Corrección de FP

Compensación automática

En el caso centralizada la inserción escalonada puede ser manual o automática. En este ultimo los componentes principales son:

- Medición de señales de corriente y tensión.
- Regulador: Compara FP medido con el deseado y ejecuta la inserción o desconexión.
- Tablero de potencia, con dispositivos de maniobra y protección.
- Arreglo de Capacitores o Condensadores

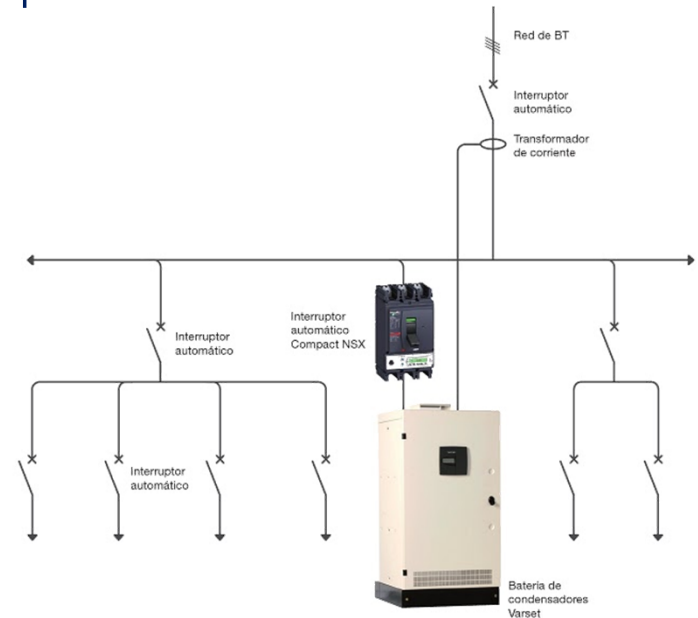


Rele Varimétricos

Solución para compensación de FP



Bancos armados



Módulo 7: Sistemas e instalaciones

Iluminación



Ing. Gustavo D Baron

email: gbaron@iee-unsjconicet.org

Ing. Juan Serrano Mora

email: jserrano@iee-unsjconicet.org



Iluminación

La iluminación juega un papel fundamental en el desarrollo de las actividades sociales, comerciales e industriales. La tecnología ha evolucionado a sistemas de alumbrado capaces de adaptarse a las exigencias actuales, siendo a su vez cada vez mas eficientes energéticamente.

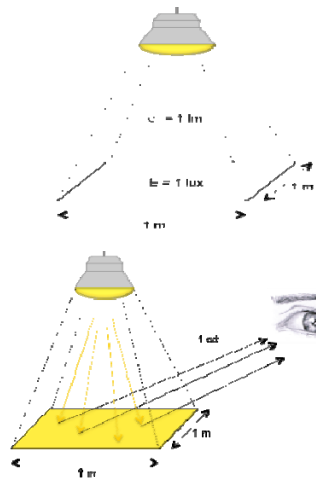
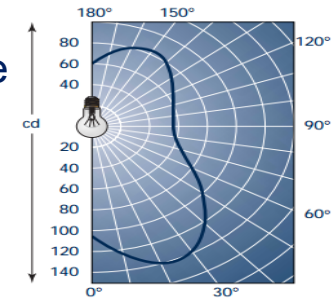
La iluminación representa en muchos casos un porcentaje elevado del consumo eléctrico. El porcentaje de energía eléctrica dedicado a iluminación puede llegar a más del 50%.

Sector	% de energía eléctrica dedicada a iluminación
Oficinas	50 %
Hospitales	20-30 %
Industria	15 %
Colegios	10-15 %
Comercios	15-70 %
Hoteles	25-50 %
Residencial	10-15 %

Existe un gran potencial de ahorro, energético y económico, alcanzable mediante el empleo de equipos eficientes, unido al uso de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades.

Iluminación: Definiciones Básicas

- Luz Emitida: es el flujo luminoso total emitido o radiado por una fuente de luz durante una unidad de tiempo. La luz emitida se mide en lúmenes (lm) y la intensidad luminosa en una dirección particular se mide en candelas (cd). $[lm] = [cd] \times [\text{estereorradián}]$



- Nivel de Iluminación: es cantidad de luz emitida por unidad de superficie. Se mide en lux (lx) siendo un lux equivalente a un lumen por metro cuadrado. $1 [lx] = 1 [lm/m^2]$
- Luminancia (L): es cantidad de luz que el ojo puede captar, por unidad de superficie (luz primaria + secundaria). La unidad de medida es la cd/m^2 o NIT [nt]. Mide el brillo de las fuentes de luz o de los objetos tal como los ve el ojo humano.
- Deslumbramiento: es una disminución de la capacidad visual debido al exceso de luminancia sobre un objeto. Sensación producida por un cambio significativo en la luminancia, causante de molestias, incomodidad o pérdida temporal de la visibilidad.

Iluminación: Definiciones Básicas

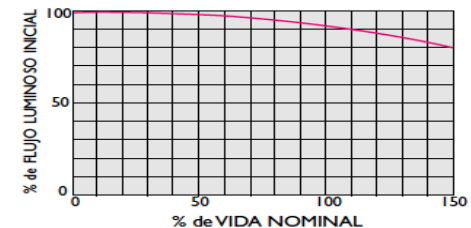
- Eficacia o rendimiento luminoso (η): se define como la cantidad flujo luminoso emitido por una lámpara por cada unidad de potencia eléctrica consumida. Se expresa en lm/W.
- Índice de reproducción Cromática (IRC): capacidad de una fuente de luz para reproducir los colores de un objeto en comparación con una fuente de referencia. Este índice varía de 0 a 100, siendo 100 el de la luz de referencia. Las lámparas incandescentes presentan mejor IRC (100) ya que tienen un espectro de emisión continuo.



Apariencia	Temperatura de color (K)
Cálida	1500 (roja) < T < 3.100 (amarillenta)
Neutra	3.100 < T < 4000 (azulada)
Fría	4000 < T < 9000 (azul)

- Temperatura de color: Define el color, mide el grado de calidez o frialdad que reproduce una fuente. Se expresa en grados Kelvin [K].

- Depreciación Luminosa: Disminución en el tiempo del flujo luminoso de una lámpara. El flujo especificado corresponde al valor medido luego de 100 horas de funcionamiento.



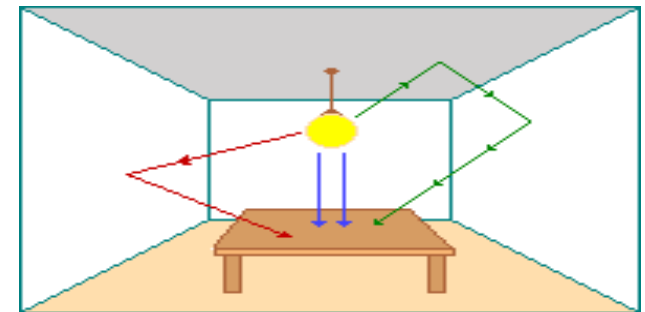
Iluminación: Aspectos Involucrados

Para lograr una iluminación eficiente se deben observar diferentes aspectos:

- Fuente de luz: elemento que emite luz visible. (tipo, eficiencia, vida útil, etc.)
- Luminaria: elementos encargados de cubrir la fuente de luz para protegerla de los agentes externos, dirigir el flujo luminoso y eventualmente contener equipos auxiliares.
- Sistemas de Control y Equipos auxiliares: Elementos necesarios para el funcionamiento de la fuente de luz y control de la iluminación.
- Espacio a iluminar: Interior/Exterior. Características reflexivas de paredes y techos influye en la cantidad de luz que finalmente llega a la superficie de trabajo.
- Respetar los niveles recomendados: Los niveles de iluminación necesarios dependen de la actividad a desarrollar. La norma IRAM-AADL J 20-06 indica los niveles para cada clase de tarea visual.

Criterios generales para una correcta iluminación:

- Nivel de iluminación adecuado en el plano de trabajo.
- Nivel de iluminación uniforme.

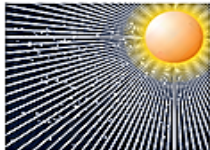


Iluminación: Fuente de Luz y Tipo de Lámparas

Para conseguir luz artificial debe existir una transformación de energía eléctrica a radiante. Los dos métodos más utilizados son: termorradiación y luminiscencia.

Tipo de Lámparas eléctricas:

- Incandescente: Se basa en pasar corriente eléctrica por un filamento de wolframio. Con la incorporación de gas halógeno se mejora vida útil, eficacia y coste.
- De Descarga: Luz por excitación eléctrica de un gas (necesitan equipo auxiliar)
Según el tipo de gas y presión, existen distintos tipos: Fluorescentes, F Compactas, Vapor de mercurio a alta presión, Mezcladora, Halogenuro, Vapor de sodio a baja o alta presión. Las de alta presión se encuadran en las descarga de alta intensidad (HID)

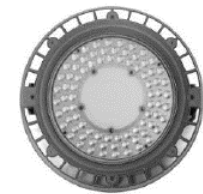
PRODUCCION DE LUZ			
Termorradiación		Luminiscencia	
Natural	Combustión Incandescencia  Sol	Descarga en el seno de un gas  Rayo	Radiación de un cuerpo sólido  Luciérnaga
Artificial	Llama Luz de gas Arco eléctrico Lámpara incandescente	Lámpara de vapor metálico Lámpara de gas noble Lámpara de efluvios Lámpara Xenón	Sustancia luminiscente Placa luminosa Lámpara de cuerpo sólido Fuente de luz radioactiva



Iluminación: Fuente de Luz y Tipo de Lámparas

- Diodos Emisores de Luz (LED) : están basados en semiconductores que transforman directamente la corriente eléctrica en luz. No poseen filamento o gas, por lo que tienen una elevada vida útil (hasta 50.000 horas) y son muy resistentes mecánicamente. Además, son un 80 % más eficientes que las lámparas incandescentes.

LED	
Potencias nominales	Variable
Eficacia	10-80 lm/W
Flujo luminoso	170-3.600 lm
Temperatura de color	2.700-5.000 K
IRC	< 90
Tono	Multicolor
Espectro	Infrarrojo, visible y ultravioleta
Tiempo de encendido	Instantáneo
Tiempo de reencendido	Instantáneo
Tamaño	Reducido
Posición de funcionamiento	Universal



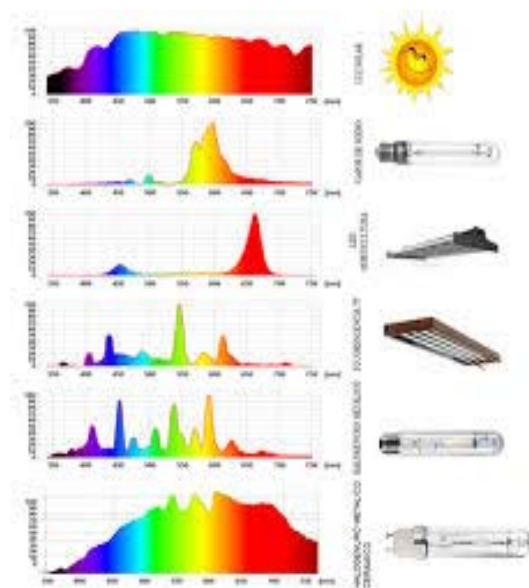
Tipo de producto LED	Eficacia luminosa mínima (lm/w)	Vida útil mínima (horas)
Ampolleta LED E14	75	15.000
Ampolleta LED E27	85	15.000
Ampolleta LED GU10 (Equivalente 35 W)	67	15.000
Ampolleta LED GU10 (Equivalente 50 W)	75	15.000
Tubos LED 60 cm.	90	25.000
Tubos LED 120 cm.	95	25.000
Tubos LED 150 cm.	90	25.000
Proyector de exterior LED	90	30.000



Iluminación: Fuente de Luz y Tipo de Lámparas

	Gama de potencias (W)	Vida útil (h)	Eficacia (lm/W)	Tª Color (K)	IRC (%)	Encendido y Reencendido	Equipo auxiliar
Incandescentes	25-2000	1000	8-21,5	2700	100	Instantáneo	no
Halógena	40-100	2000	15-27	2800	100	Instantáneo	si
Tubos fluorescentes	16-65	5000-6000	48-80	2700-6000	70-98	Instantáneo	si (balasto y cebador)
Fluorescente compacta	7,5-50	8000	57-65	2700-6000	85	Instantáneo	Si (balasto electrónico)
Luz de mezcla	160-500	6000	19-28	3600	60	E: 2min, R: 5-10 min	no
Mercurio A.P.	50-2000	24000	32-60	3500-4500	40-70	E: 4-5 min, R: 3-6 min	no
Halogenuro metálico	70-3500	10000	75-105	3000-6000	80-90	E: 3-10 min	si (arrancador)
Inducción	70-150	60000	80	3000	>80	Instantáneo	Si (balasto electrónico)
Sodio B.P.	18-180	6000-8000	100-199	-	-	E: 15min R: 3min	si
Sodio A.P.	35-1000	8000	60-130	2000-2200	25-50	E: 5-10min R: 1min	si
Sodio Blanco	35-150	12000-15000	40-50	2500	85	E: 12min, R: 3min	Balasto y unidad control
LEDs	1,5-50	50000	60 - 120	2500 - 8000	70 - 98	Instantáneo	Si, incorporado en luminaria

Iluminación: Fuente de Luz y Tipo de Lámparas



EQUIVALENCIAS		BOMBILLA INCANDESCENTE	HALOGENAS HALOGENAS	HALOGENAS TIPO PAR	BOMBILLAS BAJO CONSUMO	TUBO FLUORESCENTE	FOCO HALOGENURO	VAPOR DE SODIO	LUMENES (lm)
POTENCIA LED	2 W		20 W		6 W				50 - 80
	3 W		35 W		8 W				180 - 270
	5 W		40 W		11 W				240 - 420
	6 W		50 W		13 W	12 W			390 - 550
	7 W		60 W		15 W	14 W			510 - 640
	9 W		70 W		18 W	18 W			600 - 830
	10 W		80 W		20 W	20 W	50 W		810 - 950
	12 W		100 W		25 W	25 W	60 W		900 - 1100
	13 W		110 W		30 W	28 W	70 W		955 - 1200
	15 W		120 W		40 W	32 W	75 W		1000 - 1400
	18 W		140 W		50 W	36 W	90 W		1100 - 1700
	20 W		150 W		60 W	44 W	120 W		1200 - 1900
	25 W		200 W		70 W	58 W	150 W		1250 - 2400
	30 W		250 W		80 W	70 W	170 W		1300 - 2500
	35 W		300 W		90 W		180 W		1350 - 2800
	50 W		350 W		100 W		200 W	100 W	2440 - 4500
	80 W		400 W		150 W		250 W	150 W	3600 - 7500
	100 W		500 W		200 W		300 W	250 W	5100 - 9500
	120 W		550 W		250 W		350 W	300 W	6000 - 11000
	150 W		700 W		300 W		500 W	400 W	7500 - 14000

LUMENS	INCANDESCENTES	HALÓGENAS	FLUORESCENTES	DIODO
450	40 W	29 W	9 W	8 W
800	60 W	43 W	14 W	13 W
1100	75 W	53 W	19 W	17 W
1600	100 W	72 W	23 W	20 W
DURACIÓN	1 Año	1 - 3 Años	6 - 10 Años	15 - 25 Años
AHORRO	X	Más de 30%	Más de 75%	Más de 80%

IEE

IRPHa



CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

Módulo VII: Sistemas e instalaciones

Iluminación: Fuente de Luz y Tipo de Lámparas

Carta de equivalencias LED vs Convencionales				Bombillas incandescentes	Halógenos	Halógenos tipo PAR	Fluorescentes compactos bajo consumo	Tubos fluorescentes TB	Lámparas de vapor de Sodio a alta presión	Lámparas de vapor de Sodio a alta presión en balastro	Lumen (lm)
											
de interior			1W		10W						50-80
			3W		20W						120-180
			5W		25W						155-180
			7W		35W						180-220
			10W		60W		20W	20W			550
			12W		80W		24W	24W			650-750
			15W		100W		30W	30W			700
			20W		150W		40W	40W			950
			60W		400W		120W	120W	100W	300W	3000-3400
			80W		450W		160W	160W	120W	380W	3800
			90W		550W		180W	180W	150W	450W	4500-5100
			120W		750W		240W	240W	200W	600W	6000-6800
			150W		900W		300W	300W	250W	750W	7500-8500
			160W		950W		320W	320W	250W	750W	7600
			50W		400W		120W	120W	100W	300W	3000 (Max)
			75W		550W		180W	180W	150W	450W	4800 (Max)
			100W		750W		240W	240W	200W	600W	6400 (Max)
de exterior			60W		400W		120W	120W	100W	300W	3000-3400
			80W		450W		160W	160W	120W	380W	3800
			90W		550W		180W	180W	150W	450W	4500-5100
			120W		750W		240W	240W	200W	600W	6000-6800
			150W		900W		300W	300W	250W	750W	7500-8500
			160W		950W		320W	320W	250W	750W	7600
			60W		400W		120W	120W	100W	300W	3000-3400
			80W		450W		160W	160W	120W	380W	3800
			90W		550W		180W	180W	150W	450W	4500-5100
			120W		750W		240W	240W	200W	600W	6000-6800
			150W		900W		300W	300W	250W	750W	7500-8500
			160W		950W		320W	320W	250W	750W	7600
			50W		400W						
			75W		550W		180W	180W	150W	450W	4800lm (Max)
			100W		750W		240W	240W	200W	600W	6400 (Max)

Iluminación: Equipo Auxiliar y Control

Los equipos auxiliares determinan en gran medida las prestaciones de servicio de lámparas, en calidad y economía en la producción de luz. Estos equipos tienen su propio consumo eléctrico que ha de ser considerado al evaluar el sistema de iluminación.

Dos tipos: Aux. para Funcionamiento y Métodos de control

Mientras que lámparas incandescentes son conectarlas directamente a la red, la mayor parte de las fuentes de luz requieren un equipo auxiliar para encender o evitar crecimientos continuos de intensidad. En algunas halógenas y LED, la tensión de funcionamiento es menor que la de red.

Equipos Auxiliares más comunes: balastos, arrancadores o cebadores, condensadores, transformadores, etc.

Métodos de Control: Reguladores o Atenuadores, Dimmer autorregulado por horario, Sensores de Presencia, Detectores de Movimiento y luz Diurna, Sistemas de Gestión, etc.



IEE

IRPHa

CFI

CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

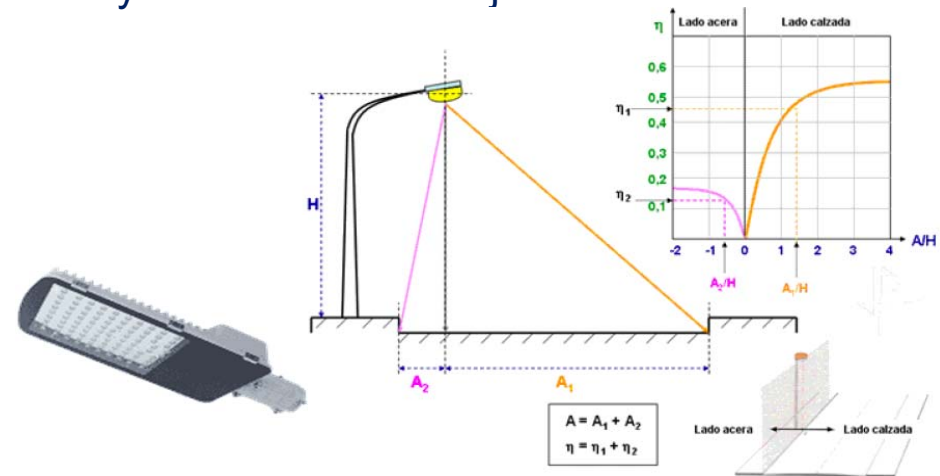
Módulo VII: Sistemas e
instalaciones

Iluminación: Luminarias

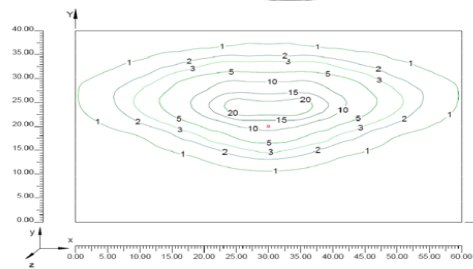
Conjunto de elementos necesarios para el soporte, fijación y protección de lámparas y elementos auxiliares. Son de real importancia ya que reparten, filtran o transforman la luz emitida influyendo en el nivel de iluminación y distribución del flujo.

Debe cumplir diferentes funciones:

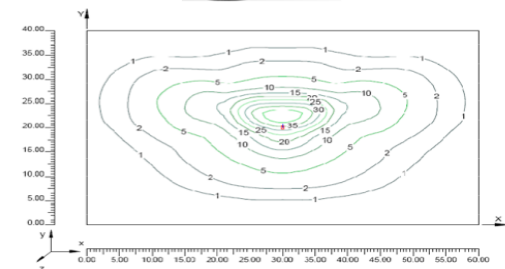
- Distribuir la luz en el espacio.
- Evitar molestias por deslumbramiento o brillo excesivo.
- Cubrir necesidades estéticas.
- Optimizar el rendimiento energético, aprovechar al máximo el flujo luminoso de las lámparas.
- Proteger la lámpara y equipo auxiliar.



Luminaria de LEDs tipo L1 (120 leds)



Luminaria Vsap 150W tipo S1



Iluminación: Iluminación Eficiente

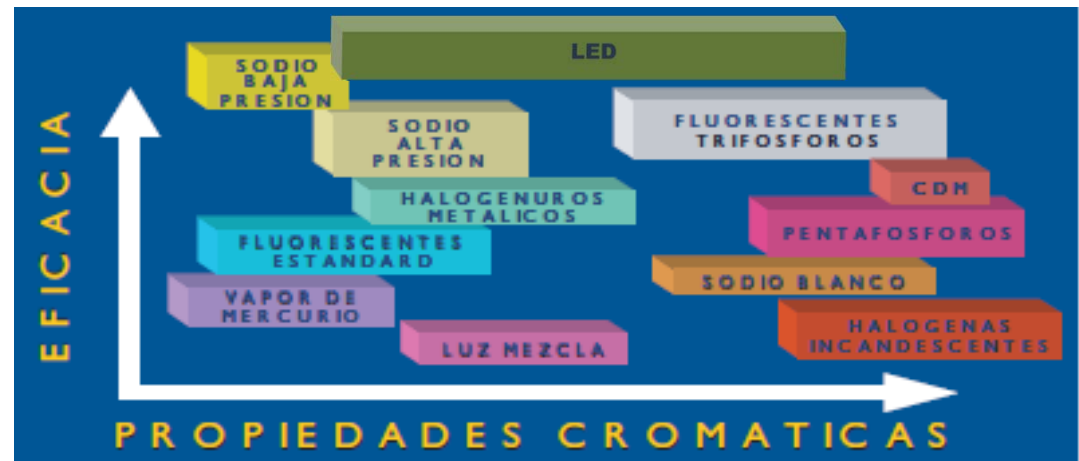
Iluminar es más que poner lámparas para suplantar la falta de luz natural. Una correcta iluminación debe estar ajustada a las recomendaciones, brindar la sensación de confort y estética, de la manera más eficiente posible.

En la eficiencia de un sistema de iluminación interviene:

- Eficiencia de los componentes (lámparas, luminarias, equipos auxiliares, etc.)
- Uso de la instalación (régimen de utilización, uso de sistemas de regulación y control, aprovechamiento de la luz natural).
- Mantenimiento (limpieza, reposición de lámparas, etc.).

Elección de Fuentes de Luz:

Además de sus características luminotécnicas, debe considerarse su eficiencia lumínica.



Iluminación: Iluminación Eficiente

Elección del equipo auxiliar: Influye notablemente en la eficiencia. Los balastos electrónicos ofrecen ventajas tanto en confort como en ahorro energético:

- Reducción del 25% de la energía consumida, respecto a un electromagnético.
- Incremento de la eficacia y vida útil de la lámpara hasta del 50%.
- Encendido instantáneo y con menos fallos.
- Luz más agradable, sin parpadeo ni efecto estroboscópico, mediante el funcionamiento a alta frecuencia.
- Posibilidades de dimerización, conexión a sensores, auto ajuste de intensidad, etc.

Elección de Luminarias: La distribución de luz tiene dos propósitos, funcional (dirigir la luz de forma eficiente) y otra decorativa. Una iluminación adecuada y eficiente conseguirá un compromiso entre ambas. El empleo de más de un tipo de luminaria, unas para iluminación ambiental general y otras para iluminación localizada, permite adecuarse más eficientemente a las necesidades.

Siempre debe considerarse el rendimiento, de forma que refleje y distribuya mejor la luz,

Iluminación: Iluminación Eficiente

Gestión y mantenimiento: El paso del tiempo hace que disminuya la eficiencia debido a la depreciación de lámparas y suciedad acumulada en las luminarias. El mantenimiento permite alcanzar ahorros de hasta el 50%.

- Limpieza de las luminarias.
- Sustitución de lámparas según recomendación de fábrica (aun sin falla disminuye eficacia). En grandes instalaciones es aconsejable sustituir lámparas por lotes para mantener los niveles de iluminación.
- Revisión periódica del estado de los componentes de la instalación.
- Grandes instalaciones deben tener una gestión de alumbrado, siguiendo planes de mantenimiento (limpiezas, reposiciones de lámparas por grupos, etc.).
- Gestión de consumos: Control de horarios de funcionamiento, Control de consumos y costes, Seguimiento de tarificación.
- Pintar superficies con colores claros y mantenerlas limpias.

Iluminación: Buenas Prácticas

Sector Residencial

- Aprovechar al máximo la iluminación natural.
- Utilizar colores claros en paredes y techos
- No dejar luces encendidas en habitaciones que no se estén utilizando.
- Limpieza periódica de lámparas y luminarias.
- Sustitución de lámparas incandescentes por bajo consumo o LED. Ahorran hasta un 80 % de energía y duran hasta 15 a 30 veces más.
- Adaptar iluminación a necesidades dando preferencia a iluminación localizada.
- Colocar reguladores de intensidad.
- En zonas comunes (vestíbulos, garajes, etc.) es conveniente colocar detectores de presencia o interruptores temporizados de forma que la luz se apague y se encienda automáticamente.

Iluminación: Buenas Prácticas

Sector Comercial e Industrial

- Aprovechar al máximo la iluminación natural mediante la instalación de reguladores y detectores que regulen la iluminación artificial.
- Establecer circuitos independientes para zonificar la instalación en función de usos y horarios.
- Instalar detectores de presencia temporizados en los lugares menos frecuentado (pasillos, baños, servicios, almacenes, etc.).
- Instalar temporizadores que apaguen o enciendan luces a una determinada hora.
- Elegir fuentes de luz y luminarias con mayor eficacia energética.
- Emplear balastos electrónicos ahorran hasta un 30% de energía, alargan la vida de lámparas un 50% y consiguen una iluminación más agradable y confortable.
- Realizar mantenimiento programado de instalaciones, limpiando fuentes de luz y luminarias, reemplazando lámparas en función de la vida útil indicada por los fabricantes.
- En grandes instalaciones los sistemas de control centralizado permiten ahorrar energía mediante la adecuación de la demanda y consumo. Además de llevar un registro y control que mejora la calidad y gestión de la energía consumida.



Módulo 7: Sistemas e instalaciones

Etiquetado de Eficiencia Energética



Ing. Gustavo D Baron

email: gbaron@iee-unsjconicet.org

Ing. Juan Serrano Mora

email: jserrano@iee-unsjconicet.org



Etiquetado de Eficiencia

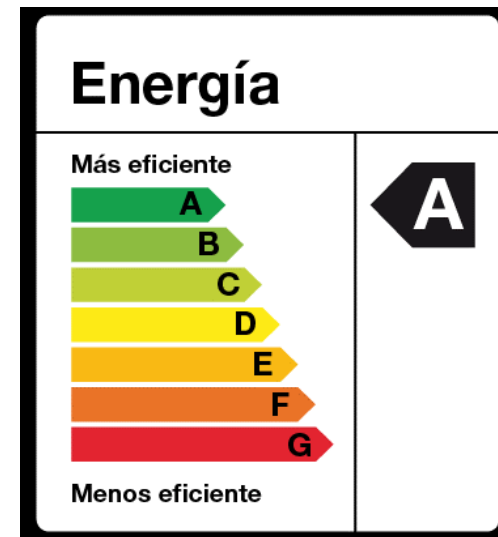
La etiqueta de Eficiencia Energética es una herramienta que te permite conocer de manera rápida y fácil, el consumo de energía de electrodomésticos o equipos y cuál es su nivel de eficiencia energética. Brinda información a consumidores y permite incorporar el consumo energético dentro de las variables de decisión de compra.

Contiene barras de colores con letras donde cada escalón representa un nivel de eficiencia energética. A mayor nivel menor consumo manteniendo la misma prestación.

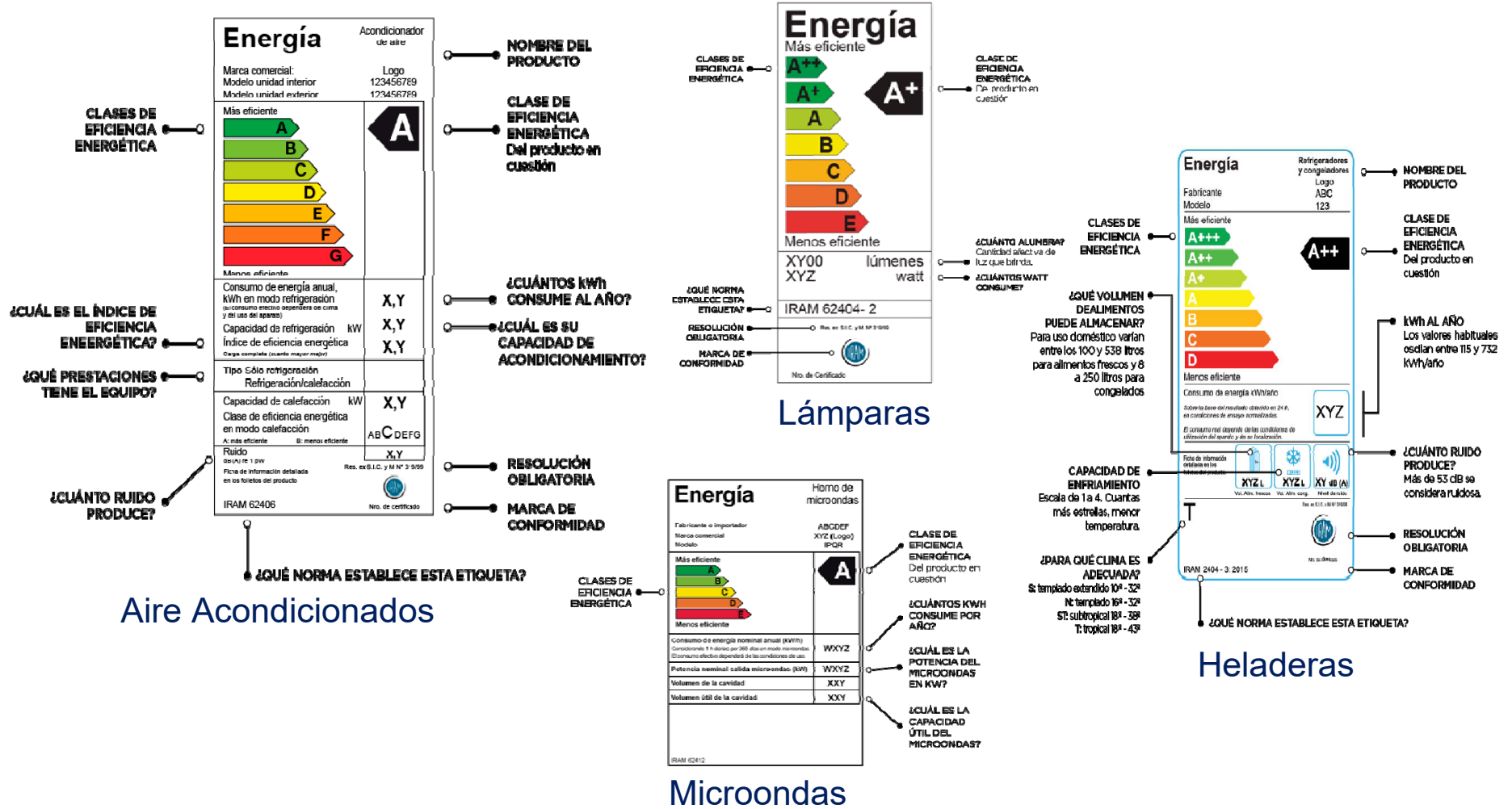
En general, las etiquetas incluyen información adicional como cantidad de energía que consume, eficiencia, vida útil, etc.

Existen etiquetas diferentes para diferentes equipos de uso residencial, incluyendo equipos eléctricos y a gas.

En industrias los artefactos de oficinas (aire acondicionado, heladeras, etc.) e iluminación general poseen este etiquetado.



Etiquetado de Eficiencia



Módulo 7: Sistemas e instalaciones

Sistemas de Gestión Energética



Ing. Gustavo D Baron

email: gbaron@iee-unsjconicet.org

Ing. Juan Serrano Mora

email: jserrano@iee-unsjconicet.org



Sistemas de Gestión Energética

Las Industrias requieren:

- Flujo de energía transparente desde acometida hasta punto de consumo.
- Detección precisa de todos los datos de consumo en el sistema interno.
- Fácil integración del sistema de gestión energética con los sistema de producción.

El uso de analizadores de red e interruptores de potencia con comunicación permite la lectura, visualización y registro de cada centro de consumo de forma individual.

En conjunto con un sistema informático de gestión permite a una empresa:

- Determinar, mejorar y analizar sistemática y continuamente su consumo de energía.
- Conocer con exactitud energía y consumos, lo que permite detectar ahorros potenciales, planificar ampliaciones, renegociar contratos de suministro, etc.
- Asignar consumos a lotes de producción y aplicar esquemas mas eficientes, gestionando cargas para las distintas tarifas, pico, valle y resto, disminución picos de potencia y penalizaciones.
- Analizar costos por departamentos o áreas, identificando puntos débiles o poco eficientes, etc.,

IEE

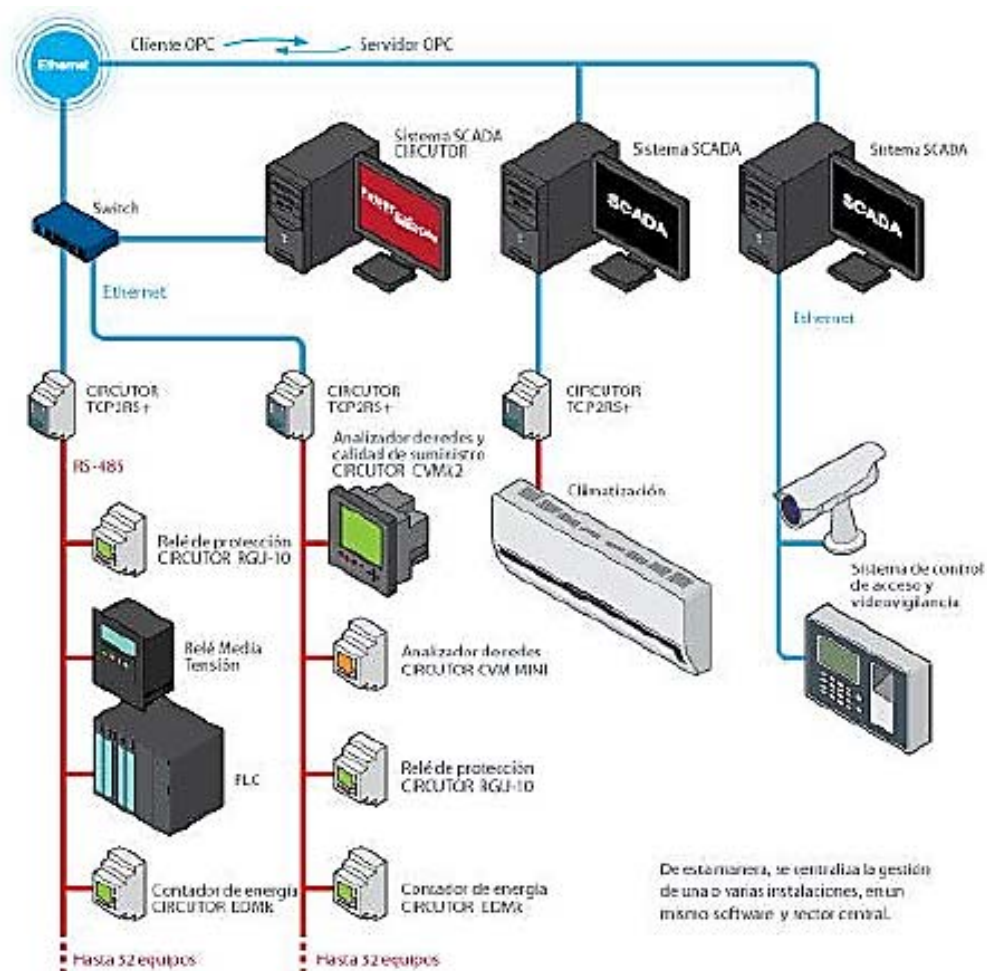
 **IRPHA**



**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**

**Módulo VII: Sistemas e
instalaciones**

Sistemas de Gestión Energética



IEE

IRPHa

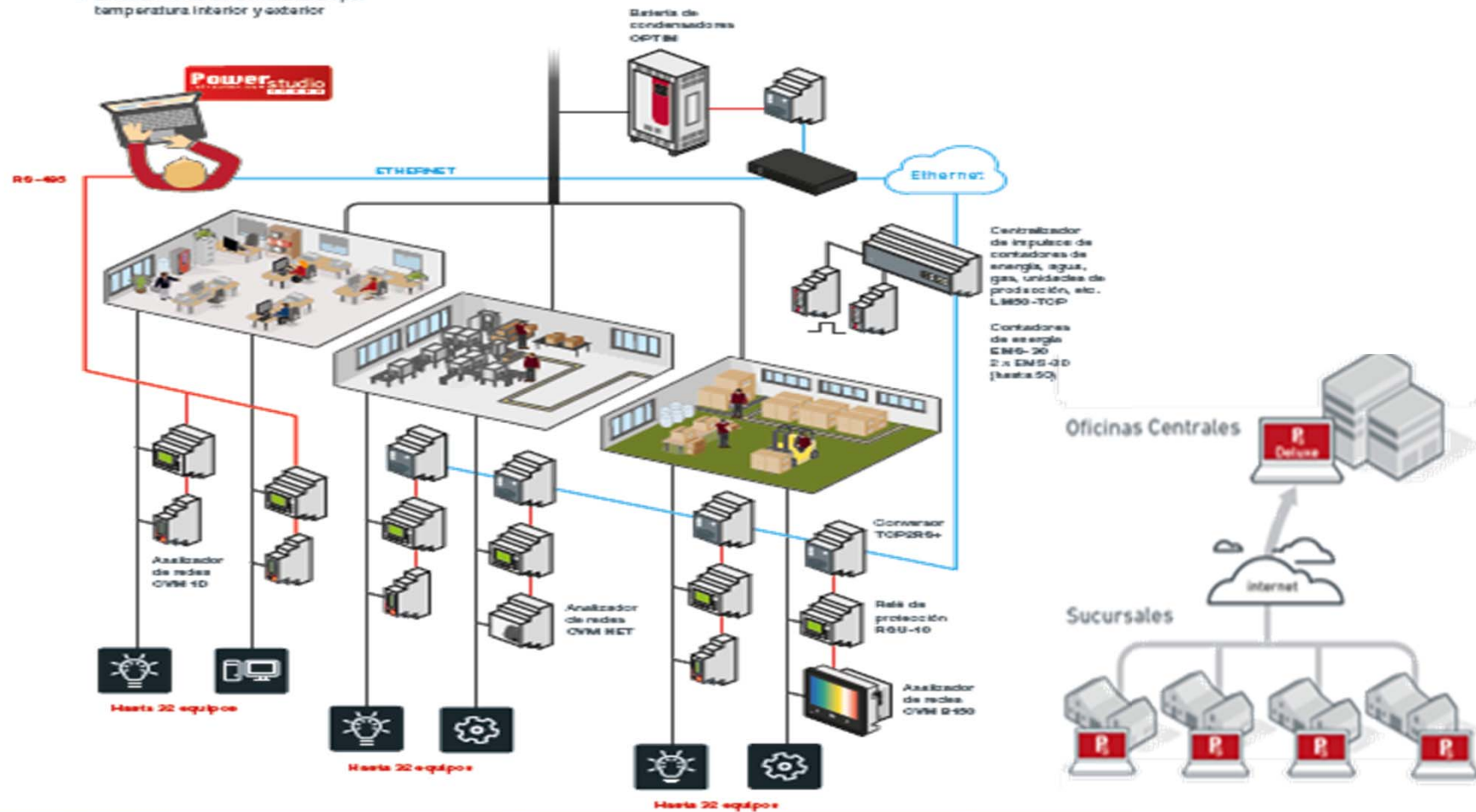


CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo VII: Sistemas e instalaciones

Sistemas de Gestión Energética

- Energía consumida por unidad producida
- Energía usada para climatización por metro cuadrado
- El rendimiento de climatización por temperatura interior y exterior



IEE

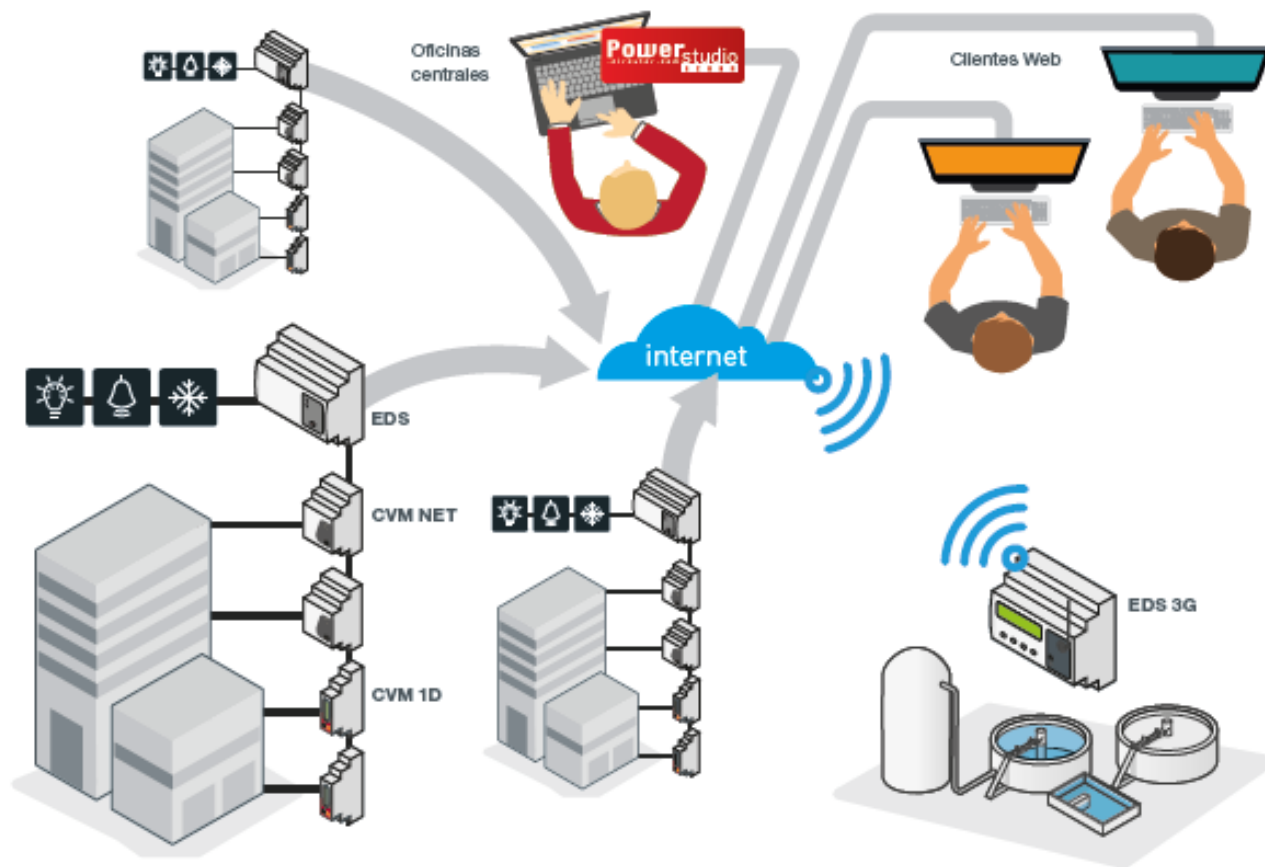
IRPHA

CFI

CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo VII: Sistemas e
instalaciones

Sistemas de Gestión Energética



SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

IEE

 **IRPHA**


CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

**Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones**

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

El aire comprimido juega un papel importante en la industria. Se estima que aproximadamente el **10%** del consumo eléctrico industrial se destina a la generación de aire comprimido.

FUNCIONES:

Aire de servicios: Destinado a servicios generales, como herramientas neumáticas, procesos, etc.

Aire de instrumentos: para esta aplicación se requiere además de comprimirlo y almacenarlo, que sea filtrado, secado y su presión sea regulada. Se utiliza en válvulas de control, válvulas toda-nada, entre otros instrumentos.

IEE

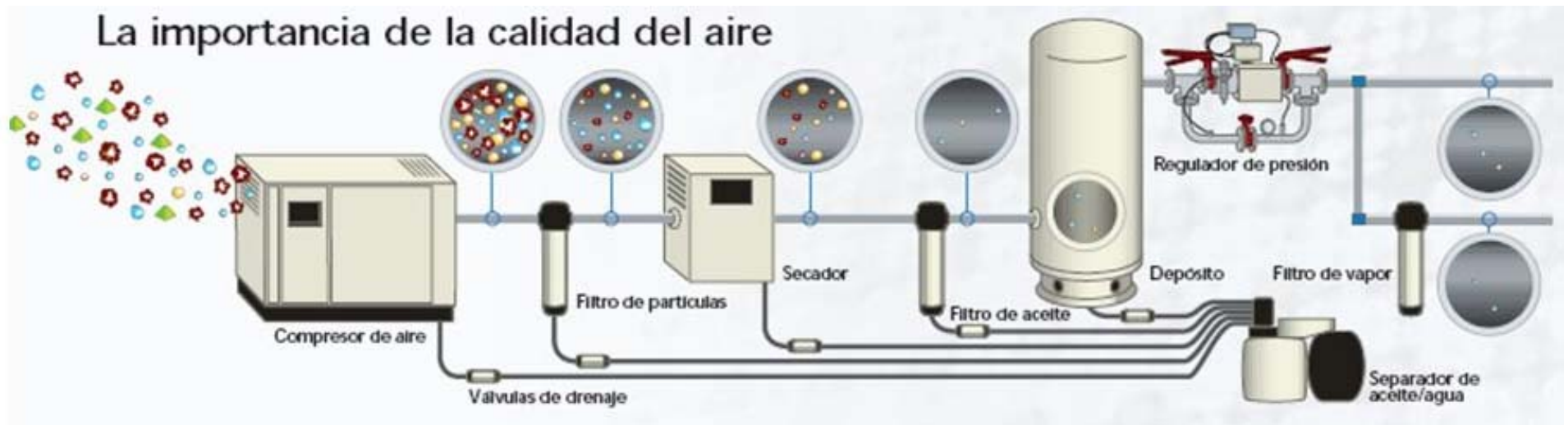
IRPHA

CFI
CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

**Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones**

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

SISTEMA COMPLETO



Un sistema de aire comprimido, involucra los siguientes elementos básicos que se explicarán a continuación:

- Compresor
- Enfriador
- Filtros
- Secador
- Depósitos
- Regulador de presión
- Lubricador
- Drenaje de Condensado

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

COMPRESOR

La compresión produce un aumento de presión y un aumento de temperatura

Compresión adiabática reversible (isentrópico, entropía constante), se cumple la siguiente ecuación:

$$T \propto V^{\gamma-1} = \text{constante} \quad \text{donde } \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Estos valores para el aire, en algunos casos pueden ser considerables, por tal motivo es fundamental la lubricación refrigerada del compresor para evacuar esta fuente de calor

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

COMPRESOR

La temperatura de aspiración debe ser lo más baja posible

- Menor temperatura = mayor la densidad del flujo másico x desplazamiento
- Reducción de la temperatura final en la compresión, lo que reduce el consumo de energía.
- Un **incremento de 3°C representa, un 1 % más de consumo** de potencia en el compresor.
- Aspiración en el interior de la sala de máquinas, debe ubicarse en zonas bajas, alejadas de las fuentes de calor y los más frías posibles.

IEE

 **IRPHA**


CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones

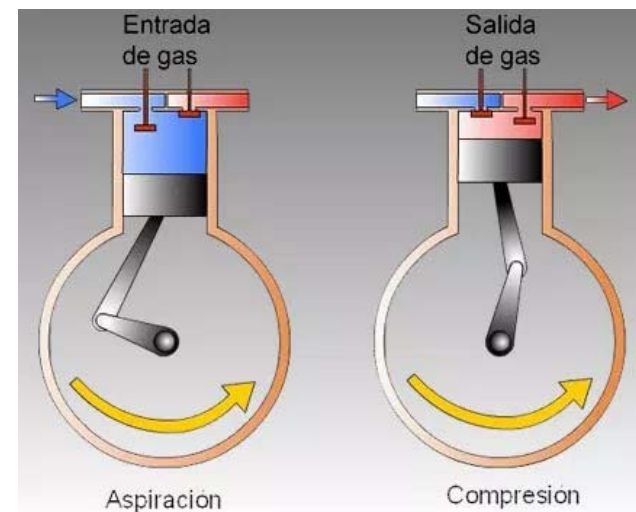
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

Tipos de COMPRESOR

Los principales que se emplean en la industria son: **de pistón, de tornillo y centrífugos**

Compresores de pistón:

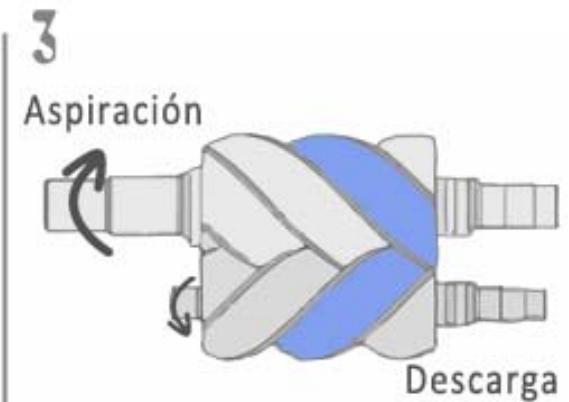
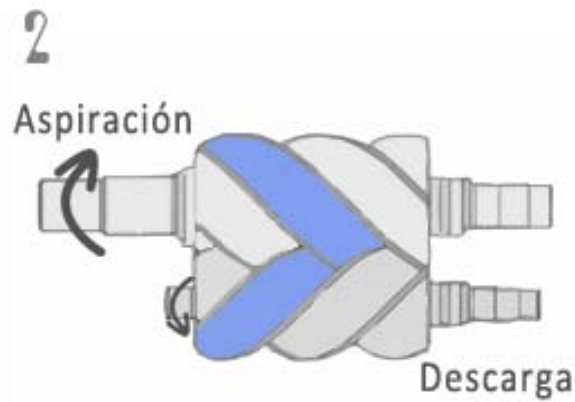
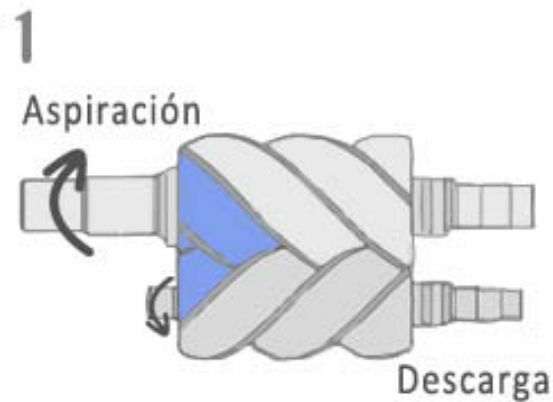
- Compresión por movimiento alternativo de un pistón
- Para una etapa se obtienen presiones de 3 – 4 bar
- Para dos etapas 8 – 10 bar



DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

Tipos de COMPRESOR

Compresores a tornillos. Constan de dos tornillos, hembra y macho. El aire pasa entre ambos y el volumen va disminuyendo a medida que avanza por los tornillos. Funcionan a altas velocidades y combinan la elevada capacidad con pequeñas dimensiones. Son lubricados mediante aceite, que es utilizado para sellar las fugas.

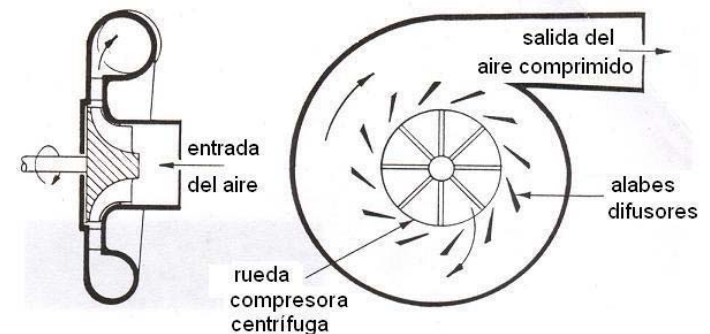


DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

Tipos de COMPRESOR

Compresores centrífugos: En este caso, un rotor con álabes acelera el aire de admisión, otorgándole energía cinética y se hace pasar el aire por un difusor, convirtiendo la velocidad en presión

- No hay contacto directo entre partes móviles
- No es necesario lubricante
- Se obtiene aire libre de aceite
- Se utilizan con consumos elevados
- Elevado Costo
- Consumo eléctrico de varios cientos de KW
- Silenciosos



DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

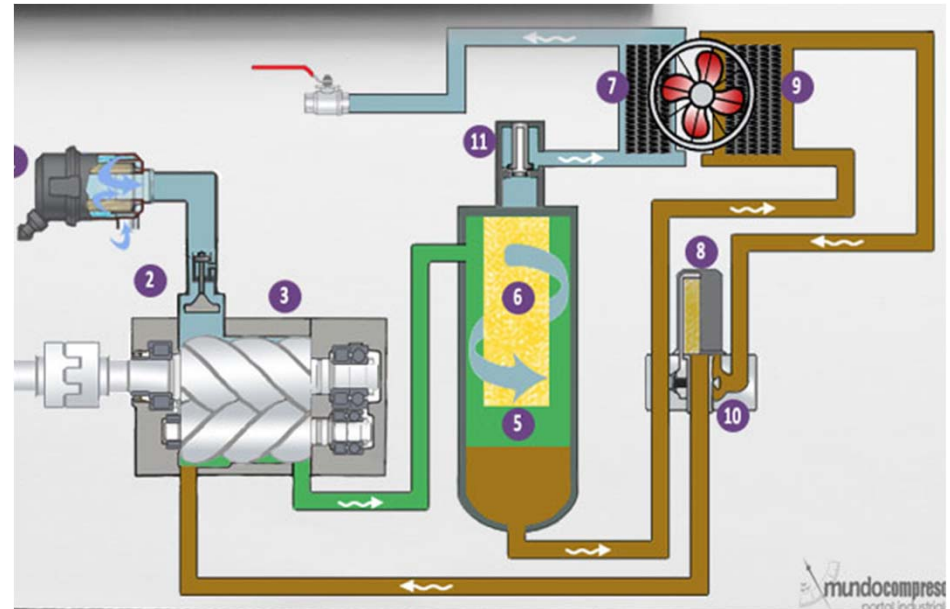
ENFRIADOR

El aire comprimido caliente aumenta su capacidad para retener vapor de agua, **pero** la presión del aire reduce su capacidad para retener agua.

Estos dos comportamientos se dan en la compresión.

Cuando el aire es conducido por la red, se enfría y se condensa, aunque se mantenga a presiones altas.

Para eliminar posibles condensaciones, se reduce la temperatura de salida. Es admisible que a la salida esté a 30°C . La mayoría de los compresores industriales, tienen incluidos estos equipos



DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

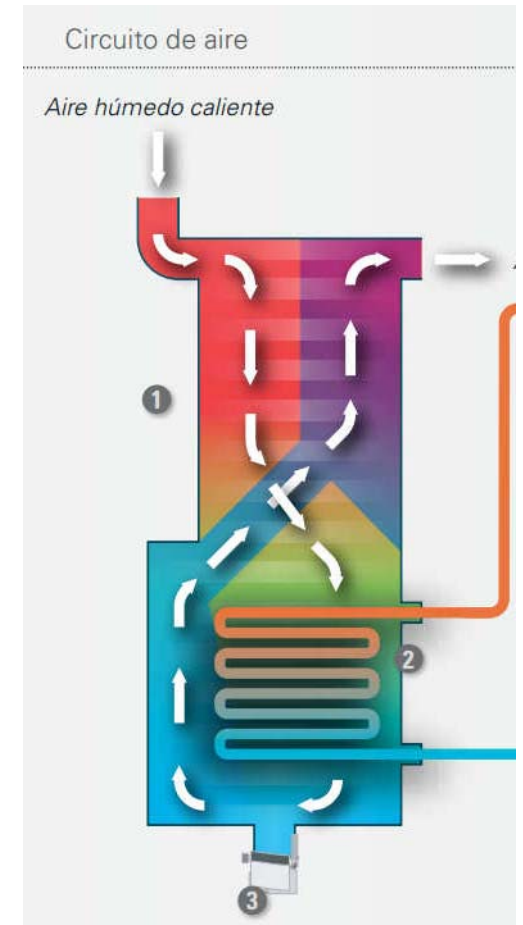
SECADOR

El contenido de humedad crea problemas tales como:

- Formación de hielo en las válvulas y controles,
- Corrosión, óxido y
- Dilución de los lubricantes

Secador de enfriamiento por refrigeración, (consumen 3% de la energía que necesita el compresor), los de adsorción consumen entre un 10 y un 25% o incluso más. Se recomiendan estos últimos en los casos que se requiere aire comprimido extremadamente seco y con puntos de rocío muy por debajo.

Los secadores deben seleccionarse en las peores condiciones; presión baja, consumo máximo, temperaturas de entrada altas.



DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

FILTROS

Es típico que el aire comprimido, esté contaminado con partículas sólidas abrasivas como el polvo, residuos de tubería y oxido, así como gotas de agua condensada y de aceite, y vapor de hidrocarburos.



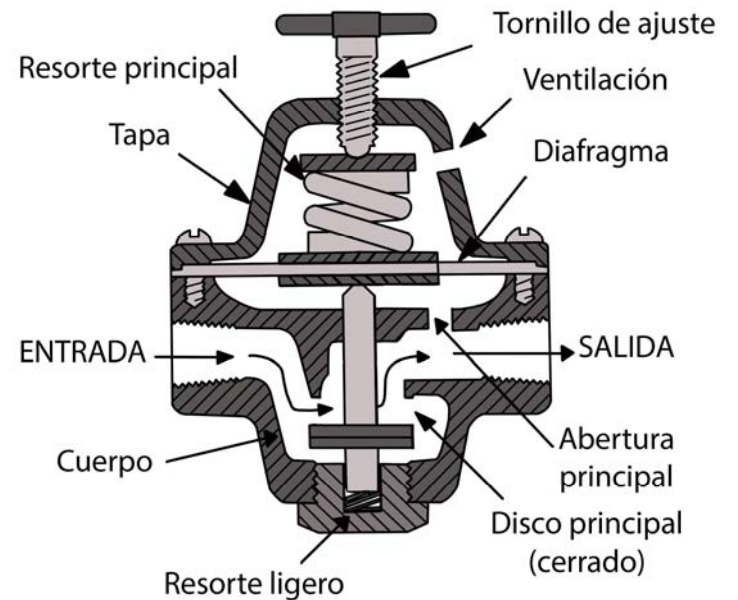
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

REGULADOR DE PRESIÓN

En la distribución del aire comprimido, intervienen varios elementos que generan pérdidas de carga; las que serán mayores a medida que aumenten las longitudes de las conducciones.

Se requieren, una adaptación del valor de presión al ingreso de un determinado instrumento.

El regulador de presión permiten bajar y nunca subir la presión del fluido que por ellos circula.



DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

LUBRICADOR

Para lubricar herramientas y mecanismos neumáticos, se dosifica lubricante en el aire que acciona el mecanismo, Los filtros FRL, son del tipo independientes y se los denomina “unidad múltiple”. El costo con respecto a las tres operaciones en equipos individuales, disminuye. El funcionamiento es el mismo, además es más sencilla y económica su instalación.



DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

DEPÓSITOS

Pulmones de aire, son recipientes a presión que forma parte integrante y fundamental de todo el sistema de aire comprimido. **Las principales funciones son:**

- Almacenar aire para suplir las demandas de picos superiores a la capacidad del compresor
- Contribuyen al enfriamiento y separación del condensado



DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

DRENAJE DE CONDENSADO

- Un compresor de 30 Kw con un caudal de 5 m³/min puede producir aprox. 20 litros de condensado en 8hs en condiciones normales.
- La condición general del condensado es la de un pH entre 6 y 9 y considerándose neutro, y las impurezas del ambiente se depositan en una capa de aceite que flota sobre el agua y de fácil separación.
- En todos los puntos bajos es recomendable colocar puntos de drenaje. Así mismo, en la línea principal de distribución se pueden colocar cada 30 o 40m; saliendo siempre desde el punto inferior de la tubería.

IEE

 **IRPHA**


**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**

**Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones**

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

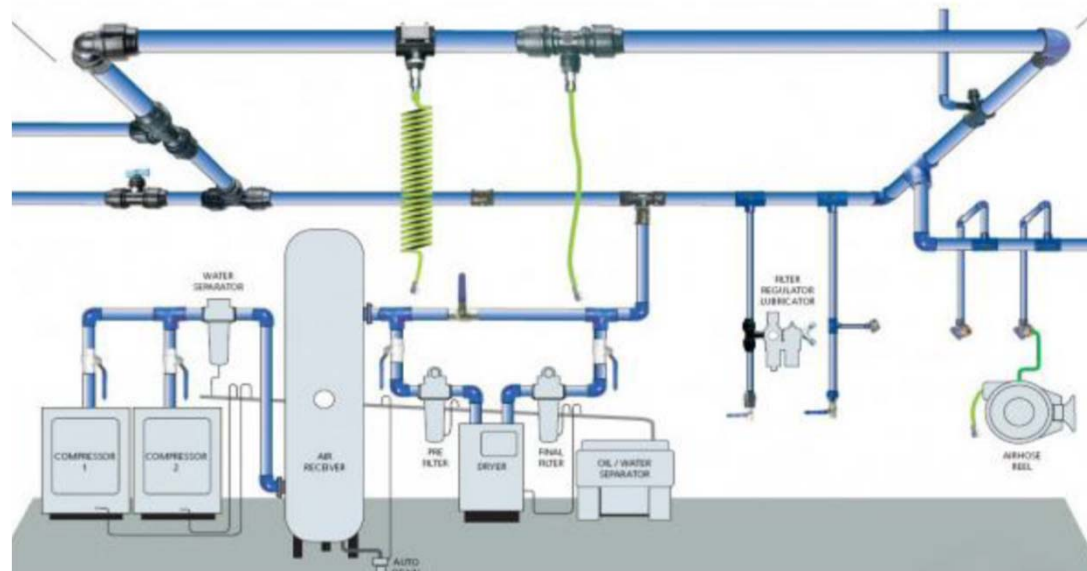
RED DE DISTRIBUCIÓN

El sistema de distribución consiste de una red de tuberías principales, ramales, válvulas y mangueras de aire. En muchos casos se emplean sistemas con las líneas principales en forma de anillo cerrado, y todas las líneas con pendiente hacia los puntos de drenaje.

El número de juntas y codos debe reducirse al máximo posible, de esta forma las pérdidas de la red serán menores.

La red de tuberías está formada por una tubería:

- ✓ PRINCIPAL
- ✓ SECUNDARIA
- ✓ SERVICIO



DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AC

AHORRO DE ENERGÍA POR LA RECUPERACIÓN DE CALOR

Como se explicó al principio, la energía que consume el compresor para generar aire comprimido se va en su mayoría como fuga de calor. Existen distintas maneras de recuperar esa fuga de calor, a saber:

CALEFACCIÓN POR AIRE CALIENTE: Un compresor de 7,5 KW produce durante su funcionamiento calor suficiente para calefaccionar una casa unifamiliar.

CALEFACCIÓN POR AGUA: Utilización de intercambiador de placas. Estos intercambiadores permiten calentar el agua hasta los 70°C

IEE

 **IRPHA**


**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**

**Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones**

Refrigeración

IEE

 **IRPHA**


**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**

**Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones**

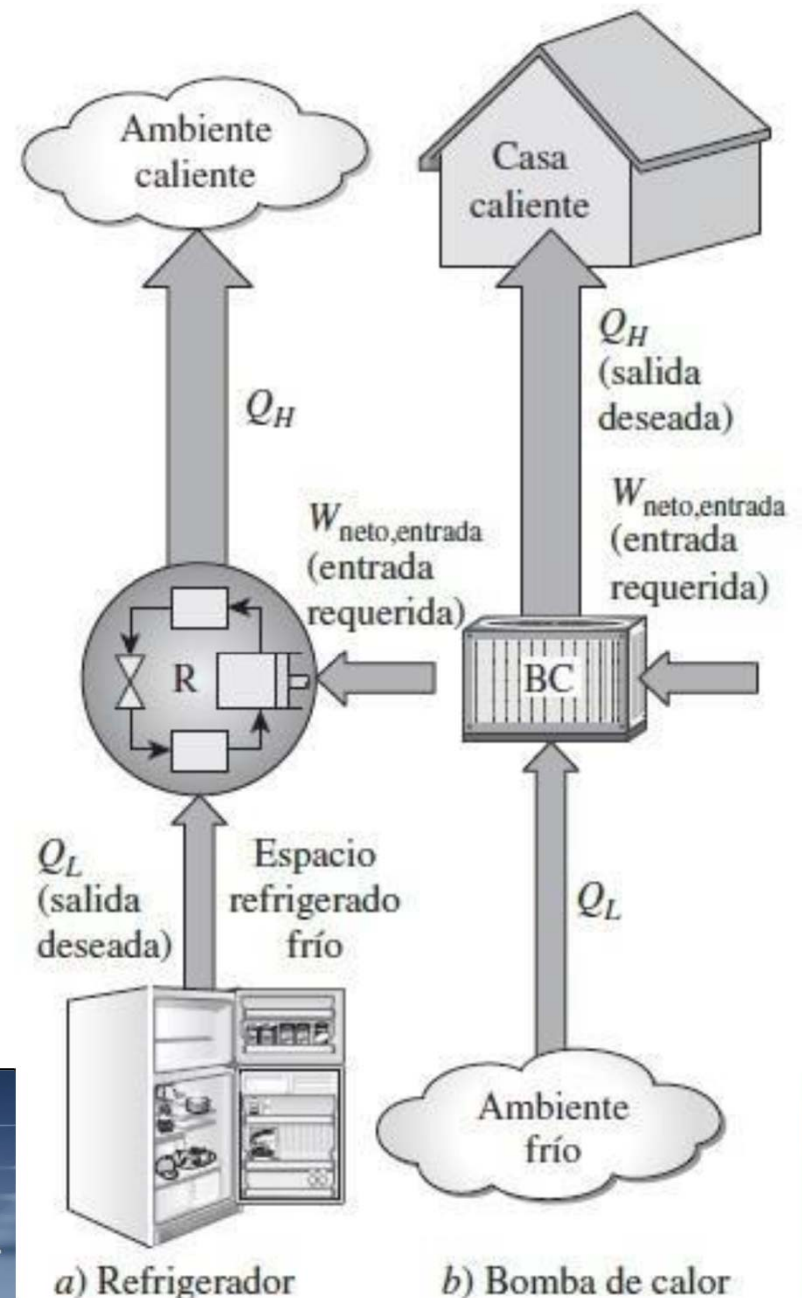
CICLO DE REFRIGERACIÓN

- ✓ Es la transferencia de calor de una región de temperatura inferior hacia una temperatura superior
- ✓ Los ciclos en los que operan se denominan ciclos de refrigeración
- ✓ El ciclo de refrigeración que se utiliza con más frecuencia es compresión de vapor, condensación, expansión y se condensa alternadamente, para luego comprimirse en la fase de vapor
- ✓ Los fluidos de trabajo utilizados en los ciclos de refrigeración se llaman refrigerantes

CICLO DE REFRIGERACIÓN

En la figura se muestra esquemáticamente

- ✓ Q_L es la magnitud del calor extraído del espacio refrigerado a la temperatura T_L
- ✓ Q_H es la magnitud del calor rechazado al espacio caliente a temperatura T_H
- ✓ W neto entrada, es la entrada neta de trabajo al refrigerador.



CICLO DE REFRIGERACIÓN

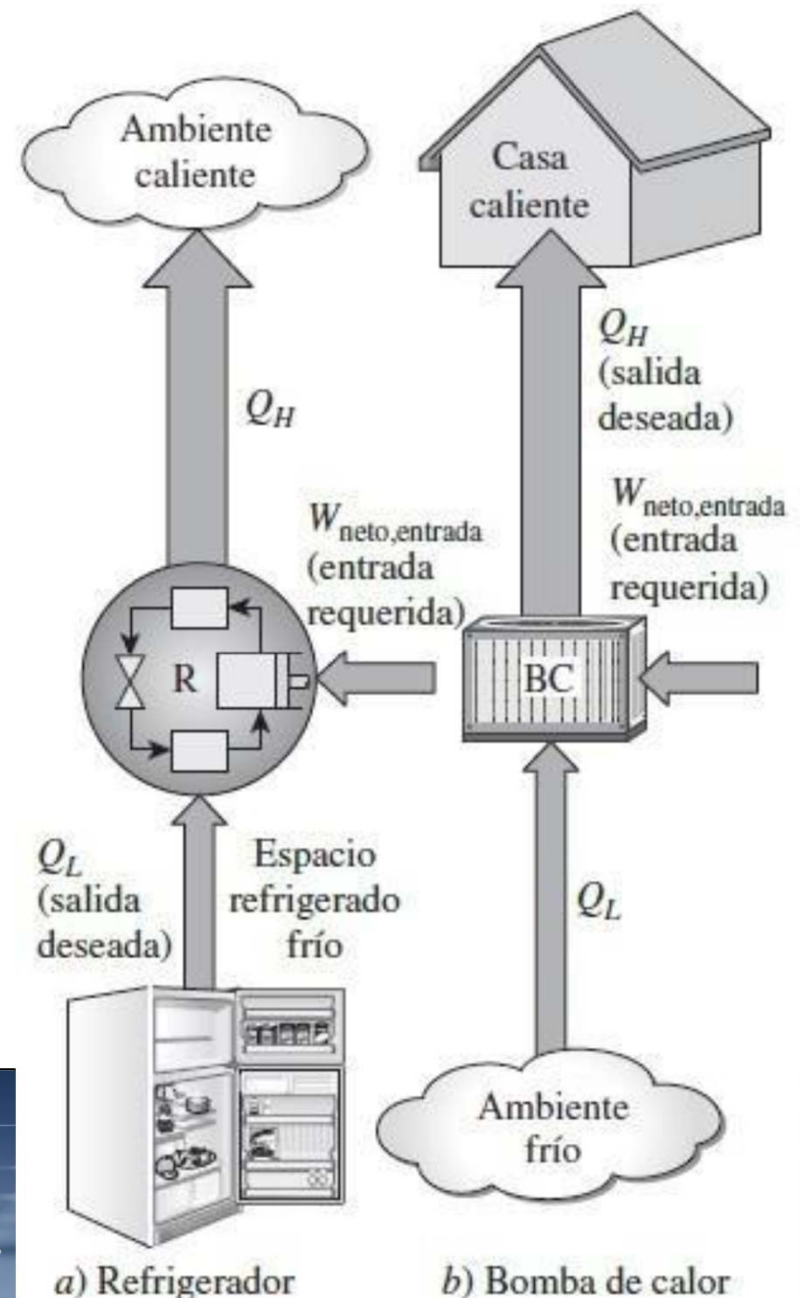
Performance

La performance de los refrigeradores y de las bombas de calor se expresa con el Coeficiente de Performance (COP), por sus siglas en inglés, definido como:

$$COP_R = \frac{\text{Efecto de Enfriamiento}}{\text{Trabajo}} = \frac{Q_L}{W_{\text{neto}}}$$

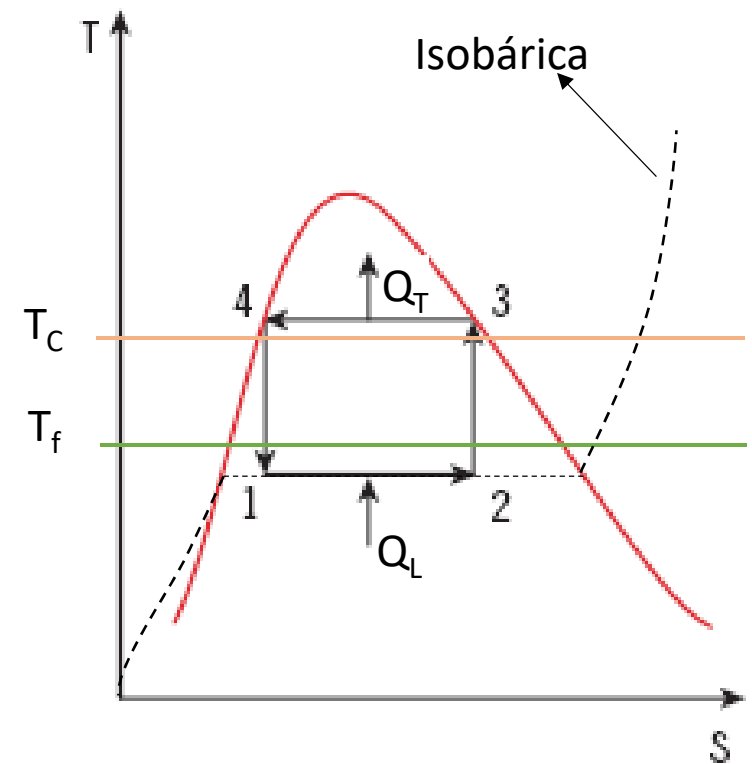
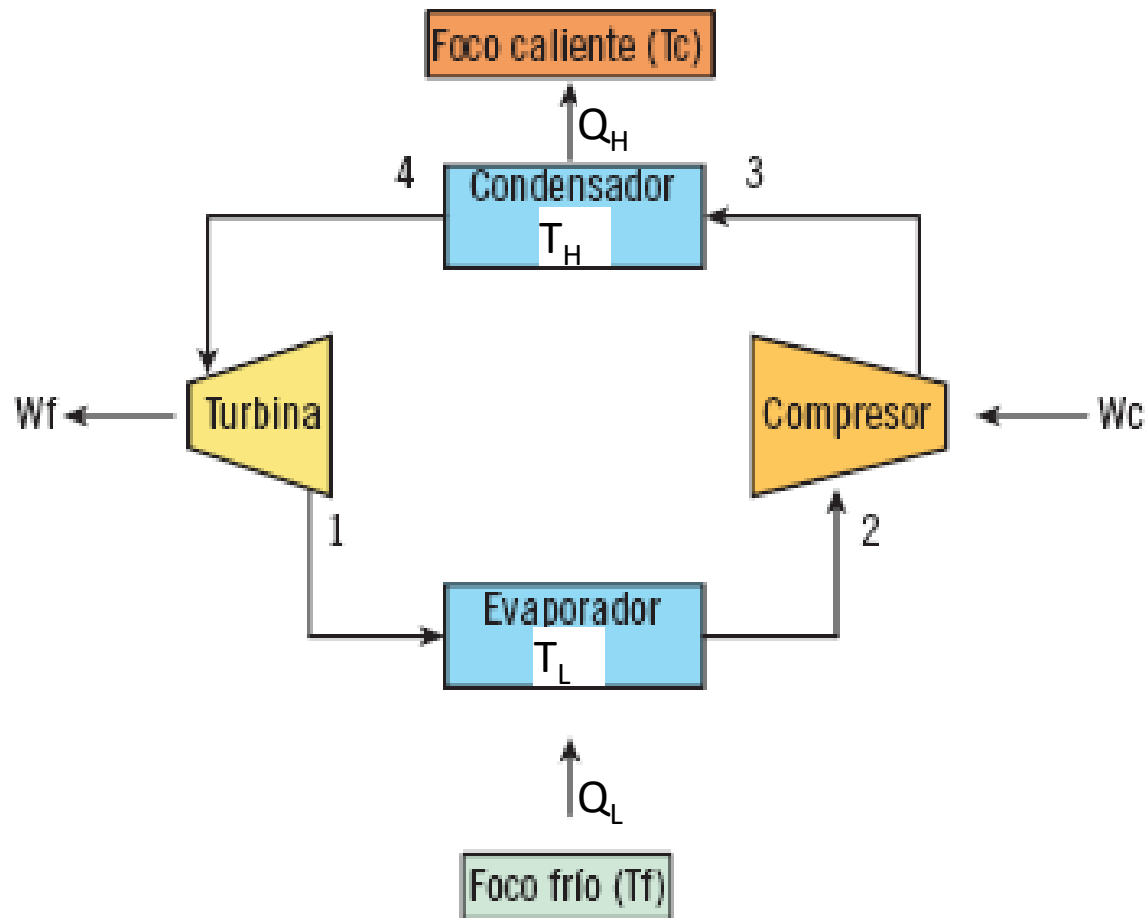
$$COP_{BC} = \frac{\text{Efecto de Calentamiento}}{\text{Trabajo}} = \frac{Q_H}{W_{\text{neto}}}$$

COP_R y COP_{BC} pueden ser >1



CICLO DE REFRIGERACIÓN

CICLO INVERTIDO DE CARNOT- 1824



CICLO DE REFRIGERACIÓN

Performance

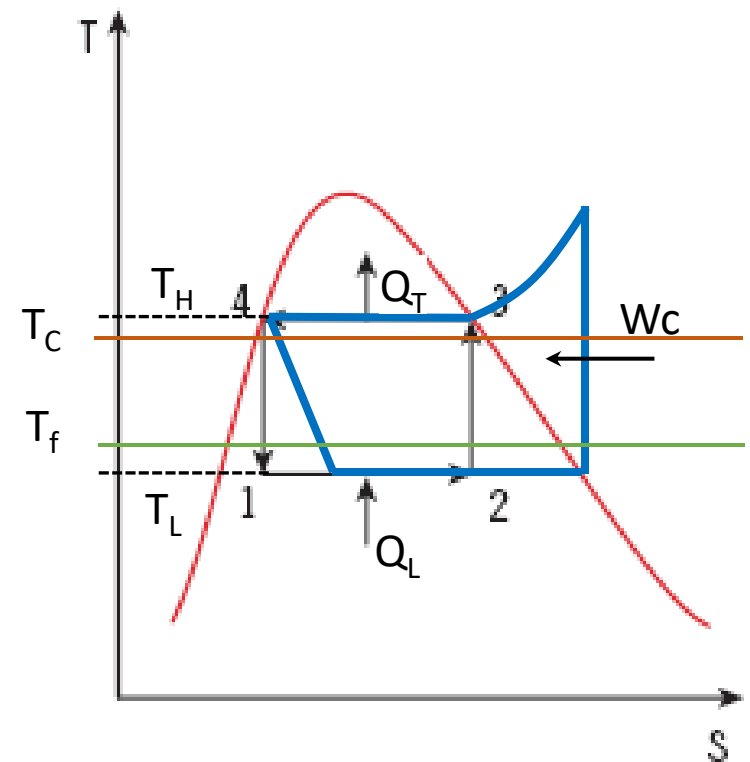
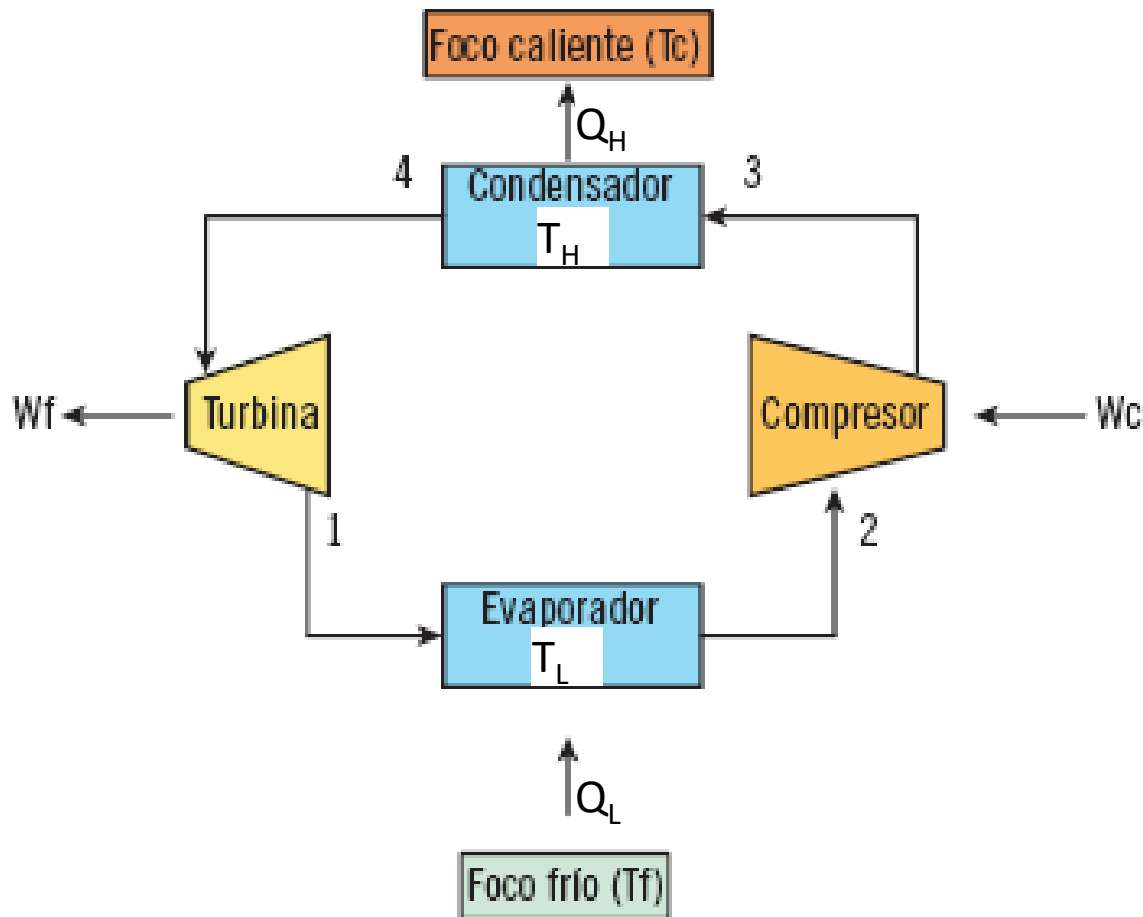
Los coeficientes de desempeño de los refrigeradores y bombas de calor de Carnot se expresan en términos de temperatura como:

$$COP_R = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = \frac{1}{\frac{T_H - T_L}{T_L}} \qquad COP_{BC} = \frac{1}{1 - \frac{T_H}{T_L}} = \frac{1}{T_L - \frac{T_H}{T_L}}$$

Los COP aumentan cuando la diferencia entre ambas temperaturas decrece, esto es, cuando T_L se eleva o T_H baja. El ciclo invertido de Carnot es el ciclo de refrigeración más eficiente que opera entre dos niveles específicos de temperatura

CICLO DE REFRIGERACIÓN

CICLO INVERTIDO DE CARNOT- 1824

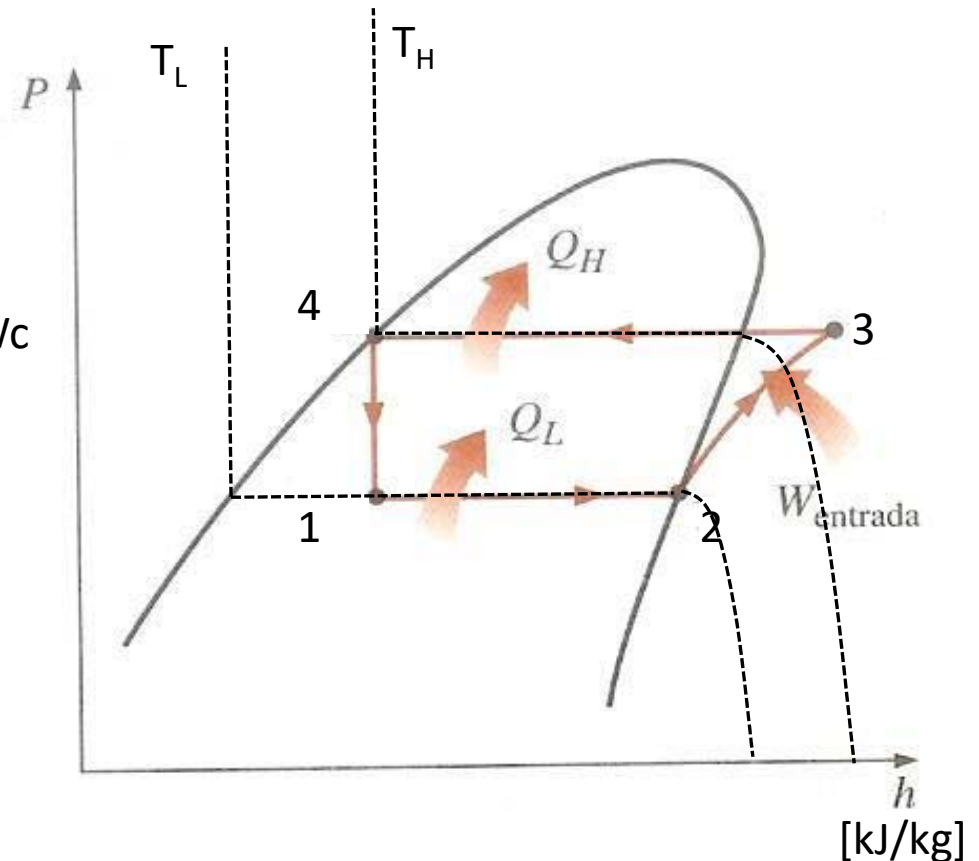
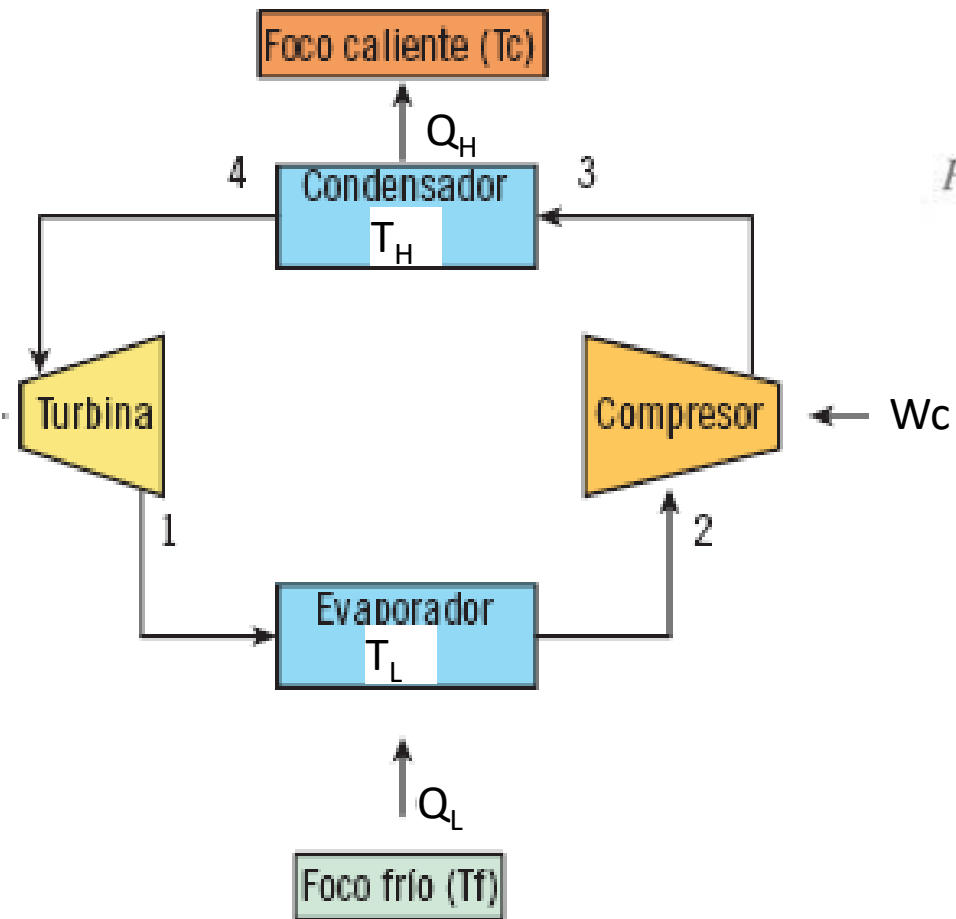


Aspectos imprácticos se eliminan: Evaporar el refrigerante por completo
sustituir la turbina con un dispositivo de estrangulamiento (válvula de expansión)

Ciclo ideal de refrigeración

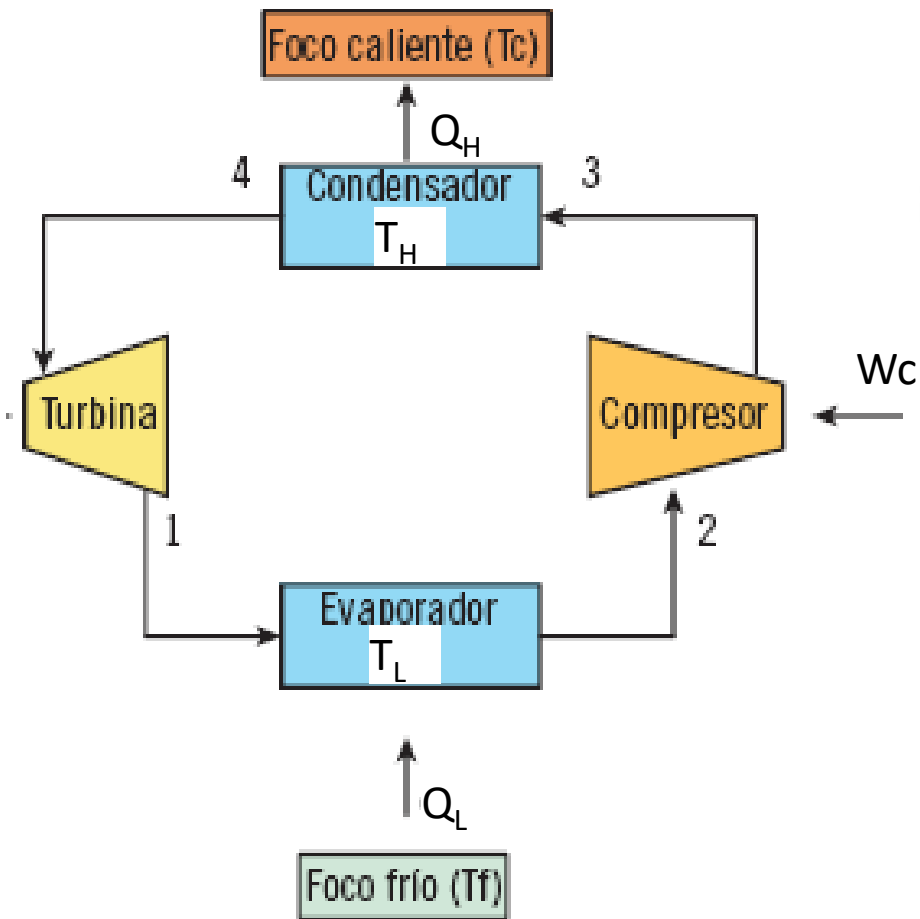
CICLO DE REFRIGERACIÓN

Diagrama de Molliere



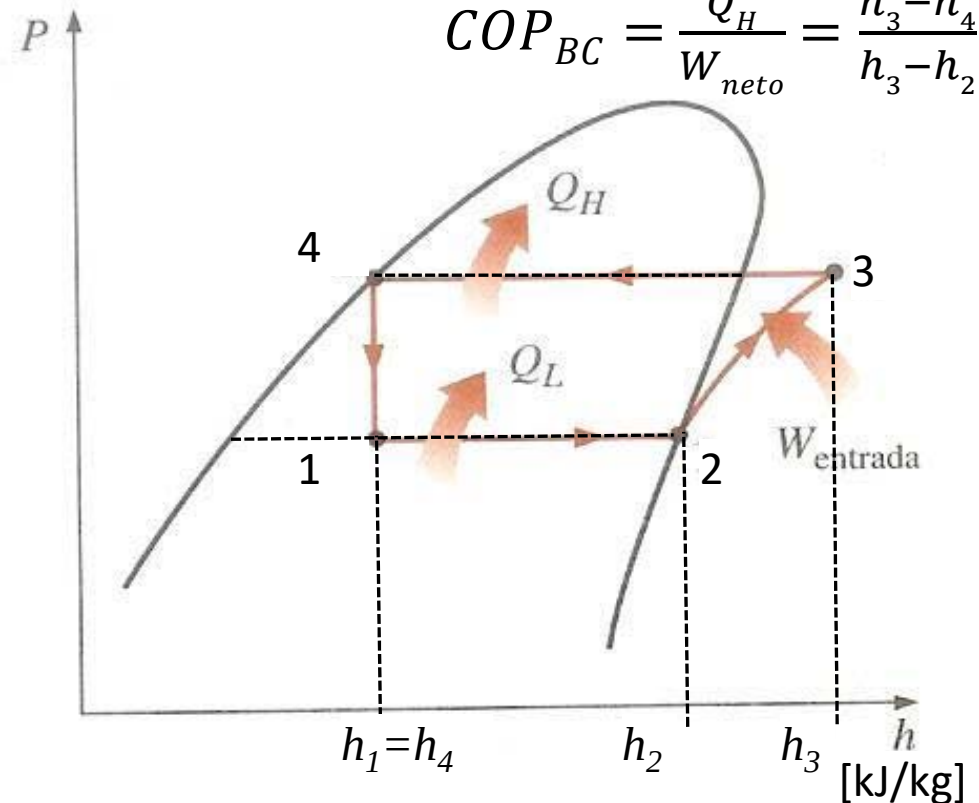
CICLO DE REFRIGERACIÓN

Diagrama de Molliere



$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{neto}} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_2}$$

$$COP_{BC} = \frac{Q_H}{W_{neto}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_2}$$



SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE

CARACTERÍSTICAS DEL REFRIGERANTE

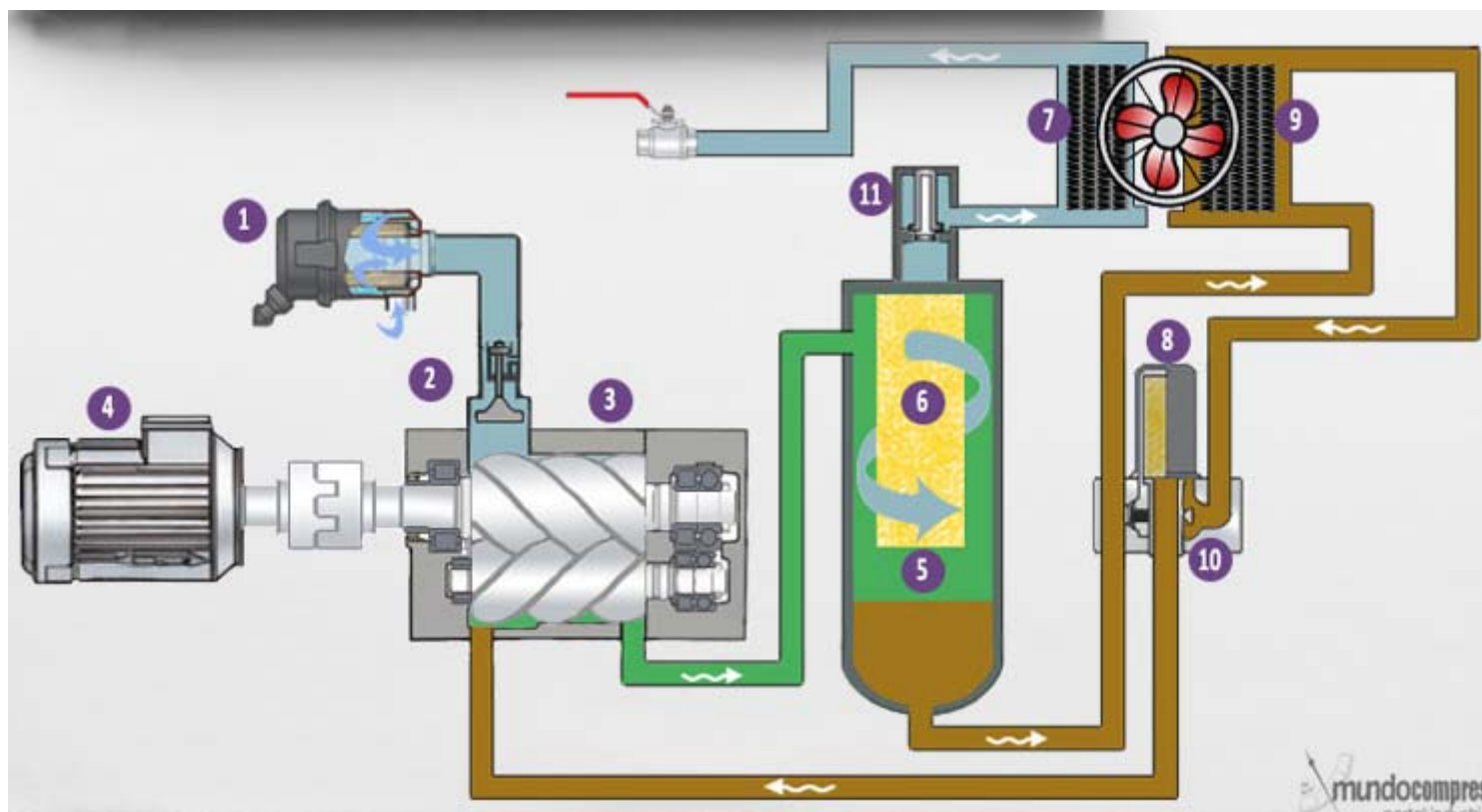
Los parámetros importantes para la selección del refrigerante son las temperaturas del espacio refrigerado y del ambiente con los cuales el refrigerante intercambia calor.

Debe mantenerse una diferencia de temperatura de 5 a 10 °C entre el refrigerante y el medio con que intercambia calor.

Por ejemplo, si un espacio refrigerado va a mantenerse a -10 °C, la temperatura del refrigerante debe mantenerse cercana a -20 °C mientras absorbe calor en el evaporador.

PARTES DEL SISTEMA DE REF.

COMPRESIÓN MEDIANTE TORNILLOS - FUNCIONAMIENTO



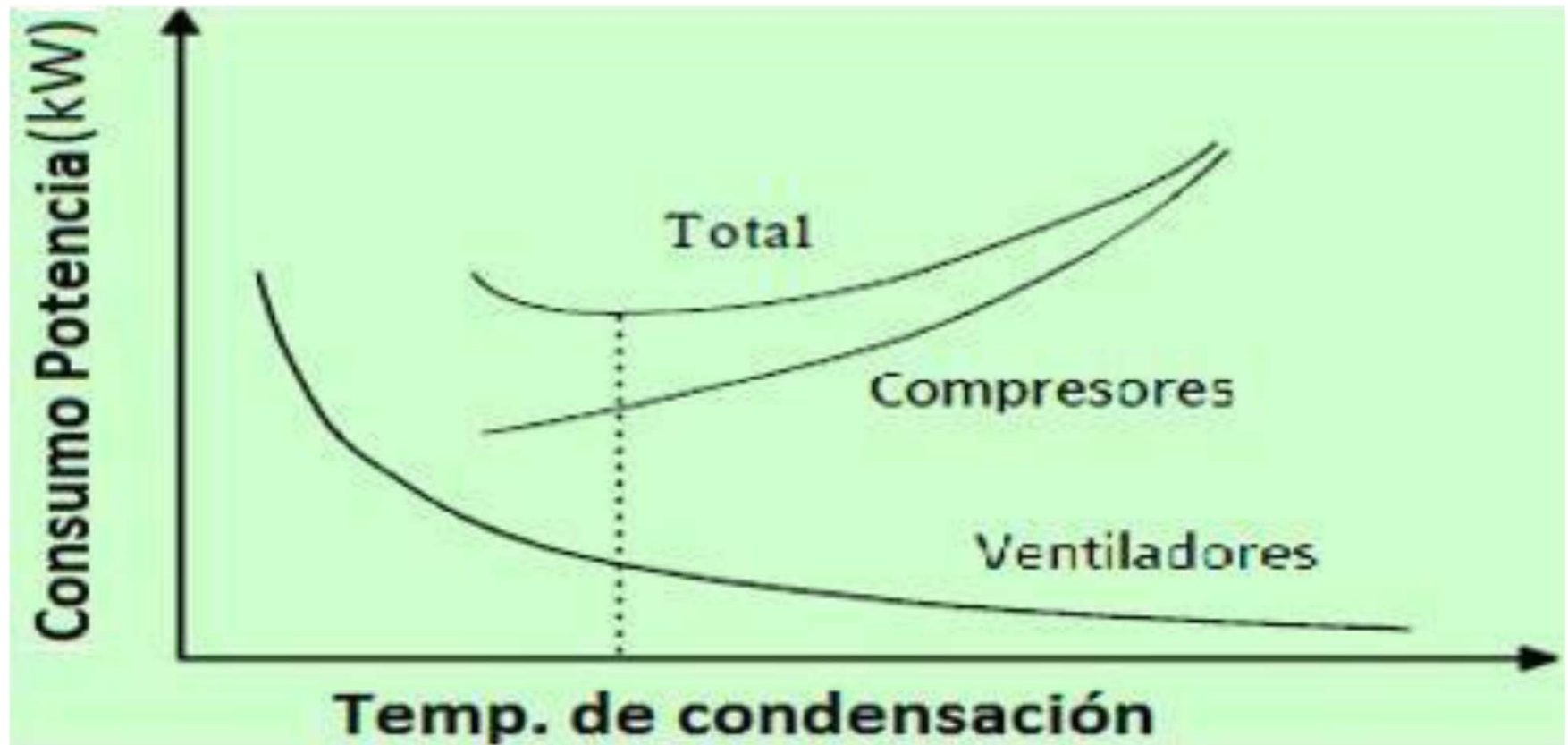
PARTES DEL SISTEMA DE REF.

COMPRESIÓN MEDIANTE TORNILLOS - FUNCIONAMIENTO



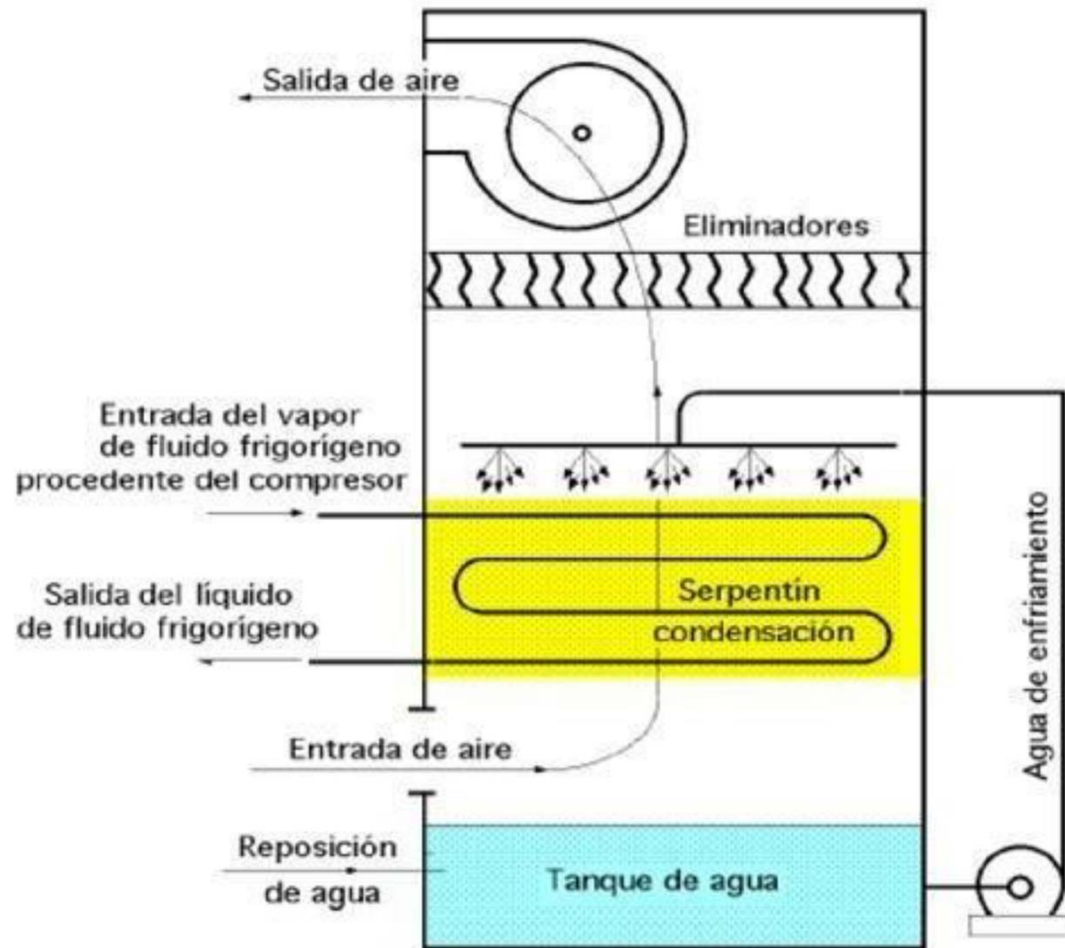
PARTES DEL SISTEMA DE REF.

VELOCIDAD ÓPTIMA DEL COMPRESOR Y DEL VENTILADOR CONDENSADOR



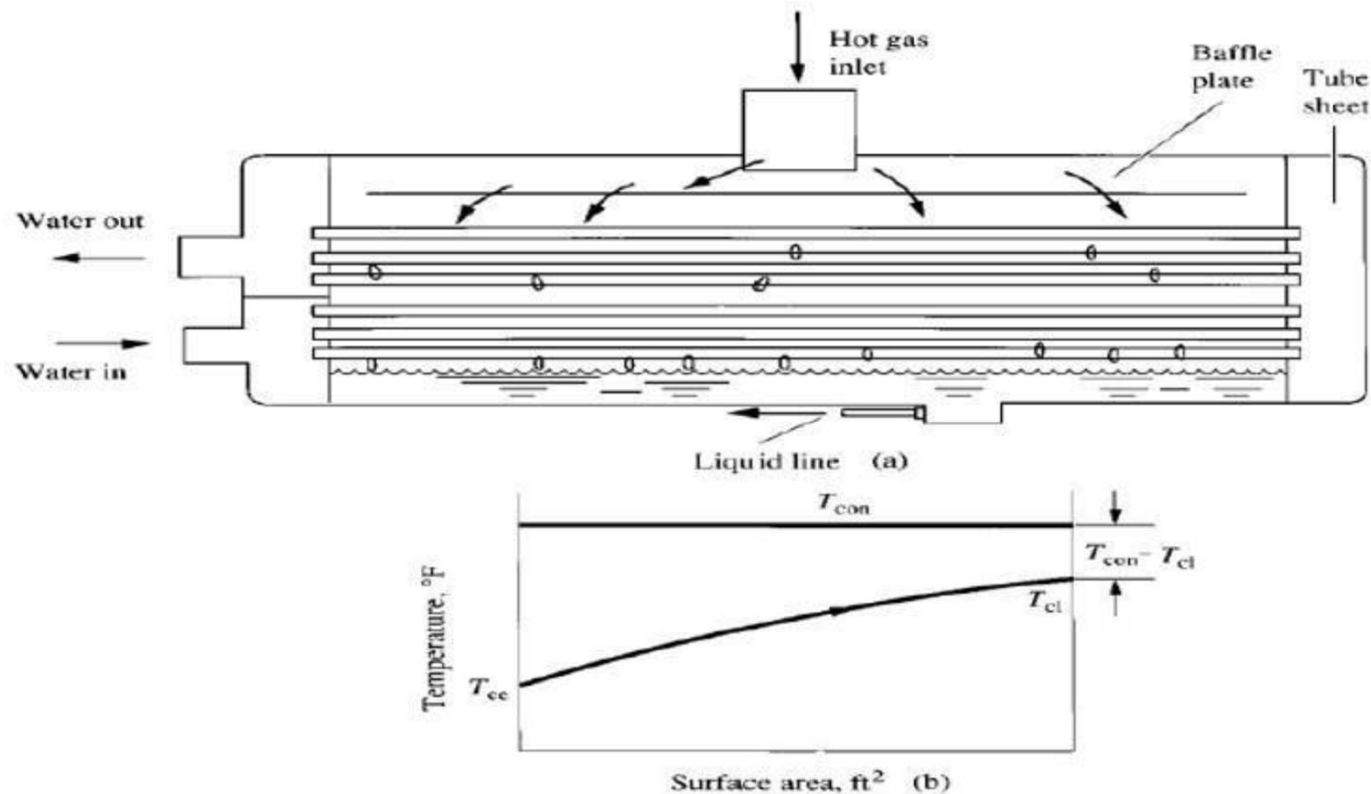
PARTES DEL SISTEMA DE REF.

CONDENSADOR EVAPORATIVO



PARTES DEL SISTEMA DE REF.

CONDENSADOR CASCO Y TUBO

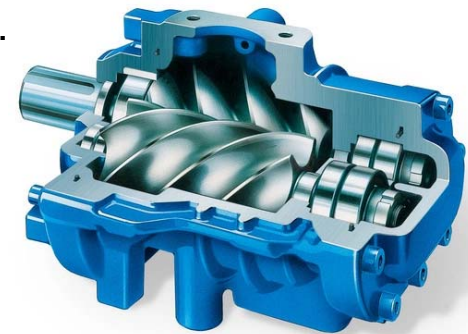


Shell-and-tube condenser with two-pass water flow arrangement: (a) schematic diagram; (b) heat transfer.

BUENAS PRÁCTICAS EN REF. INDUSTRIAL

COMPRESOR

- Optimizar las presiones reduciendo las diferencias entre las presiones de succión y condensación.
- Evaluar instalar variador de frecuencia así el compresor opera según capacidad demandada.
- Control multi-etapas, es decir instalar compresores en cascada.
- Utilizar compresores de tornillo.
- Aplicar protocolos de mantenimiento.
- Optimizar el funcionamiento del enfriador de aceite.
- Minimizar el arrastre de aceite utilizando aceites semi sintéticos o sintéticos.



BUENAS PRÁCTICAS EN REF. INDUSTRIAL

CONDENSADOR

- Uso de Condensadores Evaporativos de aire inducido frente a los presurizados
- Correcto dimensionamiento de intercambiadores de calor (en lo posible sobredimensionar)
- Minimizando la temperatura de condensación
- Control de marcha y velocidad de ventiladores
- Tratar incrustación en los tubos intercambiadores
- Asegurar buen movimiento de aire en los ventiladores de la torre



BUENAS PRÁCTICAS EN REF. INDUSTRIAL

EVAPORADOR

- Utilizar un sistema de descongelamiento automático según capacidad real
- Aplicar protocolo de mantenimiento y operativo drenando el aceite con frecuencia.
- Control de velocidad de los ventiladores y que sean inducidos. (Aspirados)
- A mayor temperatura de evaporación menor consumo de energía.
- Un aumento de 1°C, podría significar ahorros que van entre un 1% y un 4%.



BUENAS PRÁCTICAS EN REF. INDUSTRIAL

CAÑERÍAS

- Tener un adecuado diseño de tuberías con el fin de reducir las pérdidas por fricción.
- Evitar sifonados obstructivos.
- Tener un adecuado aislamiento térmico en todas las tuberías
- Correcto dimensionamiento de cañerías de distribución

IEE

 **IRPHA**


**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**

**Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones**

SISTEMAS DE VAPOR

IEE

 **IRPHA**


CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones

INTRODUCCIÓN-PRINCIPIOS BÁSICOS

¿QUÉ ES EL VAPOR?

- El vapor es un estado en el cual se puede encontrar un fluido.
- A los fines de esta sección del curso, nos interesa el “AGUA” como fluido termodinámico.



INTRODUCCIÓN-PRINCIPIOS BÁSICOS

¿QUÉ ES EL VAPOR?

El agua puede estar en tres estados:

- Sólido
- Líquido
- Vapor (gas)
- Centraremos la atención en las fases líquido/vapor y en el cambio de una a la otra.



INTRODUCCIÓN-PRINCIPIOS BÁSICOS

¿CÓMO SE OBTIENE EL VAPOR?

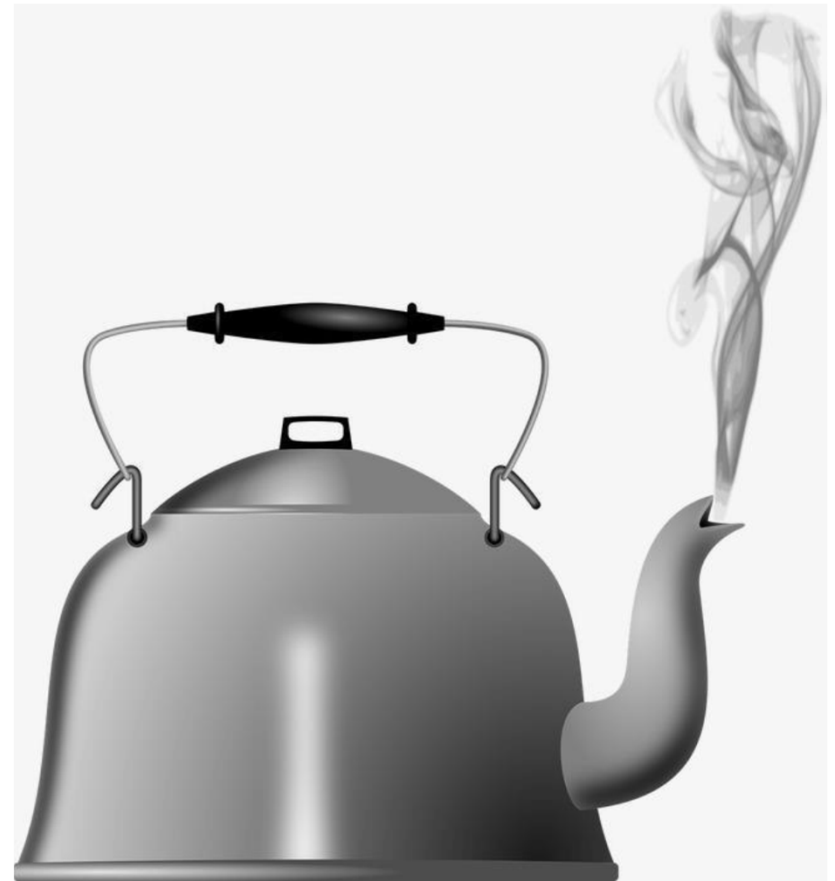
Añadir calor al agua (estado líquido), su temperatura aumenta hasta la **temperatura de saturación**.

Un aporte de **energía adicional**, hará que el agua se convierta en **vapor (húmedo)**.

Agua vapor tienen la misma **temperatura**

Cuando el agua líquida se transforma totalmente en vapor, se obtiene **vapor saturado**

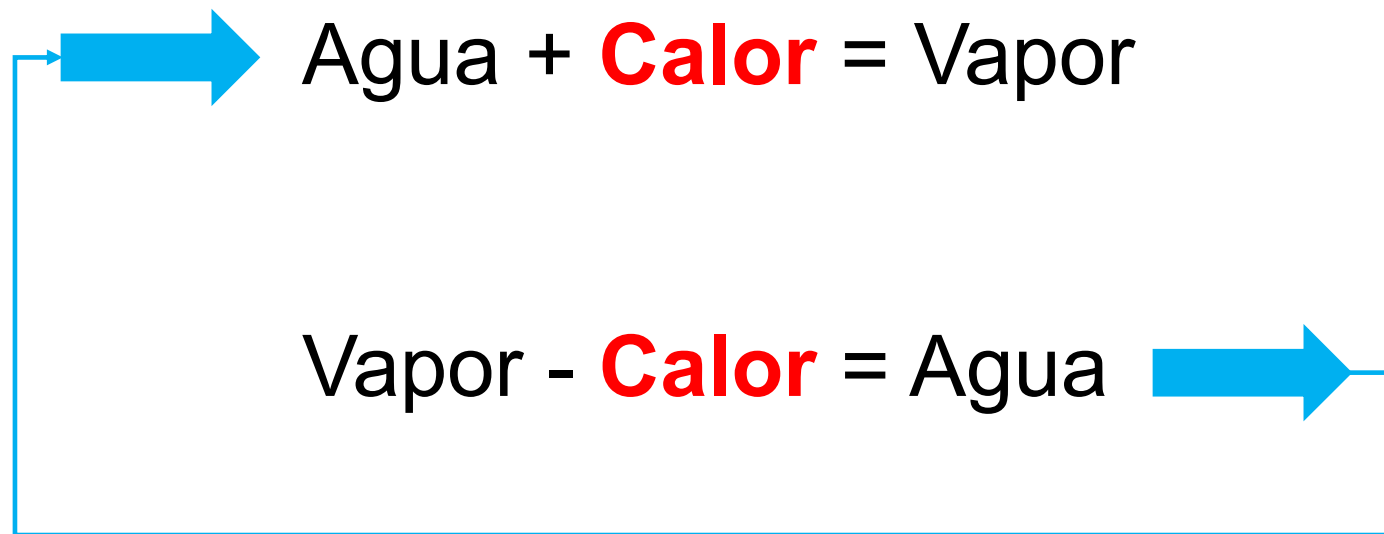
Energía adicional, hará que el vapor saturado se sobrecaliente y su temperatura aumente.



INTRODUCCIÓN-PRINCIPIOS BÁSICOS

¿PARA QUÉ SE USA EL VAPOR?

Después de utilizarse como fuerza motriz, se descubrió que el vapor también era muy eficaz como medio de transferencia de energía calorífica

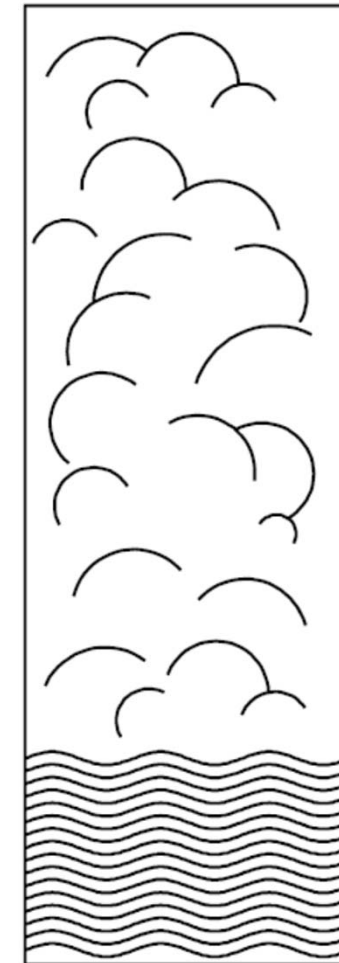


El vapor es un transportador de energía

INTRODUCCIÓN-PRINCIPIOS BÁSICOS

TABLAS ENERGÉTICAS DEL VAPOR

Presión manométrica (bar)	Presión absoluta bar	Temp. °C	<u>ENTALPIA ESPECIFICA</u>			Volumen específico m ³ / kg
			Agua kJ / kg	Evaporación kJ / kg	Total kJ / kg	
0	1	100	419	2257	2676	1.673
1	2	120.42	506	2201	2707	0.881
2	3	133.69	562	2163	2725	0.603
3	4	143.75	605	2133	2738	0.461
4	5	151.96	641	2108	2749	0.374
5	6	158.92	671	2086	2757	0.315
6	7	165.04	697	2066	2763	0.272
7	8	170.5	721	2048	2769	0.24



Entalpía de
evaporación
2 257,0 kJ

Entalpía
de vapor
saturado
2 676,0 kJ

Entalpía
de agua
saturada
419,9 kJ

INTRODUCCIÓN-PRINCIPIOS BÁSICOS

CALIDAD DEL VAPOR

✓ VAPOR SATURADO

- No contiene gotas de agua líquida.

✓ VAPOR HÚMEDO

- Contiene gotas de agua.
- Aumenta la erosión y reduce la transferencia de calor.

✓ VAPOR SOBRECALENTADO

- Temperatura por encima del vapor saturado.
- Se utiliza habitualmente para turbinas.

Es importante que el vapor utilizado para procesos sea lo más seco posible

IEE

 **IRPHA**


**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**

**Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones**

INTRODUCCIÓN-PRINCIPIOS BÁSICOS

¿POR QUÉ SE USA EL VAPOR?

✓ **ES CONTROLABLE**

- A cada presión le corresponde una temperatura, una energía específica, y un volumen específico.

✓ **TRANSPORTA GRANDES CANTIDADES DE ENERGÍA POR UNIDAD DE MASA**

- Menor superficie de intercambio en los procesos y menor cantidad de fluido usado.

✓ **PARA SU PRODUCCIÓN SE UTILIZA AGUA.**

- Abundante, barata y fácil de obtener.

IEE

 **IRPHA**


**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**

**Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones**

COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VAPOR

✓ **GENERACIÓN:**

- Se realiza generalmente en las calderas.

✓ **DISTRIBUCIÓN:**

- Es el movimiento del vapor en un sistema cerrado a su punto de consumo.

✓ **CONSUMO O CONDENSADOS:**

- Equipos o procesos donde se requiere la energía transportada por el vapor.

IEE

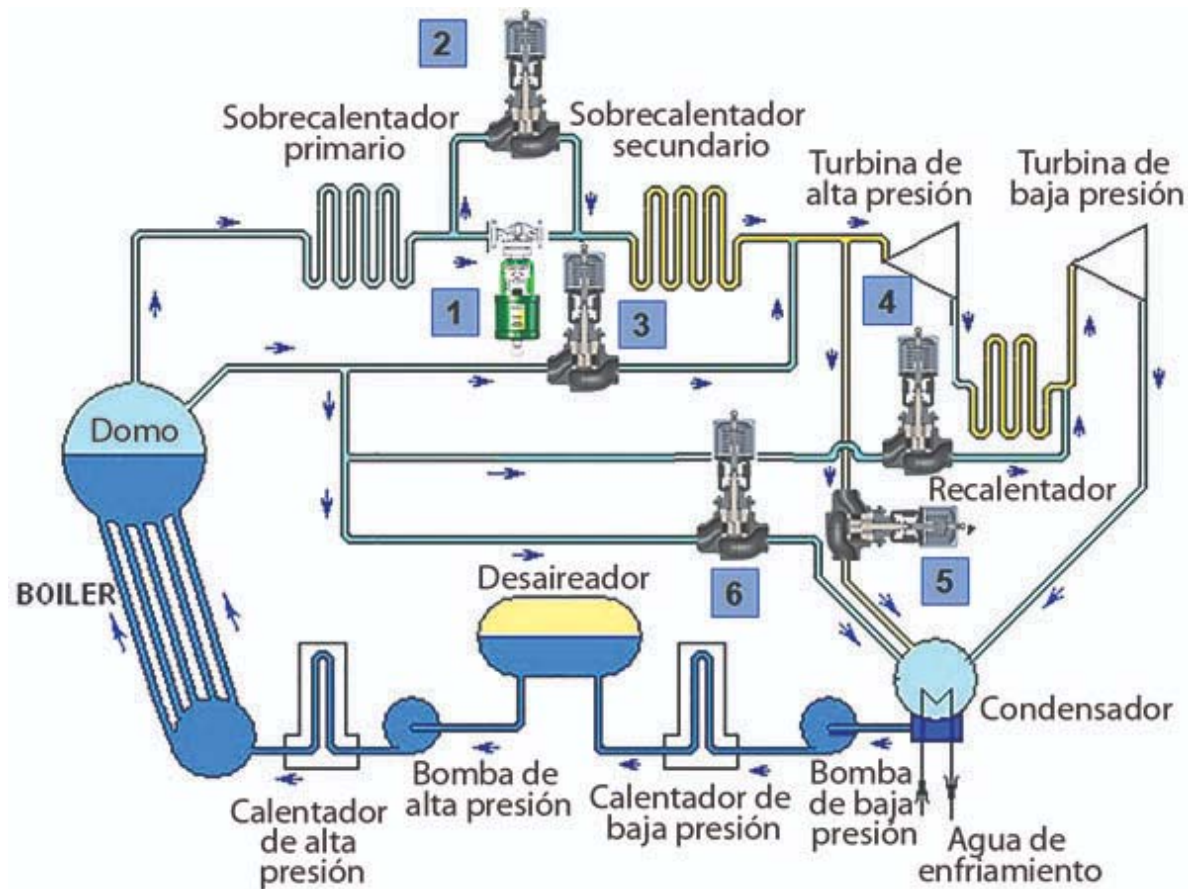
 **IRPHA**


**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**

**Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones**

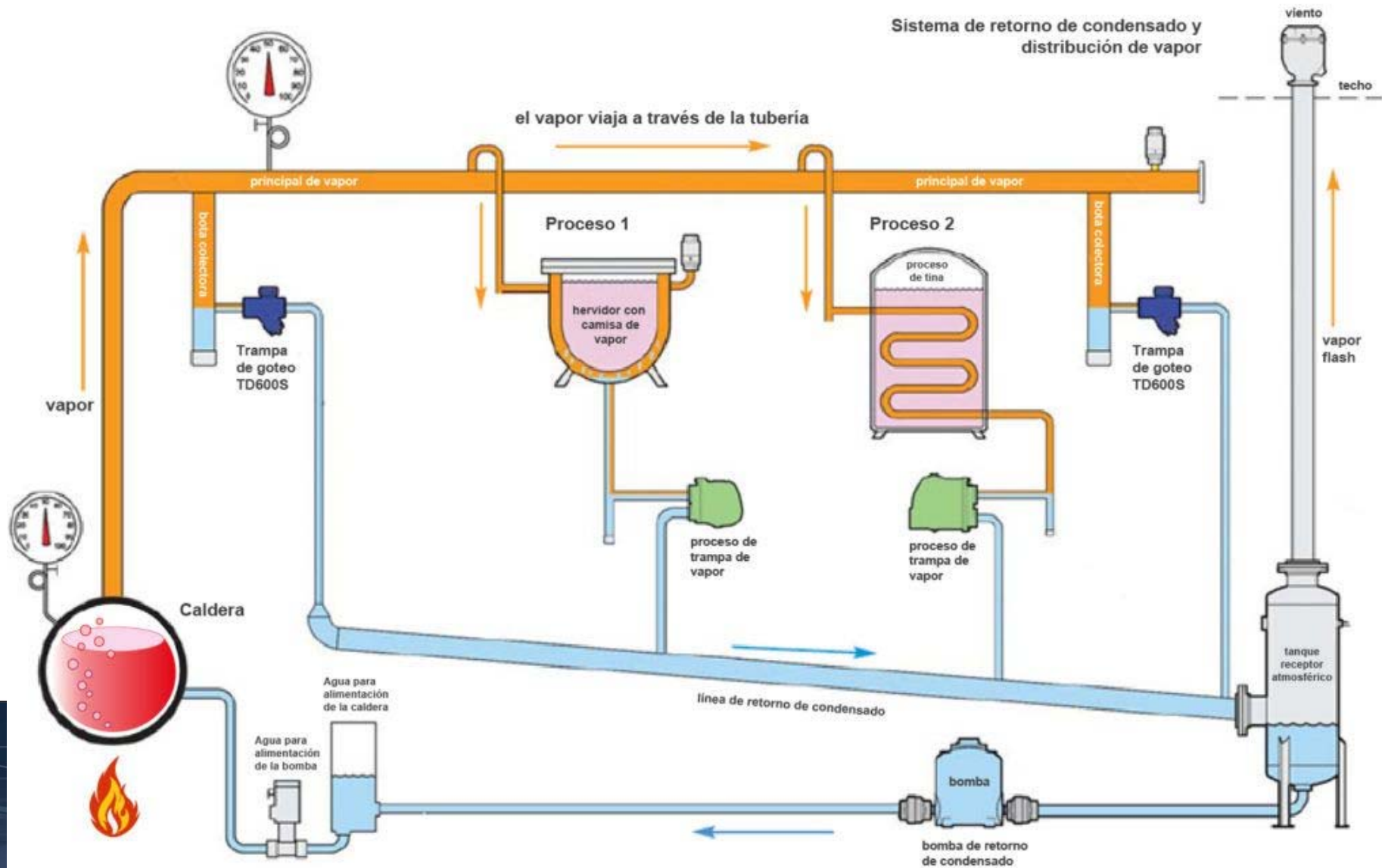
COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VAPOR

SISTEMA TÍPICO



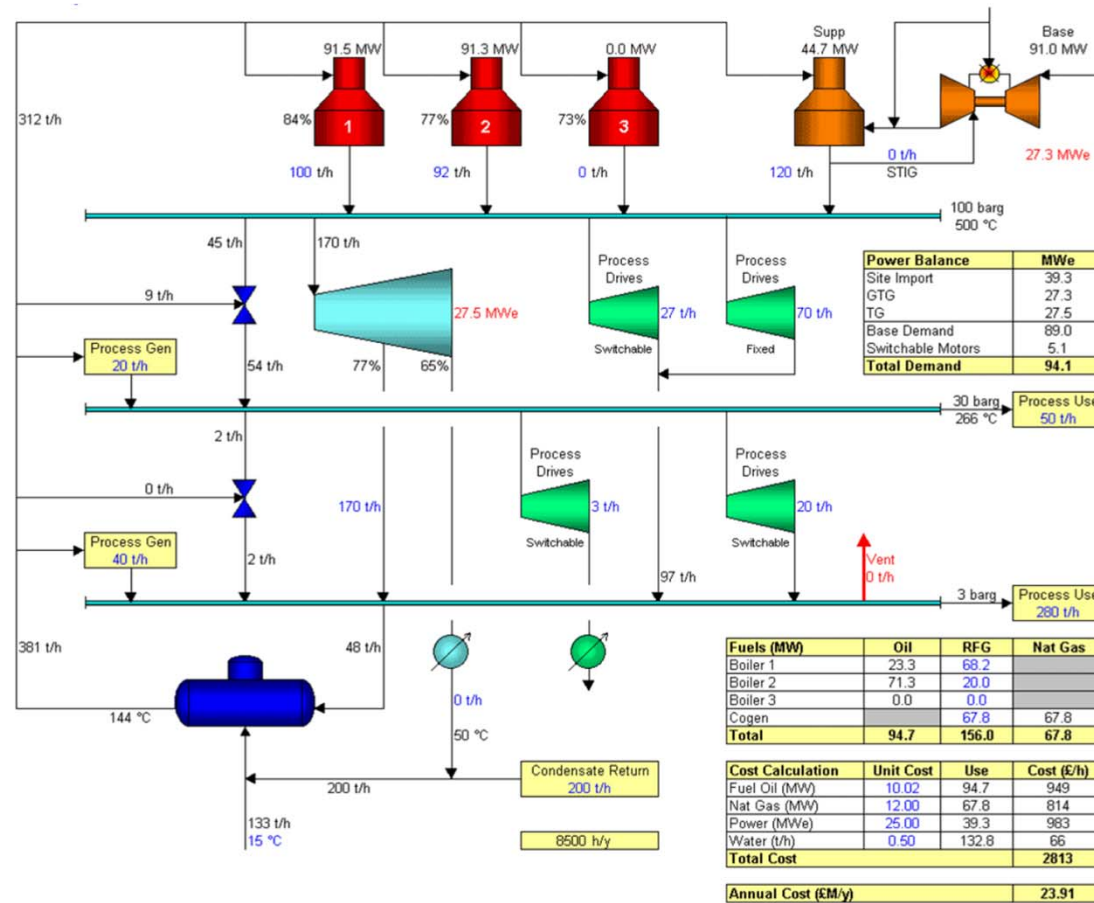
COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VAPOR

SISTEMA TÍPICO



COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VAPOR

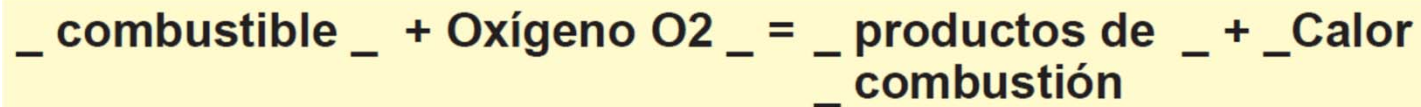
SISTEMA TÍPICO



GENERACIÓN DE VAPOR

QUEMADORES - COMBUSTION

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{\text{Calor contenido en el vapor}}{\text{Calor contenido en el combustible quemado}} \times 100$$



- ✓ **COMBUSTION COMPLETA:** Cantidad de oxígeno suficiente, la combustión del carbono es completa. Se aprovecha la mayor cantidad de calor del combustible.
- ✓ **COMBUSTION INCOMPLETA:** Si el oxígeno es insuficiente, el combustible no se quema totalmente. Se forma monóxido de carbono (CO) y la cantidad de calor que se aprovecha es mucho menor. Se manifiesta con gases oscuros en la chimenea. La eliminación del monóxido de carbono en el proceso de combustión es de vital importancia.

GENERACIÓN DE VAPOR

CALDERAS-CLASIFICACIONES

✓ Presión de trabajo

- Calderas de Baja Presión (hasta 4 o 5 kg/cm²)
- Calderas de Media Presión (hasta 20 kg/cm²)
- Calderas de Alta Presión (de 20 kg/cm² a presiones cercanas a la crítica)
- Calderas Supercríticas

✓ Disposición Agua-Gases

- Humotubulares
- Acuotubulares.

IEE

 **IRPHA**


CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

**Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones**

GENERACIÓN DE VAPOR

CALDERAS-CLASIFICACIONES

✓ Cantidad de vapor producido

- Chicas (hasta 1 o 2 t/h)
- Medianas (hasta 20 t/h)
- Grandes (desde 20 t/h hasta 500 – 600 t/h - acuotubulares)

✓ Según el tipo de Combustible utilizado

- Líquidos (viscosidades entre 380-450 cSt)
- Gaseosos (pueden haber calderas duales)
- Sólidos (leñas, residuos, carbón, etc.).

GENERACIÓN DE VAPOR

CALDERAS-CLASIFICACIONES

✓ **Por la circulación de agua dentro de la caldera**

- Natural (diferencia de densidades – circuito cerrado)
- Asistida (circulación natural con ayuda de bombas – circuito cerrado)
- Calderas Forzada (impulsada con bombas – circuito abierto)

✓ **Intercambio de Calor Predominante**

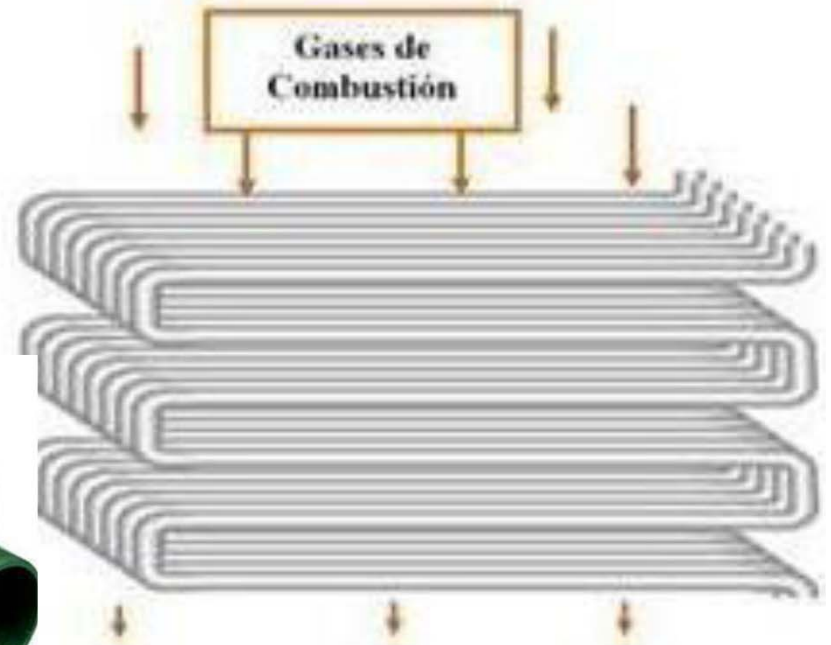
- Radiantes (convencionales – grandes calderas acuotubulares, donde el hogar es la mayor zona de intercambio calórico)
- Convectivas (HRSG – Recuperación de calor)
- Calentamiento Indirecto (calientan un fluido intermediario, ejemplo: aceites)

GENERACIÓN DE VAPOR

RECUPERACIÓN DE GASES CALIENTES

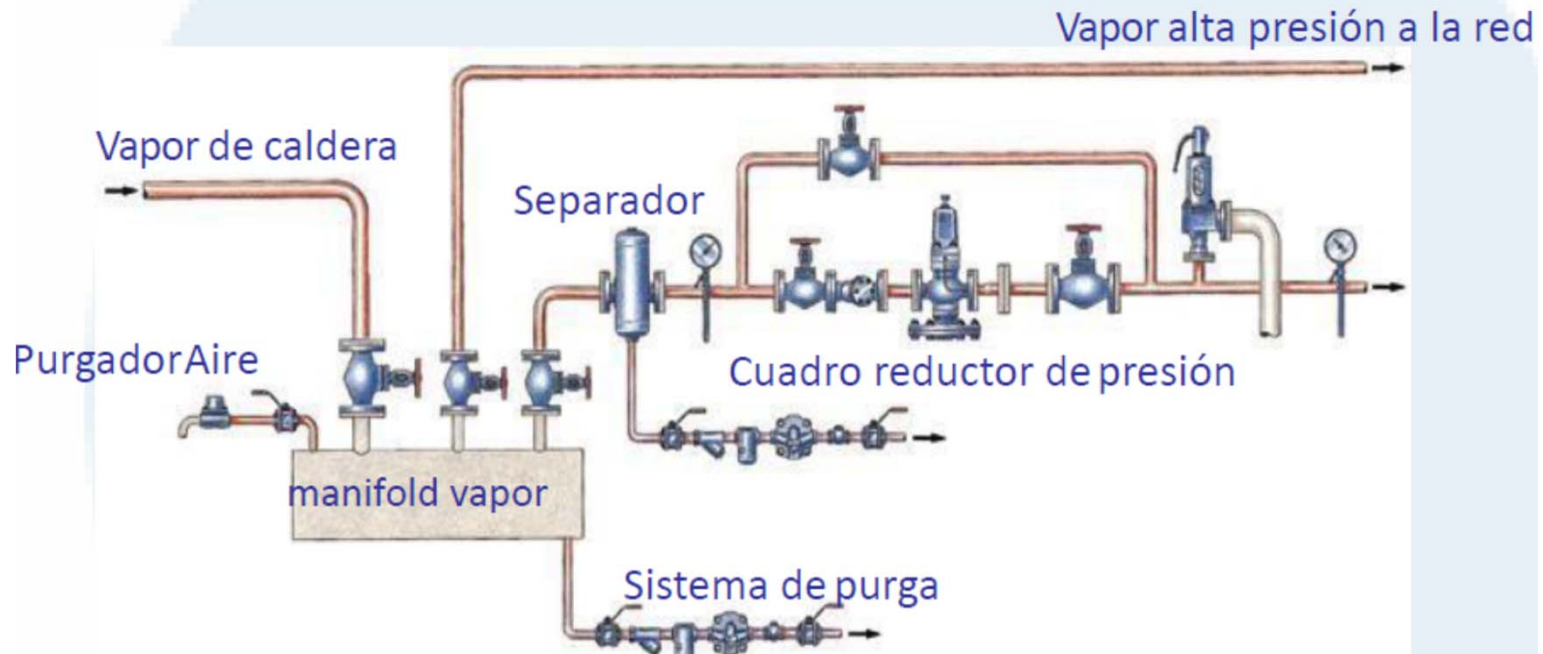
Son intercambiadores de calor que recuperan el calor residual de los gases de escape para calentar otra corriente

- En las calderas se incorporan con esta función: economizadores y precalentadores de aire.
- En hornos de procesos
- Equipo de intercambio en ductos



DISTRIBUCIÓN

DISTRIBUCIÓN DEL VAPOR EN REDES

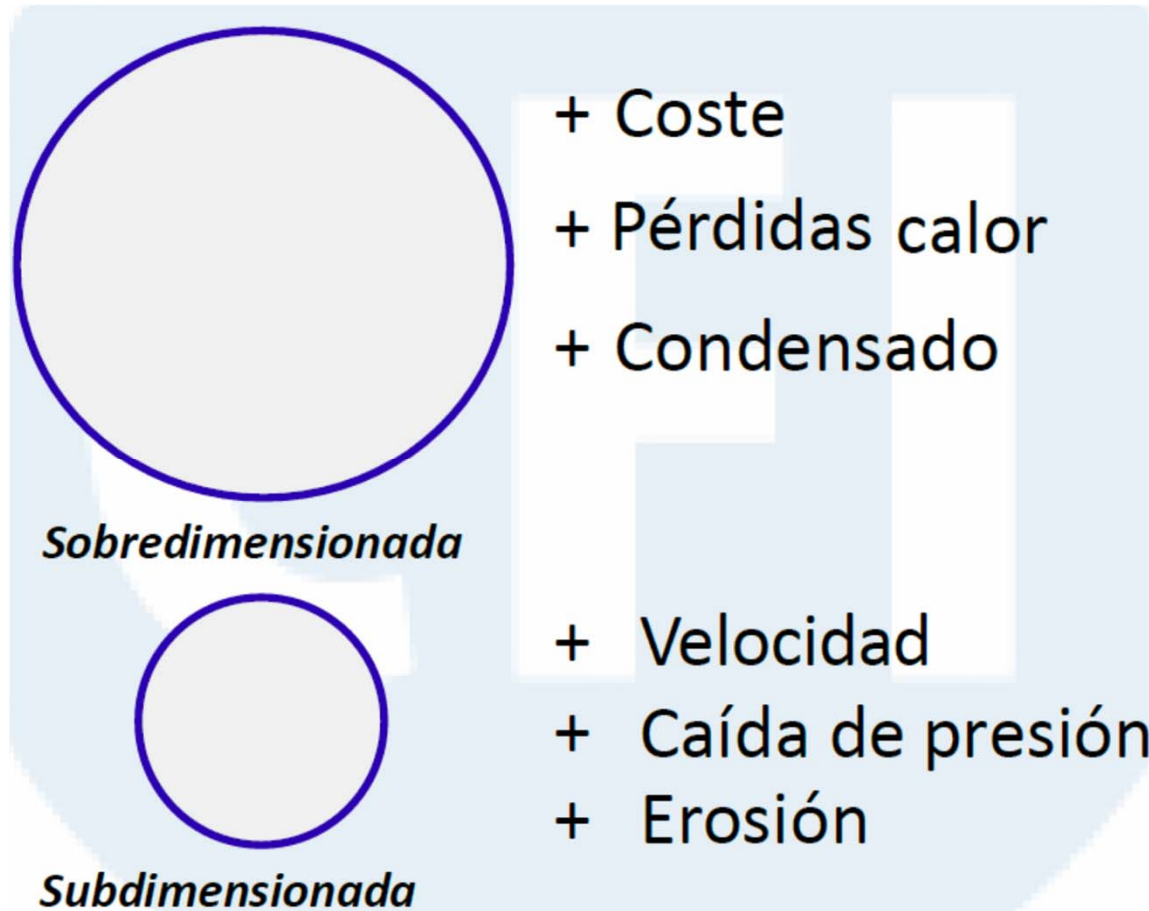


La distribución a alta presión tiene las siguientes ventajas:

- Tubería mas pequeña con menor pérdida de calor y costo de material
- La caldera tiene mayor rendimiento trabajando con presión alta

DISTRIBUCIÓN

DIMENSIONADO DE CAÑERÍAS



DISTRIBUCIÓN

¿CÓMO DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA CAÑERÍA?

Parámetros a tener en cuenta: Velocidad y Caída de presión

La velocidad del vapor no debe sobrepasar:

- En líneas principales 25 a 35 m/s
- En derivaciones 20 a 25 m/s.

La caída de presión no debe superar un determinado valor, para asegurar que el vapor llega a los puntos de consumo con la presión necesaria

IEE

 **IRPHA**


CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

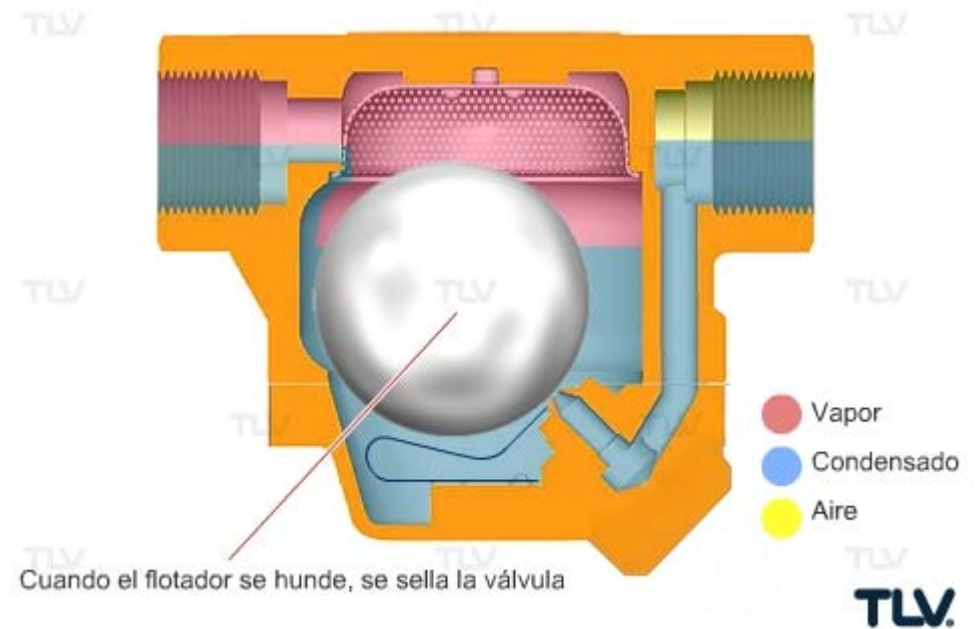
**Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones**

DISTRIBUCIÓN

¿Qué es una Trampa de Vapor?

Las trampas de vapor son un tipo de válvula automática que filtra el condensado (es decir vapor condensado) y gases no condensables como lo es el aire esto sin dejar escapar al vapor.

- GRUPO MECANICO
- GRUPO TERMODINAMICO
- GRUPO TERMOSTATICO

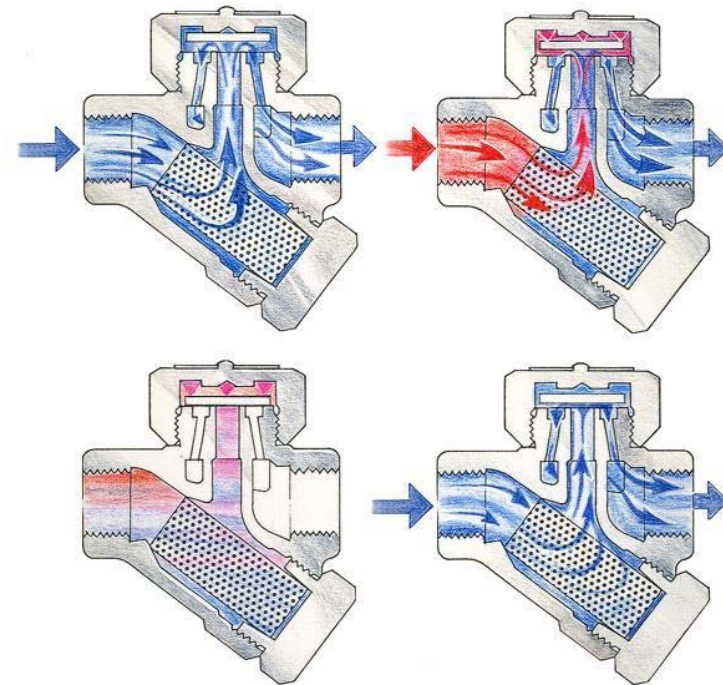


DISTRIBUCIÓN

¿Qué es una Trampa de Vapor?

Las trampas de vapor son un tipo de válvula automática que filtra el condensado (es decir vapor condensado) y gases no condensables como lo es el aire esto sin dejar escapar al vapor.

- GRUPO MECANICO
- **GRUPO TERMODINAMICO**
- GRUPO TERMOSTATICO

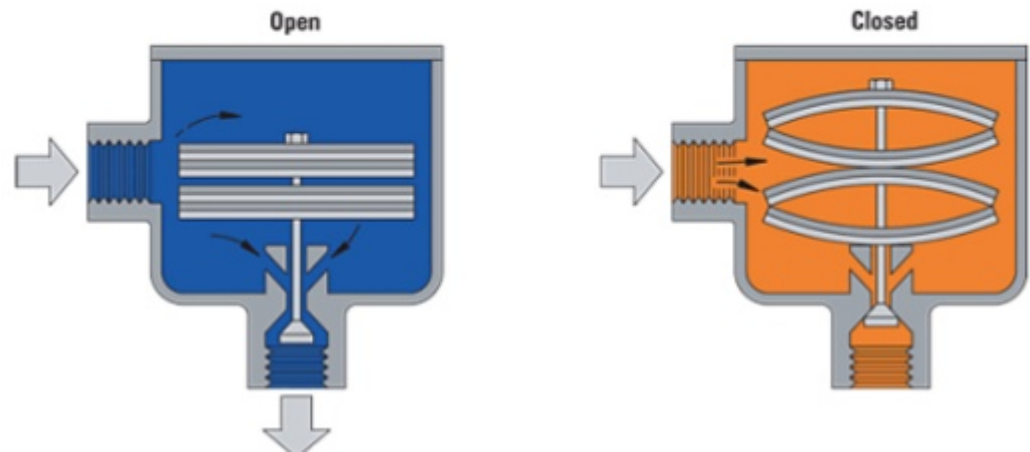


DISTRIBUCIÓN

¿Qué es una Trampa de Vapor?

Las trampas de vapor son un tipo de válvula automática que filtra el condensado (es decir vapor condensado) y gases no condensables como lo es el aire esto sin dejar escapar al vapor.

- GRUPO MECANICO.
 - GRUPO TERMODINAMICO.
 - **GRUPO TERMOSTATICO**
- Bimetálicas



COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VAPOR

INEFICIENCIAS DE UN SISTEMA DE VALOR

Ineficiencias	Generación	Distribución	Consumos
Estructurales	· Recuperación de calor en calderas · Blowdown · Precalentamiento de BFW · Calidad de BFW	· Utilización de vapor de mayor nivel · Sin recuperación de condensado · Selección e instalación de trampas de vapor	· Eficiencia de intercambiadores · Selección del tipo de reboiler · Regulación del vapor de calefacción
Mantenimiento	· Calderas · Aislaciones · Entradas parásitas de aire · Pérdidas	· Aislación de colectores y turbinas · Funcionamiento de trampas de vapor · Pérdidas	· Ensuciamiento de intercambiadores · Pérdidas en sistemas de calefacción
Operacionales	· Exceso de O2 · Blowdown · Venteos	· Turbinas auxiliares rotando · Laminaciones · Venteos	· Optimización de vapor de stripping · Regulación del vapor de calefacción · Exceso de vapor a antorchas

SISTEMAS DE VENTILACIÓN

IEE

 **IRPHA**


CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones

SISTEMAS DE VENTILACIÓN LOCALIZADA POR EXTRACCIÓN

Conjunto de elementos dispuestos convenientemente, con la finalidad de captar en su mismo punto de generación o emisión, los contaminantes químicos presentes en una actividad laboral.

Los sistemas VEL se utilizan conductos circulares, en lugar de conductos rectangulares debido a que:

- Producen menores pérdidas por fricción.
- No se requiere ocupar espacios reducidos como en el caso de los conductos rectangulares de aire acondicionado.
- Presentan mayor resistencia mecánica a la deformación
- Tienen una distribución de velocidades más uniforme en su sección
- Se logra transportar a las partículas en suspensión hasta el equipo de tratamiento, evitando que se depositen en los conductos

IEE

IRPHA

CFI
CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES

Módulo 7:
Sistemas e
Instalaciones

VELOCIDAD EN LOS CONDUCTOS

Las velocidades de transporte en los conductos no debe superar los 30 m/s, debido a que:

- Se incrementan las pérdidas de carga, aumentando la potencia requerida para la circulación del aire.
- Se incrementa la acción abrasiva de los polvos, que depende de sus características, aumentando el desgaste de conductos y accesorios, incrementando gastos de mantenimiento del sistema de ventilación.
- Se incrementa el ruido producido por el aire y los polvos que éste transporta.
- Se incrementan las vibraciones de los conductos, sujeción más costosa.
- En el caso de tratarse de gases o vapores, la velocidad de diseño es entre 5 y 10 m/s.

Velocidad alta, menor sección, mayores pérdidas en conductos, menores costos de instalación. **Viceversa con Velocidad baja.**

TÓPICOS A CONSIDERAR EN VENTILACIÓN

- Alturas de captación excesiva (La distancia de captación de partículas eleva el consumo de potencia.
- Obliga a manejar caudales mayores y por ende más potencia.
- La incorrecta elección de filtros por sus características y dimensiones son causantes de mayores perdidas
- La falta de limpieza de los filtros incremento en las perdidas
- Deben observarse los indicadores de presión diferenciales de los filtros evitando así alcanzar los valores máximos recomendados
- Hay que asegurarse que las curvas características del ventilador estén garantizadas por el fabricante y que el ventilador funciona en la zona óptima de rendimiento