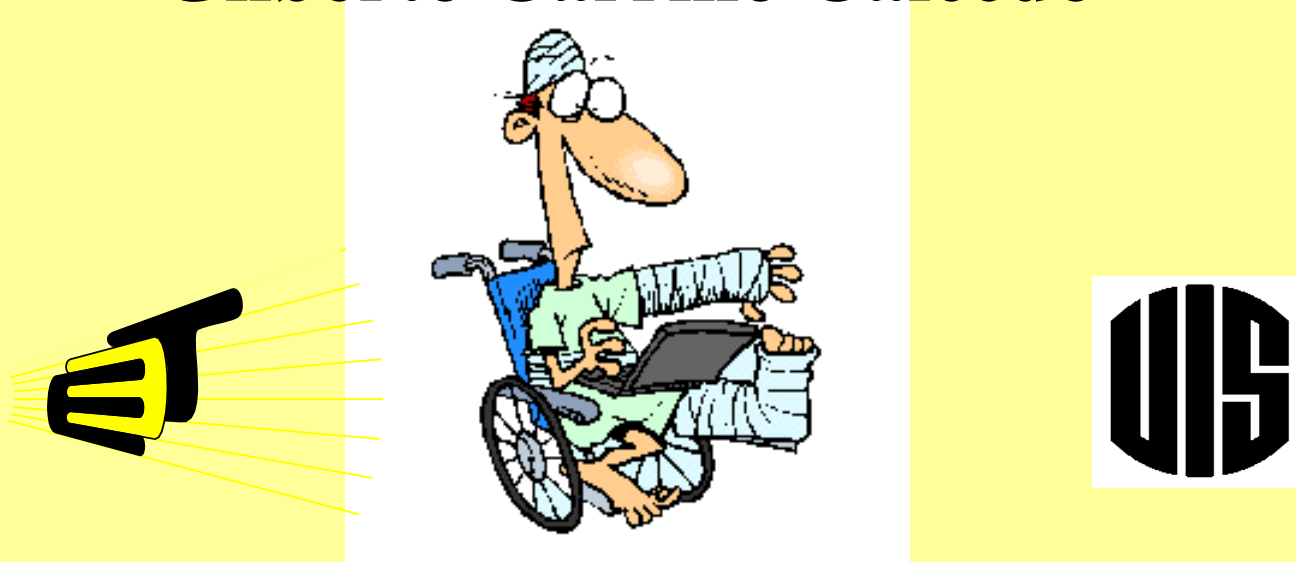




# **CALIDAD DE SERVICIO**

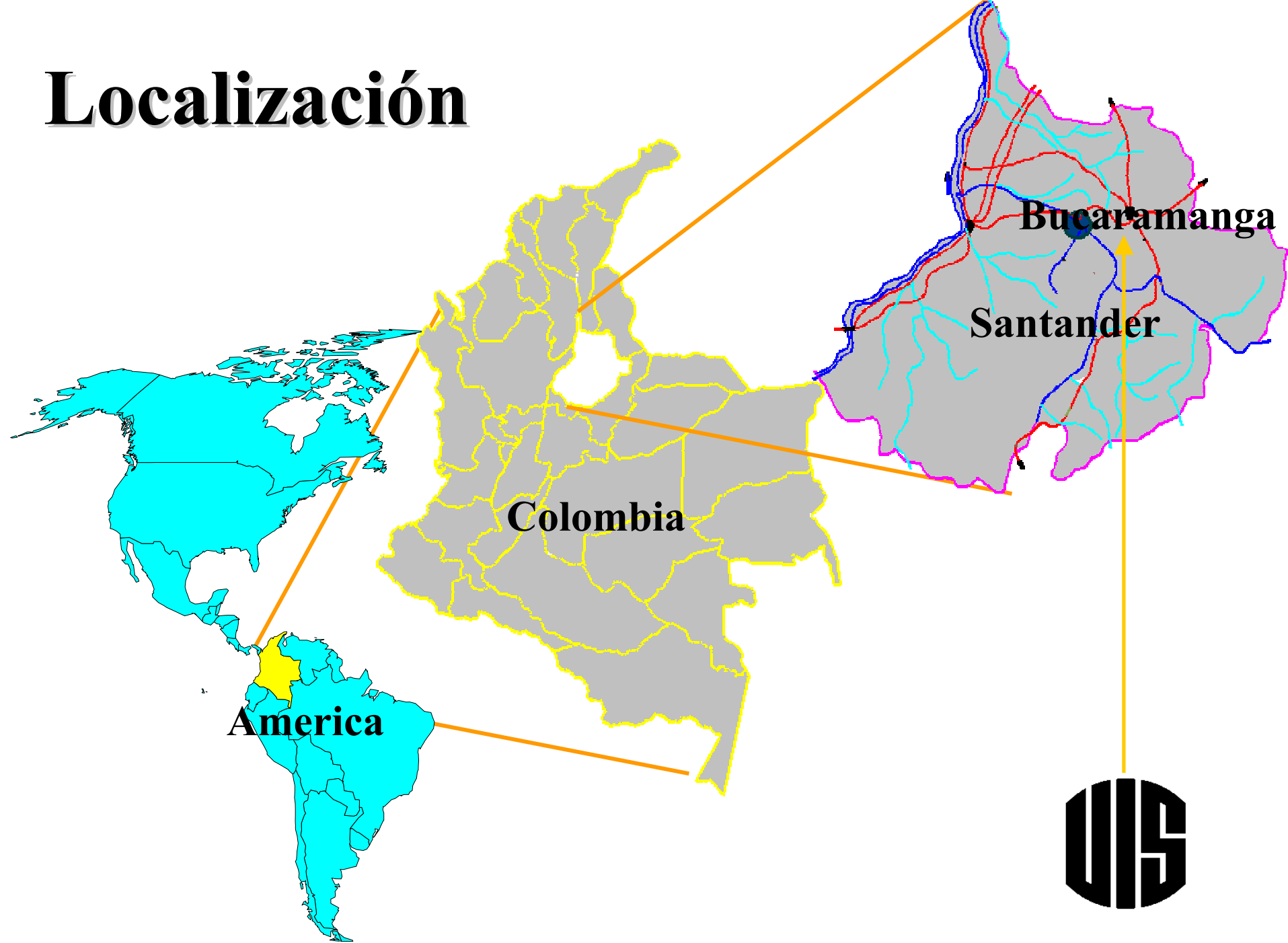
## **Efectos de una mala calidad**

**Gilberto Carrillo Caicedo**



**Cartagena, 7 Febrero 2002**

# Localización



# Contenido

- **Introducción**
- **Efectos de los Armónicos**
- **Efectos de los Huecos**
- **Efectos de las Interrupciones**
- **Conclusiones**

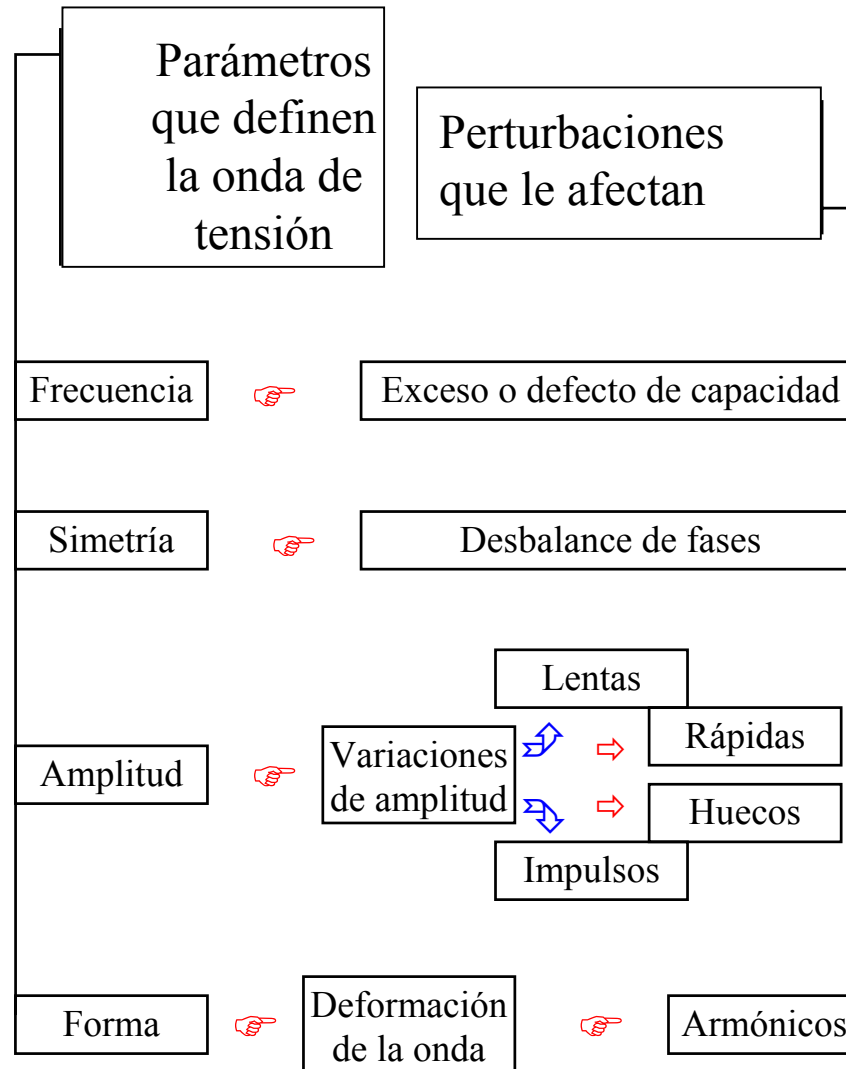
# Definición de un problema de calidad de potencia

“Cualquier perturbación que se manifieste en tensión o corriente o las desviaciones de frecuencia que tengan como resultado un fallo o mala operación de un equipo”\*

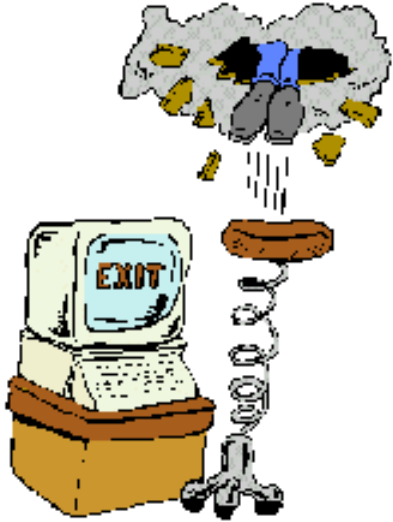
\* R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, H.W. Beaty: “Electrical Power Systems Quality”, McGraw-Hill, 1996



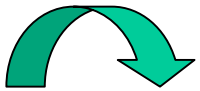
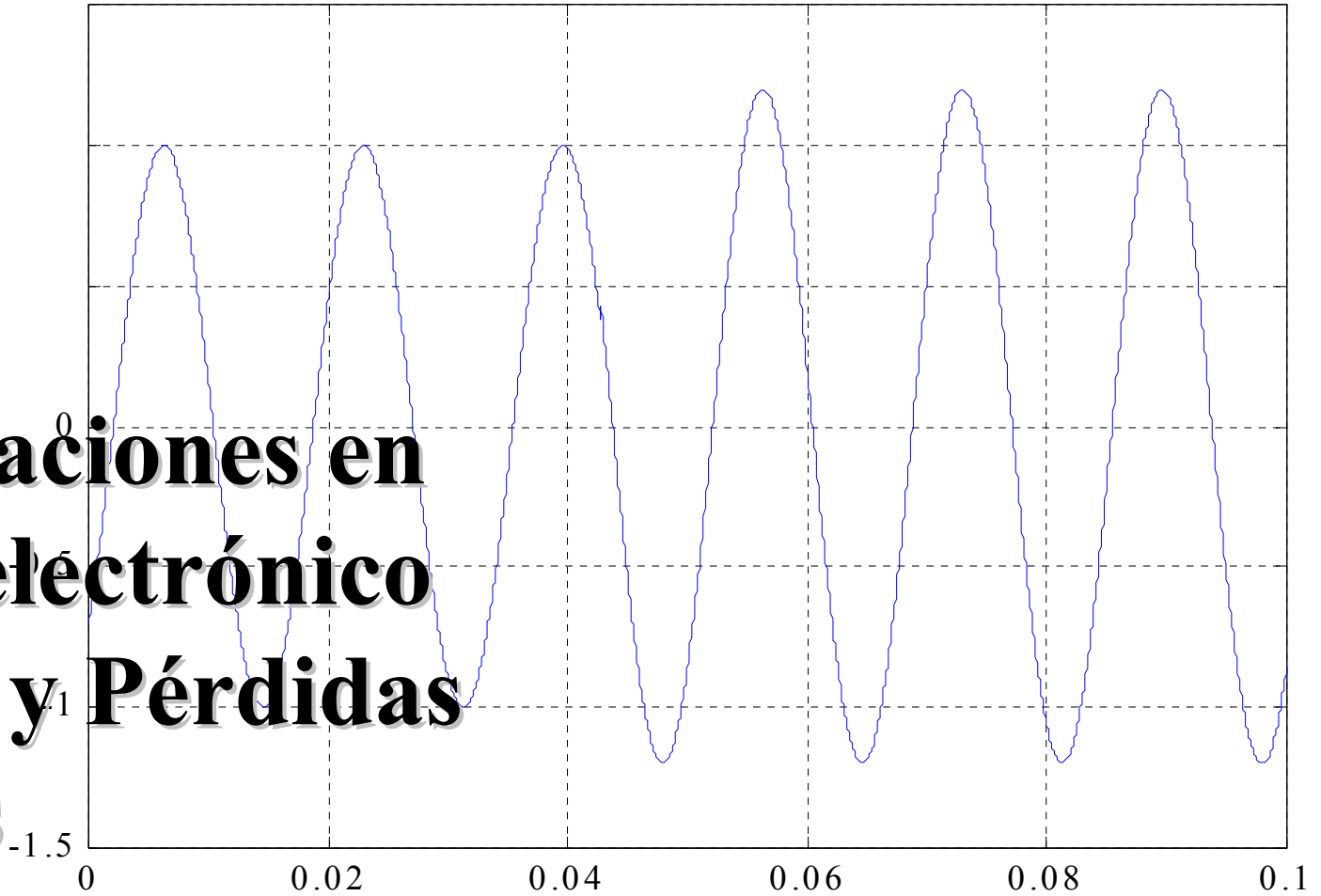
# Parámetros Asociados a la Calidad de onda



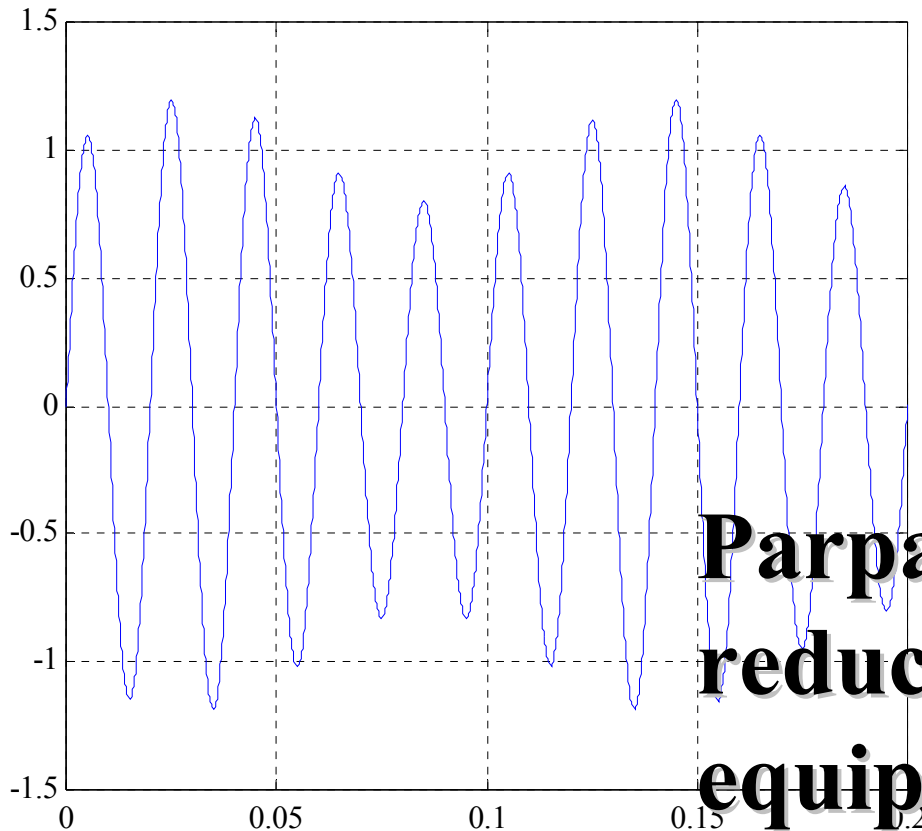
# Sobretensiones momentáneas (*Swells*)



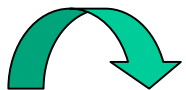
**Perturbaciones en  
equipo electrónico  
sensible y Pérdidas  
de datos**



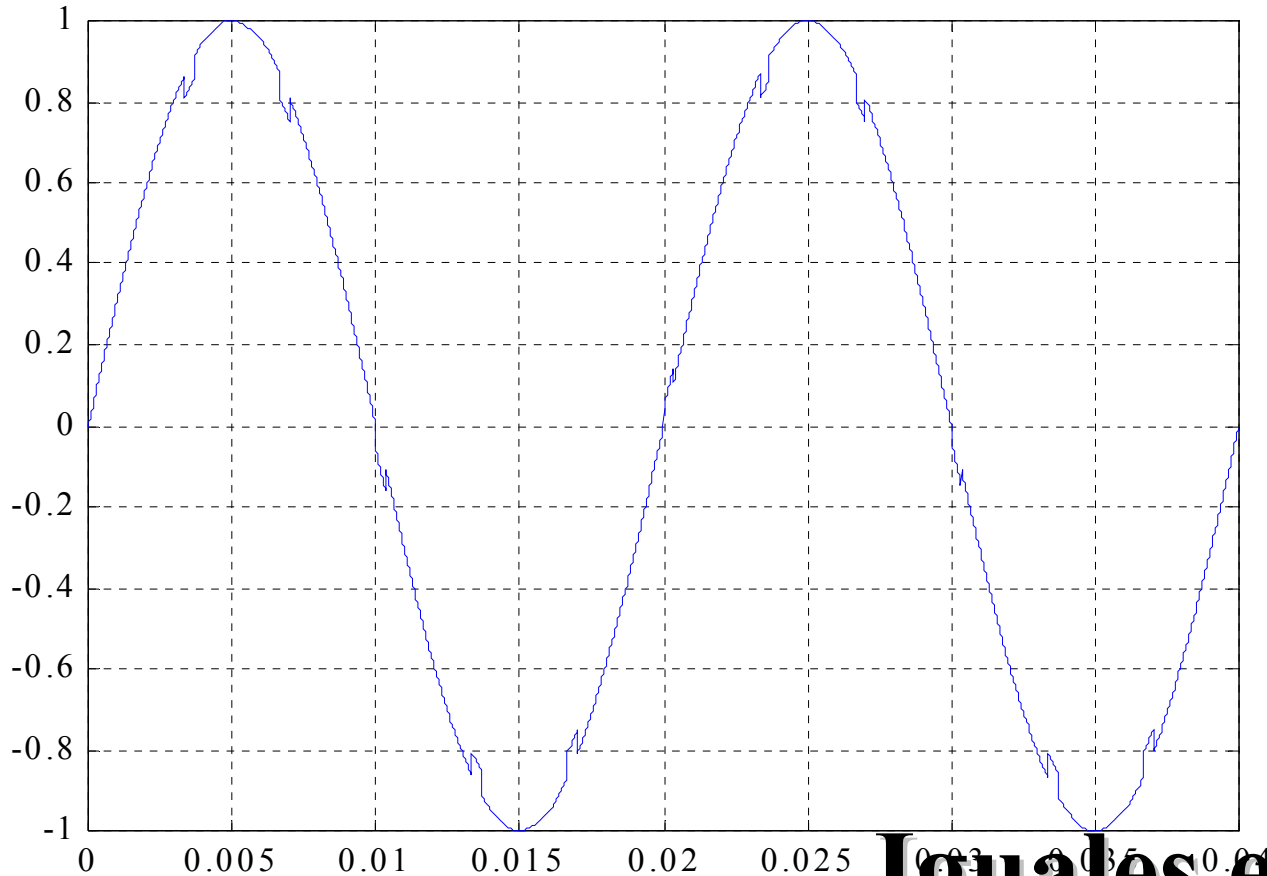
# Fluctuaciones tensión. Parpadeo (*Flicker*)



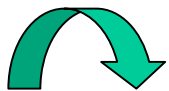
**Parpadeo de la iluminación,  
reducción de la vida útil de  
equipos eléctricos y  
electrónicos, salud de las  
personas**



# Muestras de Tension (*Notching*)

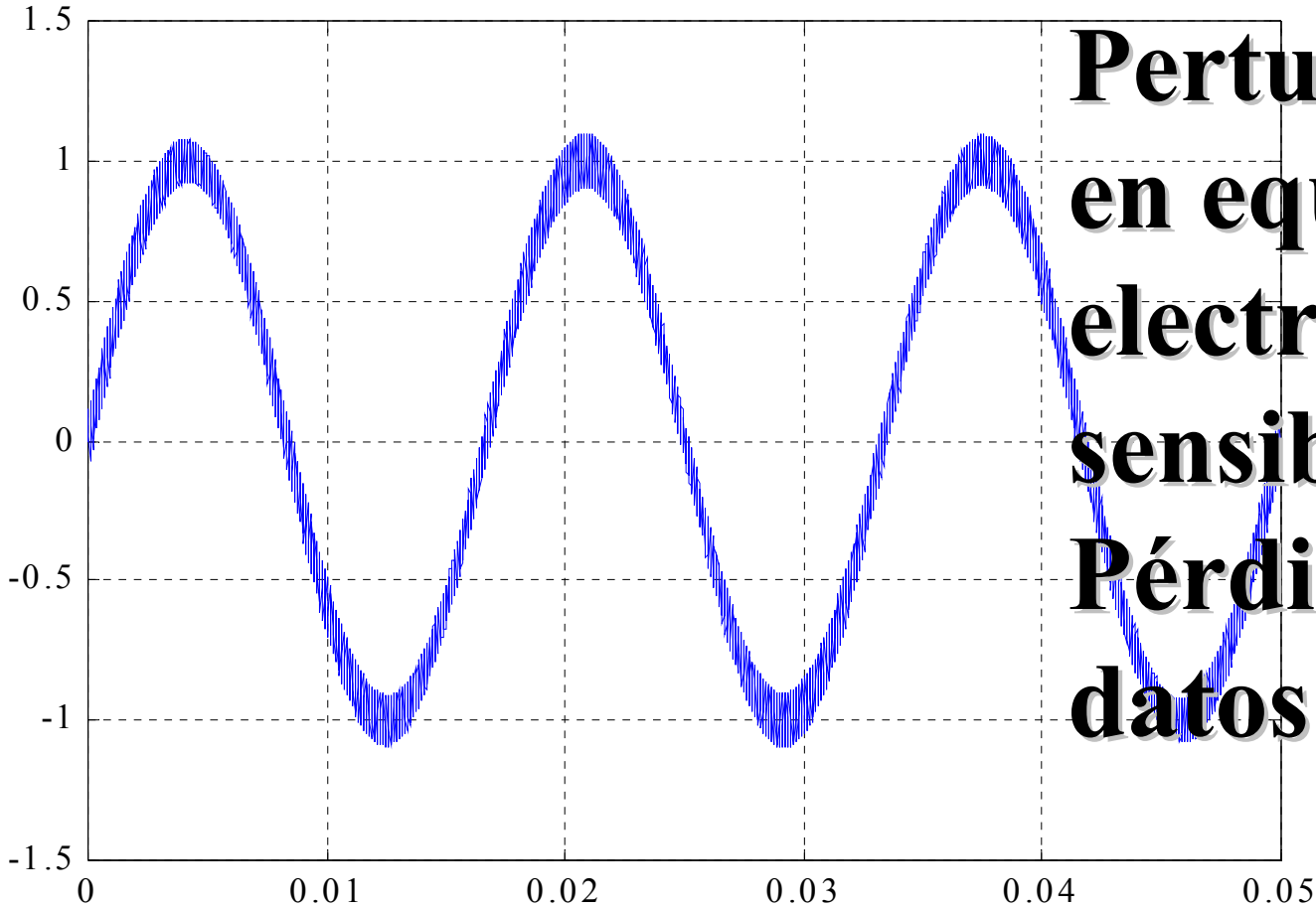


**Iguals efectos que  
las frecuencias  
armónicas altas**

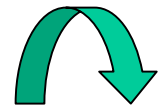




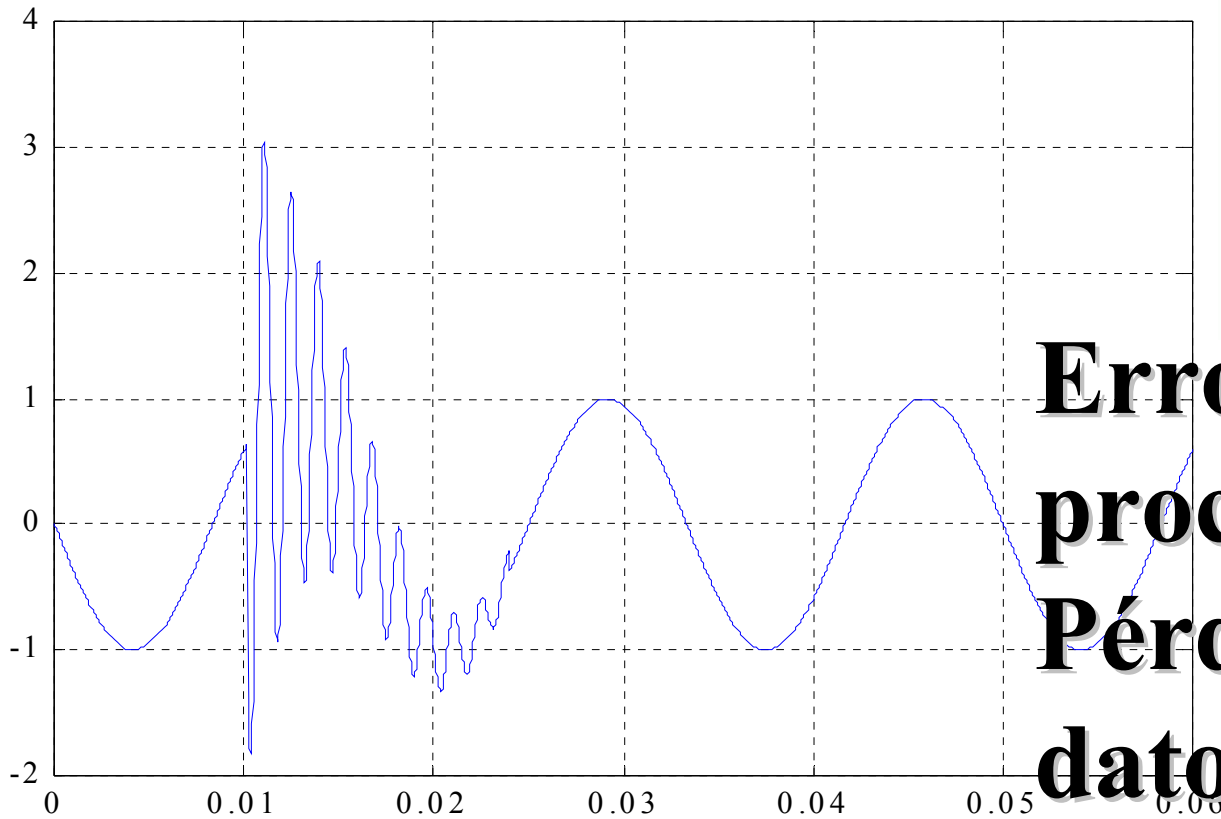
# Ruido en la señal (*Noise*)



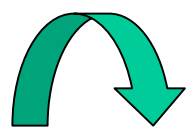
**Perturbaciones  
en equipo  
electrónico  
sensible.  
Pérdidas de  
datos**



# Transitorios electromagnéticos



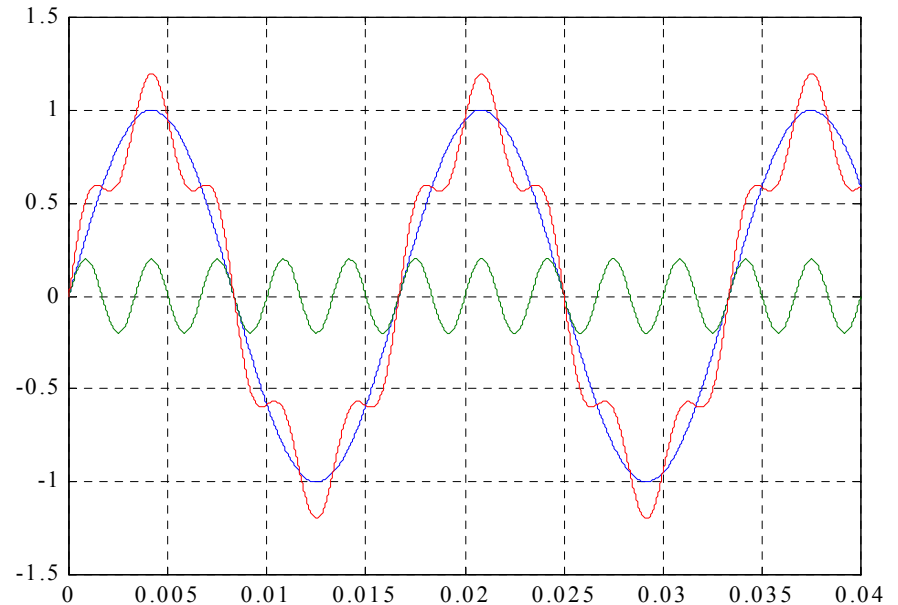
**Errores en procesos.  
Pérdidas de datos. Daño de tableros de equipos**



# Contenido

- **Introducción**
- **Efectos de los Armónicos**
  - » **Definición**
  - » **Incremento de Pérdidas**
  - » **Reducción de Dimensionamiento**
  - » **Calentamientos por Sec 0**
  - » **Superposición de Torques**
  - » **Operación Incorrecta de Dispositivos**
  - » **Interferencias**
- **Efectos de los Huecos**
- **Efectos de las Interrupciones**
- **Conclusiones**

# Definición Armónicos



$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t + \phi_n)$$



# Incremento de Magnitud

$$I_{\text{eficaz}} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_h^2}$$

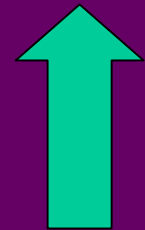
***Corriente Eficaz***

***Tensión Eficaz***

$$V_{\text{eficaz}} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_h^2}$$

Pérdidas  
Dimensionamiento

Conductores



Aislantes

# Incremento de Pérdidas

$$P\acute{e}rdid\acute{a}s = R_{efectiva} I_{eff}^2$$

Efecto Piel

$$R_e = K(X) R_c$$

$$X = 0,05013 \sqrt{\frac{f\mu}{R_{dc}}}$$



# Reducción de Dimensionamiento en Transformadores

$$K = \frac{\sum (hI_h)^2}{\sum (I_h)^2}$$

$$I_{fund_{max}} = \sqrt{\frac{1 + P_{EC}}{1 + P_{EC}K}}$$

$P_{EC}$  : Perdidas por eddy

$I_{fund_{max}}$  : Nueva Capacidad

Carga no Lineal

h	$I_h\%$	$h^2I_h^2$
1	100	10000
5	17,5	7656,25
7	11	5929
11	4,5	2450,25
13	2.9	1421.29
17	1,5	650,25
19	1	361

$$P_{EC} = 15\%$$

$$K = 28468/10459 = 2,72$$

$$I_{fund_{max}} = 90,4\%$$

# Reducción de Dimensionamiento en Conductores

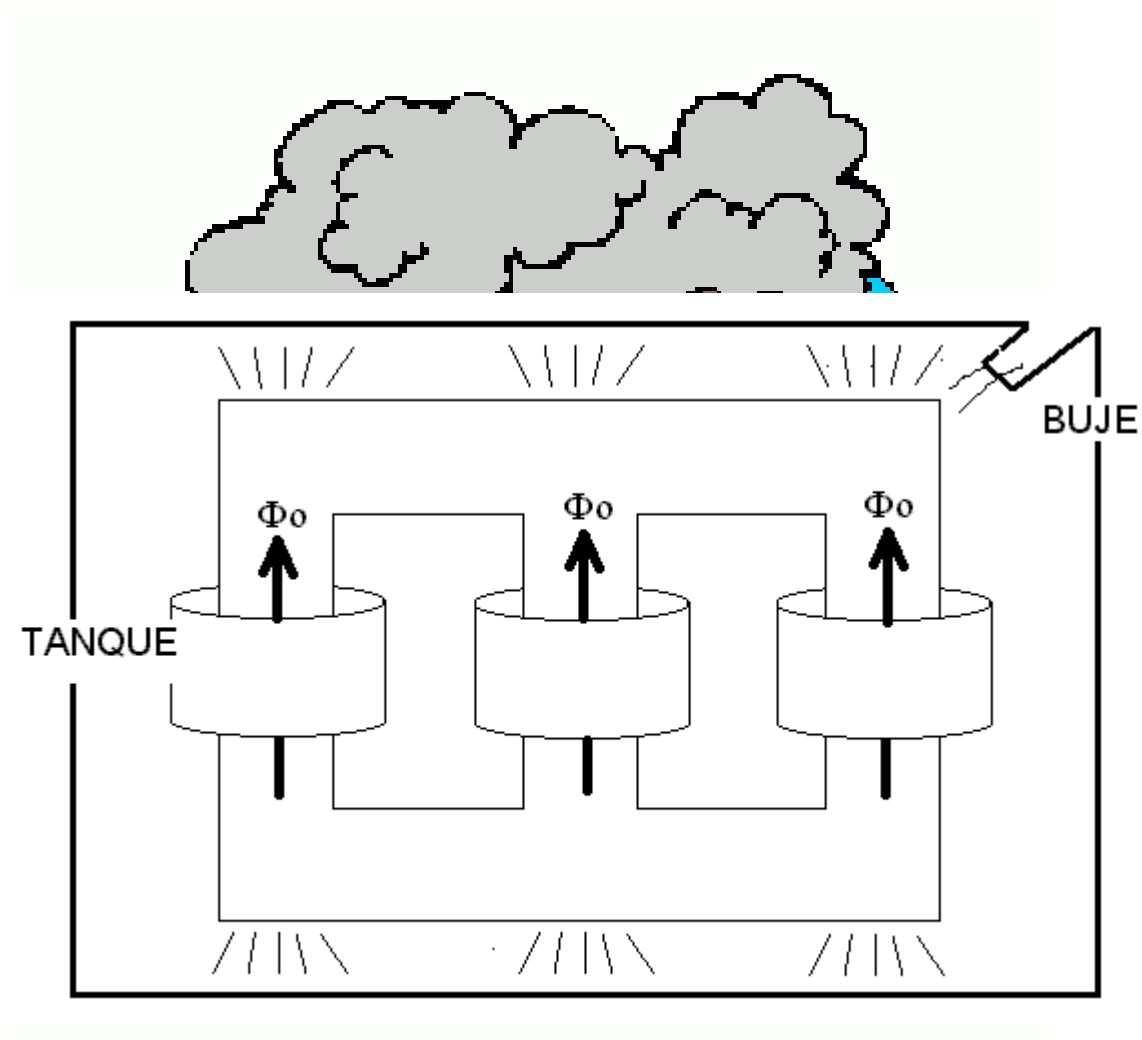
$$\boxed{\text{Pérdidas fundamental}} + \boxed{\text{Pérdidas armónicos}} = \boxed{\text{Pérdidas totales}}$$

$$\left( I_{\text{fpu}} \right)^2 R_{\text{fpu}} + \sum \left( I_{\text{hpu}} \right)^2 R_{\text{hpu}} = \left( \frac{I_{\text{dim}}}{I_{\text{base}}} \right)^2 R_{\text{fpu}}$$

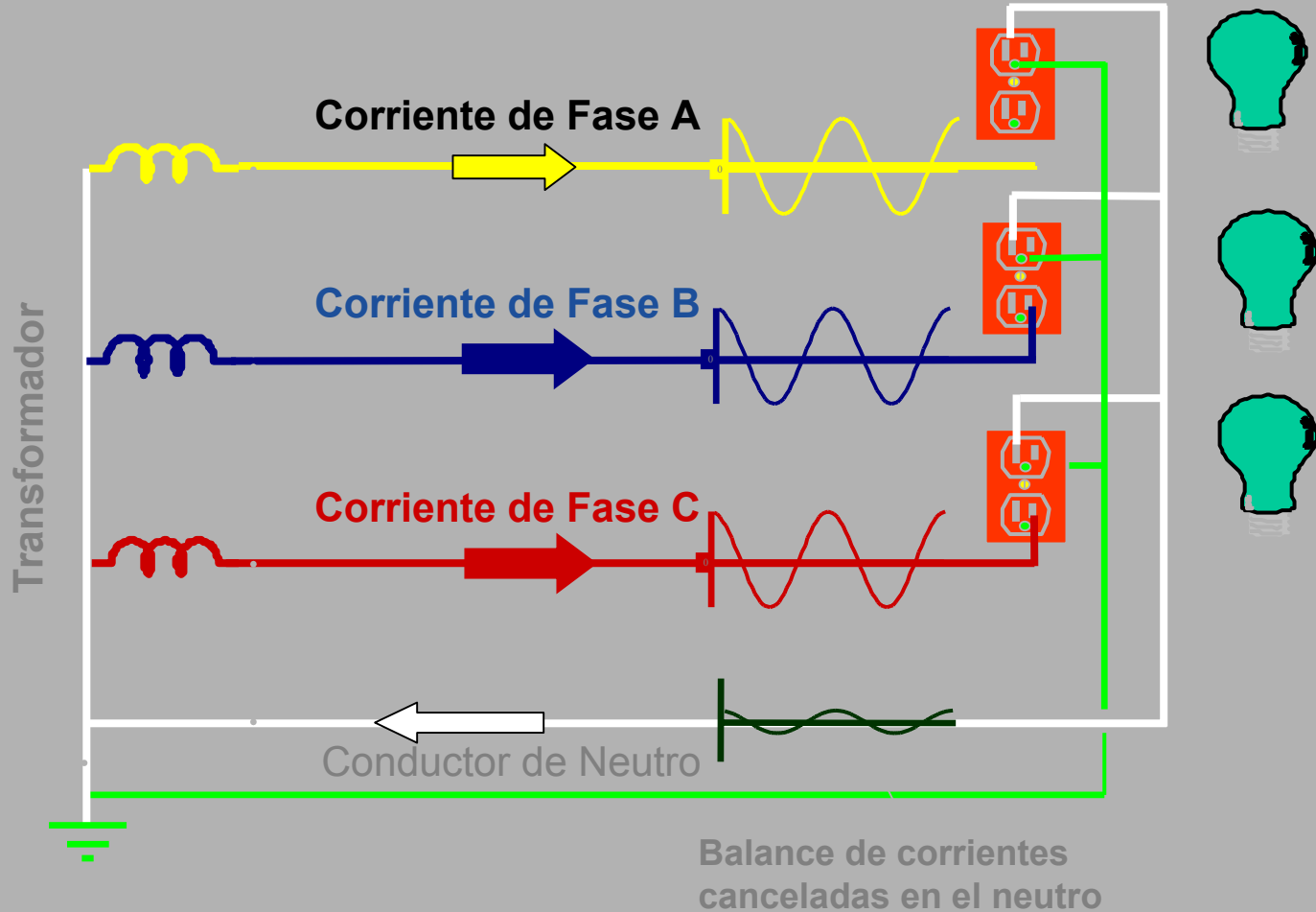
$$I_{\text{fund}_{\text{max}}} = \frac{\left( \sqrt{\left( \frac{I_{\text{dim}}}{I_{\text{base}}} \right)^2 - \sum I_{\text{hpu}}^2 \frac{R_h}{R_f}} \right) (I_{\text{base}})}{I_{\text{dim}}} 100\%$$



# Calentamiento por Flujos de Sec 0

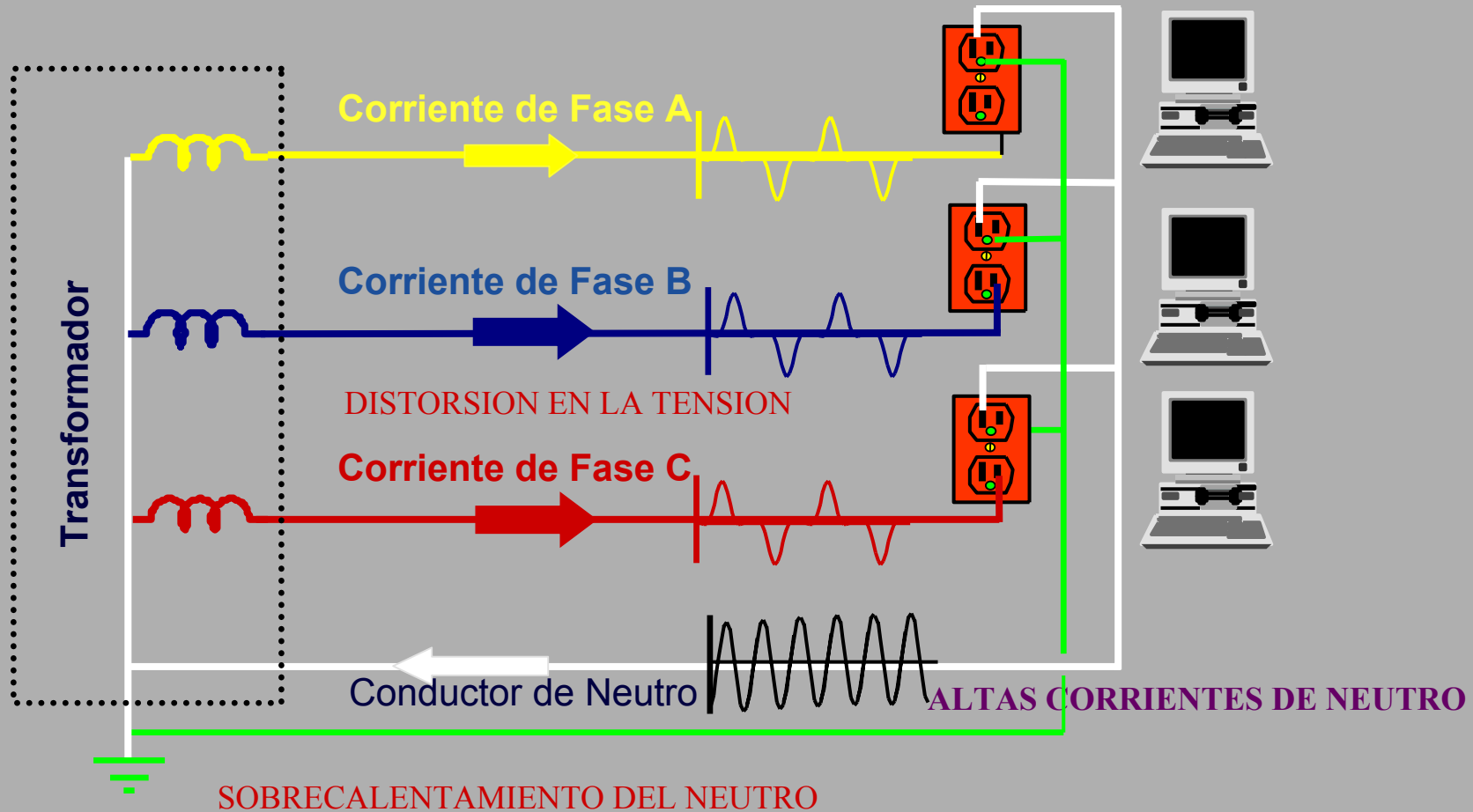


# Calentamiento por Corrientes de Sec 0



# Calentamiento por Corrientes de Sec 0

SOBRECARGA EN TRANSFORMADORES



ALTA TENSION DE NEUTRO

# Superposición de Torques en Motores

$$\begin{aligned}i_a &= I_{\max} \cos \omega t \\i_b &= I_{\max} \cos (\omega t - 120) \\i_c &= I_{\max} \cos (\omega t + 120)\end{aligned}$$

Corrientes del estator  
(frecuencia fundamental)

$$\begin{aligned}F_{a1} &= F_{\max} \cos \theta \cos \omega t \\F_{b1} &= F_{\max} \cos (\theta - 120) \cos (\omega t - 120) \\F_{c1} &= F_{\max} \cos (\theta + 120) \cos (\omega t + 120)\end{aligned}$$

Fuerzas magnetomotrices

$$F_{\max} = \frac{4}{\pi} K_w \frac{N_{ph}}{P} I_{\max}$$

# Superposición de Torques en Motores

$$F_1(\theta, t) = F_{a1} + F_{b1} + F_{c1}$$

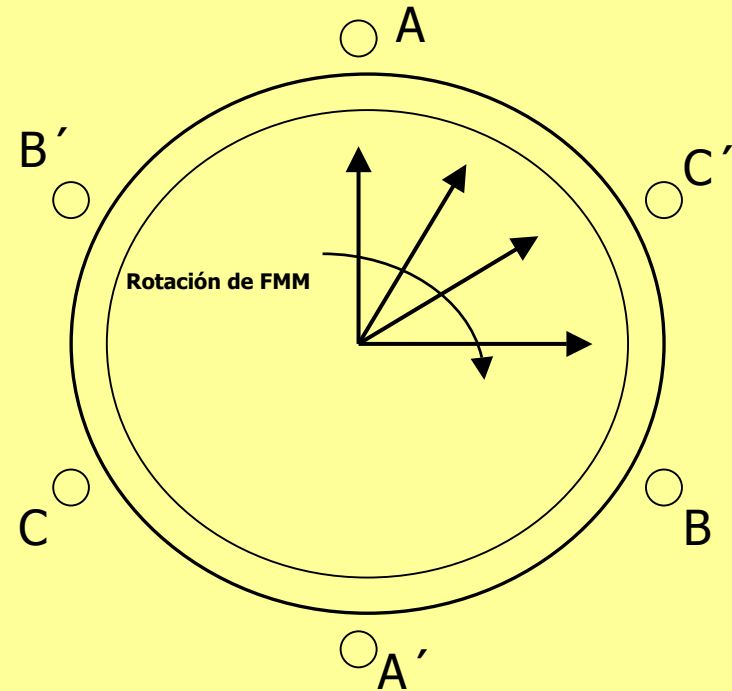
$$F_1(\theta, t) = \frac{1}{2} F_{\text{máx}} [\cos(\theta - \omega t) + \cos(\theta + \omega t) + \cos(\theta - \omega t) + \cos(\theta + \omega t + 120) + \cos(\theta - \omega t) + \cos(\theta + \omega t - 120)]$$

$$F_1(\theta, t) = \frac{3}{2} F_{\text{máx}} \cos(\theta - \omega t)$$

# Superposición de Torques en Motores

$$F_1(\theta, t) = \frac{3}{2} F_{\text{máx}} \cos(\theta - \omega t)$$

$\omega t$	FMM
0	1,5∠90
30	1,5∠60
60	1,5∠30
90	1,5∠0



# Superposición de Torques en Motores

## Armónico 3

$$i_{a3} = I_{a3} \text{Cos } 3\omega t$$

$$i_{b3} = I_{b3} \text{Cos } 3(\omega t - 120)$$

$$i_{c3} = I_{c3} \text{Cos } 3(\omega t + 120)$$

$$F_{a3} = F_{m3} \cos \theta \cos 3\omega t$$

$$F_{b3} = F_{m3} \cos (\theta - 120) \cos (3\omega t - 360)$$

$$F_{c3} = F_{m3} \cos (\theta + 120) \cos (3\omega t + 360)$$

$$F_3(\theta, t) = \frac{1}{2} (F_{a3} + F_{b3} + F_{c3}) = 0$$

# Superposición de Torques en Motores

## Armónico 5

$$i_{a5} = I_{m5} \cos 5\omega t$$

$$i_{b5} = I_{m5} \cos 5(\omega t + 120)$$

$$i_{c5} = I_{m5} \cos 5(\omega t - 120)$$

$$F_{a5} = F_{m5} \cos \theta \cos 5\omega t$$

$$F_{b5} = F_{m5} \cos (\theta - 120) \cos (5\omega t + 120)$$

$$F_{c5} = F_{m5} \cos (\theta + 120) \cos (5\omega t - 120)$$

$$F_5(\theta, t) = F_{a5} + F_{b5} + F_{c5} = \frac{3}{2} F_{m5} [\cos (\theta + 5\omega t)]$$

Tensiones y Corrientes Inducidas en el Rotor



# Superposición de Torques en Motores

## Armónico 7

$$i_{a7} = I_{m7} \text{Cos } 7\omega t$$

$$i_{b7} = I_{m7} \text{Cos } 7(\omega t - 120)$$

$$i_{c7} = I_{m7} \text{Cos } 7(\omega t + 120)$$

$$F_{a7} = F_{m7} \cos \theta \cos 7\omega t$$

$$F_{b7} = F_{m7} \cos (\theta - 120) \cos (7\omega t - 120)$$

$$F_{c7} = F_{m7} \cos (\theta + 120) \cos (7\omega t + 120)$$

$$F_7(\theta, t) = F_{a7} + F_{b7} + F_{c7} = \frac{3}{2} F_{m7} [\cos (\theta - 7\omega t)]$$

Tensiones y Corrientes Inducidas en el Rotor

# Superposición de Torques en Motores

Fuerza Magnetomotriz

$$F(\theta, t) = \frac{3}{2} F_{\text{máx}} [\cos(\theta - \omega t)] + \frac{3}{2} F_{m5} [\cos(\theta + 5\omega t)] + \frac{3}{2} F_{m7} [\cos(\theta - 7\omega t)] + \dots$$

Corriente del Rotor

$$I_r = I_{r1} \cos s\omega t + I_{r5} \cos(6 - s)\omega t + I_{r7} \cos(6 + s)\omega t + \dots$$

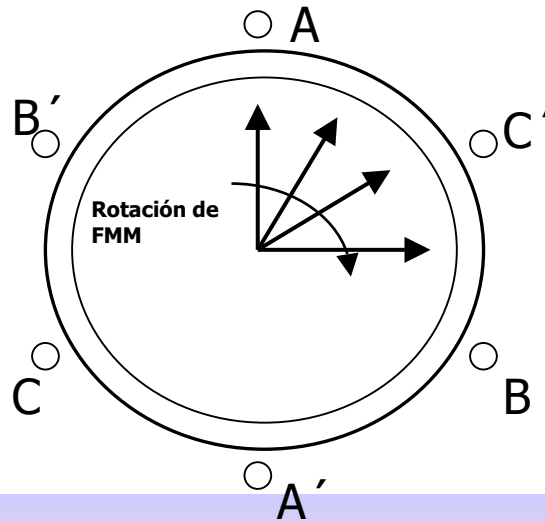
$$\tau \propto F(\theta, t) * I_r$$

# Superposición de Torques en Motores

$$\tau \propto \frac{3}{2} F_{\text{máx}} I_{r1} [\cos(\theta - wt) \cos swt] + \frac{3}{2} F_{m5} I_{r1} [\cos(\theta + 5wt) \cos swt] + \frac{3}{2} F_{m7} I_{r1} [\cos(\theta - 7wt) \cos swt] + \dots +$$

$$\frac{3}{2} F_{\text{máx}} I_{r5} [\cos(\theta - wt) \cos(6-s)wt] + \frac{3}{2} F_{m5} I_{r5} [\cos(\theta + 5wt) \cos(6-s)wt] + \frac{3}{2} F_{m7} I_{r5} [\cos(\theta - 7wt) \cos(6-s)wt] + \dots +$$

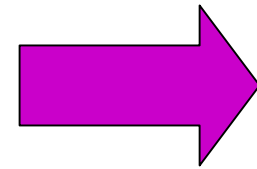
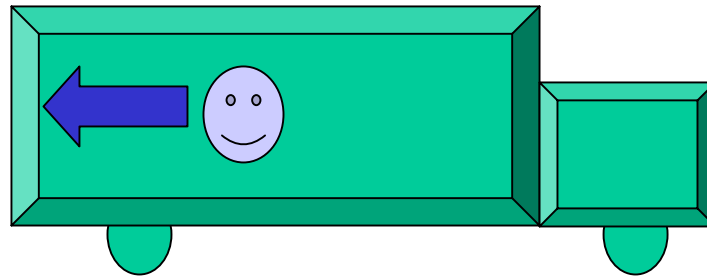
$$\frac{3}{2} F_{\text{máx}} I_{r7} [\cos(\theta - wt) \cos(6+s)wt] + \frac{3}{2} F_{m5} I_{r7} [\cos(\theta + 5wt) \cos(6+s)wt] + \frac{3}{2} F_{m7} I_{r7} [\cos(\theta - 7wt) \cos(6+s)wt] + \dots$$



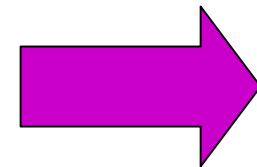
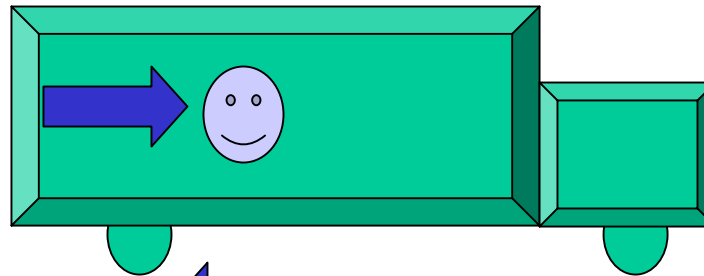
$$\tau \propto \frac{3}{2} F_{m5} I_{r1} [\cos(\theta + 5wt) \cos swt]$$

# Superposición de Torques en Motores

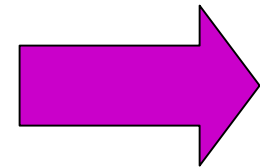
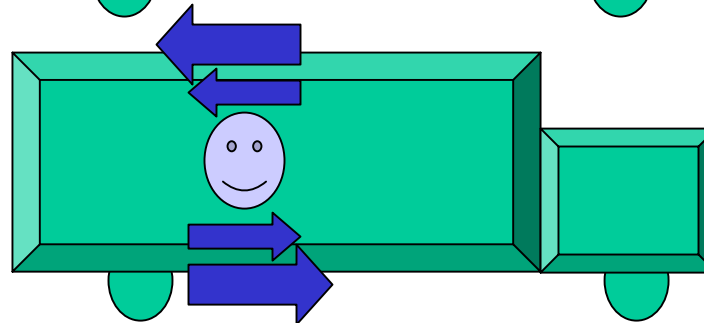
- Armónicos de secuencia negativa (2,5,8,11,...)  
**De Frenado**



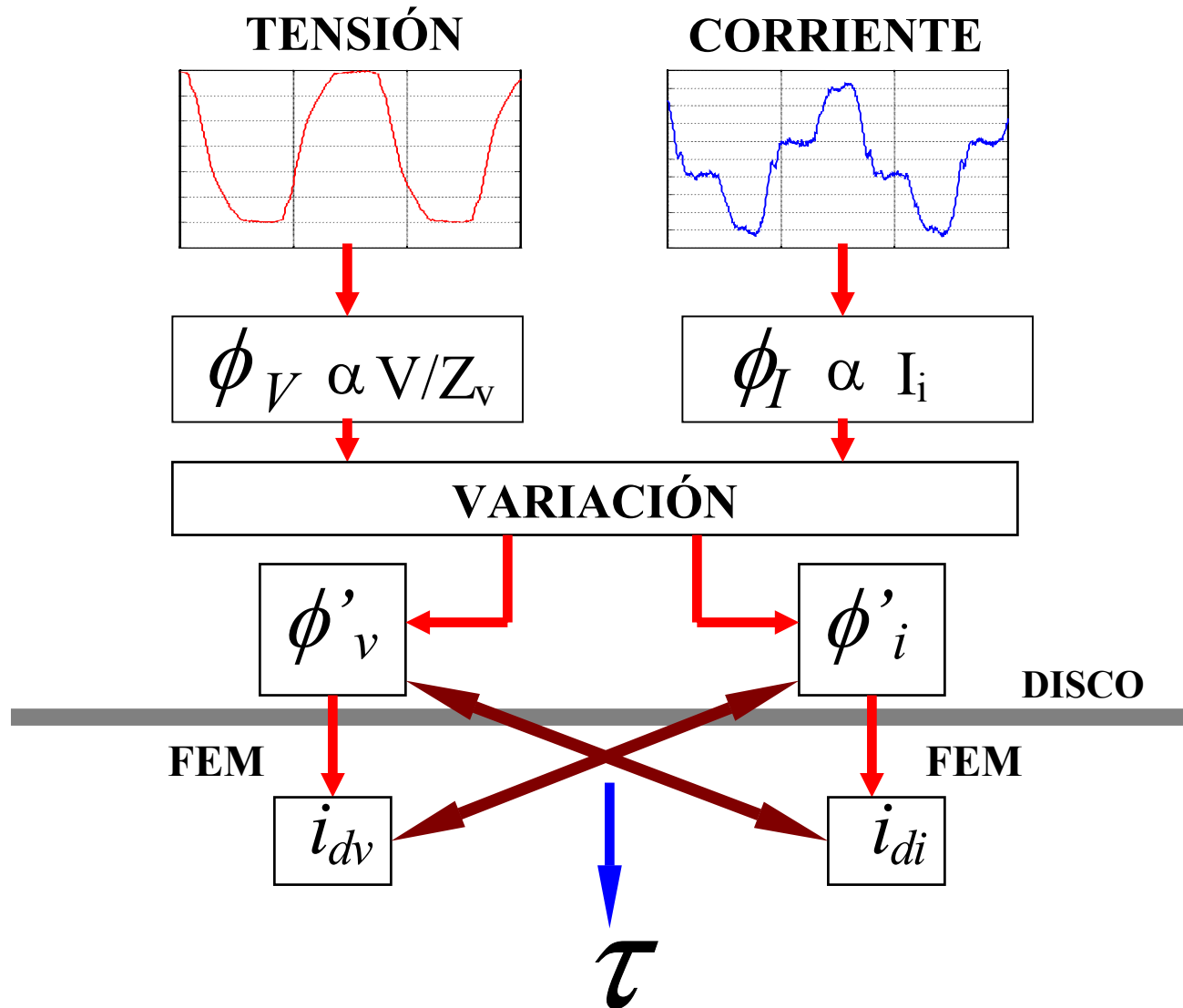
- Armónicos de secuencia positiva (4,7,10,13...)  
**Acelerantes**



- Armónicos Cruzados (1-5, 1-7, 5-7,...)  
**Pulsantes**



# Operación Incorrecta de Contadores



# TORQUE DEL CONTADOR MONOFÁSICO

$$\Phi_v(t) = \sum_{k=1}^{NHv} \frac{c_v V_{mk}}{Z_{vk}} \cos(\omega_k t + \theta_{vk} - \alpha_{vk}) \quad (2)$$

$$\Phi_i(t) = \sum_{k=1}^{NH i} c_i I_{mk} \cos(\omega_k t + \theta_{ik}) \quad (3)$$

$$i_{dv} = \frac{c_v V_{mk}'' \omega_k}{Z_{dk}} \text{sen}(\omega_k t + \theta'_{vk} - \alpha_{vk} - \alpha_{dk}) \quad (4)$$

$$i_{di} = \frac{c_i I_{mk}' \omega_k}{Z_{dk}} \text{sen}(\omega_k t + \theta'_{ik} - \alpha_{dk}) \quad (5)$$

$$\tau_d = \frac{1}{T} \int_0^T [\Phi_v(t) * i_{di}(t) - \Phi_i(t) * i_{dv}(t)] dt \quad (1)$$

# TORQUE DEL CONTADOR MONOFÁSICO

Real

$$\tau_d = \sum_{k=1}^{NH} \frac{1}{T} \int_0^T \left[ \frac{c_i c_v V_{mk}'' \cos(\omega_k t + \theta'_{vk} - \alpha_{vk}) \omega_k I'_{mk} \operatorname{sen}(\omega_k t + \theta'_{ik} - \alpha_{dk})}{\sqrt{R_{dk}^2 + (\omega_k L_{dk})^2}} - \frac{c_i c_v I'_{mk} \cos(\omega_k t + \theta'_{ik}) \omega_k V_{mk}'' \operatorname{sen}(\omega_k t + \theta'_{vk} - \alpha_{vk} - \alpha_{dk})}{\sqrt{R_{dk}^2 + (\omega_k L_{dk})^2}} \right] dt$$

Ideal

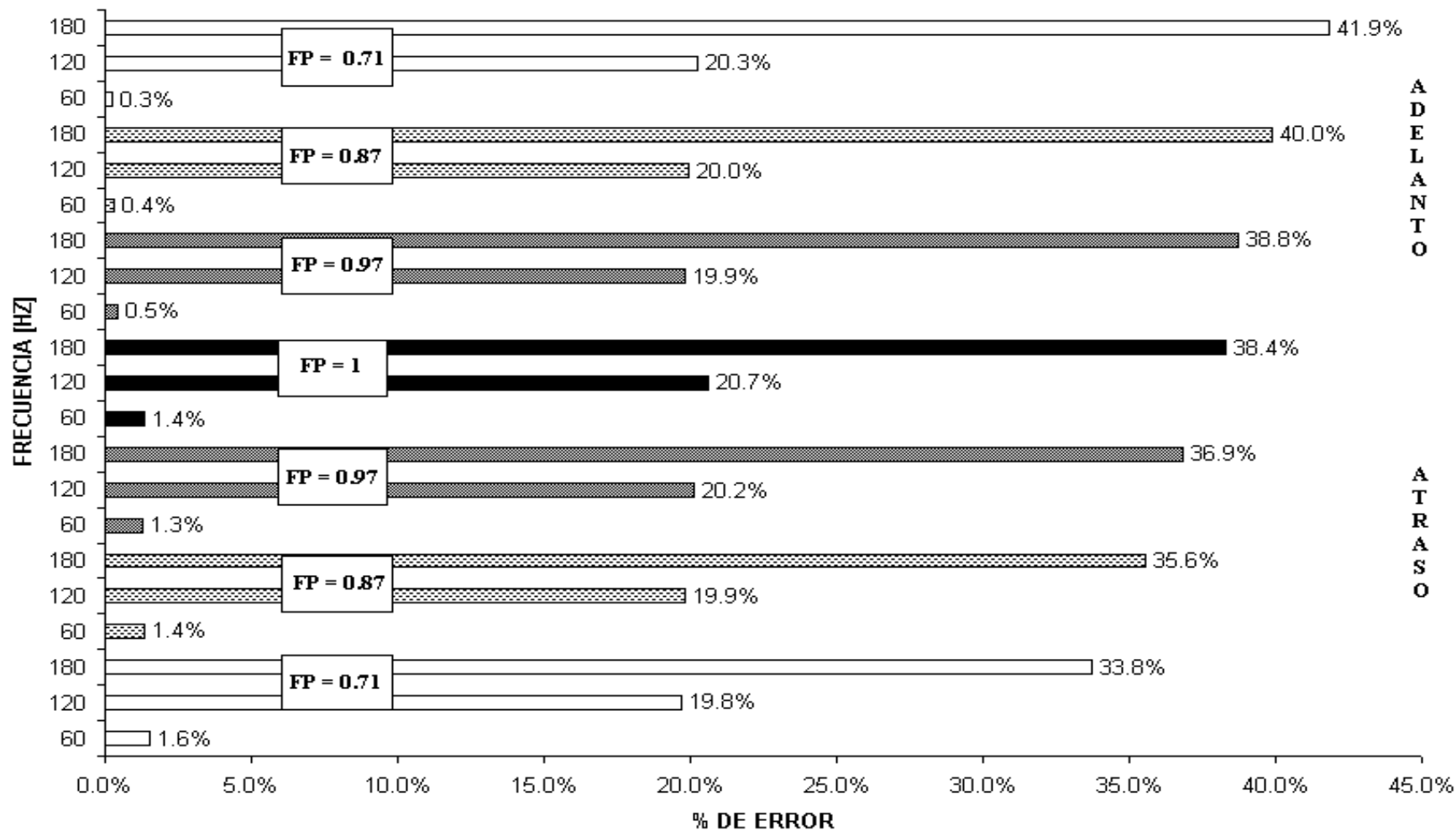
$$\tau_{id} = \sum_{k=1}^{NH} \frac{1}{T} \int_0^T \left[ \frac{c_i c_v V_{mk} I_{mk}}{R_{dk} * L_v} \left( \operatorname{sen}(\omega_k t + \theta_{vk}) \operatorname{sen}(\omega_k t + \theta_{ik}) + \cos(\omega_k t + \theta_{ik}) \right) \right] dt$$

$$\cos(\omega_k t + \theta_{vk})$$

**Error**

$$\%E = \frac{\tau_d - \tau_{id}}{\tau_{id}}$$

# Error del Contador a frecuencias armónicas





# COMPORTAMIENTO DEL CONTADOR

**P1=100W**

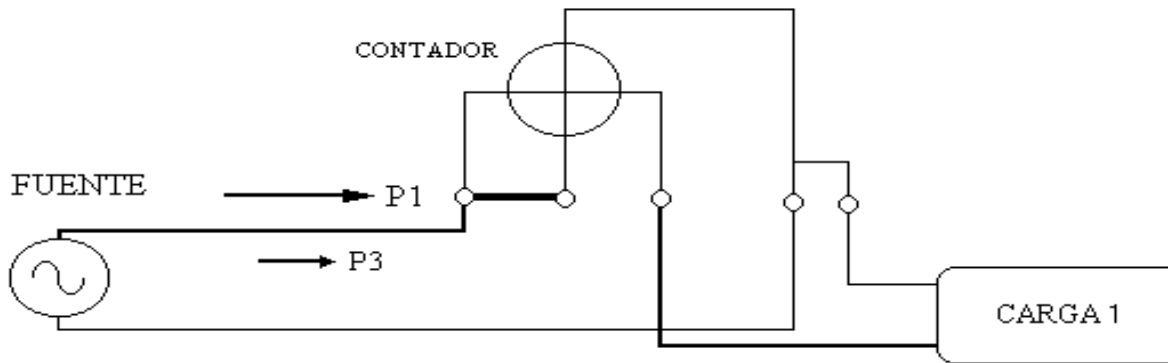
**P3=10W**

$$\% E = \frac{E_m - E_r}{E_r} * 100$$

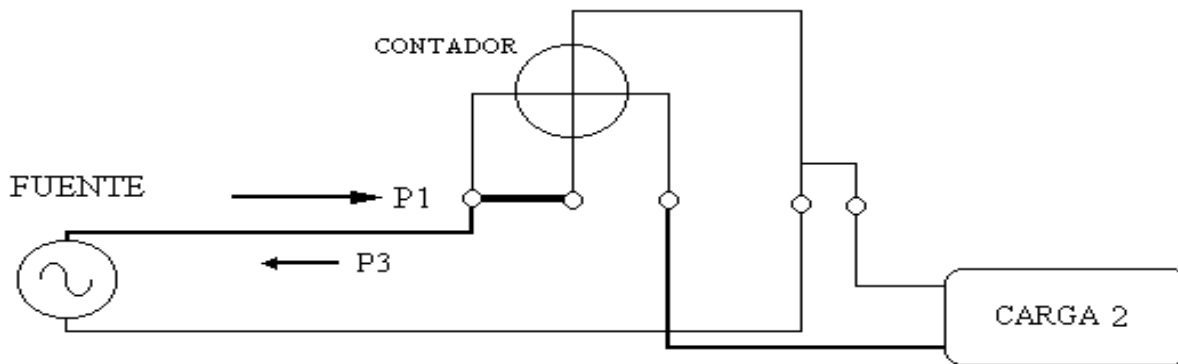
(a)  $E_m = 106 \text{ t [Wh]}$

$E_r = 110 \text{ t [Wh]}$

$\%E = - 3,64\%$  sub-registro



(a)



(b)

(b)  $E_m = 94 \text{ t [Wh]}$ .

$E_r = 90 \text{ t [Wh]}$ .

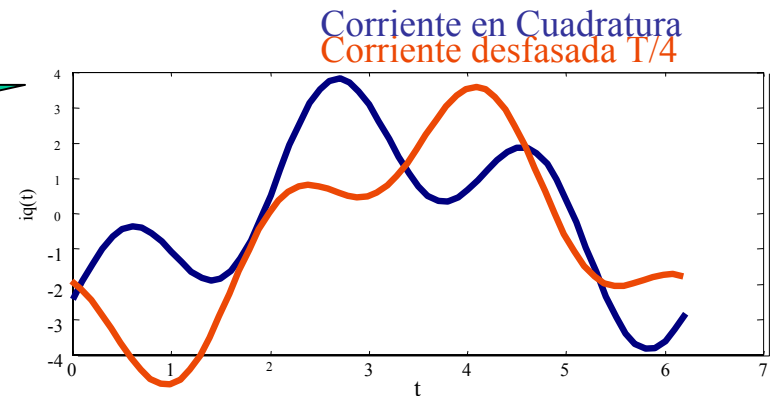
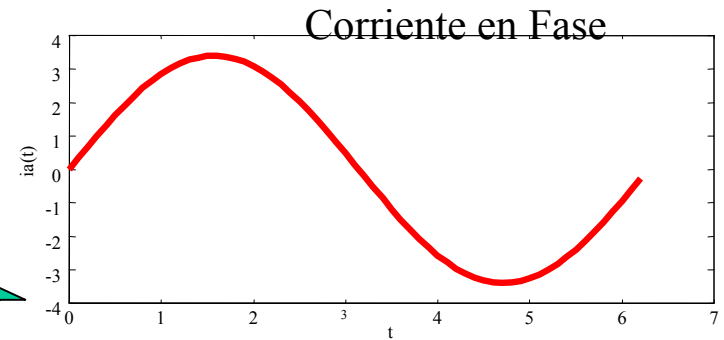
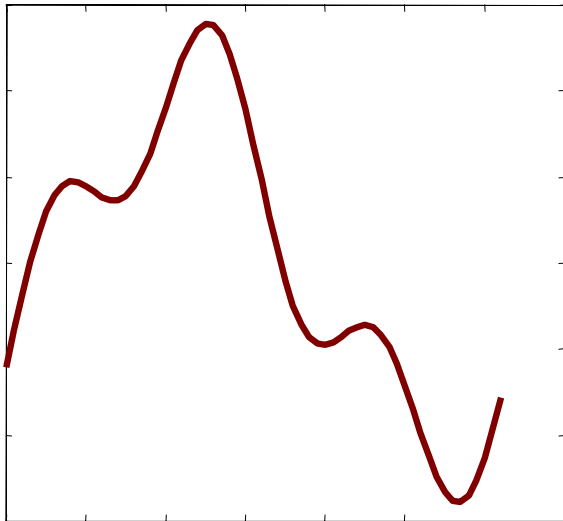
$\%E = + 4,44\%$  sobre-registro

# Medición Incorrecta de Reactiva

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i_{\perp}(t) dt = 0$$

$$Q = V \cdot I_{\perp}$$

$i(t)$

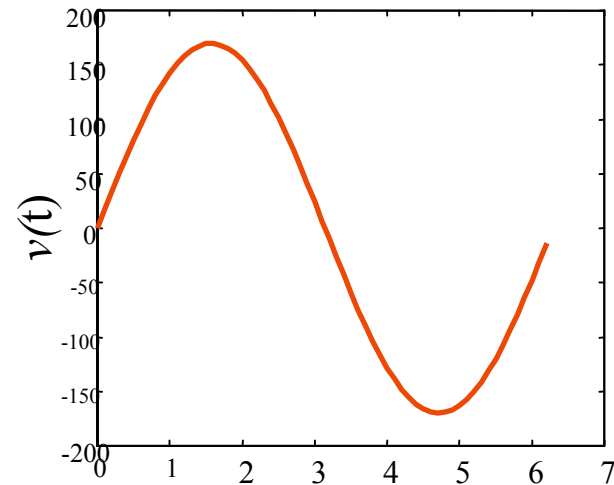


# Medición Incorrecta de Reactiva

Para  $v(t)$

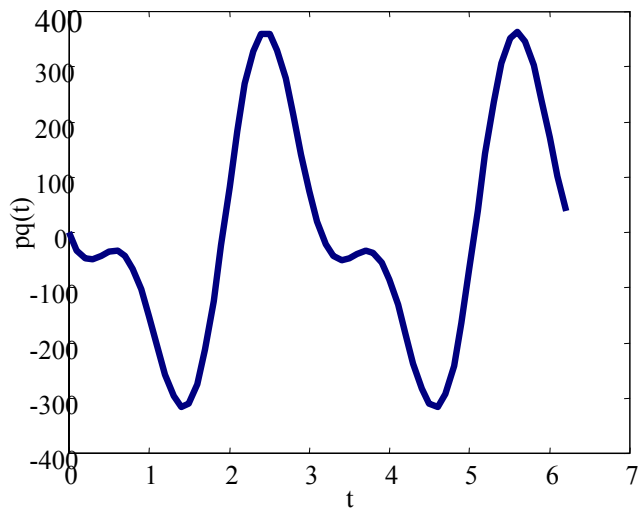


*Tensión Senoidal*



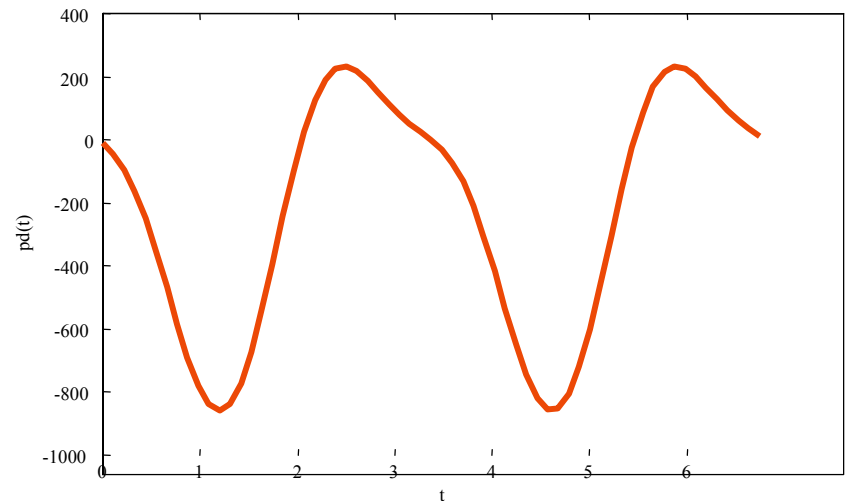
Potencia instantánea en cuadratura

$$p_q(t) = i_q(t) * v(t)$$



Potencia instantánea desfasada

$$p_d(t) = i_d(t) * v(t)$$



# Medición Incorrecta de Reactiva

Si la potencia  
activa es igual a:



$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = 288$$

• Componente en cuadratura

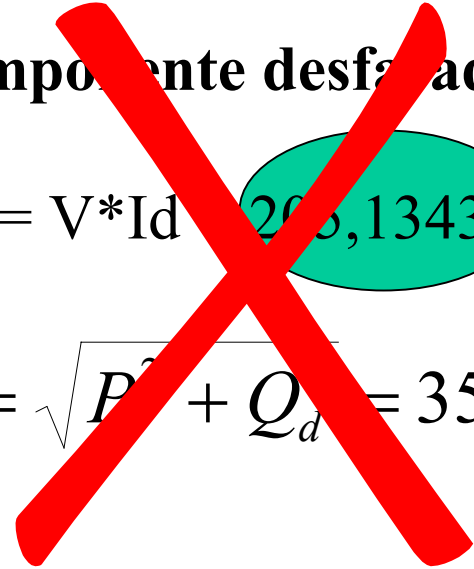
$$Q_f = V * I_q = 251,1063$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q_f^2} = 382,0973$$

• Componente desfasada

$$Q_d = V * I_d = 205,1343$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q_d^2} = 353,5875$$



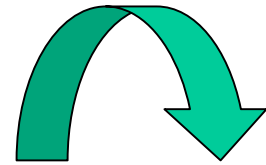
Potencia aparente o  
de dimensionamiento:



$$S = V * I = 382,0973$$

# Reduccion del Factor de Potencia

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{I_a}{I}$$



$$F.P. = \frac{P}{S} = \frac{\sum_n U_n I_n \cos \varphi_n}{U_1 I_1 \sqrt{(1 + DAT_U^2)(1 + DAT_I^2)}}$$

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + D_s^2 + Q_m^2 + D_g^2 + D_u^2}} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_r^2}}$$

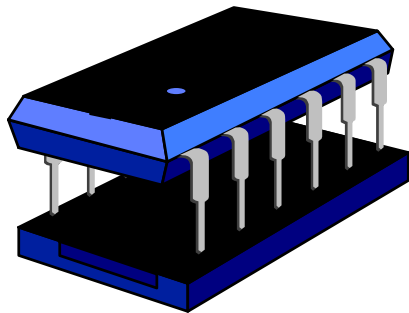
# Consecuencia:

\$

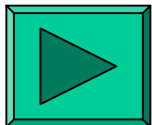
**Medida errónea  
de Q, fp y S**

\$

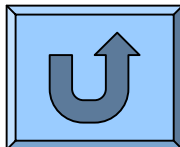
**Facturación  
incorrecta**



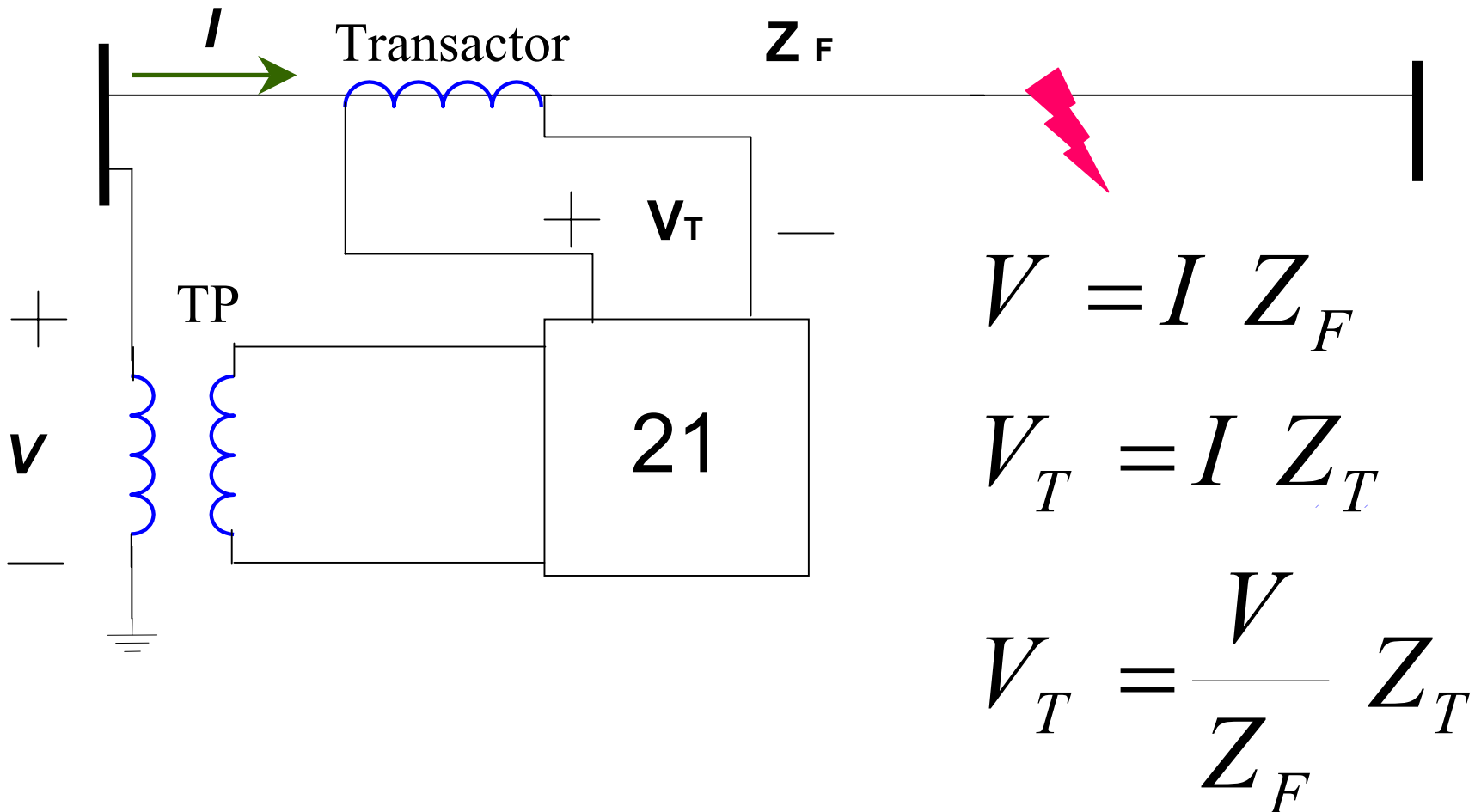
**Importancia del  
algoritmo de  
cálculo**



*Ejemplos de mediciones correctas*



# Operación Incorrecta de Protecciones Relé Mho



$$V = I Z_F$$

$$V_T = I Z_T$$

$$V_T = \frac{V}{Z_F} Z_T$$

# Operación Incorrecta de Protecciones Relé Mho

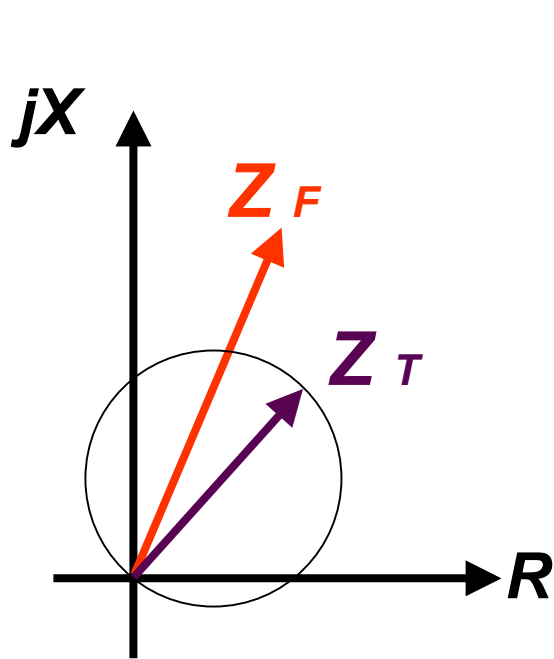


Diagrama de impedancias

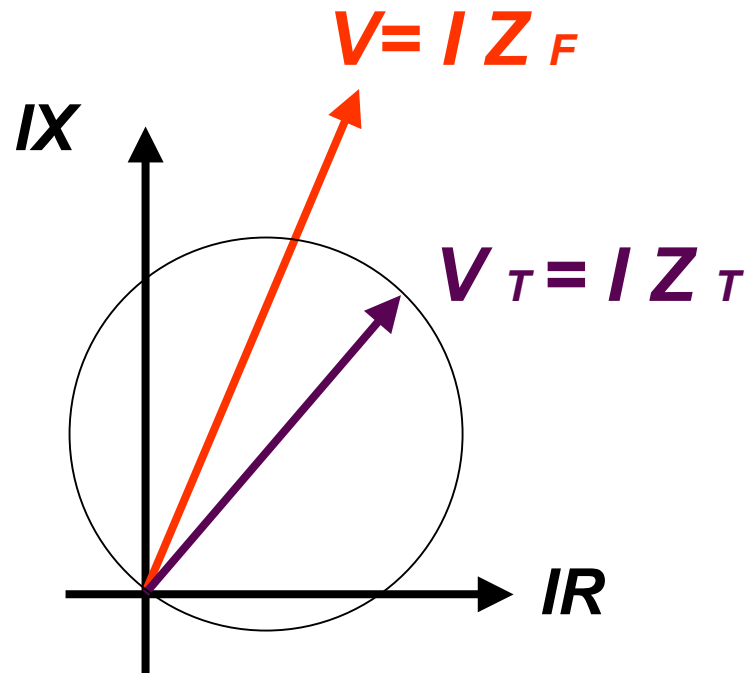
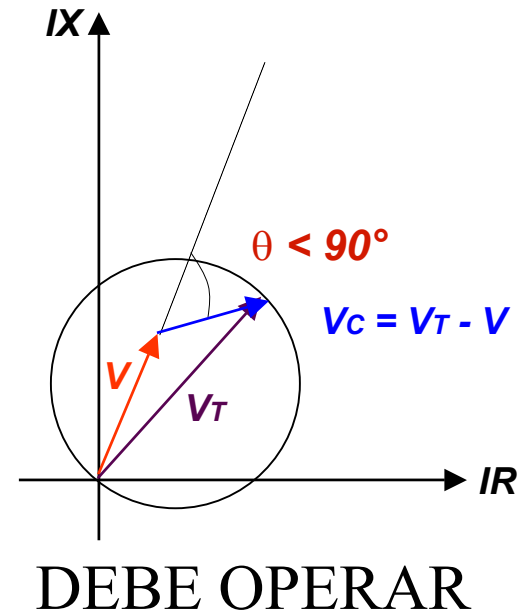
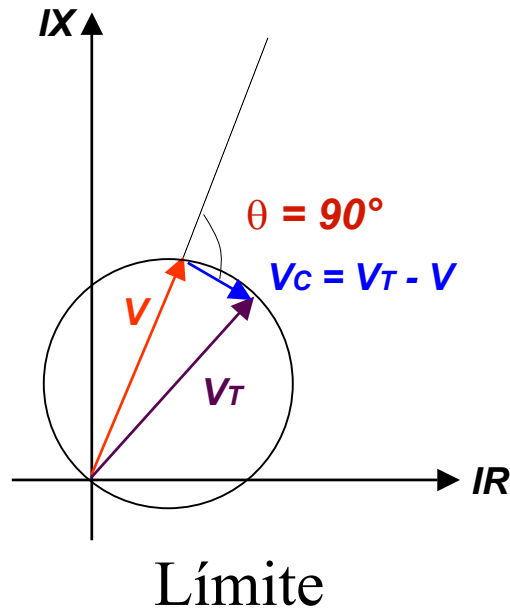
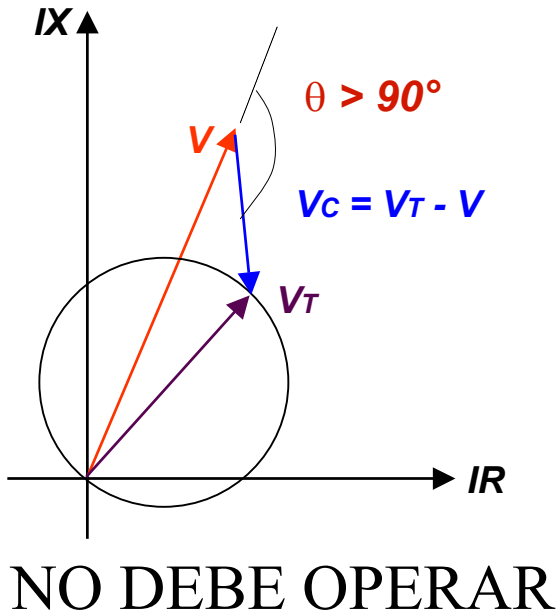


Diagrama de tensiones

*Si la impedancia de falla (ó  $V = I Z_F$ ) se encuentra en el INTERIOR de la circunferencia, el relé DEBE OPERAR.*

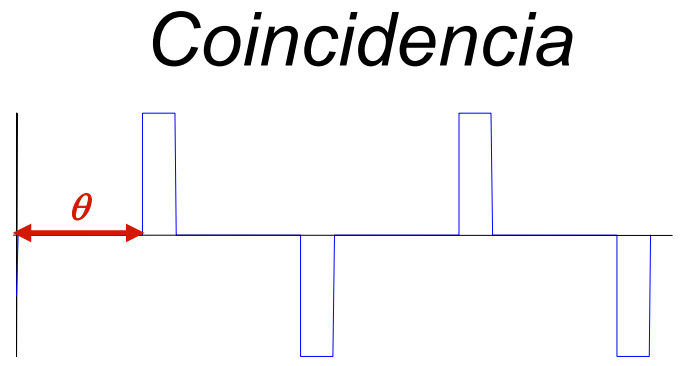
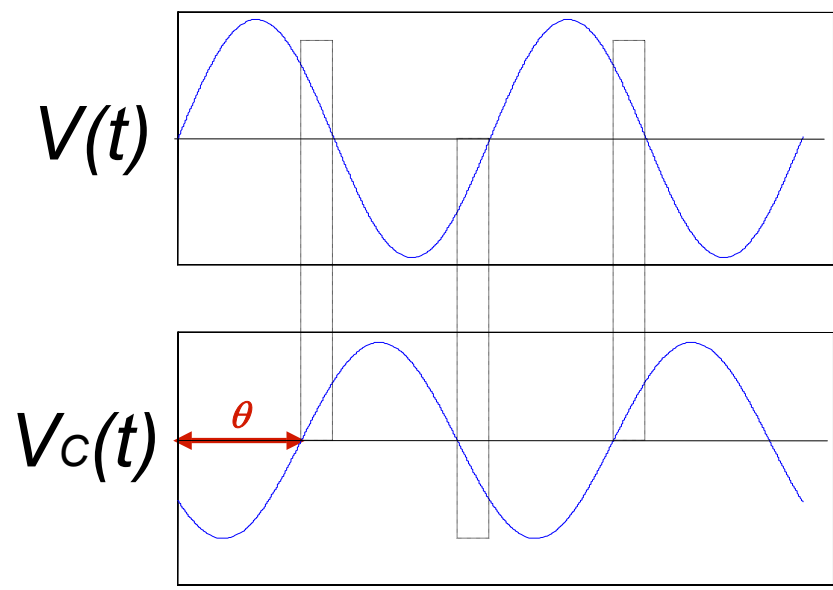


# Operación Incorrecta de Protecciones Relé Mho



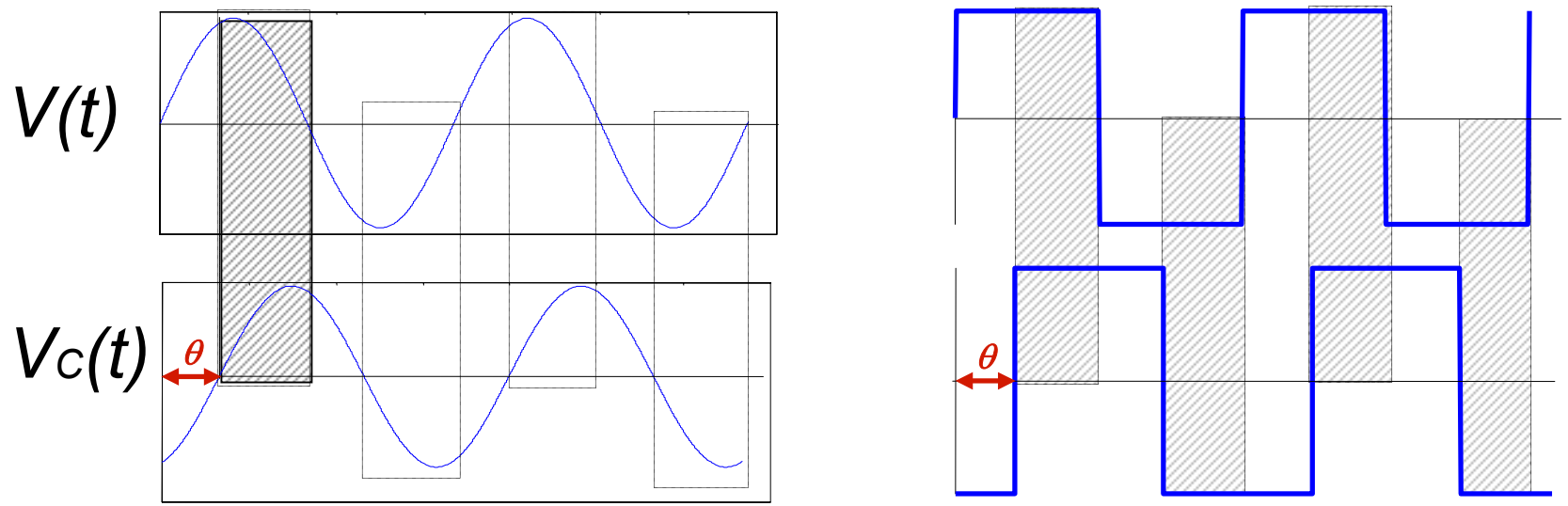
$$\frac{V}{V_C} = \frac{Z_F}{Z_T - Z_F}$$

# Operación Incorrecta de Protecciones Relé Mho



$\theta > 90^\circ \rightarrow$  Coincidencia  $< \frac{1}{4}$  de ciclo ( $< 4$  mS).  
Coincidencia  $< 4$  mS  $\rightarrow$  No Dispara

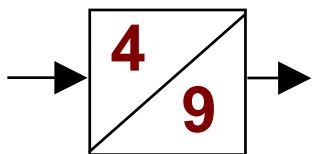
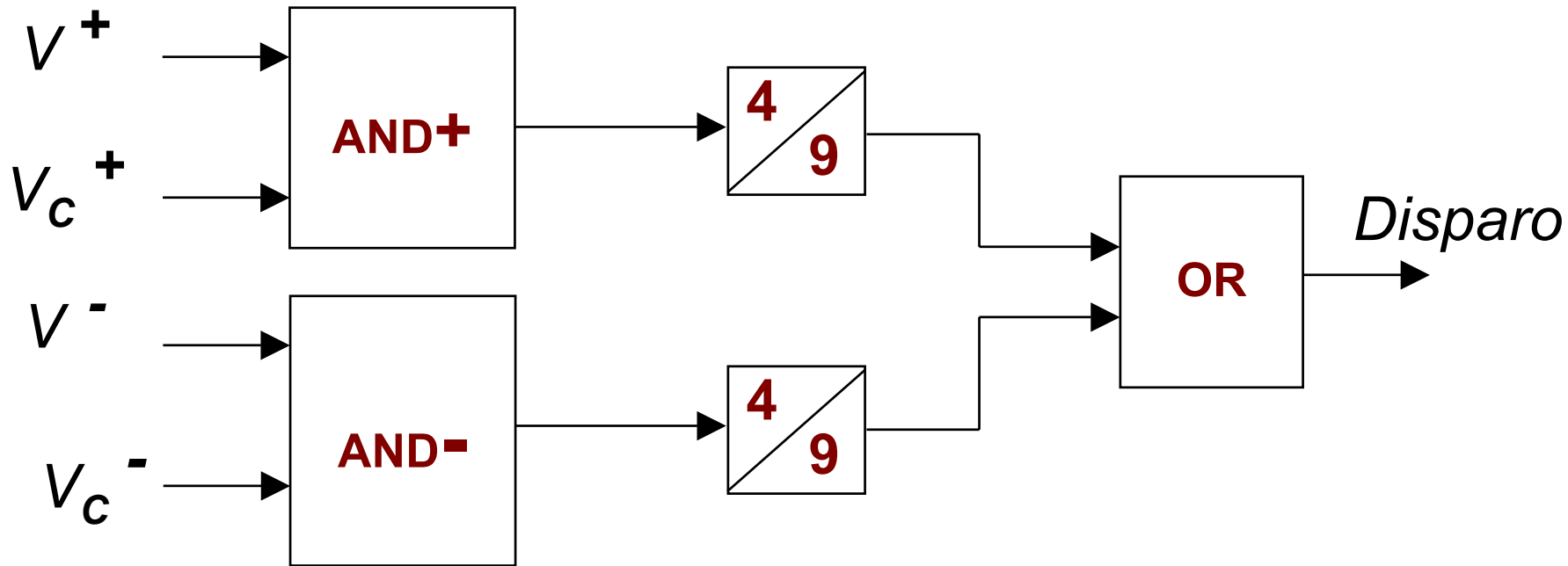
# Operación Incorrecta de Protecciones Relé Mho



$\theta < 90^\circ \rightarrow$  Coincidencia  $> \frac{1}{4}$  de ciclo ( $> 4 \text{ mS}$ ).

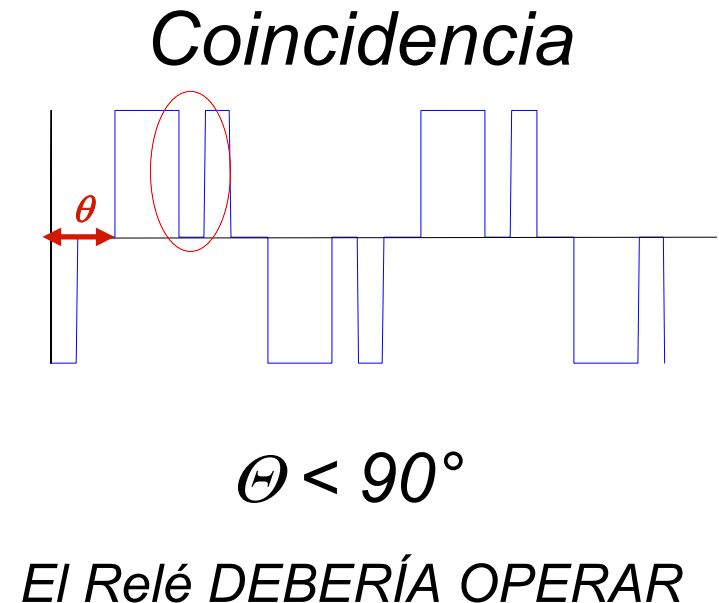
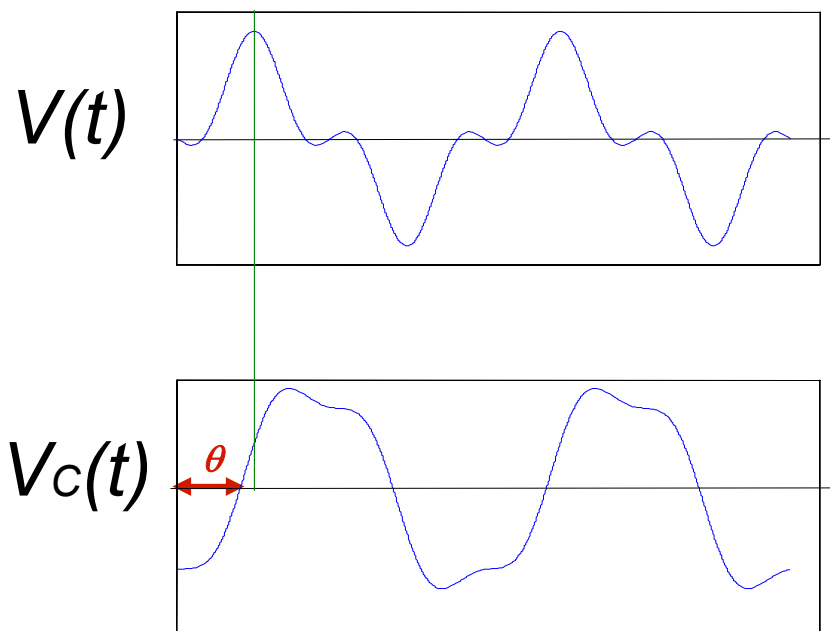
Coincidencia  $> 4 \text{ mS} \rightarrow$  Disparo

# Operación Incorrecta de Protecciones Relé Mho



*Este Temporizador produce una señal constante durante 9 mS (>1/2 Ciclo) cada vez que la señal de entrada (por ejemplo coincidencia +) permanece durante 4 mS, causando así que se produzca señal de disparo.*

# Operación Incorrecta de Protecciones Relé Mho



*Armónicos pueden causar coincidencias menores de 4 mS, provocando que el Relé NO OPERE CUANDO DEBIERA.*