

# DE LORENZO GROUP

**MEDIDORES Y TARIFADORES  
DL GTU104.2**

**Potencia Eléctrica**

*50 years  
in the field of  
technical  
education*

**CSQ**

UNI EN ISO 9001  
UNI EN ISO 9002



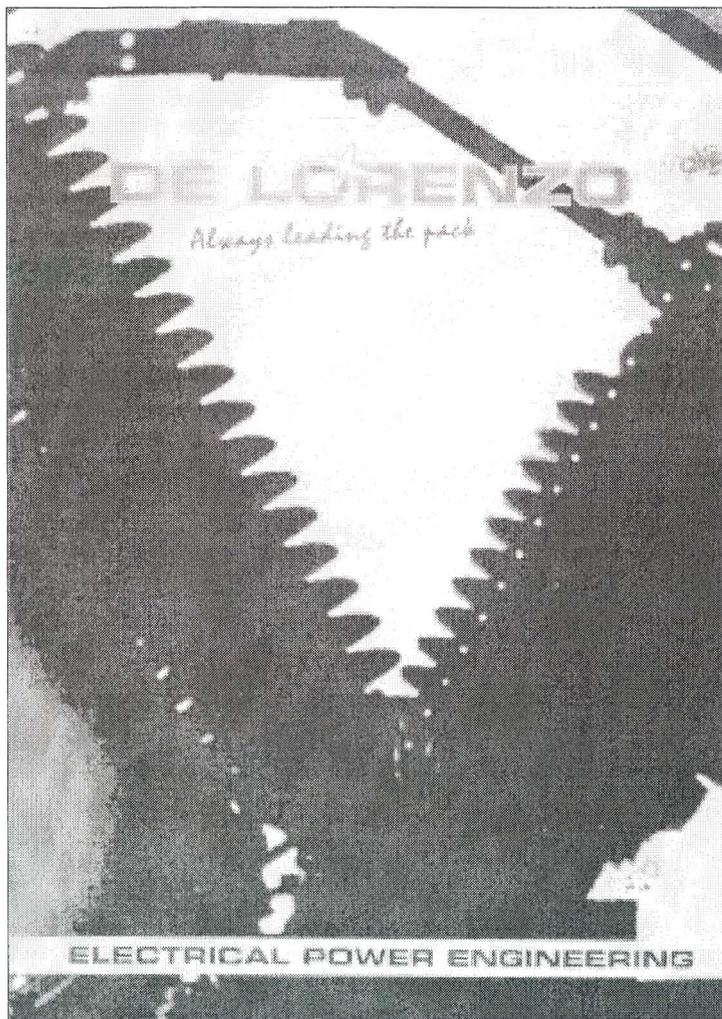


# DE LORENZO

*Always leading the pack*

**MEDIDORES Y TARIFADORES  
DL GTU104.2**

## Potencia Eléctrica



**1. SECCIÓN TEÓRICA,**

- 1.1. Introducción
- 1.2. Principios de operación del medidor de inducción.
- 1.3. Medida del consumo de la energía
- 1.4. Demanda máxima.
- 1.5. Sistemas de tarifas
  - 1.5.1 La demanda nominal.
  - 1.5.2 Los kilowatts hora nominales.
  - 1.5.3 Cláusula del factor de potencia.

**2. INFORMACIONES**

- 2.1. Componentes del experimento
- 2.2. Procedimientos de seguridad

**3. EXPERIMENTOS**

EXPERIMENTO No. 1  
Medidor inductivo de energía activa

EXPERIMENTO No. 2  
Medidor inductivo de energía reactiva

EXPERIMENTO No. 3  
Medidor de demanda máxima

**1. SECCION TEORICA****1.1 Introducción**

Los medidores de inducción son usualmente utilizados para la medición de energía eléctrica en corriente ac y en redes trifásicas. Esos medidores primeramente prevén lo básico para los cálculos del costo de la potencia para los consumidores y en segunda muestran a las compañías de suministro rápidamente el reconocer las necesidades para extender o modificar las redes de suministro de potencia. Como las estaciones de potencia requieren una construcción y una planeación de 8 a 10 años, los valores de energía de consumo - particularmente los valores pico, juegan un significativo rol en las compañías de suministro.

La medida de la potencia reactiva suministrada al consumidor también es importante. Si compañías y grandes consumidores no están en posición de instalar equipos compensadores de potencia reactiva, las compañías de suministro registran la potencia reactiva suministrada con medidores apropiados y las cargan al costo.

Varios sistemas tarifadores han sido diseñados para obtención del precio de la energía eléctrica; Casas habitación, pequeños negocios y empresas agrícolas con un relativo bajo consumo de potencia (aproximadamente 50,000 kWh/año) son alimentados de acuerdo con tarifas de utilidad general; para consumidores con un gran requerimiento de energía las compañías de suministro ofrecen tarifas utilitarias especiales que son realizadas de acuerdo a contratos individuales. Usualmente, cada contrato también contiene una cláusula adicional del factor de potencia que regula el decremento de la potencia reactiva, por ejemplo, de  $\cos\phi \leq 0.9$  ind. En adelante.

Esos tópicos son detallados con teoría y por medio de ejemplos prácticos en este manual.

**1.2 Principio de operación del medidor de inducción**

El medidor de inducción opera de manera similar a un motor asíncrono de rotor jaula de ardilla. En el caso del medidor de inducción, el rotor jaula de ardilla es reemplazado por un disco de aluminio con soporte rotatorio. Dos sistemas magnéticos son responsables del movimiento rotacional del disco. En un medidor de inducción monofásico, la bobina de voltaje es posicionada en la parte superior, en un sistema de tres columnas, y la bobina de corriente es posicionada en la parte inferior en un sistema de dos columnas.

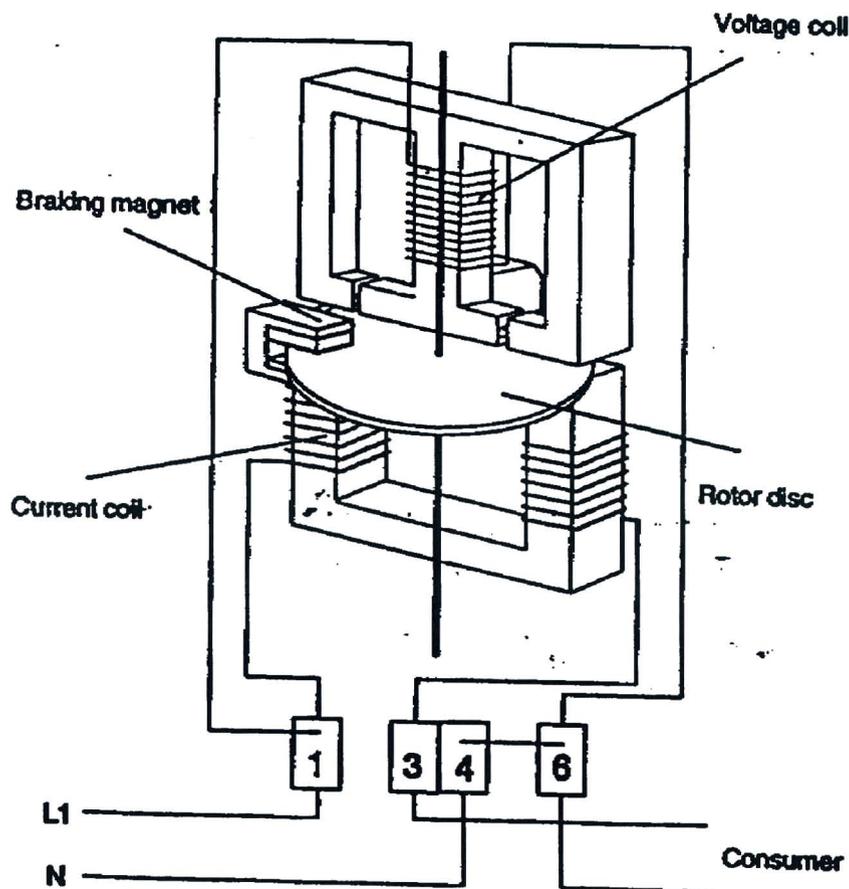


Fig. 1. Diseño de un medidor de inducción monofásico.

Las bobinas difieren en la naturaleza de sus bobinados, por ejemplo, la bobina de voltaje posee una inductancia grande comparada con la bobina de corriente. Esto da como resultado un cambio de fase de los flujos magnéticos de ambas bobinas, así, el campo rotatorio generado es:

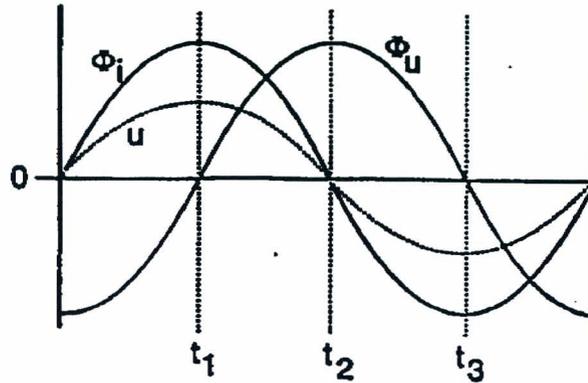


Fig. 2. Curvas de flujo magnético para la corriente y el voltaje.

En el tiempo  $t_1$ , el flujo magnético  $\Phi_i$ , despliega un valor máximo, el flujo  $\Phi_u$  tiene un valor de cero. Los cambios de flujo se comportan exactamente de diferente manera. Como resultado, corrientes de Eddy se manifiestan alrededor de los polos de la bobina de voltaje en el disco medidor. Esas corrientes de Eddy generan un campo magnético que en conjunción con el campo magnético  $\Phi_i$ , produce un torque en el disco medidor.

Las siguientes relaciones son observadas en el tiempo  $t_2$ , el flujo  $\Phi_u$  es máximo, cuando el cambio de  $\Phi_i$  es cero. En contraste, el flujo  $\Phi_u$  es cero cuando  $\Phi_i$  es máximo. Este resultado en las corrientes de Eddy en los polos de corriente de la bobina que de nuevo generan campos magnéticos. La superposición de estos campos en los campos magnéticos del flujo de los voltajes generados en la bobina, genera un torque en el disco medidor en la misma dirección.

Las relaciones en el tiempo  $t_3$  son similares a las del tiempo  $t_1$ , excepto que la dirección del flujo y, asimismo, la dirección del campo son opuestas. El torque, sin embargo, actúa en el mismo sentido. El ángulo de fase, la dirección de la corriente y los flujos magnéticos constantes producen una fuerza en una dirección circunferencial específica. A través del valor instantáneo de fuerza de conducción de cambios constantes, el disco de aluminio se mueve uniformemente debido a su inercia y al freno magnético, y el significado del valor de las fuerzas es registrado

El frenado magnético solo es generado por las corrientes de Eddy en el disco medidor. El rápido movimiento del disco, es más rápido si el freno magnético es más fuerte. Para prevenir que es disco se mueva en ausencia de carga, el eje del rotor es equipado con un freno que es atraído por un polo opuesto de la bobina de voltaje, así se lleva al disco a pararse.

El consumo intrínseco de los medidores es entre 1W y 3W. Muchos de los medidores poseen un bloqueador de corrida en reversa, lo que significa que prevé que el medidor contabilice cuando la corriente está fluyendo en sentido contrario al provisto por la red principal de energía. Usualmente, la realimentación de energía eléctrica está gobernada por diferentes tarifas. En el caso de medidores de inducción para cuatro conductores, 2 o 3 discos de aluminio son conducidos en un eje vía tres sistemas de conducción magnética.

### **1.3 Medida del consumo de energía**

El medidor kWh es usado para medir consumo de potencia activa: El diseño de este medidor en el sistema de inducción descrito. El torque del disco es proporcional a la potencia, así que el número de revoluciones es proporcional a la energía y es registrada por un contador de engranes escalado en kilowatts - hora.

El medidor Varh es usado para medir potencia inductiva reactiva: El diseño de este medidor es similar al del medidor de kWh y el cambio de fase entre la corriente y el voltaje se toma internamente por medio de un contador en la bobina del voltaje.

### **1.4 Demanda máxima.**

La porción de la planta dirigida al consumidor es medida por su máxima demanda, por ejemplo: el máximo valor de su carga durante y determinado periodo.

Un indicador de máxima demanda es un diseño extremadamente complejo para medidas del consumo de energía. Del incremento de la demanda concierne la flexibilidad de las políticas de tarifas. (Alta tarifa = electricidad cara; baja tarifa = electricidad barata, por ejemplo: en el pico de mínimo consumo) y los niveles de datos (almacenado de los valores de máximo consumo) para un propósito de conteo deben ser contenidos en el diseño del tarifador. El medidor contiene un contador de máxima demanda que es un control a microprocesador y diseñado para los modernos requerimientos de presentación.

### 1.5 Sistema tarifador.

Como fue mencionado en la introducción, una distinción se hace entre el consumo público de energía doméstica, pequeños negocios y grandes consumidores, por lo que se tiene una larga lista de consumidores de electricidad

Las **Tarifas De Utilidad General** están compuestas de la carga estándar para la capacidad instalada y los kilowatt - hora nominales.

Las **Tarifas De Utilidad Especial** están compuestas de la relación de demanda nominal, de los kilowatt - hora nominales y el descuento del periodo de utilización. Usualmente, es esas tarifas están incluidas la cláusula del factor de potencia para el consumo de potencia reactiva, por ejemplo: de  $\cos\phi \leq 0.9$  ind.

La demanda nominal es usada por las compañías de suministro de energía para cubrir el costo del servicio, la depreciación e interés en el valor del equipo, así como el costo del personal.

Los kilowatt - hora nominales son usados para cubrir el costo de salida nominal, por ejemplo: El costo del combustible.

Para periodos de carga ligera, las compañías de suministro de energía ofrecen una tarifa particularmente favorable. Esto significa que el rendimiento de consumo eléctrico es lucrativo para empresas comerciales y grandes consumidores, especialmente en la noche o eventos públicos, cuando menos electricidad es consumida a través de reservas de potencias que están disponibles a utilizar. El precio de la electricidad durante el periodo de tarifas bajas puede ser superior al 50% menor que durante el día.

**1.5.1 La demanda nominal**

Un medidor de máxima demanda es requerido para el cálculo del costo de acuerdo con la demanda nominal.

La demanda nominal está basada principalmente en el precio de la potencia pico producida con un específico periodo de suministro. (Por ejemplo 15min.). Ajustes anuales del costo de la electricidad son usualmente basados en el valor promedio del valor de 3 picos diurnos de potencia registrada todos los meses.

Ejemplo del cálculo del costo usando la demanda nominal.

Dado:

- Demanda nominal: 10.00 \$/kW por la potencia diurna registrada.
- Tarifa alta: 0.12 \$/kWh.
- Baja tarifa: 0.07 \$/kWh
- Los siguientes datos son medidos durante los meses relevantes:
  - ✓ Potencia pico:  $P_{\text{máx.}} = 714 \text{ kW}$
  - ✓ Salida de tarifa alta:  $W_H = 137,000 \text{ kWh}$
  - ✓ Salida en tarifa baja:  $W_L = 17,500 \text{ kWh}$

Cálculos:

• Costo de la demanda	714 kW		10.00 \$/kW	=	7,140 \$
• Costo de la energía					
✓ Tarifa alta	137,000 kWh		0.12 \$/kW	=	16,440 \$
✓ Tarifa baja	<u>17,500 kWh</u>		0.07 \$/kW	=	<u>1,225 \$</u>
	<u>154,500 kWh</u>				<u>24,805 \$</u>

Resultados:

La carga para 154,500 kWh es 24,805\$ y el precio promedio de electricidad es:

$$\frac{24,805\$}{154,500 \text{ kWh}} = 0.16\$ / \text{ kWh}$$

## 1.5.2 La relación kilowatts - hora

Los cálculos de ese costo están basados en la energía eléctrica consumida. Asimismo, los precios están graduados de acuerdo con los niveles de consumo de energía. Por lo que, las compañías de suministro de energía usualmente ofrecen un descuento por "periodo de utilización", Este valor depende del periodo anual de utilización  $T_m$  que es calculado de la potencia pico  $P_{max}$  registrada sobre un periodo fijo, y la energía  $W$  suministrada sobre el mismo periodo.

$$T_m = \frac{W}{P_{max}}$$

Ejemplo del cálculo del costo usando la demanda nominal.

Dado

- Kilowatts - hora nominal
  - ✓ Para los primeros 25,000kWh/año 0.25
  - ✓ Para los siguientes 100,000kWh/año 0.20\$/kWh
  - ✓ Para los adicionales kWh 0.15\$/kWh
- Los siguientes descuentos por periodo de utilización se ofrecen por contrato
  - ✓ 4% por un periodo de utilización de 1,000 h/año o más
  - ✓ 8% por un periodo de utilización de 2,000 h/año o más
  - ✓ 12% por un periodo de utilización de 4,000 h/año o más
- los siguientes datos fueron registrados y calculados durante un año relevante:
- Potencia pico  $P_{m\acute{a}x.} = 30kW$
- Energía consumida  $W = 111,600 kWh$
- Periodo de utilización anual

$$T_m = \frac{111,600kWh}{30kW} = 3,720h$$

Cálculos:

• Costo de la energía					
✓ Por los primeros 25,000kWh	25,000kWh	0.25 \$/kW	=	6,250 \$	
✓ Por los siguientes 86,600kWh	86,600kWh	0.20 \$/kW	=	<u>17,320 \$</u>	
				23,570 \$	
				<u>1,886 \$</u>	
				21,684 \$	

Resultados:

La carga para 111,600 kWh es 21,684\$ y el precio promedio de electricidad es:

$$\frac{21,684\$}{111,600kWh} = 0.194\$ / kWh$$

### 1.5.3 Cláusula del factor de potencia

Las compañías de suministro también deben considerar la energía reactiva dentro del cálculo del costo como la corriente reactiva de las líneas, transformadores y generadores, así como el incremento de operación en el costo de los equipos (por ejemplo, la sobrecarga en las líneas en larga escala).

Las compañías de suministro no hacen cargo por la energía reactiva hasta un cierto límite.

Hasta que este límite no se sobrepase, por ejemplo, cuando más del 50% de la energía es consumida como energía reactiva, tarifas especiales (tarifas de energía reactiva) se aplican. Aquí, es donde los consumidores deben considerar que es más económico instalar equipos compensadores de energía reactiva.

Ejemplo del cálculo del costo de acuerdo con la cláusula del factor de potencia.

Dado:

- Energía activa consumida durante un año. 165,000 kWh
- Energía reactiva consumida durante un año. 275,000 kVarh
- Precio de la energía reactiva. 0.03 \$/kVarh
- Por contrato, el costo de la energía reactiva es superior a un 50% del costo de la energía activa.

Cálculos:

- Consumo de energía reactiva 275,000 kVarh
- Energía reactiva gratis  $0.5 \times 165,000$  = 82,000 kVarh
- Energía reactiva a ser pagada 192,000 kVarh

Resultados

- El cargo para 192,000 kVarh es de 5,775\$ y puede ser ahorrado enteramente con la ayuda de equipo de compensación.

**2. INFORMACIONES****2.1 Componentes para los experimentos.**

- 1 DL 1017R Carga resistiva.
- 1 DL 1017C Carga capacitiva.
- 1 DL 2108TAL Unida de alimentación trifásica.
- 1 DL 208T02 Circuito interruptor de potencia.
- 2 DL 2109T26 Medidor de potencia.
- 1 DL 2109T28 Medidor trifásico de kWh.
- 1 DL 2109T29 Medidor de máxima demanda.
- 1 DL 2109T31 Medidor trifásico de kVarh
- 1 DL 2109T2A5 Amperímetro de bobina móvil (2.5 A).
- 1 DL 2109T2PV Voltímetro de bobina móvil (100 – 400 – 1,000 V)
- 1 DL CRON Reloj de paro electrónico.

**2.2 Procedimientos de seguridad.**

De acuerdo con las regulaciones IEC, partes metálicas que no portan voltaje en operación normal (por ejemplo, gabinetes) deben ser conectados al conductor de tierra PE.

El conductor de tierra está provisto para este propósito y no debe ser conectado con el conductor de neutro N del circuito.

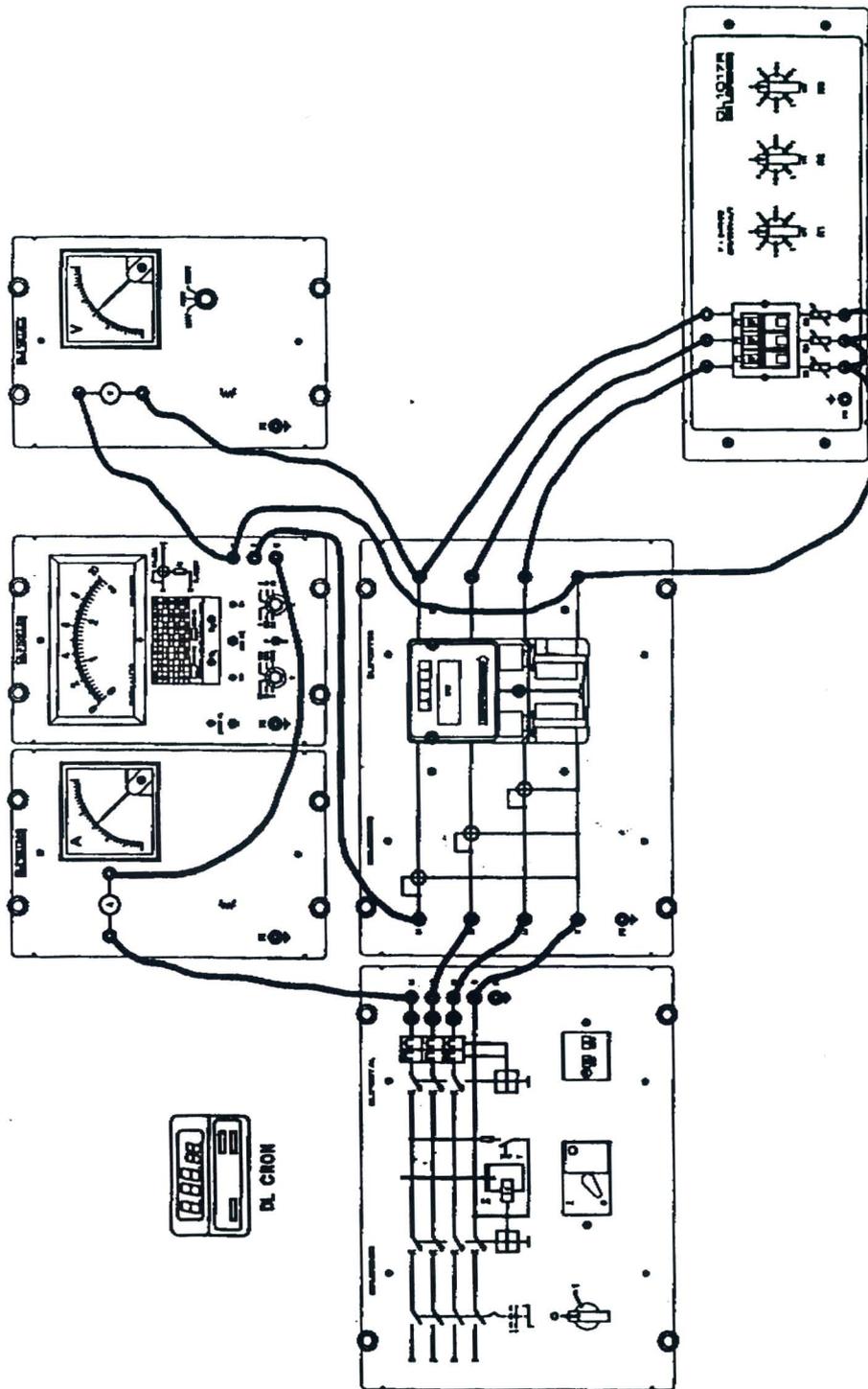
Altos voltajes de inducción pueden ocurrir en reactores cuando la corriente es interrumpida. Antes de cambiar la disposición de los experimentos (por ejemplo, seleccionando diferentes rangos de medida en el medidor), la corriente a ser cerrada usando un interruptor de corte tripolar.

**MEDIDOR DE INDUCCION DE ENERGIA ACTIVA****Objetivos:**

- Demostración de las medidas de la energía activa consumida.
- Determinación de la constante del medidor

**Equipos:**

- |                 |   |
|-----------------|---|
| • 1 DL 1017R    | Carga resistiva.                                |
| • 1 DL 2108TAL  | Unida de alimentación trifásica.                |
| • 2 DL 2109T26  | Medidor de potencia.                            |
| • 1 DL 2109T28  | Medidor trifásico de kWh.                       |
| • 1 DL 2109T2A5 | Amperímetro de bobina móvil (2.5 A).            |
| • 1 DL 2109T2PV | Voltímetro de bobina móvil (100 – 400 – 1000 V) |
| • 1 DL CRON     | Reloj de paro electrónico.                      |



Esperimento 1

**Procedimientos:**

Ensamble el circuito de acuerdo con el diagrama topográfico

La carga resistiva está conectada en configuración estrella como carga trifásica balanceada

Para determinar la constante del medidor (dada en la vista frontal del medidor: por ejemplo 120 r/kWh) el tiempo que toma para una rotación del disco del medidor la certeza del nivel de la potencia seleccionada es medida con un reloj de paro electrónico.

Para obtener más valor de la precisión, el tiempo de medida se debe de tomar por lo menos durante  $r = 2$  rotaciones.

Principiando del valor  $R_1$  se reduce el valor de la resistencia de carga por pasos hasta el valor de  $R_7$  y para cada paso mida las siguientes cantidades:

Potencia activa total  $P_t$ , corriente  $I$  y voltaje  $U$ , el tiempo  $t$  tomado para cada rotación completa del disco.

Introduzca el valor de las medidas dentro de la siguiente tabla:

Rotaciones $r = \dots$							
R	P (W)	P <sub>t</sub> (W)	I (A)	U (V)	t (s)	N (r/kWh)	e (%)
R <sub>1</sub>							
R <sub>2</sub>							
R <sub>3</sub>							
R <sub>4</sub>							
R <sub>5</sub>							
R <sub>6</sub>							
R <sub>7</sub>							

La potencia activa total  $P_t$  es determinada por la multiplicación del valor de la medida  $P$  por el factor 3, suponiendo que la carga es balanceada; de otra manera, el valor del medidor puede variar considerablemente del valor actual.

La constante del medidor es calculada usando la siguiente ecuación:

$$N = \frac{3,600 \cdot 1,000 \cdot r}{Pt \cdot t} = \dots\dots\dots \left[ \frac{r}{kWh} \right]$$

Mientras que el error del medidor es:

$$e(\%) = \left( \frac{N}{N_{rat}} - 1 \right) 100$$

Donde  $N_{rat}$  es la constante nominal del medidor.

**Notas:**

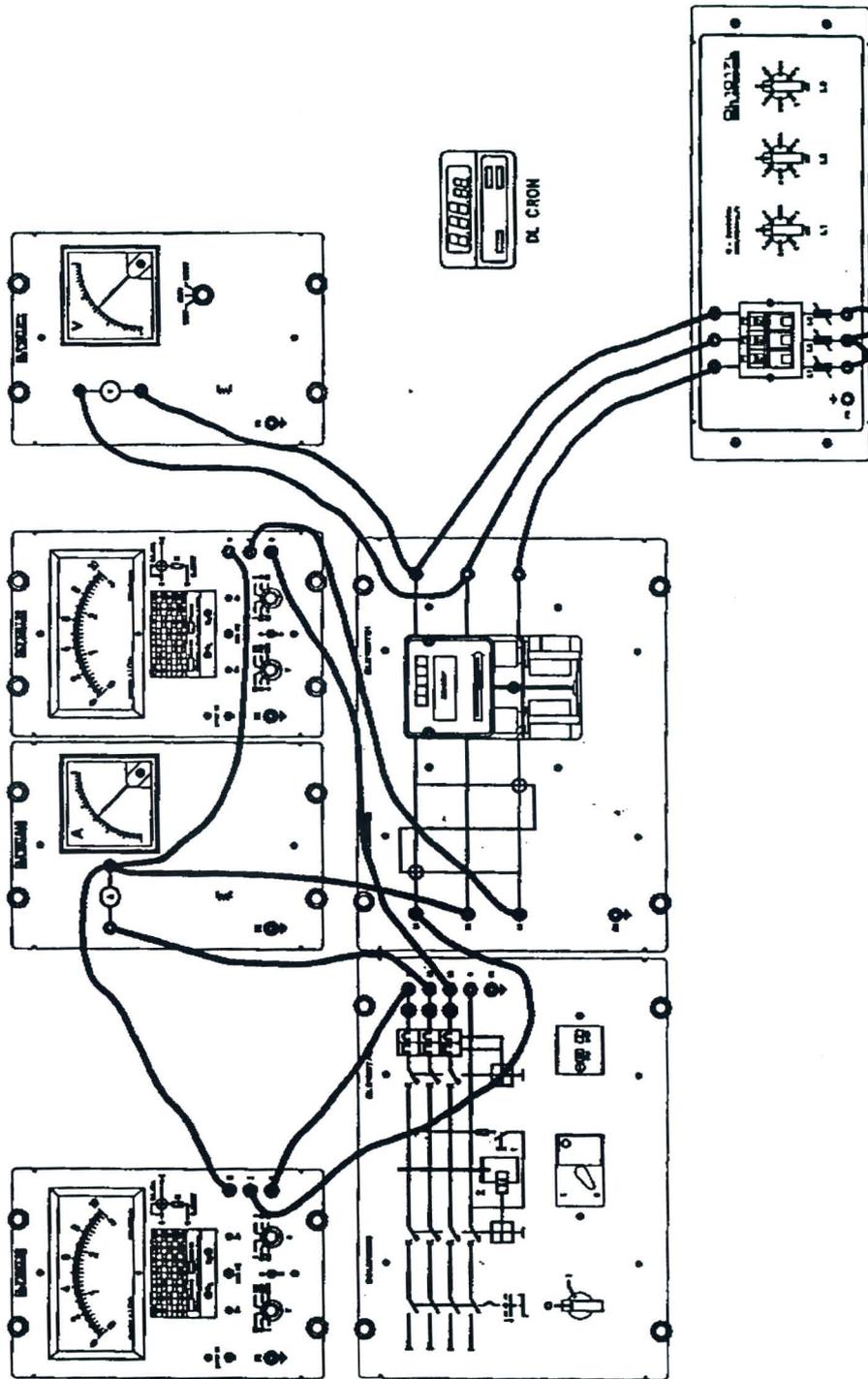
1. *Con carga trifásica desbalanceada el medidor también cuenta.*
2. *Si dos fases son interrumpidas a la carga el medidor registra el consumo de carga en una sola fase de la red.*
3. *Si el disco del medidor viaja en dirección diferente contra la activación inicial un engrane antiretorno detiene la rotación: Cheque que las conexiones de entradas sean correctas.*

**MEDIDOR DE INDUCCION DE ENERGIA ACTIVA****Objetivos:**

- Demostración de las medidas de la energía reactiva consumida.
- Determinación de la constante del medidor

**Equipos:**

- |                 |   |
|-----------------|---|
| • 1 DL 1017L    | Carga resistiva.                                |
| • 1 DL 2108TAL  | Unida de alimentación trifásica.                |
| • 2 DL 2109T26  | Medidor de potencia.                            |
| • 1 DL 2109T31  | Medidor trifásico de kWh.                       |
| • 1 DL 2109T2A5 | Amperímetro de bobina móvil (2.5 A).            |
| • 1 DL 2109T2PV | Voltímetro de bobina móvil (100 – 400 – 1000 V) |
| • 1 DL CRON     | Reloj de paro electrónico.                      |



Esperimento 2.

**Procedimientos:**

Ensamble el circuito de acuerdo con el diagrama topográfico

La carga resistiva está conectada en configuración estrella como carga trifásica balanceada

Para determinar la constante del medidor (dada en la vista frontal del medidor: por ejemplo 600 r/kVarh) el tiempo que toma para una rotación del disco del medidor la certeza del nivel de la potencia seleccionada es medida con un reloj de paro electrónico.

Para obtener más valor de la precisión, el tiempo de medida se debe de tomar por lo menos durante  $r = 2$  rotaciones.

Principiando del valor  $L_1$  se reduce el valor de la resistencia de carga por pasos hasta el valor de  $L_7$  y para cada paso mida las siguientes cantidades:

Potencia activa total  $Q_t$ , corriente  $I$  y voltaje  $U$ , el tiempo  $t$  tomado para cada rotación completa del disco.

Introduzca el valor de las medidas dentro de la siguiente tabla:

Rotaciones $r = \dots$								
L	$Q_{12}$ (var)	$Q_{32}$ (var)	$Q_t$ (var)	I (A)	U (V)	t (s)	N (r/kvarh)	e (%)
$L_1$								
$L_2$								
$L_3$								
$L_4$								
$L_5$								
$L_6$								
$L_7$								

La potencia reactiva total  $Q_t$  es determinada por la suma del valor de la medida  $Q_{12}$  y  $Q_{32}$ , suponiendo que la carga es inductiva.

La constante del medidor es calculada usando la siguiente ecuación:

$$N = \frac{3,600 \cdot 1,000 \cdot r}{Qt \cdot t} = \dots\dots\dots \left[ \frac{r}{kVarh} \right]$$

Mientras que el error del medidor es:

$$e(\%) = \left( \frac{N}{N_{rat}} - 1 \right) 100$$

Donde  $N_{rat}$  es la constante nominal del medidor.

**Notas:**

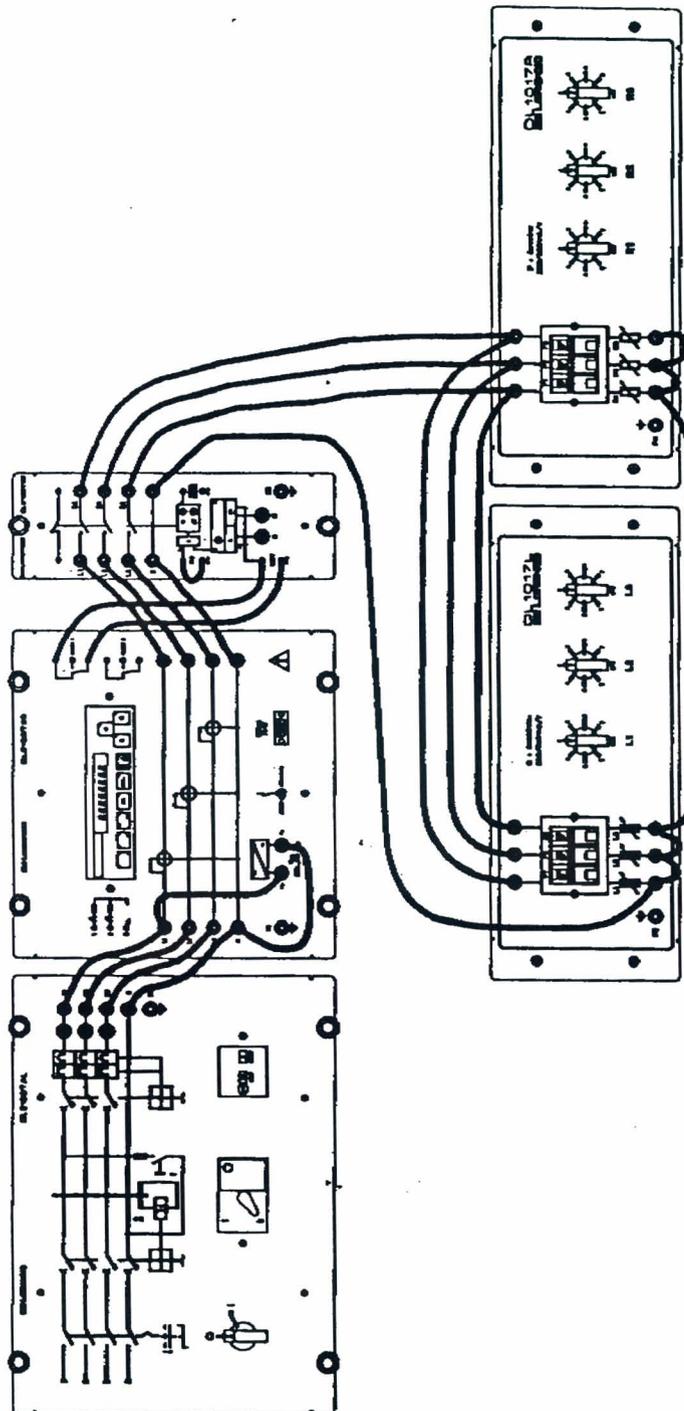
1. *Con carga trifásica desbalanceada el medidor también cuenta.*
2. *Si las fases L1 y L2 son interrumpidas a la carga el medidor no registra el consumo de carga.*
3. *Si el disco del medidor viaja en dirección diferente contra la activación inicial un engrane antiretorno detiene la rotación: este error puede ser rectificado por el intercambio de dos fases de la línea.*

**MEDIDOR DE MAXIMA DEMANDA****Objetivos:**

- Demostración de las medidas de máxima demanda.
- Demostración de la operación de corte de carga.

**Equipos:**

- |                |                                   |
|----------------|-----------------------------------|
| • 1 DL 1017R   | Carga resistiva.                  |
| • 1 DL 1017L   | Carga inductiva.                  |
| • 1 DL 2108TAL | Unida de alimentación trifásica.  |
| • 1 DL 208T02  | Circuito interruptor de potencia. |
| • 1 DL 2109T29 | Medidor de máxima demanda.        |



Experimento 3.

**Procedimientos:**

Ensamble el circuito de acuerdo con el diagrama topográfico

La carga resistiva - inductiva está conectada en configuración estrella.

Con la potencia del circuito interrumpida de la alimentación programa el analizador para las funciones de medida VOLT LOW; CONN Y 4W; A/A 0001; MIN 1 y para el umbral de la alarma I<sup>A</sup>Pm 001K (ver manual DL 2109T29 3.1 y 3.3).

Opcionalmente puede programar la función clock/calendar.

Fije la carga R<sub>1</sub> - L<sub>1</sub> y cierre en interruptor de potencia

El analizador de energía mide todos los parámetros de la red trifásica estrella de 4 hilos: Practique el uso de las medidas desplegadas en el analizador. Especialmente mida la potencia activa promedio y la demanda máxima.

Cambie la carga y verifique el incremento de la demanda máxima.

Cuando usted fije la carga R<sub>7</sub> - L<sub>7</sub> la potencia promedio es mayor que la fijada por el umbral de la alarma (1 kW): luego que el analizador registra la potencia promedio actual la alarma se activa y el circuito interruptor de potencia se abre.

Se despliegue la potencia promedio y la demanda máxima al momento del disparo.

Ahora la carga se interrumpe y la medida de la potencia promedio va a cero: el interruptor de la alarma se dispara nuevamente pero el valor de la máxima demanda queda almacenado

Revisión 11 / agosto / 1999 RCH

© 1996 DE LORENZO 10 / 09 / 1996

© 1999 DE LORENZO OF AMERICA - Impreso en México - Todos los derechos reservados

DE LORENZO S.R.L.

V. le Romagna, 20 20089 Rozzano (MI)

Tel. (02) 82544412/3 - Telefax 8255181 - Telex 321122 DELOR I

DE LORENZO OF AMERICA CORP. S.A. DE C.V.

Pensylvania 189 Col. Nápoles

03810 México D.F.

Tel.: (52 5) 543 45 60, 687 81 83, 687 81 73

Fax.: 682 95 72

E-mail: [dlorenzo@rtn.net.mx](mailto:dlorenzo@rtn.net.mx)

**DE LORENZO**

---

Viale Romagna, 20 - 20089 Rozzano (MI) Italy • Tel. +39 02 8254551 - Fax +39 02 8255181  
E-mail: [delorenzo@delorenzo.it](mailto:delorenzo@delorenzo.it)

**[www.delorenzogroup.com](http://www.delorenzogroup.com)**