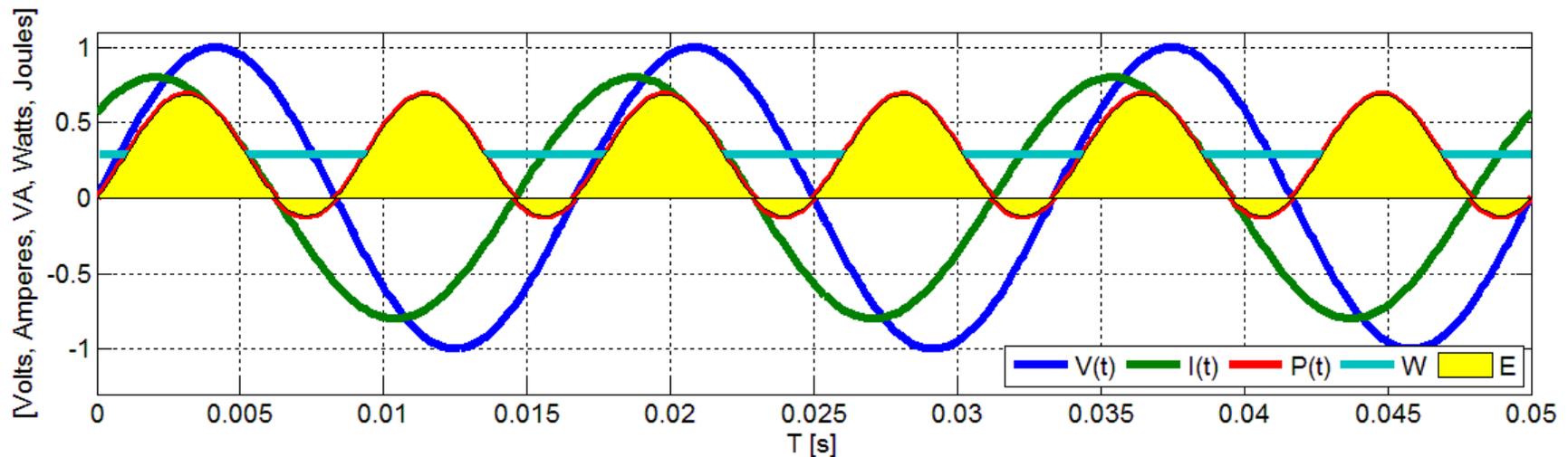


Circuitos Eléctricos de Corriente Alterna



Felipe González Montañez (fjgm@azc.uam.mx), 20-O

Departamento de Energía

Objetivo General

- Brindar conceptos y herramientas básicas para entender los fundamentos de los circuitos de corriente alterna en el dominio de la frecuencia.

Contenido

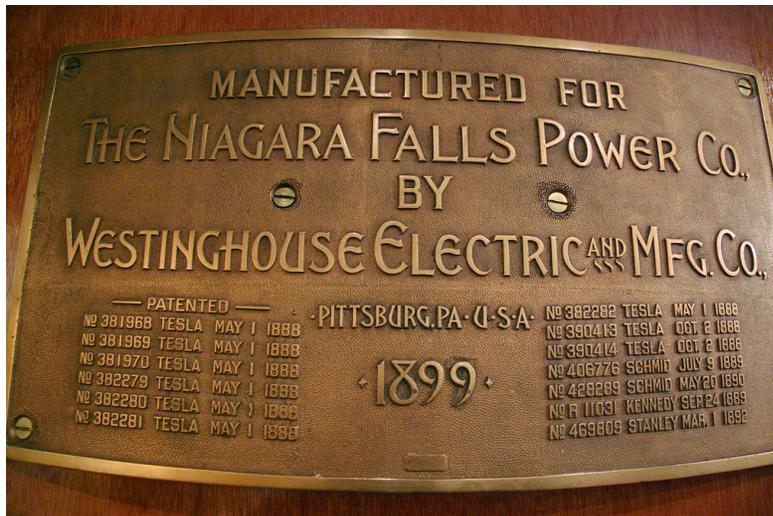
- Introducción
- Definición de variables eléctricas
- Corriente alterna senoidal monofásica
- Análisis de circuitos monofásico de CA en el dominio del tiempo
- Análisis de circuitos monofásico de CA en el dominio de la frecuencia
- Potencia compleja y corrección del factor de potencia
- Circuitos polifásicos
- Circuitos acoplados y transformadores

¿Por qué estudiar la teoría de circuitos eléctricos?

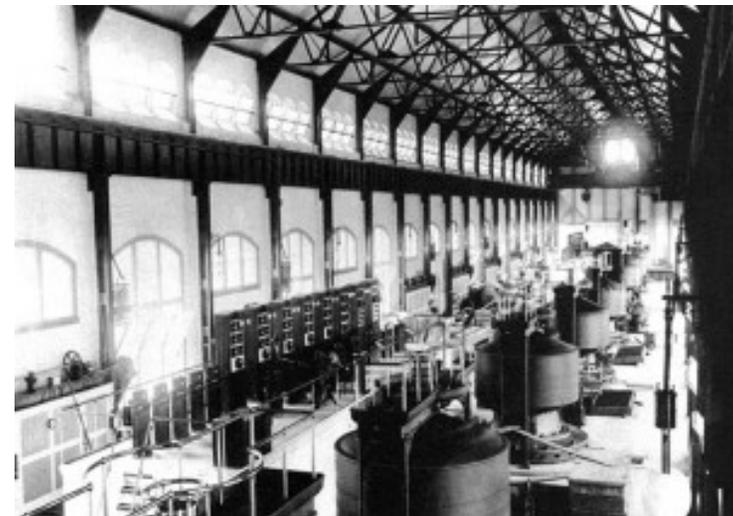
¿Por qué estudiar circuitos eléctricos de corriente alterna?

Introducción

El primer generador de corriente alterna fue instalado por The Westinghouse Corp en las Cataratas del Niágara en 1895.



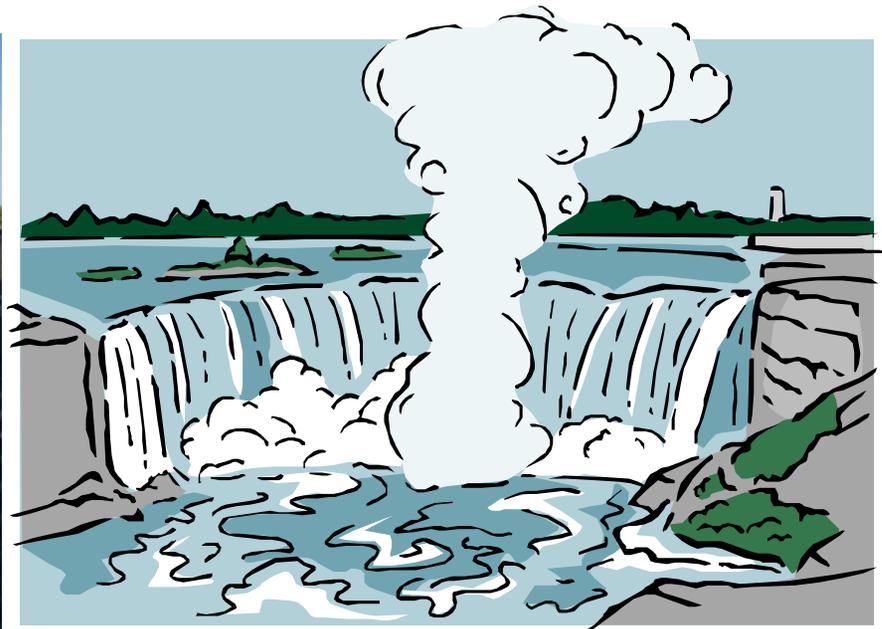
Patentes usadas en la construcción de los primeros generadores en las planta hidroeléctrica Niágara Falls.



Interior de la estación Tesla / Westinghouse generadores de corriente alterna.

Introducción

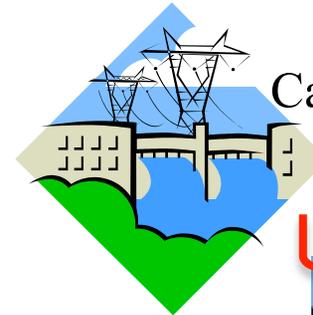
Actualmente, entre el 60 y 70% de la corriente de agua del río Niágara es desviada para utilizar la energía potencial y convertirla en energía eléctrica a través de turbinas hidroeléctricas



La Electricidad en México

CFE

37.6 millones de cliente
 Tasa de crecimiento
 anual del 5.8 %



Capacidad efectiva
 instalada

53454.55 MW



Clientes por sector %

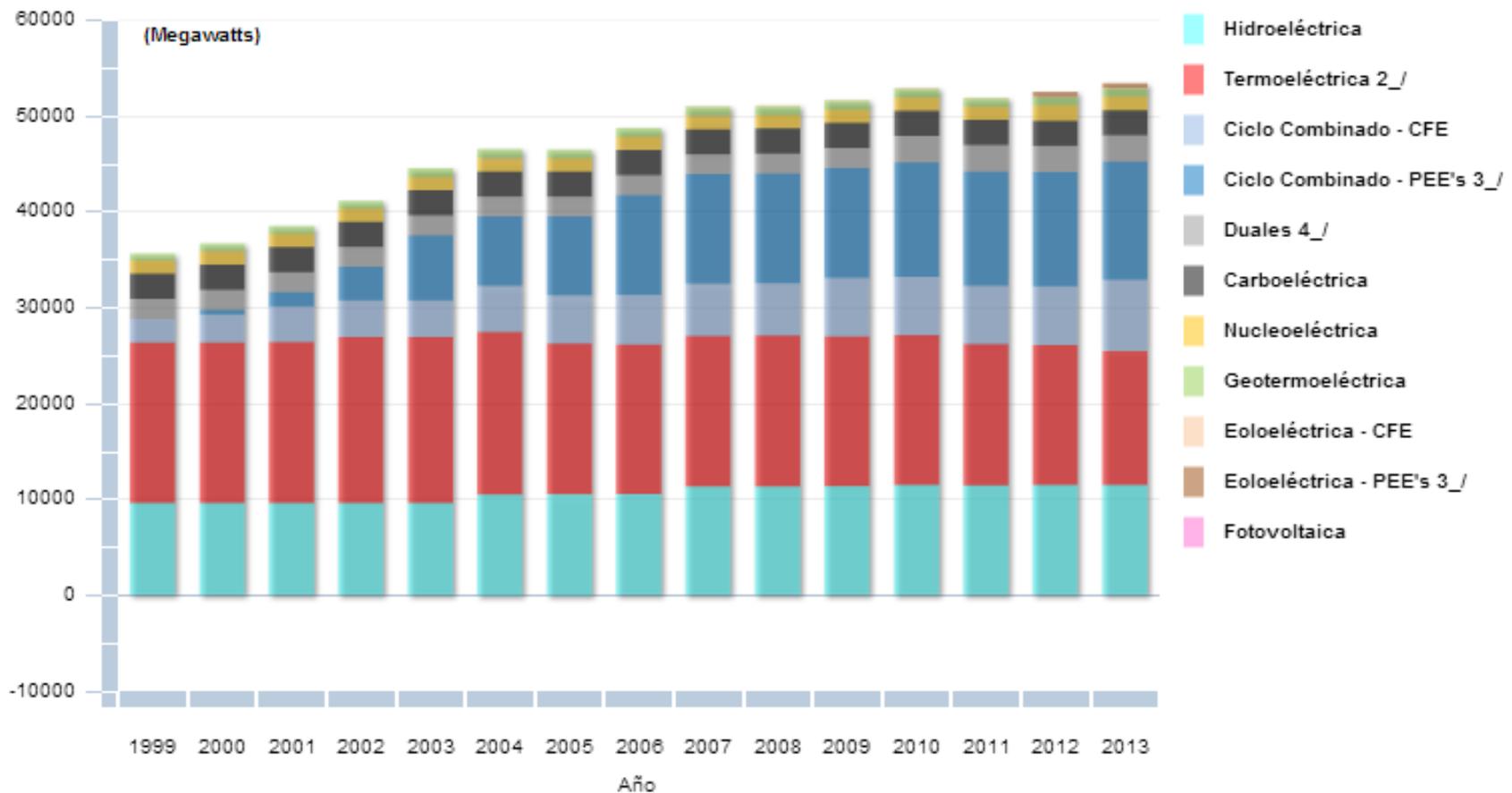
Domestico	88.55
Agrícola	0.34
Industrial	0.76
Comercial	9.84
Servicios	0.51

Ventas Directas %

Domestico	24.89
Agrícola	3.7
Industrial	59.89
Comercial	6.83
Servicios	4.69

Capacidad efectiva de generación

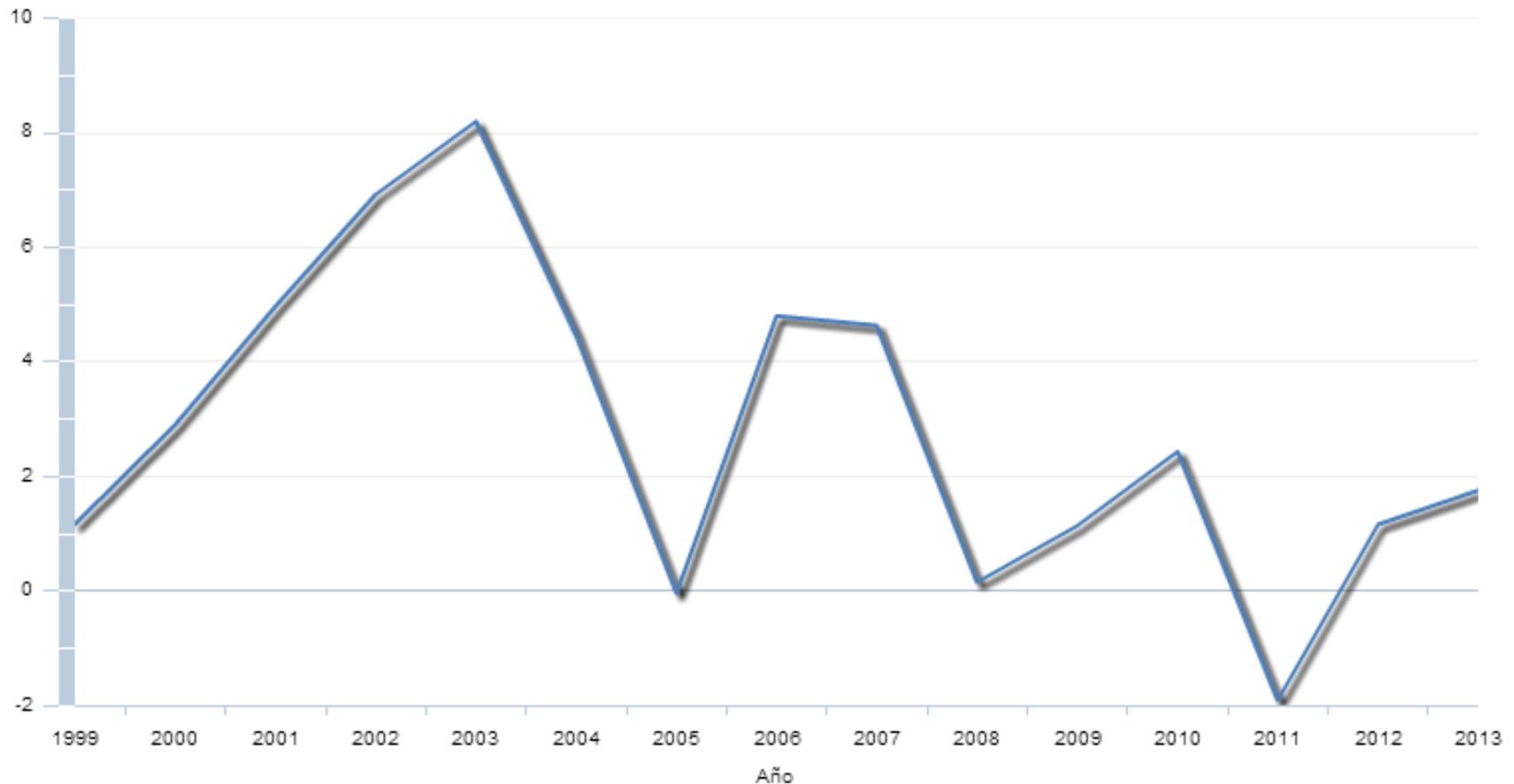
México cuenta con una importante diversificación en su parque de generación de energía eléctrica.



Fuente: Secretaría de Energía, <http://egob2.energia.gob.mx/portal/electricidad.html>

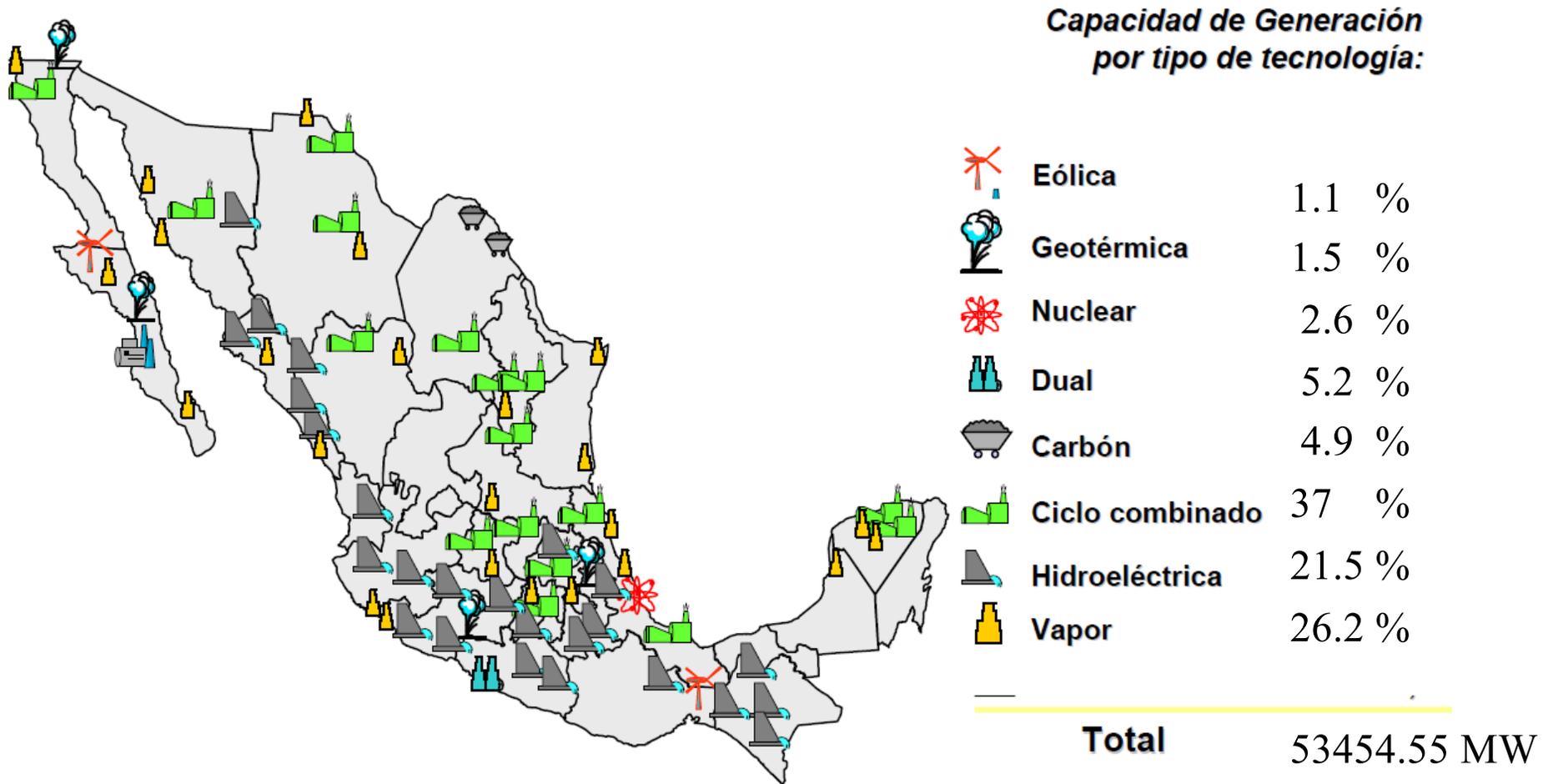
Capacidad efectiva de generación

Tasa de Crecimiento



Fuente: Secretaría de Energía, <http://egob2.energia.gob.mx/portal/electricidad.html>

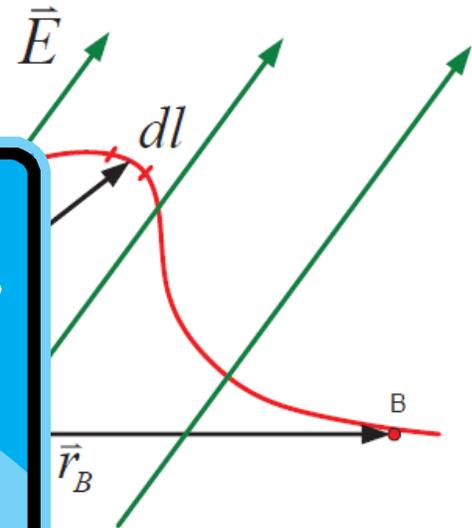
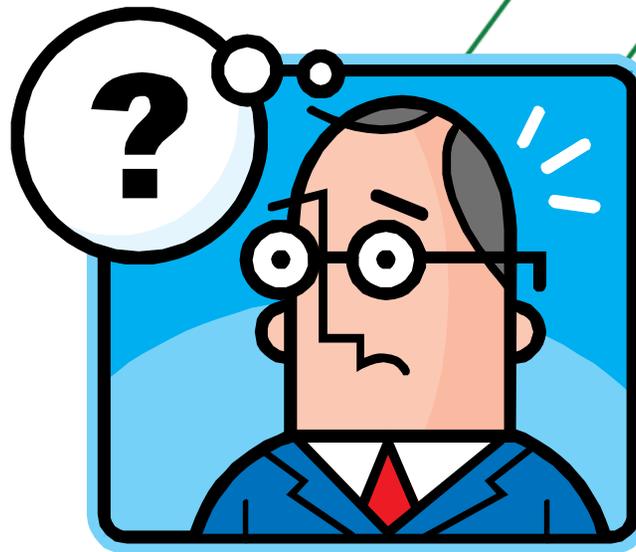
Infraestructura actual de Generación del SEN



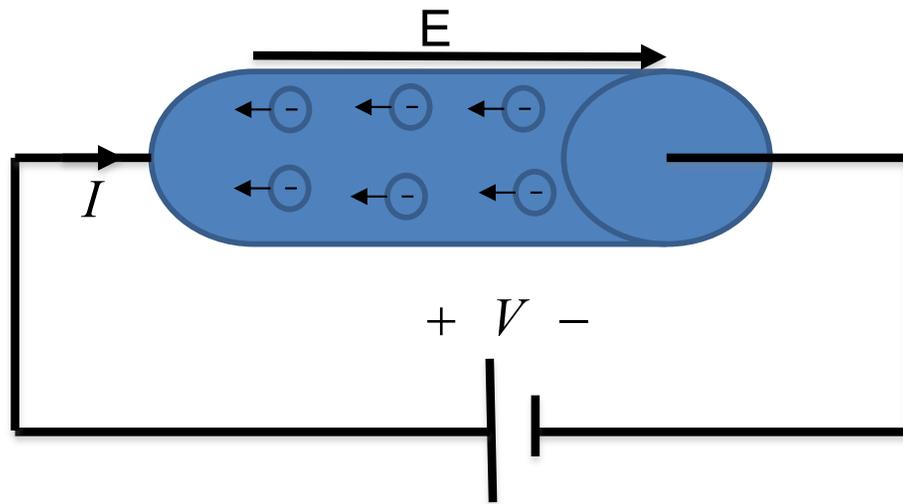
VARIABLES ELÉCTRICAS

Voltaje o diferencia de potencial: desde el punto de vista electromagnético el voltaje es la energía potencial por unidad de carga (Joule / Coulomb) y se puede expresar mediante:

$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$$



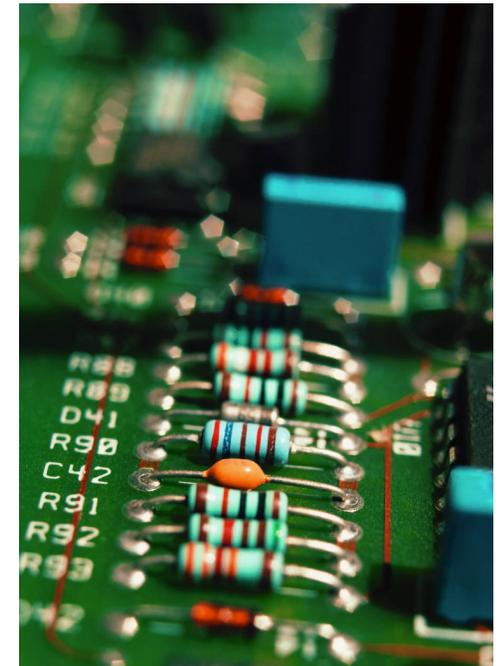
Voltaje o diferencia de potencial: En circuitos eléctricos el voltaje es una magnitud física que representa la fuerza necesaria para hacer circular electrones a través de un material.



Resistencia y conductividad eléctrica

La resistencia eléctrica es la propiedad de los materiales que se opone al flujo de los electrones y se mide en ohms Ω también se puede medir en densidad en $\rho = \Omega / m$ esto se conoce como resistividad.

La conductancia eléctrica es la propiedad de los materiales para permitir el paso de electrones, en otras palabras la conductividad es el inverso de la resistencia y se mide en simens S adicionalmente también se puede expresar en densidad $\sigma = S / m = 1 / (\Omega m)$



Propiedades de los materiales

- Los materiales se pueden clasificar según su conductividad σ dada en (simens/metro).

Aislantes (o dieléctricos)

$$\sigma \ll 1$$



Conductor (o metal)

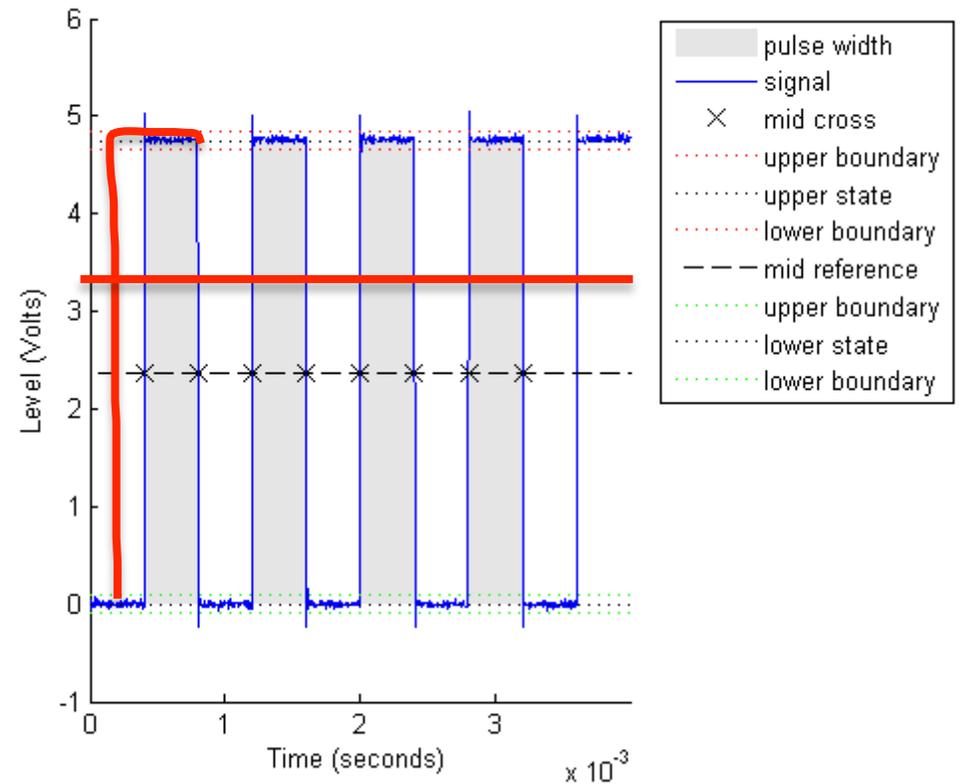
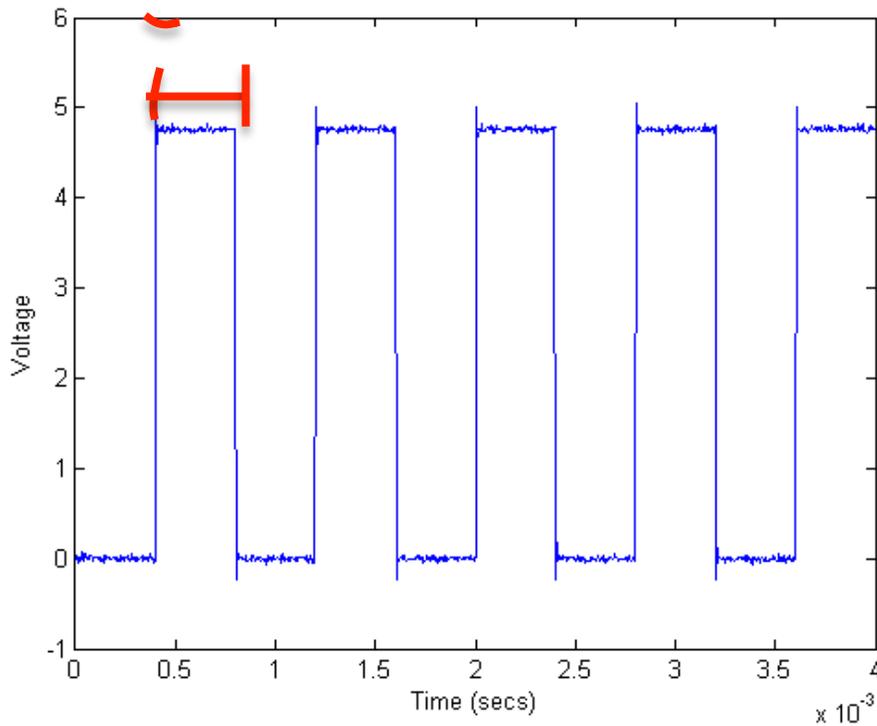
$$\sigma \gg 1$$



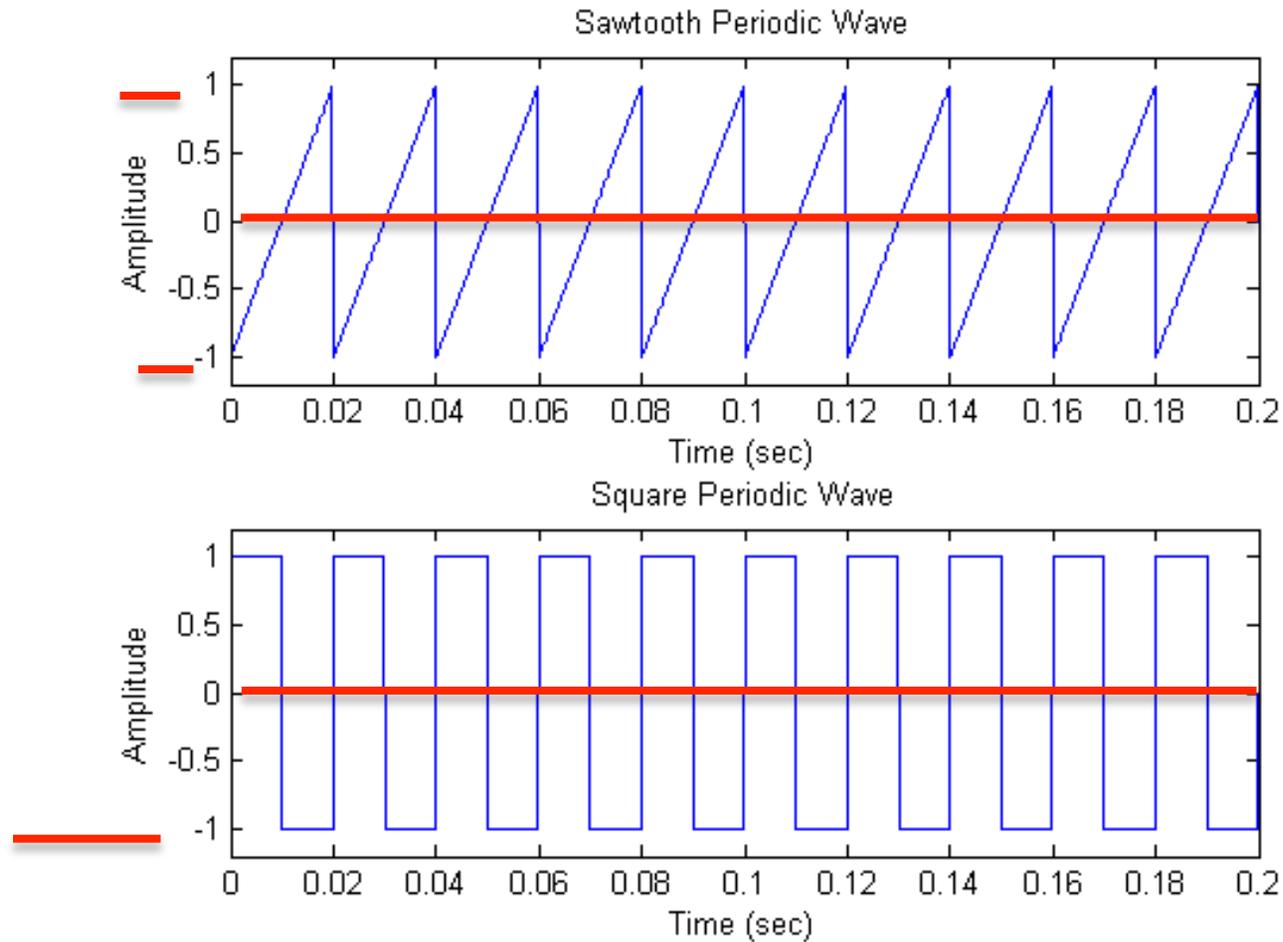
Conductividad de los Materiales

Material	Conductividad (mhos/metro)	Material	Conductividad (mhos/metro)
Conductores		Aisladores	
Plata	$6,1 \cdot 10^7$	Agua (destilada)	10^{-4}
Cobre (recocido normal)	$5,8 \cdot 10^7$	Tierra (seca)	10^{-5}
Oro	$4,1 \cdot 10^7$	Baquelita	10^{-10}
Aluminio	$3,5 \cdot 10^7$	Papel	10^{-11}
Tungsteno	$1,8 \cdot 10^7$	Vidrio	10^{-12}
Zinc	$1,7 \cdot 10^7$	Porcelana	10^{-12}
Latón	$1,1 \cdot 10^7$	Mica	10^{-15}
Fierro (Puro)	10^7	Parafina	10^{-15}
Plomo	$5 \cdot 10^6$	Hule (duro)	10^{-15}
Mercurio	10^6	Cuarzo (fundido)	10^{-17}
Carbón	$3 \cdot 10^6$	Cera	10^{-17}
Agua (de mar)	4		
Semiconductores			
Germanio (puro)	2.2		
Silicio (puro)	$4,4 \cdot 10^{-4}$		

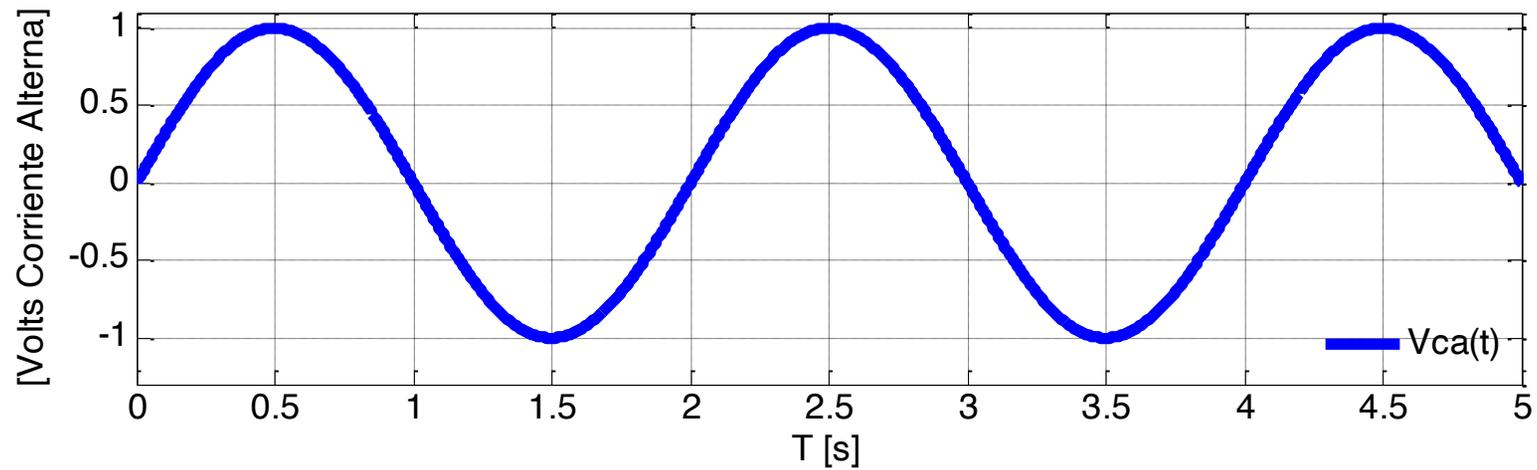
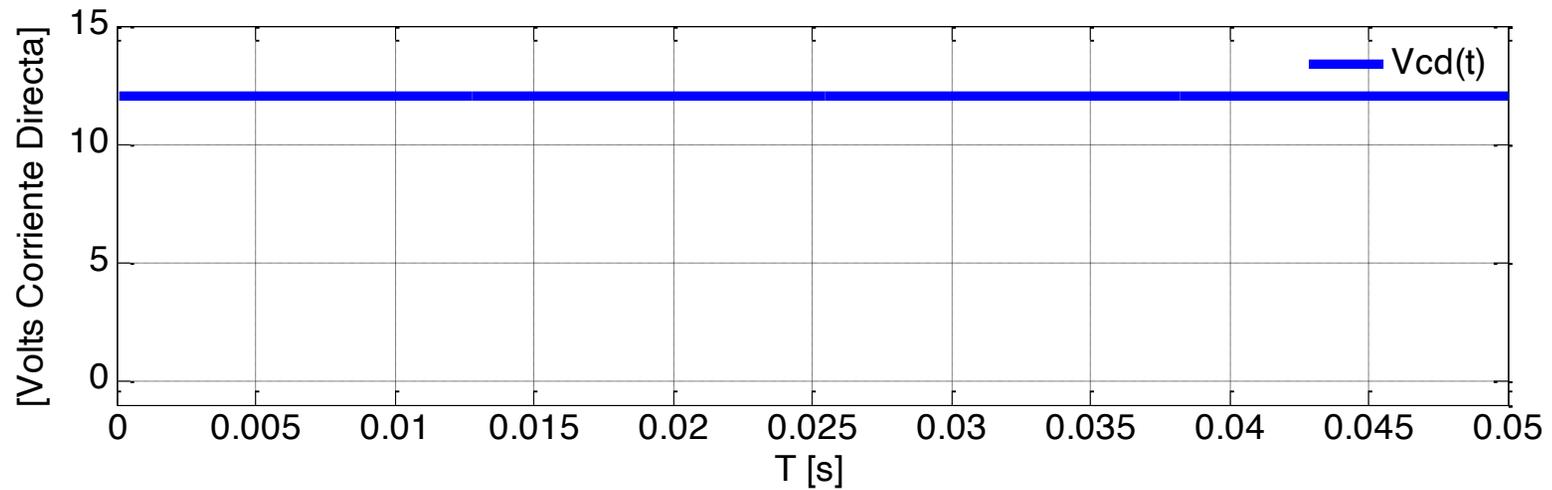
Voltajes de CD y CA



Voltajes de CD y CA

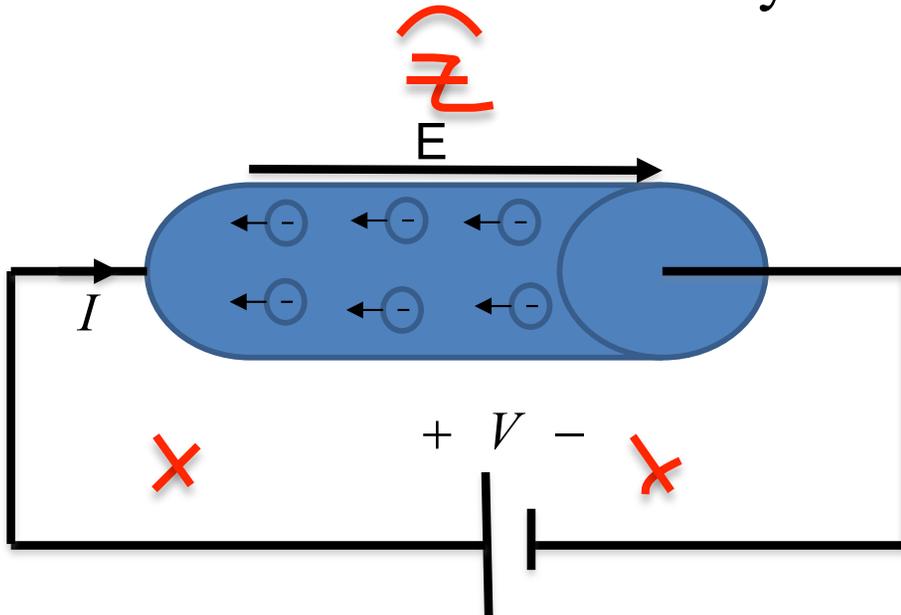


Voltajes de CD y CA



Corriente Eléctrica

La corriente eléctrica es la cantidad de carga eléctrica (Coulombs) que circula a través de una sección transversal por unidad de tiempo. En otras palabras la corriente eléctrica se refiere al flujo de electrones en un medio y se mide en [Amperes]



$$I = \frac{dQ}{dt}$$

De la ley de Ohm de circuitos eléctricos

$$|\tilde{I}| = \frac{V}{R} = \frac{\tilde{V}}{\tilde{Z}}$$

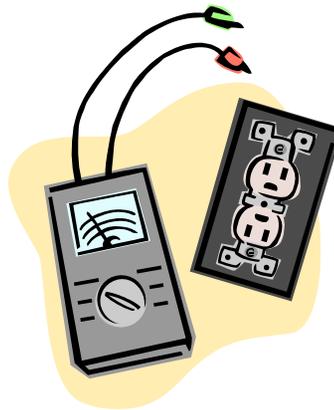
Valor Promedio y valor RMS

El valor promedio y el valor RMS (root mean square) sirven para caracterizar con un valor las ondas variables y alternas que contengan periodicidad.

De forma matemática el valor medio y el valor RMS se definen

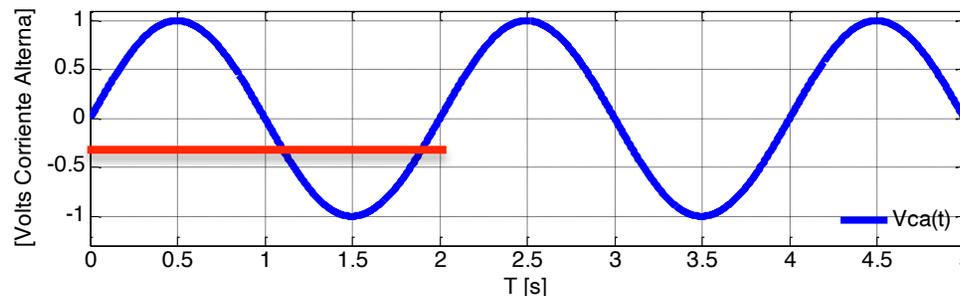
$$V_{\text{Prom}} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

Valor promedio



$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt}$$

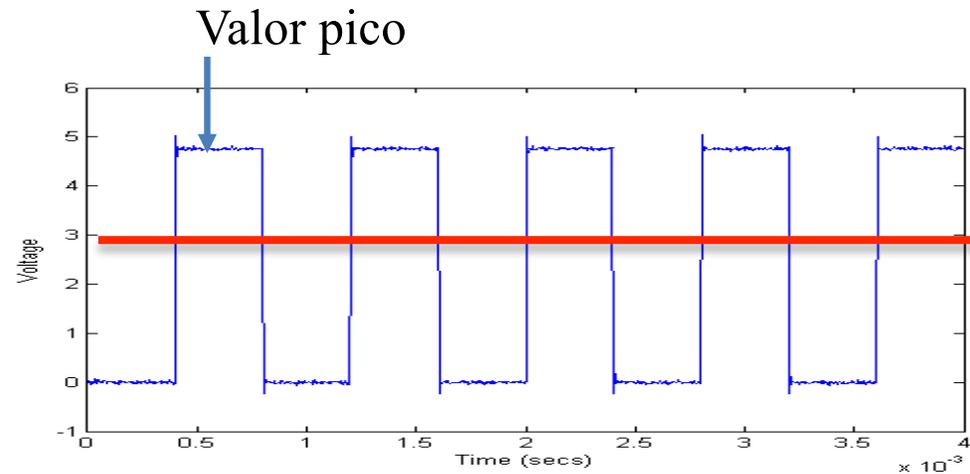
Valor RMS



Valor Promedio

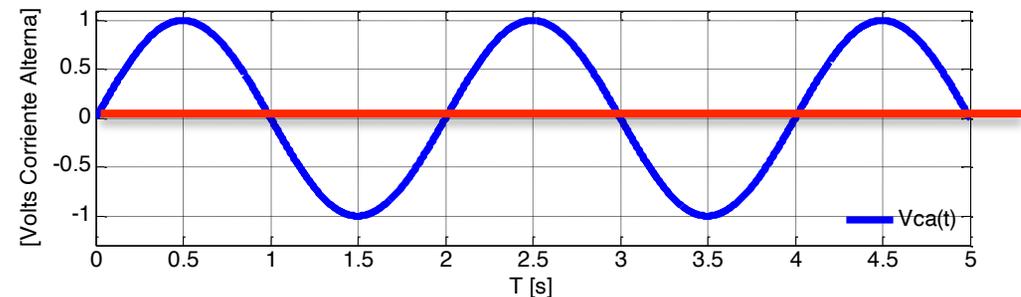
$$V_{\text{Prom}} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$\text{Valor promedio} = 0.5 * V_p$$



$$V_{\text{Prom}} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = 0$$

$$\text{Valor promedio} = 0$$

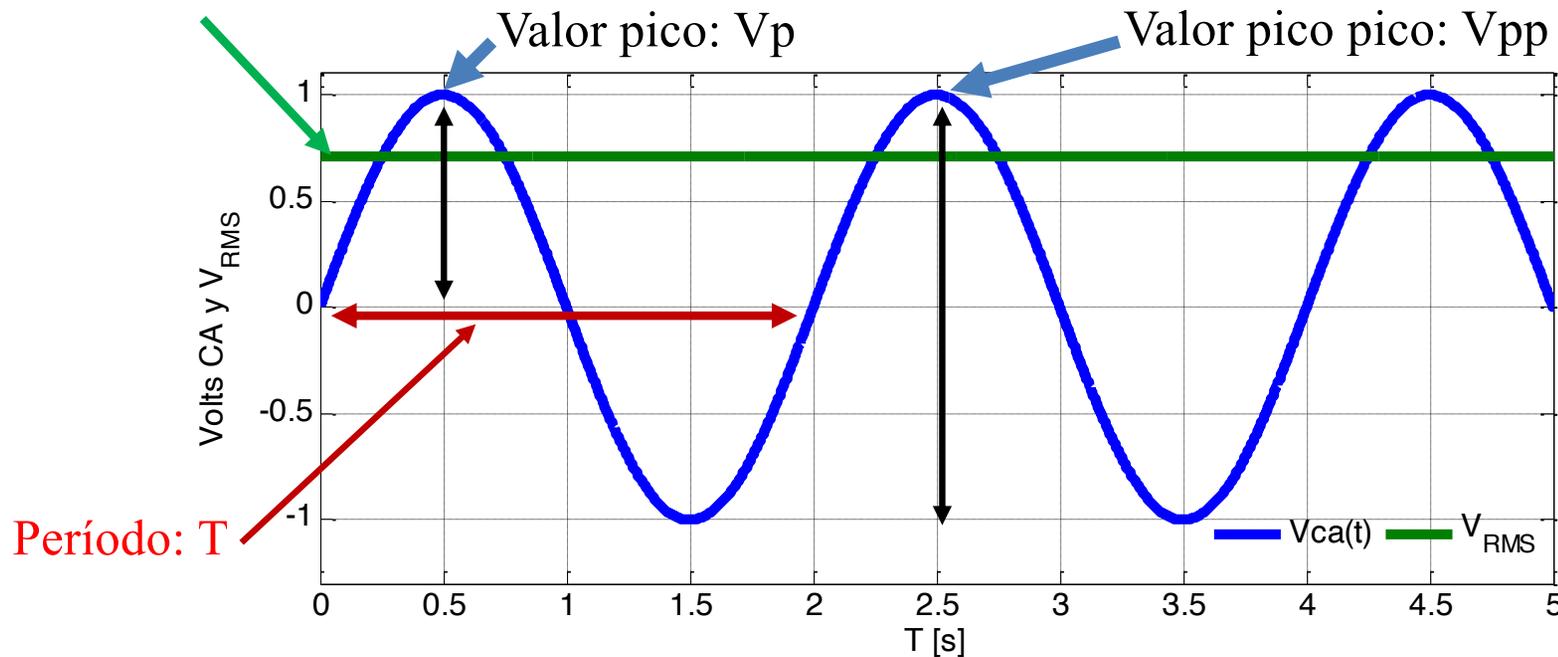


Valor RMS para ondas senoidales

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [V_p \sin(2\pi ft)]^2 dt} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

Nota: En el valor RMS de ondas senoidales no interviene el valor de la frecuencia $f=(1/T)$, don de T es el período de la onda senoidal

Valor RMS

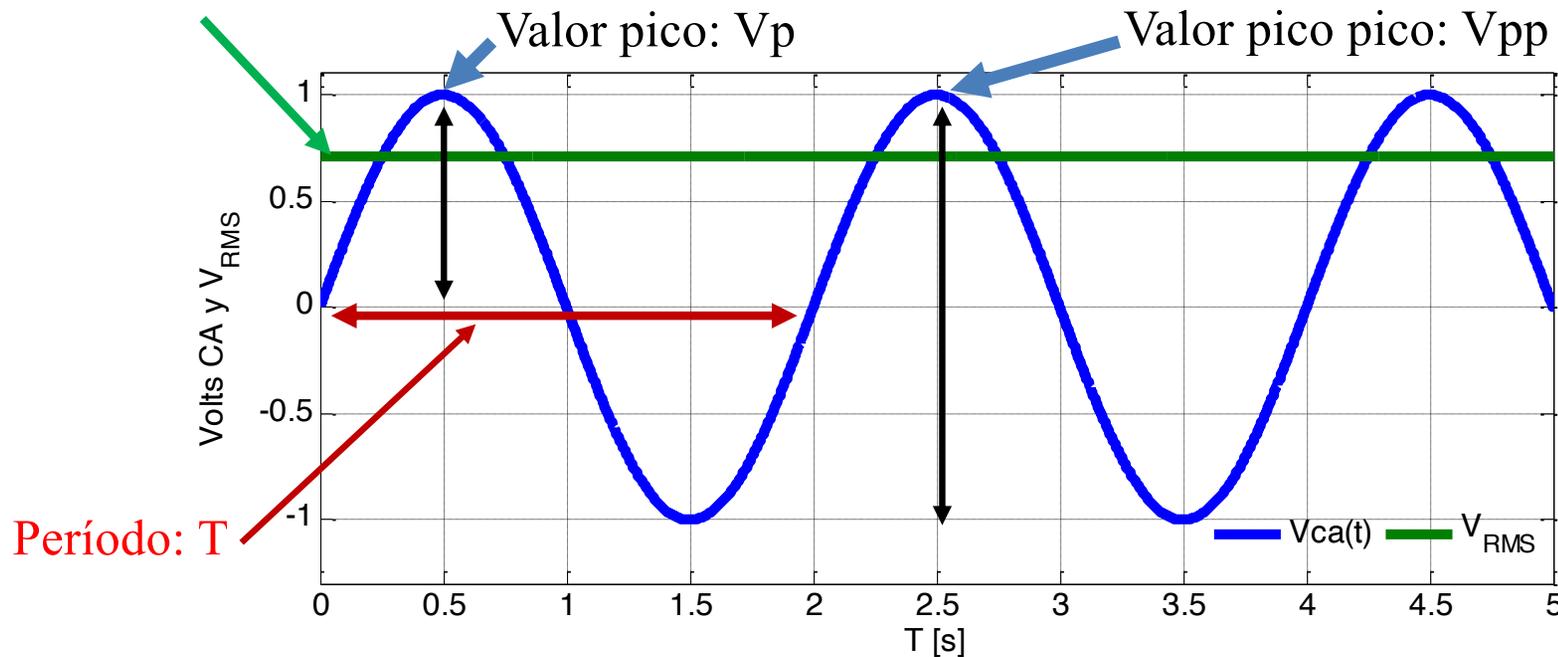


Valor RMS para ondas senoidales

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [V_p \sin(2\pi ft)]^2 dt} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

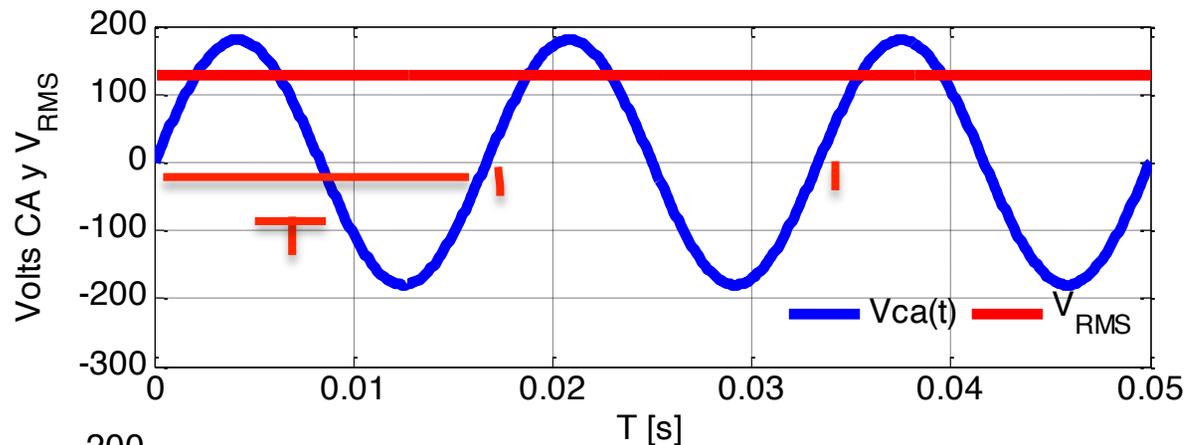
Nota: En el valor RMS de ondas senoidales no interviene el valor de la frecuencia $f=(1/T)$, don de T es el período de la onda senoidal

Valor RMS



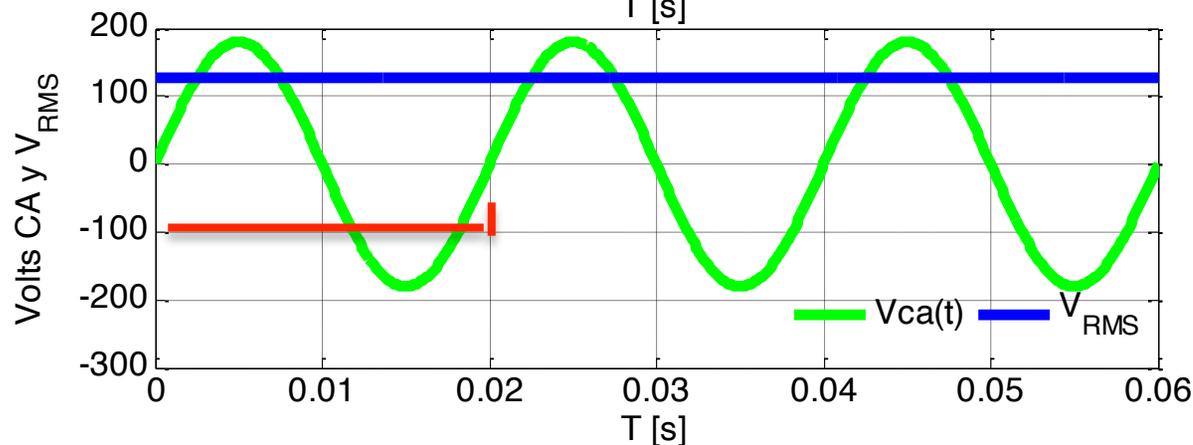
Ondas Senoidales

¿Qué frecuencias tienen estas ondas senoidales?



$$V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{180}{\sqrt{2}} \cong 127 [\text{Volts}]$$

Período = [s], Frecuencia = [Hz]



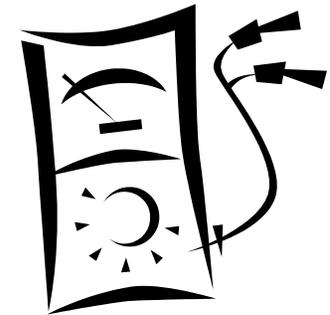
$$V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{180}{\sqrt{2}} \cong 127 [\text{Volts}]$$

Período = [s], Frecuencia = [Hz]

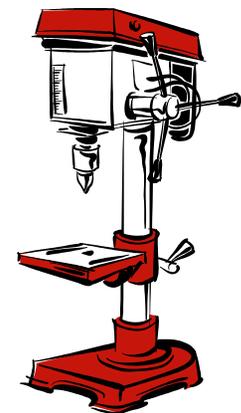
Voltaje RMS y frecuencia en el hogar



Dispositivos que funcionan con Corriente Directa



Dispositivos que funcionan con Corriente Alterna



Dispositivos que funcionan con Corriente Directa pero se conectan a una fuente de CA



¿Por qué utilizar corriente alterna en los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP's)?

THE CURRENT WAR

THE TALE OF AN EARLY TECH RIVALRY

DC

DIRECT CURRENT

The flow of electricity is in one direction only. The system operates at the same voltage level throughout and is not as efficient for high-voltage, long distance transmission.

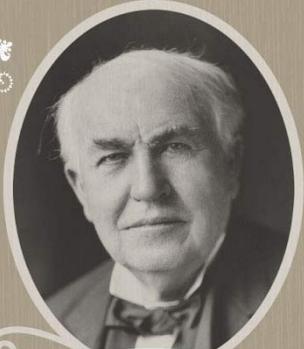
Direct current runs through:

- Battery-Powered Devices
- Fuel and Solar Cells
- Light Emitting Diodes

"TESLA'S IDEAS ARE SPLENDID, BUT THEY ARE UTTERLY IMPRACTICAL."
- THOMAS EDISON

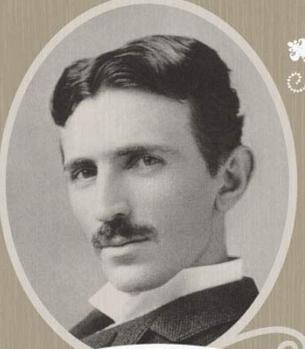
FALLING OUT
Edison promised Tesla a generous reward if he could smooth out his direct current system. The young engineer took on the assignment and ended up saving Edison more than \$100,000 (millions of dollars by today's standards). When Tesla asked for his rightful compensation, Edison declined to pay him. Tesla resigned shortly after, and the elder inventor spent the rest of his life campaigning to discredit his counterpart.

EDISON FRIES AN ELEPHANT
In order to prove the dangers of Tesla's alternating current, Thomas Edison staged a highly publicized electrocution of the three-ton elephant known as "Topsy." She died instantly after being shocked with a 6,600-volt AC charge.



THOMAS EDISON

VS.



NIKOLA TESLA

You would have never found two geniuses so spiteful of each other beyond turn-of-the-century inventors Nikola Tesla and Thomas Edison. They worked together—and hated each other. Let's compare their life, achievements, and embittered battles.

1847	BORN	1858
Milan, Ohio	BIRTHPLACE	Smiljan, Croatia
Wizard of Menlo Park	NICKNAME	Wizard of the West
Home-schooled and self-taught	EDUCATION	Studied math, physics, and mechanics at The Polytechnic Institute at Graz
Mass communication and business	FORTE	Electromagnetism and electromechanical engineering
Trial and error	METHOD	Getting inspired and seeing the invention in his mind before fully constructing it
DC (Direct Current)	WAR OF CURRENTS: ELECTRICAL TRANSMISSION IDEA	AC (Alternating Current)
Incandescent light bulb; phonograph; cement making technology; motion picture camera; DC motors and electric power	NOTABLE INVENTIONS	Tesla coil - resonant transformer circuit; radio transmitter; fluorescent light; AC motors and electric power generation system
1,093	NUMBER OF US PATENTS	112
0	NUMBER OF NOBEL PRIZES WON	0
1	NUMBER OF ELEPHANTS ELECTROCUTED	0
1931—Passed away peacefully in his New Jersey home, surrounded by friends and family	DEATH	1943—Died lonely and in debt in Room 3327 at the New Yorker Hotel

WAR OF CURRENTS OFFICIALLY SETTLED
In 2007, Con Edison ended 125 years of direct current electricity service that began when Thomas Edison opened his power station in 1882. It changed to only provide alternating current.

NOBEL PRIZE CONTROVERSY
In 1915, both Edison and Tesla were to receive Nobel Prizes for their strides in physics, but ultimately, neither won. It is rumored to have been caused by their animosity towards each other and refusal to share the coveted award.

AC

ALTERNATING CURRENT

Electric charge periodically reverses direction and is transmitted to customers by a transformer that could handle much higher voltages.

Alternating current runs through:

- Car Motors
- Radio Signals
- Appliances

"IF EDISON HAD A NEEDLE TO FIND IN A HAYSTACK, HE WOULD PROCEED AT ONCE... UNTIL HE FOUND THE OBJECT OF HIS SEARCH. I WAS A SORRY WITNESS OF SUCH DOINGS, KNOWING THAT A LITTLE THEORY AND CALCULATION WOULD HAVE SAVED HIM 90 PERCENT OF HIS LABOR."
- NIKOLA TESLA

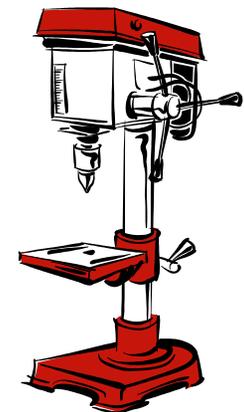
SOURCES: CHENEY, MARGARET. "TESLA: MAN OUT OF TIME" | UTH, ROBERT. "TESLA: MASTER OF LIGHTNING." | THOMASEDISON.COM | PBS.ORG | WEB.MIT.EDU | WIRED.COM

A COLLABORATION BETWEEN GOD AND COLUMN FIVE

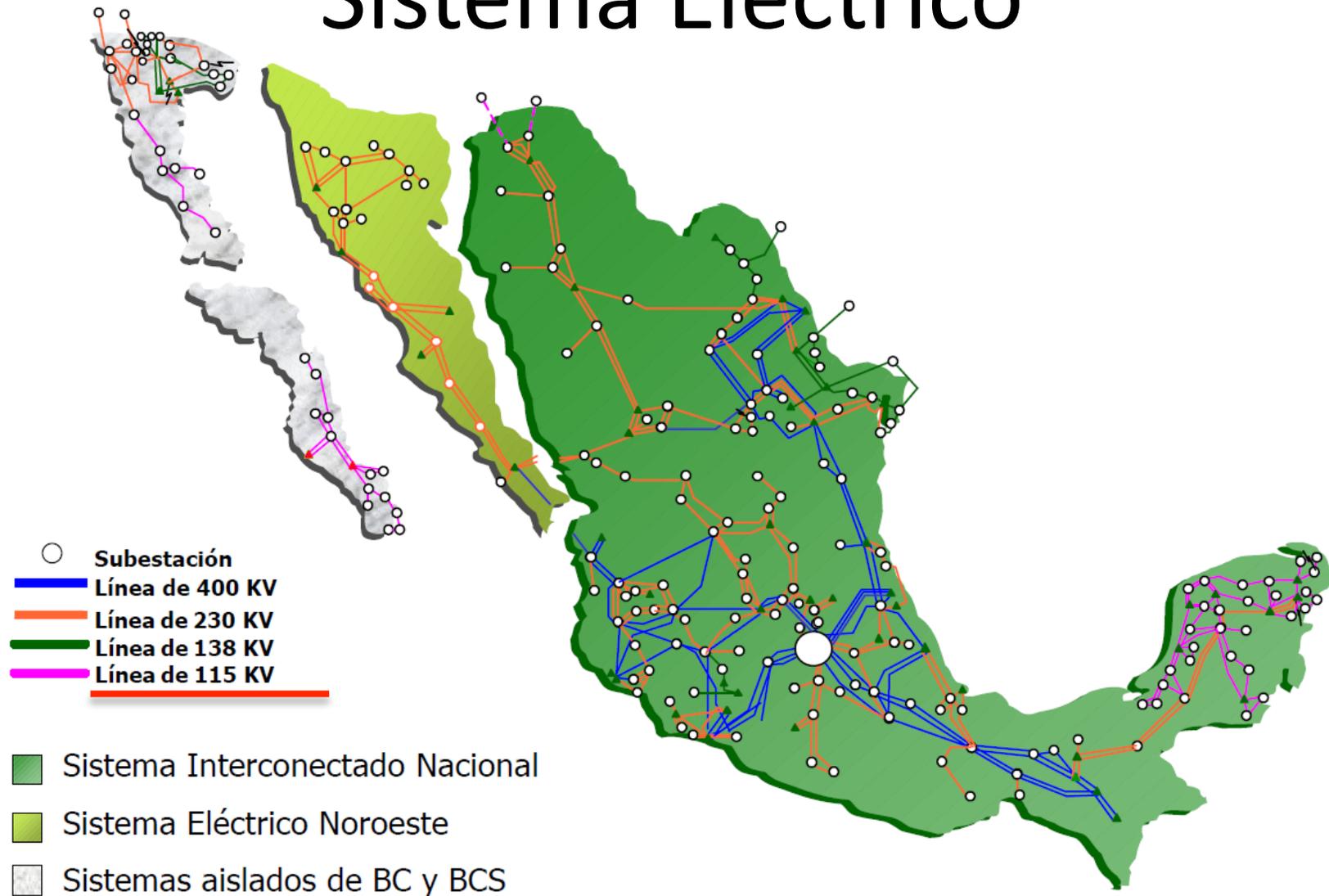
<http://awesome.good.is/transparency/web/1012/war-of-current/flat.html>

Ventajas de Utilizar CA en el SEP

- Generadores de CA más sobresalientes que los de CD
- Fácil Generación de Alto Voltaje (High Voltage > 1000 V)
- Eficiencia en líneas de transmisión (Efecto Piel)
- Funcionamiento de Motores de Inducción



Sistema Eléctrico



Google books Ngram Viewer

Graph these comma-separated phrases: case-insensitive
between and from the corpus with smoothing of [Search lots of books](#)



Search in Google Books:

- | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1800 - 1906 | 1907 - 1911 | 1912 - 1916 | 1917 - 1976 | 1977 - 2008 | direct current |
| 1800 - 1900 | 1901 - 1912 | 1913 - 1916 | 1917 - 1958 | 1959 - 2008 | alternating current |

Run your own experiment! Raw data is available for download [here](#).

Google books Ngram Viewer

Graph these comma-separated phrases: case-insensitive

between and from the corpus with smoothing of



Search in Google Books:

[1800 - 1903](#) [1904 - 1935](#) [1936 - 1943](#) [1944 - 1995](#) [1996 - 2008](#) [edison](#)
[1800 - 1898](#) [1899 - 1986](#) [1987 - 1995](#) [1996 - 2001](#) [2002 - 2008](#) [tesla](#)

Run your own experiment! Raw data is available for download [here](#).

Representación de ondas senoidales en

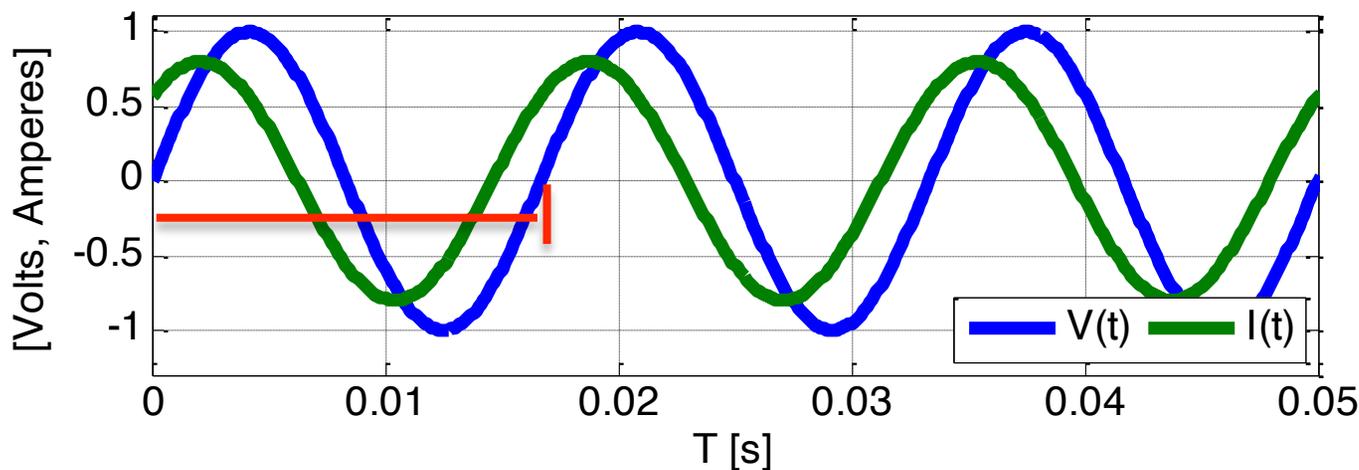
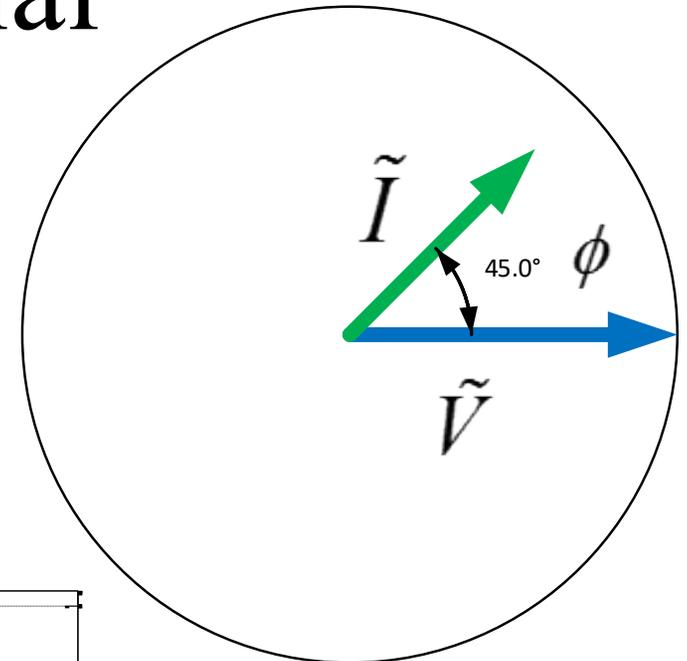
$\omega = 2\pi f$ forma fasorial

$$V = \overline{V}_p \sin(\overline{\omega t} + \overline{\theta})$$

$$I = I_p \sin(\omega t + \phi)$$

$$T = \frac{1}{f}$$

con $\theta = 0$ y $\phi = \frac{\pi}{4} = 45^\circ$



$$\tilde{V} = \underline{V}_p \angle \underline{\theta}$$

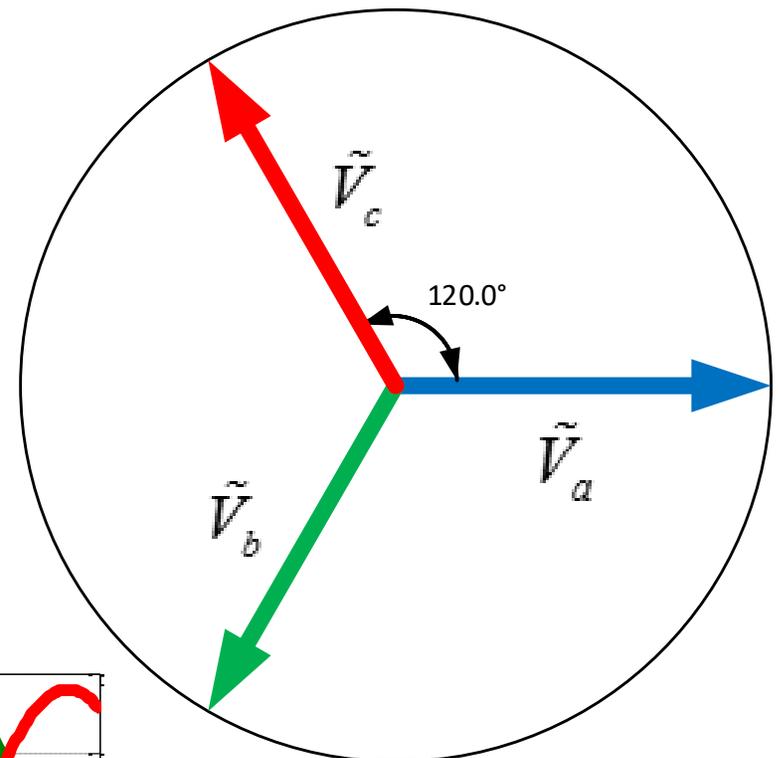
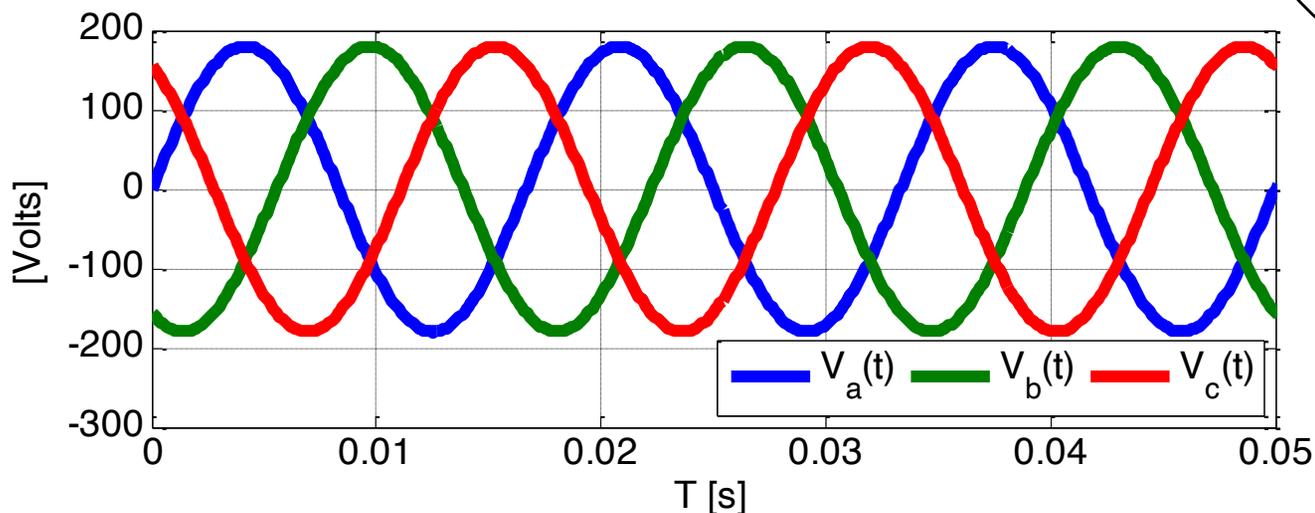
$$\tilde{I} = I_p \angle \phi$$

Fuente trifásica con secuencia positiva

$$V_a = V_p \sin(\omega t)$$

$$V_b = V_p \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$V_c = V_p \sin(\omega t + 120^\circ)$$



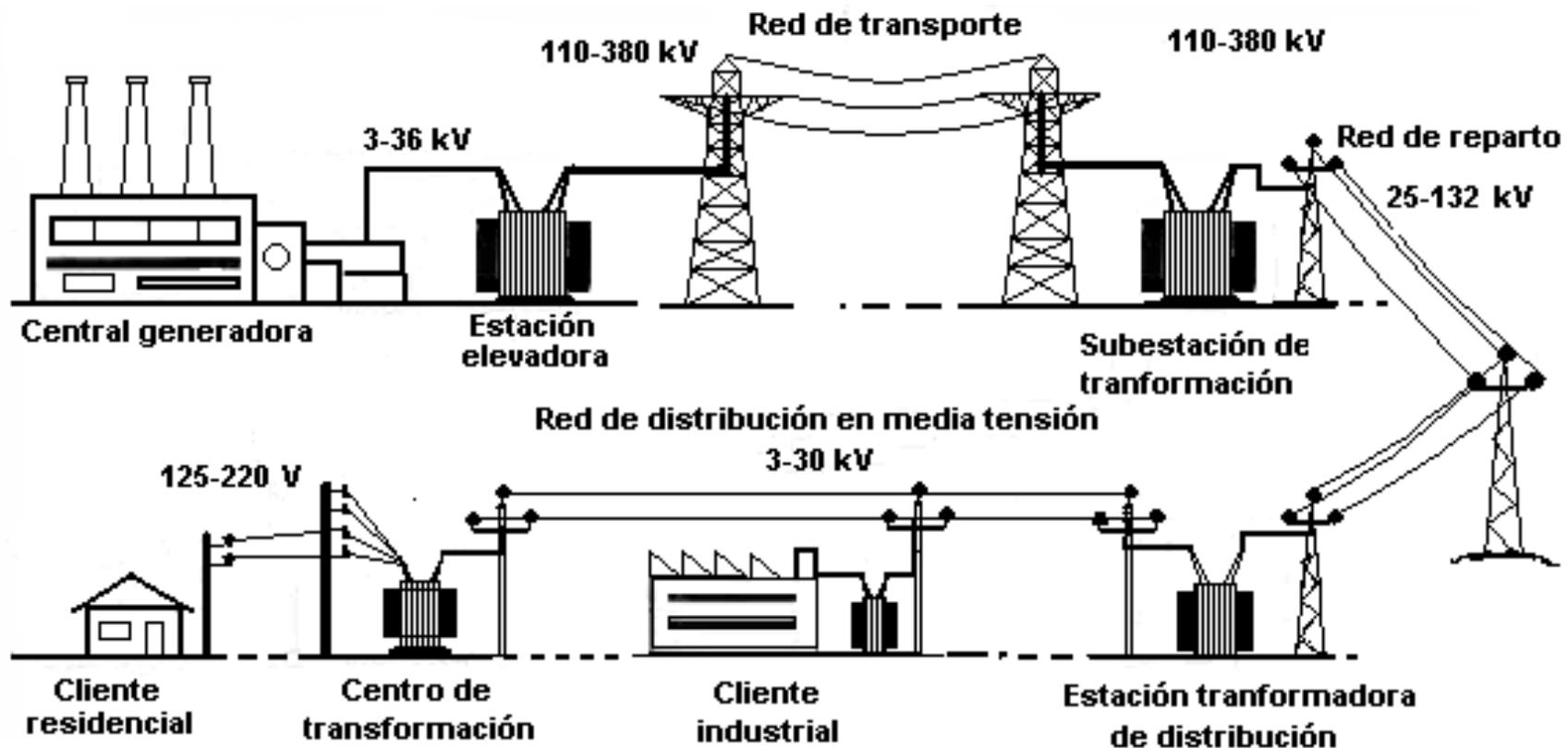
$$\tilde{V}_a = V_p \angle 0^\circ$$

$$\tilde{V}_b = V_p \angle -120^\circ$$

$$\tilde{V}_c = V_p \angle 120^\circ$$

Potencia Aparente, Activa y Reactiva

En los SEP's aparecen tres tipos de potencias, la potencia activa (P), potencia reactiva (Q) y la potencia aparente (S).

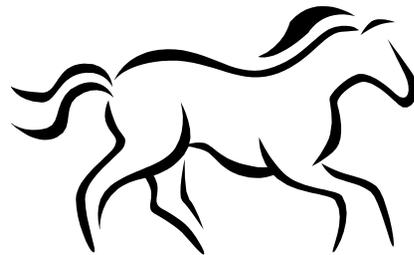
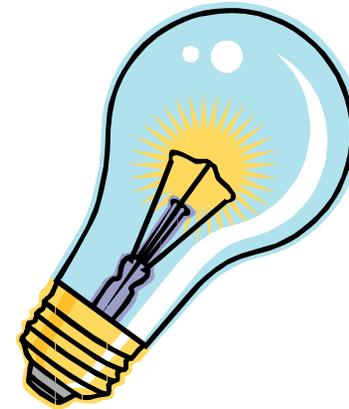


Potencia Activa

La Potencia Activa es la que se mide Watts y se refiere a la potencia efectiva en un sistema, esta potencia es la más importante ya que es la energía útil que ocupan los sistemas.

La Potencia Activa se puede expresar de forma matemática de la siguiente manera

$$P = \left| \tilde{V}_{RMS} \right| \cdot \left| \tilde{I}_{RMS} \right| \cos(\theta - \phi)$$



Nota: es muy común encontrar en HP (caballos de fuerza) la especificación de potencia de algunos dispositivos, donde 1 HP equivale a 745.7 Watts

Potencia Reactiva

La Potencia Reactiva es la que se mide VAR's (Volts Amperes Reactivos) y se refiere a la energía almacenada en un sistema debido a cargas inductivas o capacitivas.

La Potencia Reactiva se puede expresar de forma matemática de la siguiente manera:

$$Q = \left| \tilde{V}_{RMS} \right| \cdot \left| \tilde{I}_{RMS} \right| \sin(\theta - \phi)$$



Nota: Los Capacitores generan VAR's y los inductores demandan VAR's, esto significa que sus efectos pueden contrarrestarse.

Potencia Aparente

La Potencia Aparente es la que se mide VA (Volts Amperes) y se refiere a la potencia total considerando los Watts y los VAR's del sistema.

La Potencia Aparente se puede expresar de forma matemática de la siguiente manera:

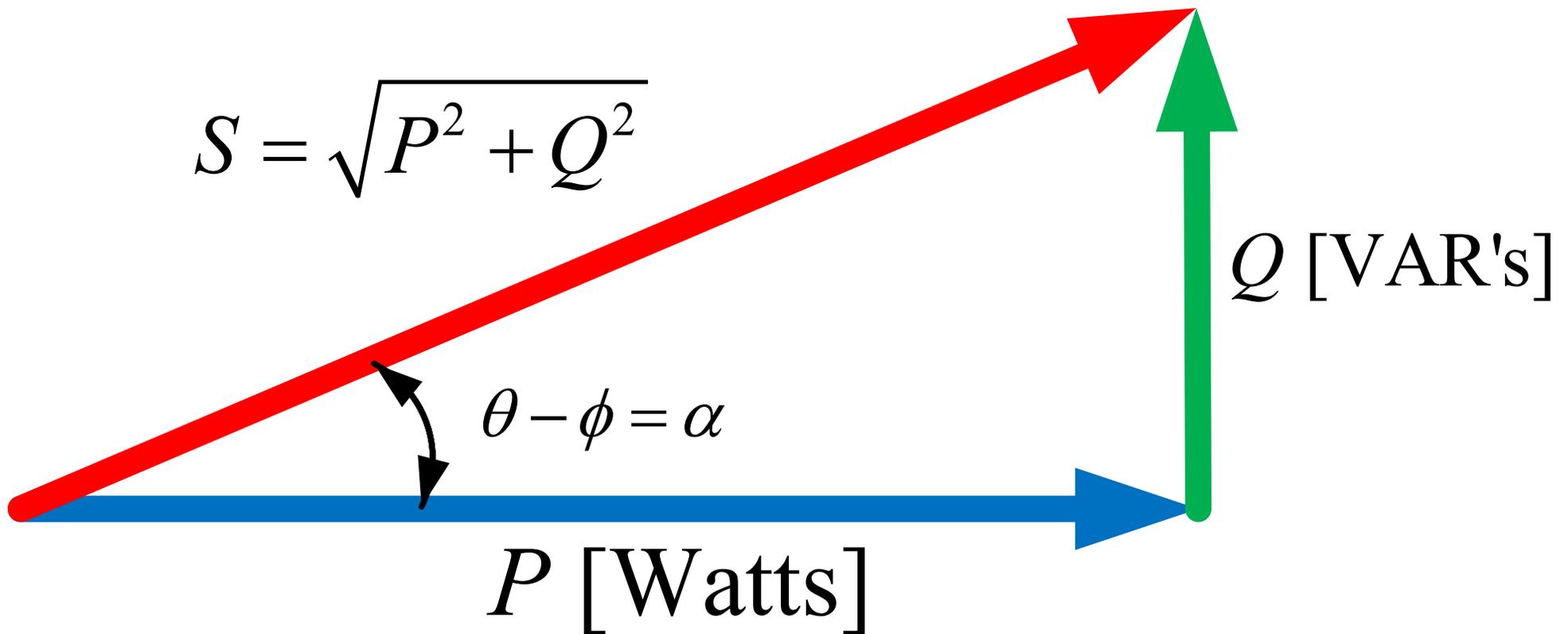
$$S = |\tilde{V}_{RMS}| \cdot |\tilde{I}_{RMS}| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

En un sistema trifásico equilibrado la potencia aparente se puede determinar de la siguiente manera:

$$S = 3 |\tilde{V}_{RMS}| \cdot |\tilde{I}_{RMS}|$$

Triángulo de Potencias

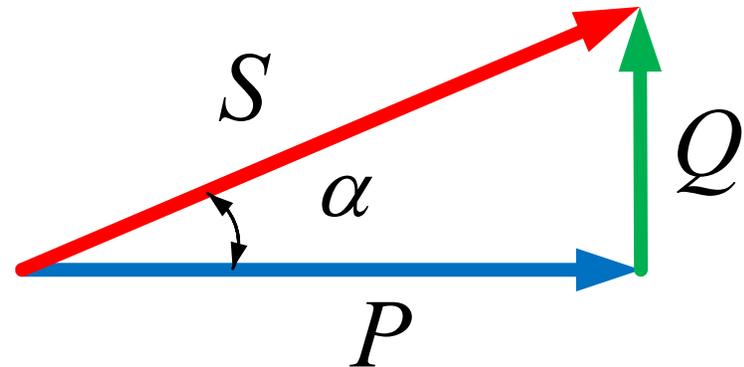
Las potencias se pueden representar en el siguiente triángulo de potencias



El Factor de Potencia F.P

El Factor de Potencia F.P es el valor que muestra la relación entre la potencia activa y la potencia aparente el sistema, y se puede calcular de la siguiente forma:

$$F.P = \frac{P}{S} = \cos(\alpha)$$



En un SEP sería ideal tener $F.P = 1$, esto significaría que toda la potencia aparente se estaría convirtiendo en Watts, pero varios elementos importantes requieren de los VAR's para su funcionamiento, por ejemplo, motores, transformadores, luminarias etc.

Características del F.P

- Factor de potencia en atraso o inductivo (-F.P): los equipos inductivos, como motores de inducción, transformadores y bobinas hacen que la corriente se atrase respecto al voltaje, esto quiere decir que demandan reactivos (+Q).
- Factor de potencia en adelanto o capacitivo (+F.P): los capacitores y motores síncronos hacen que la corriente se adelante respecto al voltaje, esto quiere decir que generan reactivos (-Q).
- Cargas resistivas: esta es la condición ideal en la que el voltaje “sigue” a la corriente (focos, calentadores).
- Cuando en un sistema eléctrico existen cargas inductivas y cargas capacitivas, el efecto de adelanto se compensa con el de atraso y viceversa.



FACTOR DE POTENCIA

Ahorra energía corrigiendo tu factor de potencia

Para proteger su instalación eléctrica interna y recibir una calidad de servicio adecuada, es muy útil que usted esté informado acerca de la importancia del factor de potencia de su consumo.

¿Qué es el Factor de Potencia?

Es un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía, de forma general es la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo.

El factor de potencia puede tomar valores entre 0 y 1, lo que significa que:



El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo.

Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

Considerando lo anterior el factor de potencia por debajo del 90% significa energía desperdiciada por su empresa y en consecuencia un incremento innecesario en el importe de su facturación por este concepto.

De acuerdo al comportamiento del factor de potencia se aplica una penalización cuando el f.p. es < al 90% o bonificación cuando el f.p. es > al 90% conforme a lo siguiente:

CONCEPTO	FÓRMULA	% MÁXIMO APLICABLE
BONIFICACION	$\frac{1}{4} \left[1 - \left(\frac{90}{F.P.} \right) \right] \times 100$	2.5
PENALIZACION	$\frac{3}{5} \left[\left(\frac{90}{F.P.} \right) - 1 \right] \times 100$	120

Origen del bajo Factor de Potencia

La mayoría de los equipos eléctricos utilizan potencia activa o real que es la que hace el trabajo real y utilizan también la potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- Un gran número de motores.
- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- Una sub-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.
- Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.

Problemas técnicos

Además del incremento en el importe de la facturación, un bajo factor de potencia también deriva en los siguientes problemas:

- Mayor consumo de corriente.
- Aumento de las pérdidas en conductores.
- Desgaste prematuro de los conductores.
- Sobrecarga de transformadores y líneas de distribución.
- Incremento en caídas de voltaje.

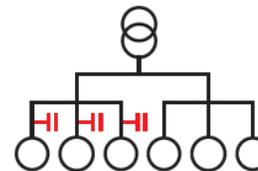
¿Cómo corregir su factor de potencia?

Ya que el bajo factor de potencia se origina por la carga inductiva, que algunos equipos requieren para su funcionamiento, es necesario compensar este consumo reactivo mediante bancos de capacitores y/o filtros de armónicas (Carga lineal y no lineal).

Se pueden manejar tres arreglos para la aplicación de capacitores, los cuales pueden combinarse entre sí según el arreglo que más beneficie en cada caso.

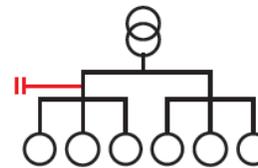
Compensación individual:

Únicamente estaría en servicio cuando opere la carga a controlar.



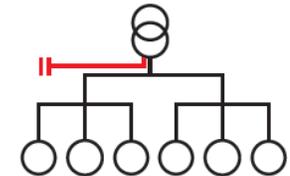
Compensación en grupo:

Varias cargas de igual capacidad y periodo de trabajo, se pueden compensar con un capacitor en común, en un punto único como un centro de carga.



Compensación central:

Cargas distintas que operan a diferentes periodos pueden ser compensadas, con un banco único de capacitores, conectado usualmente a la entrada de la instalación, el cual mejora el nivel de voltaje pero no reduce las pérdidas.



Beneficios al corregir al factor de potencia

- Disminución de pérdidas en los conductores.
- Reducción de las pérdidas de las caídas de tensión.
- Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores y líneas.
- Incremento de la vida útil de las instalaciones eléctricas.
- Reducción del costo de su facturación de energía eléctrica.



IMPORTANTE:

El costo del banco de capacitores puede tener un retorno de inversión muy corto, debido al ahorro que se obtiene, al evitar los cargos por bajo factor de potencia en su recibo de energía eléctrica.

Recuerde que es necesario realizar un estudio completo de calidad de la energía, con el fin de identificar las armónicas del sistema eléctrico y poder definir el equipo de acuerdo a sus necesidades.





FACTOR DE POTENCIA

Ahorra energía corrigiendo tu factor de potencia

Para proteger su instalación eléctrica interna y recibir una calidad de servicio adecuada, es muy útil que usted esté informado acerca de la importancia del factor de potencia de su consumo.

¿Qué es el Factor de Potencia?

Es un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía, de forma general es la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo.

El factor de potencia puede tomar valores entre 0 y 1, lo que significa que:



El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo.

Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

Considerando lo anterior el factor de potencia por debajo del 90% significa energía desperdiciada por su empresa y en consecuencia un incremento innecesario en el importe de su facturación por este concepto.

De acuerdo al comportamiento del factor de potencia se aplica una penalización cuando el f.p. es < al 90% o bonificación cuando el f.p. es > al 90% conforme a lo siguiente:

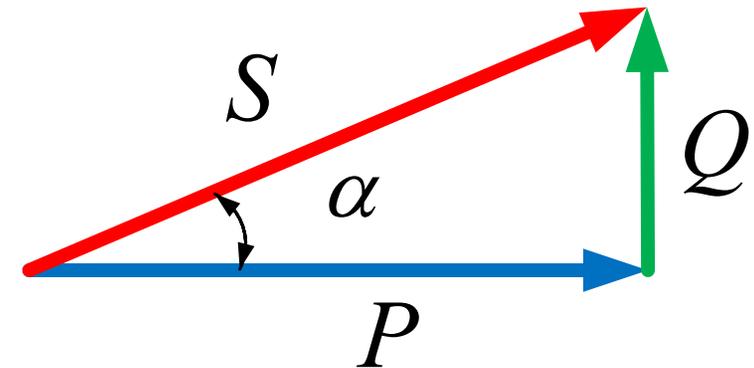
CONCEPTO	FÓRMULA	% MÁXIMO APLICABLE
BONIFICACIÓN	$\frac{1}{4} \left[1 - \left(\frac{90}{F.P.} \right) \right] \times 100$	2.5
PENALIZACIÓN	$\frac{3}{5} \left[\left(\frac{90}{F.P.} \right) - 1 \right] \times 100$	120

Ejemplo de penalización por F.P bajo

En la fabrica de la empresa El Lambiscón S.A de C.V, se consumen en promedio 200 kVA y 170 kW.

a)¿Cuál es el F.P?

b)¿Cuál es el porcentaje de penalización?



$$F.P = \frac{P}{S} = \cos(\alpha)$$

CONCEPTO	FÓRMULA	% MÁXIMO APLICABLE
BONIFICACIÓN	$\frac{1}{4} \left[1 - \left(\frac{90}{F.P.} \right) \right] \times 100$	2.5
PENALIZACIÓN	$\frac{3}{5} \left[\left(\frac{90}{F.P.} \right) - 1 \right] \times 100$	120

Fuente:

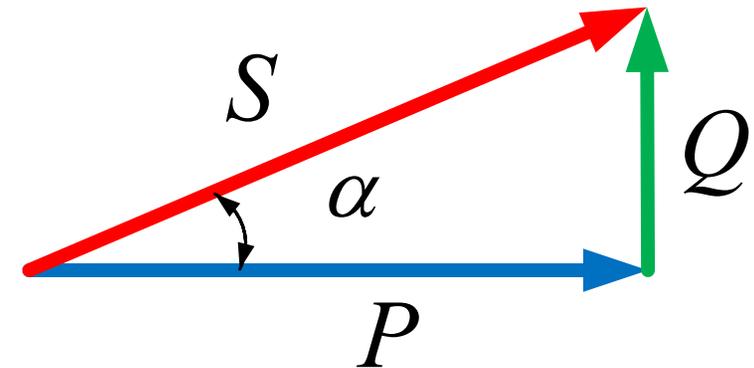
<http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia/Lists/Ahorro%20de%20energia/Attachments/3/Factordepotencia1.pdf>

Ejemplo de penalización por F.P bajo

En la Universidad Autónoma Metropolitana, se consumen en promedio 1050 kVA y 966 kW.

a) ¿Cuál es el F.P?

b) ¿Cuál es el porcentaje de penalización?



$$F.P = \frac{P}{S} = \cos(\alpha)$$

CONCEPTO	FÓRMULA	% MÁXIMO APLICABLE
BONIFICACIÓN	$\frac{1}{4} \left[1 - \left(\frac{90}{F.P.} \right) \right] \times 100$	2.5
PENALIZACIÓN	$\frac{3}{5} \left[\left(\frac{90}{F.P.} \right) - 1 \right] \times 100$	120

Fuente:

<http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia/Lists/Ahorro%20de%20energia/Attachments/3/Factordepotencia1.pdf>

Origen del bajo Factor de Potencia

La mayoría de los equipos eléctricos utilizan potencia activa o real que es la que hace el trabajo real y utilizan también la potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

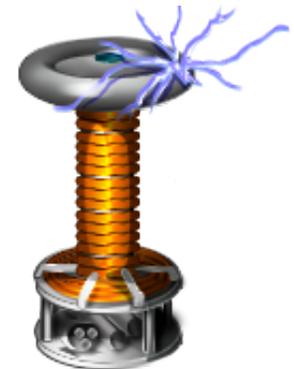
- ♦ Un gran número de motores.
- ♦ Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- ♦ Una sub-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.
- ♦ Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.



Problemas técnicos

Además del incremento en el importe de la facturación, un bajo factor de potencia también deriva en los siguientes problemas:

- ♦ Mayor consumo de corriente.
- ♦ Aumento de las pérdidas en conductores.
- ♦ Desgaste prematuro de los conductores.
- ♦ Sobrecarga de transformadores y líneas de distribución.
- ♦ Incremento en caídas de voltaje.



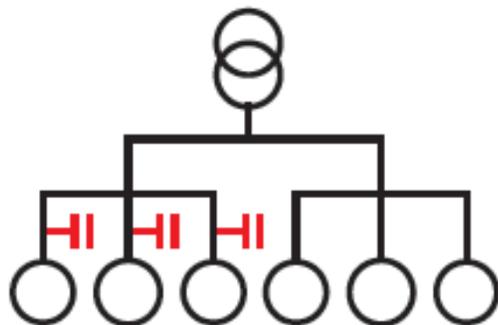
¿Cómo corregir su factor de potencia?

Ya que el bajo factor de potencia se origina por la carga inductiva, que algunos equipos requieren para su funcionamiento, es necesario compensar este consumo reactivo mediante bancos de capacitores y/o filtros de armónicas (Carga lineal y no lineal).

Se pueden manejar tres arreglos para la aplicación de capacitores, los cuales pueden combinarse entre sí según el arreglo que más beneficie en cada caso.

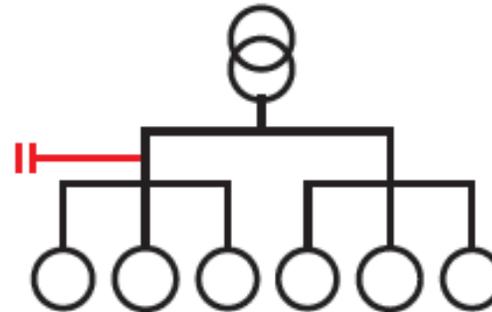
Compensación individual:

Únicamente estaría en servicio cuando opere la carga a controlar.



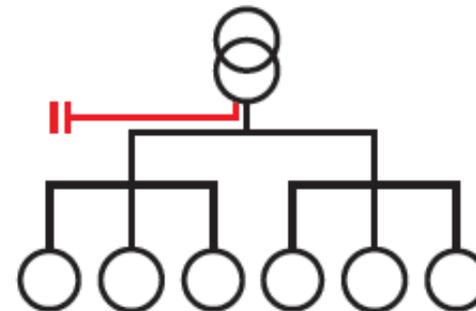
Compensación en grupo:

Varias cargas de igual capacidad y periodo de trabajo, se pueden compensar con un capacitor en común, en un punto único como un centro de carga.



Compensación central:

Cargas distintas que operan a diferentes períodos pueden ser compensadas, con un banco único de capacitores, conectado usualmente a la entrada de la instalación, el cual mejora el nivel de voltaje pero no reduce las pérdidas.

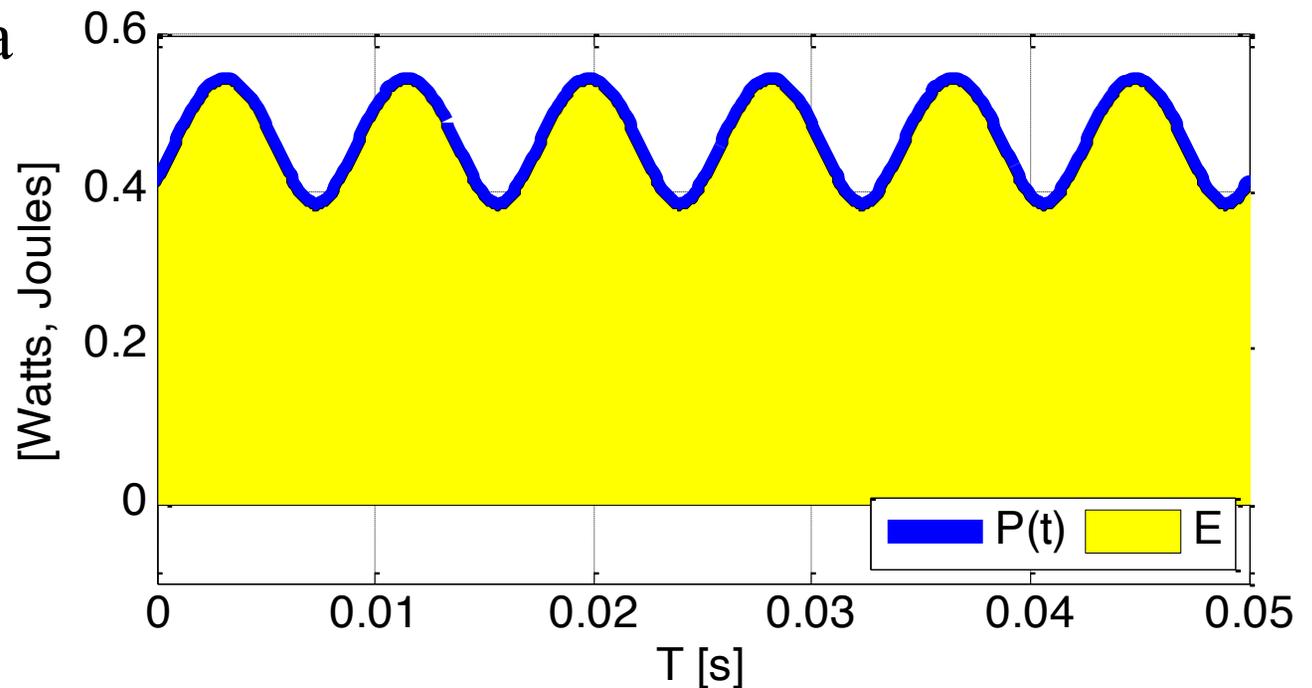


Energía Eléctrica

La energía eléctrica en el sistema internacional de unidades se mide en Joules [J] y representa el trabajo efectivo que genera un voltaje y una corriente a determinado tiempo.

De forma matemática podemos representar la energía eléctrica como:

$$E = \int_0^t P(t) dt$$

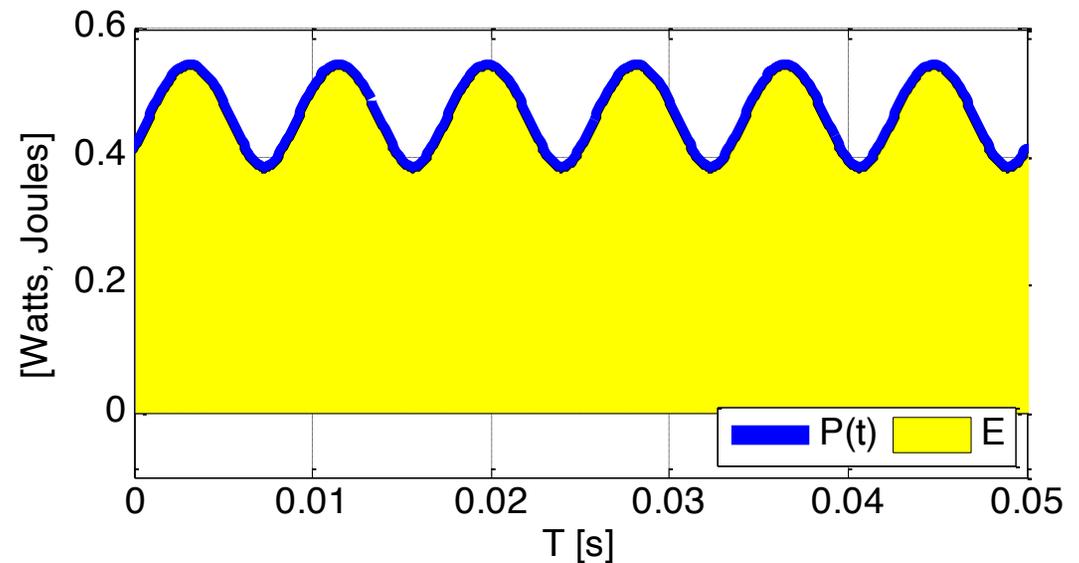
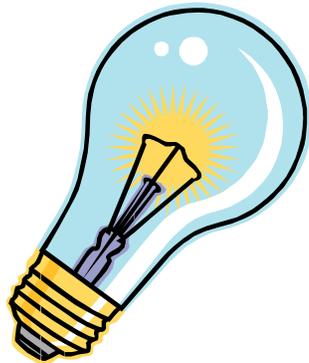


Energía Eléctrica y los Watts-Hora

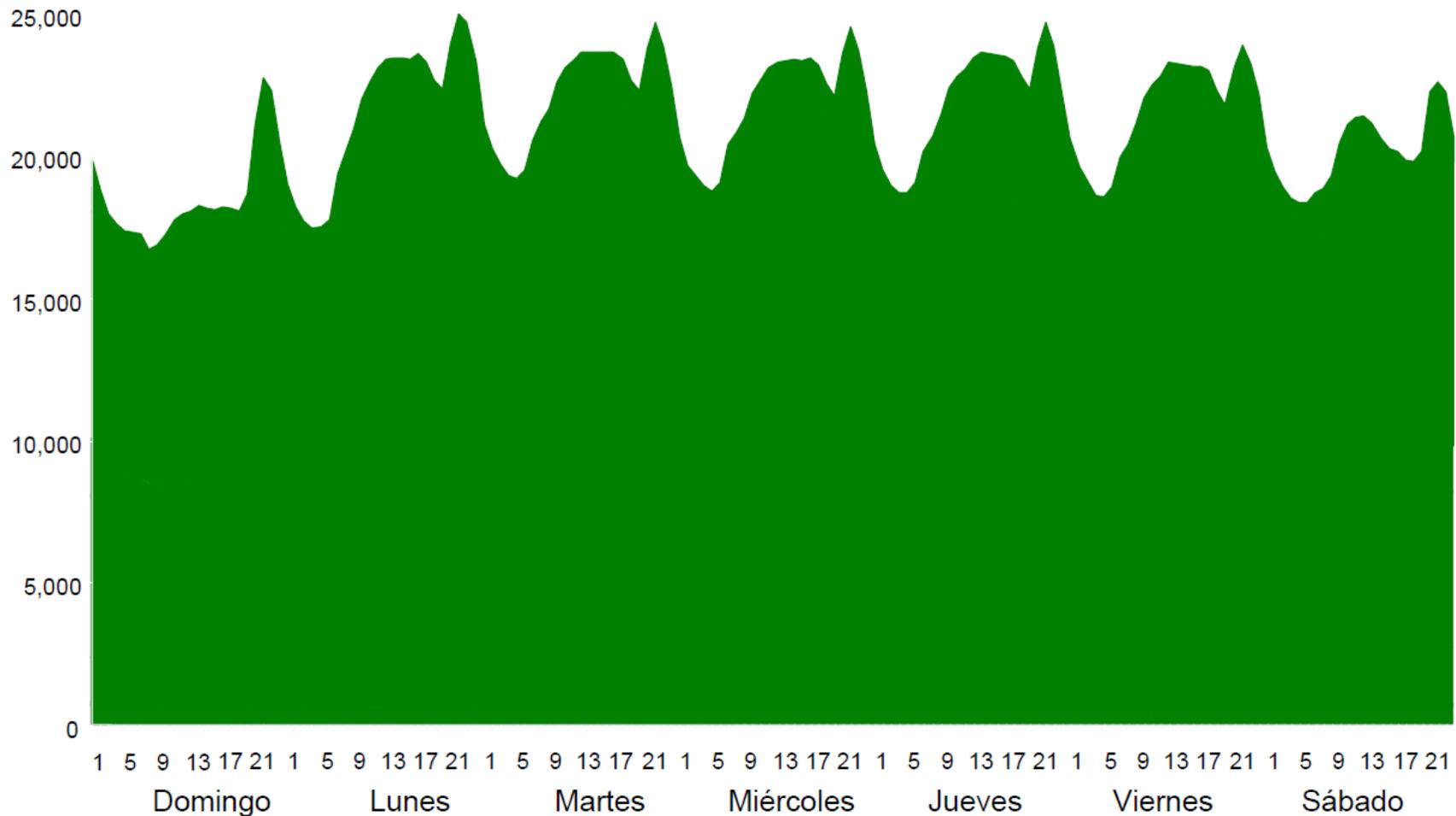
Los Joules [J] también se pueden representar como [W-s] pero debido a las cantidades de energía que se manejan día a día, es más común representar la energía en [W-H] o [Watts-Hora] donde:

$$1 \text{ W} - \text{H} \Rightarrow 3600 \text{ Joules}$$

Ejemplo: Si un foco incandescente de 75 W estuvo prendido durante un período de 2 hrs. ¿Cuántos Joules demandó el foco?



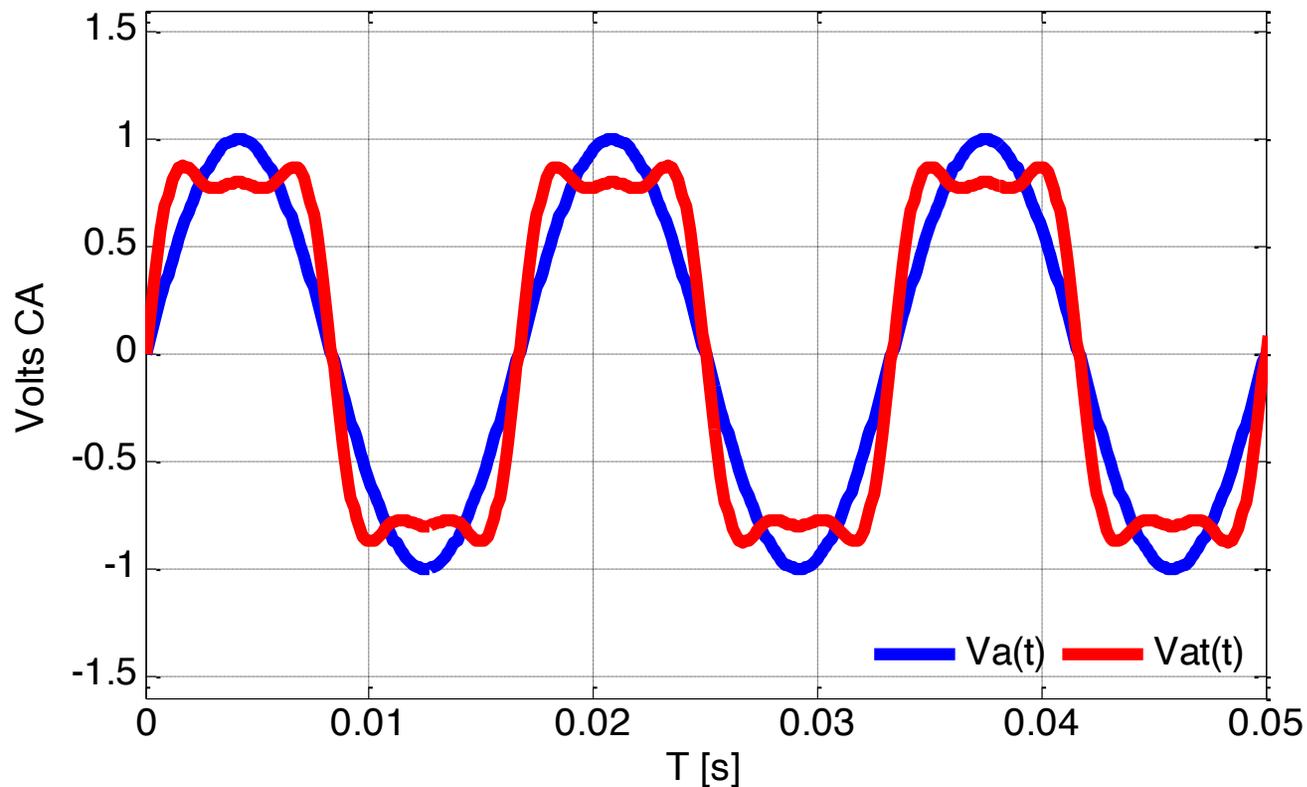
Comportamiento Horario de la Demanda de Energía Eléctrica en México



Fuente: Comisión Federal de Electricidad, <http://www.cfe.gob.mx/>

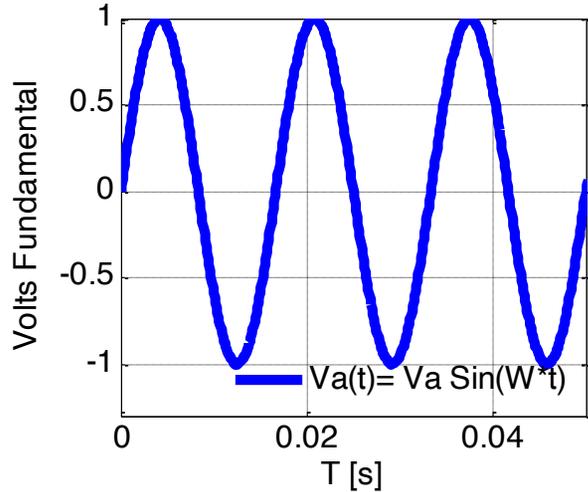
Armónicas en Ondas Senoidales

Los armónicos en las ondas senoidales son aquellas señales de frecuencias mayores que se encuentran anidadas en la señal de onda fundamental

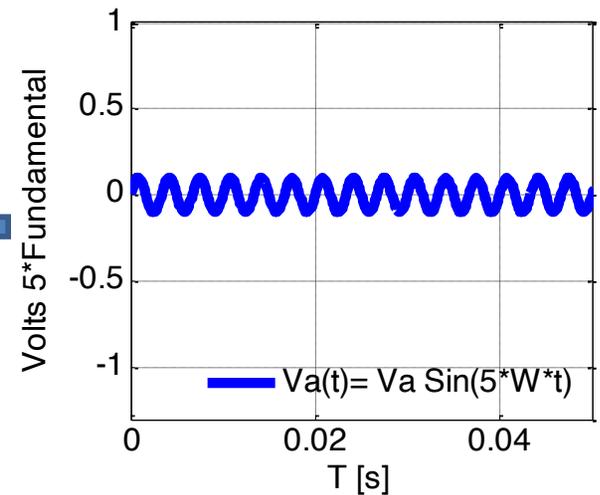
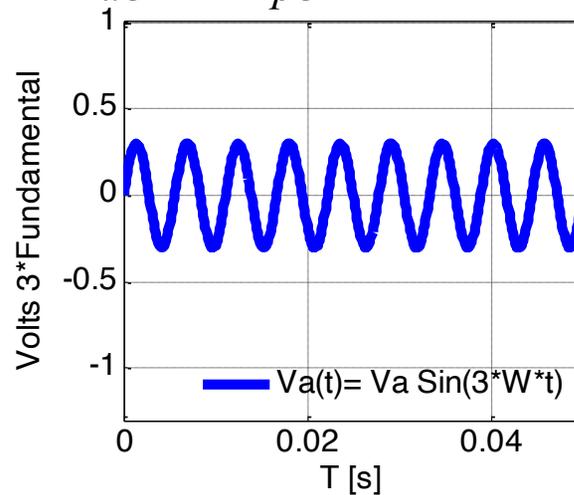


Ejemplo de Armónicas en Ondas Senoidales

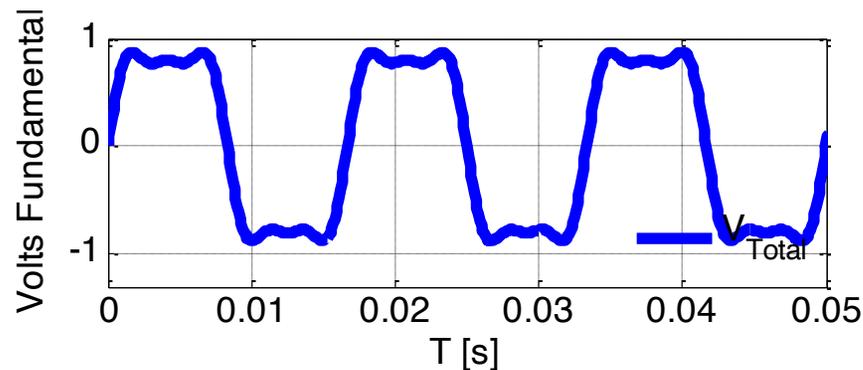
$$V_a = V_p \sin(\omega t)$$



$$V_{a3} = V_{p3} \sin(3 * \omega t) \quad V_{a5} = V_{p5} \sin(5 * \omega t)$$

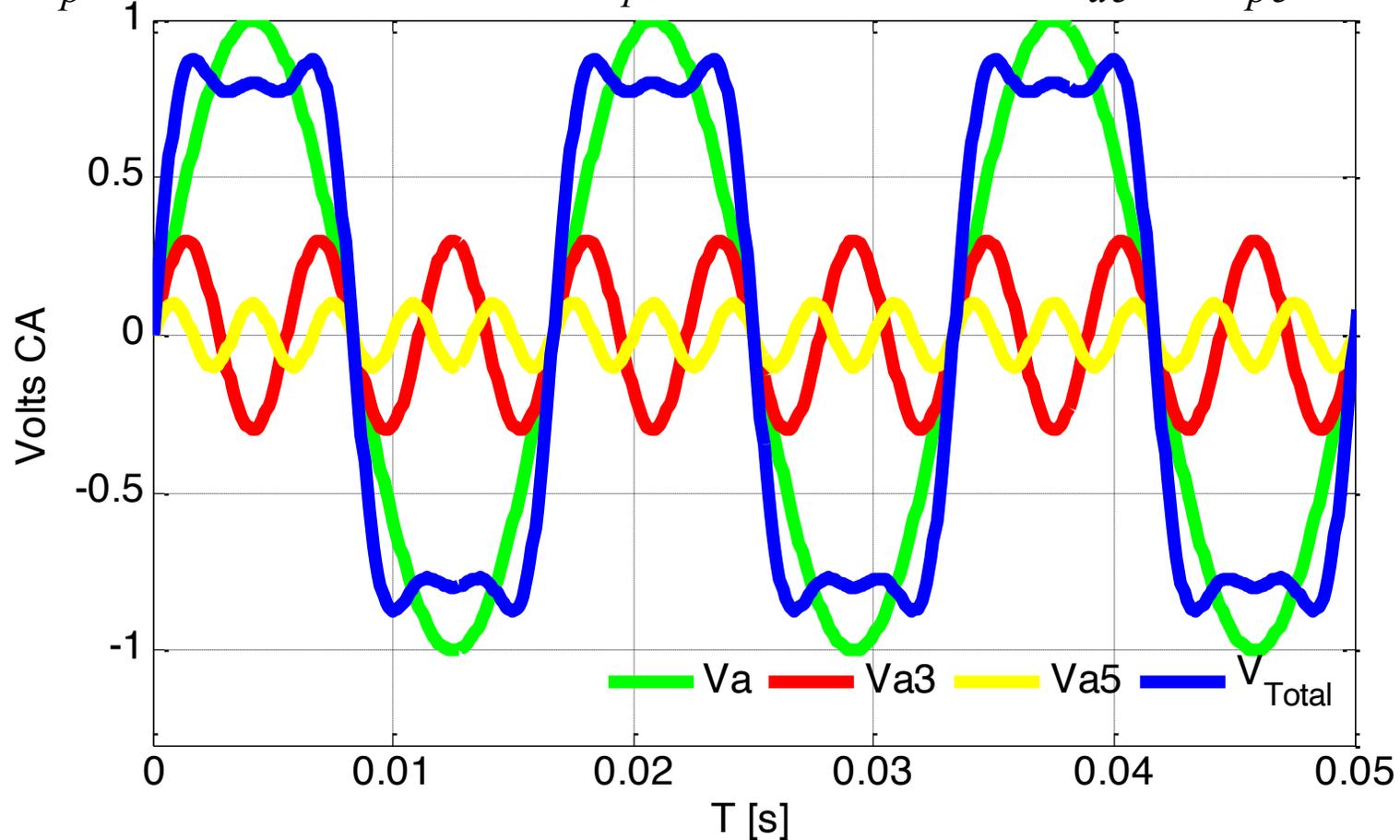


$$V_{Total} = V_a + V_{3a} + V_{5a}$$



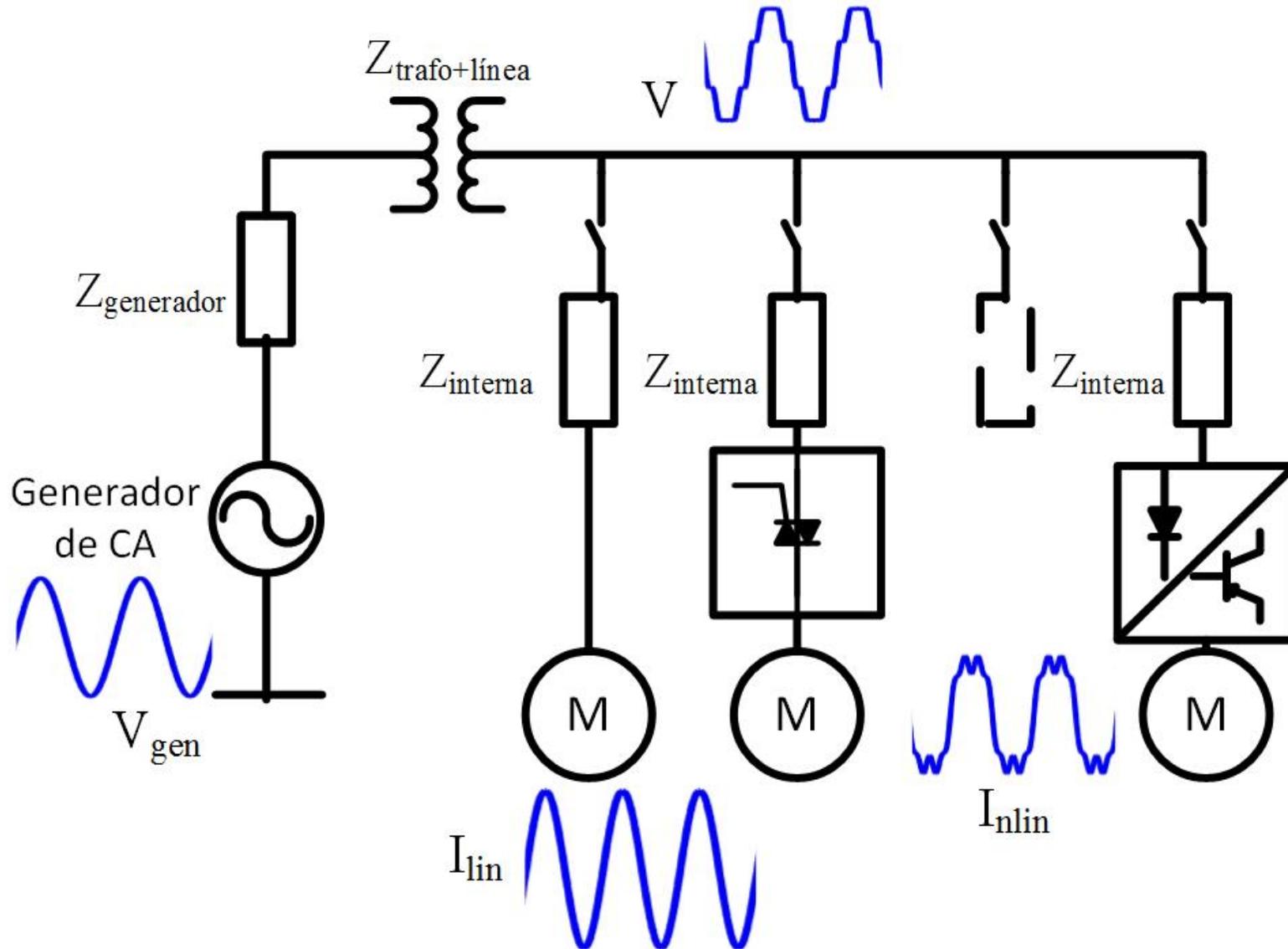
Ejemplo de Armónicas en Ondas Senoidales

$$V_a = V_p \sin(\omega t) \quad V_{a3} = V_{p3} \sin(3 * \omega t) \quad V_{a5} = V_{p5} \sin(5 * \omega t)$$



$$V_{Total} = V_a + V_{3a} + V_{5a}$$

¿Qué distorsiona la tensión?



Evaluación de las medidas

- **Valor eficaz/ RMS:**

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2} \quad [\text{A}]$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\sum_{i=1}^n V_i^2} \quad [\text{V}]$$

- **Distorsión Individual:**

$$I_n (\%) = \frac{I_n}{I_1} \times 100$$

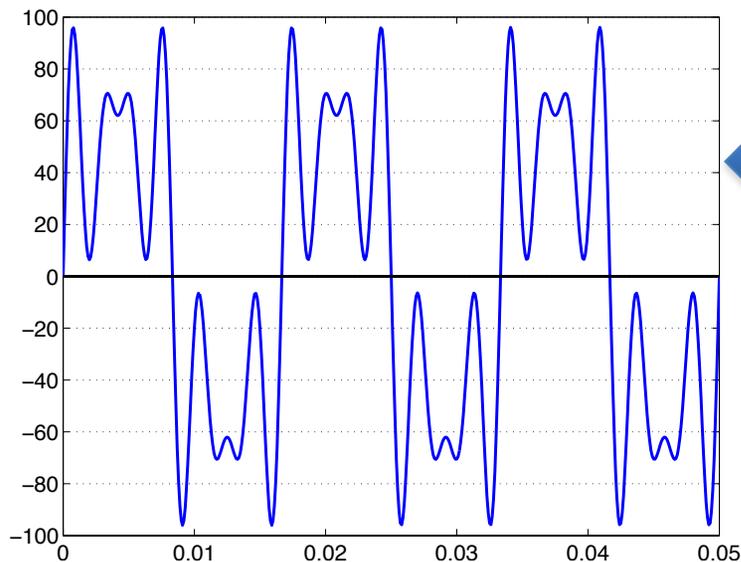
$$V_n (\%) = \frac{V_n}{V_1} \times 100$$

- **Tasa de Distorsión Armónica:**

$$THD_I (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2}}{I_1} \times 100 \quad THD_V (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n V_i^2}}{V_1} \times 100$$

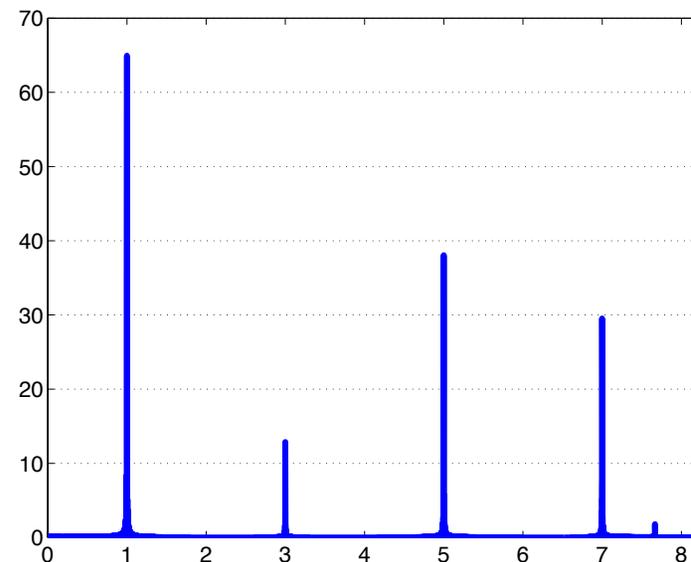
Ejemplo de medidas fundamentales

$$I_1 = 65 \text{ A}, I_3 = 13 \text{ A}, I_5 = 39 \text{ A}, I_7 = 31 \text{ A}, I_9 = 2 \text{ A}$$



← Forma de onda

Espectro →

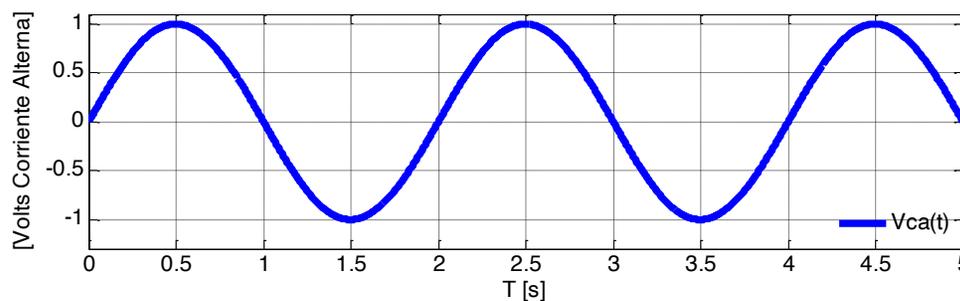
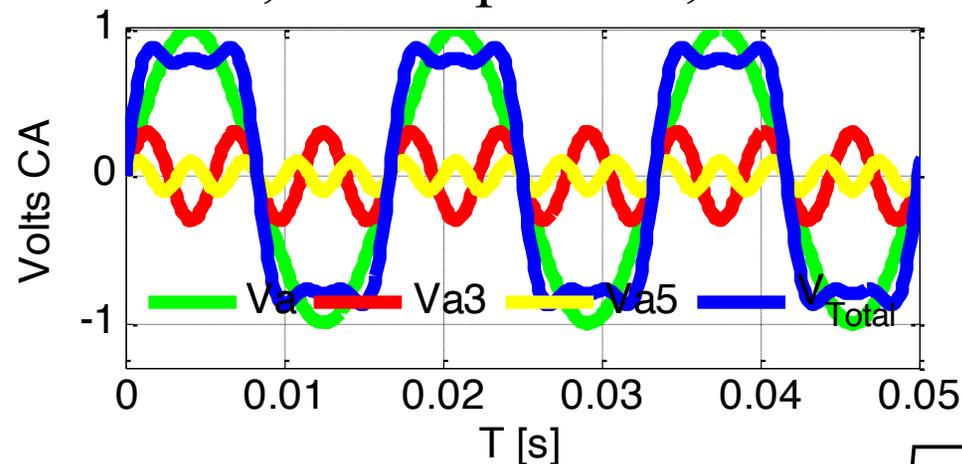
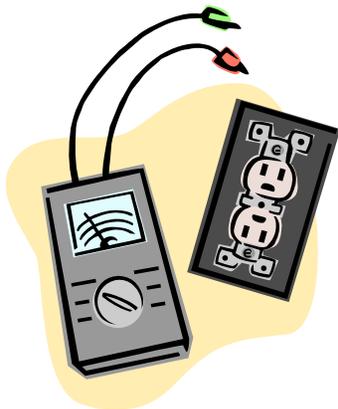


Efecto de los armónicos

Elemento	Problema	Efecto
Conductor	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la corriente • Aumento de pérdidas térmicas (efecto Joule) 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento de cables (deterioro) • Disparo de protecciones
Conductor Neutro	<ul style="list-style-type: none"> • Circulación de armónicos múltiplos de 3 • Retorno por el conductor neutro 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobreintensidad por el neutro • Calentamiento del neutro • Degradación prematura • Disparo de protecciones
Condensador	<ul style="list-style-type: none"> • Resonancia paralelo con el sistema • Amplificación de los armónicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento, envejecimiento prematuro y destrucción de los condensadores
Máquinas Eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> • Circulación de corrientes armónicas por los devanados y tensiones armónicas en bornes 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobre calentamiento y pérdida de aislamiento térmico (efecto Joule) • Aumento de pérdidas magnéticas (histéresis y Foucault) • Desclasificación (transformador) • Vibraciones en el eje, desgaste mecánico en rodamientos y excentricidades (motores)
Equipos de Medida y Control	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas no válidas • Errores en procesos de control 	<ul style="list-style-type: none"> • Valores de magnitudes incorrectas • Interferencias con sistemas de comunicación y control • Error en los instantes de disparo de tiristores

Calidad de la Energía

Es la normalización del suministro eléctrico mediante reglas que fijan los niveles, parámetros básicos, forma de onda, armónicos, niveles de distorsión armónica, interrupciones, etc.



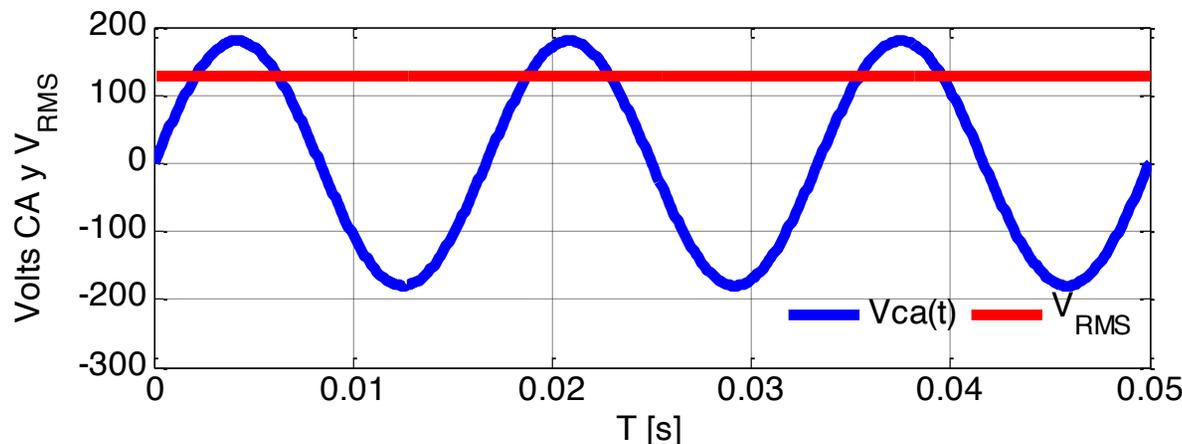
$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt}$$

Valor RMS

Calidad de la Energía

En otras palabras se dice que la calidad de la energía en un lugar es buena si se tiene:

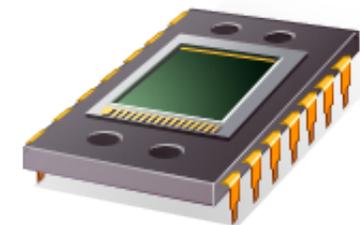
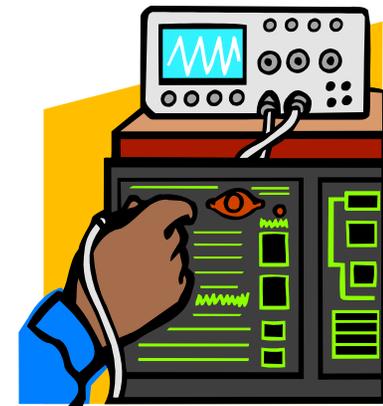
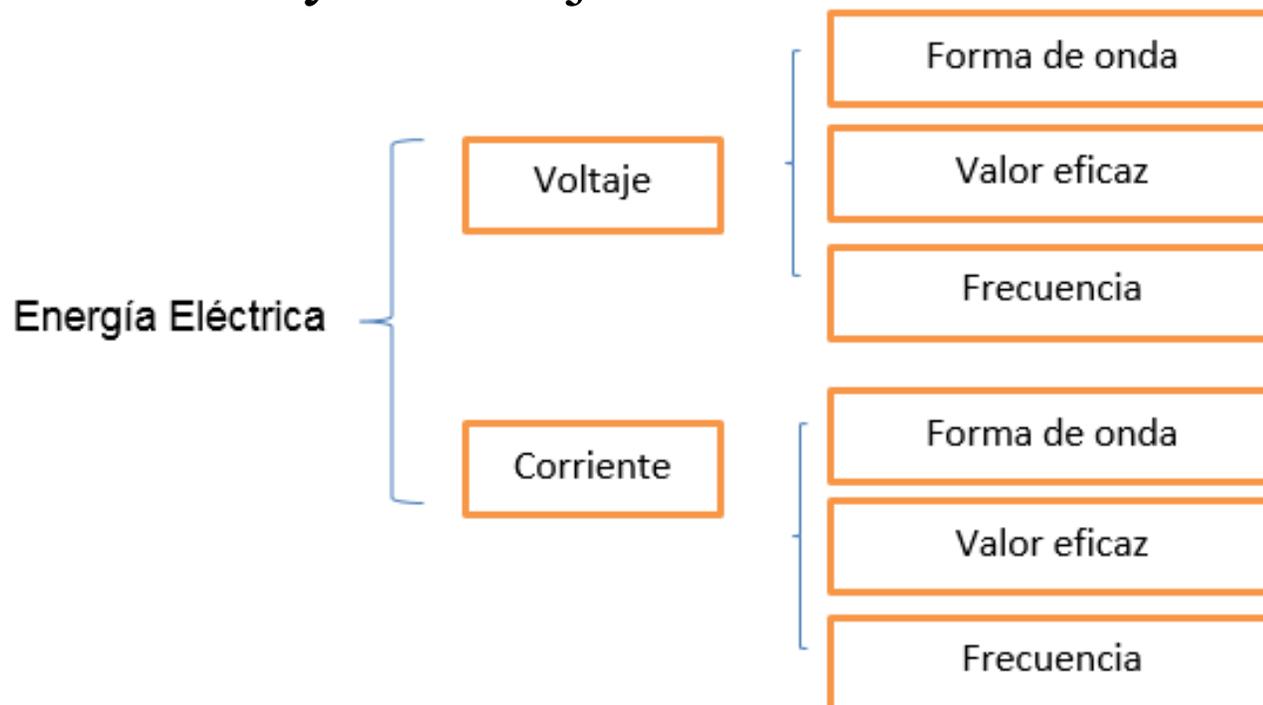
- Frecuencia constante de las ondas de **V** y **I**
- Valores pico constantes en las ondas de **V** y **I**
- Nulas componentes de armónicas en las ondas de **V** y **I**
- Un buen factor de potencia total en el sistema eléctrico
- Continuidad en suministro de energía eléctrica



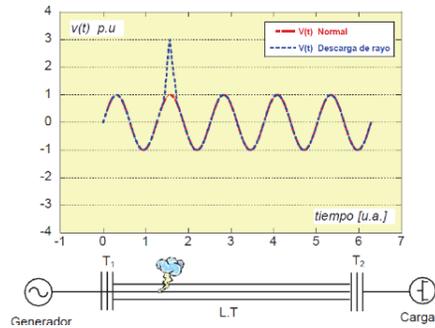
$$V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{180}{\sqrt{2}} \cong 127 [\text{Volts}]$$

Calidad de la Energía

Los dispositivos electrónicos son una fuente de perturbación para la calidad de la energía, los elementos no lineales como los transistores son los causantes de la deformación de ondas de corriente y de voltaje.



Importancia de la Calidad de la Energía



Efectos

Interrupción del servicio

Daño a equipos

Pérdida de producción

Operación en falso de equipos de protección

Niveles bajos de eficiencia en equipos

Causas

Cortocircuitos

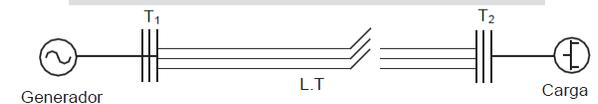
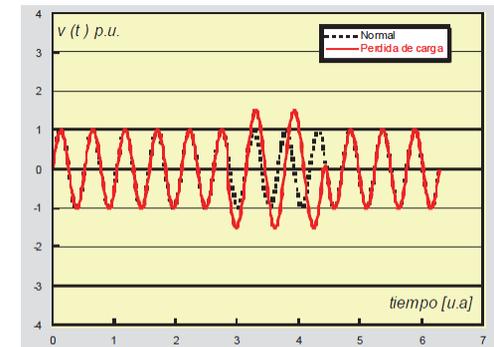
Descargas atmosféricas

Sobrecargas

Salida de carga

Switcheo de bancos de capacitores

Switcheo de transformadores

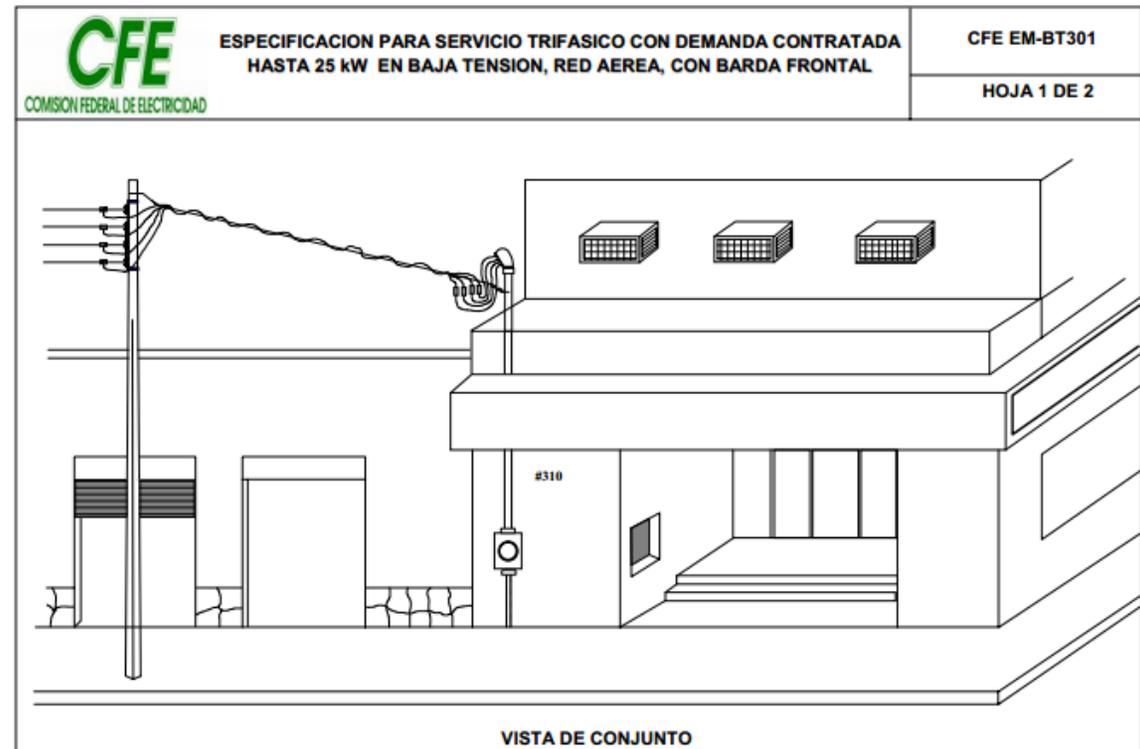


Consideraciones Sobre La Distribución De La Energía Eléctrica

- El nivel de voltaje típico para la alimentación monofásica es de 127 V de fase a neutro y para alimentación bifásica de 220 V de fase a fase.

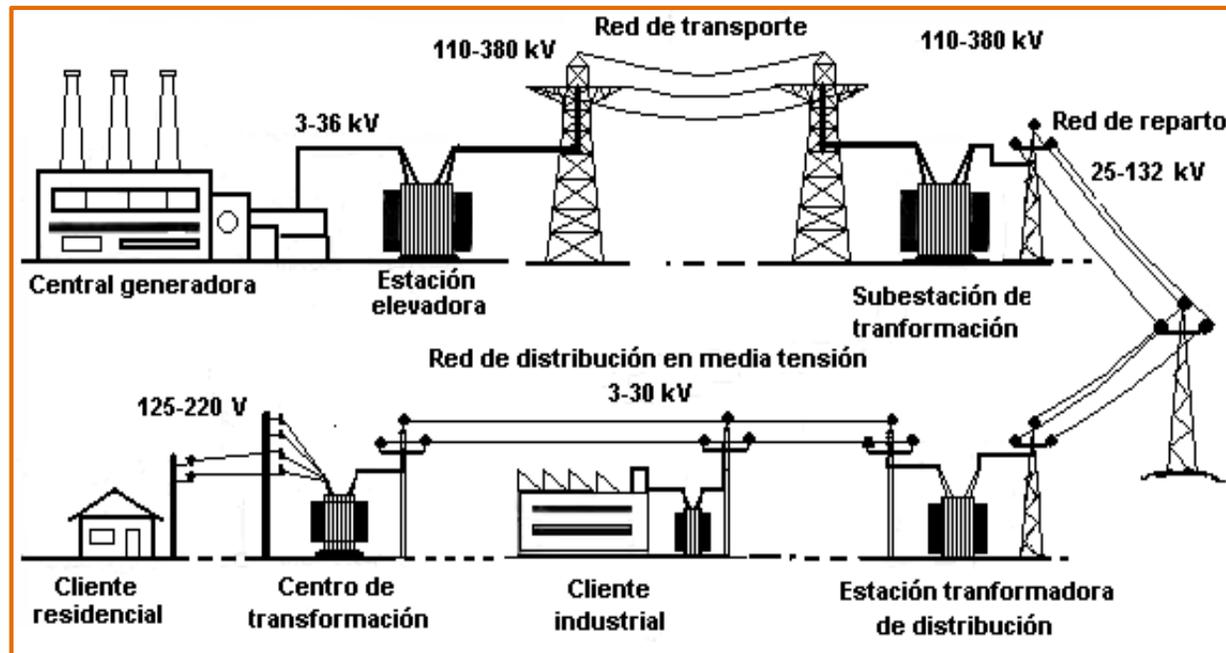
- La alimentación trifásica se proporciona generalmente a usuarios comerciales, agrícolas e industriales de consumos mayores.

- Los niveles de energía para alimentaciones trifásicas para usuarios comerciales e industriales en baja tensión son de 220, 440 y 480 volts, medidos de fase a fase.



Factores Que Afectan La Calidad De La Energía Eléctrica

1. La causa principal son las propias cargas, por su propia forma de funcionar durante los arranques y paradas, por la conmutación de corrientes importantes entre diversos circuitos, ocasionando todo ello caídas de tensión en las impedancias del sistema.
2. Otras veces son externas, siendo las más comunes las perturbaciones atmosféricas y las elevaciones del potencial de tierra en condiciones de defecto.
3. Y muy ocasionalmente por las plantas de generación y los sistemas de distribución



Algunas de las formas en que se afecta la calidad son:

- **Factor de potencia**
- **Armónicas**
- **Ruido eléctrico (interferencia)**
- **Fluctuaciones de voltaje**
- **Sobretensiones transitorias**
- **Interrupciones de energía**



Debido a la presencia de motores de inducción e iluminación principalmente en las instalaciones comerciales e industriales se tiene un factor de potencia inductivo o F.P (-).

Para compensar este factor de potencia inductivo existen los siguientes tipos de soluciones:

- Instalar bancos de capacitores fijos (hasta 10% de la capacidad del transformador).
- Instalar bancos de capacitores automáticos.
- Instalar o aprovechar motores síncronos.
- Instalar compensadores activos de línea.

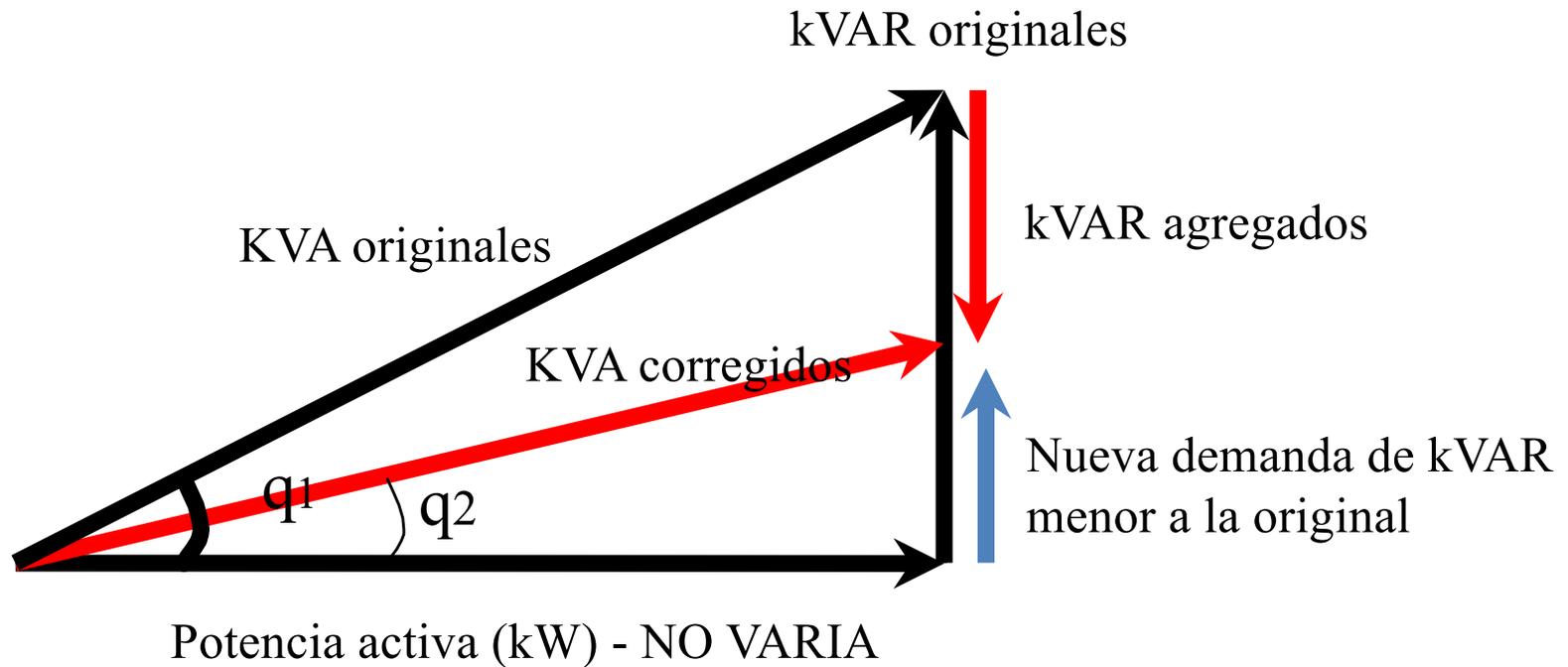
Desventajas De Un Bajo Factor De Potencia

- Pérdidas en conductores, transformadores, líneas de transmisión, etc.
- Aumento en la caída de voltaje por ley de ohm.
- Incremento de la potencia aparente, incremento de la corriente RMS.
- Penalización por parte de CFE.
- Pérdida de capacidad útil para futuros incrementos de carga.

Efectos Del Bajo Factor De Potencia En Los Conductores

Factor de Potencia %	Corriente Total Amperios	Aumento en la Corriente %	Tamaño relativo del alambre para pérdida %	Aumento en las pérdidas por calentamiento para Tamaño alambre %
100	100	0	100	0
90	111	11	123	23
80	125	25	156	56
70	143	43	204	104
60	167	67	279	179
50	200	100	400	300
40	250	150	625	525

Corrección del Factor de Potencia

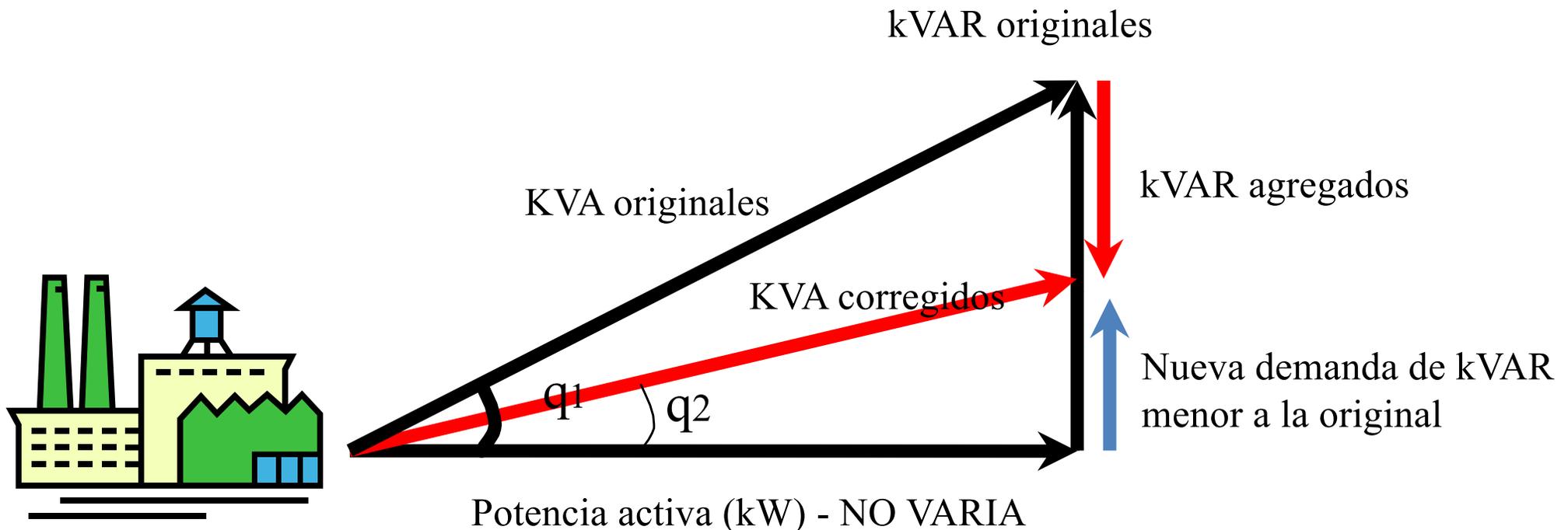


$\cos (q_1) =$ Factor de potencia original

$\cos (q_2) =$ Factor de potencia corregido

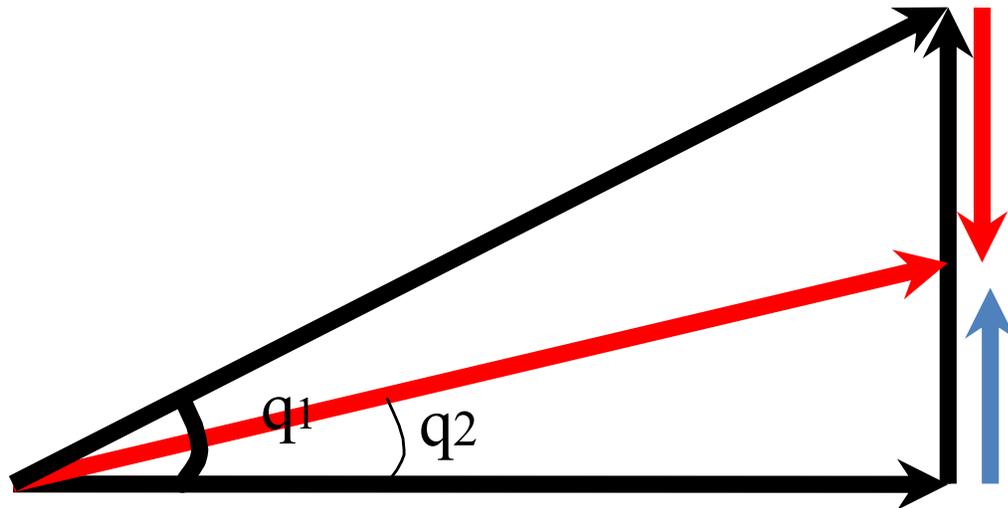
Problema de Corrección del Factor de Potencia

Se desea tener un Factor de Potencia de 0.95 (-), ¿Cuántos kVAR se tienen que agregar a una planta manufacturera que demanda 20 kW y 25 kVA?



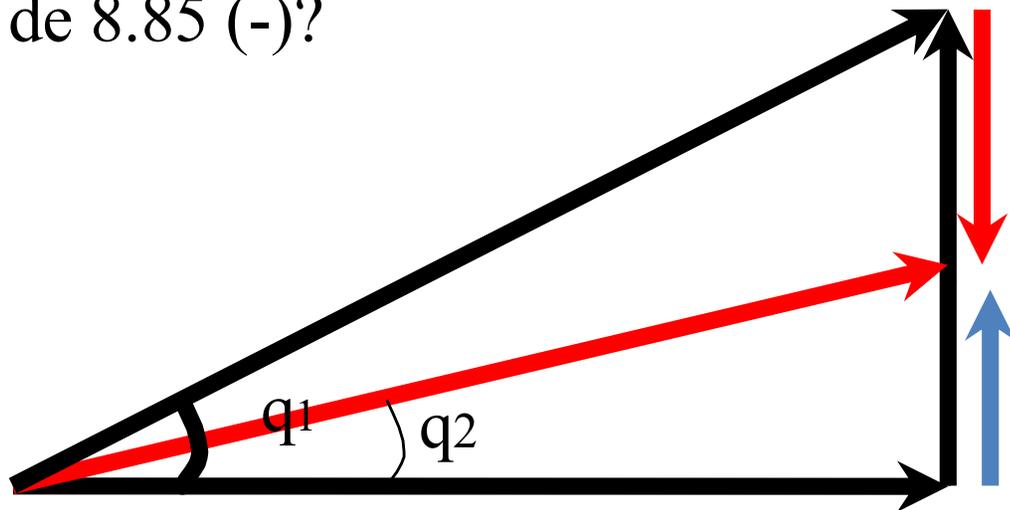
Problema de Corrección del Factor de Potencia

De que capacidad tiene que ser el banco de capacitores que se tiene que conectar para que una fabrica que demanda 200 kW y 150 kVAR, tenga un F.P de 0.9 (+) .



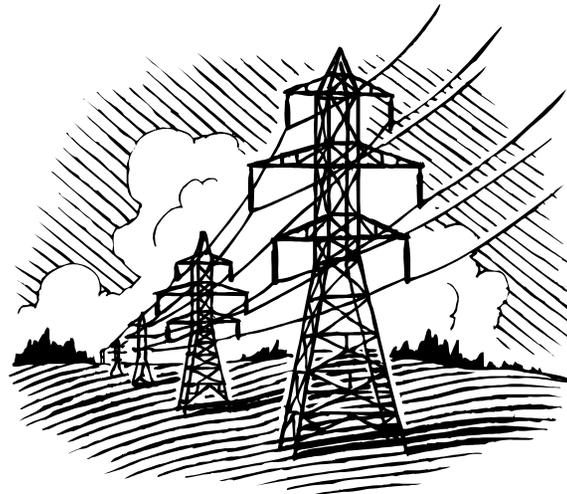
Problema de Corrección del Factor de Potencia

En una papelerera se consumen 300 kVA a un factor de potencia de 0.75 (-), se desea instalar un motor síncrono para una banda transportadora y a su vez poder mejorar el Factor de Potencia, si motor síncrono consume 10 kW, ¿Cuántos kVAR debe generar para tener un factor de potencia de 8.85 (-)?

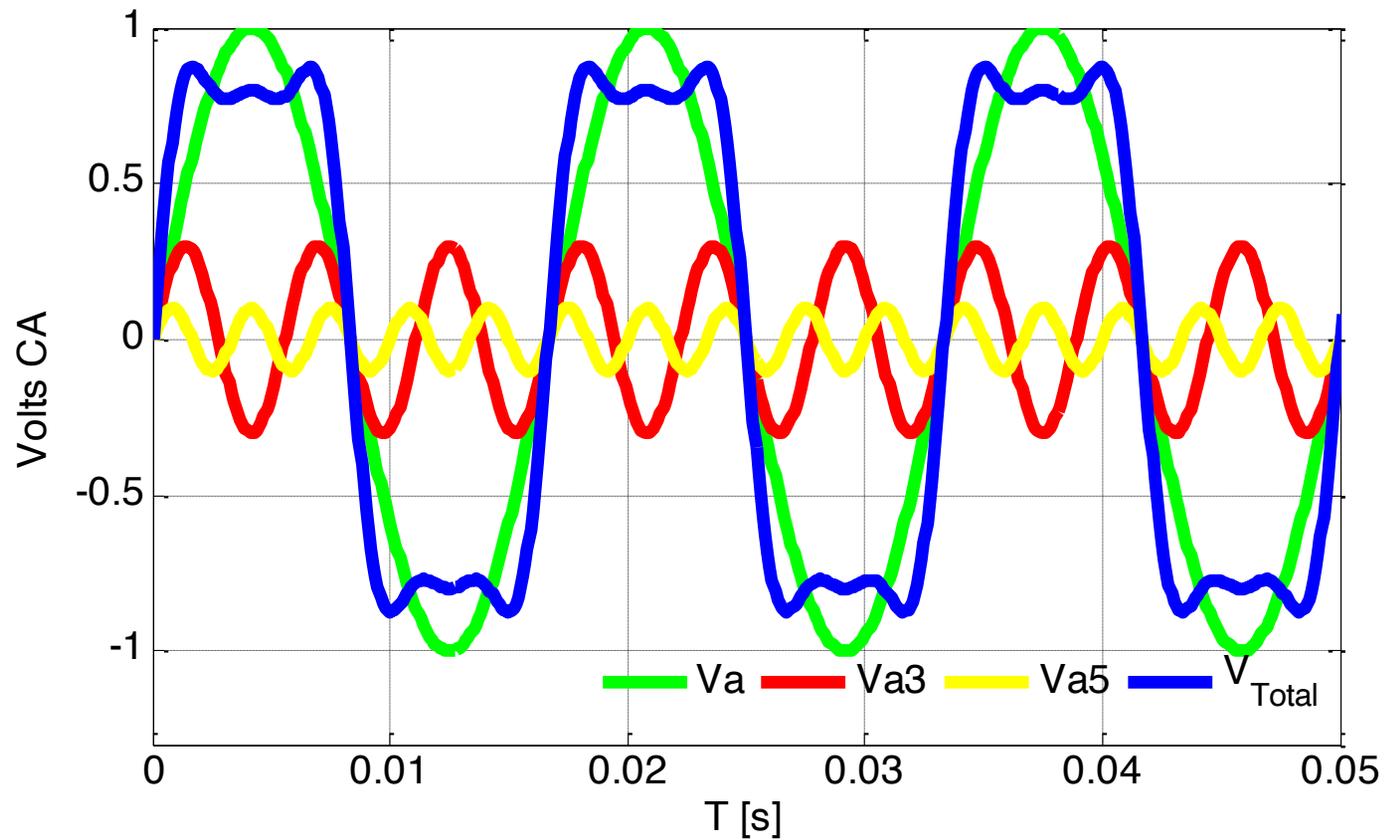


Ventajas De Un Buen Factor De Potencia

- Se disminuye la corriente y por lo tanto se libera carga de transformadores y conductores al eliminar de éstos la potencia reactiva.
- Por lo anterior, se cuenta con capacidad disponible para incrementos de cargas futuros.
- Operación menos caliente de equipos y conductores.
- Se minimizan pérdidas y se ahorra energía.
- Bonificación por parte de CFE.



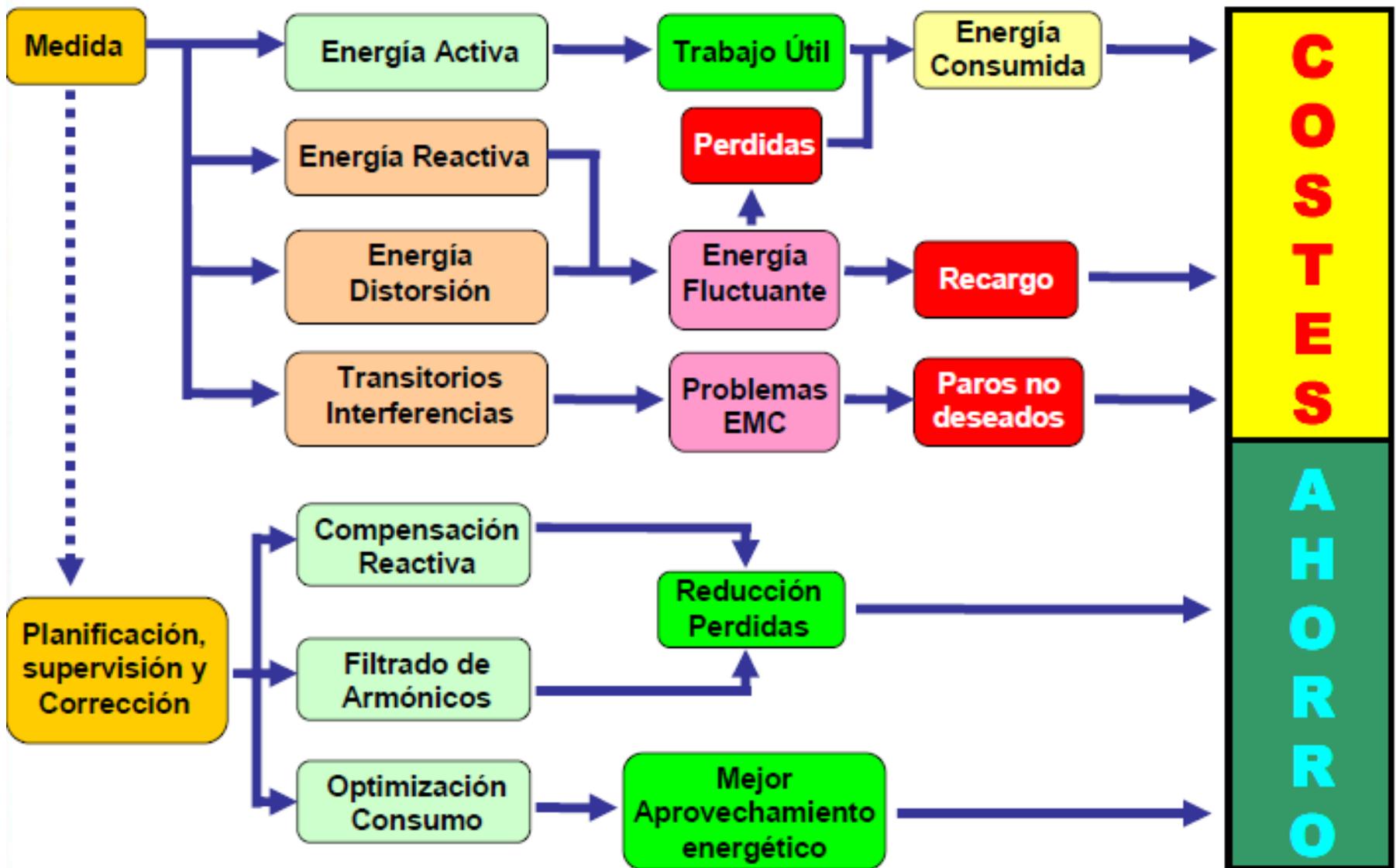
No te olvides de las Armónicas!



Efectos De Las Armónicas Sobre Equipos

EQUIPO	EFECTO DE ARMÓNICAS	RESULTADO
<p>CAPACITORES (Todos, no solo los destinados a corregir el factor de potencia)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La impedancia del sistema decrece al incrementarse la frecuencia, así los capacitores actúan como un sumidero a donde las armónicas convergen. Sin embargo, los capacitores no producen armónicas. -La industria del sistema de alimentación puede entrar en resonancia con capacitores a varias frecuencias armónicas, causando grandes corrientes y voltajes. - Los capacitores secos no disipan muy bien el calor y, por consiguiente, son más susceptibles al daño por armónicas. - Ruptura del material aislante. - Los capacitores usados en computadoras son particularmente susceptibles, cuando estas no están usualmente protegidas por fusibles o relevadores. - Como regla general, los capacitores y dispositivos de transferencia son incompatibles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Calentamiento de los capacitores, debido a un incremento en las pérdidas dieléctricas. - Corto circuito. - Fallas de fusibles. -Explosión de capacitores.
<p>TRANSFORMADORES</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Las armónicas de voltaje causan alto voltaje y esfuerzos en el aislamiento; normalmente esto no es un problema significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Calentamiento del transformador. - Reducción de la vida útil. - Incremento de las pérdidas en el hierro y en el cobre. - Esfuerzos en el aislamiento. - Ruido
<p>MOTORES</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de las pérdidas. - Armónicas del voltaje producen campos magnéticos rotatorios a una velocidad correspondiente a la frecuencia armónica. 	<ul style="list-style-type: none"> -Calentamiento del motor. -Vibraciones mecánicas y ruido. - Impulsos de par de torsión. -Incremento de pérdidas en el hierro y el cobre en los devanados del rotor y del estator. En un 5-10%. - Reducción de la eficiencia. - Reducción de la vida útil. - Esfuerzos en el aislamiento de los devanados del motor.

EQUIPO	EFEECTO DE ARMÓNICAS	RESULTADO
INTERRUPTORES (Circuit breakers)	Las bobinas pueden no operar apropiadamente en presencia de corrientes armónicas.	- Falla al pretender interrumpir corrientes. - Falla del interruptor.
INDUCCIÓN ELECTROMECAÁNICA EN DISCOS DE RELEVADORES	Producen componentes adicionales al par, originando un efecto de retraso de tiempo en las características de operación del relevador.	- Velocidad incorrecta en relevador. -Lecturas incorrectas.
WATTHORIMETROS, RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE	Las armónicas producen un par adicional sobre el disco de inducción, causando una operación indeseable, pues estos dispositivos son solamente calibrados para operar a la frecuencia fundamental.	-Lecturas incorrectas.
EQUIPOS DE CONTROL ELECTRÓNICO	Los controles electrónicos son usualmente dependientes del cruce cero y picos de voltaje para un control adecuado; sin embargo, las armónicas pueden alterar significativamente estos parámetros, de tal manera que afectan en forma adversa su operación.	

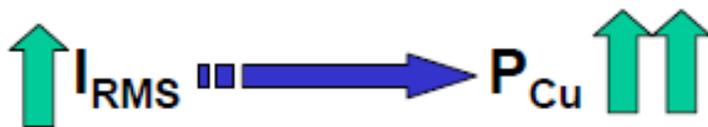


Efecto de los armónicos en los Transformadores

• Transformadores

□ Incremento de pérdidas por efecto Joule.

$$P_{Cu} = R \cdot I_{RMS}^2$$

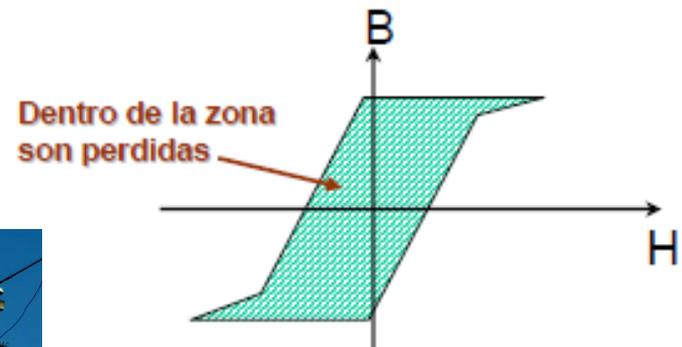


□ Incremento de pérdidas en el Hierro



Efecto

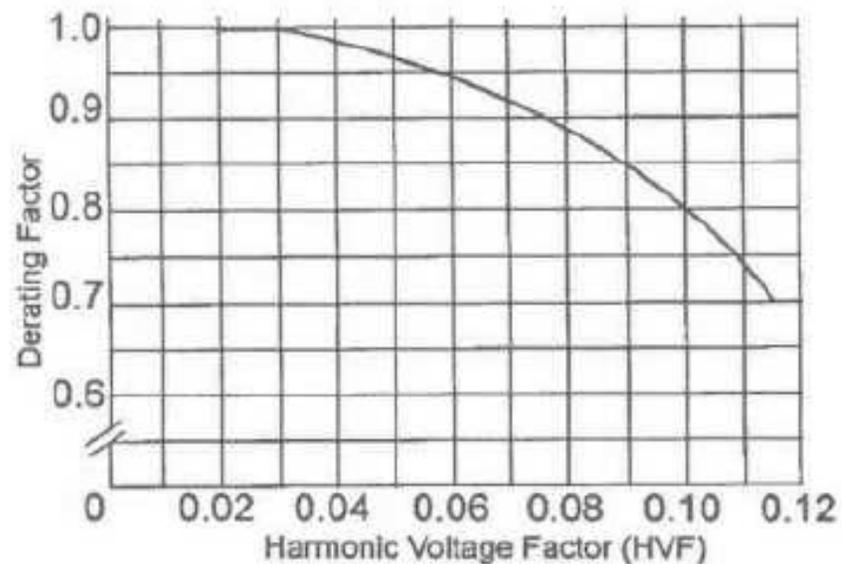
- Sobrecalentamiento en los devanados.
- Aumento pérdidas magnéticas.
- Rendimiento del transformador.



Efecto de los armónicos en los Motores

- Motores

$$HVF = \sqrt{\sum_{n=5}^{n=\infty} \frac{V_n^2}{n}} \quad HVF < 0,05$$



NORMA NEMA MG1.1993

NORMA IEC 60892

Efecto de los armónicos en Factor de Potencia

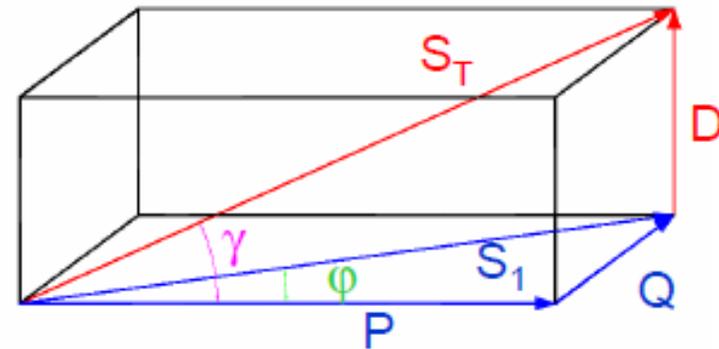
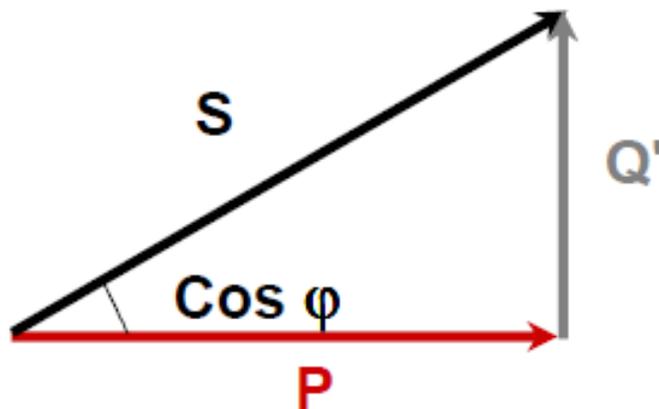
• Factor de potencia

□ Sin armónicos:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

□ Con armónicos:

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}$$



$$\cos \varphi \neq PF$$

• Factor de Potencia (Ejemplo):

$$P = 400 \text{ kW} ; Q = 192 \text{ Kvar} ; THDI\% = 48\%$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{400}{\sqrt{400^2 + 192^2}} = 0,90$$

$$PF_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + THDI^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,48^2}} = 0,90$$

$$PF = \cos\varphi \times PF_{Dist} = 0,9 \times 0,9 = 0,81$$

Normas para los armónicos

IEC 61000-3-4 

Table 10.3
Current Distortion Limits for General Distribution Systems
(120 V Through 69 000 V)

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{nc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

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

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

*All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{nc}/I_L .

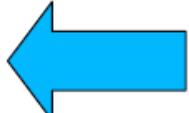
where

I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

Tabla 2
Valores de emisión de corriente de la etapa 2 para equipos monofásicos, bifásicos y trifásicos desequilibrados

R_{sc} mínimo	Tasa de distorsión de corriente armónica admisible %		Corriente armónica individual admisible I_n/I_1^* %					
	THD	PWHD	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}
66	25	25	23	11	8	6	5	4
120	29	29	25	12	10	7	6	5
175	33	33	29	14	11	8	7	6
250	39	39	34	18	12	10	8	7
350	46	46	40	24	15	12	9	8
450	51	51	40	30	20	14	12	10
600	57	57	40	30	20	14	12	10

NOTA 1 – El valor relativo de los armónicos pares no debe sobrepasar el 16/n %.
 NOTA 2 – Se autoriza la interpolación lineal entre los valores de R_{sc} sucesivos.
 NOTA 3 – En el caso de los equipos trifásicos desequilibrados, estos valores se aplican en cada fase.
 * I_1 = corriente fundamental asignada; I_n = componente de la corriente armónica.

 IEEE-519:1992

Para Eliminar los armónicos se pueden conectar Filtros

Ubicación

Efectos

Cuadro General



✓ Reducir el nivel de THDI que se genera hacia la red (punto de acoplamiento común)

Cuadros Secundarios



✓ Reducir el valor eficaz de la corriente en las líneas de la instalación sin pérdida de potencia
✓ Reducir pérdidas

Filtrado Individual

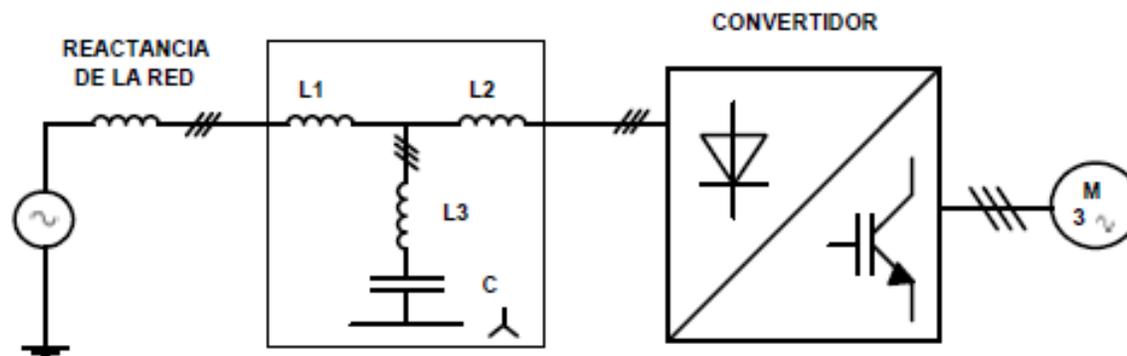


✓ Reducir la corriente eficaz en el punto donde se genera.
✓ Reducción de las pérdidas en todo el sistema

Uno de los filtros mas comunes es el “Inductor-Capacitor-Inductor” (LCL)

¿Cómo se conecta?

Se conecta de forma individual, aguas arriba del convertidor, justo delante de él y en serie.



¿Qué debemos saber de la instalación para poder ofertar un LCL?

- ✓ Tensión de trabajo de la red
- ✓ Frecuencia de la red
- ✓ Corriente consumida por el equipo



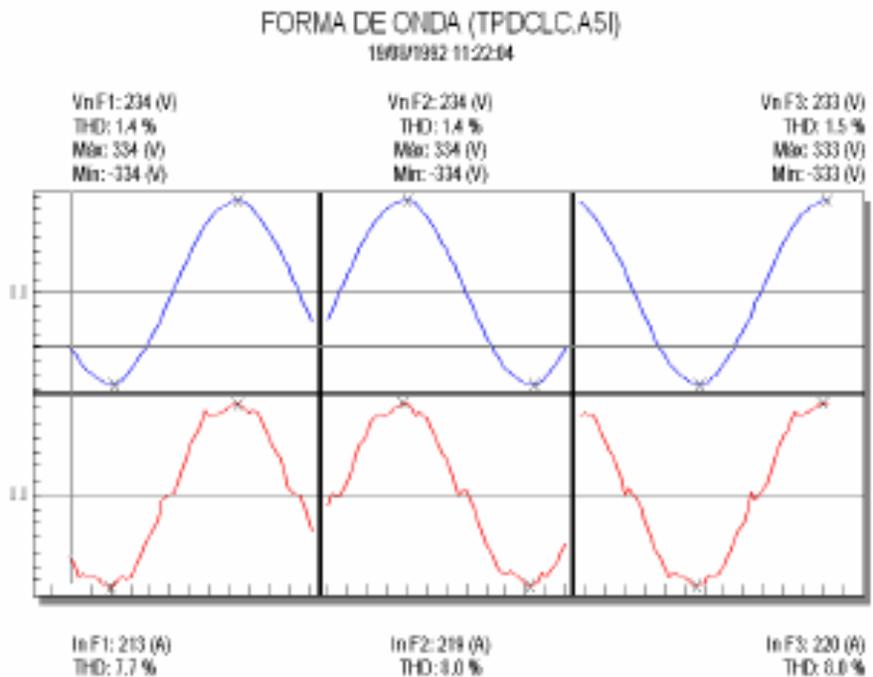
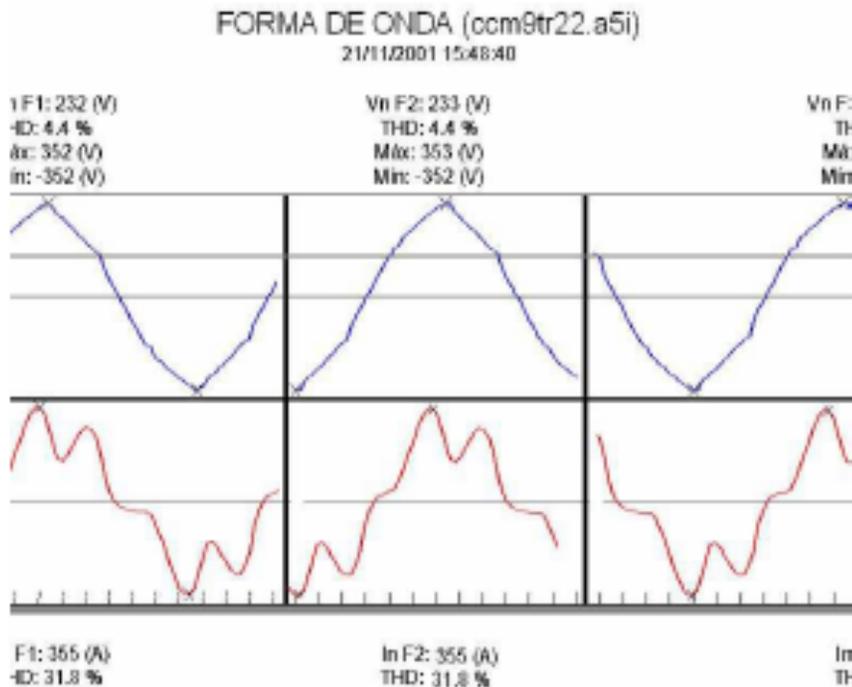
LCL de la marca Circuitor

Los filtros LCL están especialmente diseñados para eliminar los armónicos de la corriente absorbida por convertidores de potencia de 6 pulsos, tales como variadores de frecuencia para motores, SAI, etc. Se trata esencialmente de filtros pasivos a base de una combinación serie-paralelo de inductancias y condensadores, adaptados a filtrar la entrada de los convertidores de potencia.



SIN FILTRO

CON FILTRO, 70% DE CARGA

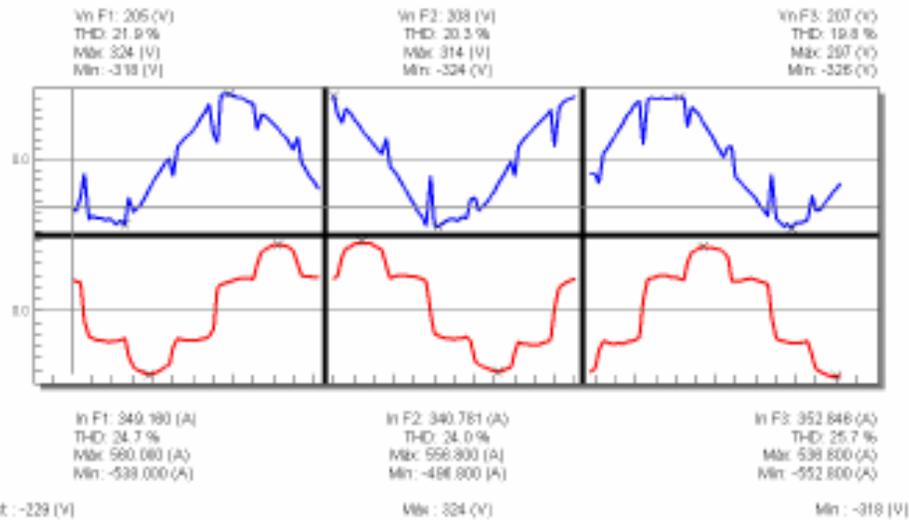


Corriente de línea sin filtro, THD(I)=32%; THD(V)=4,4% Corriente de línea con filtro, THD(I)=8%; THD(V)=1,4%

SIN FILTRO

FORMA DE ONDA (PLASMA2S.STD)

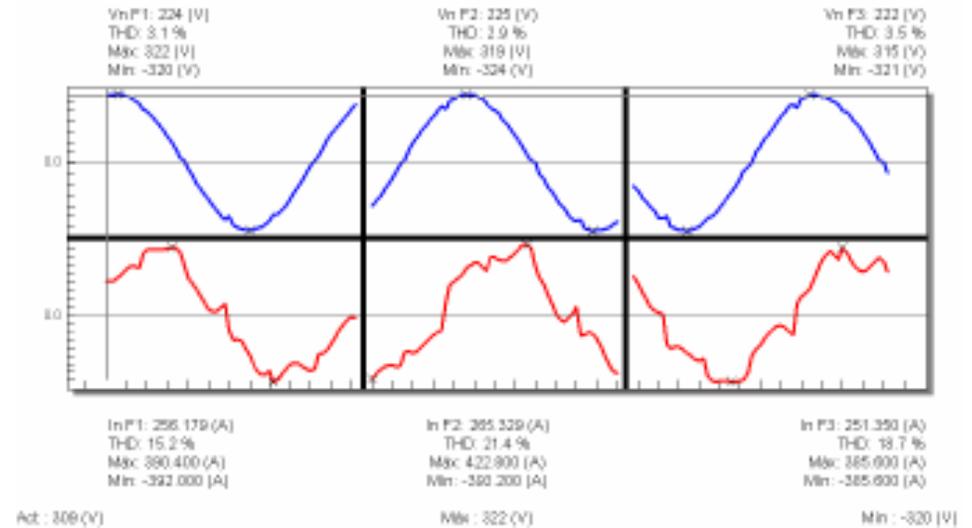
12/09/2007 17:00:12



CON FILTRO, 80% DE CARGA

FORMA DE ONDA (PLASMA2E.STD)

12/09/2007 18:55:19

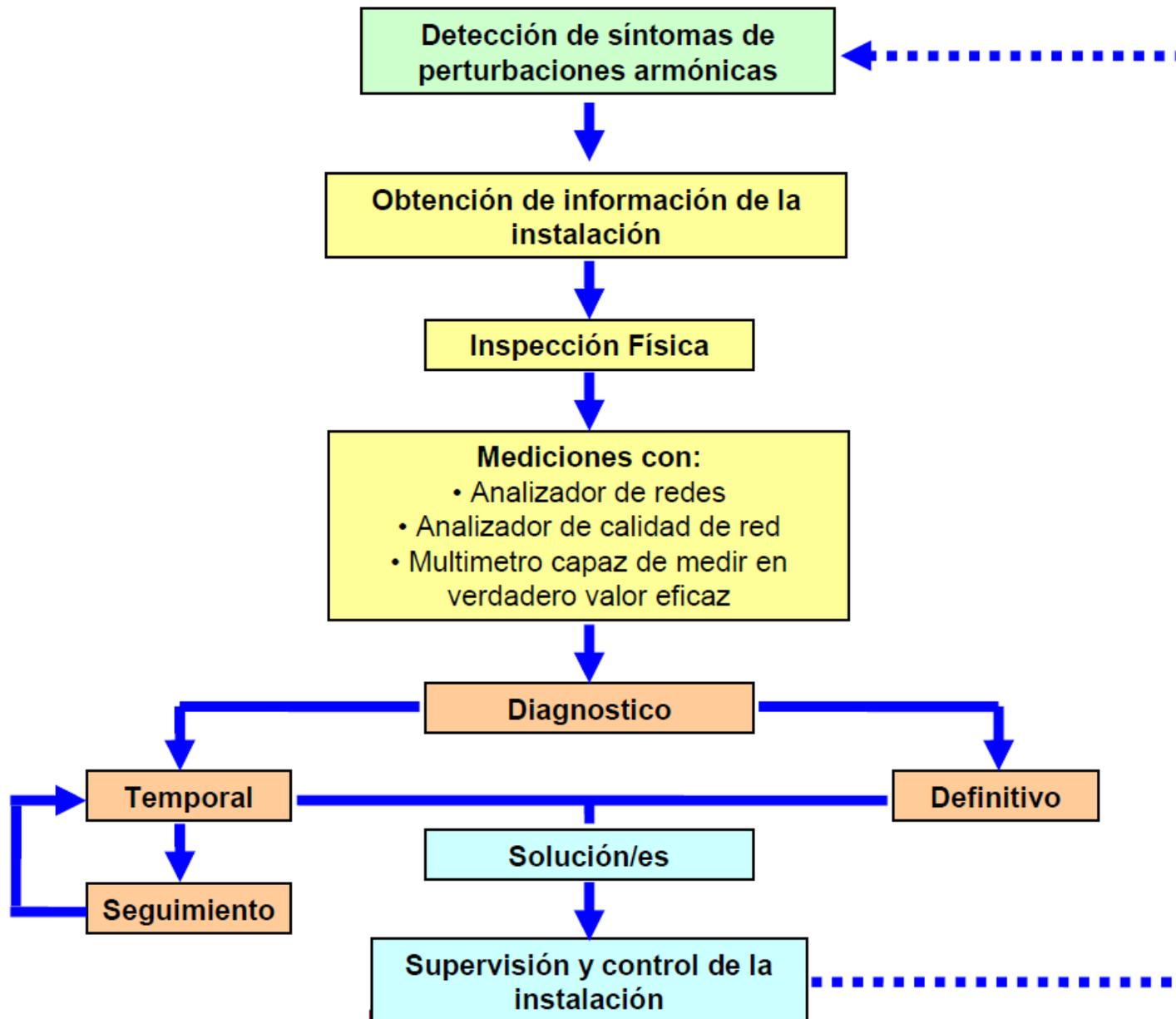


Corriente de línea sin filtro $I_{rms}=352\text{ A}$
 $THD(I)=25,3\%$; $THD(V)=21,9\%$

Corriente de línea con filtro $I_{rms}=250\text{ A}$
 $THD(I)=18,7\%$; $THD(V)=3,1\%$

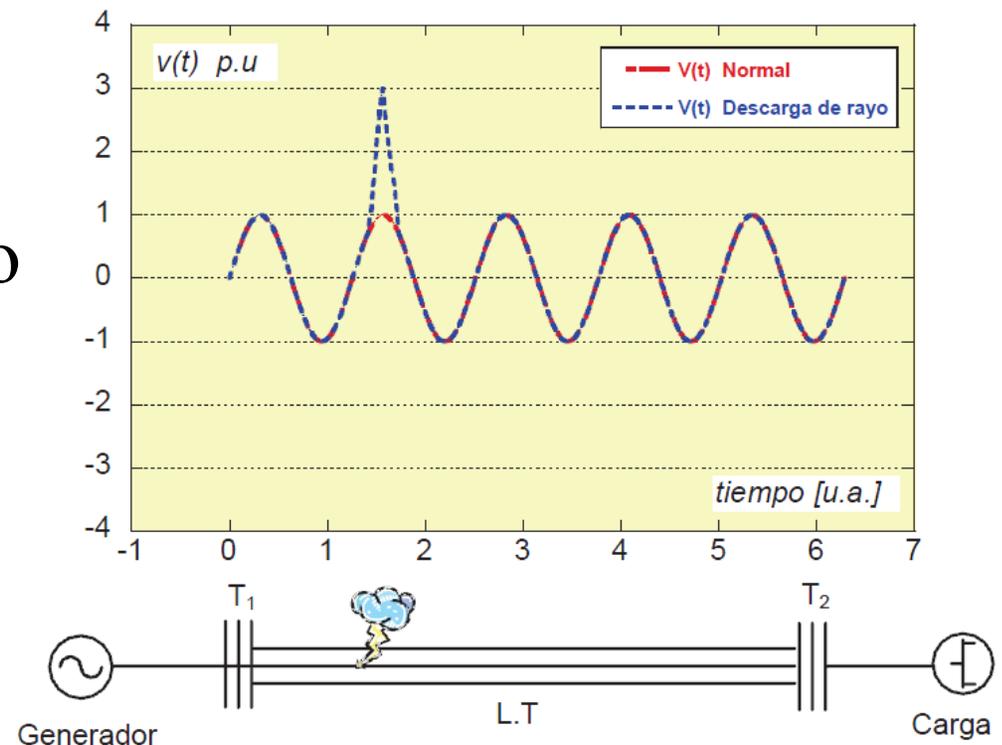
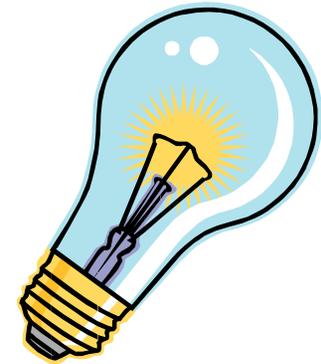
En valor absoluto:

- 29% menos corriente eficaz.
- 50% menos perdidas por efecto Joule.
- 44% menos de corriente distorsionante que se vierte a la red por esta maquina.



Fluctuaciones de Voltaje

- Sobre voltaje (over voltage)
- Bajo voltaje permanente (brownouts)
- Sobre voltaje momentáneo (swell)
- Bajo voltaje momentáneo (sag)



Sobre Voltaje Constante

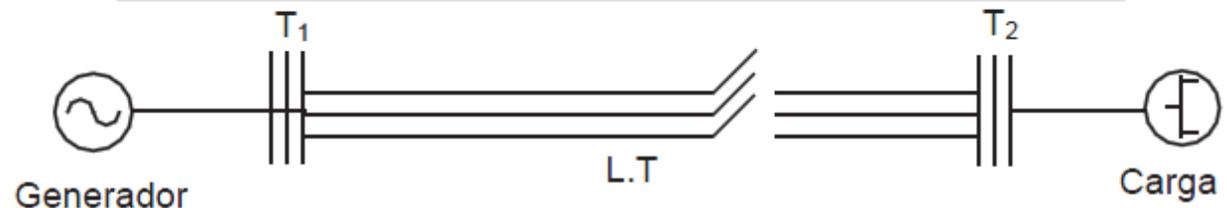
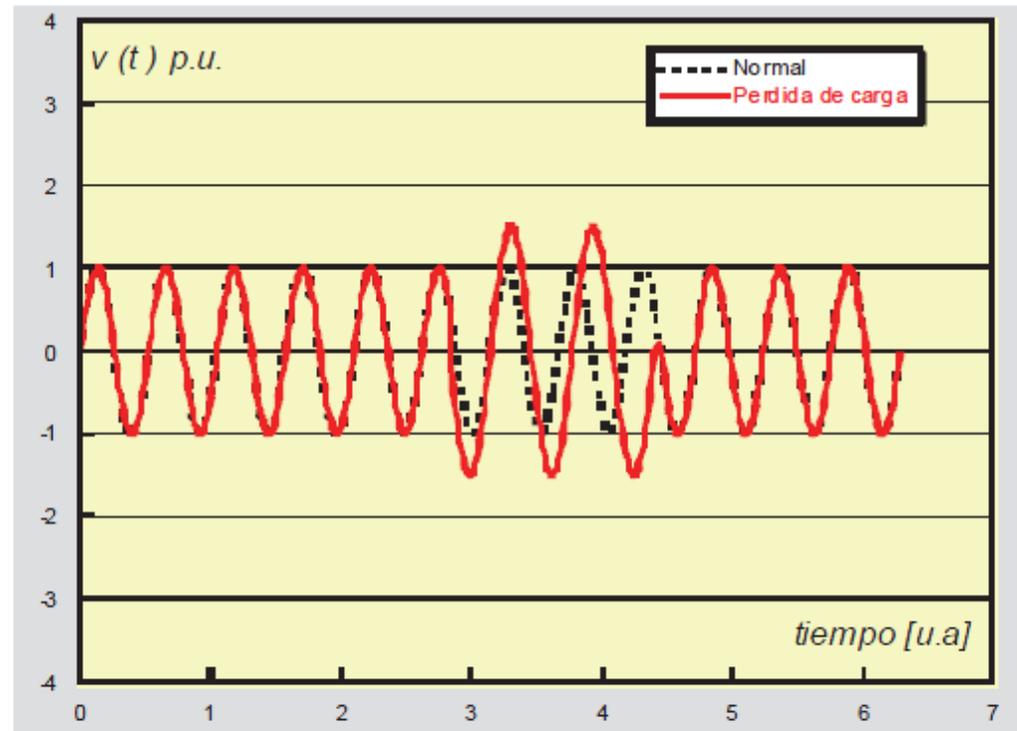
Aumento provisorio del voltaje RMS, puede durar varios ciclos, mas de un minuto

CAUSAS:

Apagado de cargas grandes (motores, aire acondicionado, etc.)

EFFECTOS:

Daño permanente a equipos y demás artículos eléctricos



Bajo Voltaje Constante

CAUSAS:

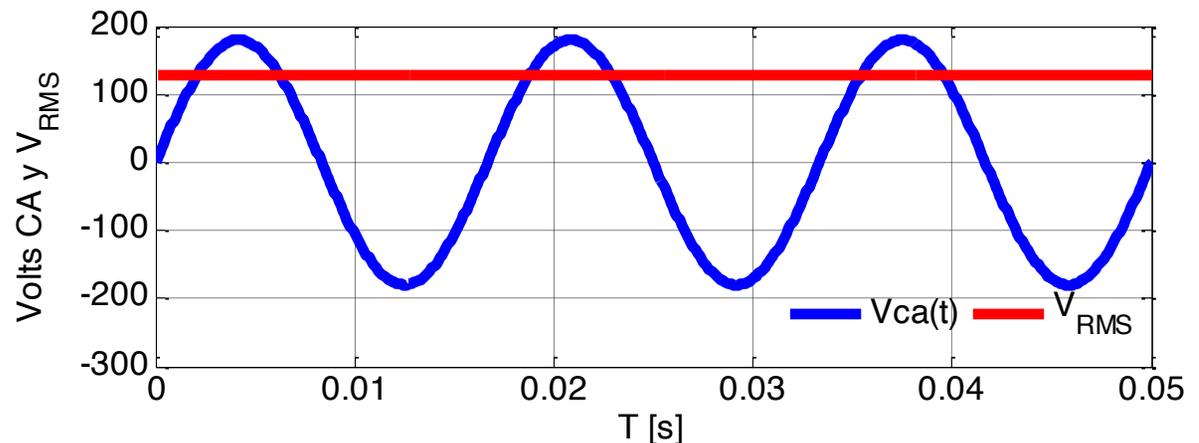
- Alta demanda en la red eléctrica
- Servicio situado al final de la red de distribución

EFFECTOS:

Falla de sistemas y falla ocasional de los equipos, reducción en la eficiencia y vida útil de los equipos eléctricos, especialmente de motores

SOLUCIONES:

- Regulador de voltaje
- Auto-Transformadores
- Seccionamiento de circuitos



Sobre Voltaje Momentáneo (Swell)

"Swell". Aumento en el valor efectivo del voltaje de alimentación con duración de medio ciclo a unos 600 ciclos (de 8.333 ms a 0.5 s).

CAUSAS:

Apagado de cargas grandes (motores, aire acondicionado, etc.)

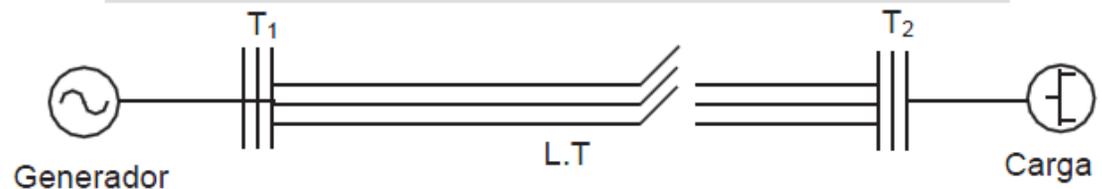
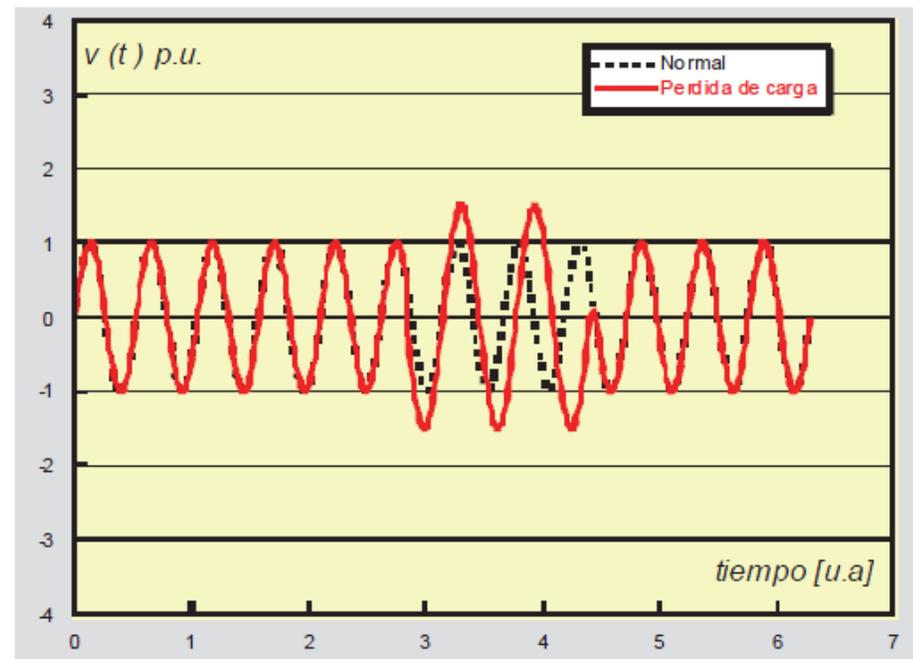
Accionamiento de cuchillas por parte de CFE

EFFECTOS:

Daño permanente a equipos y demás artículos eléctricos, pérdida de datos computo

SOLUCIONES:

- Regulador de voltaje/acondicionador de energía
- Estabilizador UPS con regulación de voltaje



Bajo Voltaje Momentáneo (Sag)

Los bajo voltajes de corta duración (0.5 – 30 ciclos) son llamados “Sags” o “Dips”. Un sag de voltaje consiste en la reducción de la magnitud seguida de una recuperación después de un corto periodo de tiempo.

CAUSAS:

Arranque de cargas grandes
(motores, aire acondicionado, etc.)
Conmutación en la compañía eléctrica, cortos circuitos.

EFFECTOS:

Falla de sistemas, falla ocasional de los equipos, reducción en la eficiencia y vida útil de los equipos eléctricos, especialmente de motores

SOLUCIONES:

- Regulador de voltaje/acondicionador de energía
- Estabilizadores UPS
- Suministros de CC



Sobretensiones Transitorias (Impulsos / Picos)

Voltaje alto y angosto o impulso de corriente superimpuesto en la onda de CA, van del orden de mili a nano segundos

CAUSAS:

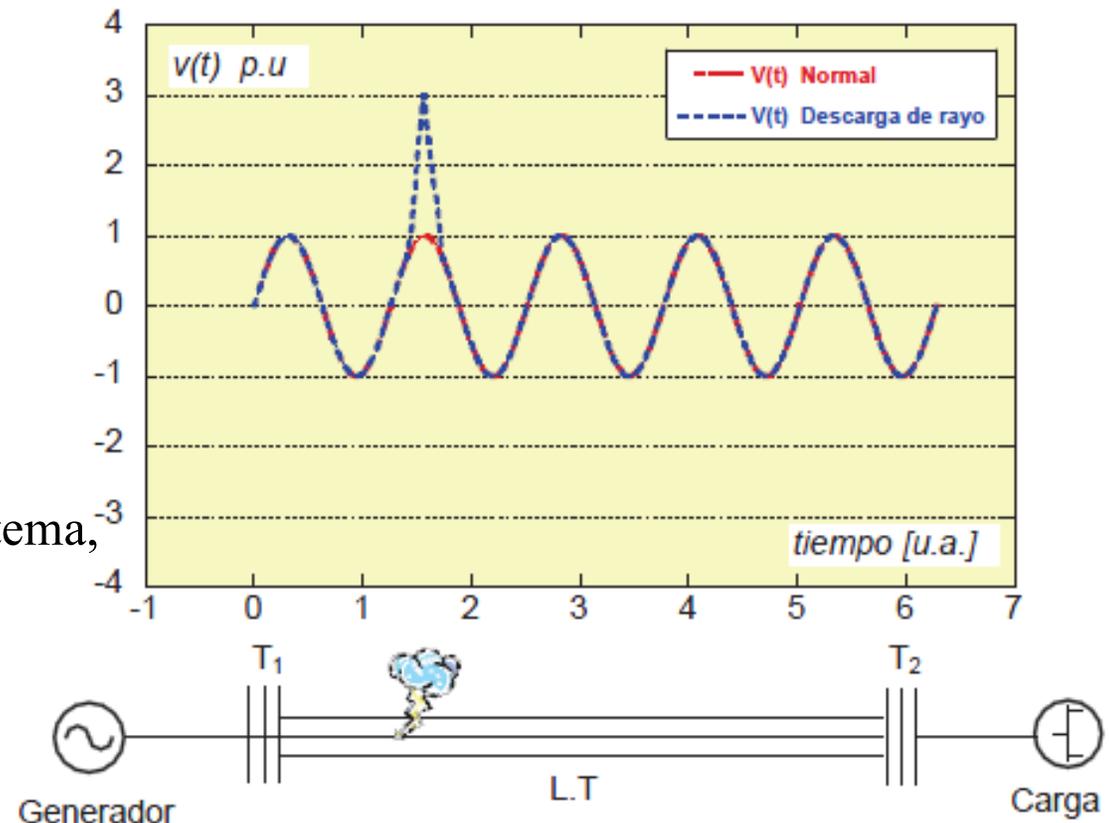
- Conmutación en la compañía eléctrica
- Arco causado por una soldadora
- Apertura o cierre de un contactor
- Arranque de equipo industrial pesado
- Rayos, o descargas de estatica

EFFECTOS:

Falla o daños al equipo, bloqueo del sistema, corrupción/pérdida de datos y fatiga de componentes que pueden causar fallas

SOLUCIONES:

Transformadores de aislamiento, estabilizador UPS, sistema de tierras efectivo.



Apagón (Interrupciones Del Suministro)

DEFINICIÓN:

Pérdida repentina de energía de CA

CAUSAS:

Apertura de fusibles o cortacircuitos Tormentas
Accidentes de construcción



EFFECTOS:

Parada de equipos, pérdida de datos, retrasos de producción, ciclos de arranque largos y problemas de seguridad (pérdida de iluminación, alarmas, etc.)

SOLUCIONES:

Estabilizadores UPS, sistemas de respaldo de energía

Las Norma y sus Porcentajes

Eventos que afectan la calidad de la energía eléctrica de acuerdo al std. IEEE 1159-2009.

Categoría	Contenido espectral típica	Duración típica	Magnitud en la tensión
1.- Transitorios			
1.1.- Impulsivo			
1.1.1.- Nanosegundo		< 50 ns	
1.1.2.- Microsegundo	5 ns <i>tiempo de elevación</i>	50 ns – 1 ms	
1.1.3.- Milisegundo	1 μs <i>tiempo de elevación</i> 0.1 ms <i>tiempo de elevación</i>	> 1 ms	
1.2.- Oscilatorio			
1.2.1.- Baja frecuencia	< 5 khz	0.3 – 50 ms	0 – 4 pu *
1.2.2.- Media frecuencia	5 – 500 khz	20 μs	0 – 8 pu *
1.2.3.- Alta frecuencia	0.5 – 5 Mhz	5 μs	0 – 4 pu *

Las Norma y sus Porcentajes

2.- Variaciones de tensión de corta duración			
2.1.- Instantáneos			
2.1.1.- Interrupción		0.5 – 30 <i>ciclos</i>	< 0.1 <i>pu</i>
2.1.2.- Disminución (sag)		0.5 – 30 <i>ciclos</i>	0.1 – 0.9 <i>pu</i>
2.1.3.- Elevación (swell)		0.5 – 30 <i>ciclos</i>	1.1 – 1.8 <i>pu</i>
2.2.- Momentáneos			
2.2.1.- Interrupción		0.5 <i>ciclos</i> – 3 <i>s</i>	< 0.1 <i>pu</i>
2.2.2.- Disminución (sag)		30 <i>ciclos</i> – 3 <i>s</i>	0.1 – 0.9 <i>pu</i>
2.2.3.- Elevación (swell)		30 <i>ciclos</i> – 3 <i>s</i>	1.1 – 1.4 <i>pu</i>
2.3.- Temporales			
2.3.1.- Interrupción		> 3 <i>s</i> – 1 <i>min</i>	< 0.1 <i>pu</i>
2.3.2.- Disminución (sag)		> 3 <i>s</i> – 1 <i>min</i>	0.1 – 0.9 <i>pu</i>
2.3.3.- Elevación (swell)		> 3 <i>s</i> – 1 <i>min</i>	1.1 – 1.2 <i>pu</i>
3.- Variaciones de tensión de larga duración			
3.1.- Interrupción sostenida		> 1 <i>min</i>	0.0 <i>pu</i>
3.2.- Bajovoltaje		> 1 <i>min</i>	0.8 – 0.9 <i>pu</i>
3.3.- Sobrevoltaje		> 1 <i>min</i>	1.1 – 1.2 <i>pu</i>
3.4.- Sobre carga de corriente		> 1 <i>min</i>	

Las Norma y sus Porcentajes

4.- Desbalance de tensión		<i>Estado estacionario</i>	0.5 – 2 %
4.1 Tensión		<i>Estado estacionario</i>	1.0 – 30 %
4.2 Corriente			
5.- Distorsión en la forma de onda			
5.1.- A nivel CD		<i>Estado estacionario</i>	0 – 0.1 %
5.2.- Armónicas	0 – 9 khz	<i>Estado estacionario</i>	0 – 20 %
5.3.- Interarmónicas	0 – 9 khz	<i>Estado estacionario</i>	0 – 2 %
5.4.- Cortes a la forma de onda		<i>Estado estacionario</i>	
5.5.- Ruido	<i>Ancho de banda</i>	<i>Estado estacionario</i>	0 – 1 %
6.- Fluctuaciones de tensión	< 25 khz	<i>Intermitente</i>	0.1 – 7 % <i>plt</i> 0.2 – 2 % <i>pst</i>
7.- Variaciones en la frecuencia del sistema		< 10 s	± 0.10 Hz

* La cantidad de la PU se refiere a por unidad, que no tiene dimensiones. La cantidad de PU de 1,0 corresponde a 100%. La condición nominal se considera a menudo ser 1,0 pu. En esta tabla, el valor de pico nominal es utilizado como la base para los transitorios y el valor de los rms nominales se utiliza como la base para las variaciones en rms.

plt = porcentaje para tiempos largos

pst = porcentaje para tiempos cortos

Instrumentos de Medición

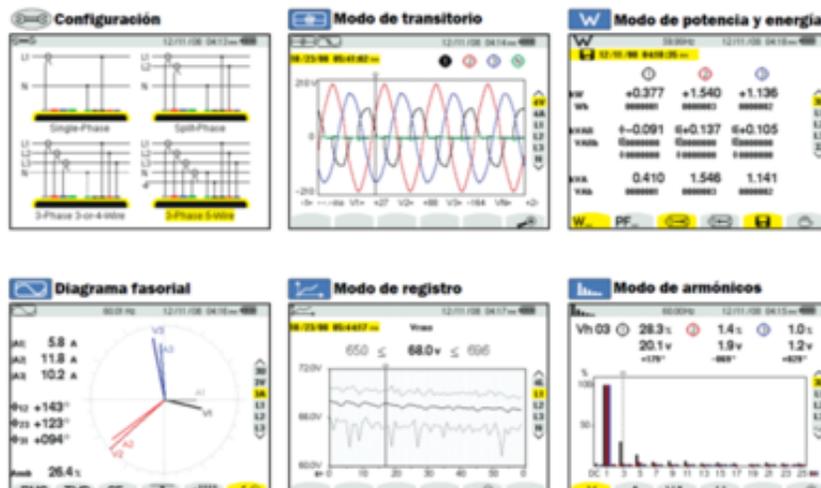


Analizador trifásico de calidad de energía eléctrica



- **Aplicaciones**

1. Verificación de circuitos de distribución de energía.
2. Medición y registro de sistemas de potencia (kW, VA, VAR).
3. Medición de energía (KVAh., VARh, kWh)
4. Determina el factor k de los transformadores
5. Monitorización de fases desbalanceadas.
6. Determinación de problemas armónicos originados por la carga.
7. Calculo del flicker
8. Capturas de hasta 300 transitorios
9. Registro y exportación a PC.



Conclusiones

- El ahorro de energía eléctrica tiene un impacto importante en el medio ambiente y económico para los usuarios. La forma más eficiente de realizar un ahorro de energía es realizando una auditoria energética monitorizando las variables eléctricas para implementar un programa de ahorro y uso eficiente de energía eléctrica.

CFE Comisión Federal de Electricidad

Av. Paseo de la Reforma Núm. 164, Col. Juárez, México, D.F. C.P. 06600.
RFC: CFE370814-Q10

Nombre y Domicilio

HERNANDEZ SANTANA AMPARO LISET
AV.MARIO COLIN ED-F2 INT-102
TLALNEPANTLA CENTRO
TLALNEPANTLA DE BAZ, MEX.
C.P. 54067

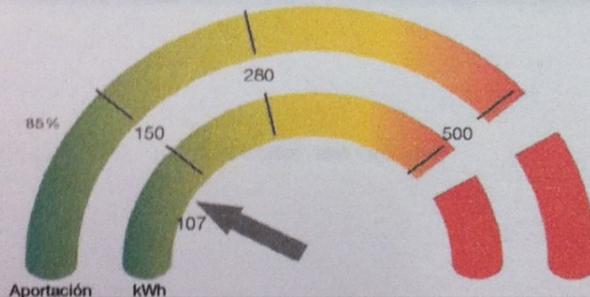
Cuenta	Uso	Tarifa	Hilos
19DL50A013132830	Doméstico	01	1

Medición de consumo				
Num. de Medidor	Lectura actual	Lectura anterior	Mult.	Consumo kWh
716JT2	00653	00546	1	107

Apoyo gubernamental	
Costo de producción	\$564.30
Aportación Gubernamental	\$479.88

Gráfica de consumo en kWh

A mayor consumo de kWh menor Aportación Gubernamental.



Total a pagar del periodo facturado

\$107.00
(CIENTO SIETE PESOS 00/100 M.N.)

Número de servicio

569 880 900 270

Fecha límite de pago

02 FEB 2014

Información importante

Corte a partir de 03 FEB 2014.
Su consumo de energía eléctrica está dentro del rango de consumo BÁSICO, que es menor a 150 kWh bimestrales.

Período Consumo	Días	Promedio Diario en kWh	Promedio Diario en \$
12 NOV 13 AL 14 ENE 14	63	1.69	1.69

Facturación

Concepto	kWh	Precio	Subtotal
Básico	107	0.789	84.42
Suma	107		84.42

Importe del bimestre

CFE *Comisión Federal de Electricidad*
 Av. Paseo de la Reforma Núm. 164, Col. Juárez, México, D.F. C.P. 06600.
 RFC: CFE370814-Q10
Nombre y Domicilio
HERNANDEZ SANTANA AMPARO LISET
AV.MARIO COLIN ED-F2 INT-102
TLALNEPANTLA CENTRO
TLALNEPANTLA DE BAZ, MEX.
C.P. 54069

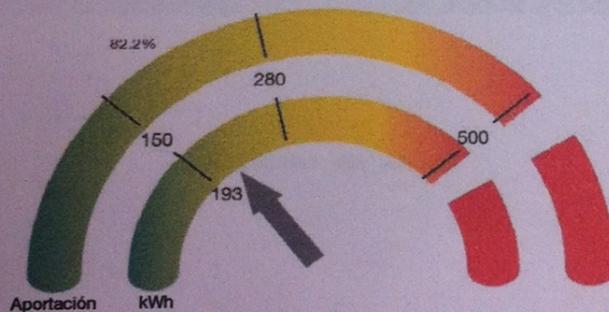
Cuenta	Uso	Tarifa	Hilos
17DL50B011724325	Doméstico	01	1

Medición de consumo				
Num. de Medidor	Lectura actual	Lectura anterior	Mult.	Consumo kWh
716JT2	00846	00653	1	193

Apoyo gubernamental	
Costo de producción	\$901.39
Aportación Gubernamental	\$740.61

Gráfica de consumo en kWh

A mayor consumo de kWh menor Aportación Gubernamental.



Total a pagar del periodo facturado

\$202.00
(DOSCIENTOS DOS PESOS 00/100 M.N.)

Número de servicio

569 880 900 270

Fecha limite de pago

03 ABR 2014

Información importante

Corte a partir de 04 ABR 2014.
 Su consumo de energía eléctrica está dentro del rango de consumo INTERMEDIO, que es mayor a 150 y menor a 280 kWh bimestrales.

Periodo Consumo	Días	Promedio Diario en kWh	Promedio Diario en \$
14 ENE 14 AL 12 MAR 14	57	3.38	3.54

Facturación			
Concepto	kWh	Precio	Subtotal
Básico	150	0.795	119.25
Intermedio	43	0.966	41.53
Suma	193		160.78

Importe del bimestre

Energía 160.78

AVISO RECIBO



Comisión Federal de Electricidad

Av. Paseo de la Reforma 141, 14
 Col. Juárez, México, D.F. 06600
 Tel. 01 (52) 55 53 53 53

Número de Servicio:

983 810 500 402

Total a pagar:

\$822,388.00

(OCHOCIENTOS VEINTIDOS MIL TRESCIENTOS OCHENTA Y OCHO PESOS 00/100 M.N.)

Fecha límite de pago:

13 FEB 2013

Nombre y Domicilio:
 UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLI
 AV SAN PABLO NO. 180

 REYNOSA TAMAULIPAS %
 AZCAPOTZALCO, D.F.
 C.P. 02230

Periodo	No. Medidor	Tarifa	Carga conectada kW	Demanda contratada kW	Multiplificador
31 DIC 12 A 31 ENE 13	A017204	HM	3006	1804	3000
Datos históricos					
kWh base					100,200
kWh intermedia					256,500
kWh punta					59,100
kWh semipunta					
kW base					471
kW media					1,089
kW punta					917
kW semipunta					
kVArh					9,000

AVISO RECIBO



Comisión Federal de Electricidad
 DIRECCIÓN DE OPERACIÓN

Av. Paseo de la Reforma Num. 164
 Col. Juárez, México, D.F. 06600
 RFC: CFE370814-Q10

Nombre y Domicilio:
 UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLI
 AV SAN PABLO NO. 180
 EJE 5 NORTE Y FEROCARRIL NACIONAL
 REYNOSA TAMAULIPAS %
 AZCAPOTZALCO, D.F.
 C.P. 02200

Ruta	Periodo	No. Medidor
82DL10A040200020	31 ENE 14 A 28 FEB 14	774VK0

Función y periodo	Lectura actual	Lectura anterior	Diferencia	Totales
kWh base				98,350
kWh intermedia				244,526
kWh punta				58,053
kW base				1,011
kW intermedia				1,121
kW punta				967
kVAh				10,710

Conceptos	Totales	Precios unitarios
Energía en base kWh	98,350	1.18870
Energía en intermedia kWh	244,526	1.42190
Energía en punta kWh	58,053	2.20490
Demanda facturable kW	1,014	176.83000

Avisos Importantes

- Corte a partir de 14 MAR 2014.
- Con procesos eficientes se reducen los costos de producción en todas las empresas... ¡Y se ahorra energía!
- Nos transformamos para servirte mejor.
- Servicio a Clientes Teléfono 071.

Número de Servicio:

983 810 500 402

Total a pagar:

\$873,027.00

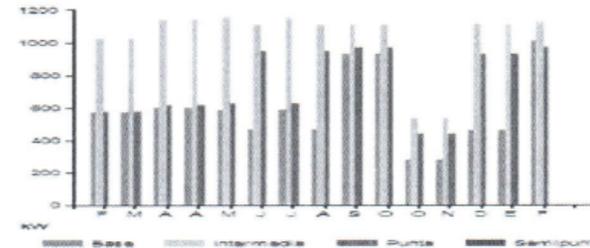
(OCHOCIENTOS SETENTA Y TRES MIL VEINTISIETE PESOS 00/100 M.N.)

Fecha límite de pago:

13 MAR 2014

Tarifa	Carga conectada	Demanda contratada	Multiplicador
HM	3006 kW	1504 kW	4800

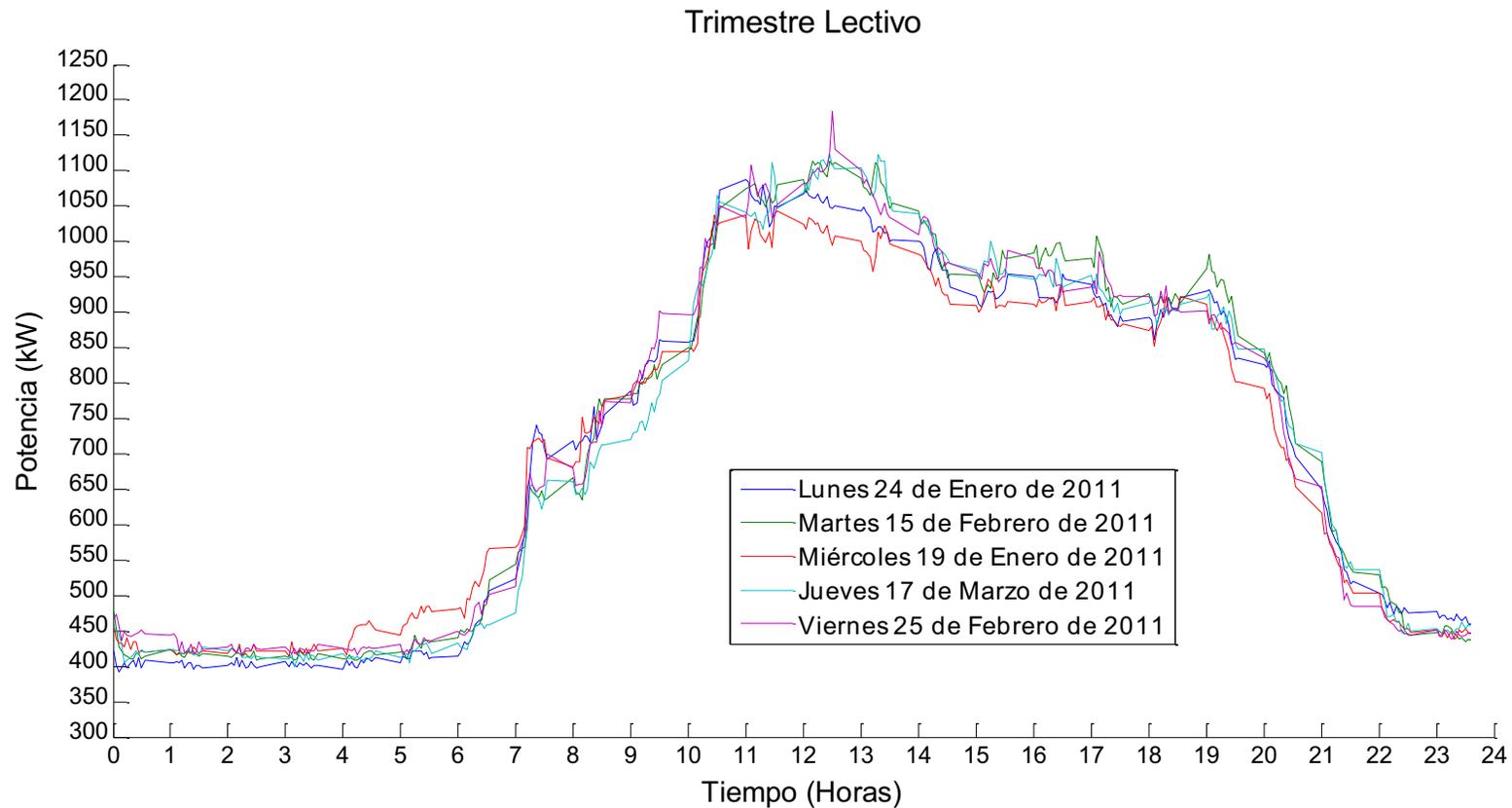
Datos Históricos



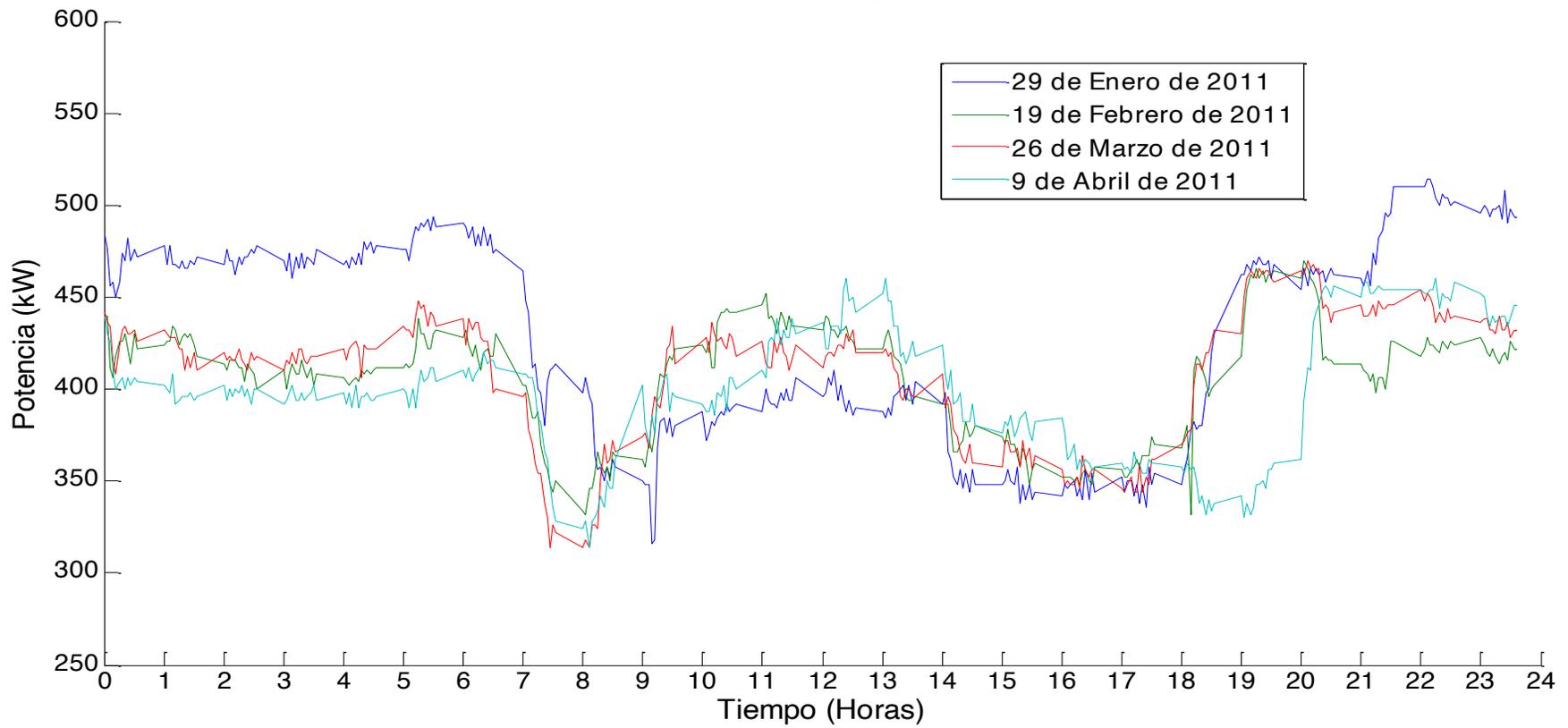
Mes	Demanda máxima kW	Consumo total kWh	F.P. %	F.C. %	Precio medio
FEB 13	1,002	399,884	99.94	52	1.6768
MAR 13	1,008	417,818	99.96	50	1.6350
ABR 13	1,004	91,005	99.99	57	1.6876
ABR 13	881	324,534	99.99	50	1.5601
MAY 13	909	440,878	99.99	51	1.6397
JUN 13	905	437,645	99.94	52	1.6150
JUL 13	882	313,670	99.98	37	1.7100
AGO 13	710	329,861	100.00	43	1.5915
SEP 13	774	418,660	99.98	51	1.5088
OCT 13	786	387,427	99.95	54	1.5707
OCT 13	995	76,932	99.95	57	1.7216
NOV 13	1,014	354,389	99.99	44	1.8568
DIC 13	468	200,126	100.00	50	1.7794
ENE 14	985	419,512	99.99	51	1.8180
FEB 14	1,014	400,929	99.96	53	1.8772

Estado de cuenta

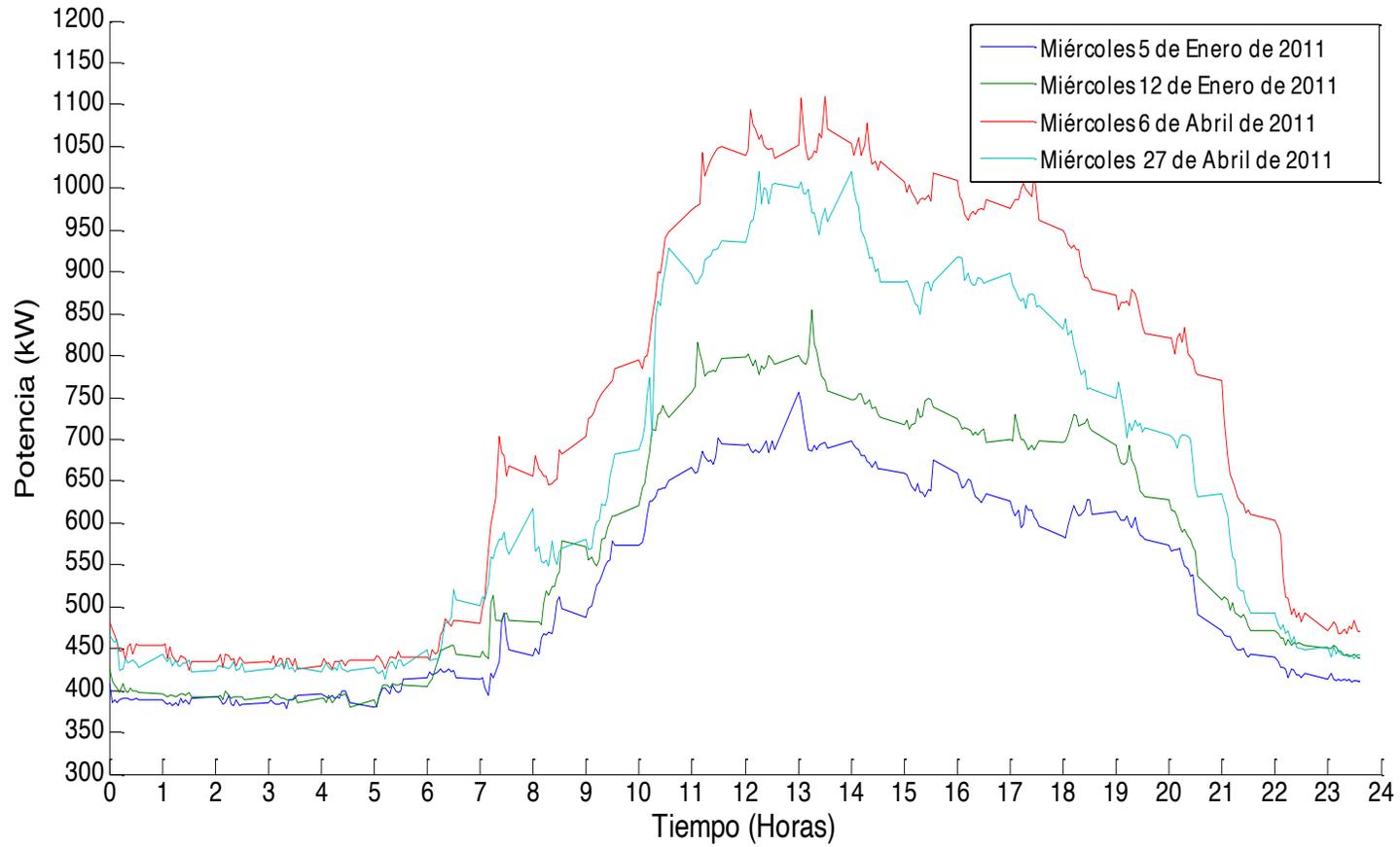
Ejemplo UAM-A



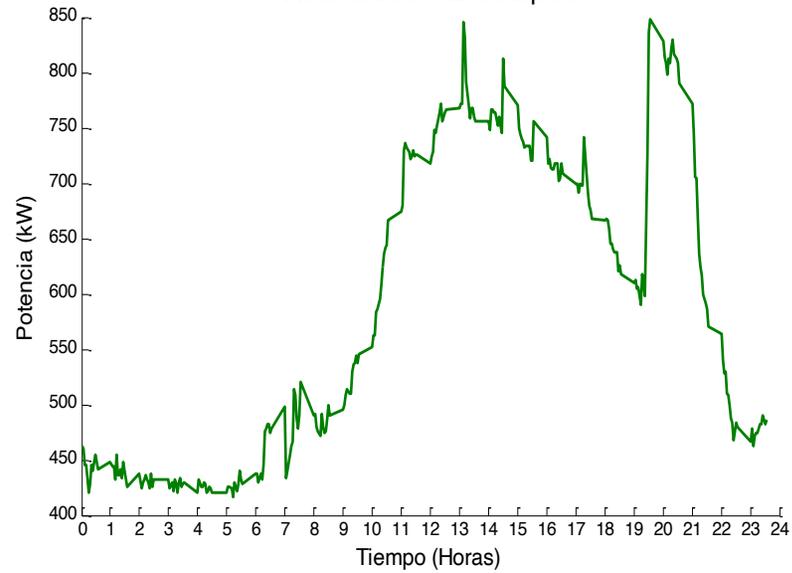
Sábados



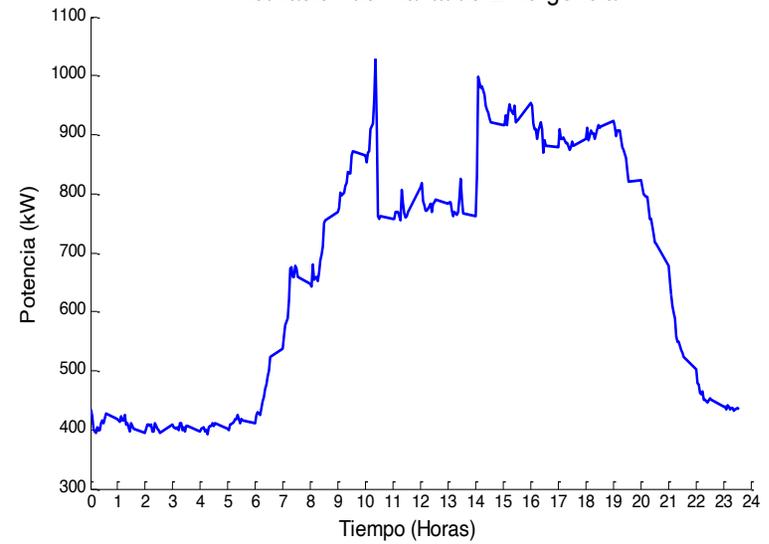
Fuera del Timestre Lectivo



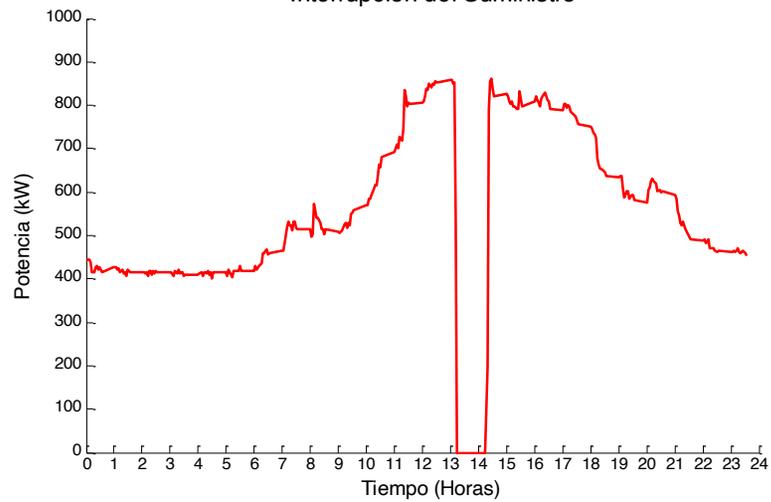
Actividad Nocturna Atípica



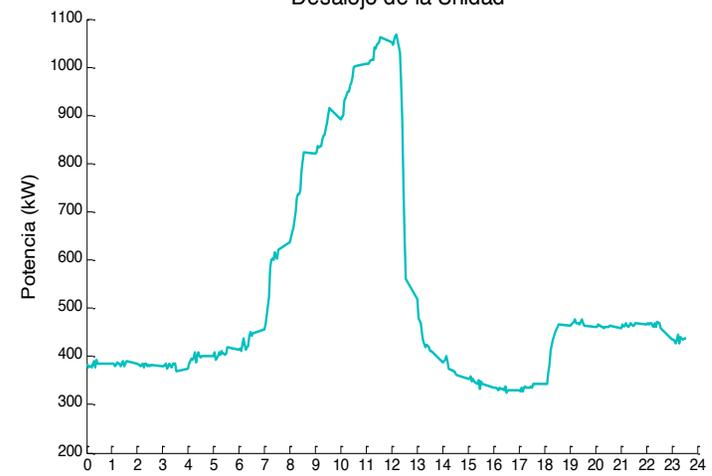
Activación de Planta de Emergencia



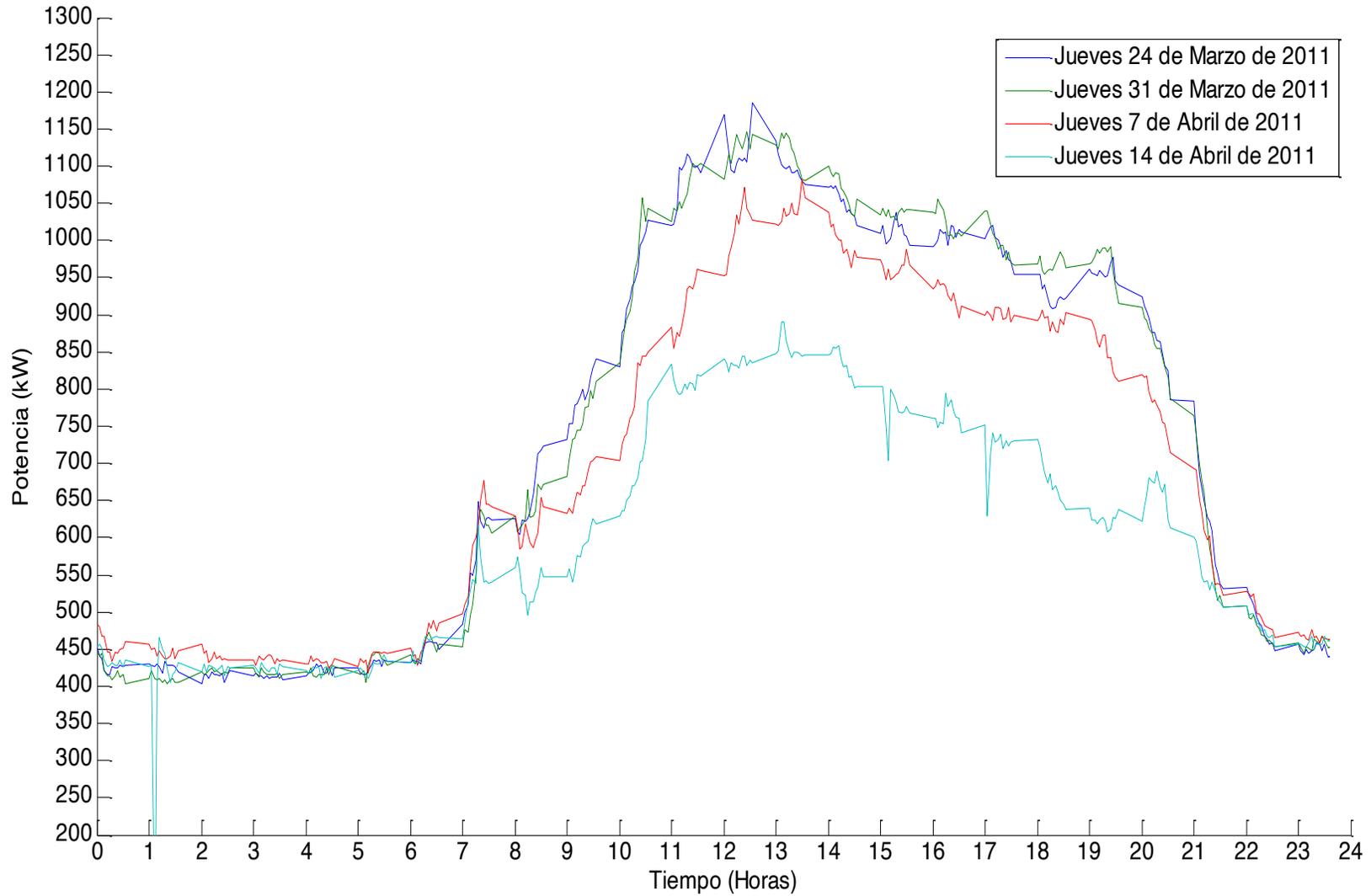
Interrupción del Suministro



Desalojo de la Unidad



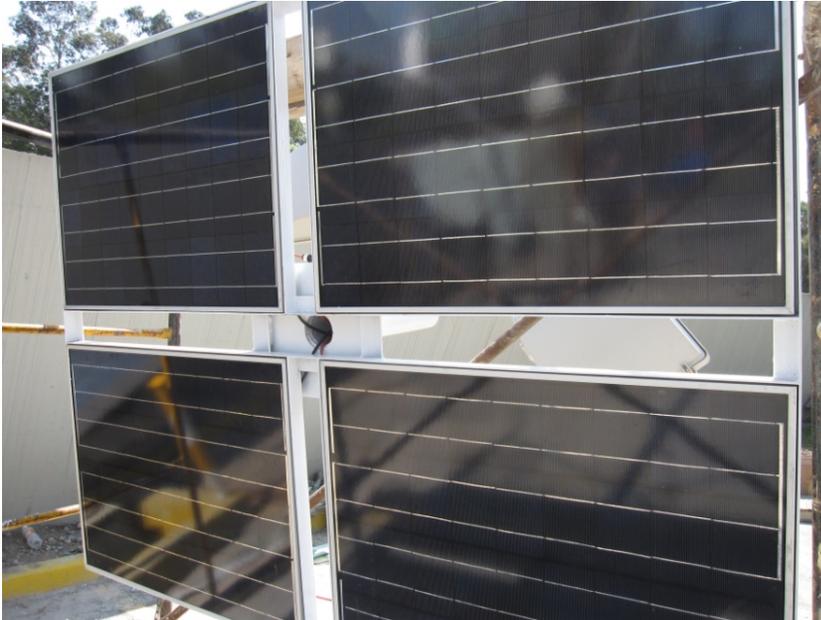
Días Jueves Antes y Después del Cambio de Horario de Invierno a Verano



Ejemplo UAM-A



Ejemplo UAM-A



Gracias!