

# Circuitos Rectificadores

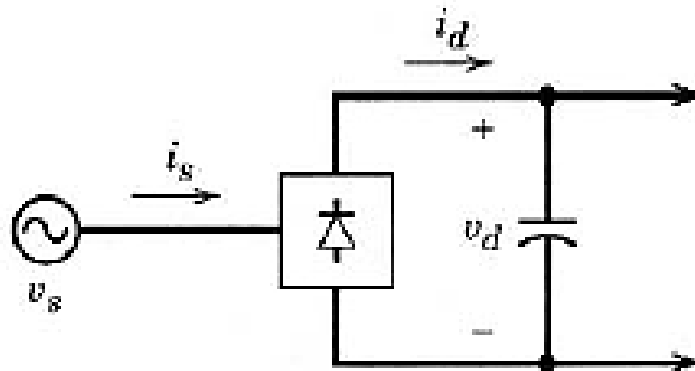
Dra. Victoria Serrano

# Introducción

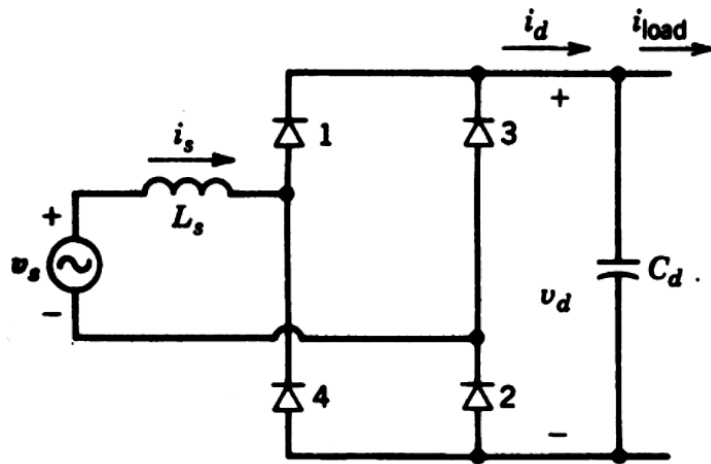
- Objetivo: determinar el voltaje de salida para ver cómo estos circuitos afectan la calidad de la energía de la red pública
- Clasificación:
  - Rectificadores no controlados (compuestos por diodos)
  - Rectificadores controlados (compuestos por SCR's)
- ¿Qué se afecta?
  - Factor de potencia
  - Distorsión armónica total de la línea

# Rectificadores No-Controlados

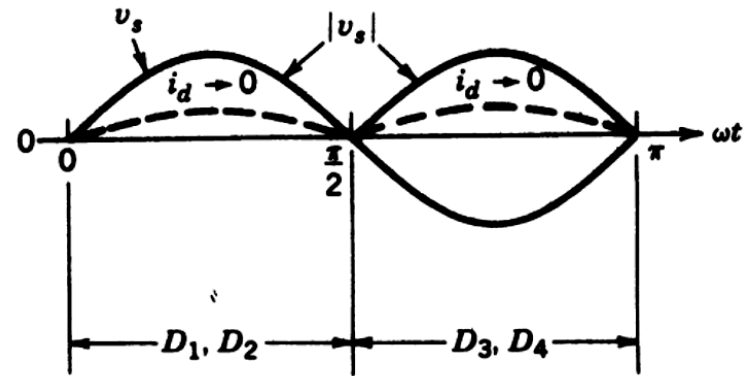
- CA  $\rightarrow$  CC no controlada
  - Suministros de energía de conmutación de CC
  - Controles de motores de CA
  - Servocontroles de CC



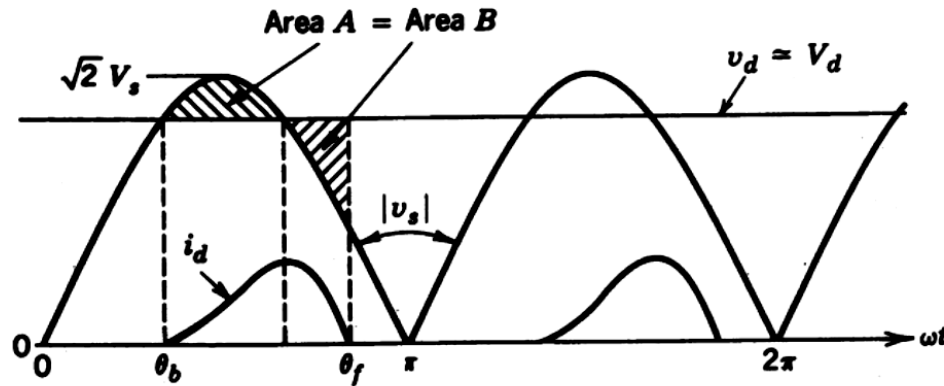
# Rectificador Monofásico



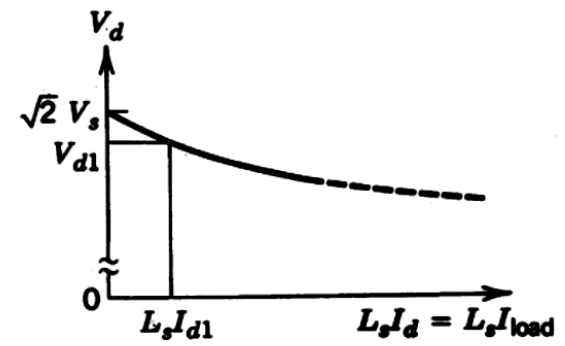
(a)



(b)



(a)

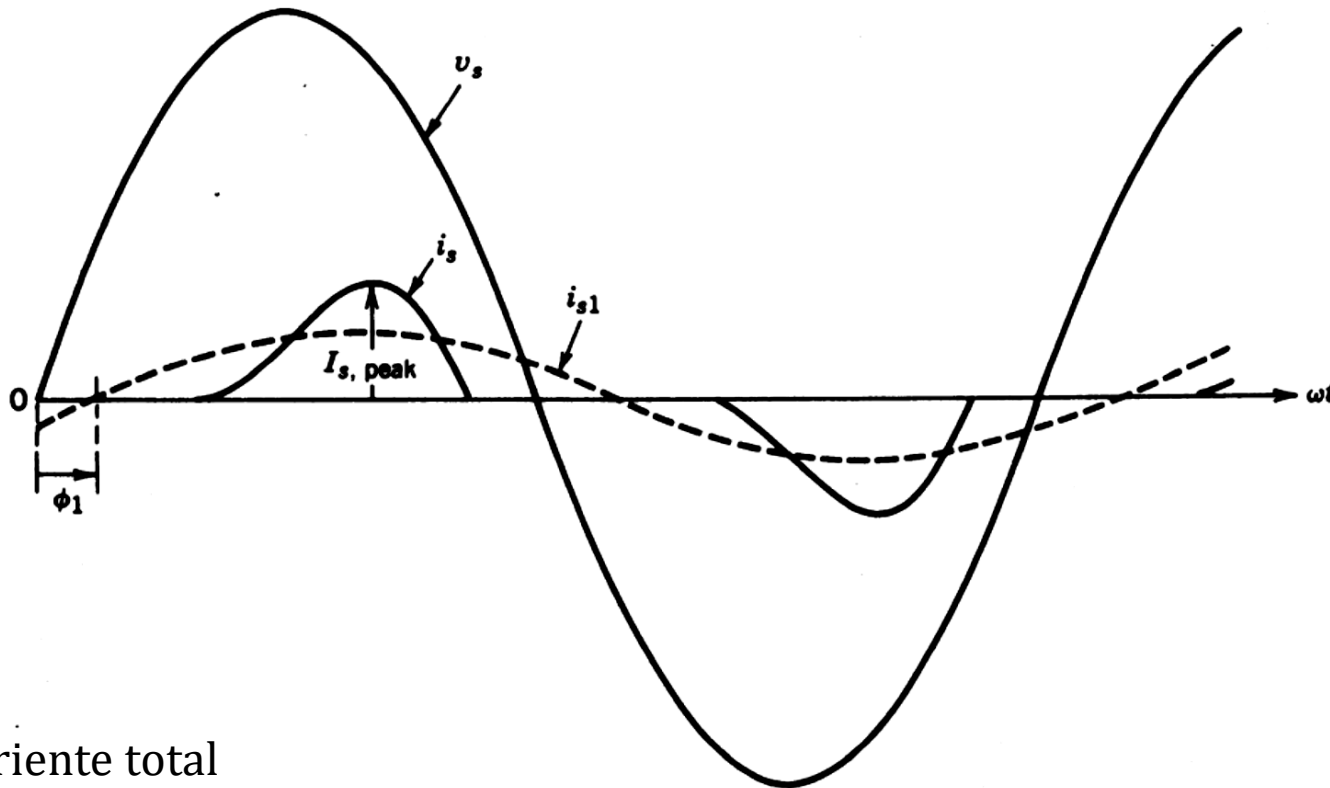


(b)

# Parámetros de Calidad de Energía

- Factor de potencia ( $PF$ )
- Corriente de distorsión ( $I_{DIS}$ )
- Distorsión armónica total ( $THD$ )
- Factor de cresta
- Factor de forma

# Formas de onda de corriente y voltaje en un rectificador monofásico



$i_s$  = corriente total

$i_{s1}$  = corriente fundamental asociada

$\phi_1$  = ángulo de desfase entre el voltaje de entrada y la corriente fundamental

# Definiciones Básicas

- Fourier: corriente de línea puede ser expresada en términos de la fundamental+otros componentes armónicos.

- Potencia real

$$P = V_S I_{S1} \cos \phi_1$$

- Potencia aparente

$$S = V_S I_S$$

- Factor de potencia

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{I_{S1}}{I_S} \cos \phi_1 = \frac{I_{S1}}{I_S} DPF$$

*DPF = factor de potencia de desplazamiento*

# Definiciones Básicas...continuación

- Valor rms de la corriente de línea

$$I_S = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T i_s^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ I_{S1}^2 + \sum_{h=2}^{\infty} I_{sh}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

- Valor rms de la componente de distorsión:

$$I_{dis} = [I_S^2 - I_{S1}^2]^{\frac{1}{2}} = \left[ \sum_{h=2}^{\infty} I_{sh}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$



# Definiciones Básicas...continuación

- Porcentaje de distorsión armónica total

$$\%THD = 100 \times \frac{I_{dis}}{I_{s1}}$$

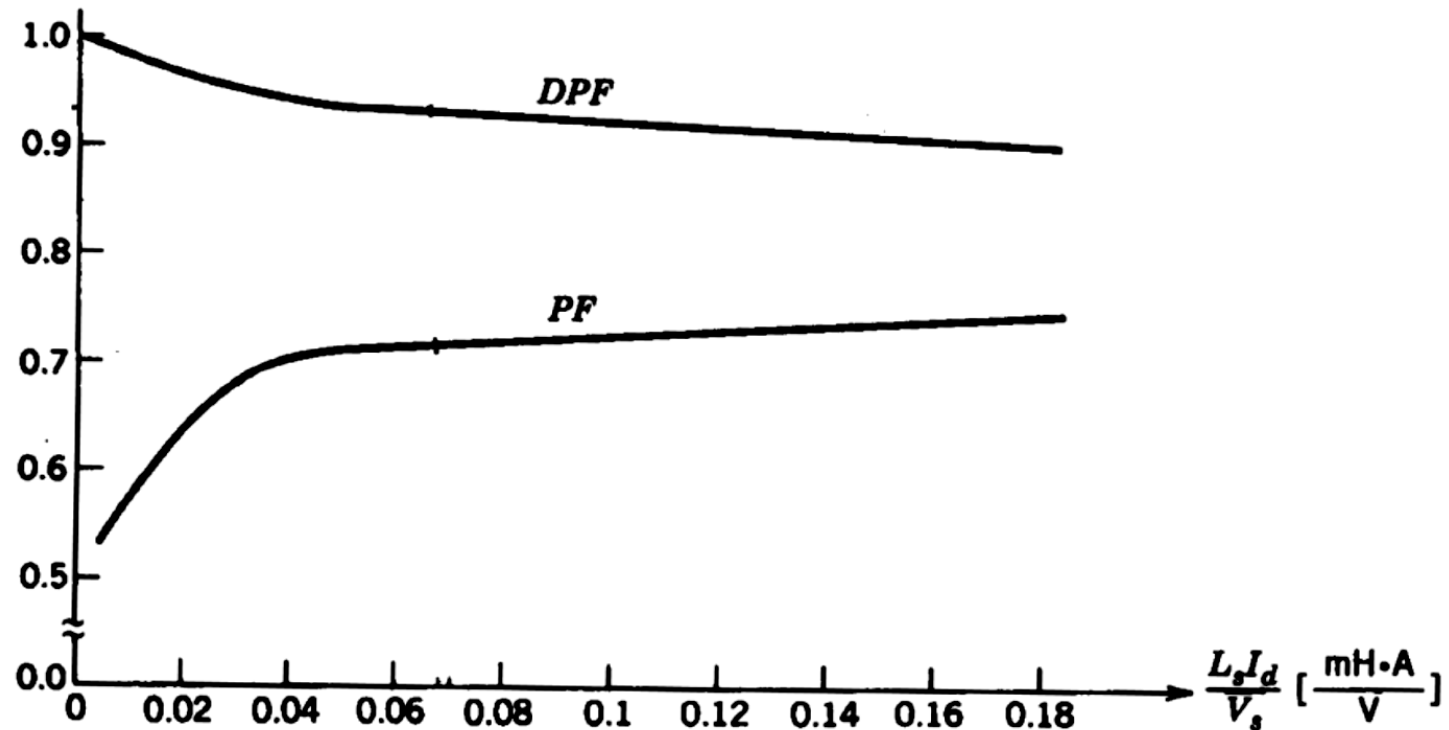
- Factor de cresta

$$Factor\ de\ cresta = \frac{I_{s,pico}}{I_s}$$

- Factor de forma

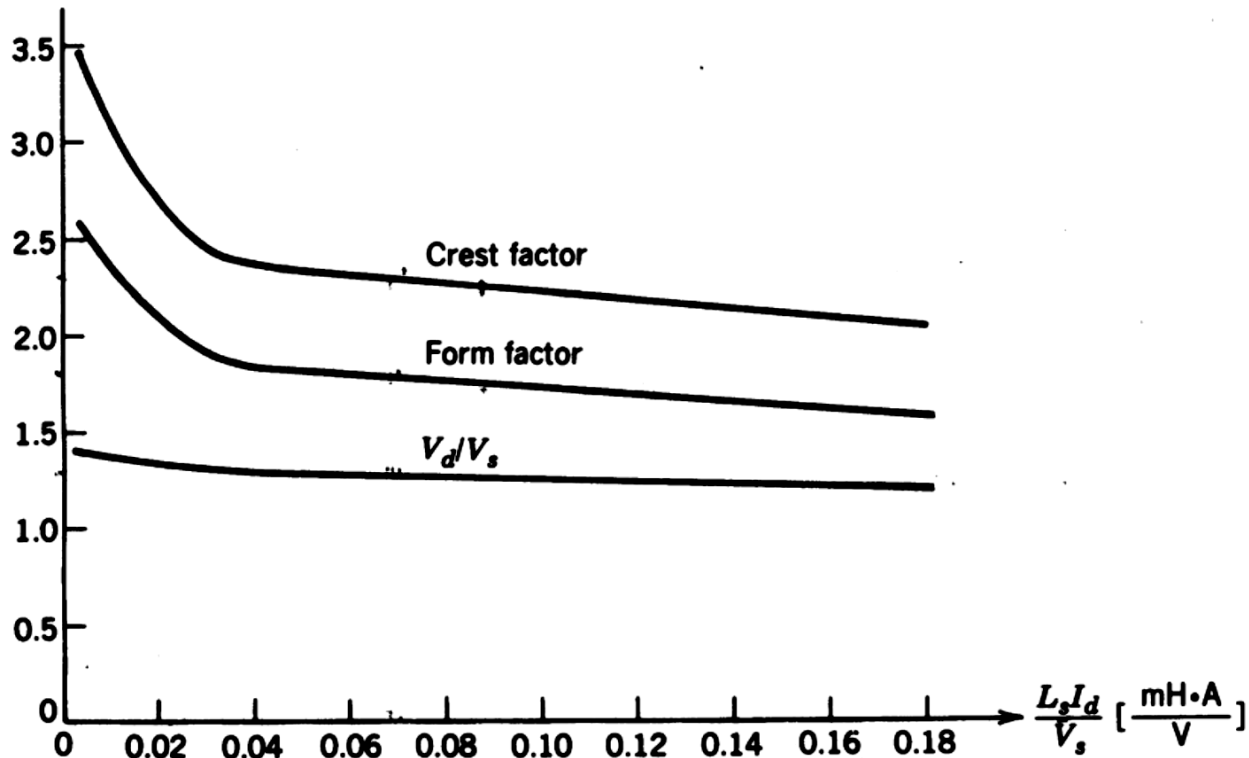
$$Factor\ de\ forma = \frac{I_s}{I_d}$$

# Normalización del Factor de Potencia y Factor de Potencia de Desplazamiento



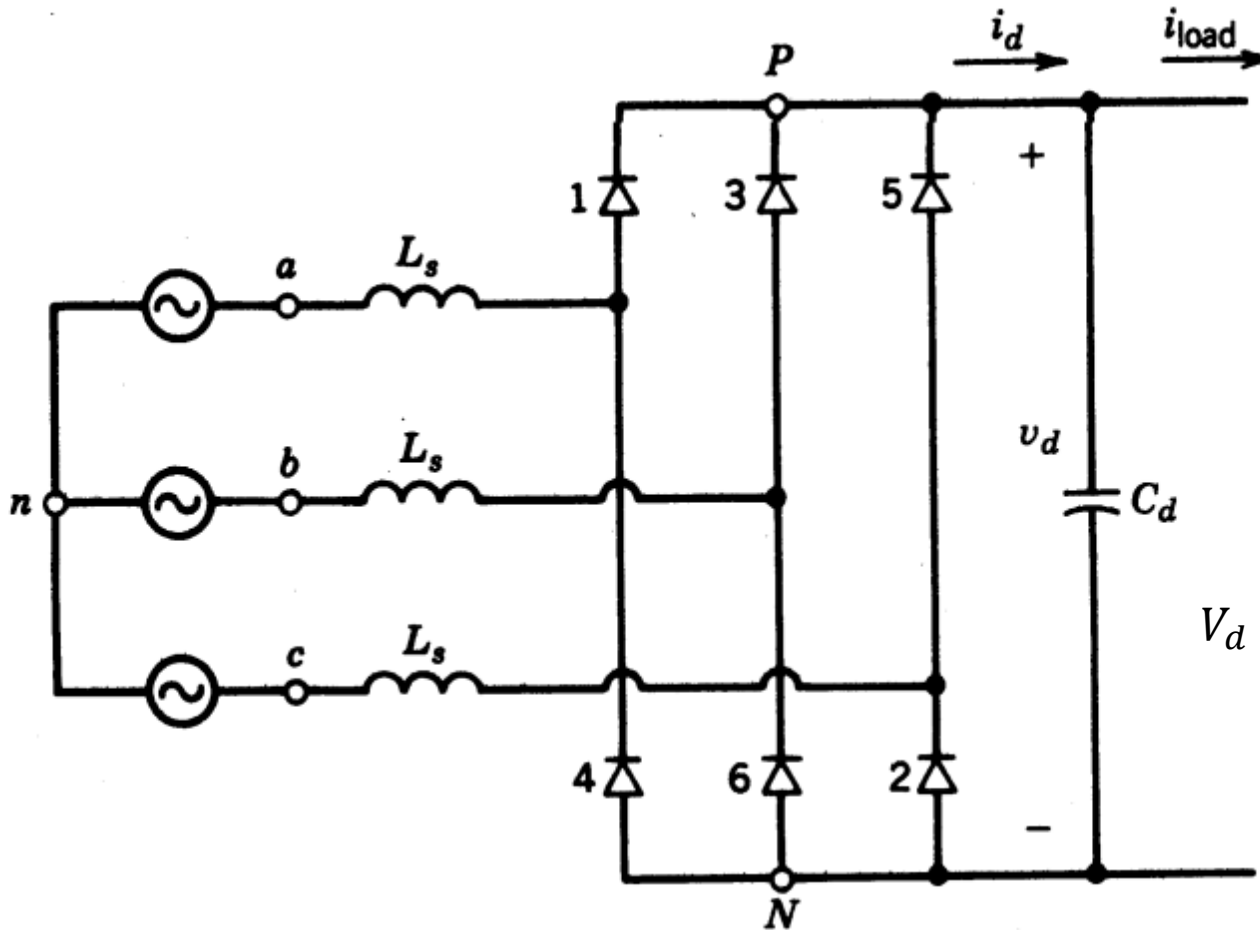
Para rectificadores monofásicos

# Factor de cresta, factor de forma y ganancia del rectificador



Para rectificadores monofásicos

# Rectificadores Trifásicos

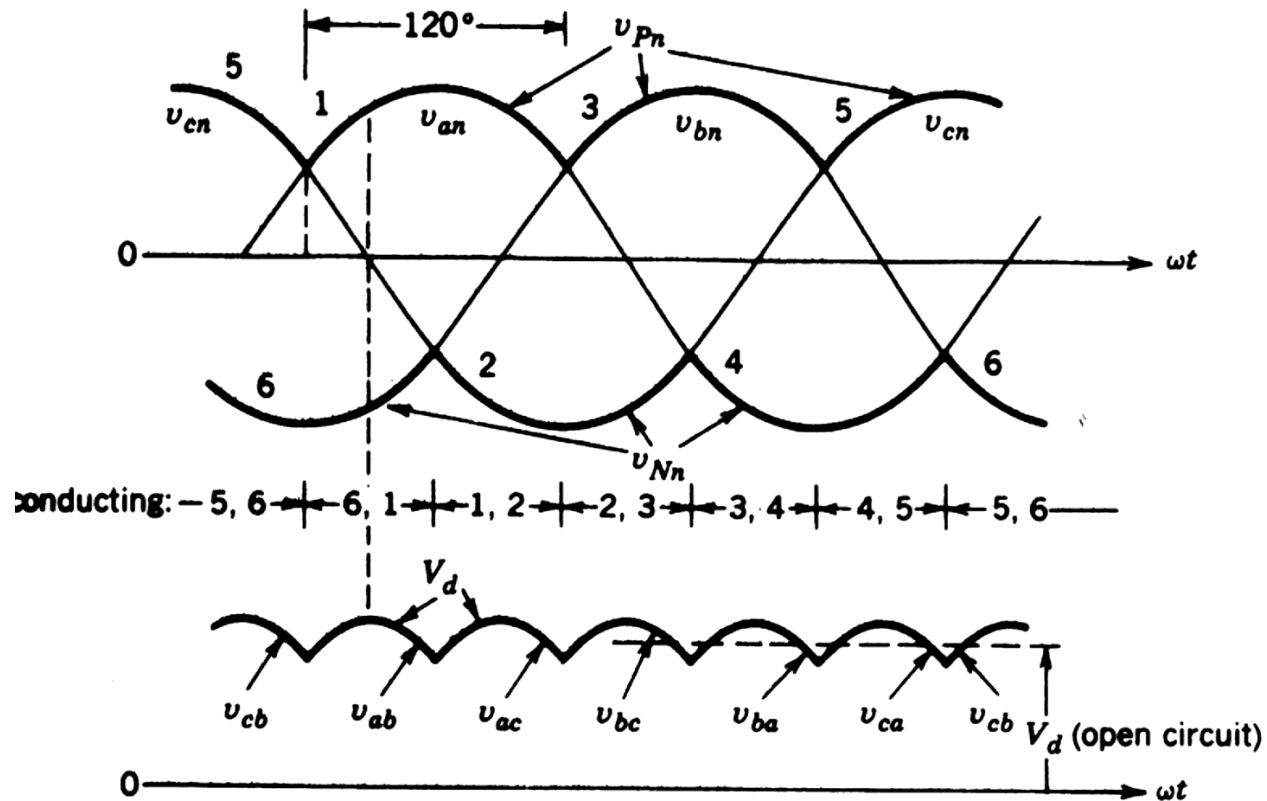


$$L_{d,min} = \frac{0.013V_{LL}}{\omega I_d}$$

$$V_d = \frac{A_d}{\frac{\pi}{3}} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{LL} = 1.35V_{LL}$$

Rectificador de seis pulsos

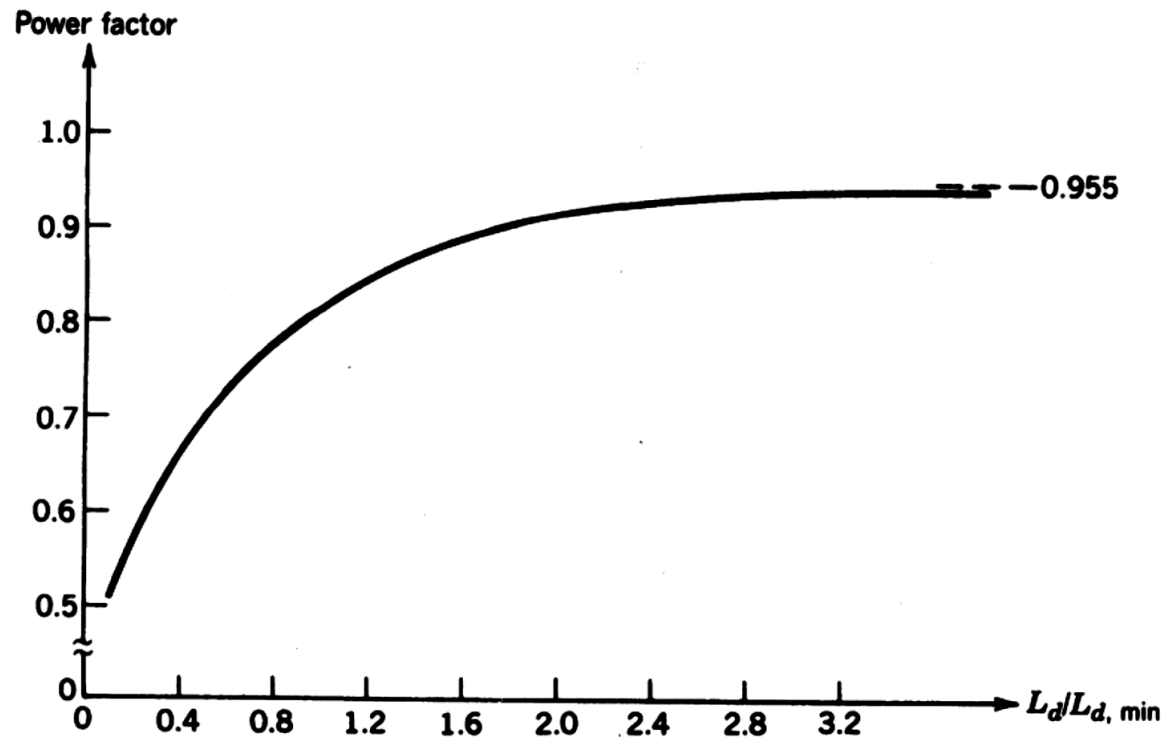
# Rectificadores Trifásicos



Forma de onda de un rectificador trifásico sin capacitor de filtro ni corriente de carga

# Ventaja del rectificador trifásico

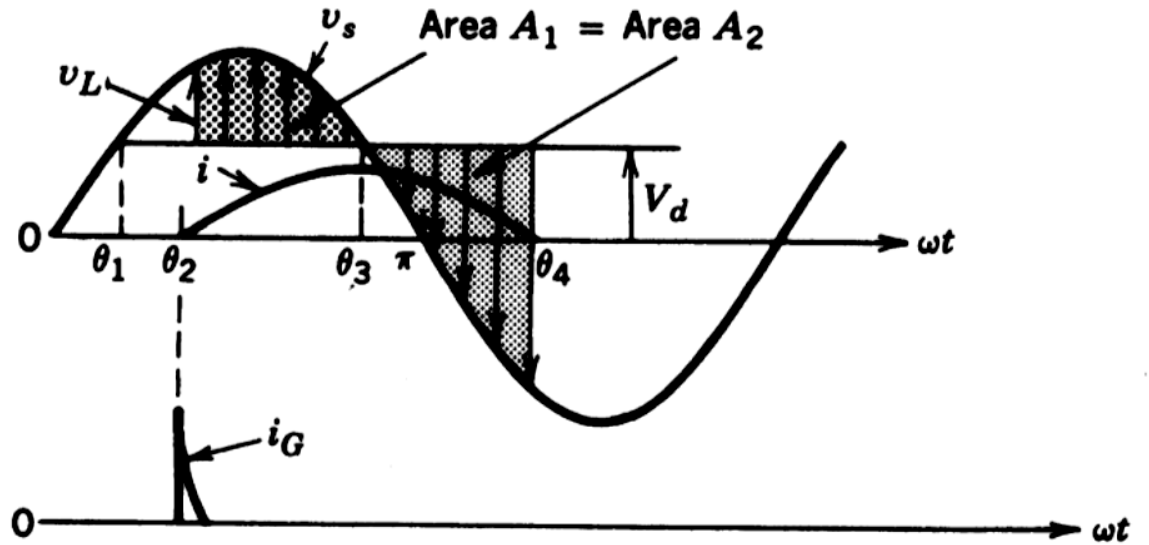
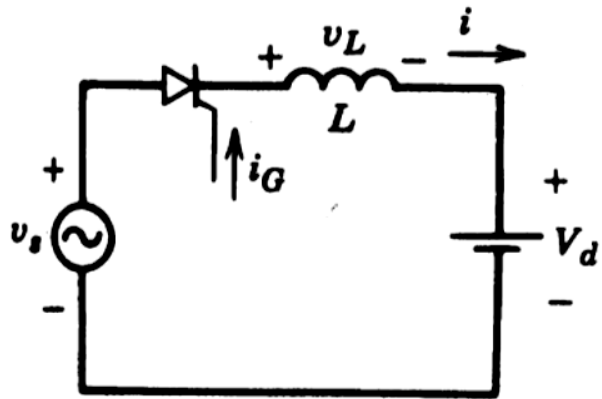
Puede ser controlado el factor de potencia mediante el inductor  $L_d$



# Rectificadores Controlados

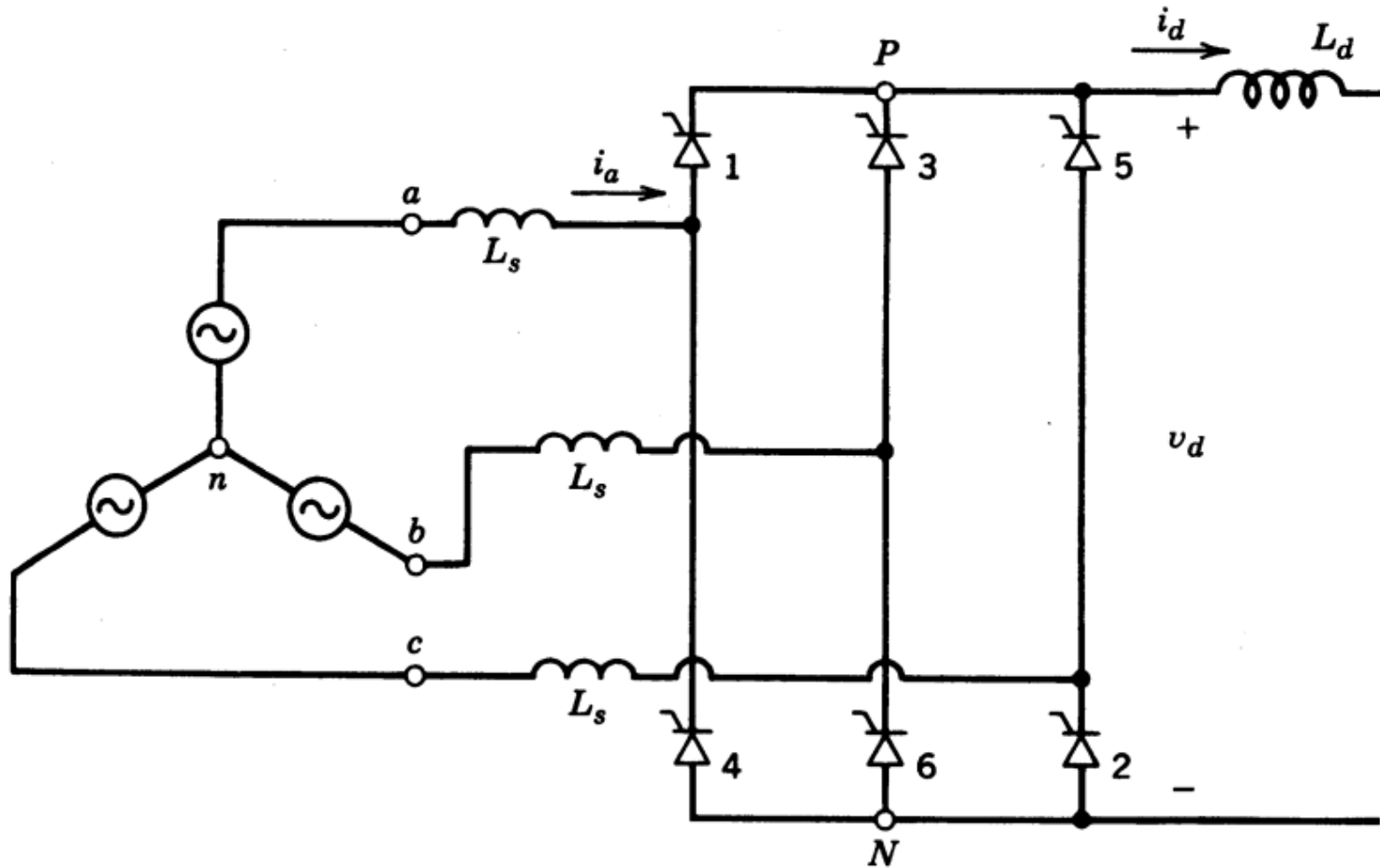
- Pueden operar bajo con ángulos de disparo diferentes:
  - Permite variar el voltaje de salida
  - Permite obtener un voltaje de salida negativo (convierte al circuito en un inversor). **Sólo pueden trabajar en modo inversor si existe una fuente de energía de corriente alterna**
- No se permite invertir el sentido de circulación de la corriente (SCR's son unidireccionales)

# Rectificadores Controlados

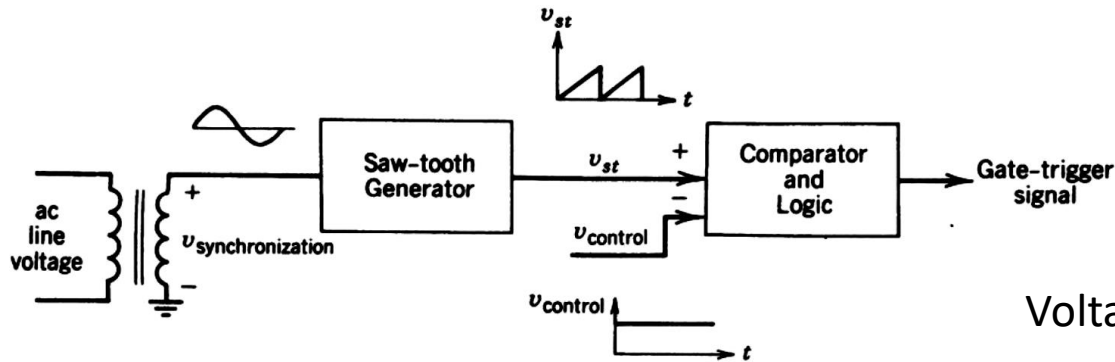




# Circuito Rectificador Trifásico Controlado



# Estrategia de control de la compuerta de los SCR del rectificador controlado



$$\alpha = 180^\circ \frac{v_{control}}{\widehat{V}_{st}}$$

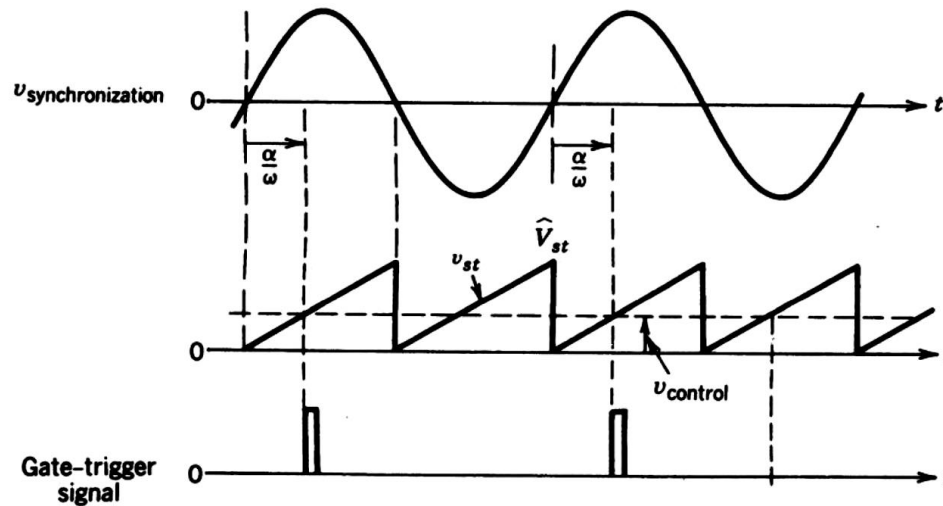
Voltaje DC:

$$V_{d\alpha} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{LL} \cos\alpha = 1.35 V_{LL} \cos\alpha$$

$$V_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{LL} \cos\alpha - \frac{3\omega L_s}{\pi} I_d$$

Efecto en el ángulo de conmutación:





$$\cos(\alpha + u) = \cos\alpha - \frac{2\omega L_s}{\sqrt{2}V_{LL}} I_d$$



# Mediciones

- Medidores de tipo pinzas disponibles:
  - Respuesta promedio
    - Ampliamente utilizadas
    - Usualmente de menor costo
    - Lectura correcta para cargas lineales (motores de inducción estándar, calentadores resistivos, luces incandescentes)
    - No apropiados para cargas no-lineales → leen un valor inferior al verdadero
      - Peores casos:
        - » Controles de velocidad ajustable para pequeños motores (5 HP o menos) conectados a 480V entre dos fases
        - » Calentadores controlados con electrónica de potencia conectados a una fase de 240 V
        - » Computadoras conectadas a 120 V.
  - RMS verdadero

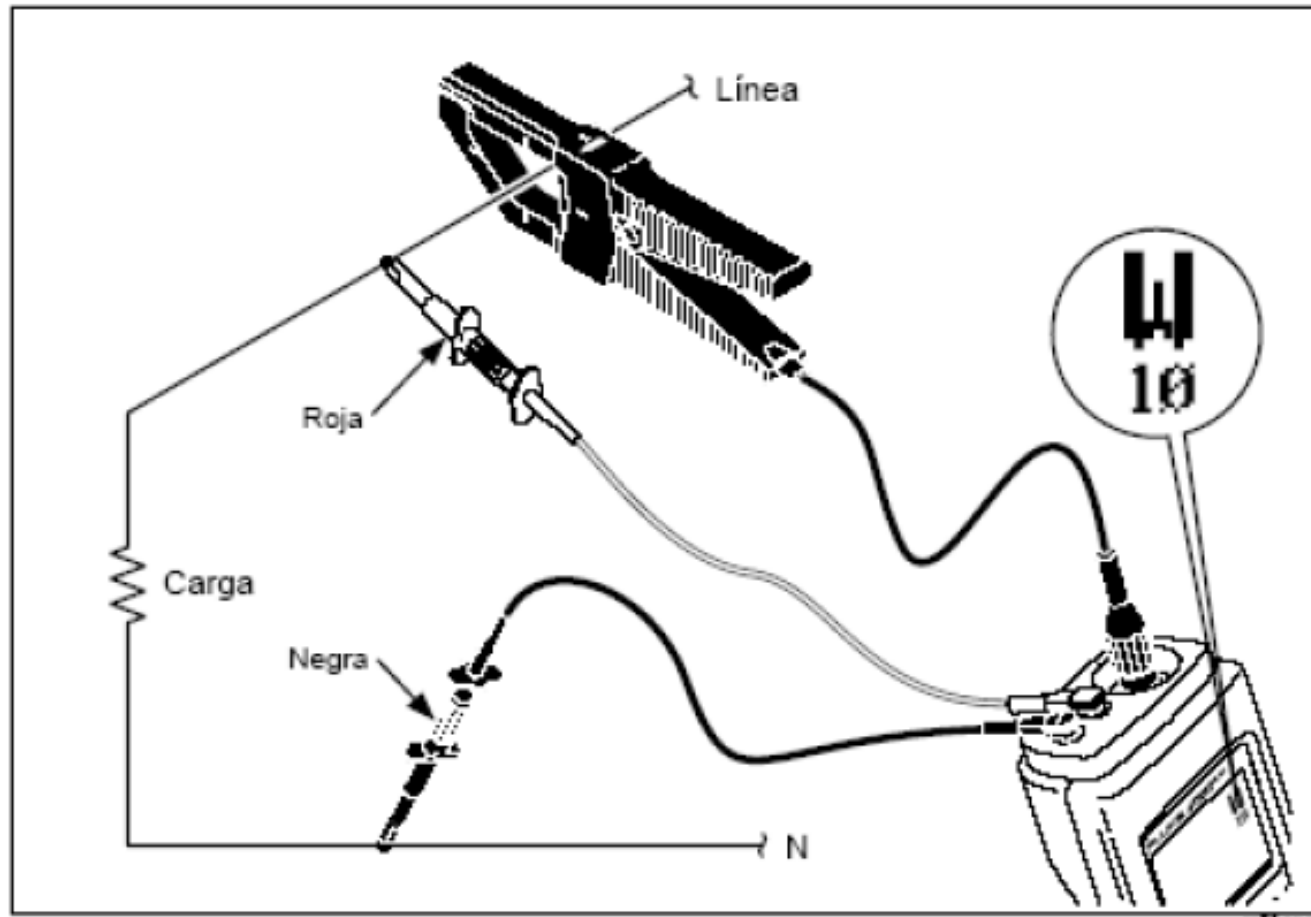
# Respuestas a diferentes tipos de formas de onda para amperímetros de tipo RMS promedio y RMS verdadero

Tipo de multímetro	Respuesta a una señal senoidal	Respuesta a una señal cuadrada	Respuesta a un rectificador monofásico	Respuesta a un rectificador trifásico
				
Respuesta promedio	Correcta	10% mayor	40% menor	5-30% menor
RMS-verdadero	Correcta	Correcta	Correcta	Correcta

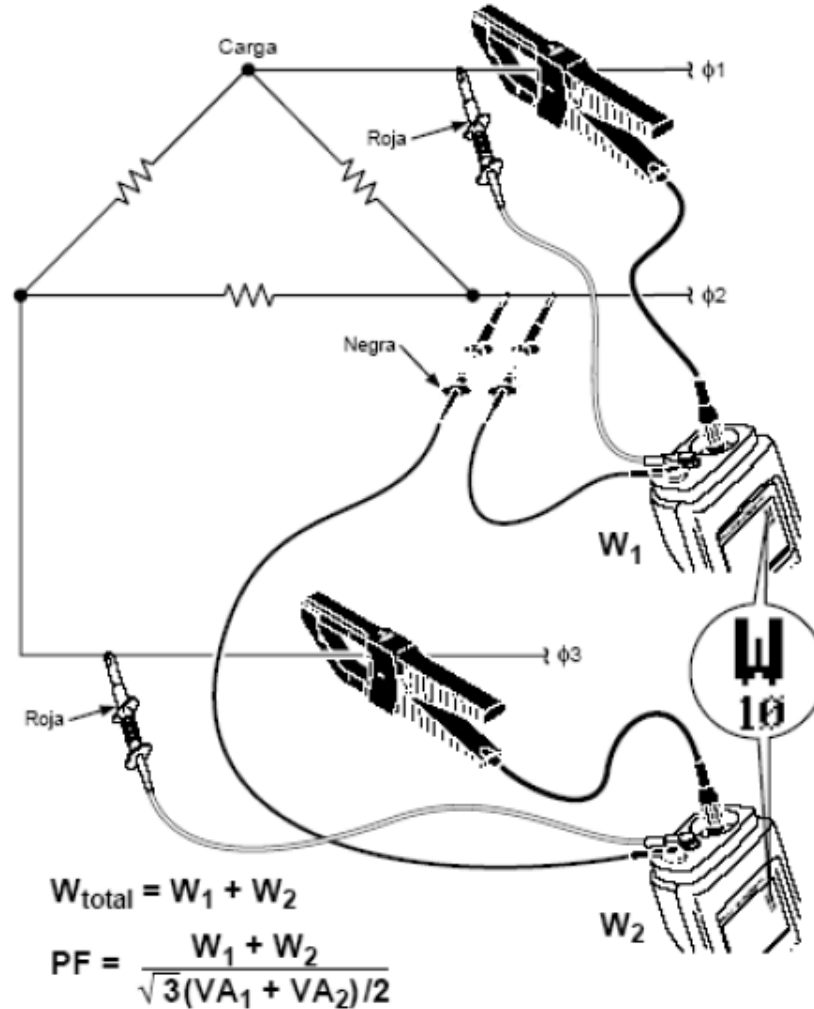
# Medición con amperímetro RMS promedio vs RMS verdadero



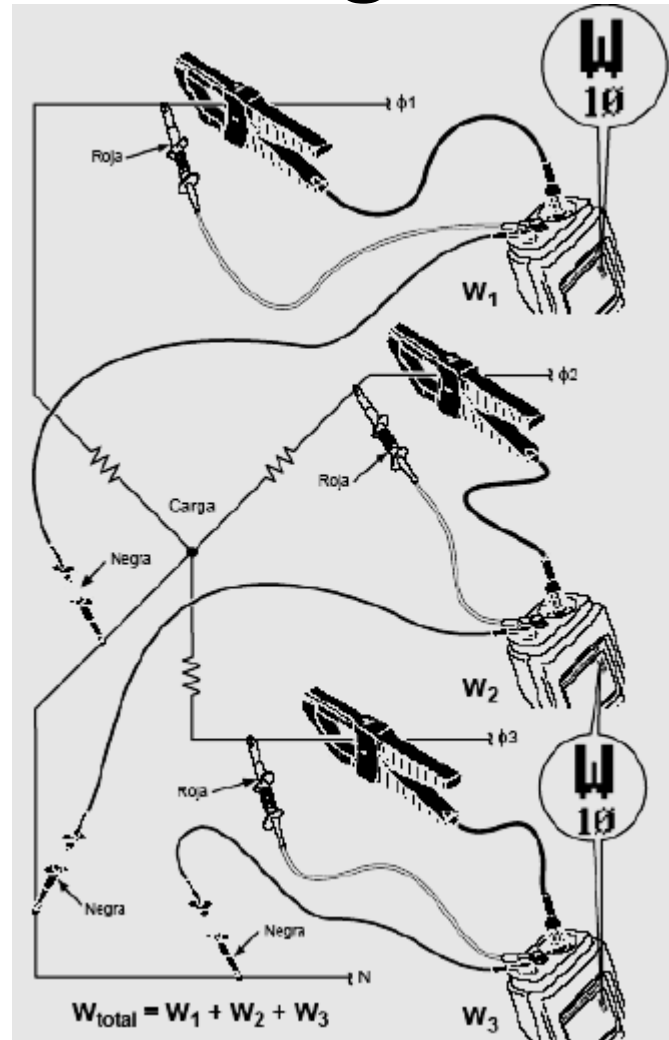
# Medición de parámetros relacionados con la energía de una carga monofásica



# Medición de parámetros relacionados con la energía en una carga trifásica en delta





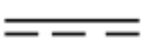


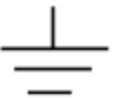



# Medición de parámetros relacionados con la energía en una carga trifásica en estrella





# Símbolos Internacionales de Seguridad

	TENSION PELIGROSA		PRECAUCION ver la explicación en el manual
	CORRIENTE ALTERNA-CA		Equipo protegido totalmente por AISLAMIENTO DOBLE o AISLAMIENTO REFORZADO
	CORRIENTE CONTINUA-CC		
	DC o CA		RECICLADO
	TIERRA		ENTRADA ALTA DE CONECTOR BNC

# Lineamientos de seguridad para el probador y la punta de tensión

- Evite trabajar sólo
- Inspeccione las sondas de prueba para detectar daños al aislante o metal expuesto. Revise la continuidad de la sonda de prueba con un multímetro. Cambie las sondas dañadas.
- No utilice el probador si presenta daños.
- Al usar las sondas de prueba de tensión, mantenga los dedos lejos de los contactos de las puntas. Mantenga los dedos detrás de las guardas para los dedos en las puntas.
- Tome precauciones al medir tensiones superiores a 60 Vcc 0 30 Vca rms. Estas tensiones representan un peligro de descarga eléctrica.

# Lineamientos de seguridad para la punta para corriente 80i-500s

- No utilice nunca la punta de corriente 80i-500s en circuitos con clasificación superior a 600 V. Extreme las precauciones al aprisionar con las mordazas un conductor sin aislante o una barra colectora.
- Mantenga los dedos detrás de la guarda para los dedos de la 80i-500s.

**Fluke 80i-500s, Sonda amperimétrica AC (500 A)**



# Lineamientos de seguridad para la punta para corriente alterna

- Revise las superficies magnéticas de apareamiento de las mandíbulas de la punta; no deben tener polvo, tierra, óxido ni material extraño.
- No utilice una punta de corriente agrietada o dañada o con sondas defectuosas. Si hay una señal de operación defectuosa, cierre la punta con cinta adhesiva para evitar su operación.
- La punta 80i-500s ha sido diseñada y probada en conformidad con IEC 1010-1:1992 y otras normas de seguridad. Observe todas las advertencias para garantizar una operación segura.