



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA EL CONTROL Y VERIFICACIÓN
PERIÓDICA DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE USO RESIDENCIAL**

Maynor Jonas Morales Villalta

Asesorado por el Ing. Antonio Roberto Garcia Escobar

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA EL CONTROL Y VERIFICACIÓN
PERIÓDICA DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE USO RESIDENCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MAYNOR JONAS MORALES VILLALTA
ASESORADO POR EL ING. ANTONIO ROBERTO GARCIA ESCOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO


DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Morataya Ramos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA EL CONTROL Y VERIFICACIÓN PERIÓDICA DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE USO RESIDENCIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha agosto de 2011.



Maynor Jonas Morales Villalta

Guatemala, 21 de enero de 2013

Ingeniero

Romeo Neftalí López Orozco

Coordinador Área de CC. Básicas y Electrotecnia

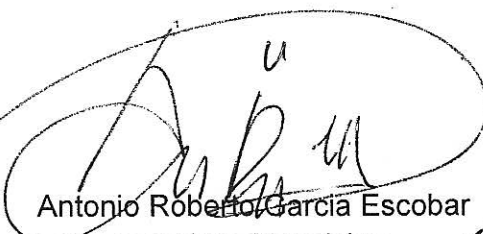
Escuela de Mecánica Eléctrica

Estimado Ingeniero López:

Atentamente informo a usted que he tenido a bien revisar el Trabajo de Graduación titulado "DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA EL CONTROL Y VERIFICACIÓN PERIÓDICA DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE USO RESIDENCIAL" elaborado por el estudiante Maynor Jonas Morales Villalta; carnet número 2003-12483, por lo cual considero que el trabajo de graduación cumple con el alcance y los objetivos definidos para su desarrollo, sometiendo a su consideración la aprobación del mismo, siendo responsables del contenido técnico el estudiante y el suscrito, en calidad de asesor.

Sin otro particular quedo de usted,

Atentamente,



Antonio Roberto García Escobar
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 7383

ANTONIO ROBERTO GARCÍA ESCOBAR
INGENIERO ELECTRICISTA
Colegiado No. 7383

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 20. 2013.
Guatemala, 23 de abril 2013.


Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
“DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA EL CONTROL Y
VERIFICACIÓN PERIÓDICA DE MEDIDORES DE ENERGÍA
ELÉCTRICA DE USO RESIDENCIAL”, del estudiante Maynor
Jonas Morales Villalta que cumple con los requisitos establecidos para
tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Romeo Neftalí López Orozco
Coordinador Área Electrotécnica



SFO



REF. EIME 20. 2013.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; MAYNOR JONAS MORALES VILLALTA titulado: “DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA EL CONTROL Y VERIFICACIÓN PERIÓDICA DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE USO RESIDENCIAL” procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 2 DE MAYO 2013.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA EL CONTROL Y VERIFICACIÓN PERIÓDICA DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE USO RESIDENCIAL**, presentado por el estudiante universitario **Maynor Jonas Morales Villalta**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, junio de 2013

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la fuerza y sabiduría para alcanzar esta meta.
Mis padres	Elsa Marina Villalta (q.e.p.d.) y Maynor Enrique Morales Hernández, por su gran apoyo a lo largo de mi carrera.
Mis hermanas	Darleeng y Eunice Morales Villalta, con mucho cariño y aprecio.
Mi asesor	Ing. Antonio Garcia, por la gran ayuda para alcanzar esta meta.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de prepararme profesionalmente.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Usuarios residenciales de energía eléctrica en Guatemala.....	1
1.2. Antecedentes de la verificación de medidores en Guatemala....	4
1.2.1. Sistema de Medición Comercial para grandes usuarios.....	5
1.2.1.1. Verificaciones periódicas.....	5
1.2.1.2. Verificaciones no periódicas.....	6
1.2.2. Procedimiento para verificaciones a los puntos de medición comercial.....	6
1.3. Instituciones relacionadas a la verificación de medidores de energía eléctrica en Guatemala.....	7
1.3.1. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).....	7
1.3.2. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) ..	8
1.3.3. Dirección de Atención al Consumidor (DIACO).....	8
1.3.3.1. Ley y Reglamento de Protección al Consumidor y Usuario.....	9
1.4. Empresas dedicadas a la verificación de medidores de energía eléctrica.....	10

1.5.	Normativa nacional e internacional relacionada.....	11
1.5.1.	Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD)	11
1.5.2.	Norma COGUANOR NTG-ISO-IEC17025.....	12
1.5.3.	Norma ANSI C.12.1	12
1.6.	Situación de otros países de la región con relación a la verificación de medidores	13
1.6.1.	Nicaragua	13
1.6.2.	Costa Rica	14
1.6.3.	Argentina	16
2.	GENERALIDADES DE METROLOGÍA ELÉCTRICA.....	19
2.1.	Metrología	19
2.2.	Metrología eléctrica	19
2.3.	Proceso de medición	19
2.4.	Exactitud y precisión.....	20
2.5.	Error	21
2.5.1.	Errores gruesos	22
2.5.2.	Errores sistemáticos	22
2.5.3.	Errores aleatorios.....	22
2.6.	Sistema Internacional de Unidades (SI).....	22
2.6.1.	El amperio (A).....	23
2.6.2.	El voltio (V)	23
2.6.3.	El Ohmio (Ω).....	24
2.6.4.	Otras unidades derivadas	24
2.6.4.1.	Culombio (Q).....	24
2.6.4.2.	Faradio (F)	24
2.6.4.3.	Siemens (S)	25
2.6.4.4.	Tesla (T).....	25

	2.6.4.5.	Weber (W)	25
	2.6.4.6.	Hertz (Hz)	25
	2.6.4.7.	Henrio (H)	25
	2.6.4.8.	Vatio (W).....	26
	2.6.4.9.	Julio (J).....	26
2.7.		Medición de energía eléctrica	26
	2.7.1.	Medidor de energía eléctrica	27
		2.7.1.1. Energía eléctrica activa.....	27
		2.7.1.2. Energía eléctrica reactiva	28
		2.7.1.3. Energía eléctrica aparente.....	28
2.8.		Verificador y contrastador	29
	2.8.1.	Ámbito de uso	29
	2.8.2.	Objetivo del uso.....	30
	2.8.3.	Diferencia funcional y estructural.....	31
	2.8.4.	Facilidad operativa	31
	2.8.5.	Otras consideraciones.....	32
	2.8.6.	Calibración	32
	2.8.7.	Verificación.....	33
2.9.		Equipo para verificación de medidores de energía eléctrica.....	34
	2.9.1.	Patrón	34
		2.9.1.1. Patrón internacional	35
		2.9.1.2. Patrón nacional.....	35
		2.9.1.3. Patrón primario	35
		2.9.1.4. Patrón secundario.....	35
		2.9.1.5. Patrón de trabajo o de control.....	36
3.		MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA	37
	3.1.	Reseña histórica	37
		3.1.1. Medidor químico de Edison 1881	37

3.1.2.	Medidor de vatios de Thomson 1889	38
3.1.3.	Medidor de amperio-hora de Shallenberger 1888 ...	39
3.2.	Generalidades de los medidores de energía eléctrica	40
3.2.1.	Rango de voltajes	40
3.2.2.	Número de forma	41
3.2.3.	Relación de registro (Rr)	41
3.2.4.	Constante de medición (Kh).....	41
3.2.5.	Elemento o estator.....	42
3.2.6.	Caja <i>socket</i>	42
3.2.7.	Capacidad.....	42
3.2.8.	Estilo.....	42
3.2.9.	Marchamo o precinto de seguridad	43
3.3.	Estructura de los medidores electromecánicos	44
3.3.1.	Partes básicas que lo conforman	44
3.3.2.	Detalle interno.....	44
3.3.3.	Estator	45
3.3.4.	Operación	47
3.3.5.	Disco o rotor	47
3.3.6.	Imán de freno.....	49
3.3.7.	Mecanismo registrador.....	51
3.4.	Error del medidor de energía	55
3.5.	Tipos de medición según su conexión	57
3.5.1.	Medición directa.....	57
3.5.2.	Medición semidirecta	57
3.5.3.	Medición indirecta	58
3.6.	Tipos de medidores de energía eléctrica	58
3.6.1.	De acuerdo al tipo de construcción	60
3.6.1.1.	Electromecánicos	60
3.6.1.2.	Electrónicos.....	61

3.6.2.	De acuerdo a las conexiones internas.....	63
3.6.3.	De acuerdo a la energía que miden.....	64
3.6.3.1.	Medidores de energía activa.....	64
3.6.3.2.	Medidores de energía reactiva.....	64
3.6.4.	De acuerdo el índice de clase	65
3.6.4.1.	Medidores clase 0.5.....	65
3.6.4.2.	Medidores clase 1.....	65
3.6.4.3.	Medidores clase 2.....	65
3.6.5.	Por su complejidad	66
3.6.5.1.	Funciones con impacto en facturación	66
3.6.5.2.	Funciones sin impacto en facturación	66
3.6.5.3.	Funciones auxiliares	66
3.6.6.	Tipos de medidores de energía activa para medición directa	67
3.6.6.1.	Medidor monofásico dos hilos.....	68
3.6.6.2.	Medidor monofásico tres hilos	68
3.6.6.3.	Medidor bifásico tres hilos	68
3.6.7.	Otros tipos de medidores	68
3.6.7.1.	Medidor prepago.....	69
3.6.7.2.	Medidores inteligentes (<i>Smart Meters</i>).....	70
4.	CONTROL ESTADÍSTICO DE MEDIDORES	71
4.1.	Muestreo de aceptación	71
4.2.	Planes de muestreo de aceptación	72
4.2.1.	De acuerdo con la naturaleza de la población base	72

4.2.2.	De acuerdo con la naturaleza de la característica inspeccionada.....	72
4.2.3.	De acuerdo con el número de muestras a tomar	73
4.3.	Muestreos lote a lote COGUANOR NGR 4 011 (ANSI / ASQ Z1.4).....	73
4.3.1.	Términos, definiciones	74
4.3.1.1.	Nivel de calidad aceptable (NCA).....	74
4.3.1.2.	Número de aceptación	74
4.3.1.3.	Riesgo del cliente	74
4.3.1.4.	Riesgo del productor	75
4.3.1.5.	Unidad defectuosa	75
4.3.1.6.	Nivel de inspección	75
4.3.1.7.	Tamaño del lote.....	75
4.3.1.8.	Unidad de muestra	75
4.3.1.9.	Muestra	76
4.3.1.10.	Muestreo	76
4.3.1.11.	Tamaño de la muestra.....	76
4.3.1.12.	Inspección normal	76
4.3.1.13.	Inspección rigurosa	76
4.3.1.14.	Inspección reducida	77
4.3.2.	Uso de la Norma COGUANOR NGR 4 011 (ANSI / ASQ Z1.4).....	77
4.3.3.	Presentación del producto para muestreo.....	78
4.3.3.1.	Formación de lotes	78
4.3.3.2.	Presentación de lotes	79
4.3.4.	Aceptación y no aceptación de lotes	80
4.3.4.1.	Aceptación de lotes	80
4.3.4.2.	No aceptación de lotes	80
4.3.4.3.	Medidores fuera de tolerancia	80

4.4.	Situación propuesta	81
5.	VERIFICACIÓN DE MEDIDORES	83
5.1.	Tipos de verificación	83
5.1.1.	Verificación de medidores en fábrica	83
5.1.2.	Verificación de medidores en uso.....	84
5.2.	Métodos de verificación.....	84
5.3.	Equipos para la verificación	85
5.4.	Determinación del error	87
5.4.1.	Análisis básico.....	87
5.4.2.	Cálculo de energía con medidor electromecánico ...	88
5.4.3.	Cálculo de energía con medidores electrónicos	88
5.4.4.	Determinación de error con patrón analógico	88
5.4.5.	Determinación de error con patrón digital	89
5.5.	Consideraciones importantes del proceso de verificación	90
5.6.	Otros métodos utilizados para la verificación	91
5.6.1.	Medición de energía midiendo magnitudes de las que depende	91
5.6.2.	Medición de energía midiendo potencia	92
6.	PROPUESTA DE METODOLOGÍA Y CASO PRÁCTICO	93
6.1.	Situación actual de los medidores de DEOCSA	93
6.2.	Método de muestreo	94
6.3.	Base de usuarios y determinación de lotes	97
6.4.	Distribución en el tiempo de medidores a verificar	98
6.5.	Sorteo de la muestra de cada lote.....	98
6.6.	Plan de verificación de medidores.....	99
6.7.	Caso práctico de aplicación de la metodología desarrollada	99
6.7.1.	Tamaño de la muestra.....	100

6.7.2.	Criterio de aceptación y rechazo.....	100
6.7.3.	Sorteo de la muestra.....	101
6.7.4.	Verificación de la muestra.....	102
6.7.4.1.	Procedimiento a seguir.....	103
6.7.4.2.	Error representativo de cada medidor verificado.....	104
6.7.5.	Interpretación de resultados.....	105
6.7.6.	Verificación en laboratorio.....	107
6.7.6.1.	Procedimiento	107
CONCLUSIONES		109
RECOMENDACIONES		111
BIBLIOGRAFÍA		113
ANEXOS		117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Proporción de usuarios por tarifa	4
2.	Representación gráfica de exactitud y precisión	21
3.	Factor de potencia $\cos \varphi$	28
4.	Detalle internos del medidor electromecánico.....	45
5.	Núcleo de electroimanes contruidos por separado.....	46
6.	Núcleo de electroimanes contruidos en una sola pieza.....	46
7.	Suspensión típica de medidores monofásicos	49
8.	Imán de freno de medidores electromecánicos.....	51
9.	Registadores de medidores tipo tambor y esferas	52
10.	Numerador de tambor.....	53
11.	Relación de engranajes medidor electromecánico.....	54
12.	Proporción de usuarios por tarifa	64
13.	Medidor prepago marca meterinchina.....	69
14.	Esquema básico de conexión del circuito de carga.....	86
15.	Utilización de equipo patrón portátil	103

TABLAS

I.	Distribución de usuarios de EEGSA por tarifa	1
II.	Distribución de usuarios de DEOCSA por tarifa.....	2
III.	Distribución de usuarios de DEORSA por tarifa.....	2
IV.	Cantidad de usuarios por tarifa.....	3
V.	Detalle muestra medidores por ciudad, auditoría INE	14

VI.	Criterio de muestreo para el control de medidores en	16
VII.	Muestra en función del tamaño del lote en Argentina.....	17
VIII.	Tipos y características de precintos utilizados por las	43
IX.	Velocidades nominales y pesos de rotor	48
X.	Error admisible en función de la potencia del usuario	55
XI.	Clase de medidor según ANSI	60
XII.	Clasificación de medidores por su complejidad.....	67
XIII.	Error máximo de la medición según índice de clase.....	95
XIV.	Tamaño de la muestra en función del tamaño del lote con.....	96
XV.	Características de lote de medidores caso práctico	100
XVI.	Detalle de método de muestreo para lote de estudio	101
XVII.	Muestra de medidores lote de estudio.....	102
XVIII.	Resultado caso práctico de aplicación de la metodología	106

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Q	Carga eléctrica
C_n	Constante del medidor en Rev/kwh
Kh	Constante del medidor, dada en Kwh/rev
W_p	Energía eléctrica activa
W_s	Energía eléctrica aparente
W_Q	Energía eléctrica reactiva
δ%	Error de la diferencia en el tiempo calculado y el tiempo transcurrido.
e%	Error del instrumento de medición
f.p.	Factor de potencia
F	Faradio
Φ	Fase o ángulo entre tensión y corriente
H	Henrio
Hz	Hertz
J	Julio, unidad de energía
kW	Kilo watts (1,000 watts), medida de potencia eléctrica
KJ	KiloJulio
Kwh/rev	Kilovatio-hora por revolución
kWh	kilovatio-hora, medida de energía eléctrica
I	Medida de corriente eléctrica
Kvarh	Medida de energía eléctrica aparente
M	Metro
N	Newton
Ω	Ohmio
V_n	Tensión nominal en voltios

T	Tesla
W	Vatio o Watt
W_h	Vatio-hora
Wb	Weber

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
ANSI	American National Standards Institute.
BTS	Baja Tensión Simple.
CA	Corriente Alterna.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Corriente de prueba	Corriente de prueba especificada por el fabricante para ajustes de calibración, en ingles Test Amperes (TA).
DEOCSA	Distribuidora de Electricidad de Occidente, Sociedad Anónima.
DEORSA	Distribuidora de Electricidad de Oriente, Sociedad Anónima.
Desviación de exactitud	La diferencia entre el porcentaje obtenido en las pruebas de exactitud y el 100%.
DIACO	Dirección de Atención al Consumidor.

Distribuidor o Distribuidora	Es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima.
Exactitud	Porcentaje en que la medición de energía eléctrica del medidor está acorde a la medición efectuada por el equipo patrón, durante una prueba de verificación.
Gran usuario	Es un consumidor de energía cuya demanda de potencia excede cien kilovatios o el límite inferior fijado por el Ministerio de Energía y Minas en el futuro.
INE	Instituto Nacional de Electricidad.
ISO	International Organization for Standardization.
Lote	Cantidad determinada de medidores de una misma orden de compra, que cumplan con ser del mismo modelo, fabricante, año de fabricación, forma, clase, tensión, corriente máxima.
Medidor electromecánico	Medidor en el cual la corriente y la tensión actúan sobre elementos fijos y móviles, generando un movimiento en sus partes proporcional a la energía a ser medida.
Medidor electrónico	Medidor en el cual la corriente y la tensión actúan sobre elementos de estado sólido para producir un registro proporcional a la energía medida.
NCA	Nivel de Calidad Aceptable.

NCC	Norma de Coordinación Comercial.
NTSD	Normas Técnicas del Servicio de Distribución.
OGA	Organismo Guatemalteco de Acreditación.
Precisión	Se denomina precisión a la capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones diferentes realizadas en las mismas condiciones.
Prueba baja carga	Condición de prueba de un medidor de energía eléctrica realizada a tensión nominal (V_n), a un 10 % de la corriente de prueba (TA) y factor de potencia unitario. Se podrá utilizar la abreviatura LL, la cual corresponde a las siglas en inglés de Light Load.
Prueba plena carga	Condición de prueba de un medidor de energía eléctrica usando la corriente de prueba (TA), tensión nominal (V_n) y factor de potencia unitario. Se podrá utilizar la abreviatura FL, la cual corresponde a las siglas en inglés de Full Load.
SI	Sistema Internacional de Unidades.
TA	Corriente de prueba.
Tarifa alumbrado público	Es la tarifa para el consumo de energía eléctrica, definida y aprobada por la CNEE, que se aplica al consumo de energía de las luminarias destinadas al alumbrado público.

Tarifa baja tensión demanda en punta	Es la tarifa para el consumo de energía eléctrica, definida y aprobada por la CNEE, que se aplica a usuarios que tienen una potencia contratada mayor a 11 kilovatios, un factor de carga mayor a 60 % y un nivel de tensión igual o inferior mil voltios.
Tarifa baja tensión demanda fuera de punta	Es la tarifa para el consumo de energía eléctrica, de definida y aprobada por la CNEE, que se aplica a usuarios que tienen una potencia contratada mayor a 11 kilovatios, un factor de carga menor a 60 % y un nivel de tensión igual o inferior mil voltios.
Tarifa baja tensión simple	Es la tarifa para el consumo de energía eléctrica, definida y aprobada por la CNEE, que se aplica a usuarios que tienen una potencia contratada menor a 11 kilovatios y un nivel de tensión igual o inferior mil voltios.
Tarifa media tensión con demanda en punta	Es la tarifa para el consumo de energía eléctrica, definida y aprobada por la CNEE, que se aplica a usuarios que tienen una potencia contratada mayor a 11 kilovatios, un voltaje en media tensión (igual o mayor a 13 kilovoltios), un factor de carga mayor al 60 % y un nivel de tensión superior a mil voltios, y menor o igual a sesenta mil voltios.
Tarifa media tensión demanda fuera de punta	Es la tarifa para el consumo de energía eléctrica, definida y aprobada por la CNEE, que se aplica a usuarios que tienen una potencia contratada mayor a 11 kilovatios, un factor de carga menor al 60 % y un nivel de tensión superior a mil voltios, y menor o igual a sesenta mil voltios.

Tarifa social	Es la tarifa para el consumo de energía eléctrica, definida y aprobada por la CNEE, que se aplica a usuarios que tienen una potencia contratada menor a 11 kilovatios y gozan de subsidio del Estado.
Tensión nominal	Tensión del suministro de energía, que cumple con las tolerancias establecidas en las NTSD.
Usuario	Se refiere al titular o poseedor del bien inmueble que recibe el suministro de energía eléctrica.

RESUMEN

Mediante el análisis de la información de los usuarios del servicio de distribución de energía eléctrica y del uso del instrumento de medición de energía se muestran los aspectos más relevantes de la verificación o comprobación de los medidores de energía eléctrica de uso residencial, partiendo de la base que el 99 % de usuarios del servicio de distribución de las tres grandes distribuidoras en Guatemala son del tipo residencial, por lo que se observa la importancia de contar con un instrumento que cumpla con la tolerancia establecida dentro de la normativa vigente con relación a la medición de energía a dichos usuarios.

Los medidores utilizados en Guatemala son en su mayoría del tipo electromecánicos, por lo que, para garantizar su buen funcionamiento es necesario realizar la verificación de los mismos de forma muestral, considerando la cantidad instalada de dichos medidores, utilizando para ello un método estadístico adecuado.

Inicialmente se realiza una descripción de los antecedentes generales de la actividad de verificación de medidores en Guatemala, desarrollando la cantidad de usuarios de las diferentes categorías tarifarias del servicio de energía eléctrica en Guatemala, así como las instituciones relacionadas con dicho tema y la base legal que sustenta dicha actividad. Adicionalmente se hace referencia a otros países que tienen mayor desarrollo en el tema de verificación de medidores de energía eléctrica, lo cual está contenido en el capítulo 1.

Posteriormente en el capítulo 2, se describen los conceptos básicos de metrología eléctrica y la teoría de medición de energía eléctrica, también se analizan las diferencias entre los equipos para verificación y contraste de medidores de energía eléctrica. Finalmente se presenta el concepto de patrón de energía y la clasificación del mismo.

Para entender el principio de funcionamiento del medidor de energía eléctrica, se describen las características principales de un medidor, detallando la estructura física del mismo. Lo anterior es importante para comprender las posibles causas de error en la medición de energía eléctrica. Se describe una clasificación de los diferentes tipos de medidores que existen para usuarios residenciales. Lo anterior se describe en el capítulo 3.

Con relación al control estadístico de medidores, se describen los métodos de muestreo recomendados y utilizados internacionalmente para la verificación de los medidores de energía, agrupando los mismos por lotes de similares características, con el objetivo de cumplir con las especificaciones establecidas en la normativa guatemalteca.

Se presentan diferentes métodos de verificación y contraste de medidores, utilizando varios tipos de patrones, así como los métodos para la determinación del error en la medición de energía.

Finalmente se propone una metodología para la verificación de medidores de energía eléctrica de uso residencial, tanto para verificadores en laboratorio como *in situ*, para lo cual se desarrolla un caso práctico, como ejemplo de aplicación un lote de medidores de energía eléctrica *in situ* utilizando un equipo patrón, al final se muestran los resultados obtenidos del lote analizado.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una metodología para el control y verificación periódica de los medidores de energía eléctrica de uso residencial, considerando aspectos técnicos y estadísticos, utilizando como base estándares internacionales.

Específicos

1. Dar a conocer la situación actual en el tema de verificación de medidores y la importancia de contar con una metodología para el control y verificación periódica de medidores de energía eléctrica de uso residencial, con base en el análisis del marco legal vigente en Guatemala.
2. Elaborar la propuesta metodológica para la realización de la verificación periódica de medidores en campo y el laboratorio con base en estándares internacionales, así como la interpretación de resultados.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala, la Ley General de Electricidad, es la base de la regulación de las actividades del sector eléctrico, de la cual se derivan reglamentos y normas. También, dentro de la Ley General de Electricidad se crea la Comisión Nacional de Energía Eléctrica como un ente regulador de las actividades del subsector eléctrico en Guatemala, dentro de sus funciones se encuentra el velar por la calidad con que las empresas distribuidoras de energía eléctrica prestan el servicio, incluyendo la medición del consumo de energía eléctrica. Dentro de dicho marco regulatorio se establece que las actividades de verificación del equipo de medición, incluyendo el medidor, son responsabilidad del distribuidor, el cual tendrá siempre acceso al equipo de medición para poder efectuar la facturación y llevar a cabo las revisiones del equipo que sean necesarias.

Son las empresas distribuidoras de energía eléctrica las más interesadas en las acciones de verificación de los medidores, ya que la medición de dicha energía consumida es la utilizada para liquidar las transacciones económicas, y las empresas deben contar con un sistema para el debido control de los equipos utilizados para evitar errores que podrían convertirse en pérdidas de energía, lo cual puede repercutir en un costo adicional para el usuario y en algunos casos para la empresa distribuidora.

Se evaluarán los procesos de verificación de medidores tanto en campo como en laboratorio desde el punto de vista técnico, así como las diferentes pruebas a utilizar para la verificación de medidores según lo establecen estándares nacionales e internacionales. Como una herramienta muy importante para la actividad de verificación, se dan a conocer los métodos estadísticos para el control y determinación del tipo de plan de verificación, considerando la periodicidad y otros factores establecidos en la regulación actual guatemalteca.

Finalmente se aplicará el desarrollo de la metodología propuesta a un caso práctico de un lote de medidores de una distribuidora de energía, realizando verificaciones en campo, interpretación de resultados y determinado el estado de dicho lote de medidores.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Usuarios residenciales de energía eléctrica en Guatemala

Para el mes de junio de 2012, los usuarios del servicio de distribución en Guatemala sumaban más de 2,6 millones, clasificados en diferentes categorías tarifarias, los cuales se encuentran servidos, para el área central por Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA); para el área de occidente por Distribuidora de Electricidad de Occidente (DEOCSA); y para el área de oriente por Distribuidora de Electricidad de Oriente (DEORSA), por lo que, para poder realizar el ciclo de facturación, las distribuidoras de energía eléctrica deben instalar un medidor adecuado a la tarifa que corresponde a cada usuario.

En las tablas I, II y III se muestra el detalle de la distribución de usuarios del servicio de energía eléctrica de cada distribuidora, clasificados por categoría tarifaria o tarifa.

Tabla I. **Distribución de usuarios de EEGSA por tarifa**

Tipo de Tarifa	Cantidad	%
Alumbrado Público	54	0,0%
Baja Tensión Demanda Fuera de Punta	11 246	1,0%
Baja Tensión Demanda en Punta	1 346	0,1%
Baja Tensión Simple/tarifa social	1 164 003	98,9%
Media Tensión Demanda Fuera de Punta	152	0,0%
Media Tensión con Demanda en Punta	46	0,0%
TOTAL	1 176 847	100%

Fuente: elaboración propia, con información de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Tabla II. **Distribución de usuarios de DEOCSA por tarifa**

Tipo de Tarifa	Cantidad	%
Alumbrado Publico	177	0,0%
Baja Tensión con Demanda fuera de punta	1 442	0,0%
Baja Tensión con Demanda en punta	271	0,0%
Baja Tensión Simple	23 080	3,0%
Media Tensión con Demanda fuera de punta	28	0,0%
Media Tensión con Demanda en punta	1	0,0%
Tarifa Social	872 553	97%
TOTAL	897 552	100%

Fuente: elaboración propia, con información de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Tabla III. **Distribución de usuarios de DEORSA por tarifa**

Tipo de Tarifa	Cantidad	%
Alumbrado Público	114	0,0%
Baja Tensión con Demanda fuera de punta	1 529	0,0%
Baja Tensión con Demanda en punta	301	0,0%
Baja Tensión Simple	21 283	4,0%
Media Tensión con Demanda fuera de punta	36	0,0%
Media Tensión con Demanda en punta	4	0,0%
Tarifa Social	514 899	96,0%
TOTAL	538 166	100%

Fuente: elaboración propia, con información de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Para fines de este documento se considera como usuario residencial a aquellos cuya categoría tarifaria aplicada a la facturación por energía eléctrica sea la tarifa Baja Tensión Simple o comúnmente conocida por sus siglas BTS. Dichos usuarios suman más de 2,5 millones, tal como se muestra en la figura 1.

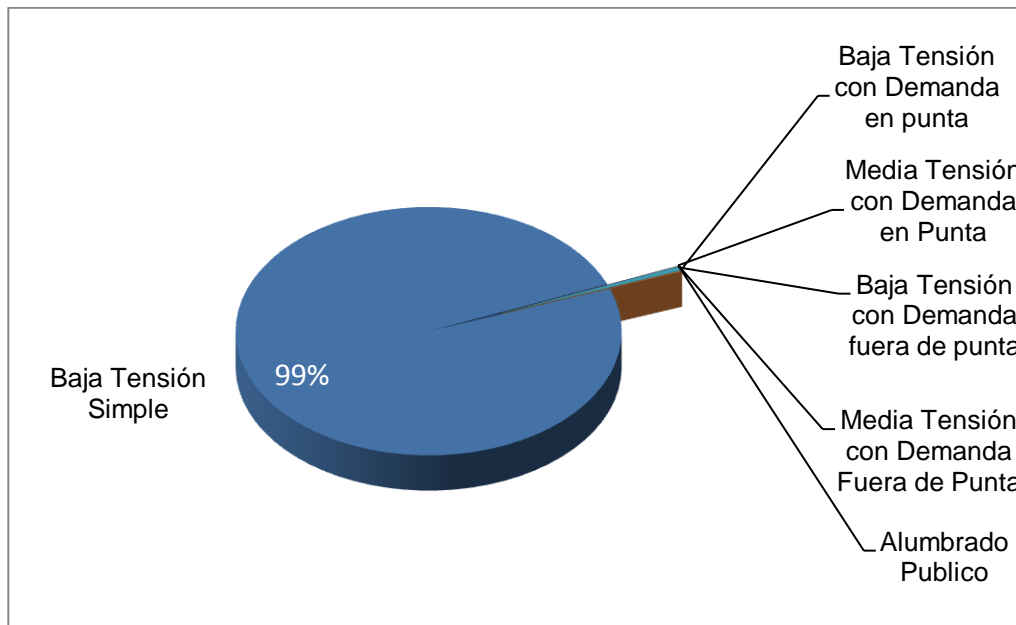
La verificación de la totalidad de medidores asignados a cada usuario se considera una tarea demasiado ambiciosa, poco eficiente y para la cual se tendría que invertir una cantidad considerable de recursos; por lo que se hace necesario recurrir a métodos estadísticos de muestreo para poder verificar las características metrológicas de los medidores de energía eléctrica y así garantizar que dichos medidores respondan a las tolerancias de error permitidos en la regulación actual.

Tabla IV. **Cantidad de usuarios por tarifa**

Tipo de Tarifa	Cantidad
Baja Tensión Simple	2 595 818
Media Tensión con Demanda Fuera de Punta	216
Media Tensión con Demanda en Punta	51
Alumbrado Publico	345
Baja Tensión con Demanda fuera de punta	14 217
Baja Tensión con Demanda en punta	1 918
TOTAL	2 612 565

Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Figura 1. **Proporción de usuarios por tarifa**



Fuente: elaboración propia, con información de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

En la tabla IV y figura 1 se observa que el 99 % de usuarios del servicio de energía eléctrica en Guatemala se encuentran dentro de la tarifa BTS, es decir que el 99 % de usuarios son del tipo residencial.

1.2. **Antecedentes de la verificación de medidores en Guatemala**

La actividad de verificación de medidores de energía eléctrica utilizados para realizar las mediciones y liquidaciones económicas en los grandes usuarios, transportistas y generadores es realizada, según la regulación actual, por el administrador del mercado mayorista. Dicha actividad se regula mediante el Sistema de Medición Comercial.

1.2.1. Sistema de Medición Comercial para grandes usuarios

Según datos del Administrador del Mercado Mayorista (AMM), en cumplimiento a lo establecido en la Norma de Coordinación Comercial No. 14, Resolución Número 307-02 (NCC 14), actualmente se realiza la verificación periódica de medidores de energía eléctrica instalados en el punto de conexión entre transportistas, distribuidores y productores (generadores), siendo éste sistema de medición el utilizado por el AMM como base para la liquidación de las transacciones comerciales. Los distintos participantes del mercado eléctrico son los responsables de su instalación, operación y mantenimiento en cada punto de conexión.

Como se observa, dicha norma se refiere a medidores instalados a usuarios no residenciales.

Es importante indicar que la norma referida también establece que el AMM pondrá a disposición de los participantes del Mercado Mayorista, un listado de equipos de medición que reúnen las condiciones para su instalación en el sistema de medición comercial. Lo anterior es importante, ya que garantiza que no se instale equipo que no sea adecuado para las instalaciones o que no cumpla con los requerimientos establecidos en dicha norma, para grandes usuarios y participantes del mercado mayorista, no así para usuarios residenciales, que como se indicó anteriormente son la gran mayoría en el país.

1.2.1.1. Verificaciones periódicas

El AMM realiza, a cuenta propia, verificaciones periódicas a los medidores e instalaciones asociadas de los participantes del Mercado Mayorista, por lo menos una vez en un período de un año de acuerdo al

procedimiento técnico correspondiente a verificaciones periódicas a los puntos de medición comercial.

Dicha verificación se realiza sin desconectar el medidor, es decir, que se utiliza la carga que se encuentre al momento de la verificación. Derivado de lo anterior, en algunos casos no es posible realizar la verificación por las causas relacionadas con la carga, al detectar que existe una variación instantánea de carga arriba del 30 %, dentro del tiempo promedio de un pulso (una vuelta en medidor electromecánico), el cual se estima en 30 segundos; o bien, que se detecte que exista carga menor o igual al 10 % de la corriente secundaria.

La verificación podrá ser efectuada por el AMM o por empresas calificadas para tal efecto, las cuales serán autorizadas por la junta directiva del AMM.

1.2.1.2. Verificaciones no periódicas

El AMM o cualquier participante del mercado mayorista pueden solicitar en cualquier momento por escrito la verificación del o los medidores instalados en un punto de conexión. Su ejecución y la correspondiente recalibración serán pagados por el participante responsable si el resultado no fuera satisfactorio. De lo contrario el pago de la verificación estará a cargo de la parte que lo haya solicitado.

1.2.2. Procedimiento para verificaciones a los puntos de medición comercial

El procedimiento técnico de verificaciones periódicas a los puntos de medición comercial del Mercado Mayorista de Guatemala, fue aprobado por la Junta Directiva del AMM mediante Resolución Número 469-02 del 7 de junio de

2005. En dicho procedimiento el AMM define los lineamientos a tomar en cuenta para autorizar a las empresas para realizar las verificaciones, así como también establece las actividades a seguir por parte de las mismas en las inspecciones en campo de las verificaciones periódicas de los puntos de medición comercial del Mercado Mayorista.

Adicionalmente se establecen las características mínimas que debe cumplir el equipo a utilizar para realizar las verificaciones, y como punto importante el detalle de las actividades en campo que deberá realizar el personal encargado de dicha actividad.

1.3. Instituciones relacionadas a la verificación de medidores de energía eléctrica en Guatemala

Según la regulación guatemalteca, existen instituciones del Estado que consideran dentro de sus funciones la verificación de medidores de energía eléctrica utilizados en usuarios del servicio de distribución final de energía eléctrica, como lo son la CNEE, DIACO y COGUANOR.

1.3.1. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) fue creada por la Ley General de Electricidad, Decreto número 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, como órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas, con independencia funcional para el ejercicio de sus funciones. Entre sus funciones se encuentra emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctrico y fiscalizar su cumplimiento en congruencia con prácticas internacionales aceptadas, para lo cual la CNEE emitió las Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD).

Las NTSD consideran lo relacionado con la precisión de la medición del consumo de energía eléctrica como un indicador del servicio comercial del distribuidor, estableciendo tolerancias de error para dicho indicador, además de sanciones en caso de incumplimiento con dichas tolerancias.

1.3.2. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR)

De conformidad con lo que establece el artículo 1 del Decreto número 1523 del Congreso de la República, la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, adscrito al Ministerio de Economía.

La principal función de COGUANOR, es desarrollar actividades de normalización que contribuyan a mejorar la competitividad de las empresas nacionales y elevar la calidad de los productos y servicios que dichas empresas ofertan en el mercado nacional e internacional. Su ámbito de actuación abarca todos los sectores económicos. Las normas técnicas que COGUANOR elabora, publica y difunda, son de observancia, uso y aplicación voluntarios.

1.3.3. Dirección de Atención al Consumidor (DIACO)

La Dirección de Atención y Asistencia al Consumidor (DIACO) fue creada como dependencia del Ministerio de Economía según el Acuerdo Gubernativo número 425-95, de fecha 4 de septiembre de 1995. Actualmente la DIACO tiene la responsabilidad de defender los derechos de los consumidores y usuarios en general, incluso los usuarios del servicio de energía eléctrica.

El Congreso de la República de Guatemala aprobó el Decreto Ley 006-2003 Ley de Protección al Consumidor y Usuario, entrando en vigencia el 26 de marzo del 2003. El objeto de dicha ley es el de promover, divulgar y defender los derechos de los consumidores y usuarios.

1.3.3.1. Ley y Reglamento de Protección al Consumidor y Usuario

El artículo 36, de la sección V, de la Ley de Protección al Consumidor establece que, la DIACO queda facultada para intervenir en la verificación del buen funcionamiento de los instrumentos de medición de energía, combustibles, comunicaciones, agua potable o cualquier otro similar, debiendo establecer un sistema de verificación periódica sobre las lecturas efectuadas por las empresas prestadoras de servicios. Para el efecto, la misma deberá coordinar estas actividades con el ente nacional responsable de la metrología del país o del servicio de que se trate.

En el artículo 24 del Reglamento de la Ley de Protección al Consumidor y Usuario también se hace referencia a la aplicación del artículo 36 de dicha ley, para lo cual se establece que, la DIACO coordinará con los ministerios de Estado y las instituciones que supervisan a las empresas prestadoras de los servicios de que se trate, a fin de evitar la duplicidad de esfuerzos, así como para optimizar las funciones y control correspondiente.

Para lograr una adecuada coordinación con las instituciones referidas en el párrafo anterior, la DIACO debe celebrar convenios interinstitucionales en los que se establecen los procedimientos y las acciones que coordinadamente se deben llevar a cabo para el cumplimiento de sus funciones.

Sin embargo, al realizar la investigación correspondiente se obtuvo como resultado que a la fecha no existe algún tipo de convenio de cooperación entre DIACO y el Ministerio de Energía y Minas o la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, a fin de darle cumplimiento a lo establecido en los artículos anteriores con relación a la verificación de los medidores de energía eléctrica.

1.4. Empresas dedicadas a la verificación de medidores de energía eléctrica

Como resultado de la investigación realizada para este documento se obtuvo que, actualmente en Guatemala existen un total de 4 empresas que se dedican o prestan el servicio de verificación de medidores de energía eléctrica, las cuales han brindado dicho servicio al AMM, por lo que las mismas cuentan con la experiencia en el tema de verificación de medidores de energía, sin embargo, según información de las mismas no cuentan con el equipo suficiente para la verificación o comprobación de medidores de energía eléctrica para usuarios residenciales ya que se trata de una gran cantidad de medidores, y la inversión inicial para la compra del equipo necesario es elevada.

Adicionalmente no existe algún tipo de regulación que considere a empresas particulares para realiza la actividad de verificación de medidores de energía es decir, en la regulación actual se deja la responsabilidad a las distribuidoras para la realización de dicha actividad, pudiendo estas realizarla con personal y equipo propio, lo que no asegura un criterio del todo imparcial al momento de la presentación de resultados finales.

1.5. Normativa nacional e internacional relacionada

La normativa nacional que considera el tema de verificación de medidores de energía eléctrica de uso residencial se encuentra de manera general dentro de las Normas Técnicas del Servicio de Distribución. Con relación a normas internacionales, se hace referencia a las Normas ANSI, ya que son las más utilizadas en Guatemala.

1.5.1. Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD)

El objetivo de esta norma es establecer derechos y obligaciones de los prestatarios y usuarios del servicio eléctrico de distribución, índices o indicadores de referencia para calificar la calidad con que se proveen los servicios de energía eléctrica, tanto en el punto de entrega como en el punto de utilización de tales servicios, tolerancias permisibles, métodos de control, indemnizaciones, sanciones respecto a parámetros definidos de calidad comercial, producto y servicio.

Dentro de la calidad del servicio comercial del distribuidor se encuentra considerada la precisión de la medición del consumo de energía eléctrica, para lo cual se establece que dicho indicador se evaluará mediante un plan de muestreo basado en lotes, que cada distribuidora deberá proponer a la CNEE.

Se define la cantidad de medidores a verificar en función de la cantidad de usuarios de cada distribuidora y se establecen tolerancias de error de la medición en función de la potencia del usuario.

Es importante indicar que actualmente en las NTSD no se establece el lugar donde se deben realizar las verificaciones (campo o laboratorio),

especificaciones para realizarla, el procedimiento o la competencia para realizar las actividades, tampoco se establece tolerancias de error en función de la clase del medidor, ni se observa algún sustento estadístico para actividad de verificación de medidores.

1.5.2. Norma COGUANOR NTG-ISO-IEC17025

Esta norma establece los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos o calibraciones, incluido el muestreo. Cubre los ensayos y las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio.

A la fecha, según información del Organismo Guatemalteco de Acreditación (OGA) no existe algún laboratorio de verificación de medidores que se encuentre acreditado en Guatemala, es decir que no existe la declaración de conformidad de tercera parte relativa a un organismo de evaluación de la conformidad, que manifiesta la demostración formal de su competencia para llevar a cabo tareas específicas de ensayo, calibración, certificación e inspección de medidores de energía eléctrica en Guatemala.

1.5.3. Norma ANSI C.12.1

Esta norma establece criterios de desempeño aceptables para medidores de energía eléctrica nuevos, demandómetros, registradores de demanda, dispositivos de pulsos, y equipo auxiliar de medición. Se describen los niveles de desempeño aceptables de medidores en servicio, también se incluye información sobre temas relacionados, tales como patrones de medición recomendados, requisitos de instalación, métodos de prueba y los planes de verificación.

En los capítulos finales del presente trabajo, se hará mayor referencia a esta norma.

1.6. Situación de otros países de la región con relación a la verificación de medidores

Según la investigación realizada para el presente trabajo se obtuvo, como una referencia para el tema de verificación de medidores, la siguiente información de algunos países de la región centroamericana, así como de un país de Sudamérica.

1.6.1. Nicaragua

En Nicaragua existe el Instituto Nacional de Electricidad (INE), el cual tiene la función principal de regular el sector eléctrico y dictar disposiciones relacionadas, por lo que en 1999 emitió la Resolución 016-INE-1999, la cual contiene la Norma de Calidad de Servicio. En dicha norma se establece la obligación de la empresa de distribución de realizar la calibración de los medidores electromecánicos y equipos asociados cada cinco años, debiendo acordar la metodología con el INE.

Durante el 2005 la INE realizó la modificación a la Norma de Calidad de Servicio, emitiendo la resolución INE-04-11-2005 en la cual se establecen dos puntos importantes, con relación al tema de medidores de energía eléctrica.

- Establecimiento de descuentos tarifarios debido a falta de precisión en los medidores de energía eléctrica.
- Permitir el muestreo aleatorio.

La INE realiza periódicamente actividades de auditoría a los medidores residenciales instalados a los usuarios de la empresa distribuidora, en conjunto con la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua. Durante el 2006 se verificó una muestra de 662 medidores que representa aproximadamente el 0,3 % del total de los instalados en las ciudades auditadas.

Tabla V. **Detalle muestra medidores por ciudad, auditoría INE 2006**

Ciudad	Clientes Residenciales	Muestra
Managua	156 163	603
Jinotepe	6 600	26
Diriamba	8 433	33

Fuente: Instituto Nacional de Energía. Informe de Gestión período 2005 a 2006, p. 5.

1.6.2. Costa Rica

El 21 de diciembre de 2001, la Dirección de Energía y Concesión de Obra Pública de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos de Costa Rica, elaboró la norma Uso, Funcionamiento y Control de contadores de Energía Eléctrica. La anterior norma establece las condiciones generales bajo las cuales se evaluará la calidad de la actividad de medición y registro de la energía y potencia en todas las etapas del negocio eléctrico, de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Condiciones de instalación de los sistemas de medición y registro.
- Establecimiento de laboratorios de medición.
- Características técnicas de los instrumentos de medición y registro.

- Control estadístico de los equipos de medición y registro nuevos y en uso.
- Identificación de los dispositivos de medición y registro.
- Técnicas de medición y verificación.

Su aplicación es de obligatoriedad para todas las empresas eléctricas que se encuentren en Costa Rica.

Como un aspecto importante se encuentra la inscripción del modelo, lo que significa que no puede instalarse ningún equipo de medición que carezca de la inscripción correspondiente, la cual se realiza ante la Autoridad Reguladora de los servicios públicos. Con lo anterior se espera garantizar que los equipos utilizados cumplan con los requerimientos establecidos según normas de fabricación y así evitar la utilización de equipos de mala calidad o de dudosa procedencia.

Las empresas eléctricas ejecutan en un laboratorio de medidores, las pruebas de verificación de las condiciones de funcionamiento de los medidores en uso, para los medidores monofásicos se realiza cada siete años. El procedimiento de muestreo de los lotes de medidores en uso se realiza estadísticamente, según el lote de medidores instalados, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla VI. **Criterio de muestreo para el control de medidores en Costa Rica**

Tamaño del lote	Prueba	Tamaño de Muestra	Tamaño de Muestra Acumulada	Número de medidores fuera de rango de exactitud	
				Criterio de aceptación	Criterio de rechazo
Menor a 10 000	40	40	80	1	5
	40			4	5
Mayor a 10 000	80	80	160	2	8
	80			8	9

Fuente: Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. Uso, funcionamiento y control de contadores de energía eléctrica. p. 16.

1.6.3. Argentina

Como parte de la regulación para la verificación de medidores de energía eléctrica en Argentina, y de acuerdo a lo dispuesto en el Decreto Número 1208 del 22 de mayo de 1997, que reglamenta la Ley 11769, se creó un procedimiento de verificación periódica de medidores de energía eléctrica el cual tiene por objeto especificar los requerimientos necesarios para cumplir con los artículos 26 y 29 de los Contratos de Concesión suscritos por el Estado Provincial y los municipios respectivamente con las empresas prestatarias del servicio público. En dicho procedimiento se definen los criterios a cumplir por las empresas distribuidoras para la verificación periódica de los medidores de energía eléctrica en servicio.

Los aspectos contenidos en este procedimiento son de aplicación para todo el equipamiento que las distribuidoras tienen instalado o instalen.

Los medidores se agrupan por lotes, configurándose cada uno de ellos sobre la base de uniformidad y por única vez. Los elementos del lote estarán identificados y asociados al mismo mientras se los mantenga en servicio.

La determinación del tamaño de la muestra de medidores a verificar se efectuará a partir de las dos primeras columnas de la siguiente tabla.

Tabla VII. **Muestra en función del tamaño del lote en Argentina**

Tamaño del lote (medidores)	Tamaño de la muestra (medidores)
de 9 a 15	3
de 16 a 25	4
de 26 a 50	5
de 51 a 90	7
de 91 a 150	10
de 151 a 280	15
de 281 a 400	20
de 401 a 500	25
de 501 a 1 200	35
de 1 201 a 3 200	50
de 3 201 a 10 000	75

Fuente: Organismo de Control de Energía de la Provincia de Buenos Aires. Procedimiento de verificación periódica de medidores de energía eléctrica. p. 3.

La periodicidad de verificación de medidores, dividido en lotes, se encuentra en función de la antigüedad de los medidores, de acuerdo a lo siguiente:

- Medidores de inducción, con una antigüedad menor a 15 años: cada siete (7) años;
- Medidores de inducción con una antigüedad mayor a 15 años: cada cinco (5) años;
- Medidores estáticos o electrónicos: cada ocho (8) años.

2. GENERALIDADES DE METROLOGÍA ELÉCTRICA

2.1. Metrología

Es el campo del conocimiento concerniente a las mediciones en continuo desarrollo como consecuencia del desarrollo general de la ciencia y tecnología, que de manera recíproca influye en el avance científico y tecnológico. La metrología permite a las personas hacer planes, realizar transacciones comerciales, aplicar o someterse a un tratamiento médico o ejecutar acciones con confianza, ya que la aplicación de esta ciencia está presente en todos los ámbitos del desarrollo humano. La metrología es de aplicación tan cotidiana que su importancia tiende a pasar desapercibida.

2.2. Metrología eléctrica

Evidentemente, la metrología eléctrica se ocupa de lo relativo a las mediciones de fenómenos electromagnéticos. La metrología eléctrica tiene también una gran importancia en casi todos los demás sectores de la industria moderna, como el de las telecomunicaciones, la informática, la industria automotriz, la robótica, la aviónica, la instrumentación, la medicina, el transporte, etc.

2.3. Proceso de medición

El proceso de medición generalmente requiere el uso de un instrumento como medio físico para determinar la magnitud de una variable. Los instrumentos constituyen una extensión de las facultades humanas y en

muchos casos permiten a las personas determinar el valor de una cantidad desconocida la cual no podría medirse utilizando solamente las facultades sensoriales. Por lo tanto, un instrumento se puede definir como un dispositivo para determinar el valor o magnitud de una cantidad o variable.

2.4. Exactitud y precisión

Exactitud se refiere al grado de aproximación o conformidad al valor real de la cantidad medida, es la diferencia entre la medición media observada y el valor real.

Con relación a un instrumento de medición, la exactitud es la habilidad que él tiene para hacer mediciones con pequeña incertidumbre, considerándose como un concepto cualitativo. Aunque es muy común hablar de clase de exactitud, pocas veces nos interesamos en saber sobre su definición, llamándosele así a la clase de instrumentos que satisfacen ciertos requisitos metrológicos destinados a mantener los errores dentro de límites especificados. Una clase de exactitud se indica generalmente por un número o símbolo adoptado por convención denominado índice de clase. Por ejemplo, en metrología de masa, las pesas se definen como clase F, clase E, clase M, o medidores de energía eléctrica clase 1.

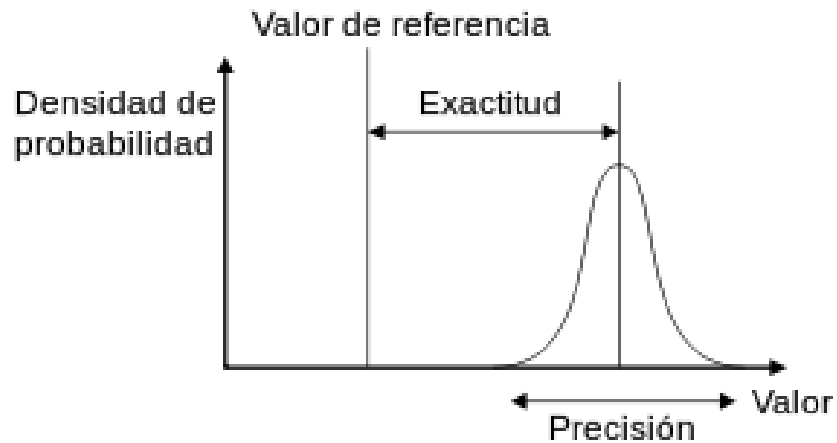
Precisión es el grado de concordancia dentro de un grupo de mediciones o instrumentos, es la variación observada al medir el mismo elemento de forma repetida y utilizando el mismo método de medición.

Para ilustrar la diferencia entre exactitud y precisión se pueden comparar dos voltímetros de la misma marca y modelo. Ambos tienen escalas igualmente calibradas, por lo tanto, se pueden leer con la misma precisión. Si el valor de la

resistencia en serie en uno de los medidores cambia considerablemente la lectura puede tener un error elevado. Por lo tanto, la exactitud de los dos medidores puede ser diferente.

En la siguiente figura se muestra gráficamente los términos precisión y exactitud.

Figura 2. **Representación gráfica de exactitud y precisión**



Fuente. http://es.wikipedia.org/wiki/Precisi%C3%B3n_y_exactitud. Consulta: octubre de 2012.

La exactitud indica los resultados de la proximidad de la medición con respecto al valor verdadero, mientras que la precisión con respecto a la repetibilidad de la medida.

2.5. Error

El error es la diferencia entre el resultado de la medición y un valor verdadero de la magnitud medida.

Ninguna medición se puede realizar con una exactitud perfecta, pero es importante descubrir cuál es la exactitud real, y como se generan los diferentes errores en las mediciones.

Los errores, por lo general, se clasifican en tres categorías principales:

2.5.1. Errores gruesos

Se deben principalmente a fallas de origen humano, como mala lectura de los instrumentos, ajuste incorrecto y aplicación inapropiada, así como equivocaciones en el registro y los cálculos de los resultados.

2.5.2. Errores sistemáticos

Se deben a fallas en los instrumentos, como partes defectuosas o gastadas, y efectos ambientales sobre el equipo.

2.5.3. Errores aleatorios

Ocurren por causas que no se pueden establecer directamente debido a variaciones aleatorias en los parámetros o en los sistemas de medición.

2.6. Sistema Internacional de Unidades (SI)

El Sistema Internacional de Unidades (SI), es el sistema coherente de unidades adoptado y recomendado por la Conferencia General de Pesas y Medidas. Hasta antes de octubre de 1995 el SI estaba integrado por tres clases de unidades: unidades SI de base, unidades SI suplementarias y unidades SI derivadas.

Son siete unidades sobre las que se fundamenta el SI y de cuya combinación se obtienen todas las unidades derivadas: unidad de longitud (metro), unidad de masa (kilogramo), unidad de tiempo (segundo), unidad de corriente eléctrica (amperio), unidad de temperatura termodinámica (kelvin), unidad de intensidad luminosa (candela) y unidad de cantidad de sustancia (mol).

2.6.1. El amperio (A)

Es la intensidad de una corriente eléctrica constante que, mantenida en dos conductores rectilíneos, paralelos, de longitud infinita, de sección circular despreciable, colocados a un metro entre sí en el vacío, produciría entre estos conductores una fuerza de 2×10^{-7} Newton por metro de longitud.

Cuando se transfieren partículas de carga a través de cualquier superficie de dos dimensiones (como la sección transversal de un conductor), la tasa de transferencia neta de carga con respecto al tiempo se denomina flujo de corriente. Por consiguiente, es importante recordar el hecho que la corriente se refiere a la transferencia neta de carga eléctrica.

Las principales unidades derivadas son el voltio y el ohmio.

2.6.2. El voltio (V)

Es la tensión eléctrica existente entre las terminales de un elemento pasivo de un circuito, que disipa una potencia de un watt, cuando es recorrido por una corriente invariable de un amperio.

Si se consume energía (como trabajo) sobre una cantidad de carga, la relación entre el trabajo y la carga recibe el nombre de voltaje. Por ejemplo, en una batería se efectúan procesos químicos para realizar trabajo sobre partículas cargadas, de manera que aparece un voltaje a través de sus terminales. La unidad de voltaje, volt (V), equivale a una energía de un joule suministrada a una carga de un coulomb.

2.6.3. El Ohmio (Ω)

Es la resistencia eléctrica de un elemento pasivo de un circuito recorrido por una corriente invariable de un amperio, sometido a una tensión constante de un voltio entre sus terminales.

2.6.4. Otras unidades derivadas

Las unidades derivadas son parte del Sistema Internacional de Unidades y se derivan de las unidades básicas. A continuación se presentan algunas de las unidades derivadas que tienen relación con temas eléctricos.

2.6.4.1. Culombio (Q)

Es la cantidad de electricidad transportada en un segundo por una corriente eléctrica de un amperio.

2.6.4.2. Faradio (F)

Es la capacitancia de un condensador eléctrico, entre cuyas placas se produce una diferencia de potencial eléctrico de un voltio cuando es cargado por una cantidad de electricidad de un coulomb.

2.6.4.3. Siemens (S)

Es la conductancia eléctrica de un conductor, en el cual una corriente de un amperio es producida por una diferencia de potencial eléctrico de un voltio.

2.6.4.4. Tesla (T)

Un tesla es una inducción magnética uniforme que, repartida normalmente sobre una superficie de un metro cuadrado, a través de esta superficie produce un flujo magnético de un weber.

2.6.4.5. Weber (W)

Es el flujo magnético que, al atravesar un circuito eléctrico de una sola espira produce, en dicho circuito, una fuerza electromotriz de un voltio, conforme el flujo se reduce hasta cero en un segundo a velocidad uniforme.

2.6.4.6. Hertz (Hz)

Es la frecuencia de un ciclo por segundo.

2.6.4.7. Henrio (H)

Es la inductancia eléctrica de un circuito cerrado, en el que se produce una fuerza electromotriz de un voltio, cuando la corriente eléctrica en el circuito varía uniformemente a razón de un ampere por segundo.

2.6.4.8. Vatio (W)

Es la potencia que produce energía a razón de un joule por segundo. En términos eléctricos, un vatio es la potencia producida por una diferencia de potencial de un voltio y una corriente eléctrica de un amperio.

$$W = \frac{J}{s} = V \cdot A = \frac{m^2 \cdot kg}{s^3}$$

2.6.4.9. Julio (J)

Es la energía necesaria para mover un objeto una distancia de un metro aplicándole una fuerza de un newton; es decir, fuerza por distancia. Se le denomina J (en inglés, *joule*). Su símbolo es J. Por tanto, $J = N \cdot m$.

El que la energía no pueda crearse, sólo transformarse, constituye un postulado fundamental de la física. Este postulado se conoce como la conservación de la energía. La energía eléctrica puede producirse a partir de muchos tipos de energía, como la química (como se conoce la batería), la mecánica (como el caso de generador hidroeléctrico), la atómica (en un reactor nuclear).

2.7. Medición de energía eléctrica

La medición de energía eléctrica es la técnica para determinar el consumo de energía eléctrica en un circuito o servicio eléctrico. La medición de la energía eléctrica es una tarea del proceso de distribución eléctrica y permite calcular el costo de la energía consumida. La medición eléctrica comercial se lleva a cabo mediante el uso de un medidor de consumo eléctrico o contador eléctrico.

2.7.1. Medidor de energía eléctrica

La función de un medidor de energía es sumar e indicar este trabajo eléctrico que corresponde al consumo de la energía, en forma continua. La unidad de energía en el SI es el Julio (J), pero, por razones comerciales para la energía eléctrica, la unidad utilizada es el vatio-hora (Wh) o el kilovatio-hora (kWh). La relación entre ambas es:

$$1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J} = 3,6 \text{ KJ}$$

Los medidores pueden ser de medida de energía eléctrica en corriente continua y en corriente alterna. En el segundo caso lo que ocurre es que la tensión y la intensidad de corriente no están en fase y ello conlleva que la energía activa no coincida con la aparente, como ocurre en corriente continua. Cuando se trata de ondas senoidales, se tienen tres tipos de energía, que se definen a continuación.

2.7.1.1. Energía eléctrica activa

Energía eléctrica que intercambian dos partes de una red eléctrica sinusoidal matemáticamente, se puede obtener la energía reactiva de la siguiente expresión:

$$W_p = \int_{t_2}^{t_1} u \cdot i \cdot \cos \varphi \cdot dt$$

Expresada en vatios-hora (Wh).

2.7.1.2. Energía eléctrica reactiva

$$W_Q = \int_{t_2}^{t_1} u \cdot i \cdot \sin \varphi dt$$

Expresada en voltamperios reactivos-hora (varh).

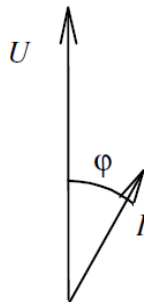
2.7.1.3. Energía eléctrica aparente

$$W_S = \int_{t_2}^{t_1} u \cdot i \cdot dt$$

Expresada en voltamperios-hora (vah).

Donde φ de estas ecuaciones es la fase o el ángulo entre tensión y la intensidad de corriente y el $\cos \varphi$ es el llamado factor de potencia.

Figura 3. Factor de potencia $\cos \varphi$



Fuente: elaboración propia.

Como se ha visto, la energía eléctrica depende de la tensión, la intensidad de corriente, el tiempo, y si se trata de una red de corriente alterna, además depende del factor de potencia. El funcionamiento de un medidor de energía, consecuentemente, está basado en estas magnitudes, aunque el diseño y la construcción sea diferente para los distintos tipos de medidores, no obstante, en general, tienen dos bornes de tensión y dos de intensidad que alimentan de forma separada sus circuitos de tensión y de intensidad.

2.8. Verificador y contrastador

El presente apartado describe y analiza las diferencias entre un equipo verificador de medidores y un contrastador de medidores. Tal vez por una cuestión semántica, en ocasiones se confunde la prestación de estos dos equipos, derivando luego en una evaluación y elección inadecuada que puede perjudicar la relación Costo Beneficio. Si bien ambos equipos se asemejan por disponer de un patrón de energía y el resultado final que ofrecen tiene que ver con el grado de desviación de la exactitud del medidor bajo prueba, se trata de equipos muy distintos en cuanto a las aplicaciones, estructura funcional y operatoria de uso. Tal es la diferencia que ninguno de los equipos es capaz de resolver eficazmente la aplicación del otro.

2.8.1. Ámbito de uso

Es conveniente advertir que este análisis comparativo entre verificador y contrastador tiene sentido cuando se trata de aplicaciones de campo donde se procede a medir *in-situ* la exactitud de un medidor. En este caso el medidor se encuentra conectado a la red eléctrica y en funcionamiento. Para la medición en el ámbito del laboratorio el medidor se encuentra libre y se impone el uso exclusivo de los equipos de contraste o de las mesas de contraste.

2.8.2. Objetivo del uso

El contrastador se aplica para la determinación de la curva de error del medidor según condiciones establecida por alguna norma y para certificar la calibración.

La prueba consiste en medir la desviación del medidor respecto al patrón del contrastador en distintos niveles de carga (Ej.: 5 % TA, 10 %TA, 50 %TA, etc.). La carga aplicada en cada uno de los niveles adoptados para la prueba debe mantenerse estable, y por lo tanto se requiere de un generador o simulador de carga ajustable. La secuencia operativa impone necesariamente la desvinculación del medidor de la red o cuanto menos de la carga del usuario cuando la valija de contraste no dispone de fuente de tensión y aplican la tensión de red.

La mayoría de las veces la medición se debe realizar sobre la acera, en condiciones ambientales aleatorias, aplicando tensión de red no regulada y con posible contenido armónico. Todas estas condiciones enmascaran fácilmente a los niveles de exactitud y precisión justificable en laboratorio, porque no es posible garantizar el resultado. A diferencia del contrastador, el equipo verificador ha sido concebido para poder determinar la exactitud del medidor en servicio.

El equipo verificador debe medir sin desvincular el medidor de la red y con el régimen de carga aleatorio que presente el usuario. Por lo tanto la medición consiste en determinar la desviación de la exactitud del medidor respecto al patrón interno y en un solo punto de carga, y no la de levantar la curva de error. El objetivo del verificador es aplicarlo en campañas de control de pérdidas,

control de calidad del parque de medidores y atención de reclamo de usuarios, mediante una operatoria rápida, segura y confiable.

2.8.3. Diferencia funcional y estructural

De acuerdo a las condiciones operativas típicas de cada equipo, se entiende que para el verificador resulta imposible conocer a *priori* cual es el nivel de carga que debe medir. Por lo tanto debe aplicar toda la resolución de medición disponible en un solo rango. El contrastador en cambio, sabe en cada caso cual es el nivel de carga durante la medición y por lo tanto puede ajustar la resolución disponible en cada caso. Esta diferencia operativa y funcional constituye la mayor diferenciación entre equipos.

El recurso de disponer de más de un rango es aplicable en equipos contrastadores en virtud de la modalidad operativa admite seleccionar y mantener constante el nivel de corriente durante la prueba. Contrariamente un equipo verificador debe enfrentar la medición con un único rango por cuanto la corriente de carga es desconocida. Durante la prueba la corriente puede moverse desde 0 al fondo de escala y con cualquier dinámica.

2.8.4. Facilidad operativa

La facilidad operativa del verificador es indudable, especialmente al tratarse de mediciones *in-situ* donde poder evitar la molestia al usuario es determinante para los tiempos de aplicación. Si bien las condiciones y modalidades operativas difieren en cada lugar, se estima que una operatoria de contraste puede demandar un tiempo equivalente a 5 operatorias de verificación.

Por otro lado toda la secuencia operativa de un verificador es naturalmente más simple. Esta característica resulta determinante cuando se necesita llevar a cabo una campaña de control de perdidas no técnicas, en razón de la necesidad de disponer de un volumen significativo de información cierta y mostrar señal de la acción de control.

2.8.5. Otras consideraciones

Los niveles de inversión resultan también distintos. La mayor rigurosidad de la medición cuando se trata de determinar la curva de error de un medidor, seguramente hace que el nivel de precio de un contrastador resulte significativamente superior al de un verificador. Si bien, como se vio anteriormente, el verificador dispone de alguna oportunidad de ser aplicado en operatorias de contraste, sin embargo no parece justificarse al contrario. El contrastador demanda mayor inversión e impone una operatoria lenta y más costosa, por lo que la relación Costo Beneficio no es buena frente al verificador.

2.8.6. Calibración

Calibración es el procedimiento de comparación entre lo que indica un instrumento y lo que debiera indicar, de acuerdo a un patrón de referencia con valor conocido. Los resultados de la calibración son informados en un documento llamado certificado de calibración. Hay dos formas de indicar los resultados:

Como la corrección a aplicar, obtenida como: valor de referencia - valor indicado, o bien como el error del instrumento, obtenido como: valor indicado – valor de referencia.

2.8.7. Verificación

El proceso de verificación del equipo debe establecer que la especificación operacional del instrumento es apropiada para el propósito requerido, y que el instrumento se desempeña de acuerdo a esa especificación. La verificación del equipo también debe establecer que un instrumento es y será conservado en un estado de mantenimiento y calibración consistente con su uso.

Hay aspectos de la verificación que deberán llevarse a cabo durante toda la vida del instrumento, y proporcionar una referencia contra la cual el funcionamiento continuo del instrumento pueda ser evaluado.

Cada etapa del proceso de verificación involucra el mismo enfoque general: la preparación de un plan de verificación, que incluya la definición del alcance de la verificación (por ejemplo, la prueba a llevarse a cabo y el criterio de aceptación a utilizarse); ejecución del plan (durante el cual los resultados de las pruebas sean registrados, tal y como las pruebas se llevan a cabo); y la elaboración de un informe (y si se requiere, un certificado de verificación de equipo) en el que se documentan los resultados de la verificación.

Según la regulación actual en Guatemala, para el caso de usuarios residenciales, las distribuidoras de energía eléctrica son las responsables de la verificación de la medición, de la calidad y la confiabilidad de los datos producidos. Por lo tanto, también son las responsables de asegurar que un instrumento es adecuado para su uso propuesto y que está operando satisfactoriamente. De esta forma, las distribuidoras son también responsables de la verificación de equipos de medición.

2.9. Equipo para verificación de medidores de energía eléctrica

Se va a verificar un medidor de energía eléctrica por comparación con otro medidor. En este procedimiento se llamará patrón al medidor que actúa como verificador y medidor al que va a ser verificado. Se elige el método por comparación por ser el más sencillo y el más fiable.

Puesto que la energía es una magnitud que depende del tiempo, éste será muy importante durante la realización de las medidas. El tiempo de medida ha de ser el mismo para los dos medidores y las medidas hay que realizarlas a la vez, para asegurarse de que las medidas son, exactamente, sobre la misma cantidad de energía en las mismas condiciones. El tiempo ha de ser lo suficientemente largo para evitar errores debidos a la fluctuación de las ondas, por otra parte los dos medidores han de estar sincronizados, es decir, el tiempo de medida ha de ser el mismo y al mismo tiempo. Esto asegura que ambos instrumentos midan la misma señal, así que lo que nos interesa es la diferencia de lecturas entre ambos.

2.9.1. Patrón

Patrón es una medida materializada, un instrumento de medición, un material de referencia, o sistema de medición, destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad, o uno o más valores de una magnitud, para utilizarse como referencia.

De acuerdo a su jurisdicción (territorio en el cual se reconoce como tal) un patrón puede ser patrón internacional, o bien, patrón nacional.

2.9.1.1. Patrón internacional

Es aquel patrón reconocido por un acuerdo internacional para utilizarse internacionalmente como base para asignar valores a otros patrones de la magnitud concerniente.

2.9.1.2. Patrón nacional

Es aquel patrón reconocido por decisión nacional en un país determinado. Sirve de base para dar valores a otros patrones, y se refiere a patrones internacionales, o se intercompara con otros patrones nacionales.

De acuerdo a su jerarquía metrológica un patrón puede ser patrón primario, patrón secundario, patrón de referencia o patrón de trabajo.

2.9.1.3. Patrón primario

Es aquel que tiene las más altas cualidades metrológicas, y su valor es aceptado sin referencia a otros patrones.

2.9.1.4. Patrón secundario

Es aquel cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud. Estos se encuentran en servicios metrológicos privados, oficinas gubernamentales para verificación y cumplimiento de los reglamentos metrológicos del país, y aquellas instituciones que tienen laboratorios metrológicos de alta precisión.

Patrón de referencia es el patrón de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado, del cual se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.

2.9.1.5. Patrón de trabajo o de control

Es el patrón que se usa rutinariamente para calibrar o controlar medidas materializadas, instrumentos de medición o los materiales de referencia. Se calibra usualmente contra un patrón de referencia.

3. MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA

3.1. Reseña histórica

El medidor de energía eléctrica ha sido una parte esencial para las empresas distribuidoras, sobre todo en los últimos años. Todo inicia en 1879, cuando Thomas Alva Edison hiciera práctico el primer equipo eléctrico, la lámpara incandescente, y no tenía intenciones de parar con sus investigaciones, ya que posteriormente se ocupó del perfeccionamiento de las dinamos para generar la corriente eléctrica que era esencial para el funcionamiento de las lámparas. Luego se dio cuenta de la contribución poderosa que esta nueva energía podía hacer en nuestra civilización y quiso contestar todas las necesidades del hombre con esta nueva energía pero al mismo tiempo, se dio cuenta que esta energía nunca se podría utilizar a gran escala comercial a menos que hubiera un método práctico para venderla.

Habría que imaginarse la situación difícil por la atravesó Edison, ya que la electricidad era algo completamente nuevo, la mayoría de la gente nunca había oído de esto. La mayoría de las personas no tenían la confianza que hoy tenemos con esta energía. Thomas Alva Edison y sus hombres tuvieron que trabajar duro para vender esta idea y poder vender la electricidad.

3.1.1. Medidor químico de Edison 1881

Uno de los primeros retos que encaró Edison, fue crear algún dispositivo para medir la electricidad y asegurarle al cliente que era una medida exacta y precisa.

La primera solución de Edison fue crear un medidor químico en 1881. Este medidor funcionaba bajo el principio que si dos electrodos se colocaban en una solución química, al circular la electricidad a través de éste, un electrodo se deterioraba y le pasaba su masa al otro electrodo. Por lo tanto, para leer el medidor era necesario pesar los electrodos al principio y al final de cada período de factura.

Este medidor causó muchos problemas porque era poco eficiente y por que había que pesar los electrodos en presencia del consumidor. Este medidor a pesar que le realizaron algunas mejoras se usó unos pocos años ya que quedó en desuso cuando se introdujo la corriente eléctrica alterna.

Desde entonces muchos hombres trabajaron en la creación del medidor que le diera satisfacción completa al cliente y a las compañías de energía eléctrica. Los líderes en este campo fueron: Thomson, Shallenberg, Lamphier y Duncan, quienes trabajaron en compañías que aún hoy fabrican medidores de energía eléctrica:

3.1.2. Medidor de vatios de Thomson 1889

El desarrollo temprano del medidor de energía eléctrica del profesor Elihu Thomson, le concedió un premio grande en la exhibición de París en 1889. Esto fue el primer medidor práctico capaz de medir energía eléctrica. Este se podía usar en los circuitos alternos de la época y llegó a ser rápidamente el estándar.

El medidor de Thomson venció la mayoría de las dificultades operatorias del medidor químico de Edison. Aunque su certeza no estuviera hasta nuestros estándares modernos, era notable para un medidor de hace más de un siglo.

Operó bajo el principio de un motor pequeño en derivación, los bobinados del campo se conectaron en serie con la línea, mientras que la bobina de la armadura fue pasada a un conmutador y éste conectado a la línea, se le introdujo un disco de cobre entre la armadura y la hicieron girar entre astas de tres imanes permanentes.

3.1.3. Medidor de amperio-hora de Shallenberger 1888

Casi al mismo tiempo que Thomson trabajaba en su medidor, Oliver B. Shallenberger, desarrollaba otra clase de medidor que operaría exclusivamente en corriente alterna. En 1888 Shallenberger recibió una patente para este nuevo principio de medidor. El medidor de amperio-hora utilizaba algunos principios del medidor de energía eléctrica de CA pero era como un diseño más sencillo y económico que este, Shallenberger creyó que éste tendría una gran demanda.

El medidor de amperio-hora tenía un par de bobinas por donde pasaba la corriente de línea, otro par de bobinas instaladas a un determinado ángulo recibían la energía por inducción el flujo producido y, hacía girar un elemento que se colocó en medio de ambas bobinas.

La sencillez y el costo del medidor de Shallenberger no pudieron con el medidor energía eléctrica de Thomson ya que este utilizaba la medida verdadera de la energía eléctrica y la corriente alterna empezaba a ser más utilizada y popular.

Con estos principios varias personas siguieron trabajando en el mejoramiento de dichos medidores, hasta llegar al medidor electromecánico que en la actualidad se utiliza.

3.2. Generalidades de los medidores de energía eléctrica

El funcionamiento del contador es el siguiente: las bobinas de tensión e intensidad generan un flujo magnético debido al paso de la corriente que alimenta a la carga y ese flujo magnético genera en el disco unas corrientes de Foucault. Estas corrientes generan a su vez un flujo magnético en el disco, que por definición es opuesto a la causa que lo origina, provocando el giro del disco.

Cuando el disco comienza a girar, y para evitar que se envale, se dispone de un freno magnético que estabiliza su velocidad de rotación. Las vueltas que da el disco se transmiten al eje, y éste a su vez las transmite a un sistema de engranajes donde quedan registradas en un sistema contador totalizador.

Así pues, las vueltas que da el disco son proporcionales al campo magnético que en él se induce, que a su vez depende de la intensidad y tensión que consume la carga.

A continuación se presentan algunas generalidades de los medidores de energía eléctrica.

3.2.1. Rango de voltajes

Los medidores pueden operar en un rango de 10 % hacia arriba y 20 % hacia abajo del voltaje nominal. Operan correctamente aunque por la variación de voltaje la medición resulte con un pequeño error.

Cuando se utilizan medidores electromecánicos, se debe utilizar un tipo de medidor determinado con el voltaje y conexión en que será instalado; sin embargo, con los últimos medidores electrónicos, la mayoría tienen un

autotransformador, el cual permite utilizar los medidores en rangos de 120 a 480 voltios generalmente.

3.2.2. Número de forma

Es el número conforme la conexión interna en el diagrama mostrado en ANSI C12.1. Los contadores con el mismo número de forma tienen conexiones internas idénticas. Por ejemplo:

- La forma 8S corresponde a los contadores trifásicos, conexión Delta, 4 hilos, de 2½ elementos, 13 terminales, tipo socket; regularmente utilizado en mediciones secundarias.
- La forma 1A corresponde a los contadores monofásicos. 2 hilos, 1 elemento, 4 terminales, tipo sobreponer.

En el anexo se observan los esquemas de conexión interna con relación a la forma de los medidores monofásicos.

3.2.3. Relación de registro (Rr)

Es el número de revoluciones del engranaje en contacto con el tornillo sin fin o gusano del eje del disco para una revolución de la primera manecilla o dígito del registro. Ejemplos: 13 8/9, 27 7/9, 9 7/27, 18 14/27 y otros valores.

3.2.4. Constante de medición (Kh)

Es la cantidad de energía, en vatios-hora que fluye a través del medidor por cada vuelta del disco. Por lo tanto es posible calcular la cantidad de energía que fluye a través de un medidor contando el número de vueltas.

3.2.5. Elemento o estator

Consiste en la bobina de potencial y una bobina de corriente, también se le conoce como estator.

3.2.6. Caja socket

Es el enchufe usado para conexiones eléctricas entre las líneas de servicio y el contador tipo *socket*. Es esencial que los contadores *socket* sean usados apropiadamente con las cajas correspondientes de acuerdo al número de terminales, capacidad de corriente, derivación, etc.

3.2.7. Capacidad

Se clasifican por su capacidad máxima de permitir el paso de corriente en forma continua, por lo tanto se debe utilizar de acuerdo a la capacidad del medidor.

3.2.8. Estilo

Pueden ser de dos tipos:

Con anillo: o tipo *ring*, utilizan un anillo de acero inoxidable para asegurar el medidor con la caja, el precinto de seguridad es instalado en este anillo.

Sin anillo o *ringless*: no utilizan el anillo, la tapa de la caja es colocada sobre el aro del medidor y el precinto se coloca en el cierre de la caja.

3.2.9. Marchamo o precinto de seguridad

Los marchamos o precintos son dispositivos de seguridad instalados con el fin de evitar que un equipo o caja sea abierto sin la autorización y/o supervisión de la empresa distribuidora.

Varias compañías ofrecen distintos tipos de marchamos, de preferencia se deben utilizar marchamos cuya violación sea fácilmente detectable y que permita llevar un registro, es decir numerados y con identificación de la empresa.

Con relación a este punto algunas empresas distribuidoras utilizan una codificación para el control de marchamos que incluye: año de fabricación, código de color (según tipo de suministro y estado de suministro en campo), correlativo.

Tabla VIII. **Tipos y características de precintos utilizados por las distribuidoras**

Tipo de precinto	Característica
De caja	Precinto acrílico transparente con inserto color rojo con gancho de acero inoxidable
De Demanda	Precinto de polipropileno color variado según año
De corte	Precinto de polipropileno color negro con gancho de acero inoxidable de fácil ruptura
internos	Precinto de policarbonato color rojo con alambre de acero inoxidable.

Fuente: elaboración propia, con información de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

3.3. Estructura de los medidores electromecánicos

Los medidores de energía eléctrica electromecánicos se encuentran constituidos por un elemento móvil que gira debido a la acción de corrientes inducidas por él, por campos magnéticos alternos, así como otros elementos, los cuales se detallan a continuación.

3.3.1. Partes básicas que lo conforman

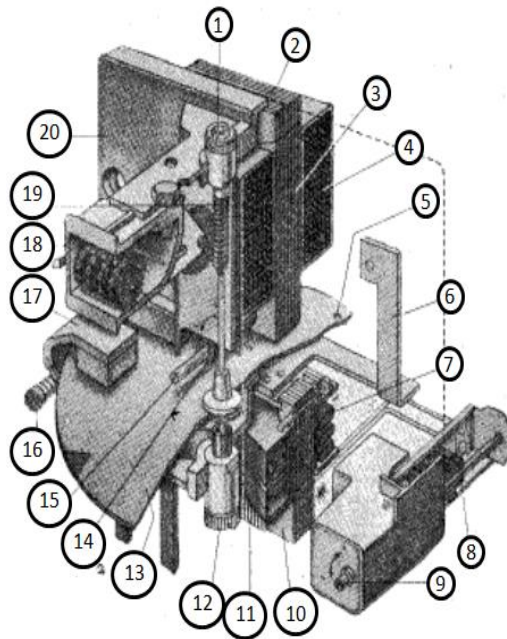
El medidor electromecánico consta básicamente de las siguientes partes:

- Bobinas de voltaje
- Bobinas de corriente
- Estator
- Disco o Rotor
- Imán de freno
- Eje
- Mecanismo registrador

3.3.2. Detalle interno

En la figura 4 se muestran los detalles internos de un medidor electromecánico y los detalles de su conexión:

Figura 4. **Detalle internos del medidor electromecánico**



1, cojinete superior; 2, núcleo de tensión exterior; 3, núcleo de tensión interior; 4, bobina de tensión; 5, orificio para el enclavamiento de la marcha libre; 6, arco de reacoplamiento; 7, bobina de corriente; 8, resistencia regulador; 9, tornillo de regulación para la compensación de fases; 10, núcleo de corriente; 11, devanado de compensación de desfase; 12, cojinete inferior; 13, rotor; 14, tubo de cobre; 15, tornillo motriz; 16, tornillo de ajuste de imán; 17, imán de freno; 18, mecanismo contador; 19, casquillo del cojinete superior con sin fin; 20, soporte del mecanismo de medida.

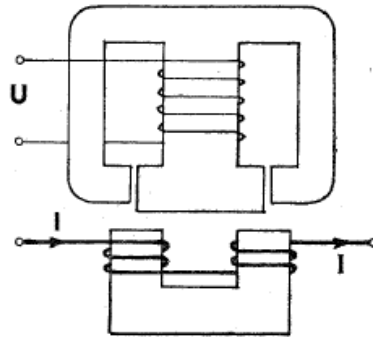
Fuente: KARCZ, Andres M. Fundamentos de metrología eléctrica, tomo II, p. 148.

3.3.3. Estator

El estator del medidor está compuesto por el núcleo de electroimán de intensidad y por el núcleo de electroimán de tensión. Según la marca y el modelo del medidor, estos dos elementos están construidos por separado o forman una sola pieza.

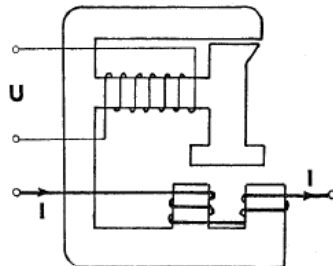
El estator consta de un núcleo de hierro con dos bobinas, una de potencia en paralelo a la red con un aproximado de 8,000 vueltas de un conductor delgado para 240 V y una de corriente en serie a la red con una o dos vueltas con un conductor grueso como se muestra en las siguientes figuras.

Figura 5. **Núcleo de electroimanes construidos por separado**



Fuente: KARCZ, Andres M. Fundamentos de Metrología Eléctrica, tomo II, p. 125.

Figura 6. **Núcleo de electroimanes construidos en una sola pieza**



Fuente: KARCZ, Andres M. Fundamentos de Metrología Eléctrica, tomo II, p. 126.

El material que se utiliza para la confección de los núcleos es laminación de chapa magnética de alta inducción magnética y de permeabilidad lo más constante posible.

Sobre los núcleos de los electroimanes de tensión y de intensidad están colocadas las bobinas de tensión y de intensidad respectivamente. La bobina de tensión, colocada sobre su respectivo núcleo, debe caracterizarse por una

gran impedancia. Es imprescindible que este electroimán tenga la impedancia totalmente inductiva, o sea que la intensidad de corriente que circula por la bobina quede desfasada noventa grados con respecto a la tensión de la red aplicada. Esto no sucede debido a que la bobina tiene un gran número de espiras, por tanto, una considerable resistencia óhmica (entre 300 y 600 ohmios). Esta resistencia depende del modelo, marca y tensión nominal de medidor.

3.3.4. Operación

El medidor electromecánico funciona básicamente bajo el principio de, que se puede producir un torque electro magnéticamente por dos flujos alternos de corriente que tengan tanto un desplazamiento en tiempo como en espacio en la dirección del desplazamiento deseado; siendo 90 grados el desplazamiento máximo.

3.3.5. Disco o rotor

El rotor es un disco de aluminio que gira a bajo número de revoluciones por minuto. La velocidad nominal de giro del rotor del medidor es el número de revoluciones por minuto del disco al aplicar al medidor la tensión nominal, la intensidad de corriente nominal y el factor de potencia del receptor. Es obvio que la velocidad de giro será inferior a la nominal cuando los valores de los parámetros enumerados sean inferiores a los nominales. La tabla IX contiene las velocidades nominales y los pesos de los rotores en las distintas marcas de los medidores monofásicos.

Tabla IX. **Velocidades nominales y pesos de rotor**

Marca	Velocidad nominal de giro en varios modelos (revoluciones por minuto)	Peso neto del rotor (gramos)
AEG, Alemania	17,1 a 54,6	20
Danubia, Austria	8,8 a 27,5	22
General Electric, Estados Unidos	8,5	--
Fuji Electric, Japón	54 a 66	18.8
Sangamo, Canadá	9	18.4

Fuente: KARCZ, Andres M. Fundamentos de Metrología Eléctrica, tomo II, p. 132.

El disco estampado es de chapa de aluminio de un espesor no mayor a 1,5 milímetros. Esta fijado sobre el eje provisto del sin fin que engrana con el numerador. El sin fin puede ser postizo y de material plástico o fresado sobre el mismo eje. En la mayoría de los medidores el disco tiene estampada sobre su circunferencia una escala que tiene la finalidad de facilitar el contraste del medidor.

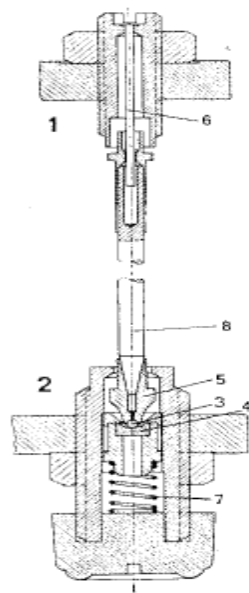
El medidor funciona durante largos periodos sin ninguna clase de mantenimiento y, por lo tanto, es de máxima importancia que con el tiempo no aumenten los errores adicionales que se deben a la fricción del sistema.

Los errores por fricción se originan principalmente en los cojinetes por lo que los fabricantes ponen mucho esmero en su diseño y construcción. Del análisis del sistema, desde el punto de vista mecánico, se deduce que el rotor está apoyado sobre el cojinete inferior y, el cojinete superior impide su inclinación. En consecuencia, el cojinete inferior reacciona a las fuerzas verticales y el superior a las laterales. Con este criterio están diseñados los sistemas de suspensión y en todos se trata de disminuir la presión que ejerce la

presión del rotor sobre el cojinete inferior. En la figura 7 se muestra la suspensión típica de los medidores monofásicos, en los cuales el peso del rotor es reducido.

Existen variantes, según la marca, pero en todo el eje del rotor descansa sobre una esfera en el cojinete inferior. Los detalles de la construcción se pueden apreciar en la misma figura.

Figura 7. **Suspensión típica de medidores monofásicos**



1, cojinete superior; 2, cojinete inferior; 3, esfera del cojinete; 4 zafiro; 5 punta de apoyo; 6, perno de guía; 7 resorte de compresión; 8, eje del rotor

Fuente: KARCZ, Andres M. Fundamentos de Metrología Eléctrica, tomo II, p. 134.

3.3.6. **Imán de freno**

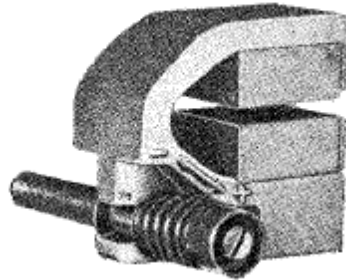
El imán de freno es uno de los elementos más importantes del sistema de ajuste del medidor. De su posición y de la estabilidad de su flujo magnético depende el error principal del medidor; por lo tanto es muy importante que

cumpla determinadas características: alta estabilidad magnética, gran fuerza coercitiva y mínima sensibilidad a los cambios de temperatura. Se debe tener en cuenta la influencia de los campos magnéticos externos al imán, existentes dentro del sistema del medidor. Los núcleos de los imanes tienen una sección longitudinal en forma de U.

Se los fabrica de aleaciones de alnico (es una aleación formada principalmente de cobalto, aluminio y níquel, aunque también puede contener hierro, cobre y en ocasiones titanio. Su uso principal es en aplicaciones magnéticas), ya que este grupo de materiales se caracteriza por la estabilidad y fuerza coercitiva altas. Para la compensación de la influencia de temperatura, algunos fabricantes proveen al imán en su parte frontal de una placa de material magnético como un *shunt* magnético ajustable. El *shunt* magnético está confeccionado de una aleación cuya capacidad de conducción térmica disminuye con mayor rapidez con el aumento de temperatura que el material del imán. De este modo la pérdida de flujo del imán de freno, que se presenta en temperatura más elevadas, es compensada por el flujo del *shunt*.

Algunos medidores tienen colocada entre el imán del freno y la bobina de intensidad una pantalla magnética confeccionada de chapa de material de poca remanencia. Esta pantalla tiene la finalidad de proteger el imán contra el flujo magnético de la bobina de intensidad, lo que es especialmente importante en los casos de cortocircuitos o sobrecargas en la red. La pantalla impide la penetración de líneas magnéticas procedentes de la bobina de intensidad en el imán de freno.

Figura 8. **Imán de freno de medidores electromecánicos**



Fuente: KARCZ, Andres M. Fundamentos de Metrología Eléctrica, tomo II, p. 136.

3.3.7. Mecanismo registrador

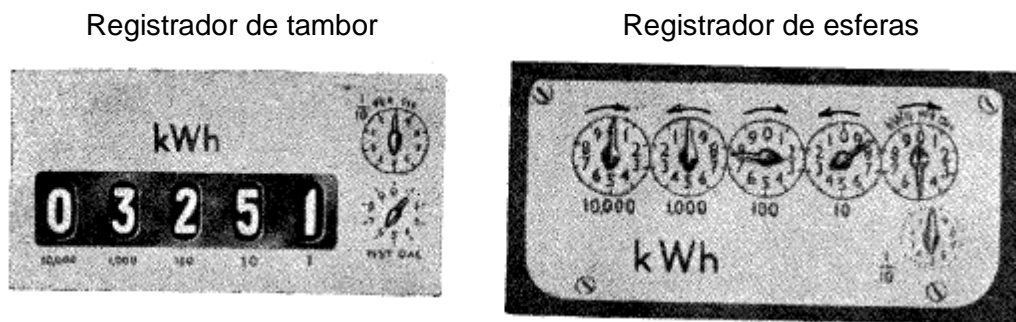
El medidor de energía está provisto de un dispositivo capaz de sumar las vueltas efectuadas por el disco proporcionalmente a la energía suministrada al usuario e indicarla en las unidades correspondientes (kilovatios hora).

Existen dos tipos de numeradores en cuanto se refiere a su construcción y en consecuencia a la lectura. Uno denominado numerador de tambor o de disparo y el segundo, numerador de agujas o de esferas. El primer tipo es de uso más frecuente y es el tipo que se utiliza en países que fabrican instrumentos normalizados.

El tipo de esferas está entrando ya en desuso; del cual se encuentran actualmente instalados en el país. Dicho tipo de registrador tiene la desventaja de que la lectura del medidor es más complicada. Al efectuar la lectura de este último hay que tener en cuenta que las agujas de distintas esferas giran en sentido contrario, característica que se presta para cometer errores. La única ventaja del numerador de esferas sobre el numerador de tambor es que su

momento de fricción es de valor muy pequeño. En la siguiente figura se muestran los tipos de numeradores de tambor y de esferas.

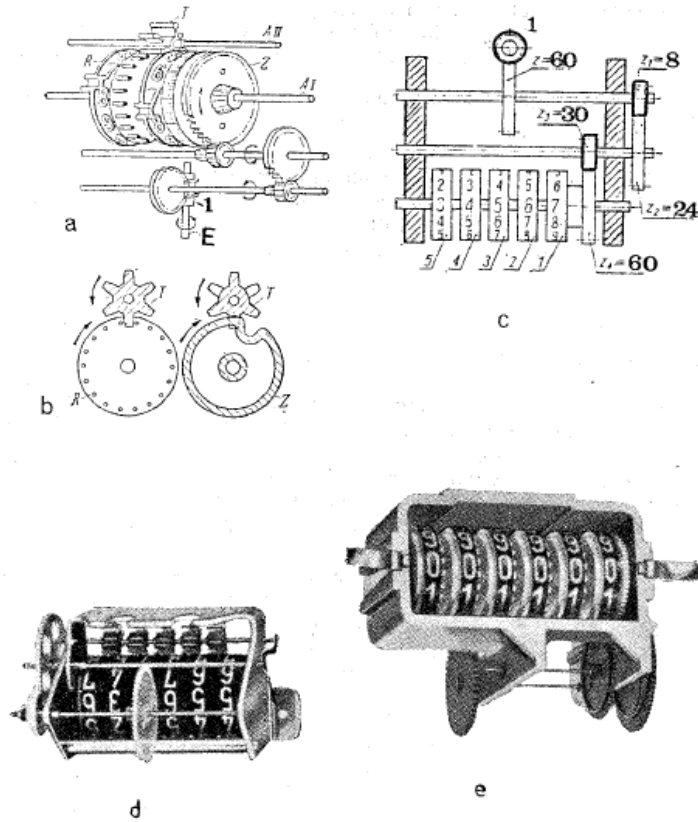
Figura 9. **Registadores de medidores tipo tambor y esferas**



Fuente: KARCZ, Andres M. Fundamentos de Metrología Eléctrica, tomo II, p.132.

La figura 10 muestra la construcción del registrador del tipo de tambor, se puede apreciar en la figura 11 a el tren de engranajes que interviene entre el sin fin (1) colocado sobre el eje (E) del rotor del medidor y el juego de tambores. En la figura 10 c se presenta el juego de 5 tambores, o sea de 5 dígitos que se observan durante la lectura. Sobre la circunferencia de cada uno de los tambores están grabadas cifras de 0 a 9. Al realizar el primer tambor una vuelta completa, el tambor siguiente salta por 1/10 parte de su circunferencia (disparo). La figura 10 d muestra la vista posterior de un numerador y la figura 10 e, un numerador visto de frente.

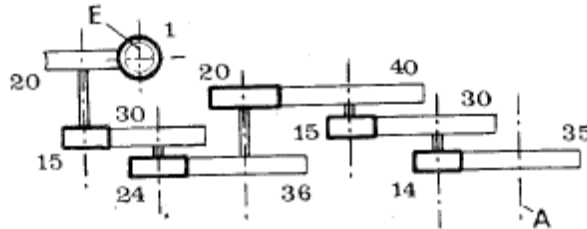
Figura 10. Numerador de tambor



Fuente: KARCZ, Andres M. Fundamentos de Metrología Eléctrica, tomo II, p. 140.

La figura 11 muestra el tren de engranajes del numerador de tipo de esferas o agujas. Con la letra E está señalada la posición del eje del rotor y el sin fin, con la letra A el eje de la aguja indicadora de la primera esfera.

Figura 11. Relación de engranajes medidor electromecánico



Fuente: KARCZ, Andres M. Fundamentos de Metrología Eléctrica, tomo II, p. 141.

La relación de engranajes del numerador determina la constante nominal K_h del medidor de energía al cual está destinado el numerador. A veces resulta conveniente determinar esta constante mediante el cálculo de engranajes.

Para determinar la constante K_h del medidor de energía a base de la relación de engranajes del registrador, se empieza determinando los engranajes conductores y engranajes conducidos. En la representación matemática, los numeradores de las fracciones representan los números de dientes de los engranajes conductores y los denominadores los números de dientes de los engranajes conducidos. El sin fin se considera como un engranaje cuyo número de dientes es igual a 1. A continuación se muestra un ejemplo para un registrador tipo tambor.

$$\frac{1}{60} * \frac{8}{24} * \frac{30}{60} = \frac{240}{86,400} = 0,0027777 \text{ kWh/rev}$$

El valor inverso es la constante C_n

$$C_n = \frac{86\,400}{240} = 0,002777 = 360 \text{ rev/kWh}$$

Para un registrador tipo esferas (ver figura 12)

$$Kh = \frac{1}{20} * \frac{15}{30} * \frac{24}{36} * \frac{20}{40} * \frac{15}{30} * \frac{14}{35} = \frac{1}{600} = 0,0016666 \text{ kWh/rev}$$

$C_n = 600 \text{ rev/kWh}$

3.4. Error del medidor de energía

El medidor de energía, lo mismo que cualquier otro instrumento de medición, indica con error. El error del medidor depende de varios factores y existe un límite del valor del error admisible, el cual está determinado por las normas que rigen en cada país, en el caso de Guatemala se encuentra en función de la potencia del usuario, tal como se observa en la tabla X (mayor a 11 kilovatios, error admisible del 2 % y menor de 11 kilovatios, error admisible de 3 %). En consecuencia el medidor debe ser verificado y contrastado antes de entrar en servicio y después en períodos determinados.

Tabla X. **Error admisible en función de la potencia del usuario**

Potencia	Error máximo de la medición
Hasta 11 KW	3%
Superior a 11 KW	2%

Fuente: Compendio de Normas Técnicas emitidas por la Comisión Nacional de Energía, Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD) p. 51.

La verificación de un medidor consiste en la comprobación de la velocidad del disco-rotor; y la calibración, en el ajuste y regulación de esta velocidad a la

correcta, o sea a la velocidad nominal. La velocidad nominal del disco es la velocidad con la cual el medidor registra sin error la energía consumida por una potencia nominal durante un tiempo determinado.

El error de cualquier instrumento de medición y, por lo tanto, también del medidor de energía se expresa de la siguiente forma:

$$e\% = \frac{A_m - A_n}{A_n} * 100$$

Donde: A_m es el valor medido y A_n es el valor verdadero.

Utilizando esta fórmula se puede calcular el tiempo que tardará el disco en efectuar n número de vueltas:

El error consiste en la diferencia que aparece entre el tiempo calculado t_n y el tiempo realmente transcurrido t_m en efectuarse n número de revoluciones (tiempo medido).

$$\delta\% = \frac{t_n - t_m}{t_n} * 100$$

De esto se deduce que la verificación se reduce a la medición del tiempo que tarda el disco en efectuar un determinado número de vueltas con una determinada carga conectada, por lo general, durante la prueba se emplea un número de vueltas del disco en las que no tarde más que un minuto aproximadamente. El número de vueltas más conveniente para la prueba se estima a base de las características dinámicas del disco y al porcentaje de la carga nominal con la cual se efectúa la verificación.

El error, que es inevitable, se determina en condiciones nominales y normalizadas, o sea con la tensión nominal del medidor, con la intensidad nominal o su fracción determinada por las normas y con la frecuencia nominal.

Durante la prueba, el medidor debe funcionar en la posición normal de operación y a la temperatura ambiente, también determinada por norma (según ANSI C12.1 a 20 grados Celsius). Cualquier variación de las condiciones nominales, o sea de la tensión, de la intensidad de corriente, de la frecuencia y de la temperatura ambiente, influyen en el valor del error y en ciertos casos puede sobrepasar los límites admisibles. En vista de esto los fabricantes de los medidores de energía, incluyen en los catálogos y folletos de medidores, las curvas de error en función de los parámetros mencionados.

3.5. Tipos de medición según su conexión

Dependiendo del nivel de tensión y de la magnitud de la carga a la cual se le va a medir el consumo de energía, la medición puede ser efectuada utilizando las siguientes conexiones:

3.5.1. Medición directa

Tipo de conexión en el cual las señales de tensión y de corriente que recibe el medidor son las mismas que recibe la carga.

3.5.2. Medición semidirecta

Tipo de conexión en el cual las señales de tensión que recibe el medidor son las mismas que recibe la carga y las señales de corriente que recibe el medidor provienen de los respectivos devanados secundarios de los

transformadores de corriente utilizados para transformar las corrientes que recibe la carga.

3.5.3. Medición indirecta

Tipo de conexión en el cual las señales de tensión y de corriente que recibe el medidor provienen de los respectivos devanados secundarios de los transformadores de tensión y de corriente utilizados para transformar las tensiones y corrientes que recibe la carga.

3.6. Tipos de medidores de energía eléctrica

La medición de la energía eléctrica tiene varias finalidades pero la principal finalidad del uso del medidor de energía, es la comercialización de la misma. Al principio del desarrollo de su utilización, la comercialización de energía eléctrica, o sea su venta, se efectuaba de manera muy simple. Se facturaba por la unidad de energía vigente, sin embargo, con el desarrollo industrial y la consecuente búsqueda del abaratamiento de su producción y de su utilización, en vista de un consumo masivo, se hizo necesario la aplicación de tarifas complejas. Es obvio que la economía de la producción de la energía eléctrica depende del modo de utilización y esto, a su vez, depende de múltiples factores. Los factores de mayor importancia en la economía mencionada son los siguientes:

- La carga máxima que puede soportar la planta generadora.
- La distribución de la carga durante las 24 horas.
- Las características y el rendimiento eléctrico de los receptores.

Estos factores originaron la creación de una gran variedad de medidores de energía, los cuales, mediante la aplicación de varios tipos de tarifas, permiten obligar al usuario a ajustar sus instalaciones y sus receptores de energía eléctrica así como los horarios de su funcionamiento, de tal manera que la compañía generadora trabaje con el mayor rendimiento y, en consecuencia, pueda vender la energía eléctrica a precios más bajos.

Comúnmente los medidores de energía eléctrica se clasifican de acuerdo a las normas con la cuales fueron fabricados. Las más utilizadas son las Normas IEC y ANSI. Las Normas ANSI definen la clase del medidor por su capacidad en amperios, y las Normas IEC definen la clase de medidor por su porcentaje de error.

De acuerdo a las Normas ANSI, existen 5 clases de medidores en función de la capacidad máxima de intensidad de corriente.

ANSI también define, de acuerdo a la clase de medidor, la carga en amperios para la verificación, es decir la corriente de prueba o TA (del inglés *Test Ampere*). La relación entre la clase de medidor y el amperaje de prueba se indica en la tabla XI.

Tabla XI. **Clase de medidor según ANSI**

Clase de medidor según ANSI	Corriente Máxima o I_{max} (Amperios)	Corriente de prueba o TA (Amperios)
320	320	45
200	200	30
100	100	15
20	20	2,5

Fuente: Normas ANSI C12.1.

Adicional a la clasificación anterior, existen otras clasificaciones las cuales se exponen a continuación.

3.6.1. De acuerdo al tipo de construcción

De acuerdo a la tecnología de construcción, los medidores pueden clasificarse por medidores electromecánicos y electrónicos: a continuación se desarrolla dicha clasificación.

3.6.1.1. Electromecánicos

Son medidores en los cuales las corrientes en las bobinas fijas reaccionan con las inducidas en un elemento móvil, generalmente un disco, haciéndolo mover. Dichos medidores son el motivo de estudio del presente trabajo.

El principio de funcionamiento es muy similar al de los motores de inducción y se basa en la teoría de la relación de corriente eléctrica con los campos magnéticos.

3.6.1.2. Electrónicos

Medidores en los cuales la corriente y la tensión actúan sobre elementos de estado sólido para producir pulsos de salida y cuya frecuencia es proporcional a los vatios-hora. Están contruidos con dispositivos electrónicos, generalmente son de mejor precisión que los electromecánicos y por ello se utilizan para medir en centros de energía, donde se justifique su mayor costo.

Desde hace varios años han surgido los medidores electrónicos y como un componente electrónico se ha desarrollado rápidamente, hace algunos solo se podía medir energía activa, luego se tuvo la capacidad de medir reactiva, tener memoria masiva, registros para un perfil de carga, comunicación vía módem, etc.

Ventajas y desventajas de los medidores electrónicos

Dentro de las ventajas se pueden mencionar:

- Medición más exacta, antes 2 % de error ahora 0,5 % a 0,2 %.
- Medición de muchos de parámetros: consumo, demanda, energía reactiva, factor de potencia, tiempo, registro del contador, número de serie del contador.
- Memoria masiva: registro de eventos y mediciones en el tiempo, lectura de 3 meses anteriores, perfil de carga, etc.
- Comunicación por distintos medios: visual, directa a una computadora, por módem telefónico.
- Capacidad de automatización de eventos.
- No se puede variar su exactitud, no se puede realizar fraude dentro del mismo contador.

- Capacidad de lectura de multitarifas: ya sean horarias, diarias o por estación.

Dentro de las desventajas se puede mencionar:

- Si no hay voltaje en el servicio, no hay lecturas ni comunicación directa, salvo algunos casos con fuentes auxiliares como en subestaciones grandes. La mayor parte de los fabricantes utilizan la fase A para fuente de poder del contador.
- Por sus componentes electrónicos, son más sensibles a variaciones de voltaje, descargas electro-atmosféricas, por lo tanto se debe tener más cuidado en la tierra física, que la forma de poder aterrizarla es conectando una varilla coperwoud donde la resistencia del medidor tiene que ser mayor a la varilla de cobre para que se puedan drenar corrientes que puedan dañar al medidor.

Modos de operación

Los parámetros se pueden mostrar en 3 modos distintos

Modo normal

Es el modo que estará mostrando las lecturas en forma regular, generalmente solo se presentan los parámetros de facturación, consumo, demanda, energía reactiva, factor de potencia, tiempo, registro del contador, número de serie del contador.

Modo alterno

Es el modo que se presenta con el accionamiento de un dispositivo y presentará temporalmente los datos que se han especificado en la programación, regularmente son datos que son de utilidad para un supervisor o auditor, como: lectura del mes anterior, última vez que se programó, número de veces que se ha cortado la energía eléctrica (apagones), etc.

Modo de prueba

Este modo permite hacer pruebas instalando el medidor en una mesa de verificación o en el mismo servicio y hacer pruebas no calibración del contador, sin alterar los registros de lectura que existieran.

Formas de comunicación

Los medidores electrónicos pueden proporcionar la información por 3 formas generales:

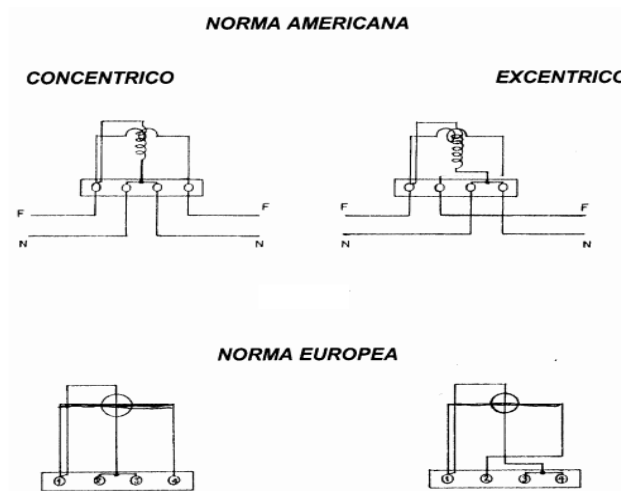
- Por medio visual, con la pantalla.
- Por el puerto óptico a un dispositivo de memoria para lectura en una computadora de escritorio o portátil.
- Por módem telefónico a una computadora.

3.6.2. De acuerdo a las conexiones internas

De acuerdo a las conexiones internas, los medidores serán:

- Concéntricos y
- Excéntricos

Figura 12. **Proporción de usuarios por tarifa**



Fuente: Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos Chimborazo. Curso electricistas básicos de redes eléctricas. p. 11.

3.6.3. De acuerdo a la energía que miden

De acuerdo a la energía que miden, los medidores pueden clasificarse por medidores de energía activa, y medidores de energía reactiva. A continuación se desarrolla dicha clasificación.

3.6.3.1. Medidores de energía activa

Miden el consumo de energía activa en kilovatios–hora.

3.6.3.2. Medidores de energía reactiva

Miden el consumo de energía reactiva en kilovares–hora. La energía reactiva se mide con medidores electrónicos que miden tanto la energía activa como la energía reactiva.

3.6.4. De acuerdo el índice de clase

El índice de clase, para la norma de fabricación IEC, indica el límite de error porcentual admisible para todos los valores de corriente entre el 10 % nominal y la máxima con un factor de potencia igual a uno. De acuerdo al índice de clase, los medidores pueden clasificarse por clase 0.5, clase 1, clase 2. A continuación se desarrolla dicha clasificación.

3.6.4.1. Medidores clase 0.5

Se utilizan para medir la energía activa suministrada en bloque en punto de frontera con otras empresas electrificadoras o grandes consumidores, tienen un error máximo en la medida del 0,5 %.

3.6.4.2. Medidores clase 1

Incluye los medidores trifásicos para medir energía activa y reactiva de grandes consumidores. Cuando el usuario es no regulado la tarifa puede ser horaria, por tanto el medidor electrónico debe tener puerto de comunicación o modem para enviar la información a través de la línea telefónica, tienen un error máximo en la medida del 1 %.

3.6.4.3. Medidores clase 2

Es la clasificación básica e incluye los medidores monofásicos y trifásicos para medir energía activa en casas, oficinas, locales comerciales y pequeñas industrias con cargas menores, tienen un error máximo en la medida del 2 %.

3.6.5. Por su complejidad

Las funciones desarrolladas por un equipo de medida se pueden clasificar como sigue:

3.6.5.1. Funciones con impacto en facturación

Tales como la medida, entradas de impulso y control, control de tarifa, retención de información de facturación.

3.6.5.2. Funciones sin impacto en facturación

Pero sensibles al usuario tales como una indicación de información auxiliar.

3.6.5.3. Funciones auxiliares

Tales como programación remota, lectura remota y salida de información al cliente, y otras medidas como valores instantáneos o calidad de suministro, cuando estas no son parte del proceso de facturación.

La tabla XII contiene la clasificación del medidor de energía eléctrica según su complejidad.

Tabla XII. **Clasificación de medidores por su complejidad**

Básicos	Medidores de energía sencillos, sin dispositivos internos de control de carga o tarifa; con o sin salida de impulso; con o sin puerto de comunicación óptico.
Multienergía	Medidores que, en una única carcasa, miden más de un tipo de energía, con o sin salida de impulso; con o sin puerto de comunicación óptico.
Multifunción	Medidores básicos o de multienergía, que incluyen funciones adicionales a las metrológicas básicas, tales como registro de demanda máxima, registro de tiempo de uso, dispositivo de control de tarifa y/o carga, como un interruptor horario o un receptor de telemando centralizado.
Medidores con funciones adicionales	Medidores con otras unidades funcionales como, comunicación telefónica o por radio, lectores de bonos de pagos, etc.

Fuente: elaboración propia.

3.6.6. Tipos de medidores de energía activa para medición directa

La medición de energía se considera como medición directa cuando se obtiene con un instrumento de medida, sin utilizar equipo auxiliar de medición como lo son transformadores de instrumento (de voltaje y de corriente).

3.6.6.1. Medidor monofásico dos hilos

Es un medidor de un elemento motor (forma 1A o 1S), conformado por una bobina de corriente y una bobina de potencial. Es utilizado para servicios monofásicos dos hilos.

3.6.6.2. Medidor monofásico tres hilos

Medidor de un elemento motor (forma 2A o 2S), conformado por dos bobinas de corriente y una de potencial para 220 o 240 voltios entre fases. Su uso es restringido para medir el consumo de servicios monofásicos tres hilos.

3.6.6.3. Medidor bifásico tres hilos

Medidor de dos elementos motores (forma 13A o 13S) donde cada elemento está conformado por una bobina de corriente y una bobina de potencial para 120 o 127 voltios entre fase y neutro. Es utilizado para servicios monofásico tres hilos y bifásico tres hilos.

3.6.7. Otros tipos de medidores

Adicional a la clasificación de medidores presentada anteriormente, en el mercado actual existen otros tipos de medidores, los cuales son utilizados en los casos en los cuales se requiera un servicio temporal o que se quiera limitar la energía consumida y el pago de la misma, como es el caso del medidor prepago. Existe otro tipo de medidor de energía que adicional a las funciones de un medidor como tal, incluye funciones de comunicación, entre otras, que permiten un mayor control del suministro por parte del usuario como de la empresa distribuidora.

3.6.7.1. Medidor prepago

El concepto de estos medidores prepago es sencillo, se compran créditos en una tarjeta desechable o recargable y luego se mete esta tarjeta en el medidor. Los créditos estarán transferidos a la memoria del medidor. Una vez que estos créditos están agotados se cierra un relevador desconectando al usuario del suministro de energía eléctrica de la distribuidora. Recargando la memoria se reconecta de nuevo.

Algunos de estos medidores están equipados con una protección anti-fraude. Si el usuario intenta abrir el medidor o remover la tapa protectora, un contacto interno se activa, el cual corta la conexión en el relevador, desconectando al usuario del suministro de energía eléctrica. En la pantalla aparece un mensaje para ayuda y el usuario necesitará llamar a la distribuidora para resetear el medidor.

Ventajas

- No necesitan generar facturas.
- El usuario puede manejar su cuenta de una mejor forma.
- Al momento el usuario puede ver su consumo.
- La distribuidora no cuenta con morosos.

Figura 13. Medidor prepago marca meterinchina



Fuente: http://www.meterinchina.com/2_3Single-phase.html. Consulta: octubre de 2012.

3.6.7.2. Medidores inteligentes (*Smart Meters*)

Los medidores inteligentes permiten la comunicación bidireccional entre el usuario y la distribuidora. Estos medidores registran diariamente la información sobre su consumo de energía. Luego se envía a distancia al centro de información computarizada de la distribuidora para operaciones, facturación y servicio al cliente. Esto significa que la distribuidora podrá manejar mejor sus necesidades generales de energía y detectar rápidamente los apagones tan pronto como sucedan.

La tecnología de medidores inteligentes permite tomar decisiones inteligentes para ahorrar energía y dinero en la factura de energía eléctrica. Por ejemplo, con los medidores inteligentes se tendrá el mismo tipo de acceso a la información de facturación y consumo que actualmente se tiene con algún banco o compañía de tarjeta de crédito, se podrá saber exactamente cuándo se consume energía y lo que cuesta consumirla. Los medidores inteligentes son una parte esencial del establecimiento de la red eléctrica inteligente del futuro.

Ventajas

- Acceso oportuno a la información del suministro de energía eléctrica, es decir, que el usuario podrá ver el consumo diario en línea y comprender mejor sus hábitos de consumo.
- Mejor confiabilidad, los medidores inteligentes notifican a la distribuidora al instante sobre la falta de energía, para agilizar las reparaciones.
- Disminución en las tarifas del servicio, se reduce en gran medida las tarifas por conexión y desconexión.
- Mayor privacidad, los medidores inteligentes se pueden leer en forma remota.

4. CONTROL ESTADÍSTICO DE MEDIDORES

4.1. Muestreo de aceptación

Un muestreo de aceptación consiste en evaluar un grupo homogéneo de algún producto, en este caso medidores, a través de una muestra aleatoria, para decidir la aceptación o el rechazo colectivo. Por tanto es necesario tener presente en todo momento que, en un muestreo, lo que se está evaluando es toda la población y no sólo la muestra, por lo que la cuestión es si una población, con las características inferidas a partir de los datos de la muestra observada, es aceptable o no. Bajo el punto de vista estadístico, un muestreo de aceptación es un contraste de hipótesis en el que se evalúa una característica (parámetro de una población) a través de unos valores muestrales.

Ningún plan de muestreo puede asegurar que todos los elementos de un lote sean conformes o aceptados pero, aun con la incertidumbre que siempre acompañara, estos planes de muestreo son útiles para garantizar un nivel de calidad aceptable.

Este capítulo presenta principios elementales de control estadístico para la verificación de los medidores de energía eléctrica instalados, clasificando los mismos mediante lotes de similares características y utilizando un plan de muestreo que sea acorde a la normativa actual.

4.2. Planes de muestreo de aceptación

El plan de muestreo estipula los tamaños de muestras, los niveles de inspección, los números de aceptación y/o reprobación, de forma que pueda tomarse una decisión respecto a si se debe aceptar o rechazar el lote, basándose en los resultados de la inspección y en el análisis de la muestra.

Los planes de muestreo de aceptación se pueden clasificar de diversas formas:

4.2.1. De acuerdo con la naturaleza de la población base

Pueden ser:

- Lote aislado
- Lote a lote
- Fabricaciones continuas

4.2.2. De acuerdo con la naturaleza de la característica inspeccionada

Pueden ser:

- Por atributos: la característica es de tipo cualitativo (pasa /no pasa). Una variante es la que considera el número de defectos, de modo que una pieza puede estar penalizada por varios defectos.
- Por variables: la característica es de tipo cuantitativo.

4.2.3. De acuerdo con el número de muestras a tomar

Pueden ser:

- **Simple:** se toma una muestra con la que hay que decidir la aceptación o el rechazo.
- **Dobles:** se toman hasta dos muestras con las que hay que decidir la aceptación o el rechazo. Es posible aceptar o rechazar solo con la primera muestra si el resultado es muy bueno o muy malo. Si es un resultado intermedio, se extrae una segunda muestra. En principio el tamaño de las dos muestras puede ser diferente.
- **Múltiple:** conceptualmente es igual al muestreo doble pero en este caso se extrae hasta n muestras diferentes.
- **Secuencial:** en este caso se van extrayendo los elementos uno a uno y según los resultados que se van acumulando de elementos aceptados y rechazados, llega un momento en el que se tiene información suficiente para aceptar o rechazar el lote.

4.3. Muestreos lote a lote COGUANOR NGR 4 011 (ANSI / ASQ Z1.4)

Este plan de muestreo lote a lote es posiblemente el que ha tenido mayor difusión, ha sido adoptado con pequeñas variaciones por casi todos los cuerpos de normas importantes (ANSI, ISO).

4.3.1. Términos, definiciones

A continuación se detallan los términos y definiciones relacionados con los planes de muestreo lote a lote de la norma COGUANOR NGR 4 001 (ANSI/ASQ Z1.4), los cuales son de importancia para el desarrollo del uso de dicha norma.

4.3.1.1. Nivel de calidad aceptable (NCA)

Es el porcentaje máximo de las unidades defectuosas admisibles en un lote, que será aceptado en el 95 por ciento de los casos, apropiadamente. Por ejemplo, según un plan de muestreo con un NCA de 5, se aceptará en el 95 por ciento de los casos, aproximadamente, un lote o una producción que contenga 5 por ciento de unidades defectuosas. También puede identificarse como AQL, del inglés *Acceptable Quality Limit*.

4.3.1.2. Número de aceptación

Es el número que en un plan de muestreo indica la cantidad máxima de unidades defectuosas que puede contener la muestra para que pueda considerarse que el lote satisface los requisitos.

4.3.1.3. Riesgo del cliente

Es el riesgo que corre un cliente cuando supone que un lote será aceptado de acuerdo con estos planes de muestreo, aún cuando dicho lote no satisfaga los requisitos.

4.3.1.4. Riesgo del productor

Es el riesgo que corre un productor cuando supone que un lote, según estos planes de muestreo, no satisfará los requisitos necesarios, aunque dicho lote, en realidad, satisfaga los requisitos.

4.3.1.5. Unidad defectuosa

Se entiende por unidad defectuosa toda unidad de muestra que no satisfaga un determinado requisito. Los criterios que sirven de base para determinar si una unidad de muestra se clasifica como defectuosa.

4.3.1.6. Nivel de inspección

Se emplea este término para indicar la cantidad relativa de muestras tomadas de los lotes de un determinado producto o clase de productos.

4.3.1.7. Tamaño del lote

Es el número de elementos o de unidades de muestras, que forman el lote. Para fines del presente trabajo los lotes deberán estar formados por medidores de idénticas características.

4.3.1.8. Unidad de muestra

Es el producto que se examina o se verifica como una sola unidad.

4.3.1.9. Muestra

Todo número de unidades que se utilizan en la inspección. Generalmente la muestra comprende todas las unidades de muestras tomados para el análisis de un determinado lote.

4.3.1.10. Muestreo

Es el procedimiento que consiste en tomar al azar o en elegir recipientes o unidades de muestras de un lote.

4.3.1.11. Tamaño de la muestra

Es el número de unidades de muestras que comprende la muestra total tomada de un lote.

4.3.1.12. Inspección normal

Se refiere a la utilización de un plan de muestreo con un criterio de aceptación que ha sido ideado para asegurar una alta probabilidad de aceptación cuando la media del proceso del lote es mejor que el NCA.

4.3.1.13. Inspección rigurosa

Se refiere a la utilización de un plan de muestreo con un criterio de aceptación que es más riguroso que el plan de inspección normal. Es utilizada cuando el resultado de la inspección de un número determinado de lotes consecutivos indica que la media del proceso podría ser peor que el NCA.

4.3.1.14. Inspección reducida

Se refiere a la utilización de un plan de muestreo con un tamaño de muestra que es más pequeño que el correspondiente plan para inspección normal y con un criterio de aceptación que es comparable al del plan para inspección normal.

4.3.2. Uso de la Norma COGUANOR NGR 4 011 (ANSI / ASQ Z1.4)

Los planes de muestreo de la norma referida se basan en el Nivel de Calidad Aceptable (NCA), que deberá fijarse de acuerdo a lo establecido en la regulación actual, para el caso de la verificación de lotes de medidores de energía eléctrica se toma lo establecido en las NTSD, que es un NCA menor a 5 %, es decir 4 %, ya que en la tablas utilizadas no se encuentra definido un NCA de 5 %.

Existen tres niveles ordinarios de inspección, niveles I, II, y III, y otros cuatro especiales, niveles S-1, S-2, S-3 y S-4, que se utilizan en caso de ensayos destructivos o de inspecciones muy costosas. Estos niveles van en función de la complejidad y la responsabilidad del producto.

Cuanto más alto es el nivel, mayor es el tamaño de la muestra y aumenta la discriminación del plan de muestreo. Si no se indica otra cosa se toma el nivel II.

Existen tres tipos de planes en función del número o tamaño de la muestra, los cuales pueden ser: simples, dobles y múltiples, cuya elección queda a cargo del inspector que aplica la norma.

Como se ha dicho anteriormente, esta norma está diseñada para series de lotes. Existen por tanto tres niveles de muestreo distintos según haya sido la historia de los lotes anteriores.

- Inspección rigurosa
- Inspección normal
- Inspección reducida

La mecánica para la utilización de esta norma es la siguiente:

- Fijación del NCA y nivel de inspección
- Búsqueda de la letra-código en la tabla Código de Letras de Tamaño de Muestra del anexo.
- A continuación, ir a la tabla Plan de Muestreo Unitario para Inspecciones Normales del anexo, para una inspección normal, muestreo simple.

4.3.3. Presentación del producto para muestreo

Previo a utilizar el método de muestreo lote a lote, para el caso de medidores de energía eléctrica de uso residencial, es necesario contar con la información propia de cada medidor o grupo de medidores con el fin de realizar la clasificación de los mismos para el control y posterior aplicación del método de muestreo.

4.3.3.1. Formación de lotes

Los medidores de energía eléctrica deberán de agruparse en lotes o sublotes identificables, o de cualquier forma que pueda establecerse. Cada lote debe constar de unidades homogéneas (mismo marca, modelo, antigüedad,

clase y otras). En el anexo se muestran el detalle de los lotes formados para DEOCSA y EEGSA, con base en las características que establecen las NTSD.

4.3.3.2. Presentación de lotes

Con un lote de tamaño considerable resulta factible y económico tomar una muestra grande, manteniendo al mismo tiempo una relación lote/muestra elevada, a fin de lograr una discriminación mejor entre lotes aceptables e inaceptables. Además, dado un determinado conjunto de criterios de la eficacia del muestreo, el tamaño de la muestra no aumentara con la misma rapidez que el tamaño del lote y, además, dejará de aumentar cuando este supera un cierto tamaño. Sin embargo, existe una serie de motivos para limitar el tamaño del lote:

- La formación de lotes más grandes puede traducirse en la introducción de una calidad muy variable.
- Los aspectos prácticos relacionados con el almacenamiento y la manipulación pueden impedir la formación de lotes grandes.
- La accesibilidad para la toma de muestras aleatorias puede resultar difícil con lotes grandes.
- Las consecuencias económicas del rechazo de un lote grande son considerables.

4.3.4. Aceptación y no aceptación de lotes

La norma COGUANOR NGR 4 011 (ANSI/ASQ) define criterios, en función de los elementos que no cumplan con los requerimientos o que se encuentren fuera de tolerancia, como en el caso de los medidores de energía eléctrica, con el fin de aceptar o no el lote correspondiente.

4.3.4.1. Aceptación de lotes

Para la aceptación se utilizara el término de producto aceptado o en tolerancia, y para la no aceptación del producto se utilizara el término rechazado o fuera de tolerancia.

Un lote de medidores, según lo establecido en las NTSD, solo se aceptará si es aceptado por el plan de muestreo (NCA= 4 %).

4.3.4.2. No aceptación de lotes

Las NTSD establecen que, en el caso que un lote se encuentre fuera de tolerancia, es decir que no es aceptado por el plan de muestreo (NCA= 4 %), la CNEE podrá solicitar que la totalidad de medidores que conforman el lote sean retirados, en este caso dichos lotes podrán ser desechados o destruidos.

4.3.4.3. Medidores fuera de tolerancia

Si un lote ha sido aceptado, dentro del análisis se reserva el derecho de aceptar cualquier medidor que se encuentre no conforme durante la verificación, independientemente si forma parte de la muestra o no, estos pueden ser reemplazados por medidores en tolerancia.

4.4. Situación propuesta

Como ya se presentó anteriormente, para realizar la verificación de los medidores de energía eléctrica instalados a usuarios residenciales, es necesario utilizar un método estadístico adecuado que garantice el uso de procedimientos válidos. Dado que existen numerosos y complejos planes de muestreo, la propuesta de procedimiento de muestreo, para la inspección por atributos tienen por objeto sustentar estadísticamente los planes para las inspecciones o verificaciones según las especificaciones establecidas en la norma de referencia mencionada anteriormente.

Para fines del presente trabajo se recomienda utilizar un plan de muestreo simple, en el cual el número de elementos de la muestra inspeccionada debe ser igual al tamaño de la muestra dada por el plan.

Si el número de medidores defectuosos o fuera de tolerancia encontrados en la muestra es igual o menor que el número de aceptación, el lote debe considerarse aceptable. Si el número de medidores defectuosos o fuera de tolerancia encontrados en la muestra es igual o mayor que el número de rechazo, el lote debe considerarse no aceptable o rechazado.

5. VERIFICACIÓN DE MEDIDORES

5.1. Tipos de verificación

Con relación a verificaciones de medidores de energía eléctrica se tiene dos situaciones, la primera cuando los medidores o un lote de medidores se encuentran aún en la fábrica y se requiere un estricto control de calidad, verificando las características propias de los mismos y otra cuando dichos lotes de medidores ya se encuentran instalados a los usuarios del servicio de energía eléctrica, es decir medidores en uso.

5.1.1. Verificación de medidores en fábrica

A continuación se listan algunas de las pruebas a medidores que aún no se encuentran instalados, según recomendación de la Norma ANSI C12.1:

- Rigidez dieléctrica a frecuencia industrial y con onda de impulso
- Marcha en vacío
- Arranque
- Verificación de la constante
- Influencia de la variación de la corriente
- Influencia de la variación de la tensión
- Influencia de la variación de la frecuencia
- Influencia de la variación de la temperatura ambiente
- Influencia de la variación de la posición del medidor
- Influencia de campos magnéticos externos
- Influencia del rozamiento del numerador

- Verificación de la estabilidad con baja carga
- Verificación del efecto de autocalentamiento
- Verificación de márgenes de ajuste
- Pérdida de circuito de corriente
- Pérdida de circuito de tensión
- Índice de calidad

5.1.2. Verificación de medidores en uso

En la Norma ANSI C12.1 se establece que, para medidores en uso, se debe realizar, como parte de la verificación del medidor de energía, las pruebas de exactitud, mediante la variación de la carga aplicada al medidor, es decir la influencia de la variación de la corriente, con el objetivo de determinar su error.

Como sustento a lo indicado anteriormente es importante indicar que las NTSD determinan que los medidores deben de cumplir con normas internacionales, y adicionalmente establecen los valores máximos de error en la medición.

5.2. Métodos de verificación

En lo referente a métodos de verificación de medidores para determinar su error en el rango de corriente de trabajo, se tienen los siguientes:

- Método potencia - tiempo
- Método del medidor patrón

Se describe el segundo método por ser el más utilizado, y el cual obedece a lo recomendado en norma ANSI C.12.1. Consiste en comparar el medidor a

verificar con uno de mayor precisión, es decir un patrón, del cual se conocen sus curvas características de error en todo el rango de corriente de ensayo. Los dos se conectan en un mismo circuito de ensayo.

A continuación se listan los requerimientos que la Norma ANSI C.12 determina, con relación a las características de las fuentes de alimentación y de los valores de corriente y tensión para realizar las verificaciones.

- La variación de la frecuencia no debe exceder del $\pm 0,5$ %.
- La tensión y corrientes deben ser del tipo senoidal.
- Las variaciones de la tensión y corriente no deben exceder del ± 2 %.
- El ensayo se realiza a tensión nominal. Los valores normalizados son 63,5, 110 y 380 V para los medidores trifásicos y 220 V para los medidores monofásicos.
- Los valores de la corriente, en porciento de la corriente nominal del medidor a ensayar, son 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500 y 600 %In.
- El factor de potencia varía de acuerdo al tipo de medidor. Para un medidor monofásico, 0,5 inductivo y 1. Para medidor trifásico, 0,25 inductivo, 0,5 inductivo, 1, 0,8 capacitivo y 0,5 capacitivo.

5.3. Equipos para la verificación

Normalmente el sistema verificación está conformado por un equipo de carga fantasma o ficticia, donde las bobinas voltimétricas se alimentan en forma independiente de las amperométricas con sendas fuentes variables. De esta forma se pueden obtener valores nominales de tensión y cualquier de corriente sin tener que desarrollar las potencias reales.

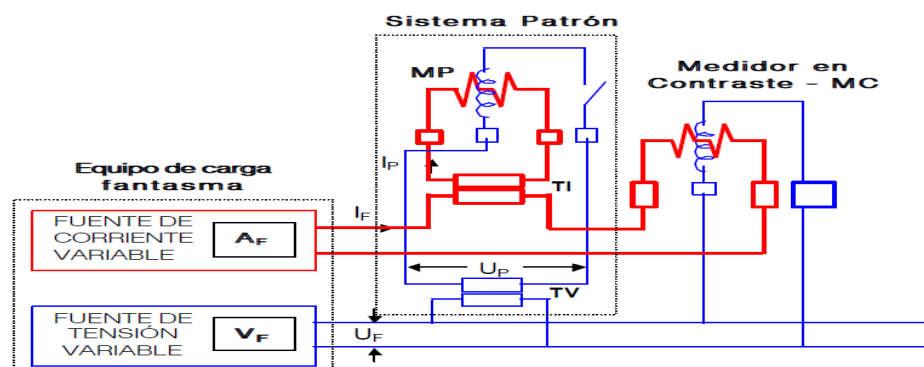
Se necesita emplear transformadores debido a que, si bien el medidor patrón está conformado con varios alcances, como todo instrumento de medida

acusa un valor de error tanto menor, cuanto más cerca trabaje de sus valores nominales tanto de tensión como de corriente. Los transformadores cumplen así las siguientes funciones:

- Los transformadores de corriente, de alcances múltiples, permiten cubrir la mayor cantidad de valores de corriente de ensayo.
- Los transformadores de voltaje uniforman las entradas del medidor patrón con respecto a los valores nominales de los medidores ensayados.

El tipo de medidor patrón a utilizar e intrínsecamente su clase o índice de exactitud depende del medidor a ensayar. Para medidores monofásicos (clase 2) se utilizan patrones clase 0,5 monofásicos. En el caso de medidores trifásicos clase 2 pueden emplearse patrones clase 0,5. Para medidores trifásicos digitales o de inducción de clase 1 o mayor es necesario utilizar patrones de mayor precisión, por lo general del tipo digital, con una exactitud del 0,05 %.

Figura 14. **Esquema básico de conexión del circuito de carga fantasma monofásico**



Fuente: Universidad Nacional del Sur. Mediciones Eléctricas Contraste de Medidores. p. 3.

5.4. Determinación del error

La determinación del error de la medición es un paso importante en el proceso de verificación de los instrumentos de medición. El error puede determinarse mediante el análisis de los valores de energía medidos por el equipo de referencia, en este caso equipo patrón y por el medidor a verificar.

5.4.1. Análisis básico

Se realiza en este punto un análisis básico conducente a obtener expresiones que permitan calcular el error de indicación de un medidor contrastándolo con un sistema patrón. En primera instancia, entonces, no se pondrá en evidencia la influencia de los errores de los componentes de dicho sistema.

El error de medida se obtiene relacionando la energía contabilizada por el medidor verificado, con respecto al valor considerado como verdadero (valor medido por el sistema patrón):

$$e\% = \frac{E_c - E_f}{E_f} * 100 = \left(\frac{E_c}{E_f} - 1 \right) * 100 \quad (\text{ec. 5,1})$$

Donde:

- EC energía medida por el medidor en contraste en kWh
- EF energía medida, o valor verdadero, por el sistema patrón en kWh
- e % error porcentual

En el análisis básico no se considerarán transformadores de medidas ni se tendrá en cuenta el error intrínseco del medidor patrón.

5.4.2. Cálculo de energía con medidor electromecánico

Se realiza midiendo el número de revoluciones N del disco. Se computa una cantidad entera para el medidor a contrastar y una cantidad entera y fracción para el medidor patrón. La relación entre las revoluciones y la energía viene dada por la constante del medidor y ésta puede expresarse de dos maneras: C_n en rev/kWh o kh en kWh/rev. La constante figura en la placa frontal del medidor a ensayar. En el caso del medidor patrón se define una constante para cada alcance. La energía del patrón y del medidor a verificar se calcula entonces por:

$$E = N/C \quad (\text{ec. 5,2})$$

5.4.3. Cálculo de energía con medidores electrónicos

Se realiza midiendo el número de pulsos emitidos por el conversor en el caso del medidor patrón y el número de revoluciones N , representado por medio de una marca titilante, en el caso del medidor a verificar. La constante básica kh del medidor se expresa en Wh/pulso. Las energías se calculan para cada medidor como:

$$\text{Patrón } E = P * Kh * 10^{-3} \quad (\text{ec. 5,3})$$

$$\text{A verificar } E = N * C \quad (\text{ec. 5,4})$$

5.4.4. Determinación de error con patrón analógico

Reemplazando la ec. 5,2 en la ec. 5,1:

$$e\% = \left(\frac{Nc * Cp}{Np * Cc} - 1 \right) * 100 \quad (\text{ec. 5,5})$$

Donde:

- N_C número de vueltas enteras dadas por el medidor en contraste (1).
- N_P número de vueltas enteras y fracción dadas por el medidor patrón (2).
- C_C constante del medidor en contraste
- C_P constante del medidor patrón, para el alcance utilizado
- e % error porcentual

(1). se contabilizan mediante el paso de una marca ubicada en el borde del disco.

(2). la lectura se efectúa sobre una escala circular (reloj) dividida generalmente en 100 divisiones, computándose además las vueltas (unidades y decenas) en relojes adicionales.

5.4.5. Determinación de error con patrón digital

Reemplazando ec. 5,3 y ec. 5,4 en la ec. 5,1:

$$e\% = \left(\frac{1,000 * N_C}{P_P * K_P - C_C} - 1 \right) * 100 \quad (\text{ec. 5,6})$$

Donde:

- N_C número de vueltas enteras dadas por el medidor en contraste
- P_P número de pulsos enteros emitidos por el medidor patrón
- C_C constante del medidor en contraste
- K_P constante del medidor patrón, para el alcance utilizado
- $e\%$ error porcentual

5.5. Consideraciones importantes del proceso de verificación

Se debe establecer qué aspectos de la verificación del equipo de medición deberán hacerse en el laboratorio o bien si se pueden realizar *in situ*, así como cuáles deberán ser realizados por un tercero; este último puede ser el proveedor original del instrumento.

El proveedor deberá proporcionar una guía clara sobre qué es lo que la distribuidora debe llevar a cabo, qué es lo que la distribuidora y proveedor pueden realizar y lo que puede ser realizado sólo por el proveedor. El proveedor deberá elaborar y proporcionar documentos que estén disponibles acerca de las herramientas y servicios que permitan la ejecución de la verificación de equipo, y, en particular, para proporcionar instrucciones claras y detalles de las pruebas que son requeridas para demostrar un desempeño satisfactorio del instrumento.

En cualquier aspecto de la verificación de equipo y/o revisión de desempeño o prueba que se lleve a cabo por el proveedor o un tercero, la distribuidora debe dar aprobación de que las pruebas fueron realizadas competentemente y correctamente (el registro de la capacitación del personal que realiza la instalación del instrumento debe ser proporcionada a la empresa distribuidora, con la finalidad de proveer evidencia básica de su competencia).

El éxito o el fracaso de todas las revisiones en la verificación de equipo y las pruebas realizadas, deberán registrarse formalmente.

Los resultados de aquellas pruebas y revisiones que hayan sido llevadas a cabo por el proveedor del instrumento, o por un tercero, deberán ser documentados e informados al propietario del medidor, es decir a la distribuidora, con la finalidad de que dé su aprobación a las mismas.

5.6. Otros métodos utilizados para la verificación

Con relación a la verificación de medidores existen otros métodos para la realización de dicha actividad, los cuales requieren de un equipo adicional y con una alta exactitud. Otro método utilizado es mediante la medición de la potencia, para lo es necesario realizar cálculos del tiempo para obtener la energía.

5.6.1. Medición de energía midiendo magnitudes de las que depende

Para efectuar una verificación midiendo magnitudes se procede a suministrar al medidor una cantidad de energía conocida y posteriormente comprobar el error que comete al medirla.

Pero esto exigiría estar en posesión de un voltímetro y de un amperímetro de cualidades metrológicas bien conocidas y de una exactitud muy elevada. También sería necesario un cronómetro patrón para medir el periodo de tiempo y, si se trata de un medidor para corriente alterna, un fasímetro patrón.

Las fuentes de tensión y de intensidad de corriente han de ser de una gran estabilidad, para poder asegurar que el valor de energía calculado es semejante a la energía consumida.

Este método es recomendable sólo para medidores de muy alto nivel de exactitud en laboratorios que cuentan con grandes equipos de medida.

5.6.2. Medición de energía midiendo potencia

Otra forma de verificar un medidor de energía es utilizar un vatímetro patrón y un cronómetro patrón, este método es muy similar al que se ha desarrollado en este procedimiento. Pero la desventaja es que el vatímetro da lecturas de potencia instantánea o de potencia media en un periodo de tiempo, pero no integra la potencia de cada instante, por lo tanto, habría que tener en cuenta que, si la potencia no resulta muy estable a lo largo del tiempo de la medida, el error calculado con la potencia media sería demasiado elevado para el medidor de energía.

6. PROPUESTA DE METODOLOGÍA Y CASO PRÁCTICO

En el caso particular de Guatemala, la normativa que rige la prestación del servicio de distribución de energía eléctrica está contenida en las Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD), Resolución CNEE-09-99, las cuales consideran la evaluación de la calidad de la medición del consumo eléctrico a partir del establecimiento de tolerancias y criterios de monitoreo resumidos en los artículos 64 y 65, de dichas normas.

Con el fin de desarrollar la metodología propuesta en el presente trabajo, utilizando los aspectos expuestos en los capítulos anteriores, en adelante se tomará la información de una de las distribuidoras de energía eléctrica más grandes del país, como lo es Distribuidora de Electricidad de Occidente, Sociedad Anónima (DEOCSA).

La información que se muestra a continuación es en resumen la utilización de todas las herramientas recomendadas, para determinar el muestreo adecuado para la verificación de medidores de energía eléctrica agrupados por lotes de similares características.

6.1. Situación actual de los medidores de DEOCSA

“La empresa DEOCSA cuenta actualmente con 841 645 medidores”¹ instalados y asignados a usuarios activos. “La cantidad de usuarios es superior a 100 000, por lo que para obtener la cantidad de medidores a verificar

¹ Información proporcionada por CNEE a junio de 2012.

mensualmente, según lo establece la regulación actual”², se debe aplicar la regla de 1 medidor por cada 5 000 usuarios.

En función de lo anterior, la cantidad mínima de medidores a verificar mensualmente, independiente de los lotes a verificar, es de 168 medidores.

El plan de muestreo es semestral, esto indica que debe contemplar la verificación de como mínimo 1 008 medidores en el semestre, dada la cantidad de usuarios que actualmente tiene DEOCSA.

Las NTSD establecen que cada lote quede definido en función de la marca, tipo, antigüedad, etc., deberá ser inspeccionado cada 5 años. Es decir, en cada ciclo de 5 años, deberán realizarse 10 080 verificaciones de medidores, organizadas en planes semestrales con apertura mensual.

6.2. Método de muestreo

El método de muestreo propuesto para la verificación de medidores es el muestreo por aceptación de atributos, expuesto en el capítulo 4 del presente trabajo, siendo este tipo de muestreo el que permite dar cumplimiento a lo establecido en las NTSD, donde en cada lote que quede definido, debe definirse el tamaño de la muestra y la cantidad de medidores fuera de tolerancia para la aceptación del lote.

El tamaño de la muestra por lote, es obtenido a partir de las tablas COGUANOR NGR 4 011 (ANSI / ASQ Z1.4). El procedimiento de dicha norma

² Según lo establece el Artículo 65 literal c) de las NTSD.

incluye una serie de planes de muestreo relativamente fáciles de seleccionar, aplicar e interpretar ya expuestos en el capítulo 4 del presente trabajo.

El estándar COGUANOR NGR 4 011 (ANSI / ASQ Z1.4) define el nivel de calidad aceptable (NCA) como el valor nominal, expresado en porcentaje, de elementos defectuosos. También se define como el porcentaje máximo de elementos defectuosos tolerables como promedio de la calidad.

Un elemento, en este caso el medidor, se considera defectuoso cuando la característica medida (error en la medición del consumo de energía) se encuentra fuera de la tolerancia establecida por norma de fabricación. Esta tolerancia dependerá del índice de clase del medidor:

Tabla XIII. **Error máximo de la medición según índice de clase**

Índice de clase del medidor	Error máximo de la medición
0.2	±0.2%
0.5	±0.5%
1	±1%
2	±2%

Fuente: elaboración propia.

El muestreo a llevar adelante es un Muestreo Simple, siendo el tipo de inspección, una Inspección Nivel I.

A continuación se presentan los tamaños de muestra que corresponden con los distintos tamaños posibles de los lotes, que aplican en un muestreo simple, y la cantidad aceptable de defectivos, considerando el nivel de calidad

aceptable (NCA) de 4 %, que es el que más se adapta a los requerimientos de las NTSD.

Tabla XIV. **Tamaño de la muestra en función del tamaño del lote con cantidad de elementos para aceptación y rechazo**

Tamaño del Lote	Código de Letra de Tamaño de la Muestra	Tamaño de la Muestra	Cantidad de Elementos (medidores) Defectivos	
			Aceptación	No aceptación o Rechazo
2 a 8	A	2	0	1
9 a 15	A	2	0	1
16 a 25	B	3	0	1
26 a 50	C	5	0	1
51 a 90	C	5	0	1
91 a 150	D	8	1	2
151 a 280	E	13	1	2
281 a 500	F	20	2	3
501 a 1200	G	32	3	4
1 201 a 3 200	H	50	5	6
3 201 a 10 000	J	80	7	8
10 001 a 35 000	K	125	10	11
35 001 a 150 000	L	200	14	15

Fuente: elaboración propia, con tablas de COGUANOR NGR 4 011.

En el anexo del presente trabajo se incluyen las tablas completas correspondientes a la norma COGUANOR NGR 4 011 (ANSI / ASQ Z1.4), de donde fueron extraídos los valores presentados en la tabla anterior. Cabe destacar que el procedimiento a seguir, conocido el tamaño del lote, es el siguiente:

- A. Identificar en la tabla Código de Letras de Tamaño de Muestra (tabla XIX), el rango de Tamaño de lote que contiene la cantidad de medidores que conforman cada lote para el cual se desea establecer el tamaño de la muestra.
- B. Tomar la letra que le corresponde al rango, en la columna Nivel de inspección General I, que es la columna que corresponde al muestreo normal.
- C. Con la letra, buscar en la tabla Plan de Muestreo Unitario para Inspecciones Normales (tabla XIX). De dicha tabla también se obtiene la cantidad de medidores defectivos para aceptar o para rechazar el lote que corresponda. Lo anterior en función del Nivel de Calidad Aceptable deseado, para fines de este trabajo se utilizará un valor de 4%.

6.3. Base de usuarios y determinación de lotes

Derivado del análisis de la base de datos de usuarios y medidores se obtiene la identificación de los lotes de medidores que deben ser verificados según lo establecen las NTSD. Los lotes quedan definidos a partir de las siguientes características que tienen en común.

- Usuario (usuarios con demandas hasta 11 kilovatios o superior a 11 kilovatios).
- Clase de precisión (0.2, 0.5, 1 o 2)
- Tipo de medidor: electrónico o electromecánico
- Intensidad nominal
- Marca
- Antigüedad

La combinación de las características arriba indicadas, da lugar a 466 lotes. Dicha combinación cumple con las características mencionadas en las NTSD y a la vez, si se suman los tamaños de las muestras que surgieron de aplicar las tablas del estándar COGUANOR NGR 4 011 (ANSI /ASQ Z1.4), se obtiene una cantidad total de verificaciones igual a 10 110. La cantidad de verificaciones obtenida cumple con la condición fijada en el artículo 65 de la NTSD que exige a verificar 1 medidor cada 5 000 usuarios por mes.

La variable antigüedad es evaluada a partir del año de instalación de los medidores al 2012.

6.4. Distribución en el tiempo de medidores a verificar

La cantidad total de medidores instalados a los usuarios de DEOCSA es de 841 645. Considerando que el Artículo 65 de las NTSD establece que debe verificarse 1 medidor cada 5 000 usuarios por mes, se tiene que la cantidad de verificaciones mensuales debe ser al menos de 168 (1 080 en el semestre). El plan de muestreo propuesto considera la verificación de 168,5 medidores (1 011 en el semestre), es decir, cumple con lo que exigen las NTSD.

6.5. Sorteo de la muestra de cada lote

La identificación de los elementos de la muestra se obtiene escogiendo al azar los medidores en cada lote de estudio.

A los efectos de prever elementos de muestra (medidores) sustitutos que permitan solucionar inconvenientes en las etapas siguientes (el medidor no está en la ubicación indicada, inaccesibilidad, resistencia del usuario a la realización de los ensayos *in situ*, baja del usuario, medidores con defectos mecánicos o

eléctricos atípicos, medidores golpeados con señales de daño intencional, entre otros.), se recomienda sortear una cantidad de medidores igual al 20 % de la cantidad de medidores que se requiere verificar en cada lote.

6.6. Plan de verificación de medidores

La verificación propuesta se realiza utilizando un plan de muestreo, dada la cantidad de medidores por lote, que tal como fuera indicado anteriormente, permitirá dar cumplimiento a las exigencias establecidas en el Artículo 65, donde define que: “se considerará que un Lote no cumple con las exigencias establecidas si más del cinco por ciento de la muestra no cumple con las normas de fabricación correspondientes”, siendo estas las detalladas en la tabla XIII.

6.7. Caso práctico de aplicación de la metodología desarrollada

Con la finalidad de mostrar la aplicación de la metodología para la verificación de medidores, expuesta en el presente trabajo, se tomó como caso práctico un lote de medidores. Las características del mismo se detallan en la tabla XV.

Tabla XV. **Características de lote de medidores caso práctico**

Usuarios	<11 kW
Clase de exactitud	2
Antigüedad (años)	13
Corriente de prueba (amperios)	15
Voltaje (Voltios)	120
marca	ABB
Tipo	Electromecánico
Total (Medidores instalados)	115

Fuente: elaboración propia.

6.7.1. Tamaño de la muestra

El lote de estudio está conformado por un total de 115 medidores, por lo que, de la tabla XIX le corresponde el código de letra D, con un nivel de Inspección General I. Luego, en la segunda columna de la tabla XX se obtiene el tamaño de la muestra, el cual para un Nivel Aceptable de Calidad de 4 % es de 8 medidores. De dicha tabla también se obtiene la cantidad de medidores defectivos para aceptar o para rechazar el lote que corresponda. Lo anterior en función del Nivel de Calidad Aceptable deseado, para fines de este trabajo se utilizará un valor de 4 %.

6.7.2. Criterio de aceptación y rechazo

En la siguiente tabla se resume lo desarrollado en el apartado anterior, observando lo siguiente: para que el lote de estudio se considere como aceptable, la cantidad de medidores defectuosos no podrá mayor a 1 medidor.

Se considera como medidor defectuoso cuando la característica medida, error en la medición del consumo de energía, se encuentra fuera de la tolerancia establecida por norma, la cual depende del índice de clase del medidor, en este caso Clase 2.

Tabla XVI. **Detalle de método de muestreo para lote de estudio**

Identificación del Lote	Tamaño del Lote	Código de Letra de Tamaño de la Muestra	Tamaño de la Muestra	Cantidad de Elementos (medidores) Defectivos	
				Aceptación (C)	Rechazo
37	115	D	8	1	2

Fuente: elaboración propia.

6.7.3. Sorteo de la muestra

Para el presente caso, el lote de medidores en estudio está conformado por un total de 115 medidores, de acuerdo a la metodología desarrollada en el presente trabajo a dicho lote le corresponde una muestra de 8 medidores. La identificación de los medidores de la muestra se produjo escogiendo de forma aleatoria los medidores del lote. A continuación se detalla la información de la muestra obtenida.

Tabla XVII. **Muestra de medidores lote de estudio**

No	Número de Medidor	Tarifa del servicio	Marca	Tipo	Clase
1	92081	Baja Tensión Simple	ABB	Electromecánico	2
2	92297	Baja Tensión Simple	ABB	Electromecánico	2
3	92083	Baja Tensión Simple	ABB	Electromecánico	2
4	990059229	Baja Tensión Simple	ABB	Electromecánico	2
5	92223	Baja Tensión Simple	ABB	Electromecánico	2
6	990025216	Baja Tensión Simple	ABB	Electromecánico	2
7	84540937	Baja Tensión Simple	ABB	Electromecánico	2
8	990056368	Baja Tensión Simple	ABB	Electromecánico	2

Fuente: elaboración propia.

6.7.4. Verificación de la muestra

Con el objetivo de llevar a la práctica la metodología desarrollada en el presente trabajo se utilizó, para la verificación de los medidores de la muestra detallada anteriormente, un equipo patrón de medidores de energía marca ProbeWell, modelo MT-1 NT, precisión 0,075 %, el cual es un Sistema Portátil Probador de medidores monofásicos auto-contenidos. Dicho equipo incluye terminal manual de control remoto, base tipo S (receptáculo adaptador) y estuche de transporte.

Este equipo tiene la habilidad de ajustar cualquier corriente regulada de prueba hasta 50 amperes, incluyendo corrientes estándar preestablecidas tales como LL, HL y factor de potencia de 0,5 en atraso, para medidores clase 10, 20, 100, 200 y 320 amperios. En la figura 15 se observa una fotografía al momento de la utilización del equipo.

Figura 15. **Utilización de equipo patrón portátil**



Fuente: Archivo Comisión Nacional de Energía Eléctrica

En el anexo del presente trabajo, se detalla el archivo fotográfico de las verificaciones realizadas a la muestra de medidores.

Para llevar a cabo la actividad se utilizó el siguiente equipo de protección personal:

- Lentes de protección
- Casco dieléctrico
- Guantes dieléctricos 600 Voltios

6.7.4.1. Procedimiento a seguir

A. Informar al usuario sobre la actividad a realizar.

- B. Informar al usuario que debe desconectar su carga por medio de su interruptor principal o medio de desconexión más próximo a la acometida.
- C. Toma de datos de la instalación y medidor.
- D. Inspección visual del medidor y precintos.
- E. Tomar fotos de estado de la instalación y precintos instalados.
- F. Medición de voltaje y corriente.
- G. Retirar precintos instalados.
- H. Conexión del medidor patrón.
- I. Verificar que el tipo de conexión de medidor patrón coincide con el tipo de servicio del medidor a verificar.
- J. Programar los puntos de prueba en el medidor patrón.
- K. Realizar el proceso de prueba con el medidor patrón
- L. Efectuar pruebas de Baja Carga y Plena Carga.
- M. Desconexión y retiro del medidor patrón.
- N. Conexión de la alimentación y carga del medidor.
- O. Precintado de la tapa bornera, en el caso que el medidor no posea precintos en la carcasa instalar precintos.
- P. Tomar fotografías del medidor instalado y precintos instalados.
- Q. Comunicar al usuario que se ha finalizado la verificación, que puede reconectar su carga. Verificar que ha quedado con servicio.

6.7.4.2. Error representativo de cada medidor verificado

Con la información obtenida en el punto anterior, se procede a la determinación de los errores de medición teniendo en cuenta la energía registrada por el medidor patrón y la energía del medidor en contraste de cada usuario sorteado.

Luego, para cada elemento de la muestra, dentro de cada grupo de estudio, se calcula el error de medida para cada ensayo con la ec. 5,1.

$$e\% = \frac{E_c - E_f}{E_f} * 100 = \left(\frac{E_c}{E_f} - 1 \right) * 100$$

El error representativo de cada medidor resultará del promedio simple de los errores alcanzados en cada ensayo.

El equipo utilizado tiene la característica de realizar de forma automática el cálculo de la ecuación anterior y dar el resultado del error para las dos pruebas evaluadas, siendo estas la prueba de baja carga y la prueba de plena carga.

Para fines prácticos no se consideran los errores sistemáticos ni aleatorios.

6.7.5. Interpretación de resultados

Como resultado de la ejecución de la propuesta de metodología para la verificación de medidores de energía eléctrica de uso residencial a un lote de medidores el resultado mostrado en la siguiente tabla.

Tabla XVIII. **Resultado caso práctico de aplicación de la metodología desarrollada**

No	Número de Medidor	Error prueba Baja Carga	Error prueba Alta Carga	Resultado
1	92081	No permitieron realizar la prueba		No se puede determinar
2	92297	-1,35	0,11	Buen estado
3	92083	-0,26	0,1	Buen estado
4	990059229	-43,38	-2,60	Defectuoso
5	92223	-2,62	-1,51	Defectuoso
6	990025216	1,01	1,58	Buen estado
7	84540937	Medidor no encontrado		No se puede determinar
8	990056368	-1,08	-3	Defectuoso

Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior se observa que, para el lote en estudio existe un total de tres medidores que se consideran defectuosos ya que la característica medida, error en la medición del consumo de energía, se encuentra fuera de la tolerancia establecida por norma en alguna de las dos pruebas realizadas: baja carga o plena carga, la cual depende del índice de clase del medidor, en este caso clase 2, es decir que el error en la medición del consumo de energía no podrá ser mayor a ± 2 %.

El número máximo de medidores fuera de tolerancia para que el lote sea aceptado es de 1 medidor, el resultado de la verificación es de que un total de 3 medidores se encuentran defectuosos, debido a que dichos medidores superaron la tolerancia de error en una o varias de las pruebas realizadas, por lo que se puede concluir que el lote 37 debe ser considerado como rechazado.

Las NTSD establecen que en el caso que un lote se encuentre fuera de tolerancia, es decir que no es aceptado por el plan de muestreo (NCA= 4 %), la CNEE podrá solicitar que la totalidad de medidores que conforman el lote sean retirados, en este caso dichos lotes podrán ser desechados o destruidos.

Los medidores identificados con los números 92081 y 84540937 no pudieron ser verificados, para el caso del primer medidor el usuario, en el cual se encuentra instalado el medidor correspondiente, no permitió realizar la verificación. Para el caso del medidor número 84540937, no fue posible ubicar el inmueble en el cual se encuentra instalado el mismo.

Es importante indicar que la no verificación de estos dos medidores no altera el resultado de rechazo del lote en estudio, ya que existen medidores verificados que se encuentran fuera de tolerancia.

6.7.6. Verificación en laboratorio

A continuación se presenta el procedimiento propuesto para las verificaciones en laboratorio, en caso de que sea necesario o se requiera que la verificación no sea *in situ*.

6.7.6.1. Procedimiento

- A. Tomar los datos generales del medidor a comprobar.
- B. Observar el estado general del medidor, para determinar, previo a la comprobación, si presenta alguna condición que pueda afectarla. Tales como, vidrio roto, suciedad interna, alteraciones y otros.

- C. Retirar la cubierta de vidrio o polímero, según sea el caso, para que el medidor pueda ser comprobado en la máquina de comprobación. De ser necesario, se retira el precinto interno.
- D. Instalar el medidor a comprobar en la base de la máquina de comprobación (patrón). Se ajustan los parámetros y el lector de la máquina de comprobación de acuerdo a las características de medidor.
- E. Realizar las pruebas de Plena Carga y de Baja Carga.
- F. Tomar fotografía de la comprobación efectuada y se retira el medidor de la base de la máquina de comprobación.
- G. De acuerdo a lo observado en el punto b); si el medidor presenta alguna condición que pudiera interferir con la correcta medición de consumo, tales como vidrio roto, suciedad interna, alteraciones y otros, se procederá al punto h), de lo contrario se procederá con el punto i).
- H. Verificar el funcionamiento del resto de componentes del medidor, que de no funcionar correctamente, podrían interferir con la correcta medición del consumo.
- I. Colocar la cubierta retirada al medidor.

CONCLUSIONES

1. Los medidores de energía eléctrica, utilizados en Guatemala son en su mayoría del tipo electromecánicos.
2. Según la regulación actual en Guatemala, para el caso de usuarios residenciales, las distribuidoras de energía eléctrica son las responsables de la validación del proceso de medición, de la calidad y la confiabilidad de los datos producidos. De esta forma, las distribuidoras son también responsables de la verificación de equipos de medición.
3. La ausencia de una metodología que especifique que la verificación de medidores de energía eléctrica de uso residencial, que representan más del 99% de medidores instalados, deja al país en un atraso regulatorio en comparación con otros países de la región. Además que no asegura la validez de los resultados al establecer que sea la propia distribuidora quien deba realiza la verificación.
4. El método estadístico para la verificación de medidores de energía eléctrica en Guatemala, propuesto en el presente trabajo de graduación, es un muestreo por atributos, con un Nivel de Calidad Aceptable de 4 %, y un muestreo simple con un Nivel de Inspección General I.
5. Para el caso práctico evaluado se observó que el lote de estudio, según la metodología propuesta, se considera como rechazado ya que

el número de medidores fuera de tolerancia, es decir que sobrepasan los límites de error según su clase, es mayor a 1.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar la implementación de la metodología propuesta en el presente trabajo con el objetivo que sea considerada dentro de la revisión normativa guatemalteca.
2. Establecer en la regulación relacionada con las tolerancias de error de los medidores de energía eléctrica en Guatemala, que los límites de error en la exactitud del medidor estén en función del índice de clase de los mismos, y no en función de la potencia del usuario en el cual están instalados.
3. Regular que la verificación de medidores sea realizado por empresas especializadas para tal fin, y precalificadas por el ente regulador del servicio de distribución (CNEE).
4. Promover la acreditación de laboratorios de verificación de medidores de energía eléctrica que cumplan con las normas para dicho fin, ya que actualmente Guatemala carece de los mismos.
5. Que la CNEE realice una campaña de divulgación para promover las actividades de verificación de medidores residenciales, para dar a conocer al usuario que existe un control regulatorio a cerca de la medición de la energía eléctrica que consume.

6. Celebrar convenios institucionales para la realización de campañas de verificación entre la CNEE y la DIACO, en cumplimiento del marco legal vigente.
7. Evaluar la sustitución de medidores electromecánicos por electrónicos, ya que estos últimos presentan una mejor exactitud en el registro de energía eléctrica que los electromecánicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Administrador del Mercado Mayorista. *Habilitación comercial para operar en el mercado mayorista y sistema de medición comercial*. Guatemala: Administrador del Mercado Mayorista, 2007. 36 p.
2. _____. *¿Qué es el AMM?* [en línea]. <<http://www.amm.org.gt/index.html>> [Consulta: 2 de diciembre de 2012].
3. AEP Texas. *Medidores inteligentes*. [en línea]. <<https://espanol.aeptexas.com/save/SmartMeters>> [Consulta: 22 de noviembre de 2012].
4. Centro Nacional de Metrología; Dirección Sistema Nacional de la Calidad, Ministerio de Economía. *Procedimientos de muestreo y tablas para inspección por atributos, planes de muestra simple, doble y multiple, con rechazo*. NGR 4 011. Guatemala: Centro Nacional de Metrología, 1986. 89 p.
5. _____. *Sistema Internacional de Unidades SI*. NGO 4 010. Guatemala: Centro Nacional de Metrología, 1986. 13 p.
6. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). *Resolución CNEE-09-99, Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones (NTCSTS)*. Diario de Centro América 18 de noviembre de 1999, Guatemala. 92 p.

7. González López, Francisco. *Metrología*. Guatemala: [s.n.] 1998. 93 p.
8. Guatemala. Congreso de la República. Ley del Sistema Nacional de la Calidad: Acuerdo Gubernativo 145-2002, Decreto Número 78-2005.
9. Instituto Nacional de Electricidad de Nicaragua. *Normativa de Calidad del Servicio*. [en línea]. <<http://www.ine.gob.ni/DGE/normativas/NCalidad.pdf>> [Consulta: 15 de noviembre de 2012].
10. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España. *Materiales de referencia, utilización en laboratorio*. [en línea]. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_656.pdf> [Consulta 13 de diciembre de 2012].
11. *ISO 10017/TR: Informe técnico – Orientación sobre las técnicas estadísticas para la norma INTE – ISO 9007:2000*. Suiza: INTECO, 2003. 29 p.
12. *ISO 2859-1:2005: Procedimiento de muestreo para la inspección de atributos*. ICONTEC.
13. *ISO 2859-1:2005: Procedimiento de muestreo para las inspecciones lote por lote, tabulados según el nivel de calidad aceptable (NCA)*. ICONTEC.

14. MARCOBO KARCZ, Andrés. *Fundamentos de metrología eléctrica*. México: Marcombo Boixareu Editores, 1975. 257 p.
15. MARBÁN, Rocío; PELLECCER, Julio. *Metrología para no-metrólogos*. 2a ed. Guatemala: Producción y Servicios Incorporados, 2002. 129 p.
16. Oficina Guatemalteca de Acreditación. *La Acreditación en Guatemala*. [en línea]. <http://www.cegesti.org/agace/guatemala/2_OGA_Brief_020306.pdf> [Consulta: 11 de noviembre de 2012].
17. Radian Research. *Patrones de verificación*. [en línea]. <<http://www.radianresearch.com/products/RD-21.php>> [Consulta: 28 de diciembre de 2012].
18. ROJAS CASTILLO, Jorge Antonio. *Verificaciones de las instalaciones oficiales de medición comercial de los participantes del mercado mayorista de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2009. 152 p.
19. UMAÑA AGUILAR, Amilcar. *Confirmación metrológica de patrones de Referencia del laboratorio de metrología Eléctrica del centro de investigaciones de Ingeniería como fase preparatoria para el Proceso de acreditación*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2009. 119 p.

ANEXOS

Código de Letras de Tamaño de Muestra

Tamaño de lote			NIVEL DE INSPECCION ESPECIAL				NIVEL DE INSPECCION GENERAL		
			S - 1	S - 2	S - 3	S - 4	I	II	III
2	a	8	A	A	A	A	A	A	B
9	a	15	A	A	A	A	A	B	C
16	a	25	A	A	B	B	B	C	D
26	a	50	A	B	B	C	C	D	E
51	a	90	B	B	C	C	C	E	F
91	a	150	B	B	C	D	D	F	G
151	a	280	B	C	D	E	E	G	H
281	a	500	B	C	D	E	F	H	J
501	a	1200	C	C	E	F	G	J	K
1201	a	3200	C	D	E	G	H	K	L
3201	a	10000	C	D	F	G	J	L	M
10001	a	35000	C	D	F	H	K	M	N
35001	a	150000	D	E	G	J	L	N	P
150001	a	500000	D	E	G	J	M	P	Q
500001	y	mas	D	E	H	K	N	Q	R

Fuente: COGUANOR NGR 4 011

Plan de Muestreo Unitario para Inspecciones Normales (Tabla Maestra)

Tamaño de muestra en código de letra	Tamaño de muestra	NIVEL ACEPTABLE DE CALIDAD (AQL) - INSPECCION NORMAL																										
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000	
A	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
C	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
D	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
E	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
F	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
G	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
H	50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
J	80	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
K	125	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
L	200	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
M	315	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
N	500	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
P	800	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Q	1250	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
R	2000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

Fuente: COGUANOR NGR 4 011

Porción de lotes de medidores DEOCSA de mayor tamaño

Lote	Cantidad	Marca	Tipo	Precisión	Antigüedad	Norma
175	64 156	LANDIS & GYR	Electromecánico	2	5	ANSI
60	60 125	ABB	Electromecánico	2	11	ANSI
205	57 358	NANSEN	Electromecánico	2	11	ANSI
48	56 558	ACTARIS	Electromecánico	1	3	IEC
176	48 410	LANDIS & GYR	Electromecánico	2	7	ANSI
93	47 476	ELSTER	Electromecánico	2	5	ANSI
94	40 781	ELSTER	Electromecánico	2	7	ANSI
204	36 163	NANSEN	Electromecánico	2	9	ANSI
206	28 553	NANSEN	Electromecánico	2	13	ANSI
315	25 901	TECUN	Electromecánico	2	3	ANSI
47	25 213	ACTARIS	Electromecánico	1	1	IEC
230	23 205	OSAKI	Electromecánico	2	5	IEC
59	21 059	ABB	Electromecánico	2	9	ANSI
207	19 640	NANSEN	Electromecánico	2	15	ANSI
208	19 503	NANSEN	Electromecánico	2	17	ANSI
95	15 639	ELSTER	Electromecánico	2	9	ANSI
53	15 053	OSAKI	Electrónico	1	1	IEC
54	13 623	ITRON	Electrónico	1	1	IEC
290	12 147	SCHLUMBERGER	Electromecánico	2	13	ANSI
91	11 856	ELSTER	Electromecánico	2	1	ANSI
209	11 682	NANSEN	Electromecánico	2	19	ANSI
92	11 481	ELSTER	Electromecánico	2	3	ANSI
229	11 050	OSAKI	Electromecánico	2	3	IEC
51	10 853	HENNK METERING	Electrónico	1	1	IEC
50	10 678	ELSTER	Electrónico	1	1	IEC
174	10 561	LANDIS & GYR	Electromecánico	2	3	ANSI
203	8 278	NANSEN	Electromecánico	2	7	ANSI
141	6 618	GENERAL ELECTRIC	Electromecánico	2	15	ANSI
140	6 030	GENERAL ELECTRIC	Electromecánico	2	13	ANSI
210	5 277	NANSEN	Electromecánico	2	21	ANSI
202	5 189	NANSEN	Electromecánico	2	5	ANSI
211	4 971	NANSEN	Electromecánico	2	23	ANSI

Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica

Porción de Lotes de medidores EEGSA de mayor tamaño

Lote	Cantidad	Marca	Tipo	Precisión	Año de fabricación	Norma
1.4.07	37 228	NANSEN	Electromecánico	2	1993	ANSI
2.30	28 280	ABB	Electromecánico	2	2000	ANSI
2.06	24 726	GENERAL ELECTRIC	Electromecánico	2	1998	ANSI
2.27	24 374	GENERAL ELECTRIC	Electromecánico	2	1999	ANSI
2.38	22 213	LANDIS & GYR	Electromecánico	2	2001	ANSI
5.6.4	22 000	ELSTER	Electromecánico	2	2004	ANSI
1.2.21	20 395	GENERAL ELECTRIC	Electromecánico	2	1978	ANSI
10.6	20 000	STAR INSTRUMENT	Electrónico	0.2	2011	ANSI
6.1	20 000	LANDIS & GYR	Electromecánico	2	2005	ANSI
6.6	20 000	ELSTER	Electromecánico	2	2006	ANSI
7.7.1	18 566	ELSTER	Electromecánico	2	2006	ANSI
1.3.15	18 039	GENERAL ELECTRIC	Electromecánico	2	1990	ANSI
7.13	17 856	ELSTER	Electromecánico	2	2006	ANSI
1.3.19	16 988	SANGAMO	Electromecánico	2	1989	ANSI
1.4.21	15 159	GENERAL ELECTRIC	Electromecánico	2	1995	ANSI
3.17	15 000	LANDIS & GYR	Electromecánico	2	2001	ANSI
4.8.1	15 000	GENERAL ELECTRIC	Electromecánico	2	2002	ANSI
1.3.03	13 001	GENERAL ELECTRIC	Electromecánico	2	1984	ANSI
2.26	12 482	ABB	Electromecánico	2	1999	ANSI
4.8	12 000	GENERAL ELECTRIC	Electromecánico	2	2002	ANSI
5.7	12 000	ELSTER	Electromecánico	2	2004	ANSI
7.10	12 000	ELSTER	Electromecánico	2	2006	ANSI
7.6	12 000	ELSTER	Electromecánico	2	2006	ANSI
6.2.4	11 783	ELSTER	Electromecánico	2	2005	ANSI
4.2	11 090	ABB	Electromecánico	2	2003	ANSI
5.11	11 000	ELSTER	Electromecánico	2	2003	ANSI
7.11	11 000	ELSTER	Electromecánico	2	2006	ANSI
5.10	10 600	GENERAL ELECTRIC	Electromecánico	2	2003	ANSI
1.4.11	10 258	NANSEN	Electromecánico	2	1993	ANSI
10.5	10 000	STAR INSTRUMENT	Electrónico	0.2	2010	ANSI
10.5.1	10 000	STAR INSTRUMENT	Electrónico	0.2	2010	ANSI
10.5.2	10 000	STAR INSTRUMENT	Electrónico	0.2	2011	ANSI

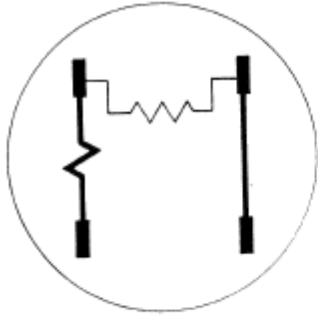
Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica

Características técnicas del equipo patrón portátil

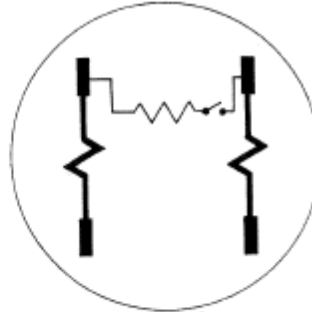
Descripción
Verifica formas 1S, 2S, 3S, 12S
Mantiene el servicio mientras la prueba está en proceso y el probador es insertado en la base del medidor
La corriente de prueba puede ser generada de 0.25 a 50.0 Amperios. Además, se pueden programar anticipadamente cargas de HL, LL y PF para cada forma y subir automáticamente cuando el medidor se inserta y se energiza
El probador puede soportar el peso del medidor cuando se inserta en la base del medidor
Los valores de Kh pueden ser ajustados a cualquier valor
Las revoluciones para cada prueba de HL, LL y PF pueden ser ajustadas a cualquier valor de 0 a 99
La pantalla LCD mostrará la carga de prueba, el voltaje de línea, la Kh, las revoluciones, los Watts, Watthoras y el tiempo de duración de la prueba en segundos
Las pruebas pueden ser corridas en modos manual y automático
Los resultados de las pruebas pueden ser exhibidos ya sea en porcentaje de error o de registración
La calibración del patrón de watthoras puede ser verificada con cualquier patrón primario o secundario
El cable de interconexión entre el receptáculo y la terminal remota se considera parte intrínseca del equipo
El estuche de protección y transporte del equipo es parte intrínseca del equipo

Fuente: <http://www.radianresearch.com/products/RD-21.php>, Consulta: 11-2012.

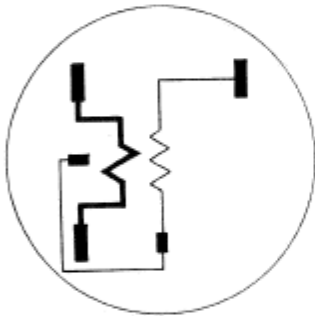
Conexiones internas de medidores forma S



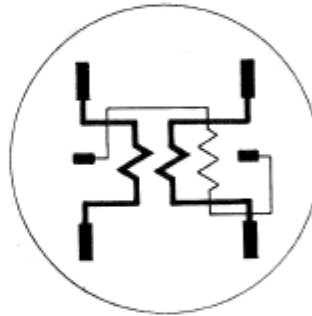
Forma 1S



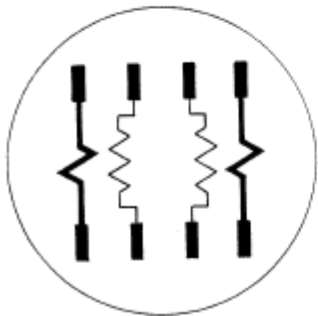
Forma 2S



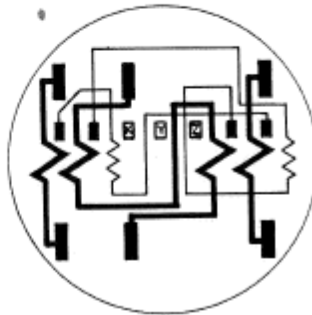
Forma 3S



Forma 4S



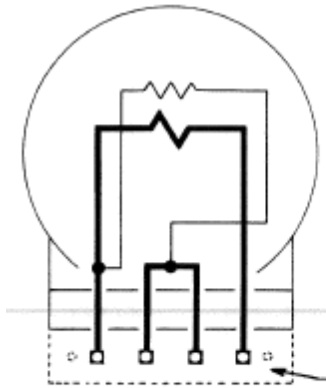
Forma 5S



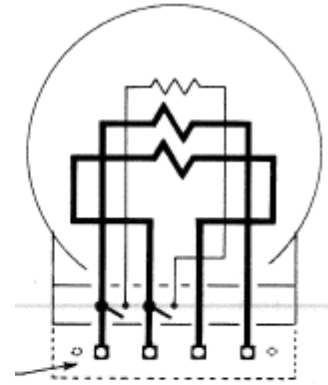
Forma 6S

Fuente: Edison Electric Institute, Handbook for Electricity Meters, p. 366.

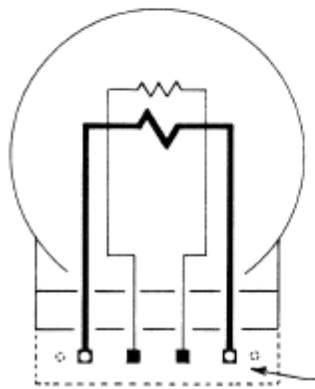
Conexiones internas de medidores, forma A



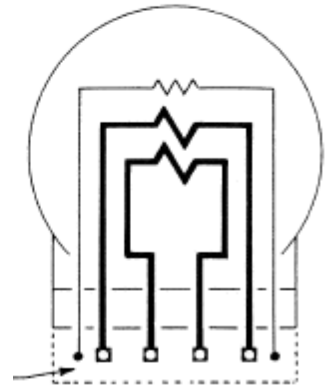
Forma 1A



Forma 2A








Forma 3A







Forma 4A

Fuente: Edison Electric Institute, Handbook for Electricity Meters, p. 371.

Archivo fotográfico verificación a medidores caso práctico

Número de Medidor	Fotografía del Medidor	Fotografía al momento de la verificación
92081		No se permitió la verificación
92297		
92083		

<p>990059229</p>		
<p>92223</p>		
<p>990025216</p>		
<p>84540937</p>	<p>Medidor no encontrado</p>	

990056368



Fuente: Archivo Comisión Nacional de Energía Eléctrica