

# Transformadores de Medida

## Transformadores destinados a alimentar instrumentos de medida, registradores, etc.

- ✓ La relación de división de corrientes o tensiones es, a los fines prácticos y dentro de ciertos límites, independiente de la frecuencia.
- ✓ Permiten efectuar mediciones con varios instrumentos simultáneamente (a pesar de que el consumo de los mismos sea importante).
- ✓ Pueden hacerse medidas a distancias considerables.
- ✓ En instalaciones de tensiones elevadas, brindan separación galvánica entre el circuito de potencia y los instrumentos.

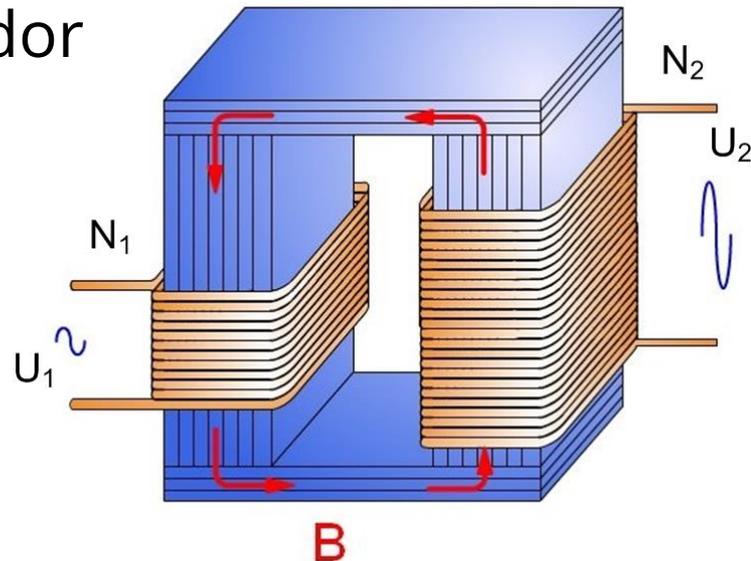
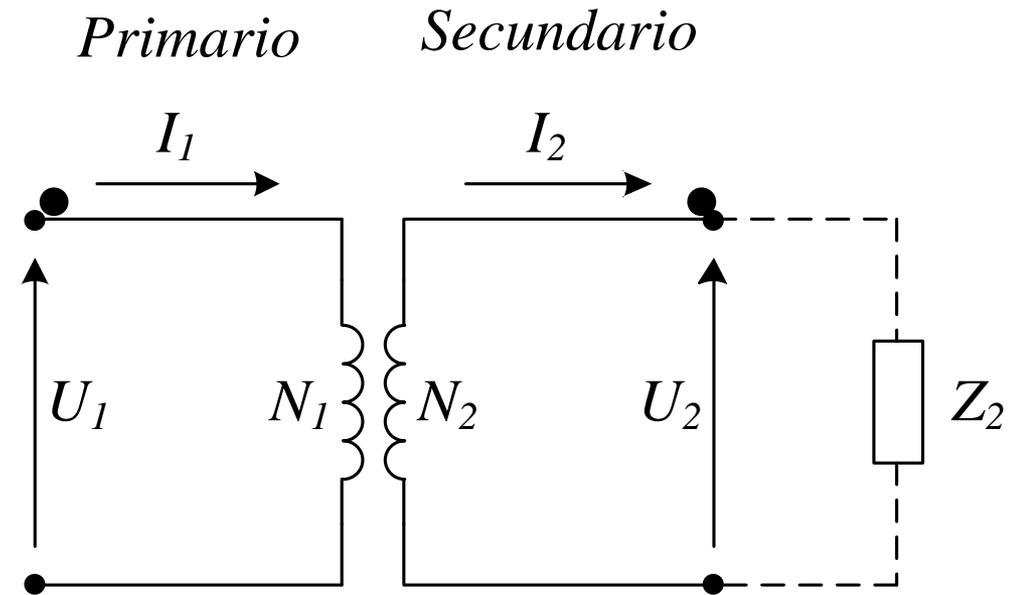
# Datos Básicos de Funcionamiento

**Primario:** circuito por el que se excita al transformador

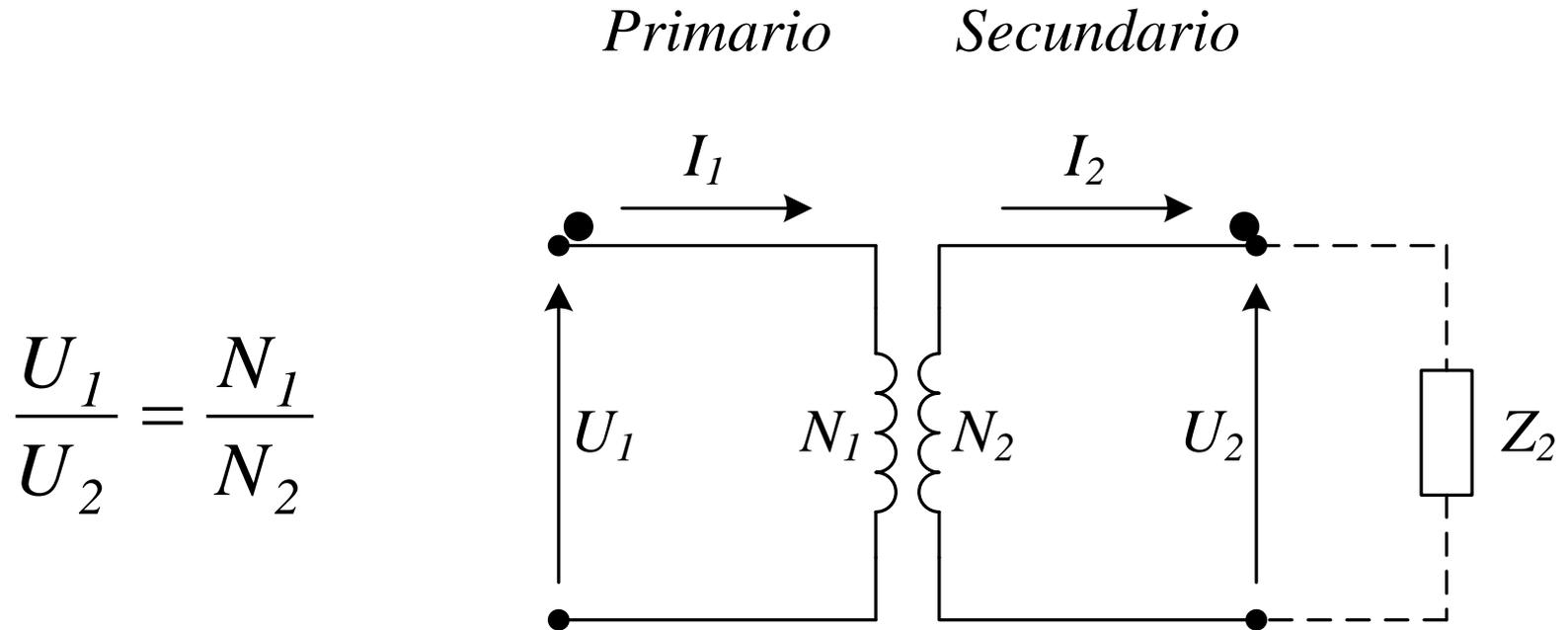
**Secundario:** circuito que alimenta a las cargas conectadas al transformador

$$S = U_1 * I_1 = U_2 * I_2$$

$$N_1 * I_1 = N_2 * I_2$$



# Datos Básicos de Funcionamiento

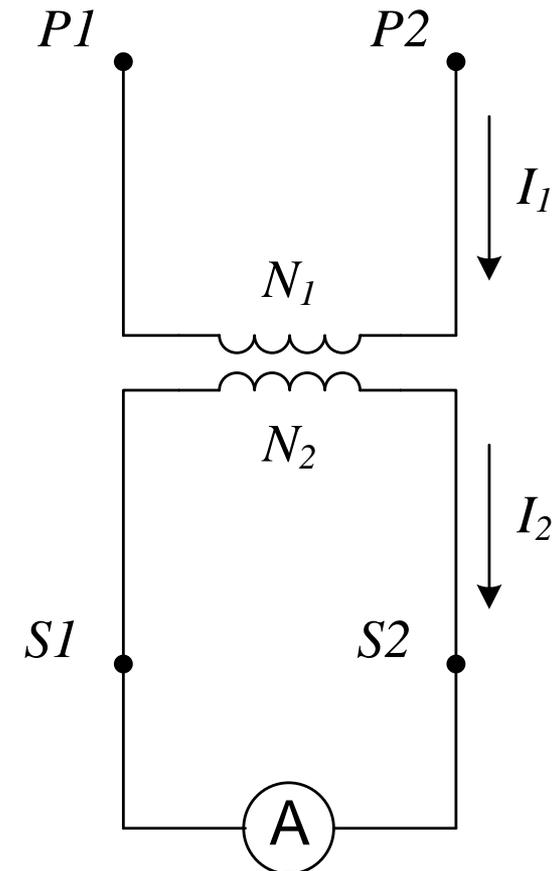
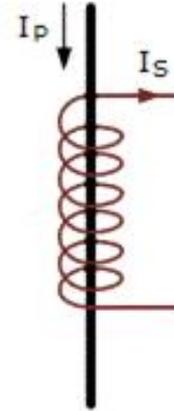
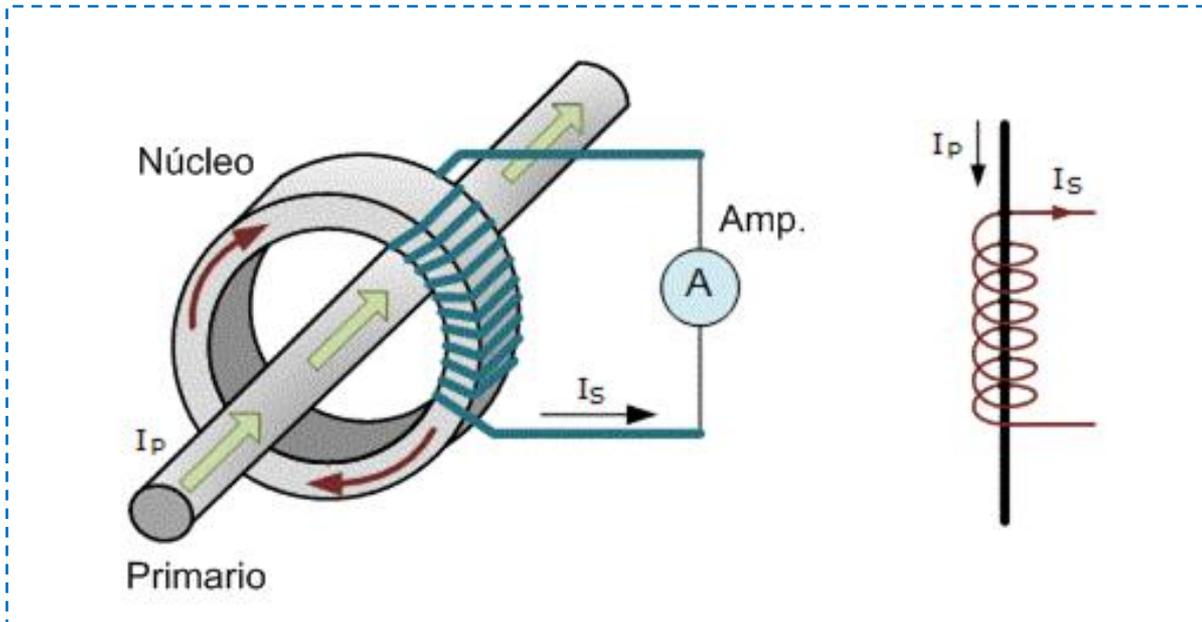


$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = k_U$$

$$\frac{I_1}{I_2} = k_I$$

# Transformadores de Corriente (TA o TI)



$P1$  y  $S1$  (al igual que  $P2$  y  $S2$ ): bornes homólogos

# Transformadores de Corriente (TA)

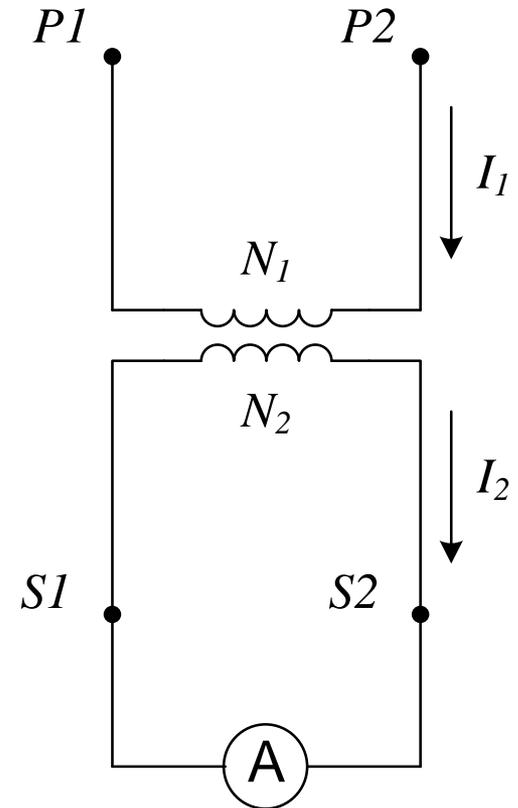
$I_{1n}$  : Corriente Primaria Nominal

$I_{2n}$  : Corriente Secundaria Nominal  
(valores más comunes: 1 y 5 A)

$\frac{I_{1n}}{I_{2n}} = k_{I_n}$  : Relación Nominal

$c$  : Clase de Exactitud

$S_n$  : Prestación o Potencia Nominal

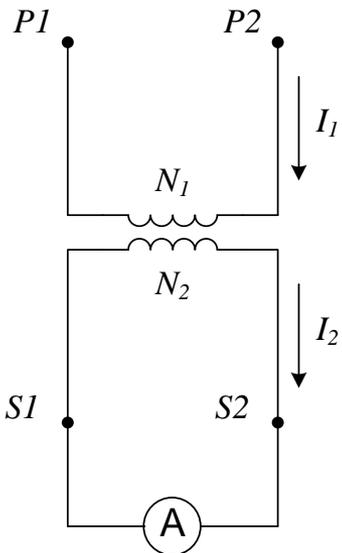


$P1$  y  $S1$  (al igual que  $P2$  y  $S2$ ):  
bornes homólogos

## Errores de los TA

- **B** no es una función lineal (corriente de magnetización)
- Pérdidas por histéresis, corrientes de circulación y efecto Joule en los arrollamientos ( $I^2.R$ )
- Flujo de dispersión (pérdidas en el circuito magnético)

$$\Rightarrow k_{I_n} = f(I_1, S_2, f, etc) \quad (\text{nro. complejo; cte. real sólo en forma aproximada})$$



$$I_1 = k_{I_n} * I_2 \quad \text{y} \quad e_{I_1} = \pm(\eta + e_{I_2})$$

$e_{I_2}$  : error de indicación del amperímetro

$\eta$  : error de relación del TA

En el caso de conectar un vatímetro  
(*instrumento sensible a fase*):

$$P_1 = U * I_1 * \cos \varphi$$

$$P_2 = U * I_2 * \cos \varphi$$

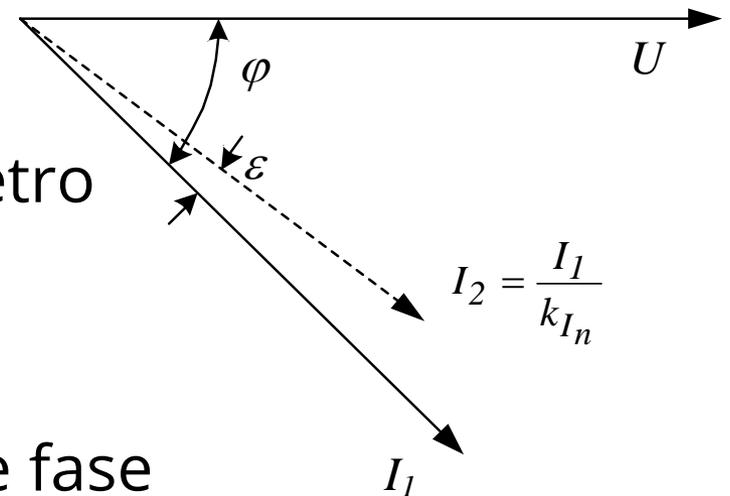
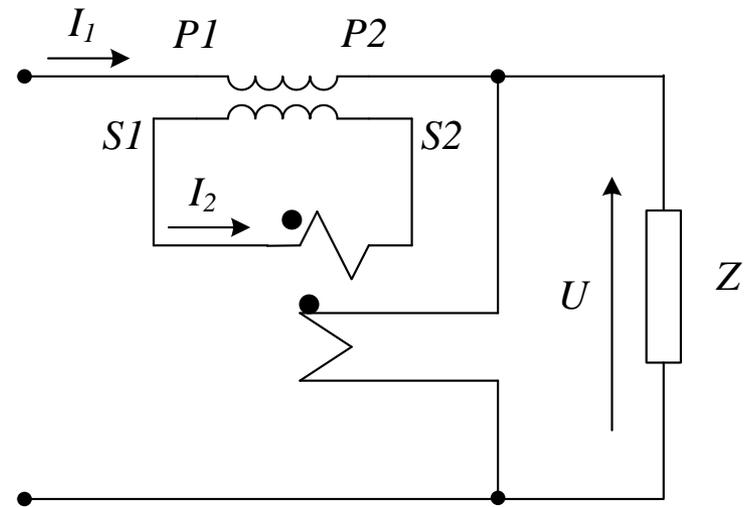
$$\Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1}{I_2} = k_{I_n} \Rightarrow P_1 = k_{I_n} * P_2 \quad (k_{I_n}, \text{ número complejo})$$

$$\Rightarrow e_{P_1} = \pm (\eta + e_{fase} + e_{P_2})$$

$e_{P_2}$ : error de indicación del vatímetro

$\eta$ : error de relación del TA

$e_{fase} = \pm (\varepsilon * \operatorname{tg} \varphi)$ : error de fase



# Errores de Relación y Fase para Transformadores de Corriente clases 0,1 a 1 (IRAM - IEC)

Clase	Error de relación a distintos porcentajes de $I_n$ $\pm \eta$				Error de fase a distintos porcentajes de $I_n$ $\pm \varepsilon$							
					[minutos]				[centirradianes]			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
<b>0,1</b>	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
<b>0,2</b>	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
<b>0,5</b>	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
<b>1</b>	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Notar que  $\eta$  y  $\varepsilon$  son errores sistemáticos, pero serán tratados como fortuitos, pues sólo se conocerá su valor límite



## Errores de Relación y Fase para Transformadores de Corriente clases 0,2S y 0,5S (IRAM - IEC)

Clase	Error de relación a distintos porcentajes de $I_n$ $\pm \eta$					$\pm$ Error de fase a distintos porcentajes de $I_n$ $\pm \varepsilon$									
						[minutos]					[centirradianes]				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
<b>0,2 S</b>	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
<b>0,5 S</b>	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

**Nota:** Las dos tablas anteriores son **válidas para** valores de **prestación** comprendidos **entre el 25% y el 100% de la nominal**, a  $\cos \varphi = 0,8$  ind., excepto para prestaciones nominales inferiores a 5 VA, en que se establece  $\cos \varphi = 1$ .

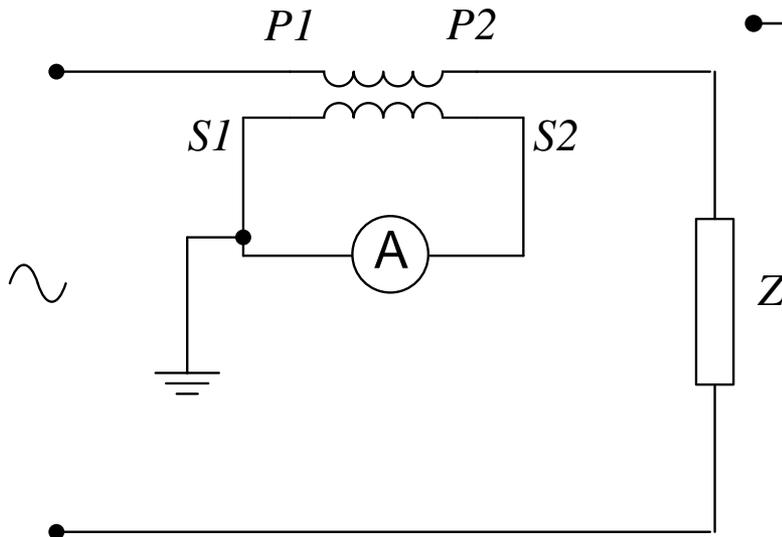
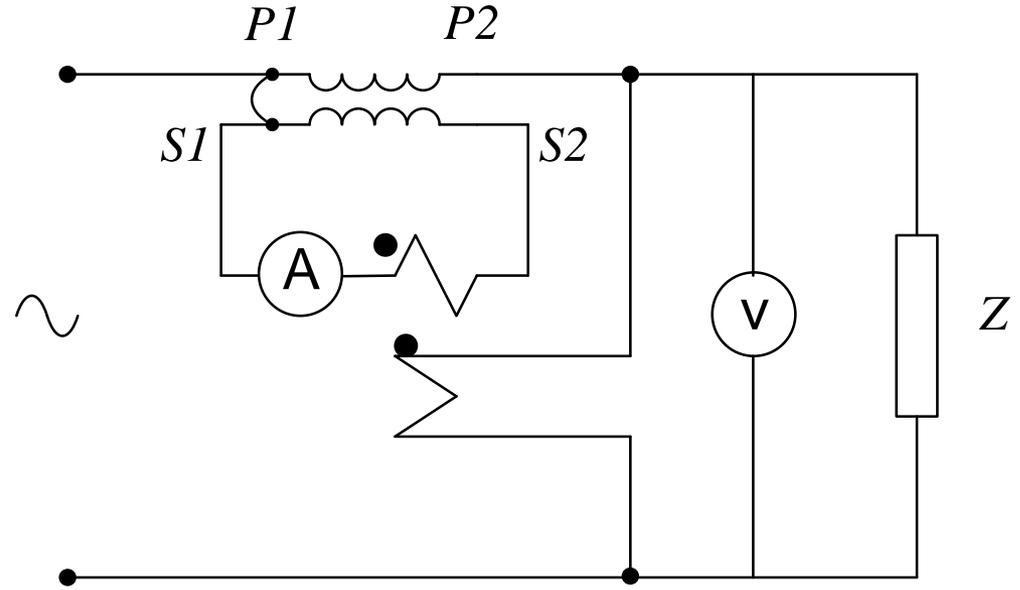
## Errores de relación y fase para Transformadores de Corriente clases 3 y 5 (IRAM - IEC)

Clase	Error de relación a distintos porcentajes de $I_n$ $\pm \eta$	
	50	120
3	3	3
5	5	5

Para estas clases no se establecen límites para los errores de fase.

# Esquemas Típicos de Conexión de Transformadores de Medida

Transformador de Corriente en un Circuito de Baja Tensión



Transformador de Corriente en Media o Alta Tensión



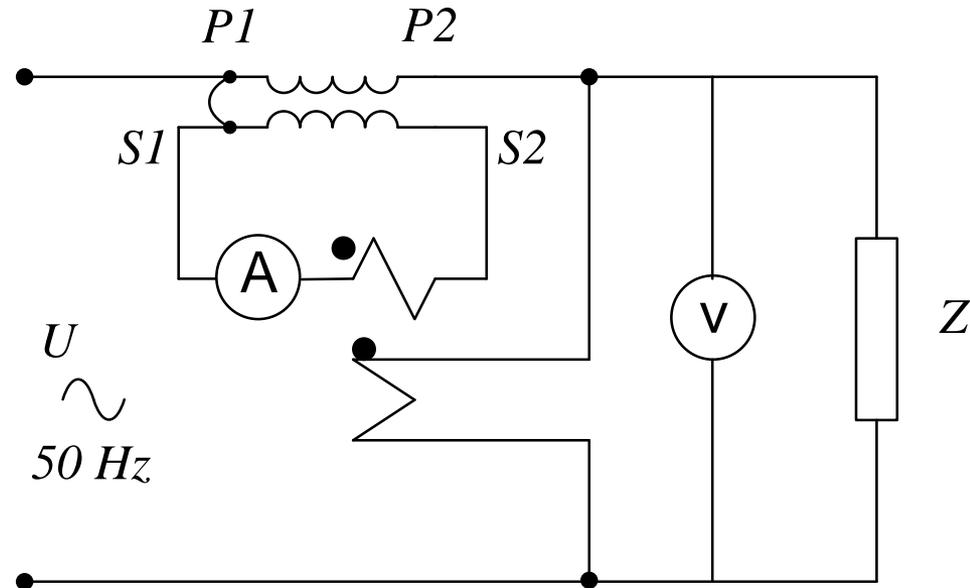


**Ejemplo:** Determinar la potencia activa de la carga  $Z$ , con su error límite.

$$S \cong 2,0 \text{ kVA}; \cos \varphi \cong 0,8 \text{ (ind)}$$

$$U = 220 \text{ V}$$

(Cable del circuito amperométrico:  
10 m, Cu, 2,5 mm<sup>2</sup>).



- Watímetro:  $U_n$ : 240 V,  $I_n$ : 5 A,  $c$ : 1,  $\cos \varphi_n$ : 1,  $R_{VW}$ : 133  $\Omega/V$ ;  
 $Z_{AW}$ : 1 VA,  $\cos \varphi = 0,8$  a 5 A.
- Voltímetro: Alcance: 240 V,  $R_V$ : 1 k $\Omega/V$ ,  $c$ : 1
- Amperímetro: Alcance: 5 A,  $Z_A$ : 1 VA,  $\cos \varphi = 0,8$  a 5 A.
- TA:  $I_{1n}$ : 10 A,  $I_{2n}$ : 5 A,  $S_n$ : 5 VA,  $c$ : 1.

En primera aproximación,  
la potencia activa de la  
carga y la corriente serían:

$$I_1 = \frac{S}{U} = \frac{2,0 \text{ kVA}}{220 \text{ V}} = 9,1 \text{ A}$$

$$P_1 = S \cdot \cos \varphi = 2,0 \text{ kVA} \cdot 0,8 = 1,6 \text{ kW}$$

Y la corriente en el  
secundario del TA:

$$I_2 = \frac{I_1}{k_{I_n}} = \frac{9,1 \text{ A}}{10/5} = 4,55 \text{ A}$$

Por otra parte, la indicación  
del vatímetro sería:

$$P_2 = \frac{P_1}{k_{I_n}} = \frac{1,6 \text{ kW}}{10/5} = 0,8 \text{ kW}$$

Y el error límite en la  
determinación de  $P_1$  se  
podrá calcular como:

$$e_{P_1} = \pm ( e_{P_2} + \eta + \varepsilon \cdot \text{tg } \varphi )$$

Antes de iniciar el cálculo de cada uno de los términos de la ecuación anterior, verificaremos la carga del secundario del TA:

$$\dot{S}_2 = \dot{S}_A + \dot{S}_{AW} + P_{cable}$$

- Instrumentos (**W** y **A**):

$$Z_A ; Z_{AW} : 1 \text{ VA}, \cos\varphi = 0,8 \text{ a } 5 \text{ A}$$

$$\Rightarrow \dot{S}_A = \dot{S}_{AW} = 1 \text{ VA } e^{j36,9^\circ} = 0,8 \text{ W} + j 0,6 \text{ VAR}$$

- Cable:

$$R_{cable} = \rho \frac{l}{Secc.} = \frac{1}{57} \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} * \frac{10 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 0,070 \Omega$$

$$\Rightarrow P_{cable} = (5 \text{ A})^2 0,070 \Omega = 1,75 \text{ W}$$

Entonces:

$$\dot{S}_2 = (2 * 0,8 + 1,75)W + j(2 * 0,6)VAR = 3,6 VA e^{j19,7^\circ}$$

$$\Rightarrow \dot{S}_2 : 3,6 VA , \cos \varphi = 0,9$$

Que, referida a la prestación nominal del TA, permite obtener:

$$\frac{S_2}{S_n} * 100 = \frac{3,6 VA}{5 VA} * 100 = 72 \% \quad (\text{Valor comprendido dentro de los límites admisibles})$$

En cuanto al cálculo de los errores límites, comenzaremos con el correspondiente al de indicación del vatímetro:

$$e_{P_2} = \pm c \frac{P_f}{P_2} = \pm 1 \% \frac{240 V \cdot 5 A}{0,8 kW} = \pm 1,5 \%$$

## Y los errores del TA serán:

- ◆  $\eta$ : en la Tabla, para **clase 1** y relación de corrientes

$$\frac{9,1 \text{ A}}{10 \text{ A}} * 100 = 91 \% I_n$$

Interpolando linealmente:

$$\frac{100 - 20}{1,0 - 1,5} = \frac{100 - 91}{1,0 - \eta} \Rightarrow \eta = \pm 1,06 \%$$

- ◆  $e_{fase}$ : en la Tabla, para las mismas condiciones anteriores

$$\frac{100 - 20}{1,8 - 2,7} = \frac{100 - 91}{1,8 - \varepsilon} \Rightarrow \varepsilon = \pm 1,9 \text{ centirradianes}$$

$$\begin{aligned} \therefore e_{fase} &= \pm \varepsilon * \operatorname{tg} \varphi = \pm 1,9 \text{ centirradianes} * \operatorname{tg} (\arccos 0,8) = \\ &= \pm (1,9 * 0,75) \% = 1,43 \% \end{aligned}$$

Clase	Error de relación a distintos porcentajes $I_n \pm \eta$				Error de fase a distintos porcentajes $I_n \pm \varepsilon$							
					[minutos]				[centirradianes]			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
<b>1</b>	<b>3,0</b>	<b>1,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	180	90	60	60	<b>5,4</b>	<b>2,7</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>

Entonces:

$$e_{P_1} = \pm ( e_{P_2} + \eta + e_{fase} ) = \pm ( 1,5 + 1,06 + 1,43 ) = \pm 4,0\%$$

$$\Rightarrow E_{P_1} = \pm \frac{e_{P_1}}{100} * P_1 = \pm \frac{4,0}{100} * 2,0 \text{ kVA} * 0,8 = \pm 0,06 \text{ kW}$$

Restaría aún analizar el consumo propio de los instrumentos (sólo influyen el voltímetro y la bobina voltimétrica del vatímetro):

$$\begin{aligned} \text{Consumo de los circuitos voltimétricos del V y el W} &= \frac{U^2}{R_{VW} // R_V} = \\ &= \frac{(220 \text{ V})^2}{\left( 133 \frac{\Omega}{V} * 240 \text{ V} \right) // \left( 1 \frac{\text{k}\Omega}{V} * 240 \text{ V} \right)} = 1,7 \text{ W} \quad \text{Despreciable} \\ & \quad \text{frente a } E_{P_1} \end{aligned}$$

Y el resultado final sería:  $P_1 = ( 1,60 \pm 0,06 ) \text{ kW}$

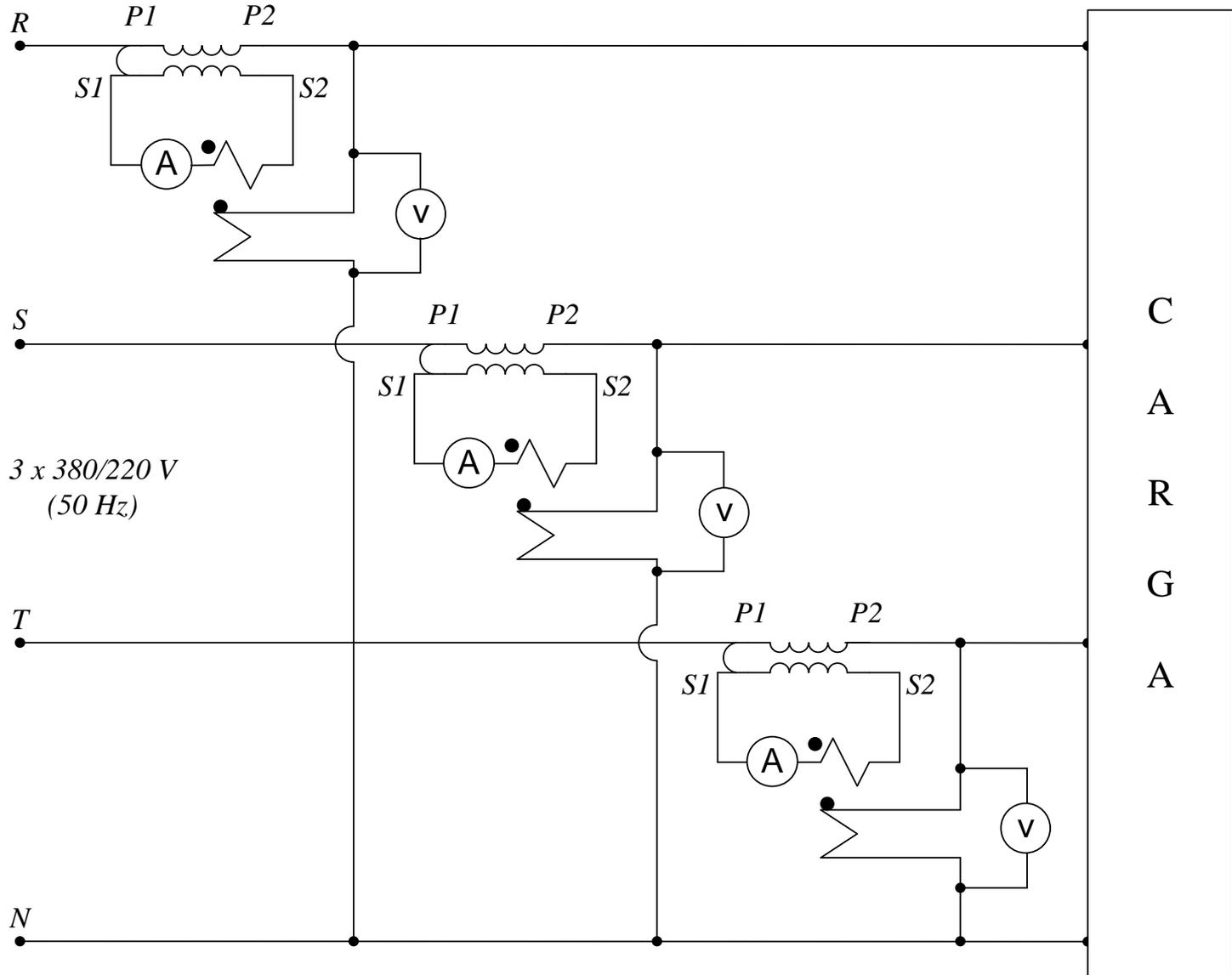
**Ejemplo:** determinar la potencia **activa total** y **por fase** de una carga  $Z$  (que puede considerarse aproximadamente perfecta), de 50 kVA,  $\cos \varphi \cong 0,9$  (ind),  $I_{fase} < 120$  A, alimentada por un sistema de generador perfecto De 3 x 380 / 220 V (tetrafilar).

(Nota: La medición debe efectuarse a  $\approx 2,5$  m de distancia y los instrumentos se conectarán con cable de cobre 2,5 mm<sup>2</sup> de sección)

Elementos disponibles (3 de cada uno):

- Watímetro:  $U_n$ : 230 y 400 V,  $I_n$ : 5 A,  $c$ : 1,  $\cos \varphi_n$ : 1,  $R_{VW}$ : 133  $\Omega/V$ ;  $Z_{AW}$ : 1,5 VA,  $\cos \varphi = 0,7$  a 5 A.
- Amperímetro: Alcance: 5 A,  $c$ : 1,  $Z_{AW}$ : 1,5 VA,  $\cos \varphi = 0,7$  a 5 A
- Voltímetro: Alcance: 230 y 400 V,  $c$ : 1,  $R_V$ : 133  $\Omega/V$
- TA:  $I_{1n}$ : 100 A,  $I_{2n}$ : 5 A,  $S_n$ : 5 VA,  $c$ : 1

# Circuito propuesto para la medición de $P$



$$P_{Total} = P_{R(RN)} + P_{S(SN)} + P_{T(TN)}$$

$$E_{PTotal} = \pm ( E_{PR(RN)} + E_{PS(SN)} + E_{PT(TN)} )$$

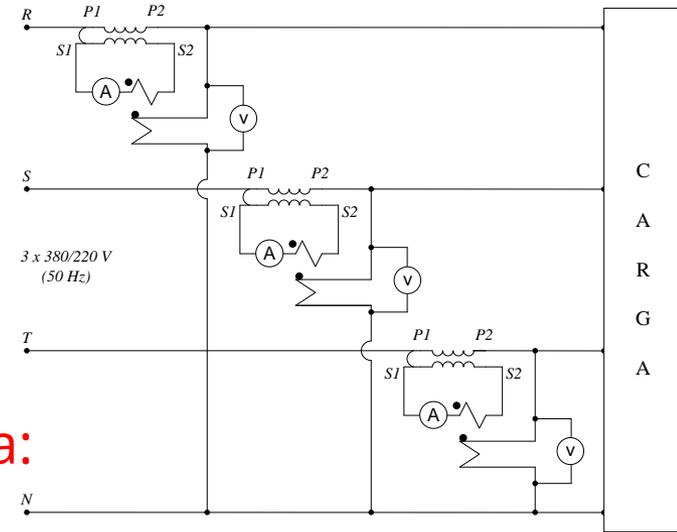
Suponiendo carga aproximadamente perfecta:

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_f \Rightarrow I_f = \frac{50 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 380 \text{ V}} \approx 76 \text{ A}$$

$$y \quad P_{R(RN)} = P_{S(SN)} = P_{T(TN)} = \frac{S}{3} \cos \varphi = \frac{50 \text{ kVA}}{3} * 0,9 = 15 \text{ kW}$$

Con lo cual, la indicación de cada vatímetro será:

$$P_{2R(RN)} = P_{2S(SN)} = P_{2T(TN)} = \frac{15 \text{ kW}}{k_{I_n}} = \frac{15 \text{ kW}}{100/5} = 0,75 \text{ kW}$$



Analicemos ahora la carga de los TA, que son de  $S_n = 5 \text{ VA}$ :

$$S_2 = S_A + S_{AW} + P_{cable}$$

- Instrumentos (**W** y **A**):

$$Z_A ; Z_{AW} : 1,5 \text{ VA}, \cos \varphi = 0,7 \text{ a } 5 \text{ A}$$

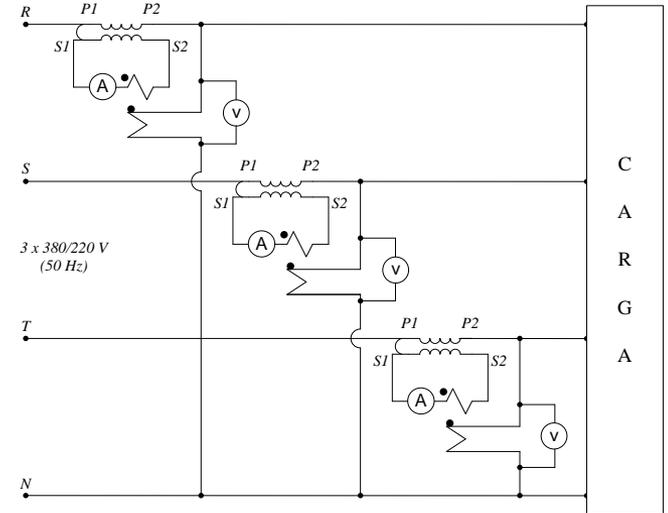
$$\Rightarrow Z_A = Z_{AW} = (0,042 + j 0,043) \Omega$$

- Cable:

$$R_{cable} = \frac{1}{57} \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{5 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 0,035 \Omega$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow S &= (5 \text{ A})^2 * [2 * 0,042 + 0,035 + j (2 * 0,043)] \Omega \\ &= 3,7 \text{ VA}, \cos \varphi = 0,81 \end{aligned}$$

$$\text{Comparando con } S_n : \frac{3,7 \text{ VA}}{5 \text{ VA}} * 100 = 74 \%$$



Analicemos ahora los errores límites (lo haremos sólo para  $P_{R(RN)}$ , pues las dos restantes son completamente análogas):

- Sabemos que:

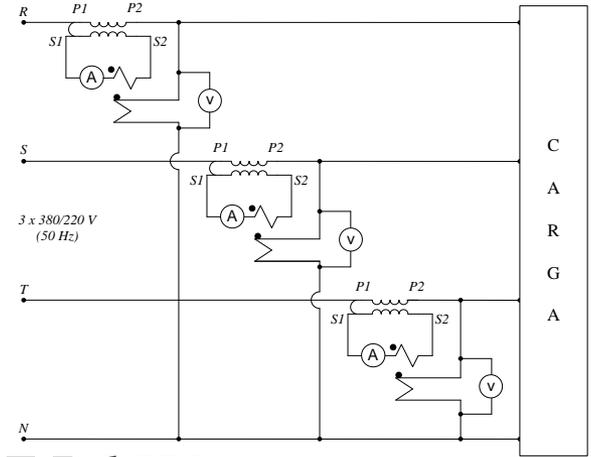
$$P_{R(RN)} \approx 15,0 \text{ kW} \Rightarrow P_{2R(RN)} \approx 0,75 \text{ kW}$$

¿Cuánto vale entonces  $e_{P_{R(RN)}}$ ?

$$e_{P_{R(RN)}} = \pm ( e_{P_{2R(RN)}} + \eta + e_{fase} )$$

$$\diamond e_{P_{2R(RN)}} = \pm c \frac{P_f}{P_{2R(RN)}} = \pm 1\% \frac{230 \text{ V} \cdot 5 \text{ A}}{0,75 \text{ kW}} =$$

$$= \pm 1\% \frac{1,15 \text{ kW}}{0,75 \text{ kW}} = \pm 1,53\%$$



- ◆  $\eta$ : en la Tabla, para **clase 1** y relación de corrientes

$$\frac{76 \text{ A}}{100 \text{ A}} * 100 = 76 \% I_n$$

Interpolando linealmente:

$$\frac{100 - 20}{1,0 - 1,5} = \frac{100 - 76}{1,0 - \eta} \Rightarrow \eta = \pm 1,15 \%$$

Clase	Error de relación a distintos porcentajes $I_n \pm \eta$				Error de fase a distintos porcentajes $I_n \pm \varepsilon$							
					[minutos]				[centirradiaes]			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
<b>1</b>	<b>3,0</b>	<b>1,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	180	90	60	60	<b>5,4</b>	<b>2,7</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>

- ◆  $e_{fase}$ : en la Tabla, para las mismas condiciones anteriores

$$\frac{100 - 20}{1,8 - 2,7} = \frac{100 - 76}{1,8 - \varepsilon} \Rightarrow \varepsilon = \pm 2,07 \text{ centirradiaes}$$

$$\begin{aligned} \therefore e_{fase} &= \pm \varepsilon * \text{tg } \varphi = \pm 2,07 \text{ centirradiaes} * \text{tg} (\arccos 0,9) = \\ &= \pm 2,07 \% * 0,48 = \pm 0,99 \% \end{aligned}$$

Entonces:

$$\begin{aligned} e_{P_{R(RN)}} &= \pm ( e_{P_{2R(RN)}} + \eta + e_{fase} ) = \\ &= \pm ( 1,53 + 1,15 + 0,99 ) \% = \pm 3,7 \% \end{aligned}$$

y

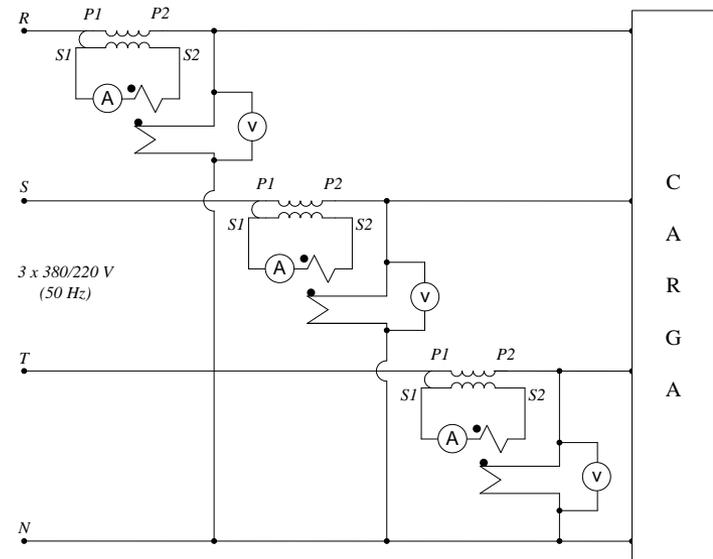
$$\begin{aligned} E_{P_{R(RN)}} &= \pm \frac{e_{P_{R(RN)}}}{100} P_{R(RN)} = \\ &= \pm \frac{3,7}{100} 15,0 \text{ kW} = \pm 0,55 \text{ kW} \end{aligned}$$

Restaría aún analizar el consumo propio de los instrumentos (sólo influyen los V y las voltimétricas de los vatímetros):

$$\begin{aligned} \text{Consumo de los circuitos voltimétricos de } 1 \text{ W} + 1 \text{ V} &= \frac{U^2}{R_{VW} // R_V} = \\ &= \frac{(220 \text{ V})^2}{\left(133 \frac{\Omega}{\text{V}} * 230 \text{ V}\right) / 2} = 0,003 \text{ kW} \end{aligned}$$

Despreciable frente a

$$E_{PR(RN)} = \pm 0,55 \text{ kW}$$



Concluyendo:

$$P_{Total} = 3 * P_{R(RN)} = \pm 45,0 \text{ kW}$$

y

$$E_{P_{Total}} = 3 * E_{P_{R(RN)}} = \pm 1,8 \text{ kW}$$

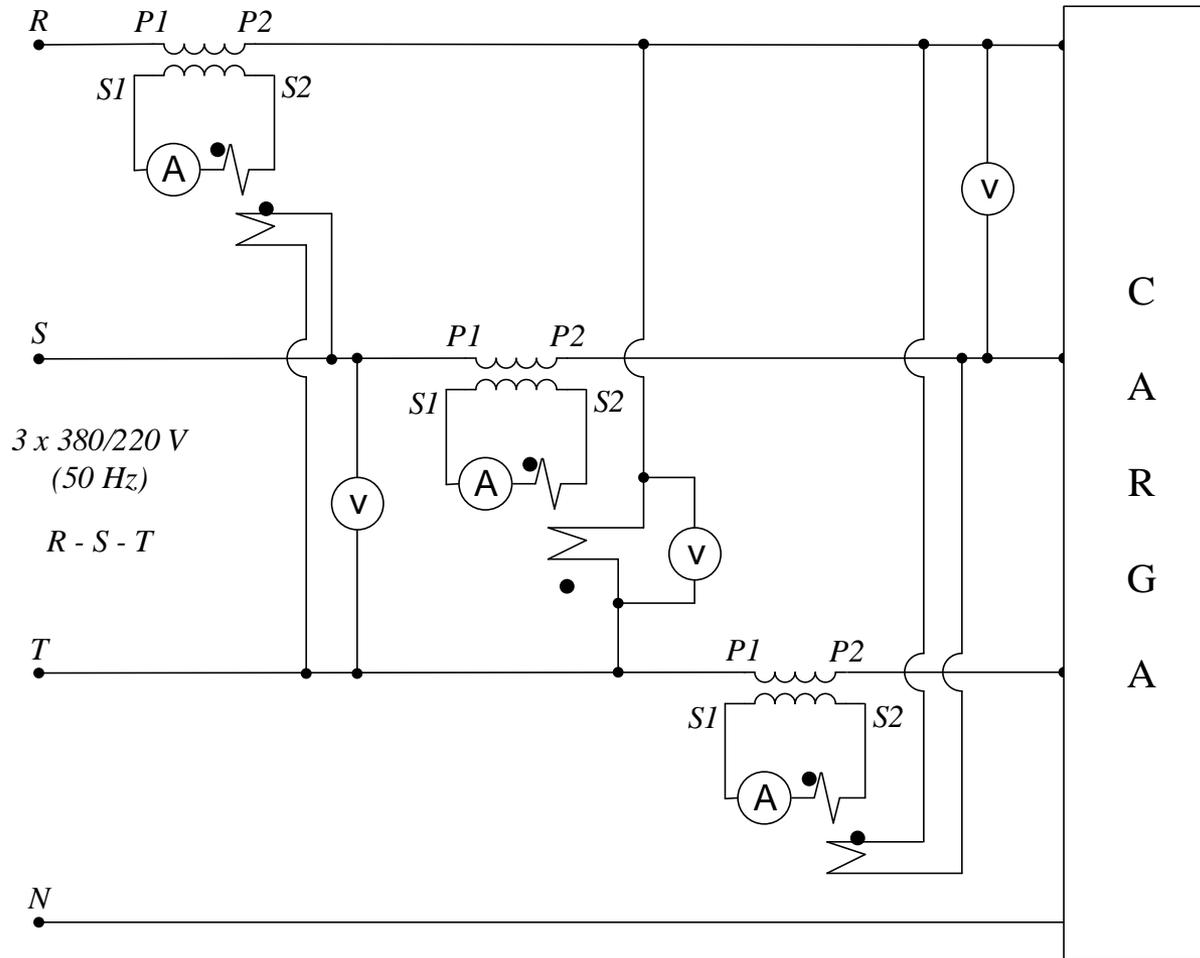
Entonces:

$$P_{Total} = (45 \pm 2) \text{ kW}$$

y

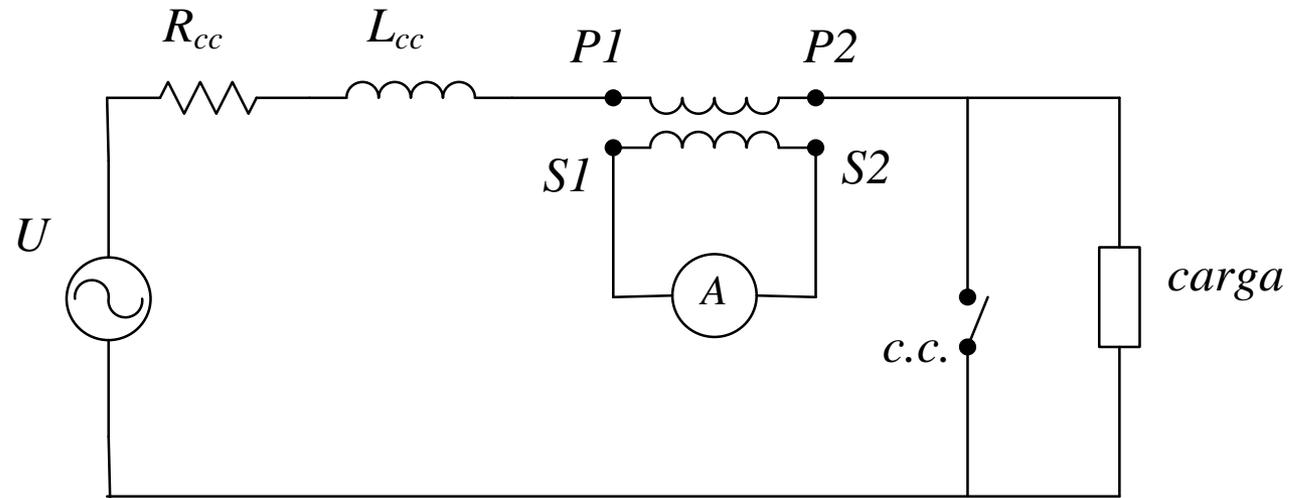
$$P_{R(RN)} = P_{S(SN)} = P_{T(TN)} = (15,0 \pm 0,6) \text{ kW}$$

# Circuito propuesto para la medición de $Q$



$$Q_{Total} = Q_R + Q_S + Q_T \quad \text{y} \quad E_{Q_{Total}} = \pm (E_{Q_R} + E_{Q_S} + E_{Q_T})$$

# El Transformador de Corriente frente a Sobreintensidades



**Corriente Térmica Nominal de Breve Duración,  $I_{th}$**  : **valor eficaz** de la **corriente primaria** que el transformador está en condiciones de soportar **durante 1 segundo**, sin sufrir daños que le impidan su funcionamiento, cuando el **secundario** está **en cortocircuito**.

$$I_{th}^2 \cdot 1 s = I_f^2 t_f [s]$$

$I_f$ : corriente de falla  
 $t_f$ : tiempo de falla (< 5 s)

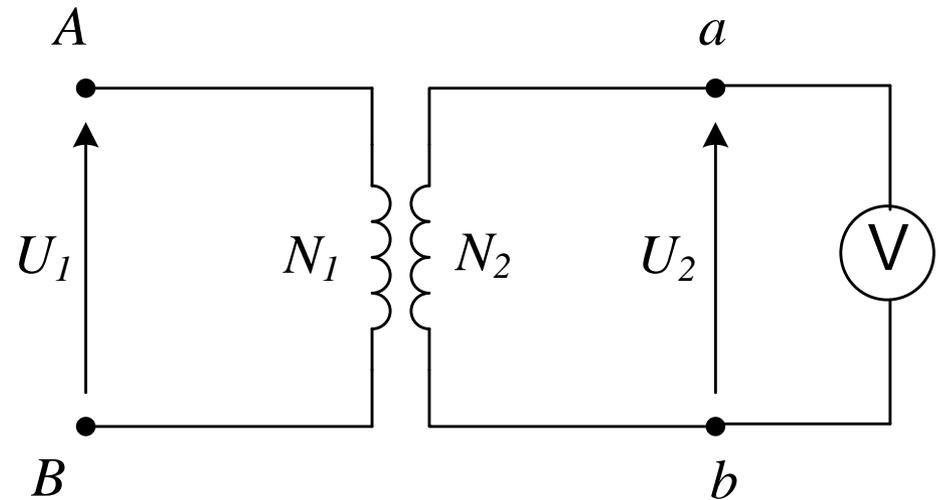
**Corriente Dinámica Nominal,  $I_{dyn}$**  : **valor cresta** de la **corriente primaria** que un transformador puede soportar, sin ser dañado eléctrica o mecánicamente por el esfuerzo resultante, cuando su **secundario** está **en cortocircuito**.

$$\frac{I_{dyn}}{I_{th}} \approx 2,5$$

# Transformadores de Tensión (TV)

$U_{1n}$  : Tensión Primaria Nominal

$U_{2n}$  : Tensión Secundaria Nominal



(Valores normalizados más comunes: 100, 110, 200,  $\frac{100}{\sqrt{3}}$ ,  $\frac{110}{\sqrt{3}}$  y  $\frac{200}{\sqrt{3}}$  V )

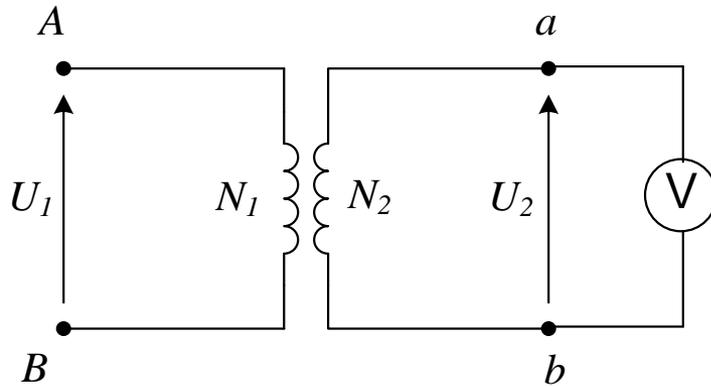
$\frac{U_{1n}}{U_{2n}} = k_{U_n}$  : Relación Nominal

$c$  : Clase de Exactitud

$S_n$  : Prestación o Potencia Nominal

# Errores de los TV

$k_{U_n}$  (número complejo, constante sólo en forma aproximada)



$$U_1 = k_{U_n} * U_2$$

$$\Rightarrow e_{U_1} = \pm (\eta + e_{U_2})$$

Si el instrumento conectado al secundario es sensible además a la fase, por ejemplo, un vatímetro, aparece el error de fase con el mismo tratamiento que para el caso de los TA:

$$\Rightarrow e_{P_1} = \pm (\eta + e_{fase} + e_{P_2})$$

$$\text{con } e_{fase} = \pm (\varepsilon * tg \varphi)$$

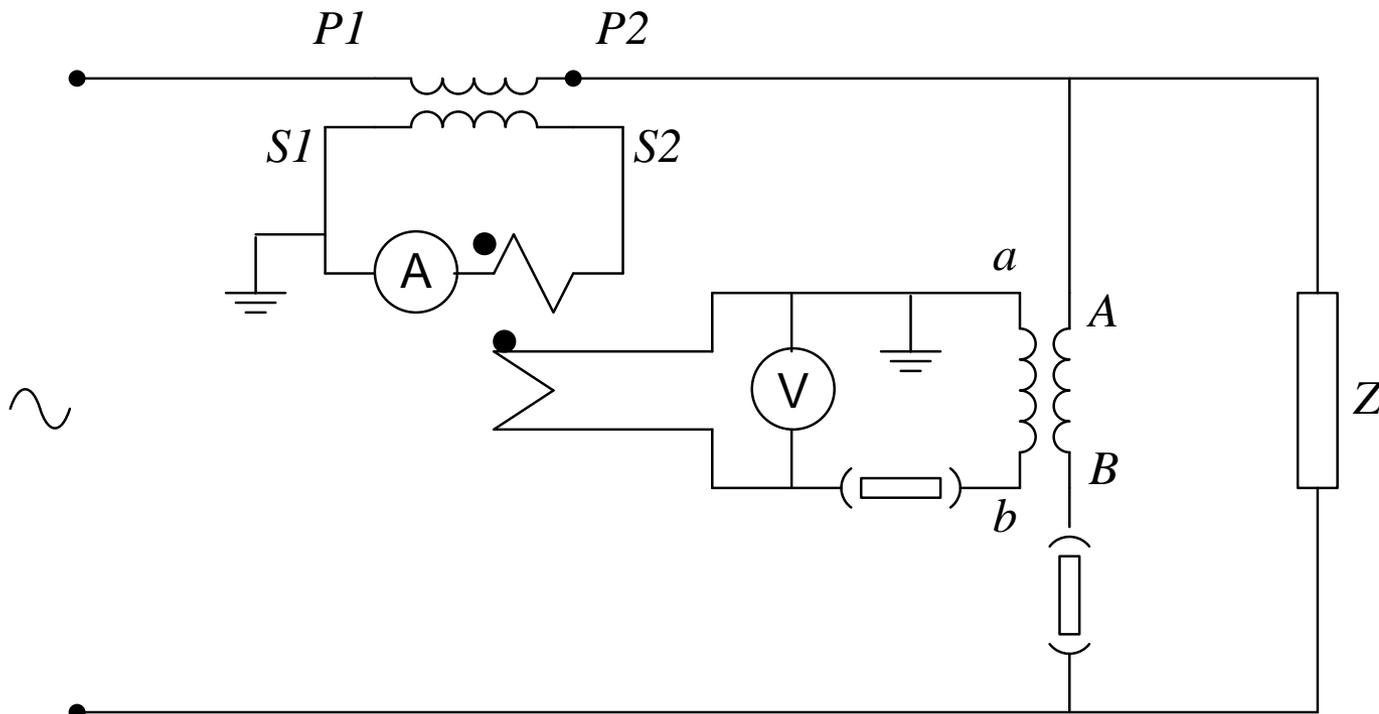
## Errores de Relación y Fase para Transformadores de Tensión clases 0,1 a 3 (IRAM - IEC)

Clase	Error de relación $\pm \eta$	Error de fase $\pm \varepsilon$	
		[minutos]	[centirradiaes]
<b>0,1</b>	0,1	5	0,15
<b>0,2</b>	0,2	10	0,3
<b>0,5</b>	0,5	20	0,6
<b>1</b>	1,0	40	1,2
<b>3</b>	3,0	No especificado	No especificado

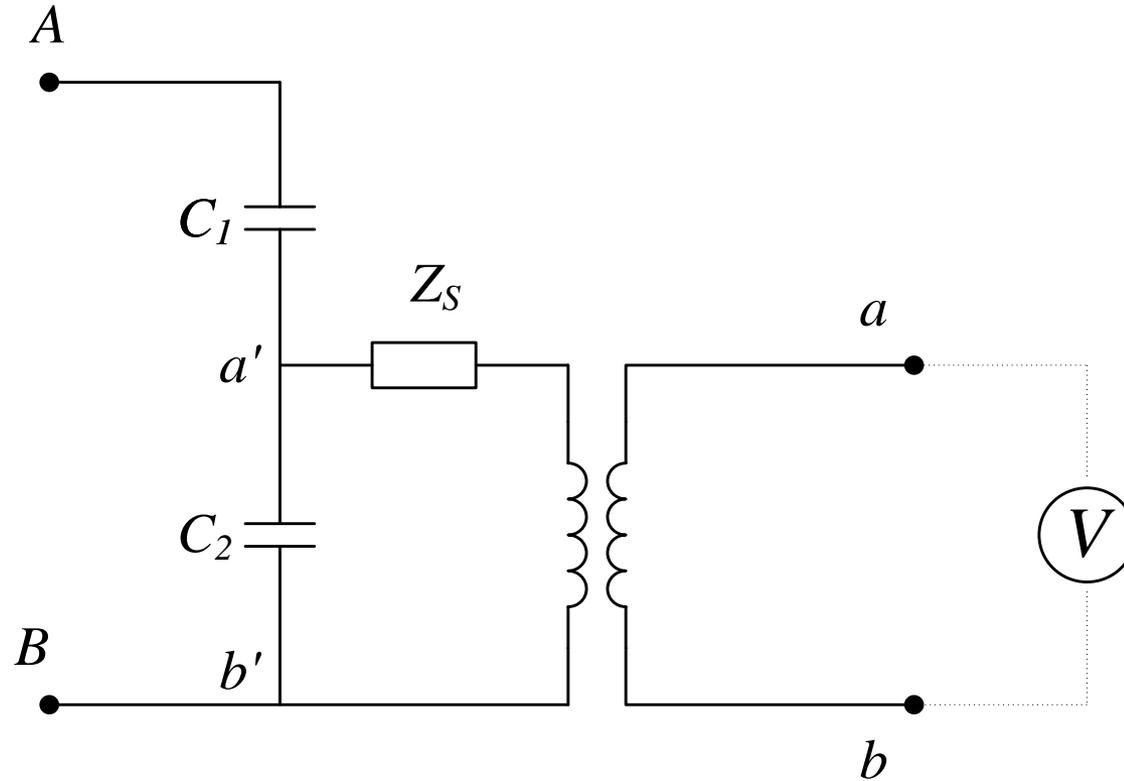
(Errores límites válidos cuando el transformador trabaja entre el 80 y el 120 % de su tensión nominal, con prestación comprendida entre el 25 % y el 100 % de la nominal, con  $\cos \varphi = 0,8$ )



# Esquema de conexión con Transformadores de Corriente y Tensión

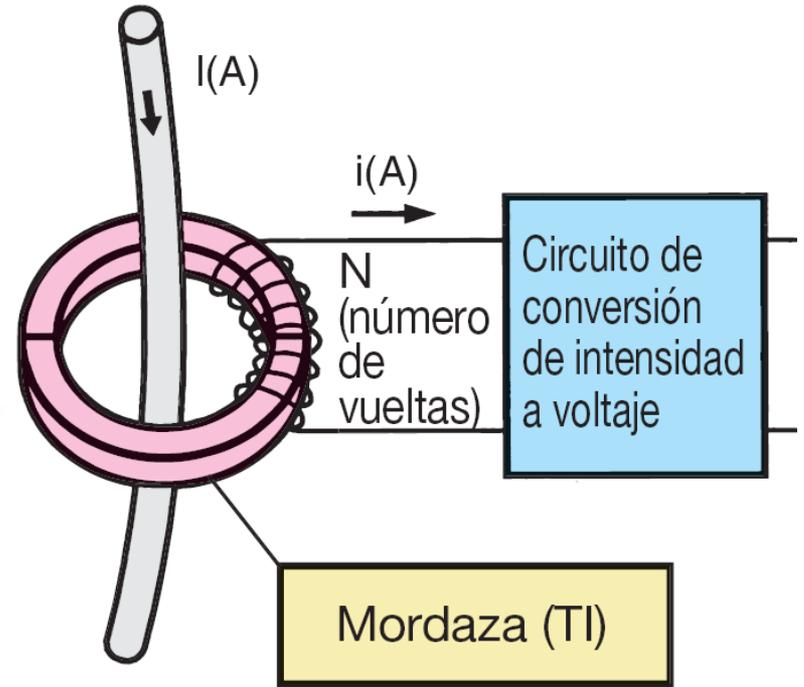


# Transformadores de Tensión Capacitivos



*divisor capacitivo | transformador magnético*

# Pinzas Amperométricas para CA

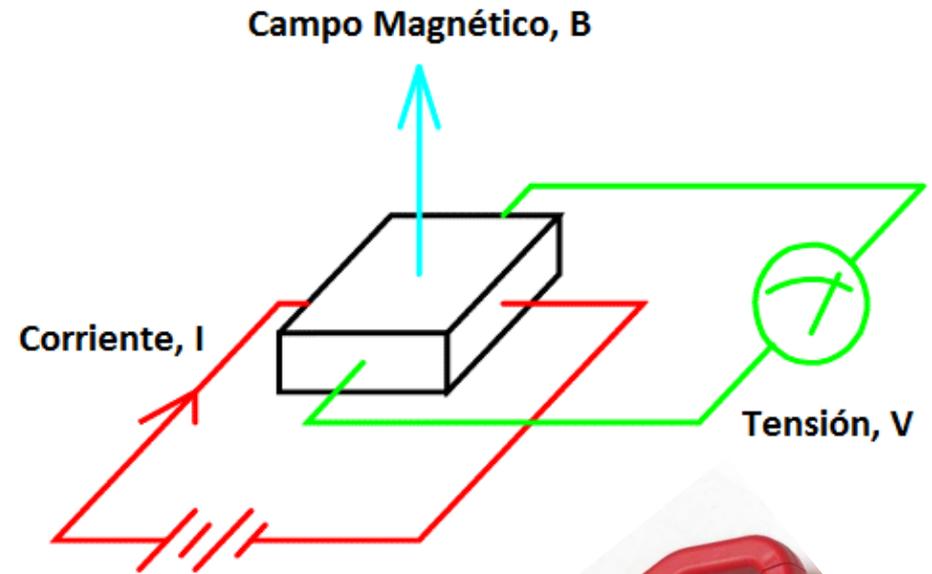
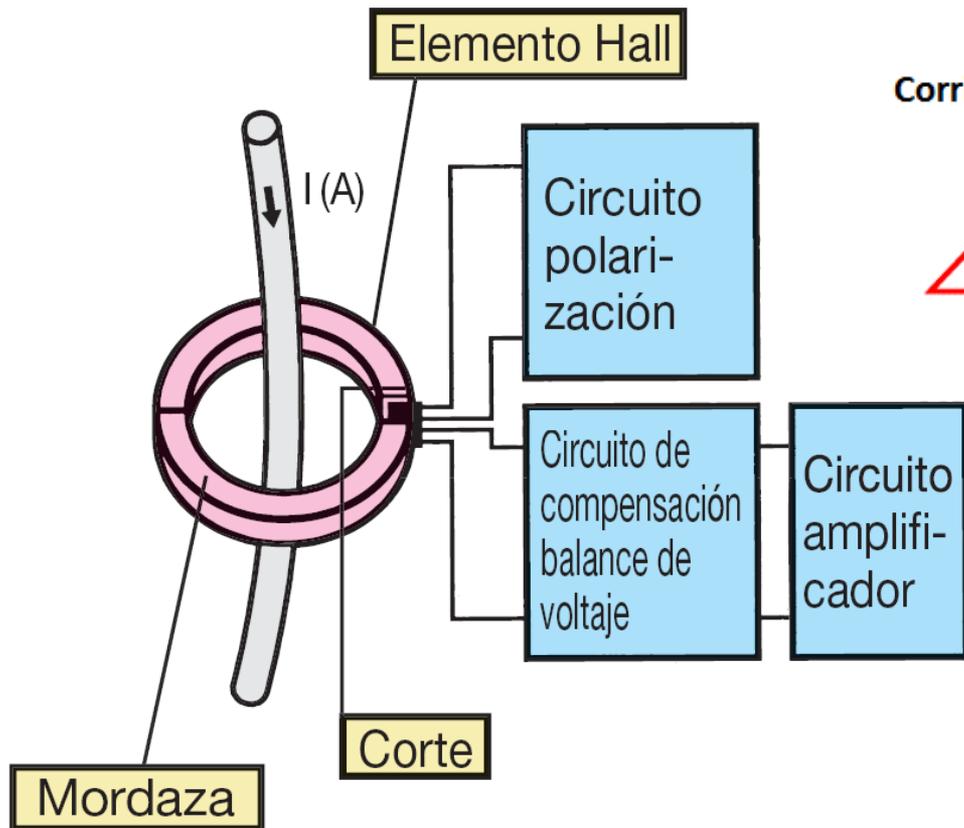




## Pinzas Amperométricas para CA



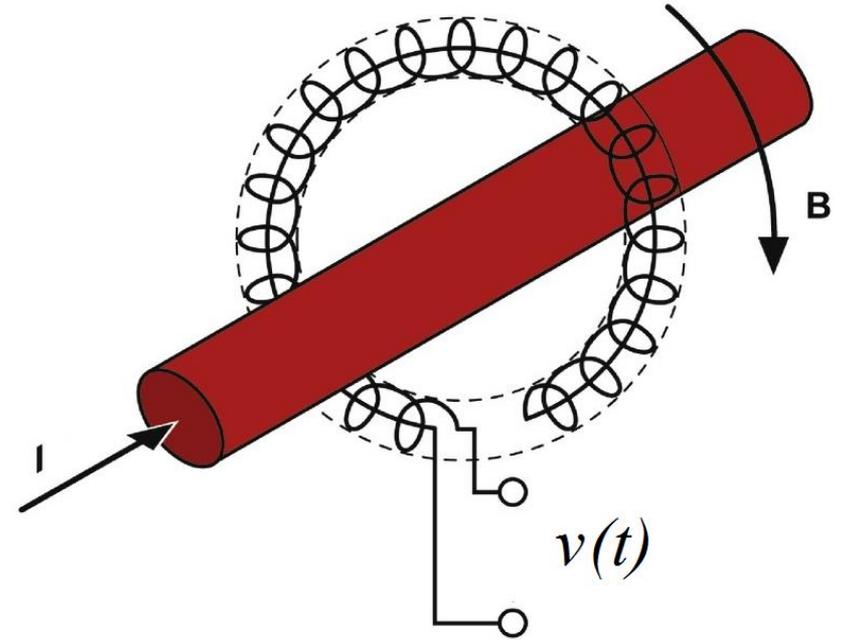
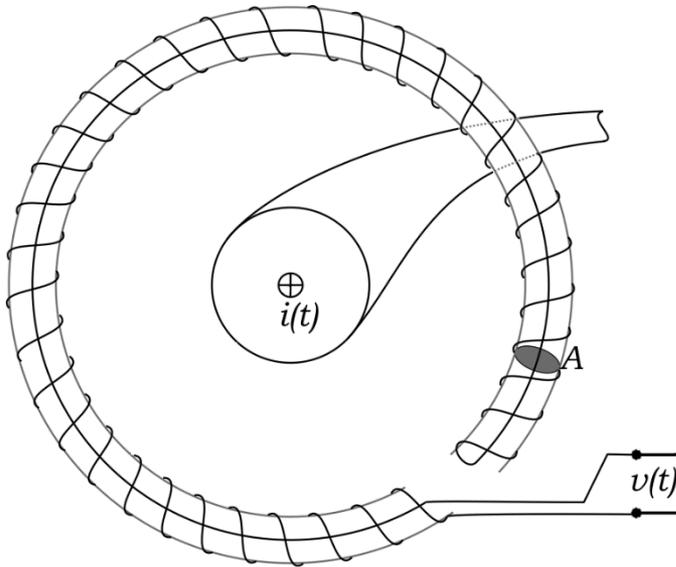
# Pinzas Amperométricas para CA y CC (Efecto Hall)



# Bobina de Rogowski

$$v(t) = -n \cdot \frac{d\phi}{dt} = -n \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$$

$$\Rightarrow v(t) = -\mu_0 \cdot n \cdot A \cdot \frac{dH}{dt}$$



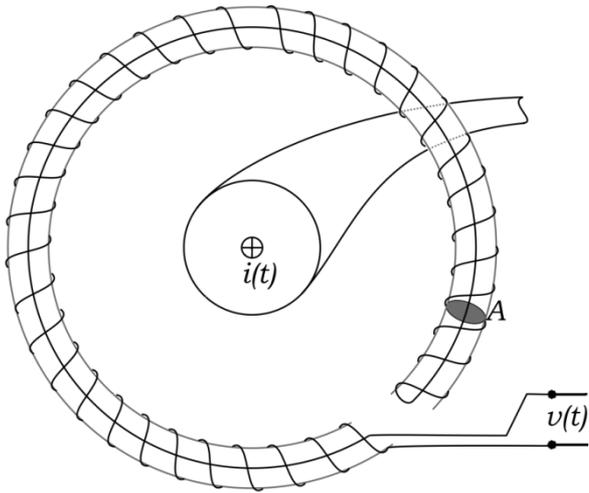
$$v(t) = -\frac{\mu_0 \cdot n \cdot A}{l} \cdot \frac{di}{dt}$$

$$v(t) = M \cdot \frac{di}{dt}$$

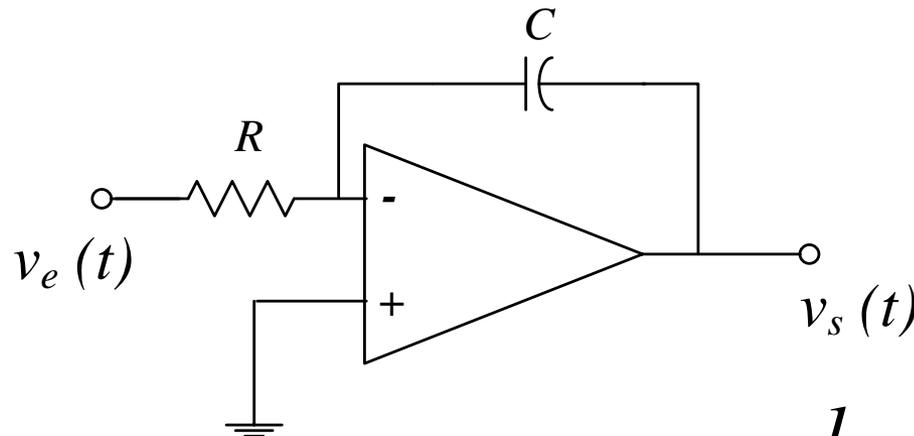
(No apta para CC)

## Bobina de Rogowski

Medición de corrientes alternas desde mA hasta kA (excelente linealidad)

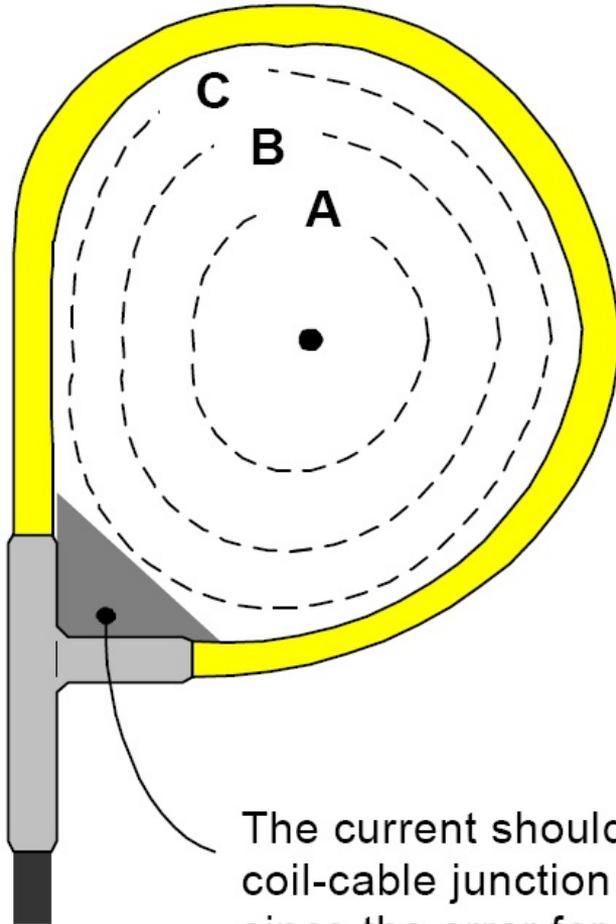


$$v(t) = M \cdot \frac{di}{dt}$$



$$v_s(t) = -\frac{1}{RC} \int v_e(t) dt$$

# Bobina de Rogowski



## POSITIONAL ACCURACY OF A STANDARD ROGOWSKI COIL - % error with a point source of current

Type	A	B	C
Miniature Coil	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 3\%$
Standard Coil	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$

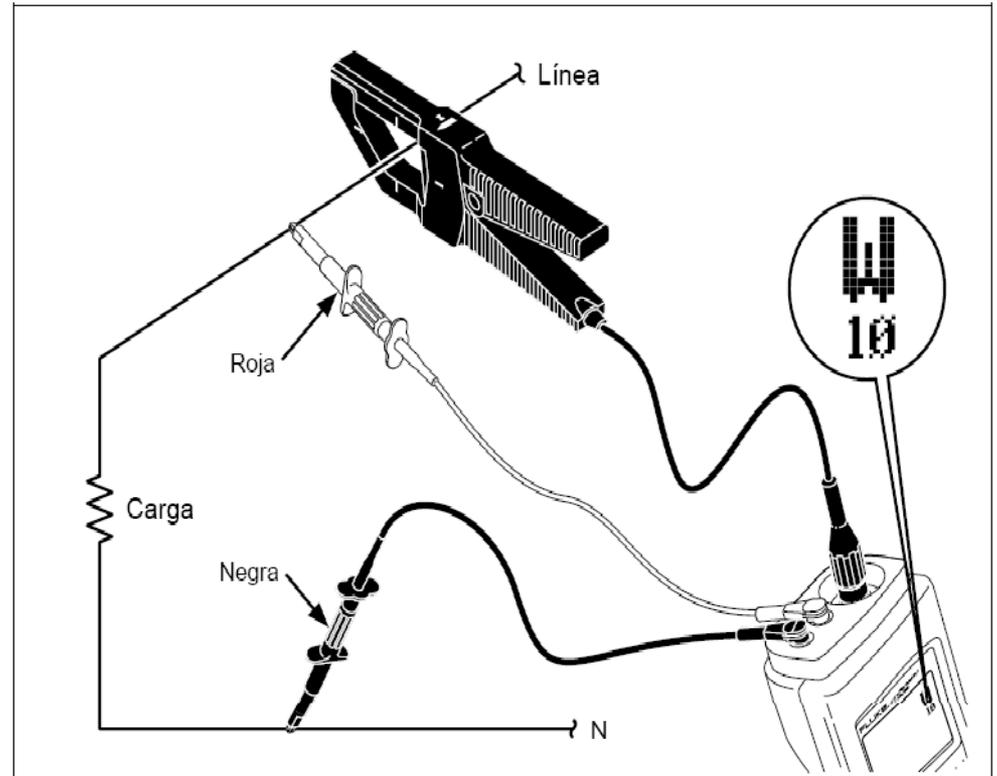
The current should not be positioned close to the coil-cable junction (shown by the shaded area) since the error for this region is greater.

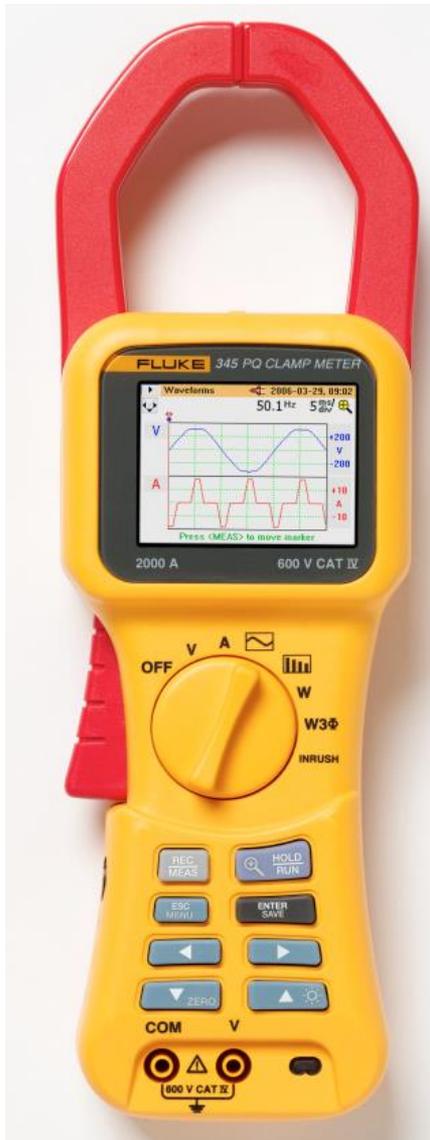
(Power Electronic Measurements Ltd, Rogowski coil Application Notes, 17<sup>th</sup> August 2002)

# Bobina de Rogowski



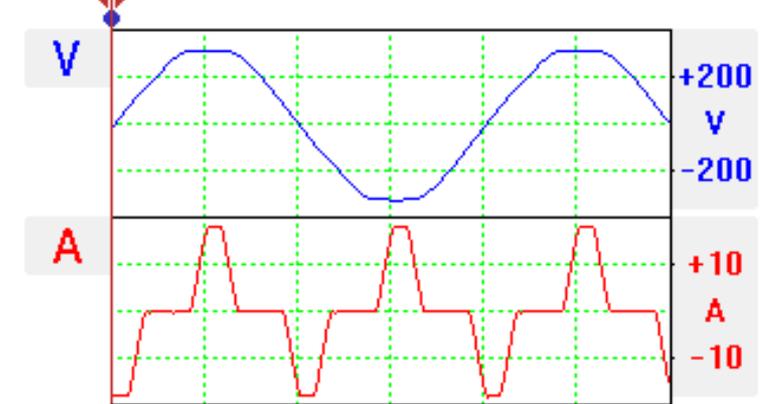
# Analizadores de Potencia





▶ Waveforms 2006-03-29, 09:02

50.1 Hz 5  $\frac{mV}{div}$

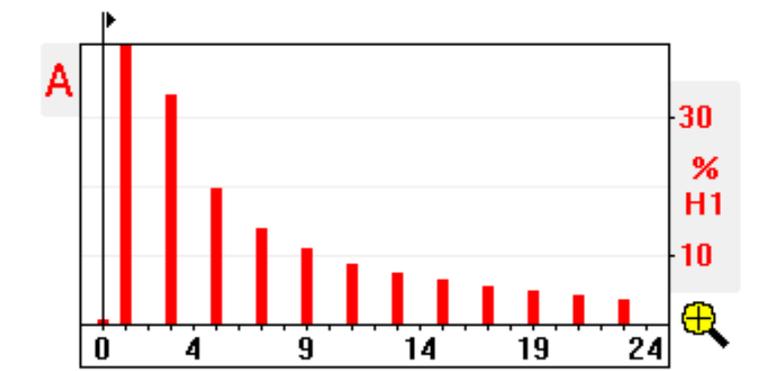


Press <MEAS> to move marker

▶ A Harmonics 2006-03-29, 09:30

Aac[1] 13.62 A  
THD 46.1 %

H	0.0 Hz	0.7 %
0	-0.10 A	AUTO



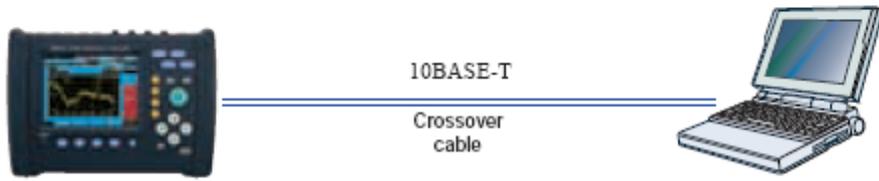


# Especificaciones de Analizadores Fluke Serie 430

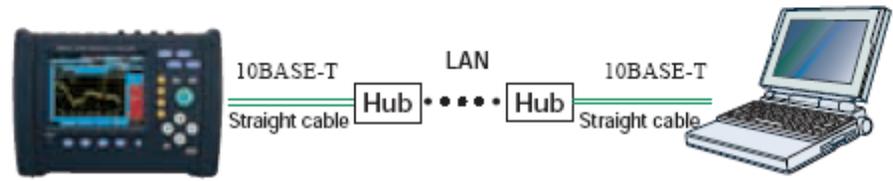
<b>Entradas</b>	Número de entradas	4 de tensión y 4 de corriente (3 fases + neutro)	
	Tensión máxima de entrada	1000 Vrms (pico de 6kV)	
	Velocidad máxima de muestreo	200 kS/s en cada canal simultáneamente	
		<b>Rango de medida</b>	<b>Precisión</b>
<b>Voltios/Amperios/Hz</b>	Vrms (CA+CC)	1 ... 1000 V	0,1% de la tensión nominal
	Vpk	1 ... 1400 V	5% de la tensión nominal
	Factor de cresta	1,0 ... > 2,8	± 5%
	Arms (CA+CC)	0 ... 20,000 A	± 0,5% ± 5 cuentas
	Amperios de pico	0 - 5500 A	5%
	Factor de cresta	1 ... 10	± 5%
	50Hz nominal	42.50 ... 57.50 Hz	± 0.01Hz
<b>Fluctuaciones</b>	Vrms (CA+CC) <sup>2</sup>	0.0% ... 100% de la tensión nominal	± 0,2% de la tensión nominal
	Arms (CA+CC) <sup>2</sup>	0 ... 20,000 A <sup>1</sup>	± 1% ± 5 cuentas
<b>Armónicos</b>	Armónicos (interarmónicos) (n)	DC, 1.50; (desactivado, 1.49) medido respecto a IEC 61000-4-7	
	Vrms	0,0 ... 1000 V	± 0,05% de la tensión nominal
	Arms	0,0 ... 4000 mV x escala y tensión de la pinza de corriente	± 5% ± 5 cuentas
	Vatios	Según escala de la pinza de corriente	± 5% ± n x 2% o lectura, ± 10 cuentas
	Tensión de CC	0,0 ... 1000 V	± 0,2% de la tensión nominal
	THD	0,0 ... 100,0 %	± 2.5% V y A (± 5% Vatios)
	Hz	0 ... 3500 Hz	± 1 Hz
	Ángulo de fase	-360° ... +360°	± n x 1.5°
<b>Potencia y energía</b>	Vatios, VA, VAR	1,0 ... 20,00 MVA <sup>1</sup>	± 1% ± 10 cuentas
	kWh, kVAh, kVARh	00.00 ... 200,0 GVAh <sup>1</sup>	± 1,5% ± 10 cuentas
	Factor de potencia/Cos φ /DPF	0 ... 1	± 0,03
<b>Flicker (Parpadeo de tensión)</b>	Pst (1 minuto), Pst, Plt, PFS	0,00 ... 20,00	± 5%
<b>Desequilibrio</b>	Voltios	0,0 ... 5,0%	± 0,5%
	Corriente	0,0 ... 20%	± 1%
<b>Captura de transitorios</b>	Voltios	± 6000 V	± 2,5% de Vrms
	Duración de detección mínima	5 µs (muestreo de 200 kS/s)	
<b>Modo arranque de motores</b>	Arms (CA + CC)	0,000 ... 20,00 kA <sup>1</sup>	± 1% de medidas ± 5 cuentas
	Duración del arranque (seleccionable)	7,5 s ... 30 minutos	± 20 ms (frecuencia nominal = 50 Hz)
<b>Registro AutoTrend</b>	Muestreo	Muestreo continuo de 5 lecturas/segundo en cada canal	
	Memoria	1.800 puntos. Cada punto contiene los valores máx., mín., y promedio de todas las lecturas realizadas durante su intervalo temporal.	
	Tiempo de registro	Hasta 450 días	
	Zoom	Hasta 12 aumentos de zoom horizontal	
<b>Memoria</b>	Pantallas y datos	50. La memoria se comparte entre los registros, las pantallas y los datos	
<b>Normas</b>	Procedimientos de medida utilizados	IEC61000-4-30 clase A; EN50160; IEC 61000-4-15; IEC 61000-4-7	



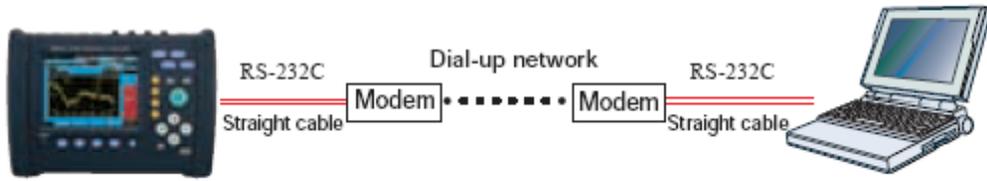
Ex. 1. Direct connection with a LAN cable



Ex. 2. Remote connection with a LAN through a hub



Ex. 3. Remote RS-232C connection through a modem



Ex. 4. Remote RS-232C connection through a modem



# Medición de Energía Eléctrica



## *Algunos datos característicos de medidores de energía eléctrica activa, estáticos y electromecánicos*

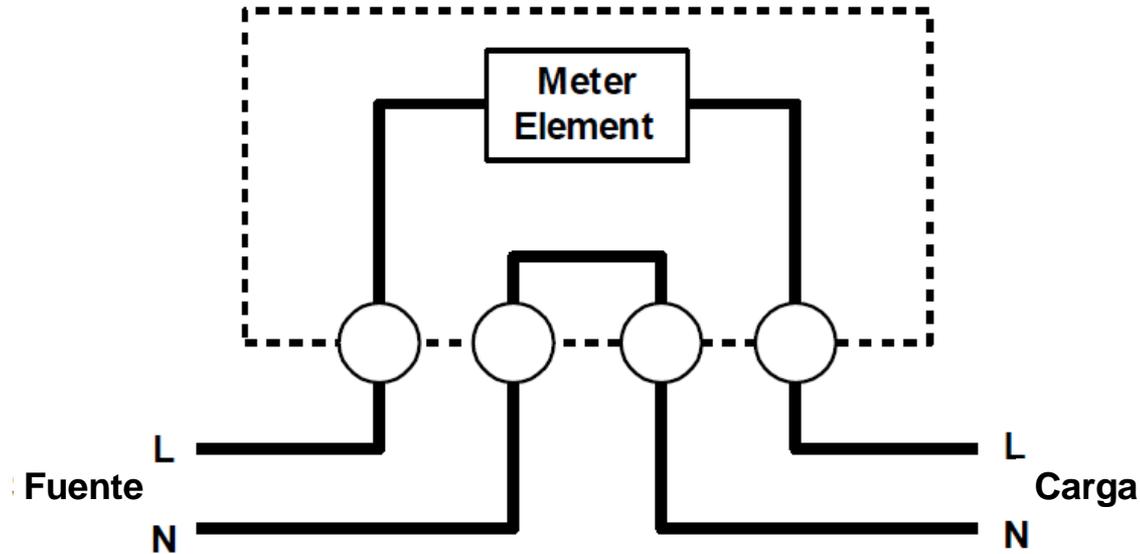
Corriente base $I_b$	Corriente Máxima $I_{m\acute{a}x}$	Tensión, Frecuencia y Temperatura de Referencia	Constante [rev/kWh] [imp/kWh]	Índice de clase
-------------------------	---------------------------------------	----------------------------------------------------------	-------------------------------------	--------------------

Corriente $I$	cos $\varphi$	Error Límite [%]	
		Clase 1	Clase 2
$0,05 I_b \leq I < 0,1 I_b$	1	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$
$0,1 I_b \leq I \leq I_{m\acute{a}x}$	1	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
$0,1 I_b \leq I < 0,2 I_b$	0,5 (ind.)	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$
	0,8 (cap.)	$\pm 1,5$	-----
$0,2 I_b \leq I \leq I_{m\acute{a}x}$	0,5 (ind.)	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
	0,8 (cap.)	$\pm 1,0$	-----

*(monofásicos y trifásicos con carga balanceada)*



# Medidor Monofásico de Energía Eléctrica



System Voltage	Single element meters	240Vac Phase to Neutral 230Vac Phase to Neutral 220Vac Phase to Neutral 210Vac Phase to Neutral
	Supply variation	+15% to -20%
	Voltage withstand	415V continuous 10kV impulse @105J
Current (Base)	Direct connection $I_b$	5A, 10A, or 20A
Current (Max)	$I_{max}$	40A, 60A, 80A or 100A
Starting Current	(IEC)	0.4% of $I_b$
Max measuring range		20mA up to 100A
Measuring Accuracy	IEC 62053-21	Class 1 and 2
Burdens	Voltage Circuit @ 230Vac	0.9W 7.7VA
	Current Circuit @ $I_b$	0.1VA
Supply Frequency	Nominal	50Hz or 60Hz
	Frequency Variation	+/- 5%
Temperature Range	Limit operating ranges	-20°C to 55°C
	Storage range	-25°C to 70°C
Meter Constant		1000 imp/kWh

# Medidores Inteligentes

("Smart Meters")

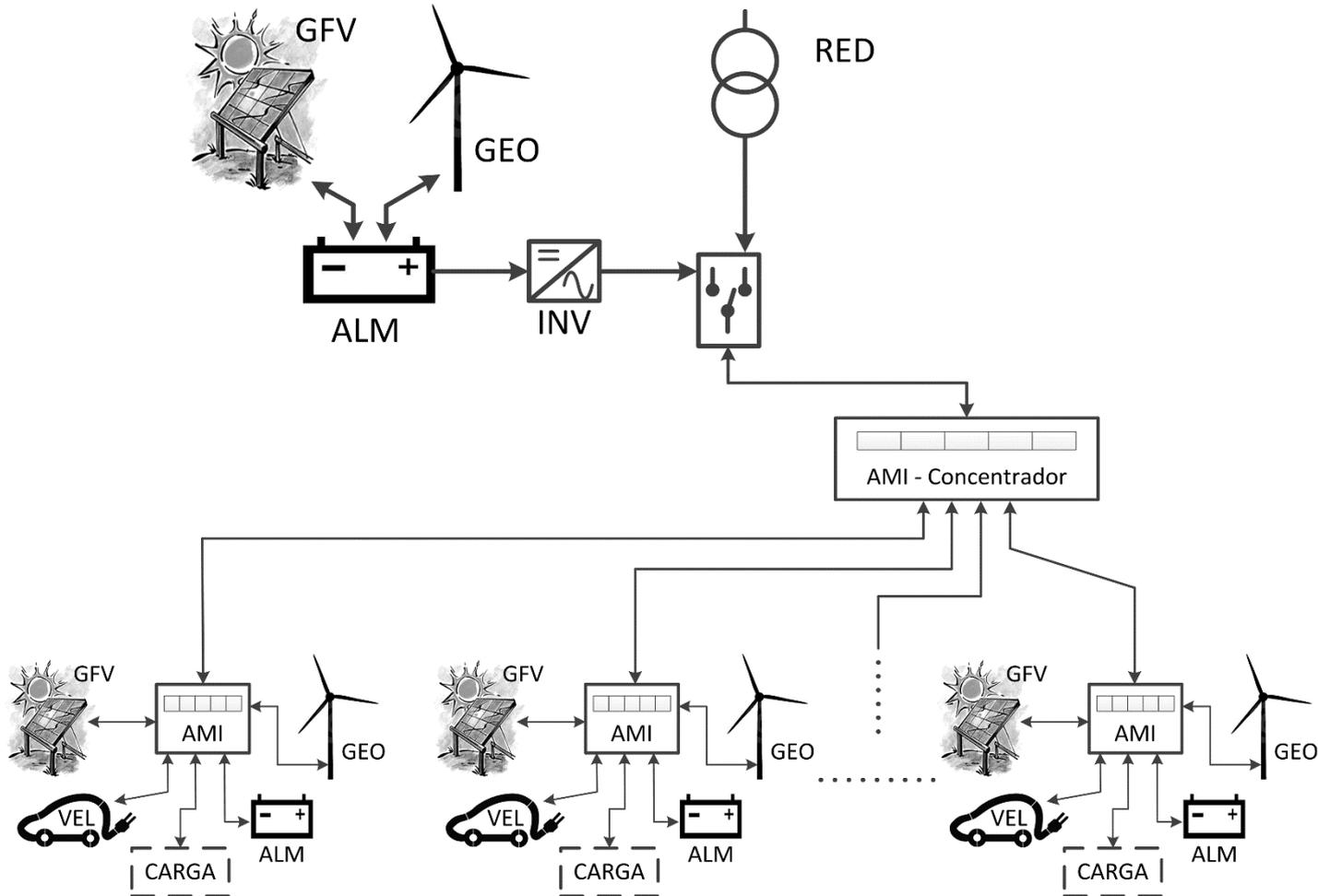


**Sistemas de medición inteligente**

(AMI, "Advanced Metering Infrastructure")

# Sistemas de Medición Inteligente

(AMI, "Advanced Metering Infrastructure")



# Características básicas de los Medidores Inteligentes

- ✓ **Lectura local o remota**
- ✓ **Configuración de parámetros (local o remota): tarifas por franjas horarias, prepago, etc.**
- ✓ **Registro bidireccional y en tiempo real (¿seguridad?): perfiles de carga, calidad de servicio, detección de fallas, etc.**
- ✓ **Limitación o desconexión remota del usuario**
- ✓ **Capacidad de interactuar con dispositivos locales (IoT), de consumo (electrodomésticos) o generadores (microredes, GD)**
- ✓ **Gestión de la carga o el uso de la energía disponible en vehículos eléctricos**
- ✓ **Aptitud para recibir información de otros medidores**



# Algunas consideraciones en relación con los MI

- ✓ El uso masivo de sistemas de medición inteligente, que lograría el deseado ahorro de energía, supone un cambio de paradigma.
- ✓ Respuesta a la demanda (“Demand response”): respuesta voluntaria de los usuarios a modificar su perfil de consumo de energía, en función de una variación horaria de precios.
- ✓ Disminuye la generación de pico.
- ✓ Favorece el desarrollo de la generación con energías renovables.