

Capítulo 2. Métodos de verificación del equipo de medición en laboratorio.

Introducción

La prueba de los medidores depende de varias circunstancias. Algunas veces no requiere más que de una inspección visual, sin embargo en la mayoría de los casos será necesario una verificación completa.

Actualmente se siguen manejando los medidores electromecánicos, se está comenzando a utilizar la nueva tecnología de los medidores digitales o electrónicos, pero aun existe gran cantidad de servicios con wathhorímetros electromecánicos. Por lo cual en este capítulo exploraremos el mecanismo de este tipo de medidores.

Conforme al funcionamiento del medidor electromecánico están definidas algunas constantes que nos permiten realizar las pruebas de porcentaje de registro o de exactitud, en este capítulo se analizarán estas constantes así como las fórmulas para obtener más información acerca del desempeño del wathhorímetro.

Otra de las pruebas practicadas a los medidores electromecánicos, es la realizada tomando como punto de referencia a un medidor digital o de estado sólido (medidor patrón), de esta manera se obtiene un diagnóstico conforme a otro medidor "perfecto", que de fábrica tiene un desempeño ideal.

En este capítulo se explica el catálogo de códigos de medidores manejados por CFE, en base en el cual se podrán identificar las características técnicas del medidor, analizando el código de identificación de placa.

2.1. Constantes utilizadas en la verificación del wathhorímetro.

Un wathhorímetro es un pequeño motor de inducción diseñado para medir energía eléctrica. Para hacer esto el wathhorímetro cumple con la siguiente ecuación:

$$\text{Waththoras} = \text{Voltaje} \times \text{Corriente} \times \text{F.P.} \times \text{Tiempo} = \text{Watts} \times \text{Tiempo} \dots\dots\dots(1)$$

El par en el medidor es producido por un electroimán llamado estator que tiene dos juegos de devanados. Un devanado, llamado bobina de potencial que produce un campo magnético representando al voltaje del circuito (conectado en paralelo). El otro devanado llamado bobina de corriente (conectado en serie), produce un campo magnético representando a la corriente de carga, ver figura 1.

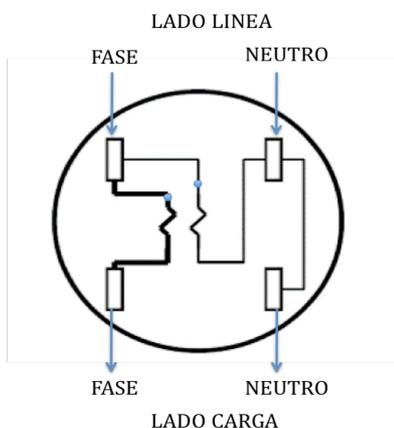


Fig. 1. Diagrama eléctrico de la conexión interna de las bobinas de corriente y de potencial, en un medidor monofásico. Fuente: elaboración propia.

Estas dos bobinas, están arregladas de tal manera que sus campos magnéticos producen una fuerza en el disco del medidor que es directamente proporcional a la potencia de carga conectada.

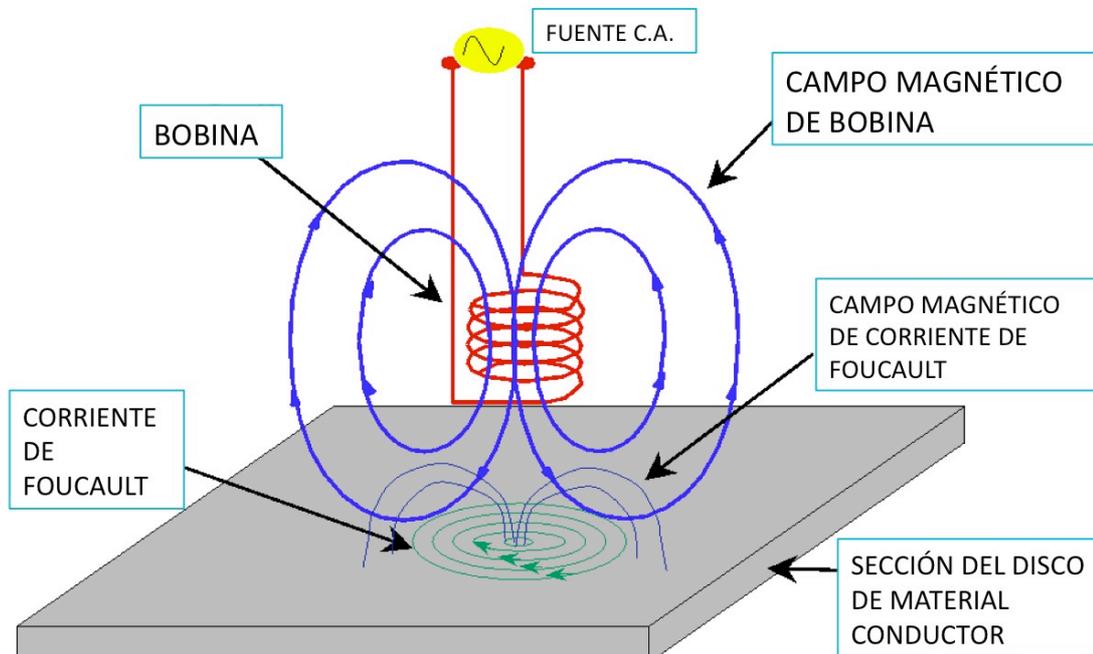


Fig. 2. Principio del funcionamiento de un wathhorimetro, el campo magnético de las bobinas de potencial y de corriente inducen las corrientes de Foucault sobre una parte de la superficie del disco (rotor), estas a su vez generan flujos que producen el movimiento del disco.

Las dos bobinas, que funcionan como electroimanes abrazan el rotor (disco de material conductor unido a un eje), en la figura 3 se puede observar el mecanismo interno del medidor. La bobina de potencial conectada a la red origina un flujo magnético proporcional al voltaje de suministro, y la bobina de corriente por la cual circula la corriente del consumidor, origina el flujo magnético proporcional a dicha corriente. Ambos flujos (de potencial y corriente) inducen en el disco las corrientes de Foucault (ver figura 2), las cuales, conjuntamente con los flujos, producen un par motriz, proporcional a la potencia que se mide.

Al dejar de utilizar la potencia por un determinado usuario el disco del medidor deberá frenarse evitando así integraciones erróneas.

Considerando que el disco del medidor está soportado mediante un sistema de "Flotación" o "Suspensión Magnética" lo cual elimina al máximo el efecto de fricción; al dejarse de utilizar la potencia por parte del usuario, el disco del medidor continuará girando debido a la propia inercia del mismo. Para evitar esta situación y hacer proporcional la integración del medidor con la utilización de la carga por parte del usuario; es necesaria la utilización de "Imanes Permanentes" con una disposición tal que incluyan un "par de frenado" que sea directamente proporcional a la velocidad del disco.

Esto se puede lograr colocando unos "Imanes Permanentes" en forma de "C" localizados diametralmente opuestos al estator tal como se muestra en la figura 3.

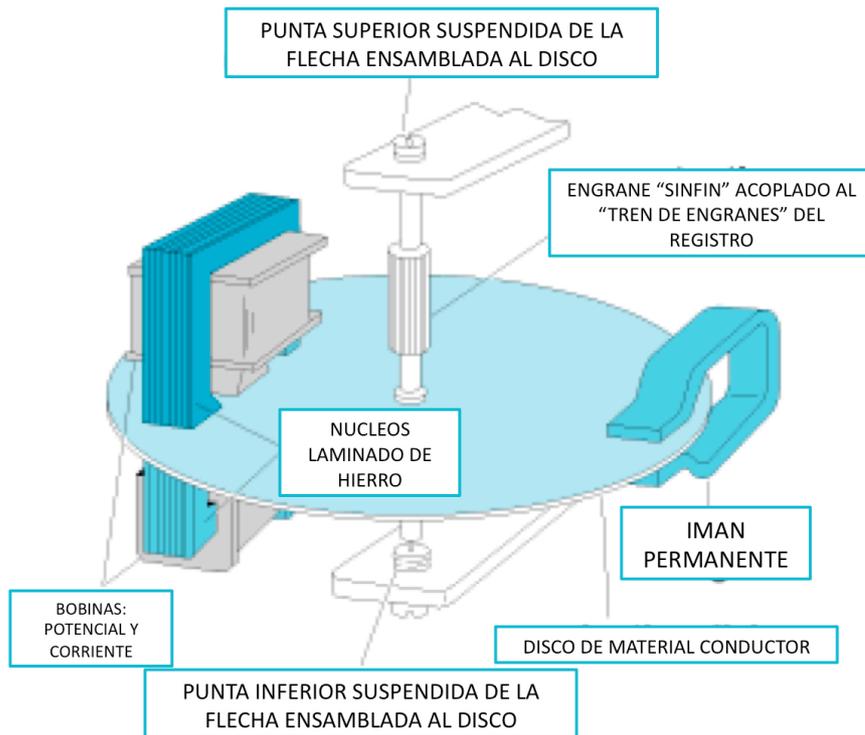


Fig. 3. Partes esenciales de un medidor electromecánico.

Los imanes permanentes son usados para inducir una fuerza retardatoria o de frenado que es proporcional a la velocidad del disco. La fuerza magnética de estos imanes regulan la velocidad del disco para cualquier carga dada de tal manera que cada revolución del disco siempre mide la misma cantidad de energía o waththoras.

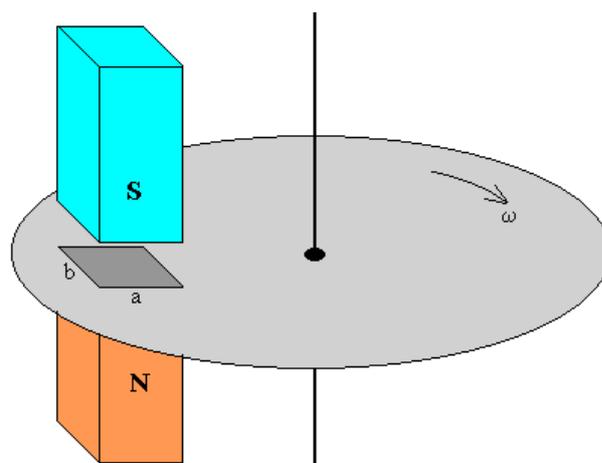


Fig. 4. Imán permanente o de frenado.

El imán permanente que abraza el disco-rotor del sistema motriz, produce un flujo magnético que induce en él corrientes de Foucault y produce un par de frenado proporcional a la velocidad del disco (ver figura 4). Para poder aumentar o disminuir la velocidad del disco, es necesario disminuir o aumentar la distancia con respecto al centro del disco, de la colocación de los imanes permanentes.

La constante de waththoras “Kh” también conocida como constante de prueba, nos indica la energía eléctrica en waththoras por cada revolución del disco.

$$Kh = \text{waththoras} / \text{revoluciones del disco} \dots\dots\dots(2)$$

Esta constante es asignada por el fabricante y va en función de la velocidad del disco. Es un dato que podemos localizar en la placa de datos del medidor como se ve en la Figura 5.

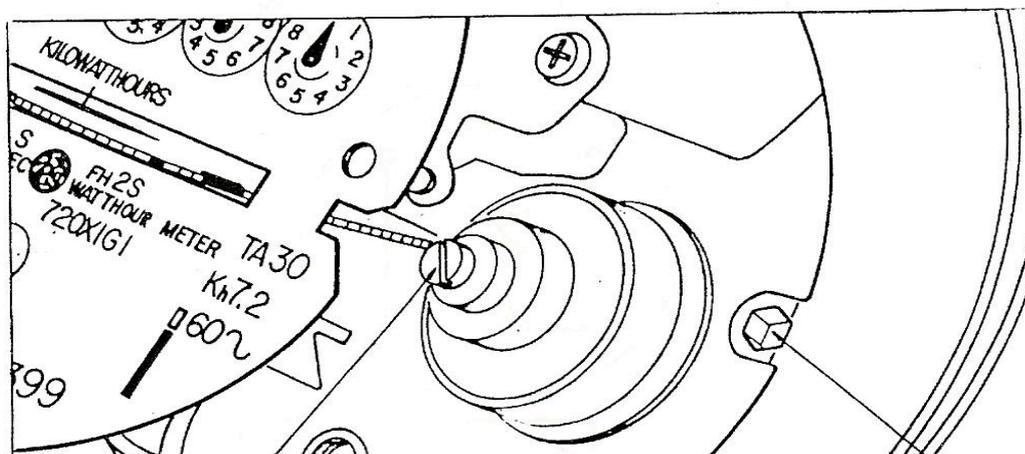


Fig. 5. Se muestra parte de los datos de placa de un waththorímetro entre ellos Kh=7.2 y se indican los puntos de ajuste para calibrar en carga alta y baja esto para que el disco gire correctamente.⁸

La primera reducción “Rs” es el número de revoluciones que debe de dar el disco para una revolución completa del primer engrane del registro.

$$Rs = \text{dientes del primer engrane} / \text{número de hilos del sinfín} \dots\dots\dots(3)$$

$$Rs = \text{rev. Disco} / \text{rev. Primer engrane} \dots\dots\dots(4)$$

La relación registro “Rr” es el número de revoluciones que debe de dar el primer engrane del registro para que la manecilla de las unidades de una vuelta completa.

La constante del registro “Kr” es el factor por el cual debe multiplicarse la lectura del medidor o sea la constante propia del medidor, cuando este no se encuentra conectado a través de transformadores de instrumento.

$$Kr = (Kh)(Rr)(Rs) / 10,000 \dots\dots\dots(5)$$

El factor multiplicador “Fm” es el multiplicador por el hay que afectar las lecturas del medidor cuando este conectado a través de transformadores de instrumento.

$$Fm = (Kr) (RTP) (RTC) \dots\dots\dots(6)$$

⁸ “Medición de Energía para Ingenieros” Capítulo 12: Calibración y prueba de Waththorímetros, CFE, 2008.

La RTP corresponde a la relación de transformación del transformador de potencial y RTC corresponde a la del transformador de corriente.

La experiencia como supervisor de campo, en el desarrollo de la verificaciones encontré en diversas ocasiones que el factor multiplicador (Fm) era unos de los aspectos principales a considerar durante el desarrollo de las pruebas, ya que las lecturas registradas por el medidor que se obtienen para la facturación son afectadas directamente por el factor multiplicador.

Por lo que en la revisión se considera la relación de transformación de los TC y TP, se consultaba la Kr del medidor en cuestion (dato obtenido de la placa de datos) utilizando la ecuación 6 se obtiene el Fm "encontrado"; pero la tarea no sólo es obtener este dato sino compararlo con el que esta registrado en sistema (SICOM), ya que este dato es la parte medular de la facturación de cada servicio con equipo de medición (transformadores de instrumento) tiene que coincidir el encontrado con el registrado en sistema, para que la facturación sea correcta. Existen casos donde el Fm siempre será uno, en estos nos referimos a los medidores autocontenidos (no necesitan TC ni TP). Uno de los factores más importantes para revisar y analizar en un servicio es el multiplicador.

Por ejemplo podemos tener un RTP=70, si el TP fuera de 8400 a 120V, y RTC=2 si nuestro TC fuera de 10 a 5A, suponiendo que Kr=1, tenemos que $Fm=(1)(70)(2)=140$.

Otro ejemplo: Si tenemos un medidor Sangamo con Kh=1.2, Rs=50, Rr=166.667, y esta conectado a través de transformadores de corriente de 25/5 A. Y un TP de 14400/120 V.

Utilizando la ecuación 5.

$$Kr = 1.2(166.667)(50)/10000 = 1$$

Utilizando la ecuación 6.

$$Fm = (Kr) (RTP) (RTC)$$

$$RTC= 25/5=5; RTP= 14400/120=120$$

$Fm = (1)(120)(5) = 600$; Nos indica que para obtener la energía real registrada por el medidor, deberá multiplicarse las lecturas por 600.

2.2. Fórmulas para determinar la exactitud del waththorimetro

Tenemos la Kh de prueba del medidor patrón digital:

$$Khp = 1 \text{ para medidores patrones de estado sólido.}$$

Revoluciones de patrón:

$$Rp = (Khm \times Rev.) / (Khp \times C) \dots \dots \dots (7)$$

Rp = Revoluciones del patrón

Khm = Kh del medidor bajo prueba, que es un dato obtenido de la placa del medidor.

Rev. = Número de revoluciones del medidor bajo prueba.

Khp = Kh de prueba del patrón.

C = Número de bobinas de corriente energizadas en el medidor bajo prueba.

Porcentaje de registraci3n:

$$\% \text{ de reg} = (\text{rev. del patr3n (calculadas)} / \text{rev. del patr3n (obtenidas)}) (100) + \% \text{ e patr3n} \dots\dots\dots(8)$$

donde:

$$\text{rev. del patr3n (calculadas)} = R_p = (K_{hm} \times Rev.) / (K_{hp} \times C)$$

En el caso de que la prueba con el medidor patr3n arroje valores de registraci3n menor al 90% se ajustan los puntos de carga como muestra la figura 9, conforme a los l3mites para la calibraci3n de medidores ver tabla 1. Estos puntos de calibraci3n sirven para ajustar el grado de exactitud en la medici3n a diferentes valores de carga. Estos ajustes permiten controlar el tiempo necesario para cada revoluci3n del disco bajo varias cargas.

Sin carga inductiva

Monofasicos	KWh
Carga alta	+/- 1.0
Carga baja	+/- 1.0

Tabla 1. Se muestran los valores de inexactitud normalizados para la calibraci3n de los medidores monof3sicos en sus dos tipos de carga. Fuente: Departamento de Medici3n CFE.



Fig. 6. Se muestra un medidor monof3sico F121, con sus datos de placa manejados por CFE, como lo es la $R_r=73 \frac{1}{3}$, 15(100)A, 1 Fase 2 Hilos 1 Elemento, 60Hz, $K_h=331/33$, entre otros datos como lo son el c3digo de lote (CL07JL). Fuente: foto tomada en campo.

Con carga inductiva

Polifásicos	KWh
Carga alta	+/- 0.5
Carga inductiva	+/- 0.75
Carga baja	+/- 0.5

Tabla 2. Se muestran los valores de incertidumbre normalizados para la calibración de los medidores polifásicos en sus tres tipos de carga.
Fuente: Departamento de Medición CFE.

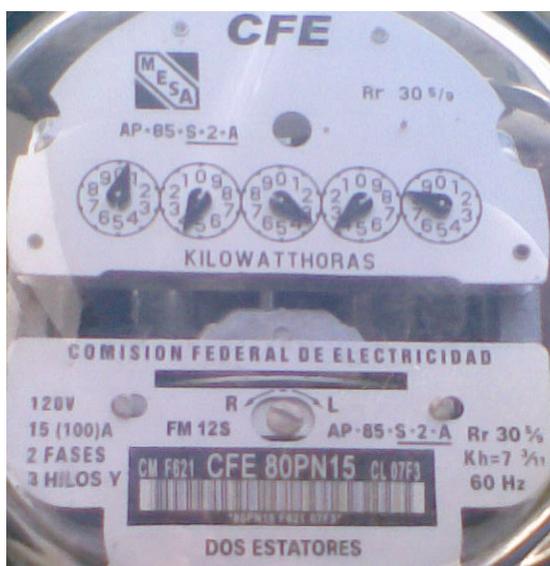


Fig. 7. Medidor bifásico con sus datos de placa.
Fuente: foto tomada en campo.



Fig. 8. Medidor trifásico.
Fuente: foto tomada en campo.

2.3. Ajustes en carga alta, baja e inductiva.

El ajuste de carga alta de un medidor se logra variando la cantidad de flujo magnético en el imán por medio de un derivador o "shunt" (intercepta parte del flujo magnético). Esto se logra porque el flujo magnético tiende a variar a través del camino que le ofrece menor reluctancia (resistencia al campo magnético). Usando un yugo de hierro con un tornillo se varía la reluctancia y por ende, el campo magnético y la velocidad de giro del disco.

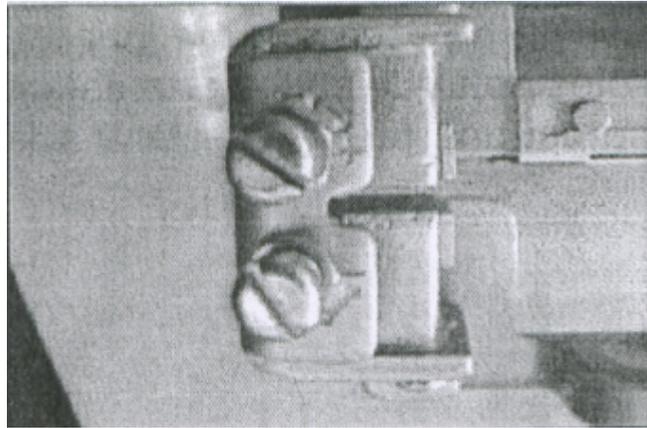


Fig. 9. Se muestran los puntos de ajuste para mover la posición del imán permanente, ya sea alejándolo o acercándolo al centro del disco para aumentar o disminuir la velocidad del disco.⁹

El ajuste de carga baja se lleva a cabo con el fin de compensar la fricción de los engranes del registro, la no proporcionalidad y la asimetría de los flujos magnéticos, se implementa un ajuste de carga baja consistente en una placa montada cerca de la bobina de voltaje en la trayectoria del flujo de potencial. Como esta placa se mueve paralela al disco la fuerza neta varía y por lo tanto la velocidad de giro del disco.

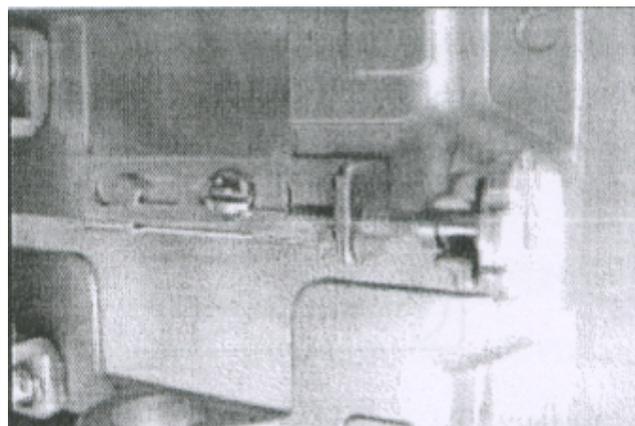


Fig. 10. Se observa la perilla de ajuste de una placa (o lazo de sombra) montada cerrando el polo de potencial en la fase del flujo, al mover esta placa varía la velocidad.¹⁰

⁹ "Medición de Energía para Ingenieros" Capítulo 10: El Watthorimetro de Inducción, CFE, 2008.

¹⁰ Ídem. No. 8, Pag. 10.

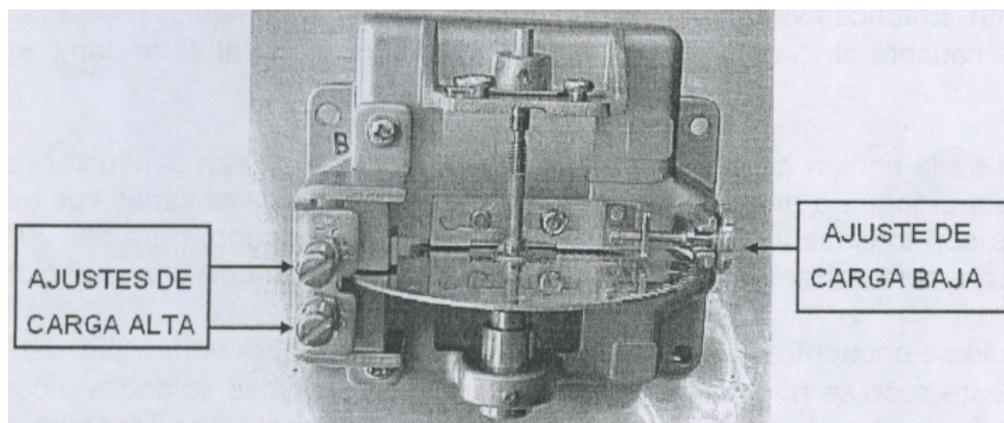


Fig. 11. Se observan los puntos de ajuste de carga alta y baja para hacer la velocidad del rotor concordante con la constante de waththoras.¹¹

El ajuste de carga inductiva se realiza con el fin de tener una registracion correcta de los KWh. con factores de potencia cambiantes, el flujo de voltaje debe atrasarse exactamente 90° con respecto al de corriente con un factor de potencia unitario, esto se puede hacer por medio de una bobina alrededor del núcleo de la pierna central de la bobina de potencial como se muestra en la figura 12.

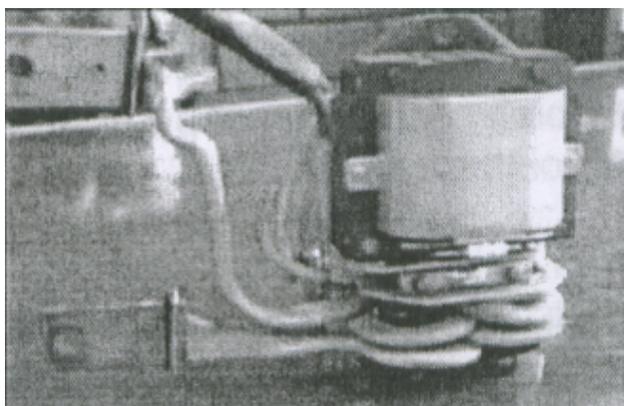


Fig. 12. Se puede ver la bobina o banda montada alrededor de la parte inferior del núcleo la bobina de potencial.¹²

2.4. Catálogo de códigos de medidores de energía eléctrica usados por CFE.

El catálogo de medidores nos indica las características de operación del waththorimetro. identificando el código de medidor formado por cuatro digitos, ubicado en la placa de datos en la parte frontal del medidor, ver tablas de 3 a la 6 donde se explica como interpretar el código del medidor.

¹¹ Ídem. No. 8.

¹² Ídem. No. 8.

Los medidores más comunes utilizados por CFE son el F121, F621, FD21, KL28 y VL28. Estos cinco tipos o códigos de medidores son los manejados en los diferentes servicios.

A continuación se explica el código de medidor conforme a cada uno de sus cuatro dígitos:

PRIMER DIGITO

CODIGO	AMPERES	CLASE
A	2.5	10
B	5	10
C	5	30
D	10	
E	15	
F	15	100
G	20	
H	25	
J	30	
K	30	200
L	50	
M	75	
N	100	
P	150	
R	150	150
U	300	300
T	500	
V	2.5	20
W	10	30

Tabla 3. Se refiere a la corriente nominal de prueba de laboratorio y a la clase o máximo amperaje que soporta el medidor.¹³

SEGUNDO DIGITO

CODIGO	FASES	HILOS	ELEMENTOS	VOLTS	CONEXIÓN
1	1	2	1	120	
2	1	2	1	240	
3	1	2	1	480	
4	1	3	1	240	
5	1	3	1	120/240	
6	2	3	2	120	
7	3	3	2	120	
8	3	3	2	240	
9	3	3	2	480	
A	3	4	2	120	Y
B	3	4	2	240	Y
C	3	4	2	240	D
D	3	4	3	120	Y
E	3	4	3	240	Y
F	3	4	3	240	D
G	3X2	3X3	2X2	120	D
H	3X2	4X2	2X2	120	Y
J	3	3	2	120 a 480	D
K	3	3	2	120 a 240	D
L	3	4	3	120 a 480	Y/D
M	3	4	3	120 a 240	Y/D

Tabla 4. Se refiere al número de fases a medir, el número de hilos o conductores, número de elementos (un elemento consiste en una bobina de potencial y una de corriente), el voltaje nominal de la bobina de potencial y la forma de conexión, delta o estrella.¹⁴

¹³ "Medición de Energía para Ingenieros", Capítulo 11: Conocimiento y Análisis Fasorial de los diferentes tipos de Watthorímetros, CFE, 2008.

¹⁴ Ídem. No. 12.

TERCER DIGITO

CODIGO	BASE	Hz
1	A	60
2	S	60
3	A	50
4	S	50
5	T	60
6	T	50
7	T	
8	R	60

Tabla 5. Se refiere al tipo de base en la que se va a conectar el medidor, CFE maneja la base tipo "S" (socket) para todos sus medidores, y encontramos la frecuencia que sera en todos los casos 60 Hz.¹⁵

CUARTO DIGITO

CODIGO	REGISTRO
1	Kwh
2	Kwh-Kw (Mec.Ind.)
3	Kwh-Kw (Mec.Acum.)
4	Kwh-Kw (Term.Ind.)
5	Kw (Term. Ind.)
6	Kvarh
7	Kwh (Pulsos)
8	Kwh-Kw-Kvarh (Edo. Solido)
9	Kwh-2R
A	Kwh-Kw (Med. Ind. Manecillas)
B	Kwh-L (Tiempo)
C	Kwh-L (Tiempo 2R)
D	Kwh-Kw- (Mec. Graficador)
E	Kwh (Term. Graficador)
F	Kwh-Kva (Térmico)
G	Kw (Mec. Y Digital)
H	Kw (Mec. Indicativo)
J	Kw (Mec. Graficador)
K	Kva (Térmico)
L	Kvh 2R-D/Premio
M	MW
N	Kwh (Mecánico) y Kwh-KW (Digital)
P	Kvarh (Pulsos)
R	Med. Edo. Sólido Multifunciones
T	Kwh-Kw (T O U)
U	Kwh-Kw (Edo. Sólido)
V	Med. Lectura Automática y Remota
W	

Tabla 6. Se refiere a lo que va a registrar el medidor, es decir, lo que va a medir. Puede ser energía activa consumida (KWh), demanda (KW) o energía reactiva consumida (KVARh).¹⁶

¹⁵ Ídem. No. 12, Pag. 25.

¹⁶ Ídem. No. 14.

Ejemplo: Se tiene el medidor con código KD2A.

Primer dígito: K= 30A, clase 200A.

Segundo dígito: D= 3 fases, 4 hilos, 3 elementos, 120V, estrella.

Tercer dígito: 2= Base tipo socket, 60Hz.

Cuarto dígito: A= Registro KWh-KW (Demanda Mec. Indic. Menecillas).

Con esto se puede saber que se trata de un medidor trifásico que soporta hasta 200 A de corriente máxima, es tipo “socket” y registra energía activa y demanda.

Conclusiones del capítulo 2.

Siempre será indispensable de primera instancia, el poder identificar las diferentes características de cualquier equipo de medición basándose en los datos de placa del equipo. Existen medidores de tipo monofásico, bifásico y trifásico; Pero con el manejo del catálogo de códigos de medidores se pueden identificar más tipos de medidores y no solo clasificarlos por el número de fases que se miden. Dentro de este catálogo se tiene un gran número de características. En este capítulo se logró exponer cuales son los medidores mas utilizados por CFE en sus distintos tipos de servicios, desde los tipo doméstico hasta la gran industria y explicar los tipos de medidores F121, F621, FD21, KL28 y VL28 que son los utilizados comunmente.

El estudiar el funcionamiento del mecanismo facilita la comprensión de los diferentes métodos y fórmulas para lograr una verificación del desempeño de cualquier medidor instalado en campo, así como realizar las pruebas de laboratorio. En equipos de medición en los cuales se mide un servicio en media tensión tomando la señal de transformadores de corriente o de potencial, se debe entender correctamente el concepto de las constantes manejadas para poder obtener el correcto valor del “factor multiplicador”. Este factor es al que se debe prestar más atención ya que es el que afecta directamente las lecturas de la energía consumida.