



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

**ANÁLISIS DEL CONSUMO PROPIO DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA,
UTILIZADOS EN UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA, EN LOS DEPARTAMENTOS DE:
GUATEMALA, ESCUINTLA Y SACATEPÉQUEZ**

Pedro Domingo Esquina Cosigua

Asesorado por el Ing. Arturo Alejandro Cruz Castro

Guatemala, agosto de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL CONSUMO PROPIO DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA,
UTILIZADOS EN UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA, EN LOS DEPARTAMENTOS DE:
GUATEMALA, ESCUINTLA Y SACATEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

PEDRO DOMINGO ESQUINA COSIGUA

ASESORADO POR EL ING. ARTURO ALEJANDRO CRUZ CASTRO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés De La Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera de López

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:

**ÁNÁLISIS DEL CONSUMO PROPIO DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA,
UTILIZADOS EN UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA, EN LOS DEPARTAMENTOS DE:
GUATEMALA, ESCUINTLA Y SACATEPÉQUEZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 07 de agosto de 2018.

Pedro Domingo Esquina Cosigua

Guatemala, 25 de enero de 2020

Ingeniero
José Aníbal Silva De Los Ángeles
Coordinador del Área de Electrotecnia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Silva:

Por medio de la presente, me dirijo a usted para presentarle el trabajo de graduación elaborado por el estudiante Pedro Domingo Esquina Cosigua, con número de carné 200715070, titulado: "ANÁLISIS DEL COSNUMO PROPIO DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA, UTILIZADOS EN UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA, EN LOS DEPARTAMENTOS DE: GUATEMALA, ESCUINTLA Y SACATEPÉQUEZ", el cual he asesorado y revisado.

Por lo que considero que dicho trabajo de graduación reúne los requisitos establecidos y doy la aprobación de este.

Atentamente,


Asesor

Arturo Alejandro Cruz Castro
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 9331

Arturo Alejandro Cruz Castro
INGENIERO ELECTRICISTA
Colegiado No. 9,331

REF. EIME 12022021b
12 Febrero 2021

Señor Director
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

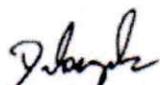
Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado en modalidad de tesis: **ANÁLISIS DEL CONSUMO PROPIO DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA, UTILIZADOS EN UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA, EN LOS DEPARTAMENTOS DE: GUATEMALA, ESCUINTLA Y SACATEPÉQUEZ.**, del estudiante; Pedro Domingo Esquina Cosigua con numero de carnet 1998246300719, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

JOSE ANIBAL SILVA DE LOS ANGELES
ING ELECTRONICO
COLEGIADO No 5067


Ing. José Anibal Silva de los Angeles
CC. Básicas Y Electrotecnia





REF. EIME 79. 2021.

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; PEDRO DOMINGO ESQUINA COSIGUA titulado; ANÁLISIS DEL CONSUMO PROPIO DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA, UTILIZADOS EN UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA, EN LOS DEPARTAMENTOS DE: GUATEMALA, ESCUINTLA Y SACATEPQUEZ, procede a la autorización del mismo.


Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 22 DE ABRIL 2,021.

DTG. 340-2021

La Decana 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: **ANÁLISIS DEL CONSUMO PROPIO DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA, UTILIZADOS EN UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA, EN LOS DEPARTAMENTOS DE: GUATEMALA, ESCUINTLA Y SACATEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario: **Pedro Domingo Esquina Cosigua**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, agosto de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Fuente de sabiduría, amor, fortaleza a mi vida y su fidelidad para culminar mi carrera universitaria.
- Mis padres** Francisco Esquina Tziná y Rosa Cosigua Mejía. Por su amor, ideas, consejos y apoyo incondicional, en cada etapa de mi vida.
- Mi esposa** Dolores Ramírez. Por su apoyo, amor y comprensión en la etapa universitaria.
- Mi hijo** Jeremy Esquina. Por esos abrazos, soporte emocional, confianza y amor.
- Mis hermanos** Dalila, Sheny, Nicol y Juan Equina Cosigua, por sus ánimos, apoyo y hermandad brindada en todos los días de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por la oportunidad de ser parte de ella y los conocimientos adquiridos en sus recintos.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera, y formarme académicamente como profesional.
Mis amigos de la Facultad	Muchos nombres que mencionar, pero a todos gracias por la amistad y compañerismo brindado.
Ing. Arturo Cruz	Por su apoyo y asesoría para cumplir una meta más, que es este documento.
Amigos y compañeros de trabajo	Personas especiales a quienes agradezco por sus enseñanzas, compañerismo y amistad brindada para mi formación profesional y como persona.
Farmer To Farmer	Por su apoyo brindado, como institución.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. EL MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA	1
1.1. Breve historia del medidor de energía eléctrica.....	1
1.2. El medidor electromecánico	3
1.3. El medidor de estado sólido (electrónicos)	14
1.4. Medidor de energía para <i>Smart Grid</i>	19
2. NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	21
2.1. Ley y normas nacionales.....	21
2.1.1. Ley General de Electricidad.....	22
2.1.2. Reglamento de la Ley General de Electricidad.....	23
2.1.3. Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD)	24
2.2. Normas internacionales.....	25
2.2.1. Norma COGUANOR NTG-ISO-IEC17025.....	25
2.2.2. Norma ANSI C12.1	26
2.2.3. Norma ANSI C12.10.....	27
2.2.4. Norma ANSI C12.20.....	28

3.	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	31
3.1.	Trazabilidad de los equipos utilizados para las pruebas	33
3.2.	Pruebas del consumo propio de medidores de energía eléctrica.....	35
3.2.1.	Medición de voltaje y corriente en medidores según su tipo	35
3.3.	Comparación de pérdidas entre diferentes tipos y marcas de medidores, basado en los ensayos realizados en el laboratorio	40
3.3.1.	Ensayos y resultados de medidores forma 1S	41
3.3.2.	Ensayos y resultados de medidores forma 2S	44
3.3.3.	Ensayos y resultados de medidores forma 25S	48
3.3.4.	Ensayos y resultados de medidores forma 16S	49
3.3.5.	Ensayos y resultados de medidores forma 9S	54
3.4.	Análisis económico por cantidad de medidores de energía utilizados en una distribuidora de energía.....	57
3.4.1.	Costo de la electricidad según pliego tarifario	57
3.4.2.	Costo promedio de la electricidad, formas de medidor aplicable	62
3.4.3.	Cálculo de pérdidas en energía y quetzales.....	63
4.	PROCEDIMIENTO DE HOMOLOGACIÓN DE UN MEDIDOR DE ENERGÍA.....	67
4.1.	Pruebas requeridas del medidor	67
4.2.	Clase de exactitud.....	69
4.3.	Resultados de las pruebas del medidor	69
4.4.	Auditoria de fabricación.....	69

5.	PÉRDIDAS EN MEDIDORES UTILIZADOS PARA <i>SMART GRID</i>	71
5.1.	Red <i>Smart Grid</i>	72
5.2.	Elementos determinantes	72
5.3.	Consecuencia del uso de medidores inteligentes, respecto a las pérdidas de energía en la red de distribución.	73
5.4.	Comparación de pérdidas de medidor forma 9S normal y forma 9S inteligente.....	75
5.4.1.	Ensayos y resultados de medidores forma 9S para medición inteligente.....	76
	CONCLUSIONES	81
	RECOMENDACIONES	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	85
	APÉNDICES	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Medidor de energía eléctrica de Edison.....	2
2.	Carátula de características.....	5
3.	El Registro (vista de frente).....	6
4.	El Registro (vista de engranajes)	7
5.	Disco y pivotes (montados en su base).....	8
6.	Bobina de voltaje.....	9
7.	Bobina de corriente	10
8.	Bobinas de voltaje y corriente (montado en sus bases)	10
9.	Imán de frenado	11
10.	Terminales de conexión (montados en su base).....	12
11.	Cubierta.....	13
12.	Protección voltaje alto	14
13.	Medidor electrónico trifásico.....	15
14.	Transformador de corriente interno de medidor	16
15.	Fuente de voltaje con transformador.....	17
16.	Fuente de voltaje sin transformador.....	17
17.	Placa de características	18
18.	Medidor de energía eléctrica, fabricado bajo norma IEC.	32
19.	Medidor de energía eléctrica, fabricado bajo norma ANSI.	32
20.	Equipo para generar corriente y voltaje, de los ensayos realizados	34
21.	Equipo auxiliar para medir corrientes y voltaje, de las pruebas realizadas.....	34
22.	Diagrama medidor forma 1S.	36

23.	Diagrama medidor forma 2S.....	37
24.	Diagrama medidor forma 12S / 25S.....	38
25.	Diagrama medidor forma 16S.....	39
26.	Diagrama medidor forma 9S.....	40
27.	Estructura de mercado distribuidora	63
28.	Estructura de facturación de la distribuidora	64
29.	Medidor inteligente con su cubierta	74
30.	Medidor inteligente con sus tarjetas electrónicas	74
31.	Medidor inteligente con opción de conexión y desconexión remota	75

TABLAS

I.	Marca de medidores	41
II.	Resultados pruebas de voltaje forma 1S	41
III.	Resultados pruebas de corriente forma 1S.....	43
IV.	Resultados pruebas de voltaje forma 2S	44
V.	Resultados pruebas de corriente forma 2S.....	46
VI.	Resultados pruebas de voltaje forma 25S	48
VII.	Resultados pruebas de corriente forma 25S.....	49
VIII.	Resultados pruebas de voltaje forma 16S	50
IX.	Resultados pruebas de corriente forma 16S.....	52
X.	Resultados pruebas de voltaje forma 9S	54
XI.	Resultados pruebas de corriente forma 9S.....	56
XII.	Pliego tarifario, febrero a abril 2019.....	58
XIII.	Pliego tarifario, mayo a julio 2019.....	59
XIV.	Pliego tarifario, agosto a octubre 2019	60
XV.	Pliego tarifario, noviembre 2019 a enero 2020	61
XVI.	Costo promedio, según valor en pliego tarifario.....	62

XVII.	Costo anual de las pérdidas en medidores por consumo propio, clasificación residencial.....	65
XVIII.	Costo anual de las pérdidas en medidores por consumo propio, clasificación comercial.....	65
XIX.	Costo anual de las pérdidas en medidores por consumo propio, clasificación industrial.....	66
XX.	Resultados pruebas de Voltaje forma 9S inteligentes	76
XXI.	Resultados pruebas de corriente forma 9S inteligentes	78

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Kh	Constante que indica la cantidad de energía eléctrica en watt hora, por cada revolución de disco para medidores electromecánicos o pulso en medidores electrónicos
f	Frecuencia
Hz	Hertz
kVA	Kilovolt-amperios
kW	Kilo <i>Watt</i>
kWh	Kilo <i>Watt</i> hora
Kilo	Prefijo utilizado para indicar una magnitud de mil
CT	Transformador de corriente
VA	Volt-amperio
VAC	Voltios de corriente alterna
VArh	Volt-amperio reactivo hora
W	<i>Watts</i>
Wh	<i>Watt</i> hora

GLOSARIO

<i>AMI</i>	Advanced Metering Infrastructure, Infraestructura avanzada de medición.
<i>ANSI</i>	American National Standards Institute.
BTDfp	Baja Tensión con Demanda fuera de punta.
BTDp	Baja Tensión con Demanda en Punta.
BTS	Baja Tensión Simple.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala S.A.
Fase	Conductor de corriente eléctrica.
<i>IEC</i>	International Electrotechnical Commission (Sistema Europeo).
<i>ISO</i>	International Organization for Standardization.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.

METRIC	Laboratorio de Calibración Metric.
MTDfp	Media Tensión con Demanda fuera de punta.
MTDp	Media Tensión con Demanda en punta.
Neutro	Conductor de referencia para el voltaje del sistema eléctrico bajo análisis.
<i>NIST</i>	National Institute of Standards and Technology.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca.
NTSD	Normas Técnicas del Servicio de Distribución.
OGA	Oficina Guatemalteca de Acreditación.
VAD	Valor Agregado de Distribución.

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta un análisis respecto al consumo propio de medidores de energía eléctrica, lo cual inicia con unos aspectos generales sobre los medidores, incluyendo imágenes de su construcción. Se hace una descripción detallada de cada parte de este, con la finalidad de obtener más información de los medidores previo a realizarles pruebas.

Se hace una descripción de las normas internacionales y nacionales que regulan la fabricación, calibración y la utilización de medidores en los departamentos de interés de este documento.

En el capítulo tres se encuentran las pruebas realizadas en un laboratorio de calibración acreditada bajo la norma COGUANOR NTG ISO/IEC 17025:2017¹, dado que las normativas exigen un ambiente controlado en temperatura y humedad, los datos de pruebas son presentadas en las tablas para tener presente los valores obtenidos. En el mismo capítulo se hace un análisis económico del consumo propio de los medidores, las cuales al final son pérdidas para la distribuidora y llegan a formar parte del valor agregado de distribución, el cual es considerado en el cobro de la energía utilizada por cada usuario de la red.

En los capítulos posteriores se presenta un procedimiento de homologación de medidor para la distribuidora o ente interesado, se incluye un capítulo que

¹ Ministerio de Economía. Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG ISO/IEC 17025:2017*. <https://sisoyyomismo.files.wordpress.com/2012/07/coguanor-ngt-17025-2005-version-oficial.pdf>.

trata sobre pérdidas en medidores utilizados para *Smart Grid*, o red de distribución inteligente.

OBJETIVOS

General

Analizar el consumo propio de diferentes tipos de medidores para la propuesta de mejoras en pérdidas de energía eléctrica, para beneficio de la distribuidora de energía y el usuario final.

Específicos

1. Comprobar el comportamiento en consumo propio de los medidores electromecánicos.
2. Evidenciar a través de ensayos, el consumo propio de los diferentes tipos de medidores de estado sólido (electrónicos).
3. Realizar un análisis del consumo propio de los medidores de energía eléctrica.
4. Elaborar un procedimiento para la homologación de medidores de energía eléctrica.

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores importantes para determinar el precio de la electricidad para el usuario final (residencial o industrial), son las pérdidas que tiene la distribuidora al momento de suministrar la energía eléctrica. Por tanto, las pérdidas de energía eléctrica que se da en la red de distribución afectarán el Valor Agregado de Distribución (VAD), debido que en el VAD la Comisión Nacional de Energía Eléctrica contempla “pérdidas medias de distribución separadas en sus componentes de potencia y energía”.

En la región Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez, existen varios tipos de medidores en uso, de los cuales su consumo propio representa pérdida de energía al momento de contemplar la cantidad de usuarios. Por lo tanto, el análisis que se presenta trata acerca de los consumos propios de los diferentes tipos de medidores en la región para determinar cuál es recomendable para reducir el índice de pérdidas y así favorecer tanto al usuario, como a la distribuidora. El análisis se realizó en el laboratorio de metrología METRIC en el cual se realizaron ensayos tanto de medidores electromecánicos como electrónicos. También se realizó un procedimiento de homologación de medidores, para el uso de estos que actualmente no se usan en la región y así apoyar a los usuarios que quisieran hacer uso de un medidor diferente, según considere necesario.

1. EL MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA

1.1. Breve historia del medidor de energía eléctrica

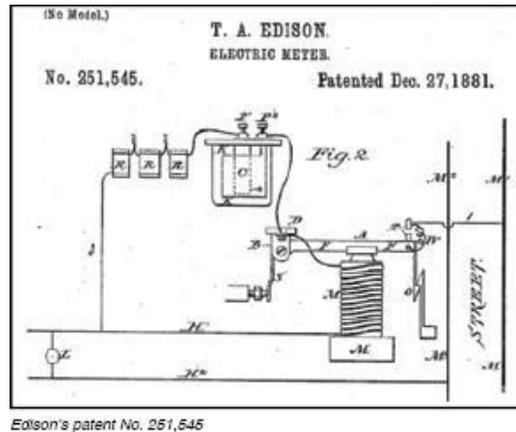
El medidor de energía eléctrica es un dispositivo capaz de medir la energía eléctrica que se consume en un determinado punto con interés comercial o control interno, como lo son residencias, industria, edificios, entre otros, siendo su unidad de medida básica el kWh².

El medidor eléctrico surge con la necesidad de comercializar la electricidad, por tanto, la necesidad de medirla, debido a que la distribución eléctrica inicia con corriente directa. El primer medidor de energía eléctrica fue inventado por Thomas Edison, dicho medidor es conocido como medidor electroquímico por la relación o interacción que tiene la electricidad con la química, siendo cuantificable. Inicialmente se cuantificaba la corriente eléctrica pesando los electrodos al inicio, también en la finalización del periodo de la facturación, otra forma de funcionamiento era introducir dos electrodos y una placa de cobre con un peso inicial, el cual se dejaba dentro del electrolito, al finalizar el tiempo de facturación se retiraba la placa (electrodo), se pesaba nuevamente, con el peso que la placa de cobre había perdido, se calculaba la corriente que había pasado en el servicio eléctrico del usuario, teniendo solo medidas de amperios horas; debido a que se tenía que pesar el cobre desprendido de la placa. Esta actividad se tenía que realizar frente al cliente, por lo que se volvió muy difícil su comercialización, además solo se podía utilizar en corriente directa³.

² PIETRO, Pol Bertran. *Thomas Edison: biografía y resumen de sus aportes a la ciencia*. <https://medicoplus.com/biografias/thomas-edison>.

³ *Ibíd.*

Figura 1. **Medidor de energía eléctrica de Edison**



Fuente: Smart Energy. *Historia del medidor*. www.smart-energy.com/top-stories/the-history-of-the-electricity-meter/3318/. Consulta: 20 de octubre 2018.

Después del medidor electroquímico, alrededor del año 1890, Elihu Thomson⁴ desarrolló el medidor de motor siendo el mismo, el primer medidor de vatios-hora, capaz de medir la energía eléctrica en corriente directa. Luego podía medir la corriente alterna, utilizando el principio de motor en derivación, el rotor era excitado por el voltaje a través de una bobina en serie con una resistencia y un conmutador, que provocaban un pequeño par sobre el disco colocado en el rotor, dicho par mínimo era compensado con imán para frenarlo, luego el estator era excitado por la corriente, generando así un par motor proporcional al producto del voltaje con la corriente que circulaba en el medidor, considerando el imán de frenado; con esto nace el principio de medidor de energía eléctrica por inducción.

En conjunto al medidor de Edison y Thomson también había otros inventos de medidores siendo uno de los más influyentes en la época el medidor de

⁴ Smart Energy. *Historia del medidor*. Disponible en: www.smart-energy.com/top-stories/the-history-of-the-electricity-meter/3318/.

Shallenberger en 1888 ⁵, dicho medidor era exclusivo para medir corriente alterna, media únicamente amperios-hora por lo que no resaltó como el medidor de Thomson, pero su influencia como medidor de inducción dio el inicio del medidor electromecánico que hoy en día es utilizado aun para medir la energía eléctrica.

1.2. El medidor electromecánico

Para los inicios de la comercialización de la energía eléctrica, se ha utilizado el medidor de inducción o electromecánico, el cual es un dispositivo que mide la energía en miles de vatios hora (kWh), en medidores trifásico se le ha agregado un sistema para la medición de la demanda o potencia máxima utilizada, la cual es medida en miles de vatios (kW).

Las características fundamentales del funcionamiento del medidor electromecánico son: tener dos bobinas, una para voltaje y otra para corriente, las cuales al combinarse sus campos magnéticos producen un par o torque en un disco (generalmente de aluminio), las cuales giran proporcional al voltaje y corriente que pasa por el medidor, dicho disco está conectado a engranajes mecánicos, que hacen mover las agujas o el ciclómetro para indicar la cantidad de energía que pasa por el medidor, las partes que conforman el medidor electromecánico son:

- Carátula de características

La carátula de características es donde se encuentran los datos importantes del medidor, en ella se encuentran los siguientes datos técnicos:

⁵ Smart Energy. *Historia del medidor*. Disponible en: www.smart-energy.com/top-stories/the-history-of-the-electricity-meter/3318/.

- El número de serie de fábrica, este dato es único para cada medidor, no se repite el mismo es asignado desde fabrica.
- Número de medidor, este dato es asignado por la compañía distribuidora de energía eléctrica, la cual no deberá repetirse en otro medidor, en el caso específico del área geográfica del análisis, esta identificación debe ser: una letra seguido de un guion y cinco números.
- Nombre de la empresa dueña del medidor o la distribuidora la cual no aparece en todos los tipos de medidores.
- Kh indica la cantidad de vatios que pasan en el medidor cuando el disco cumple un ciclo, este dato también es utilizado para la calibración o pruebas del medidor.
- Forma de conexión (indica el diagrama eléctrico), esto es una característica que determina cómo se debe conectar el medidor, también como deberá ir la acometida para el mismo.
- Clase de corriente (CL), esto indica la corriente máxima que soporta el medidor por fase en sus terminales.
- Nivel de tensión o voltaje, indica el nivel de voltaje nominal para la cual fue fabricado el medidor.
- Hilos o cables, (3 W) indica el número de cables necesarios en la acometida para el buen funcionamiento del medidor la cual está asociado a la forma de conexión.

- Frecuencia, indica la frecuencia nominal en la que el medidor funciona en condiciones óptimas, cabe mencionar que en el país (Guatemala) la frecuencia nominal de la red eléctrica es sesenta ciclos por segundo (60 Hz).
- Corriente de prueba (TA), esta característica indica la corriente nominal para poder realizar las pruebas de calibración al medidor según la norma ANSI C12.1 2001.
- Número de elementos, en algunos casos el medidor indica esta característica que es considerada un elemento; el conjunto de una bobina de voltaje y una bobina de corriente.

Figura 2. **Carátula de características**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

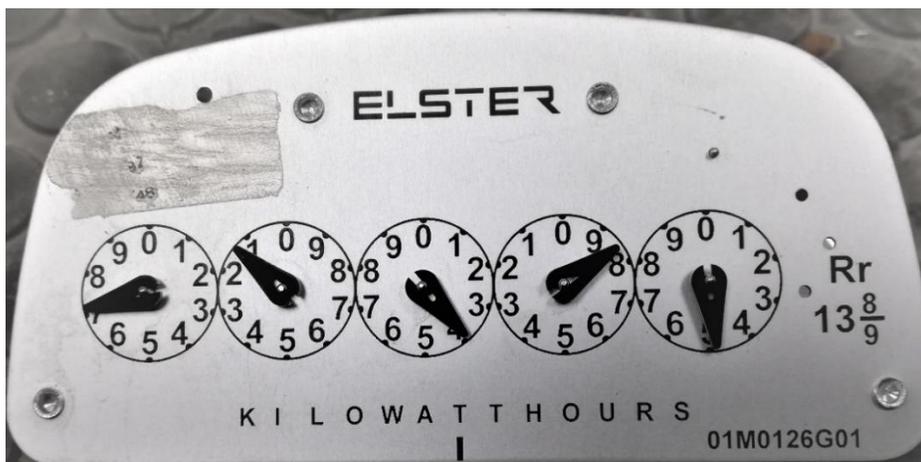
- **El registro**

En los medidores electromecánicos existe dos tipos de registro para la visualización del consumo en kWh. La primera es con agujas, la segunda es con dígitos (ciclómetro), este registro se forma principalmente del engranaje de la

relación de revoluciones (Rr) y es el engranaje que hace contacto mecánico con el eje del disco, este a su vez lo mueve proporcional al consumo de energía eléctrica. La primera aguja dará un giro completo (10 kWh) proporcional al número de vueltas que del engranaje principal según el Rr que indique en el registro. Por ejemplo, si es de $13 \frac{8}{9}$, entonces el engranaje principal dará las $13 \frac{8}{9}$ de vueltas para que la primera aguja del registro de una vuelta completa marcando así 10 kWh.

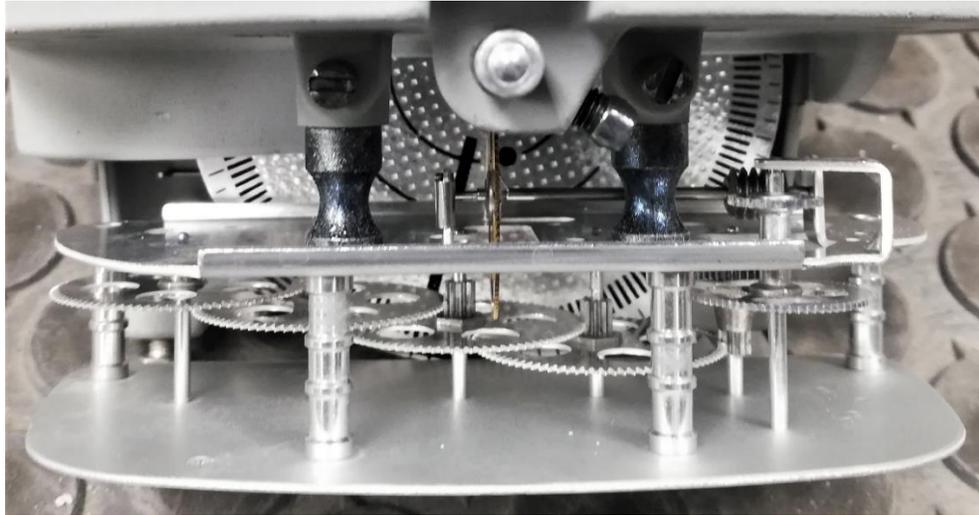
Las siguientes agujas darán una vuelta completa cuando la aguja antecesora de 10 vueltas, por tanto, la primera aguja viendo el medidor de frente indica la unidad, la segunda aguja indica la decena, la tercera aguja indica la centena, la cuarta aguja indica la unidad de millar, la quinta aguja si existiera indicará la decena de millar. Cuando todos den una vuelta completa se reinicia el conteo, en caso el registro tenga dígitos (ciclómetro), estos siguen la misma secuencia que las agujas funcionan de la misma forma cambiando únicamente el mecanismo de visualización.

Figura 3. **El Registro (vista de frente)**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

Figura 4. **El Registro (vista de engranajes)**



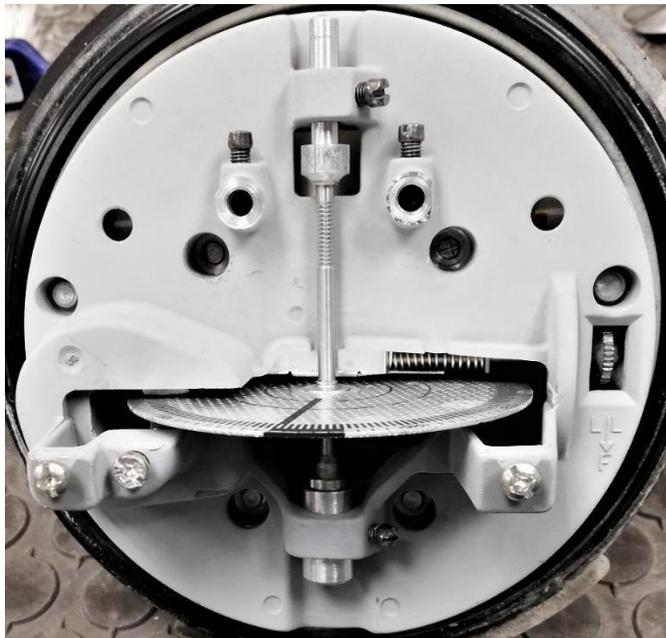
Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

- **Disco y pivotes**

El disco o rotor es un conductor eléctrico en forma de disco, de aluminio, colocado entre las dos bobinas del medidor, de voltaje y la bobina de corriente. El flujo magnético del estator atraviesa una parte del disco; la corriente es alterna, genera corrientes de Foucault, por tanto, se crea un torque en el disco que lo hace girar. Debido a que el medidor debe ser capaz de medir el factor de potencia, el par debe ser máximo cuando la carga que se mide no es inductiva, debe ser menor a medida que el factor de potencia disminuya, el factor de potencia se logra medir debido a que si la onda senoidal de voltaje con la corriente que fluye en el medidor, se encuentran a una diferencia de 90 grados; si es de diferente valor angular a 90 grados, entonces habrá menor cantidad de torque, por el sistema que utiliza el disco para el torque, entonces el medidor es capaz de medir la potencia activa (kWh) en el circuito.

El disco tiene un eje en el centro el cual es sostenido con dos pivotes contruidos de tal manera, que reducen la fricción a lo más mínimo posible para no afectar el giro del disco y así aportar a la medición correcta del consumo de energía eléctrica.

Figura 5. **Disco y pivotes (montados en su base)**



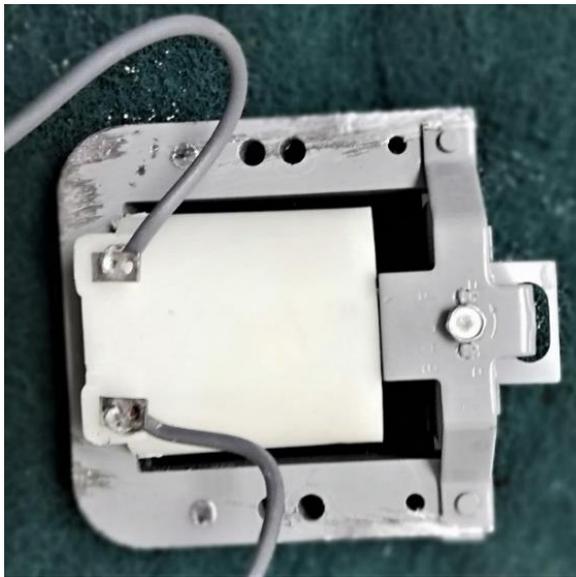
Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

- **Bobina de voltaje**

La bobina de voltaje es la encargada de suministrar el campo magnético al estator, básicamente funciona como un electroimán alimentado a través del voltaje que sea conectado el medidor, debido a que es un electroimán (enrollamiento de cable) es acá donde el voltaje y la corriente se separan a 90 grados en el circuito interno del medidor, desde sus inicios, por normas de

construcción esta bobina puede funcionar desde el 50 % al 120 % del valor nominal de voltaje del medidor, en algunos casos por la bobina de potencial tiene un puente externo para no alimentar el medidor que en su momento sirvió para poder ser calibrado, por tanto cumple su funcionamiento de sensor de voltaje.

Figura 6. **Bobina de voltaje**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

- **Bobina de corriente**

Esta bobina está formada por uno o más enrollamientos del cable o puente conductor principal del medidor por la cual pasa la corriente total que se esté consumiendo un usuario de la red eléctrica, medido por dicho medidor, esta bobina de corriente forma parte del estator para crear el par o torque en el disco, normalmente está formado por láminas enchapas de acero y el enrollamiento del conductor principal del medidor, cumpliendo así su función de sensor de corriente.

Figura 7. **Bobina de corriente**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

Figura 8. **Bobinas de voltaje y corriente (montado en sus bases)**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

- **Imán de frenado**

Debido a que el voltaje se encuentra permanente en el medidor, esto genera corrientes de Foucault, así un torque sobre el disco, el cual, sin el imán de frenado, tiende a girar registrando un consumo de energía eléctrica no real. Cuando haya flujo de corriente en el medidor, la velocidad con la que gira el disco no sería tan proporcional al consumo de energía, por tanto, para compensar dicho torque es necesario utilizar un imán con posición ajustable para que el consumo de energía eléctrica sea real y el medidor pueda calibrarse.

Figura 9. **Imán de frenado**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

- **Terminales de conexión y cubierta del medidor**

Estos son la parte física para la conexión del medidor con la red eléctrica o la acometida donde será utilizada, estas terminales deben soportar la corriente máxima según la placa de características del medidor, sosteniéndose en una

baquelita donde forma parte del armazón del medidor. La cubierta es la protección para el circuito interno como para los componentes, este puede ser de plástico o comúnmente de vidrio con un cincho de metal, con agujeros previstos para poder tener un precinto o marchamo de seguridad sujetándola en la baquelita para el respaldo a la distribuidora de que el medidor no debe ser manipulado, evitando así el acceso a la parte interna del medidor.

Figura 10. **Terminales de conexión (montados en su base)**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

Figura 11. **Cubierta**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

- **Protección voltaje alto**

Son piezas de lámina (aluminio), con un disco de cobre (explosor) que funcionan como protección si sucediera una falla de voltaje en los medidores, en este caso, su función principal es drenar a tierra los voltajes altos (mayores a lo que el medidor soporta) para evitar el daño en el propio medidor, la protección de voltaje alto está conectada en la parte externa, uno por cada fase eléctrica que alimenta el medidor.

Figura 12. **Protección voltaje alto**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

1.3. El medidor de estado sólido (electrónicos)

Es un dispositivo para la medición de energía eléctrica, hoy en día este tipo de medidor es capaz de medir la energía activa en kWh, la energía reactiva en kVARh y la potencia o demanda máxima en kW.

Este tipo de medidor es similar al medidor electromecánico debido a que debe detectar el voltaje y la corriente en cada fase eléctrica que pasen por él. Derivado de esto, es requerido determinar las potencias para el cual debe contar con una memoria acumulativa para el registro de los consumos, una pantalla (*display*) donde mostrarlo, generalmente cuenta con un puerto de comunicación para su programación o reinicio cuando sea necesario reiniciar los consumos a cero, también cuenta con un botón con su respectiva manija para reiniciar la demanda, esta manija cuenta con área para ser precintado (marchamo de seguridad).

Figura 13. **Medidor electrónico trifásico**

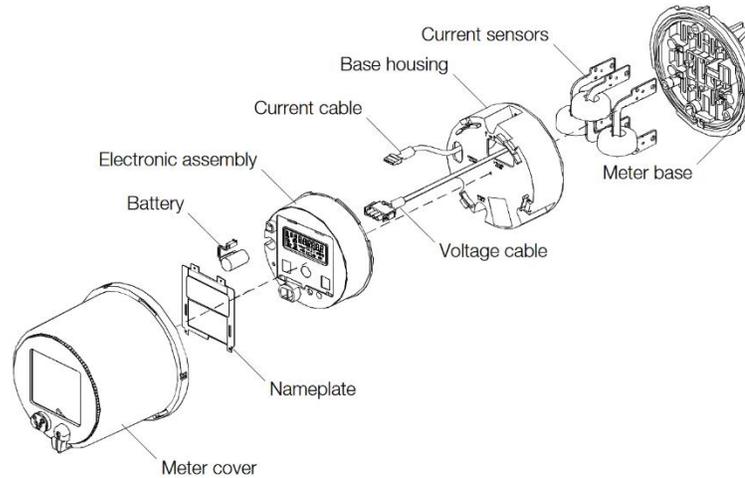


Figure 7-1. Disassembled A3 ALPHA meter

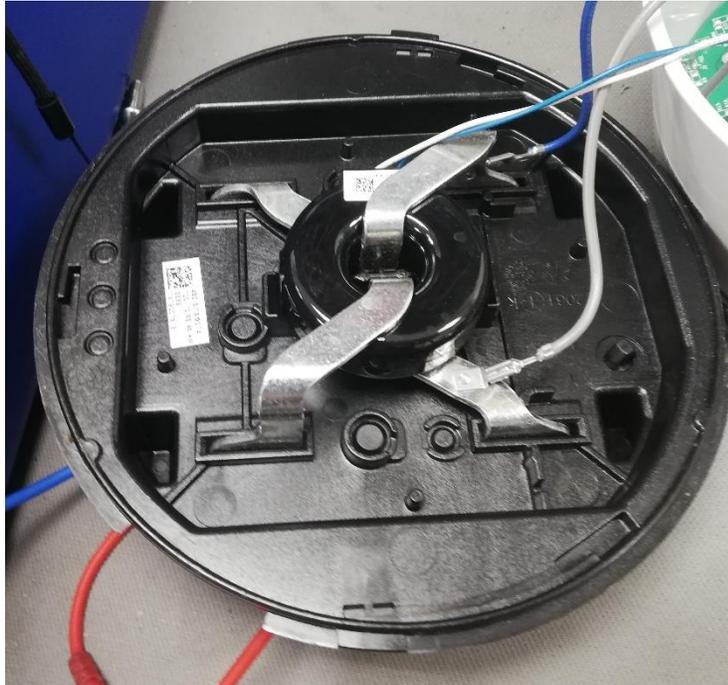
Fuente: Guggen Mossales. *Medido trifásico*.

<http://www.guggenmossales.com/documents/PowerPlus-TM42-2182C.pdf>. Consulta: 2 de febrero 2019.

- Medición de corriente en medidor de estado sólido

Existen dos formas como el medidor recoge las señales de corriente una de ellas es utilizando una resistencia *shunt*, el cual queda en medio de las terminales de conexión de este o forma parte de la pieza que hace puente interno en el medidor, la otra forma de medir es utilizando un transformador de corriente de pequeña dimensión, el cual va interno en el medidor. Dependiendo el tipo de servicio o la necesidad de medir, hay medidores que cuentan con uno, dos o tres transformadores de corrientes; en el último caso los conductores que hacen el puente interno del medidor atraviesan el pequeño ct para su medida, en el caso de utilizar resistencia *shunt*, mide la corriente que atraviesa dicha resistencia y por diferencia de potencial en los extremos de este, es como mide.

Figura 14. **Transformador de corriente interno de medidor**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

- **Medición de voltaje en medidor de estado sólido**

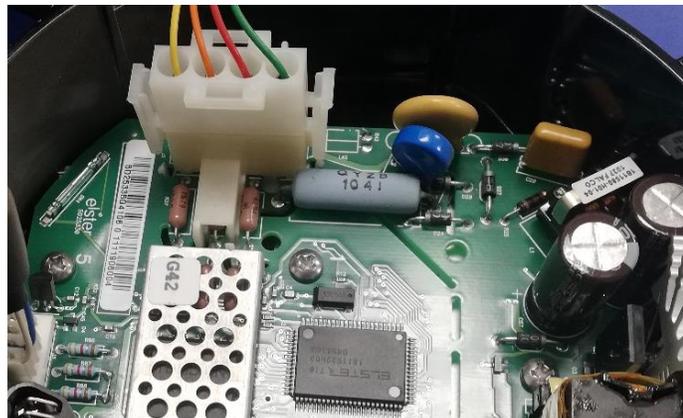
Para la medición de voltaje o diferencia de potencial, los medidores de estado sólido tienen dos formas de hacerlo, la primera es utilizando un transformador que sea capaz de disminuir el voltaje de alimentación del medidor a un voltaje aceptable para la alimentación de los componentes de la tarjeta electrónica, la otra forma de hacerlo es utilizando una resistencia y capacitor para disminuir el voltaje, luego pasa por un puente de diodos para el control del nivel de voltaje que alimentará la tarjeta electrónica.

Figura 15. **Fuente de voltaje con transformador**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

Figura 16. **Fuente de voltaje sin transformador**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

- Características generales de los medidores de estado sólido

En la placa de características se puede encontrar la información o datos respecto al medidor.

Figura 17. **Placa de características**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

- Tipo: este dato es asignado en fábrica para diferenciar el medidor de otros según su capacidad de medición o instalación.
- Forma: indica el tipo de conexión (indica el diagrama eléctrico), esto es una característica que determina cómo se debe conectar el medidor en la acometida, donde será de utilidad.
- Clase de corriente (CL): esto indica la corriente máxima que soporta el medidor por fase en sus terminales.
- Rango o nivel de tensión: indica el nivel de voltaje nominal o el rango de voltaje que puede soportar, manteniendo su exactitud, sin sufrir daños internos.

- Hilos o cables: (3W) indica el número de cables necesarios en la acometida para el buen funcionamiento del medidor la cual está asociado a la forma de conexión.
- Corriente de prueba (TA): esta característica indica la corriente nominal para poder realizar las pruebas de calibración al medidor según la norma ANSI C12.1 2001.
- Kh: indica la cantidad en *watt* que mide el medidor cuando emite un pulso, dicho pulso es tomado en el puerto de comunicación que generalmente es luz infrarroja, este dato también es utilizado para la calibración o pruebas del medidor.
- Número de serie de fábrica: este dato es único para cada medidor, no se repite el mismo es asignado desde fábrica.
- Número de medidor: este dato es asignado por la compañía distribuidora de energía eléctrica, la cual no deberá repetirse en otro medidor, en el caso específico del área geográfica del análisis. Esta identificación debe tener una letra, seguido de un guion y cinco números.
- Nombre de la empresa dueña del medidor o la distribuidora: la cual no aparece en todos los tipos de medidores.
- Frecuencia: indica la frecuencia nominal en la que el medidor funciona en condiciones óptimas, cabe mencionar que en el país (Guatemala) la frecuencia nominal de la red eléctrica es sesenta ciclos por segundo (60 Hz).

1.4. Medidor de energía para *Smart Grid*

Los medidores utilizados para el *Smart Grid* o sistemas con infraestructura avanzada de comunicación, son capaces de medir el consumo de energía en kWh, la demanda o carga en kW y la energía reactiva en kVARh. Lo que hace

especial a estos medidores de energía respecto a los convencionales es la capacidad de comunicación con algún centro de control a distancia para enviar o recibir información. También tienen conexión y desconexión remota, cuentan con la capacidad de poder transmitir los datos en tiempo real para ver los consumos de energía eléctrica en sus diferentes variables, indican la calidad de energía suministrada, detectan la eficiencia de la red o el circuito en el que se encuentra instalado.

Al tener comunicación remota y los componentes necesarios pueden llegar a interrumpir el servicio a un cliente sin la necesidad de enviar a un técnico al campo a realizar el corte del servicio eléctrico. En algunos países cuentan con sistema prepago lo cual funciona a través de la conexión o desconexión remota (en el capítulo 5 de este documento se hace énfasis respecto a este tipo de medidores).

2. NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Respecto a la toma de decisiones el ser humano tiene criterios diferentes, para crear, recrear o diseñar cualquier objeto o sistemas y se hace necesario tomar decisiones relacionadas a ellas. Los criterios varían en cada persona, por tanto, la existencia de normas es vital para unificar criterios para una organización o compañía alrededor del mundo, con el objeto de poder realizar procesos unificados que lleven un producto final de calidad total.

Las normas entorno a la electricidad existen para el resguardo de la vida humana. y el aseguramiento de los equipos involucrados en los sistemas eléctricos. En este caso específico las normas técnicas ayudan a mantener un sistema de medición eléctrica de alta exactitud, por tanto, rigen su desempeño desde la fabricación de los medidores involucrados, hasta el uso en el país, cumpliendo las normativas vigentes.

2.1. Ley y normas nacionales

En el país, según artículo 171 de la Constitución Política de la Republica de Guatemala, la entidad encargada de decretar, reformar y derogar las leyes, es el Congreso de la Republica, basándose en el decreto número 93-96, ha decretado la Ley General de Electricidad, la cual en su artículo 4 menciona la creación de Comisión Nacional de Energía Eléctrica conocida como CNEE, estableciéndola como órgano técnico del Ministerio de Energía y minas, también como ente regulador del sistema nacional de energía eléctrica, libre de emitir normas técnicas, definir tarifas, de acuerdo a la ley establecida y su reglamento,

en orden inferior se encuentra el Administrador del Mercado Mayorista AMM, cuya función principal es coordinar operaciones de compra venta entre los participantes del mismo, establecer los precios de la energía eléctrica para sus participantes, la garantía, seguridad y abastecimiento de energía eléctrica en el país.

2.1.1. Ley General de Electricidad

La Ley General de Electricidad como lo menciona en su artículo 1 “*norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad*”⁶, en la cual están involucrados todas aquellas personas individuales o jurídicas que realicen actividades antes mencionadas.

En la Ley General de Electricidad se establece las condiciones legales para el mejor funcionamiento del sistema eléctrico nacional, también las sanciones que competen por las faltas a la misma, en el caso de las pérdidas lo contempla en su artículo 72, en el cual establece los componentes básicos para el valor agregado de distribución VAD, siendo estos:

- “Costos asociados al usuario, independiente de su demanda de potencia y energía.
- Pérdidas medias de distribución, separadas en sus componentes de potencia y energía.
- Costos de capital, operación y mantenimiento asociados a la distribución, expresados por unidad de potencia suministrada”.⁷

⁶ Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Ley general de electricidad*. p.10.

⁷ *Ibíd.*, p.17.

Por tanto, las tarifas a consumidores finales de energía eléctrica, será la CNEE quien la establecerá, basado en los precios de las compras del distribuidor referidos en la entrada de la red de distribución sumándole el VAD y el costo de subtransmisión pertinente, siendo las compras en componentes tanto de energía como de potencia, las compras serán controladas por la CNEE mediante licitaciones de acceso público.

Para el caso específico de los medidores utilizados por la distribuidora, deberían tener pérdidas menores para que los mismos sean menores en la red así colaborar a tener un precio de energía eléctrica eficientemente económico.

2.1.2. Reglamento de la Ley General de Electricidad

Basado en la Ley General de Electricidad, este reglamento establece las autorizaciones necesarias para que se pueda operar eficientemente la red del sistema eléctrico nacional, por tanto, incluye las actividades y autorizaciones necesarias para la generación, transporte, distribución, como la comercialización de energía eléctrica.

Para el caso de la distribución final se faculta para utilizar bienes de dominio público en el área geográfica autorizada a la distribuidora, imponer servidumbres a particulares para el desarrollo de las obras de distribución.

Establece que los grandes usuarios conectados en la red de distribución no están sujetos a comprarle la energía eléctrica a la distribuidora y estarán facultados a contratar el suministro eléctrico con un generador o comercializador, debiendo pagar un peaje al distribuidor. Considerando este caso, es necesario también que los grandes usuarios conectados a la red de distribución hagan uso de medidor o equipos de medición de pérdidas bajas, para no contribuir en el

costo final de la energía eléctrica, o que sea evaluado por la CNEE para que las pérdidas en el equipo de medición utilizados para este tipo de servicios sean incluidas en el peaje, mas no en el VAD.

Este reglamento hace referencia hacia las Normas Técnicas del Servicio de Distribución NTSD, respecto a las instalaciones eléctricas del usuario final y la forma de conexión.

En este reglamento en su artículo 70, establece que el equipo de medición será propiedad del distribuidor, no de los usuarios conectados a su red, en caso de los grandes usuarios se deberán regir por las disposiciones que establezca el AMM, considerando esto también los medidores de energía eléctrica utilizados para la medición deberán ser de bajas pérdidas, cumpliendo las normas para una medición de mayor exactitud posible.

También menciona los cálculos utilizados para las pérdidas en la red, las pérdidas relacionadas para el cálculo del VAD, las actividades que respectan a la distribuidora con relación a sus usuarios, las penalizaciones correspondientes al incumplimiento de parte de la distribuidora también al usuario final por alteraciones en el servicio de suministro como se establece en el artículo 138⁸, del Reglamento de La Ley General de Electricidad.

2.1.3. Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD)

Respecto a esta norma, el enfoque del Título II del sistema de medición, sirve para determinar la forma de medir el servicio de energía eléctrica de parte del distribuidor, establece con mayor detalle las obligaciones tanto del distribuidor

⁸ Ministerio de Energía y Minas. *Reglamento de la Ley General de Electricidad (Incluye reformas según Acuerdo Gubernativo No. 68-2007)*., p. 56.

y el usuario conectado a la red de distribución, también menciona las sanciones penitentes para ambas partes en caso de incurrir en faltas.

En otros capítulos de la norma menciona que el distribuidor está obligado a mantener una red con la mayor eficiencia y calidad posible cumpliendo los requisitos, como por ejemplo: un producto de calidad, auditable, la regulación de tensión, índices de tolerancia para desbalance de tensión, índices de calidad de *flicker*, control de interrupciones en la red, hasta la calidad de servicio al cliente; también el usuario está obligado a mantener sus instalaciones internas en óptimas condiciones para evitar ingresar ruido a la red como: distorsión armónica de la corriente *flicker*, mantener un factor de potencia aceptable según la norma y así evitar fallas en la red.

Esta norma menciona los cálculos para establecer los diferentes niveles de tolerancia para las fallas o ruidos en la red.

2.2. Normas internacionales

La normativa internacional unifica criterios para su estandarización para establecer los parámetros del alcance según sea la norma aplicada.

2.2.1. Norma COGUANOR NTG-ISO-IEC17025

En esta normativa se establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración⁹.

⁹ Ministerio de Economía: Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG ISO/IEC 17025:2017*. <https://sisoyomismo.files.wordpress.com/2012/07/coguanor-ngt-17025-2005-version-oficial.pdf>.

Debido a que todo medidor de energía eléctrica debe pasar por un proceso de calibración previo a su utilización final, entonces este documento es necesario debido a que establece la forma en cómo se debe proceder a la calibración del medidor con una calidad internacional, por tanto en ella establece que para llevar a cabo dicha calibración es necesario contar con patrones de medición trazables hasta el Sistema Internacional de Medidas, tener un control de calidad, personal calificado para realizar los procesos, teniendo cuidado del instrumento bajo calibración desde su ingreso en las instalaciones del laboratorio, durante el proceso de calibración, hasta la entrega final. También menciona los requisitos que un laboratorio debe cumplir para que pueda realizar las calibraciones, los cuales se resumen en requisitos técnicos, como administrativos. Establece que todos los procesos deberán ser auditables.

2.2.2. Norma ANSI C12.1

Esta norma establece los parámetros básicos relacionados a medidores con clase de exactitud del ± 2 %, en condiciones normales se da por aceptado el medidor que se encuentre en el rango de exactitud del 98 % al 102 %, tanto a plena carga, como en carga baja, considerando la plena carga el valor que establezca la placa de características del medidor¹⁰.

En esta norma se describe los criterios de aceptación para los medidores de kWh, kW, también medidores de energía eléctrica en general, en la cual se unen criterios para su fabricación, determina pasos o sugerencia de los mismos para los laboratorios que realicen pruebas a medidores de energía, estableciendo los límites aceptables de humedad, temperatura, factores que puedan contaminar o interferir en las pruebas a medidores, tales como el polvo,

¹⁰ American National Standards Institute. *ANSI C12.1-2008, American national standard for electric meters, code for electricity metering.* p. 2.

vibraciones, interferencia electromagnética, considerando la fuente de energía eléctrica que se use para energizar las maquinas que sirvan o apoyan a que se pueda realizar pruebas del medidor en laboratorio, para realizar dichas pruebas, se deberá contar con patrones estándar con trazabilidad hasta el NIST.

Respecto a la construcción de los medidores de energía eléctrica, en esta norma se establece los parámetros de calibración con la finalidad de aprobar un nuevo diseño o determinar si el medidor bajo prueba cumple las normativas establecidas para su utilidad, se determina las pérdidas máximas que se permiten para cada circuito, tanto de corriente, como para el circuito de voltaje, según lo establece en la norma, también determina las pruebas de temperatura, los niveles de voltaje que soportará, corrientes máximas, algunos efectos externos al medidor, también se establece los límites que deberá soportar sin perder su exactitud, buen funcionamiento, por tanto en esta norma se establece las pruebas que deberá pasar un medidor para que el diseño sea aprobado para luego poder fabricar otros o poder hacer uso del mismo, para mayor referencia o consulta abocarse a la norma.

2.2.3. Norma ANSI C12.10

En Norma ANSI C12.10¹¹ se establece todo los detalles para la fabricación de medidores de energía eléctrica tanto para medidores electromecánicos y medidores de estado sólido (electrónicos), especifica desde la forma de conexión interna, el tipo de cubierta, la forma de cómo debe ir la misma, el tamaño que debe de tener ya como producto terminado, las características de construcción, como el tamaño de los números del registro o pantalla de visualización, la placa

¹¹ American National Standards Institute. *ANSI C12.10, American national standard for electric meters, code for electricity metering*. p. 3.

de características, los datos que se debe incluir en ella, número de cables para su conexión, hasta el diagrama eléctrico final.

En esta norma se establece la magnitud de los voltajes y corrientes que se deberán utilizar para realizar pruebas a los medidores, así como el tiempo que debe durar las pruebas, también menciona los estudios que se le debe hacer a un medidor para luego ser fabricados, superando las pruebas que se requieran, explica la forma de calibrarlos, indica cómo utilizar el disco de un medidor electromecánico para su calibración, también hace mención del simulador del disco para los medidores de estado sólido, como deberá emitir los pulsos para su calibración.

Por tanto, se puede decir que esta norma complementa la anterior, debido que ambos hablan de características de fabricación, calibración, respectivamente, en base de estas se tiene los criterios para la fabricación de medidores de energía eléctrica, las pruebas a realizarle, también los ensayos, para mayor referencia o consulta abocarse a la norma.

2.2.4. Norma ANSI C12.20

American National Standards Institute (2002), establece los requisitos mínimos para medidores que cumplan con exactitudes del $\pm 0,2\%$ y $\pm 0,5\%$. Esta norma incluye los requisitos para aquellos medidores que quieran pertenecer al rango de exactitud mencionada¹².

Establece los parámetros a cumplir para que se pueda realizar la calibración, qué tipo de pruebas con sus magnitudes se deben realizar en

¹² American National Standards Institute. *ANSI C12.20, American national standard for electric meters, code for electricity metering*. p. 4.

laboratorio según la clase del medidor, establece límites de pérdidas en los circuitos de corriente y el voltaje de cada elemento en el medidor, también se apoya en las normas mencionadas anteriormente.

3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos realizados son para medidores de energía eléctrica, con la finalidad de obtener las pérdidas de cada medidor bajo análisis, de las cuales se agrupan en la misma marca o tipo, siendo utilizadas en la red eléctrica de los departamentos de Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez, por tanto, para realizar dichas pruebas se consideraron las siguientes características:

- Tipo de construcción: electromecánico y de estado sólido (electrónico), en la región o área de interés, este tipo de medidores están en uso actualmente para el área residencial, comercial e industrial.
- Forma o diagrama de conexión: esto determina las fases que el medidor puede medir, representa el diagrama de conexión física, por tanto, se consideraron las formas 1S, 2S, 12S, 16S y 9S, debido que en la región geográfica de interés ya no se instala medidores de base A (norma IEC), solo se consideran en el análisis los medidores de base *socket*, regulados en las normas ANSI.

A continuación, se presenta dos imágenes las cuales son fabricadas bajo diferentes normativas.

3.1. Trazabilidad de los equipos utilizados para las pruebas

El equipo utilizado para los ensayos es un equipo de calibración con una exactitud del $\pm 0,04$ %, este equipo se utilizó para la generación de voltajes y corrientes para los medidores, el cual está calibrado en laboratorio acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025, sus características se encuentran en la página del fabricante. También se hizo uso de equipo auxiliar para tomar mediciones de voltaje, corriente, una computadora para la anotación de datos y una caja *socket* con *test-block*.

Para que un equipo sea trazable hasta la NIST, es necesario contar con la cadena ininterrumpida de calibraciones de los equipos utilizados, en un laboratorio, desde el equipo bajo calibración, hasta la referencia hacia los patrones internacionales. Para el fin del equipo utilizado para energizar los medidores, esto es válido dado que el equipo utilizado pertenece al laboratorio en el cual también fueron realizadas los ensayo de consumos de los medidores, está acreditada por la Organización Guatemalteca de Acreditación, teniendo la acreditación siguiente: OGA-LC-62-15, misma que puede ser corroborada en la página web del laboratorio en la siguiente dirección: "<https://www.metriclaboratorio.com/alcance-y-acreditacion/>" y en la página web de la OGA en la siguiente dirección: "<https://www.oga.org.gt/organismos-acreditados/#labcalibracion>", en base a esto se considera que las pruebas realizadas son válidas gracias a la trazabilidad del equipo utilizado.

Figura 20. **Equipo para generar corriente y voltaje de los ensayos realizadas**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

Figura 21. **Equipo auxiliar para medir corrientes y voltaje de las pruebas realizadas**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

3.2. Pruebas del consumo propio de medidores de energía eléctrica.

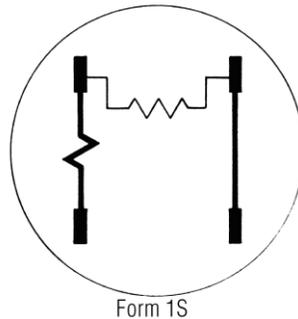
Para determinar el consumo de los medidores se tomó una muestra de medidores agrupados según su marca, tipo y corriente nominal según placa de características.

3.2.1. Medición de voltaje y corriente en medidores según su tipo

Para realizar la medición de corriente se basó en el diagrama de conexiones (conexión física externa del medidor), según la forma del medidor dado que involucra los medidores tanto electrónicos, como electromecánicos, todos los medidores de prueba se conectaron al RW-30 equipo para generar el voltaje y corrientes necesarios para cada tipo de medidor:

- Medidor forma 1S (dos cables, fase y neutro): dado que esta forma de medidor solo usa dos cables para su alimentación; una para la fase y otra de neutral, tiene una sola bobina de voltaje, la medición de corriente es tomada en el cable de la fase (lado izquierdo en diagrama), energizada con la corriente nominal de placa 15 amperios, voltaje de 120 VAC, esto según la placa características de los medidores, el diagrama según la forma se muestra en la siguiente imagen.

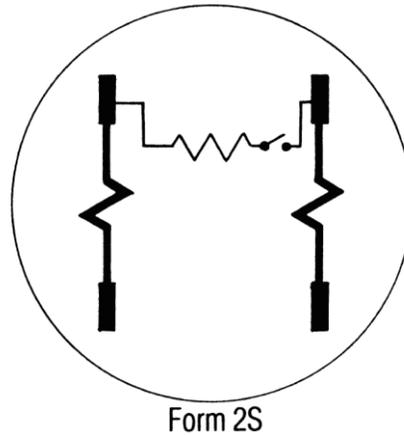
Figura 22. **Diagrama medidor forma 1S**



Fuente: Edison Electric Institute. *Handbook for electricity metering*. p. 404.

- Medidor forma 2S (tres cables, dos fases y neutro): en este caso el medidor utiliza 3 cables, pero solo dos son necesarios para la medición de energía eléctrica dado que esta forma de medidor solo usa dos cables para su alimentación (las fases están separadas 180 grados eléctricos entre ambos). Dos conductores de fase que alimentan el circuito magnético en caso de los medidores electromecánicos o la tarjeta electrónica en caso de los medidores de estado sólido, una línea de neutral, la cual no pasa por el medidor, sino que es usado para la referencia de voltaje del servicio del usuario, la medición de corriente es tomada en los cables de las fases, energizada con la corriente nominal de placa 30 amperios, con voltaje de 240 VAC entre fases, el diagrama según la forma se muestra en la siguiente imagen.

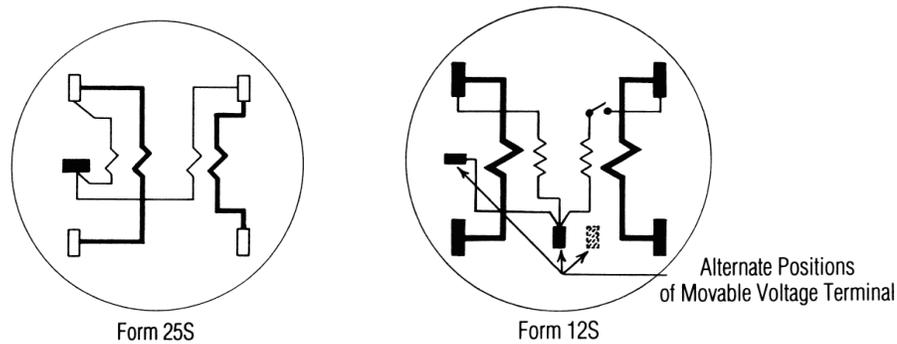
Figura 23. **Diagrama medidor forma 2S**



Fuente: Edison Electric Institute. *Handbook for electricity metering*. p. 404.

- Medidor forma 12S / 25S (tres cables, dos fases y neutro): en este momento las dos formas son una sola, dado que anteriormente la terminal de neutral estaba de forma fija en el medidor pero actualmente los fabricantes lo dejan de tal forma que se pueda mover, dependiendo si la caja *socket* donde se instale el medidor tenga la clavija de forma vertical (12S) o de forma horizontal (25S), en este caso el medidor utiliza 3 cables de los cuales dos son para las fases (A y C), el otro es neutral (las fases están separadas 120 grados eléctricos entre ambos), tomando como referencia el cable neutral, midiendo el voltaje de cada fase de forma individual, la medición de corriente es tomada en los cables de cada fase, energizada con la corriente nominal de placa 30 amperios, voltaje de 120 VAC de fase a neutro o 208 VAC entre fases, el diagrama según la forma se muestra en la siguiente imagen.

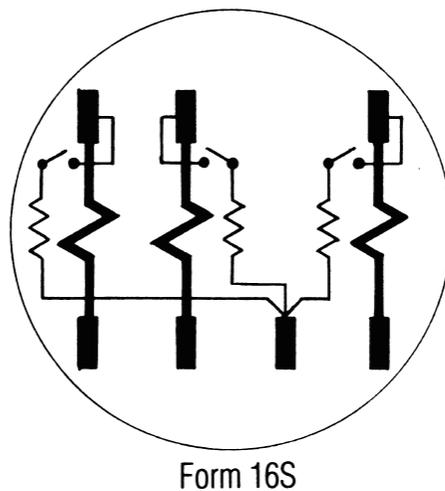
Figura 24. Diagrama medidor forma 12S / 25S



Fuente: Edison Electric Institute. *Handbook for electricity metering*. p. 406.

- Medidor forma 16S (cuatro cables, tres fases y neutro): medidor con cuatro cables, utilizando tres para las fases, uno para neutral, utilizado para los servicios trifásicos, tanto para bancos de transformación configuradas en delta o en estrella. En estos casos lo que varía es la programación interna de los medidores (para esta forma, todos los medidores son electrónicos), de esta manera para realizar la medición correcta en cada caso, también que es de un rango de voltaje 120/480 VAC, por lo cual se puede utilizar en servicios de voltaje 120/240 VAC, 120/208 VAC y en 240/480 VAC trifásico. La medición de voltaje se hace a través de las fases con referencia hacia el neutro, pero la alimentación propia del medidor se hace en la fase A, por lo cual para la medición necesaria para el estudio, solo hay una medición para el circuito de voltaje, la medición de corriente es tomada en cada fase o línea por lo cual existe tres mediciones de corriente (una por fase), la corriente que se le fue suministrada es de 30 amperios por fase, según la placa de características de esta forma de medidores, el diagrama según la forma se muestra en la siguiente imagen.

Figura 25. **Diagrama medidor forma 16S**

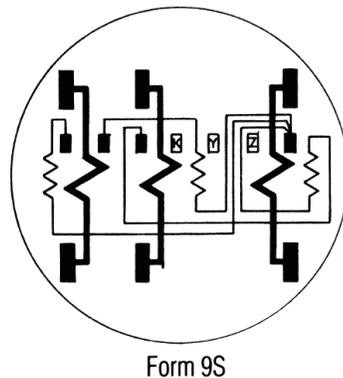


Fuente: Edison Electric Institute. *Handbook for electricity metering*. p. 406.

- Medidor forma 9S (cuatro cables, tres fases y neutro): medidor utilizado tanto para medición indirecta, como semi indirecta, la medición indirecta es la que se realiza con base a señales provenientes de transformadores de instrumento para voltaje y corriente, la medición semi indirecta es la que toma la señal de voltaje de forma directa en los cables de fases principales del servicio, toma las señales de corriente usando transformadores de instrumento para corriente, siendo la toma de señales de voltaje independiente a las señales de corriente, medidor con cuatro cables para la señal de voltaje, tres para señal de corriente, utilizado para los servicios trifásicos tanto para bancos de transformación configuradas en delta o en estrella. Dos aspectos importantes es que en estos casos lo que varía es la programación interna de los medidores de esta forma para realizar la medición correcta en cada caso, también que es de un rango de voltaje 120/480VAC por lo cual se puede utilizar en servicios de voltaje 120/240 VAC, 120/208 VAC y en 240/480 VAC trifásico, la medición de

voltaje se hace a través de los conductores de fases con referencia hacia el neutral, para el caso de estudio los voltajes y corrientes se generaron a través del RW-30 sin necesidad de utilizar transformadores de instrumento, el medidor utiliza solo una fase para su alimentación en algunos casos la fase A, otros en la fase C, la medición de corriente es tomada en cada fase o línea por lo cual existe tres mediciones de corriente (una por fase), el diagrama según la forma se muestra en la siguiente imagen.

Figura 26. **Diagrama medidor forma 9S**



Fuente: Edison Electric Institute. *Handbook for electricity metering*. p. 405.

3.3. Comparación de pérdidas entre diferentes tipos y marcas de medidores, basado en los ensayos realizados en el laboratorio

Para esta comparación se consideraron varias marcas, de las cuales se realiza la toma de datos de los consumos propios del medidor respecto a voltaje y corriente para determinar la pérdida de cada medidor y así obtenerla para cada forma de este, según las cinco formas vistas en el subtítulo anterior.

Tabla I. **Marca de medidores**

MARCA	LETRA ASIGNADA
ELSTER	A
GENERAL ELECTRIC	B
LANDIS	C
STAR INSTRUMENT	D
CLOU	E
SCHNEIDER	F

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

3.3.1. Ensayos y resultados de medidores forma 1S

Para estos casos se consideraron las cinco marcas que actualmente la distribuidora utiliza siendo dos marcas del tipo electromecánico, tres del tipo electrónico, a todos los medidores se les aplico un voltaje de 120 VAC a 15 amperios de corriente alterna de los cuales se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla II. **Resultados pruebas de voltaje forma 1S**

núm. Prueba	Forma	Marca	Tipo de fabricación	Circuito de voltaje			
				Voltaje aplicado (V)	Corriente medida (mA)	Corriente en amperios (A)	Pérdidas P=VI
1	1S	A	ELECTROMECAÁNICO	120	38,770	0,03877	4,6524
2	1S	A	ELECTROMECAÁNICO	120	37,850	0,03785	4,5420
3	1S	A	ELECTROMECAÁNICO	120	38,650	0,03865	4,6380
4	1S	A	ELECTROMECAÁNICO	120	37,850	0,03785	4,5420
5	1S	A	ELECTROMECAÁNICO	120	38,400	0,0384	4,6080
6	1S	B	ELECTROMECAÁNICO	120	31,920	0,03192	3,8304
7	1S	B	ELECTROMECAÁNICO	120	32,570	0,03257	3,9084

Continuación de la tabla II.

núm. Prueba	Forma	Marca	Tipo de fabricación	Circuito de voltaje			Pérdidas P=VI
				Voltaje aplicado (V)	Corriente medida (mA)	Corriente en amperios (A)	
8	1S	B	ELECTROMECAÁNICO	120	31,670	0,03167	3,8004
9	1S	B	ELECTROMECAÁNICO	120	31,370	0,03137	3,7644
10	1S	B	ELECTROMECAÁNICO	120	32,100	0,0321	3,8520
11	1S	C	ELECTRÓNICO	120	19,070	0,01907	2,2884
12	1S	C	ELECTRÓNICO	120	18,950	0,01895	2,2740
13	1S	C	ELECTRÓNICO	120	17,300	0,0173	2,0760
14	1S	C	ELECTRÓNICO	120	20,000	0,02	2,4000
15	1S	C	ELECTRÓNICO	120	19,320	0,01932	2,3184
16	1S	D	ELECTRÓNICO	120	4,167	0,004167	0,5000
17	1S	D	ELECTRÓNICO	120	3,887	0,003887	0,4664
18	1S	D	ELECTRÓNICO	120	4,032	0,004032	0,4838
19	1S	D	ELECTRÓNICO	120	4,055	0,004055	0,4866
20	1S	D	ELECTRÓNICO	120	3,515	0,003515	0,4218
21	1S	E	ELECTRÓNICO	120	3,272	0,003272	0,3926
22	1S	E	ELECTRÓNICO	120	4,000	0,004	0,4800
23	1S	E	ELECTRÓNICO	120	3,945	0,003945	0,4734
24	1S	E	ELECTRÓNICO	120	3,387	0,003387	0,4064
25	1S	E	ELECTRÓNICO	120	4,912	0,004912	0,5894

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Tabla III. Resultados pruebas de corriente forma 1S

Circuito de corriente					
Corriente Aplicada en Amperios (A)	Voltaje medido en (mV)	Voltaje en (V)	Pérdida circuito de corriente	Pérdida total	Promedio de pérdida por marca
15,0000	51,40	0,0514	0,7710	5,4234	5,3978
15,0000	50,600	0,0506	0,7590	5,3010	
15,0000	51,500	0,0515	0,7725	5,4105	
15,0000	58,300	0,0583	0,8745	5,4165	
15,0000	55,300	0,0553	0,8295	5,4375	
15,0000	53,300	0,0533	0,7995	4,6299	4,6156
15,0000	52,500	0,0525	0,7875	4,6959	
15,0000	51,100	0,0511	0,7665	4,5669	
15,0000	51,500	0,0515	0,7725	4,5369	
15,0000	53,100	0,0531	0,7965	4,6485	
15,0000	48,300	0,0483	0,7245	3,0129	2,8933
15,0000	43,700	0,0437	0,6555	2,9295	
15,0000	42,000	0,0420	0,6300	2,7060	
15,0000	38,300	0,0383	0,5745	2,9745	
15,0000	35,000	0,0350	0,5250	2,8434	
15,0000	30,100	0,0301	0,4515	0,9515	0,9397
15,0000	30,700	0,0307	0,4605	0,9269	
15,0000	31,900	0,0319	0,4785	0,9623	
15,0000	31,400	0,0314	0,4710	0,9576	
15,0000	31,900	0,0319	0,4785	0,9003	
15,0000	31,900	0,0319	0,4785	0,8711	0,9049
15,0000	27,800	0,0278	0,4170	0,8970	
15,0000	29,200	0,0292	0,4380	0,9114	
15,0000	28,100	0,0281	0,4215	0,8279	
15,0000	28,500	0,0285	0,4275	1,0169	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Para el promedio general de esta forma de medidor, se tiene un valor de 2,9503 VA, por lo cual se considera que, si está dentro de los requisitos de la norma, dado que en la norma la pérdida máxima para estos casos es de 5 VA. Se observa que los resultados de los medidores electromecánicos la pérdida es mayor respecto a los electrónicos, se demuestra que el medidor marca CLOU es la que tiene menores pérdidas, obteniendo 3,26 veces menor que el promedio de medidores de la misma forma.

3.3.2. Ensayos y resultados de medidores forma 2S

Para estos casos se consideraron las cinco marcas que actualmente la distribuidora utiliza para esta forma de medidores, siendo tres marcas del tipo electromecánico, cuatro del tipo electrónico haciendo un total de 35 pruebas, a todos los medidores se les aplico un voltaje de 240 VAC tal como lo indica en la tabla, 30 amperios de corriente, de los cuales se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla IV. Resultados pruebas de voltaje forma 2S

núm. Prueba	Forma	Marca	Tipo de fabricación	Circuito de voltaje			
				Voltaje aplicado (V)	Corriente medida (mA)	Corriente en amperios	Pérdidas P=VI
1	2S	A	ELECTROMECAÁNICO	240	19,17	0,01917	4,6008
2	2S	A	ELECTROMECAÁNICO	240	19,57	0,01957	4,6968
3	2S	A	ELECTROMECAÁNICO	240	19,05	0,01905	4,5720
4	2S	A	ELECTROMECAÁNICO	240	18,57	0,01857	4,4568
5	2S	A	ELECTROMECAÁNICO	240	19,5	0,0195	4,6800
6	2S	B	ELECTROMECAÁNICO	240	14,7	0,0147	3,5280
7	2S	B	ELECTROMECAÁNICO	240	14,65	0,01465	3,5160
8	2S	B	ELECTROMECAÁNICO	240	15	0,015	3,6000
9	2S	B	ELECTROMECAÁNICO	240	14,35	0,01435	3,4440
10	2S	B	ELECTROMECAÁNICO	240	14,57	0,01457	3,4968

Continuación de la tabla IV.

núm. Prueba	Forma	Marca	Tipo de fabricación	Circuito de voltaje			
				Voltaje aplicado (V)	Corriente medida (mA)	Corriente en amperios	Pérdidas P=VI
11	2S	C	ELECTROMECAÁNICO	240	20,98	0,02098	5,0352
12	2S	C	ELECTROMECAÁNICO	240	20,97	0,02097	5,0328
13	2S	C	ELECTROMECAÁNICO	240	21,2	0,0212	5,0880
14	2S	C	ELECTROMECAÁNICO	240	20,95	0,02095	5,0280
15	2S	C	ELECTROMECAÁNICO	240	21,02	0,02102	5,0448
16	2S	A	ELECTRÓNICO	240	10,65	0,01065	2,5560
17	2S	A	ELECTRÓNICO	240	10,8	0,0108	2,5920
18	2S	A	ELECTRÓNICO	240	10,37	0,01037	2,4888
19	2S	A	ELECTRÓNICO	240	11,55	0,01155	2,7720
20	2S	A	ELECTRÓNICO	240	10,52	0,01052	2,5248
21	2S	D	ELECTRÓNICO	240	2,215	0,002215	0,5316
22	2S	D	ELECTRÓNICO	240	2,14	0,00214	0,5136
23	2S	D	ELECTRÓNICO	240	1,612	0,001612	0,3869
24	2S	D	ELECTRÓNICO	240	2,152	0,002152	0,5165
25	2S	D	ELECTRÓNICO	240	1,705	0,001705	0,4092
26	2S	E	ELECTRÓNICO	240	1,857	0,001857	0,4457
27	2S	E	ELECTRÓNICO	240	1,802	0,001802	0,4325
28	2S	E	ELECTRÓNICO	240	1,957	0,001957	0,4697
29	2S	E	ELECTRÓNICO	240	1,935	0,001935	0,4644
30	2S	E	ELECTRÓNICO	240	1,925	0,001925	0,4620
31	2S	C	ELECTRÓNICO	240	9,8	0,0098	2,3520
32	2S	C	ELECTRÓNICO	240	10,75	0,01075	2,5800
33	2S	C	ELECTRÓNICO	240	9,95	0,00995	2,3880
34	2S	C	ELECTRÓNICO	240	9,1	0,0091	2,1840
35	2S	C	ELECTRÓNICO	240	10,15	0,01015	2,4360

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Tabla V. Resultados pruebas de corriente forma 2S

Circuito de corriente							
Corriente aplicada en amperios	Voltaje en V fase A	Pérdida circuito de corriente fase A	Voltaje en V fase C	Pérdida circuito de corriente fase C	Pérdida circuito de corriente	Pérdida total	Promedio de pérdida por marca
30	0,0475	1,4250	0,0488	1,4640	2,8890	7,4898	7,2767
30	0,0279	0,8370	0,0220	0,6600	1,4970	6,1938	
30	0,0478	1,4340	0,0490	1,4700	2,9040	7,4760	
30	0,0407	1,2210	0,0538	1,6140	2,8350	7,2918	
30	0,0548	1,6440	0,0536	1,6080	3,2520	7,9320	
30	0,0501	1,5030	0,0495	1,4850	2,9880	6,5160	6,3694
30	0,0295	0,8850	0,0315	0,9450	1,8300	5,3460	
30	0,0525	1,5750	0,0538	1,6140	3,1890	6,7890	
30	0,0532	1,5960	0,0528	1,5840	3,1800	6,6240	
30	0,0519	1,5570	0,0506	1,5180	3,0750	6,5718	
30	0,0498	1,4940	0,0496	1,4880	2,9820	8,0172	8,0878
30	0,0507	1,5210	0,0512	1,5360	3,0570	8,0898	5,0605
30	0,0537	1,6110	0,0498	1,4940	3,1050	8,1930	
30	0,0518	1,5540	0,0495	1,4850	3,0390	8,0670	
30	0,0487	1,4610	0,0522	1,5660	3,0270	8,0718	
30	0,0382	1,1460	0,0420	1,2600	2,4060	4,9620	
30	0,0395	1,1850	0,0461	1,3830	2,5680	5,1600	3,2418
30	0,0401	1,2030	0,0435	1,3050	2,5080	4,9968	
30	0,0412	1,2360	0,0421	1,2630	2,4990	5,2710	
30	0,0378	1,1340	0,0418	1,2540	2,3880	4,9128	
30	0,0447	1,3410	0,0544	1,6320	2,9730	3,5046	
30	0,0465	1,3950	0,0568	1,7040	3,0990	3,6126	2,6256
30	0,0446	1,3380	0,0214	0,6420	1,9800	2,3669	
30	0,0465	1,3950	0,0517	1,5510	2,9460	3,4625	
30	0,0462	1,3860	0,0489	1,4670	2,8530	3,2622	2,6256
30	0,0385	1,1550	0,0376	1,1280	2,2830	2,7287	
30	0,0335	1,0050	0,0365	1,0950	2,1000	2,5325	

Continuación de la tabla V.

Circuito de corriente							
Corriente aplicada en amperios	Voltaje en V fase A	Pérdida circuito de corriente fase A	Voltaje en V fase C	Pérdida circuito de corriente fase C	Pérdida circuito de corriente	Pérdida total	Promedio de pérdida por marca
30	0,0354	1,0620	0,0337	1,0110	2,0730	2,5427	5,0892
30	0,0356	1,0680	0,0348	1,0440	2,1120	2,5764	
30	0,0386	1,1580	0,0376	1,1280	2,2860	2,7480	
30	0,0438	1,3140	0,0388	1,1640	2,4780	4,8300	
30	0,0503	1,5090	0,0476	1,4280	2,9370	5,5170	
30	0,0439	1,3170	0,0485	1,4550	2,7720	5,1600	
30	0,0387	1,1610	0,0403	1,2090	2,3700	4,5540	
30	0,0486	1,4580	0,0497	1,4910	2,9490	5,3850	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Para estos casos se dividió promedio general quedando un valor de 7,2446 *watts*, para medidores electromecánicos y un valor de 4,004 *watts* para los medidores por lo cual se considera que los medidores electrónicos están dentro de los límites que la norma estable siendo la pérdida máxima para estos casos de 5 *watts*.

Se observa que los resultados de los medidores electromecánicos la pérdida es mayor respecto a los electrónicos, se demuestra que el medidor marca CLOU es la que tiene menores pérdidas, obteniendo 1,52 veces menor que el promedio de medidores electrónicos, con un 2,75 veces menor al promedio de los medidores electromecánicos.

3.3.3. Ensayos y resultados de medidores forma 25S

Para estos casos se consideraron las 2 marcas que actualmente la distribuidora utiliza para esta forma de medidores, en estas formas los medidores son del tipo electrónico haciendo un total de 10 pruebas, a todos los medidores se les aplico un voltaje de 120 voltios de fase a neutro, entre fases un voltaje de 208 voltios, tal como lo indica en la tabla, en caso de la corriente se aplicó 30 amperios, de los cuales se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla VI. Resultados pruebas de voltaje forma 25S

núm. Prueba	Forma	Marca	Tipo de fabricación	Circuito de voltaje			
				Voltaje aplicado (V)	Corriente medida (mA)	Corriente en amperios	Pérdidas $P=VI$
1	12S	C	ELECTRÓNICO	120	11,02	0,01102	1,3224
2	12S	C	ELECTRÓNICO	120	13,22	0,01322	1,5864
3	12S	C	ELECTRÓNICO	120	11,17	0,01117	1,3404
4	12S	C	ELECTRÓNICO	120	11,15	0,01115	1,3380
5	12S	C	ELECTRÓNICO	120	11,25	0,01125	1,3500
6	12S	A	ELECTRÓNICO	120	17,92	0,01792	2,1504
7	12S	A	ELECTRÓNICO	120	18,97	0,01897	2,2764
8	12S	A	ELECTRÓNICO	120	20,5	0,0205	2,4600
9	12S	A	ELECTRÓNICO	120	19,62	0,01962	2,3544
10	12S	A	ELECTRÓNICO	120	19,57	0,01957	2,3484

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Tabla VII. **Resultados pruebas de corriente forma 25S**

Circuito de corriente							
Corriente aplicada en amperios (A)	Voltaje en V fase A	Pérdida circuito de corriente fase A	Voltaje en V fase C	Pérdida circuito de corriente fase C	Pérdida circuito de corriente	Pérdida total	Promedio de pérdida por marca
30	0,0478	1,4340	0,0429	1,2870	2,7210	4,0434	4,1984
30	0,0501	1,5030	0,0424	1,2720	2,7750	4,3614	
30	0,0486	1,4580	0,0476	1,4280	2,8860	4,2264	
30	0,0484	1,4520	0,0475	1,4250	2,8770	4,2150	
30	0,0465	1,3950	0,0467	1,4010	2,7960	4,1460	
30	0,0381	1,1430	0,0326	0,9780	2,1210	4,2714	4,5073
30	0,0356	1,0680	0,0331	0,9930	2,0610	4,3374	
30	0,0398	1,1940	0,0383	1,1490	2,3430	4,8030	
30	0,0355	1,0650	0,0376	1,1280	2,1930	4,5474	
30	0,0368	1,1040	0,0375	1,1250	2,2290	4,5774	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Para estos casos el promedio queda con un valor de 4,3529 VA, para los medidores por lo cual se considera que los medidores electrónicos están dentro de los límites que la norma establece siendo la pérdida máxima para estos casos de 5 VA, se demuestra que el medidor marca Landis es la que tiene menores pérdidas, similar a su competencia en la misma categoría de medidores.

3.3.4. **Ensayos y resultados de medidores forma 16S**

Para estos casos se consideraron las 2 marcas que actualmente la distribuidora utiliza para esta forma de medidores, en estas formas los medidores son del tipo electrónico haciendo un total de 10 medidores de pruebas, debido a que son medidores trifásicos se trabajó por elementos, cada elemento está conformado por una fase, incluyendo el voltaje y la corriente de la misma, por lo cual este tipo de medidor contiene tres elementos. a todos los medidores se les

aplico un voltaje de 120, 120, 208 voltios de fase a neutro, entre fases un voltaje de 240 voltios, tal como lo indica en la tabla, en caso de la corriente se aplicó 30 amperios, de los cuales se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla VIII. **Resultados pruebas de voltaje forma 16S**

Núm. Prueba	Forma	Marca	Tipo de fabricación	Elemento	Circuito de voltaje		
					Voltaje aplicado (V)	Corriente en amperios	Pérdidas P=VI
1	16S	A	ELECTRÓNICO	A	120	0,01712	2,0544
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			2,0544
2	16S	A	ELECTRÓNICO	A	120	0,01672	2,0064
				B	120	0	0,0000
				C	208	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			2,0064
3	16S	A	ELECTRÓNICO	A	120	0,01725	2,0700
				B	120	0	0,0000
				C	208	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			2,0700
4	16S	A	ELECTRÓNICO	A	120	0,01772	2,1264
				B	120	0	0,0000
				C	208	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			2,1264

Continuación de la tabla VIII.

Núm. Prueba	Forma	Marca	Tipo de fabricación	Elemento	Circuito de voltaje		
					Voltaje aplicado (V)	Corriente en amperios	Pérdidas P=VI
5	16S	A	ELECTRÓNICO	A	120	0,01827	2,1924
				B	120	0	0,0000
				C	208	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			
6	16S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0,01355	1,6260
				B	120	0	0,0000
				C	208	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			
7	16S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0,01395	1,6740
				B	120	0	0,0000
				C	208	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			
8	16S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0,014	1,6800
				B	120	0	0,0000
				C	208	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			
9	16S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0,01395	1,6740
				B	120	0	0,0000
				C	208	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			
10	16S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0,01385	1,6620
				B	120	0	0,0000
				C	208	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Tabla IX. **Resultados pruebas de corriente forma 16S**

Circuito de corriente				
Corriente aplicada en amperios (A)	Voltaje en V	Pérdida circuito de corriente	Pérdida total	Promedio de pérdida por marca
30,0000	0,0675	2,0250	4,0794	5,7457
30,0000	0,0378	1,1340	1,1340	
30,0000	0,0408	1,2240	1,2240	
Pérdida de los 3 elementos		4,3830	6,4374	
30,0000	0,0306	0,9180	2,9244	
30,0000	0,0312	0,9360	0,9360	
30,0000	0,0398	1,1940	1,1940	
Pérdida de los 3 elementos		3,0480	5,0544	
30,0000	0,0306	0,9180	2,9880	
30,0000	0,0393	1,1790	1,1790	
30,0000	0,0510	1,5300	1,5300	
Pérdida de los 3 elementos		3,6270	5,6970	
30,0000	0,0357	1,0710	3,1974	
30,0000	0,0345	1,0350	1,0350	
30,0000	0,0509	1,5270	1,5270	
Pérdida de los 3 elementos		3,6330	5,7594	
30,0000	0,0365	1,0950	3,2874	
30,0000	0,0344	1,0320	1,0320	
30,0000	0,0487	1,4610	1,4610	
Pérdida de los 3 elementos		3,5880	5,7804	

Continuación de la tabla IX.

Circuito de corriente				
Corriente aplicada en amperios (A)	Voltaje en V	Pérdida circuito de corriente	Pérdida total	Promedio de pérdida por marca
30,0000	0,0401	1,2030	2,8290	5,3028
30,0000	0,0442	1,3260	1,3260	
30,0000	0,0498	1,4940	1,4940	
Pérdida de los 3 elementos		4,0230	5,6490	
30,0000	0,0368	1,1040	2,7780	
30,0000	0,0355	1,0650	1,0650	
30,0000	0,0463	1,3890	1,3890	
Pérdida de los 3 elementos		3,5580	5,2320	
30,0000	0,0341	1,0230	2,7030	
30,0000	0,0374	1,1220	1,1220	
30,0000	0,0483	1,4490	1,4490	
Pérdida de los 3 elementos		3,5940	5,2740	
30,0000	0,0323	0,9690	2,6430	
30,0000	0,0389	1,1670	1,1670	
30,0000	0,0427	1,2810	1,2810	
Pérdida de los 3 elementos		3,4170	5,0910	
30,0000	0,0378	1,1340	2,7960	
30,0000	0,0350	1,0500	1,0500	
30,0000	0,0474	1,4220	1,4220	
Pérdida de los 3 elementos		3,6060	5,2680	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Para estos casos el promedio queda con un valor de 5,5243 *watts* para los tres elementos y 1,8414 *watts* en promedio para los elementos de los medidores de prueba, por lo cual se considera que los medidores electrónicos están dentro

de los límites que la norma establece siendo la pérdida máxima para estos casos de 5 watts por elemento, se observa que el medidor marca Landis es la que tiene menores pérdidas, similar a su competencia en la misma categoría de medidores, con una diferencia de 0,44 watts.

3.3.5. Ensayos y resultados de medidores forma 9S

Para estos casos se consideraron las 2 marcas que actualmente la distribuidora utiliza para esta forma de medidores, en estas formas los medidores son del tipo electrónico haciendo un total de 10 medidores de pruebas, debido a que son medidores trifásicos se trabajó por elementos, cada elemento está conformado por una fase incluyendo el voltaje y la corriente de la misma, por lo cual este tipo de medidor contiene tres elementos, dado que esta forma de medidores son utilizados con equipos de medición los cuales son configurados en estrella, a todos los medidores se les aplicó un voltaje de 120 voltios de fase a neutro, entre fases un voltaje de 208 voltios, tal como lo indica en la tabla, en caso de la corriente se aplicó 2,5 amperios como lo indica la tabla I, se presenta el siguiente resultado.

Tabla X. Resultados pruebas de voltaje forma 9S

Núm. Prueba	Forma	Marca	Tipo de fabricación	Circuito de voltaje			
				Elemento	Voltaje aplicado (V)	Corriente medido, en amperios	Pérdidas P=VI
1	9S	A	ELECTRÓNICO	A	120	0,01597	1,9164
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			1,9164
2	9S	A	ELECTRÓNICO	A	120	0,0191	2,2920
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			2,2920

Continuación de la tabla X.

Núm. Prueba	Forma	Marca	Tipo de fabricación	Circuito de voltaje			
				Elemento	Voltaje aplicado (V)	Corriente medido, en amperios	Pérdidas P=VI
3	9S	A	ELECTRÓNICO	A	120	0,01645	1,9740
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			1,9740
4	9S	A	ELECTRÓNICO	A	120	0,01592	1,9104
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			1,9104
5	9S	A	ELECTRÓNICO	A	120	0,01805	2,1660
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Pérdida de los 3 elementos			2,1660
6	9S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0	0,0000
				B	120	0	0,0000
				C	120	0,01805	2,1660
				Pérdida de los 3 elementos			2,1660
7	9S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0	0,0000
				B	120	0	0,0000
				C	120	0,01717	2,0604
				Pérdida de los 3 elementos			2,0604
8	9S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0	0,0000
				B	120	0	0,0000
				C	120	0,01717	2,0604
				Pérdida de los 3 elementos			2,0604
9	9S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0	0,0000
				B	120	0	0,0000
				C	120	0,01587	1,9044
				Pérdida de los 3 elementos			1,9044
10	9S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0	0,0000
				B	120	0	0,0000
				C	120	0,01702	2,0424
				Pérdida de los 3 elementos			2,0424

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Tabla XI. Resultados pruebas de corriente forma 9S

Circuito de corriente				
Corriente aplicada en amperios	Voltaje medido, en voltios	Pérdida circuito de corriente	Pérdida total	Promedio de pérdida por marca
2,50	0,0367	0,0918	2,0082	2,3071
2,50	0,0357	0,0893	0,0893	
2,50	0,0332	0,0830	0,0830	
Pérdida de los 3 elementos		0,2640	2,1804	
2,5	0,0369	0,0923	2,3843	
2,5	0,0332	0,0830	0,0830	
2,5	0,0334	0,0835	0,0835	
Pérdida de los 3 elementos		0,2588	2,5508	
2,5	0,0377	0,0943	2,0683	
2,5	0,0349	0,0873	0,0873	
2,5	0,0326	0,0815	0,0815	
Pérdida de los 3 elementos		0,2630	2,2370	
2,5	0,0336	0,0840	1,9944	
2,5	0,0316	0,0790	0,0790	
2,5	0,0328	0,0820	0,0820	
Pérdida de los 3 elementos		0,2450	2,1554	
2,5	0,0338	0,0845	2,2505	
2,5	0,0327	0,0818	0,0818	
2,5	0,0319	0,0798	0,0798	
Pérdida de los 3 elementos		0,2460	2,4120	
2,5	0,0320	0,0800	0,0800	
2,5	0,0286	0,0715	0,0715	
2,5	0,0339	0,0848	2,2508	
Pérdida de los 3 elementos		0,2363	2,4023	
2,5	0,0312	0,0780	0,0780	
2,5	0,0258	0,0645	0,0645	
2,5	0,0299	0,0748	2,1352	
Pérdida de los 3 elementos		0,2173	2,2777	
2,5	0,0348	0,0870	0,0870	
2,5	0,0253	0,0633	0,0633	
2,5	0,0302	0,0755	2,1359	
Pérdida de los 3 elementos		0,2258	2,2862	
2,5	0,0307	0,0768	0,0768	
2,5	0,0286	0,0715	0,0715	
2,5	0,0290	0,0725	1,9769	
Pérdida de los 3 elementos		0,2208	2,1252	
2,500	0,0309	0,0773	0,0773	
2,500	0,0266	0,0665	0,0665	
2,500	0,0302	0,0755	2,1179	
Pérdida de los 3 elementos		0,2193	2,2617	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Para estos casos el promedio queda con un valor de 2,288 watts para los tres elementos y 1,6415 watts en promedio para los elementos de los medidores de prueba, por lo cual se considera que los medidores electrónicos están dentro de los límites que la norma establece siendo la pérdida máxima para estos casos de 5 watts por elemento, se observa que el medidor marca Landis es la que tiene menores pérdidas, similar a su competencia en la misma categoría de medidores.

3.4. Análisis económico por cantidad de medidores de energía utilizados en una distribuidora de energía.

Para determinar el análisis se basó en el pliego tarifario publicado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE, durante los cuatro trimestres del año 2019 utilizando el promedio de estos.

3.4.1. Costo de la electricidad según pliego tarifario

Le pliego tarifario utilizado es de febrero 2019 a enero 2020, del cual se consideraron las tarifas trimestrales según el artículo 87 del Reglamento de la Ley General de Electricidad, según se presenta en las siguientes tablas¹³:

¹³ Ministerio de Energía y Minas. *Reglamento de la ley general de electricidad, reformas según Acuerdo Gubernativo No. 68-2007.* p. 42.

Tabla XII. **Pliego tarifario, febrero a abril 2019**

Febrero, marzo y abril	
RESOLUCIÓN	CNEE-49-2019 CNEE-50-2019
Tarifa: Baja Tensión No Social - BTS	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	9,148141
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1,230627
Tarifa: Baja Tensión con Demanda en Punta - BTDp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	109,777692
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,896764
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	41,400229
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	58,294128
Tarifa: Baja Tensión con Demanda Fuera de Punta - BTDfp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	109,777692
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,891405
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	22,830062
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	27,504606
Tarifa: Media Tensión con Demanda en Punta - MTDp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	732,203227
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,849371
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	34,093098
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	16,350478
Tarifa: Media Tensión con Demanda Fuera de Punta - MTDfp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	732,203227
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,847378
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	25,159099
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	10,855422

Fuente: elaboración propia, con datos tomados de la página web de la CNEE.

<http://www.cnee.gob.gt/calculadora/pliegos.php>. Consulta: 5 de julio de 2019.

Tabla XIII. **Pliego tarifario, mayo a julio 2019**

Mayo, junio y julio	
RESOLUCIÓN	CNEE-120-2019 CNEE-121-2019
Tarifa: Baja Tensión No Social - BTS	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	9,148141
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1,306812
Tarifa: Baja Tensión con Demanda en Punta - BTDP	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	109,777692
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,970422
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	40,719541
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	58,294128
Tarifa: Baja Tensión con Demanda Fuera de Punta - BTDFp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	109,777692
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,970736
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	22,454698
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	27,504606
Tarifa: Media Tensión con Demanda en Punta - MTDP	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	732,203227
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,92456
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	33,532551
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	16,350478
Tarifa: Media Tensión con Demanda Fuera de Punta - MTDFp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	732,203227
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,924659
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	24,745442
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	10,855422

Fuente: elaboración propia, con datos tomados de la página web de la CNEE.

<http://www.cnee.gob.gt/calculadora/pliegos.php>. Consulta: 25 de julio de 2019.

Tabla XIV. **Pliego tarifario, agosto a octubre 2019**

Agosto, septiembre y octubre	
RESOLUCIÓN	CNEE-180-2019 CNEE-181-2020
Tarifa: Baja Tensión No Social - BTS	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	9,375037
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1,336747
Tarifa: Baja Tensión con Demanda en Punta - BTDp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	112,500439
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,997564
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	40,719541
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	59,036169
Tarifa: Baja Tensión con Demanda Fuera de Punta - BTDfp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	112,500439
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,997878
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	22,454698
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	27,854719
Tarifa: Media Tensión con Demanda en Punta - MTDp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	750,364348
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,951702
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	33,532551
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	16,632144
Tarifa: Media Tensión con Demanda Fuera de Punta - MTDfp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	750,364348
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,951801
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	24,745442
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	11,042426

Fuente: elaboración propia, con datos tomados de la página web de la CNEE.

<http://www.cnee.gob.gt/calculadora/pliegos.php>. Consulta: 25 de julio de 2019.

Tabla XV. **Pliego tarifario, noviembre 2019 a enero 2020**

Noviembre, diciembre y enero	
RESOLUCIÓN	CNEE-245-2019 CNEE-246-2019
Tarifa: Baja Tensión No Social - BTS	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	9,584285
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1,34423
Tarifa: Baja Tensión con Demanda en Punta - BTDp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	115,011423
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,994053
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	40,719541
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	61,956325
Tarifa: Baja Tensión con Demanda Fuera de Punta - BTDfp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	115,011423
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,994367
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	22,454698
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	29,23252
Tarifa: Media Tensión con Demanda en Punta - MTDp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	766,74282
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,948191
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	33,532551
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	17,428137
Tarifa: Media Tensión con Demanda Fuera de Punta - MTDfp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	766,74282
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0,94829
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	24,745442
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	11,570902

Fuente: elaboración propia, con datos tomados de la página web de la CNEE.

<http://www.cnee.gob.gt/calculadora/pliegos.php>. Consulta: 25 de julio de 2019.

3.4.2. Costo promedio de la electricidad, formas de medidor aplicable

El costo promedio de la energía en kWh según pliego tarifario queda como se muestra en la siguiente tabla, adicional se adjunta una columna para saber a qué forma de medidor es aplicable.

Tabla XVI. Costo promedio, según valor en pliego tarifario

Trimestre	Tarifa	Cargo unitario por energía (Q/kWh)	Forma medidor aplicable
1	BTS	1,230627	1S y 2S
2	BTS	1,306812	1S y 2S
3	BTS	1,336747	1S y 2S
4	BTS	1,34423	1S y 2S
Q/kWh promedio		1,304604	
1	BTDp	0,896764	25S y 16S
2	BTDp	0,970422	25S y 16S
3	BTDp	0,997564	25S y 16S
4	BTDp	0,994053	25S y 16S
1	BTDfp	0,891405	25S y 16S
2	BTDfp	0,970736	25S y 16S
3	BTDfp	0,997878	25S y 16S
4	BTDfp	0,994367	25S y 16S
Q/kWh promedio		0,964148625	
1	MTDp	0,849371	9S
2	MTDp	0,92456	9S
3	MTDp	0,951702	9S
4	MTDp	0,948191	9S
1	MTDfp	0,847378	9S
2	MTDfp	0,924659	9S
3	MTDfp	0,951801	9S
4	MTDfp	0,94829	9S
Q/kWh promedio		0,918244	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

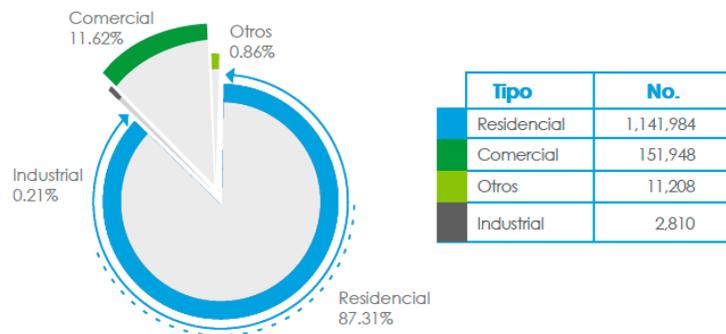
3.4.3. Cálculo de pérdidas en energía y quetzales

La empresa distribuidora en los departamentos de interés, tiene la distribución de clientes según lo muestra la figura 27, considerando que las formas de medidores se asocian según su utilidad para la distribuidora, para los residenciales se utiliza los de forma 1S y 2S, para la parte comercial, se utiliza 25S y 16S, y para la parte industrial se utiliza la forma 9S, dentro de la estructura se observa la parte indicada como otros, estos son usuarios que no cuentan con medidor, sino son contratos directos con la empresa distribuidora, ejemplo de ellos son el alumbrado público, que se encuentra regulado en el pliego tarifario de la CNEE, también se presenta la estructura de facturación para fines de comparación con los datos obtenidos.

Figura 27. Estructura de mercado distribuidora

Estructura del mercado de EEGSA

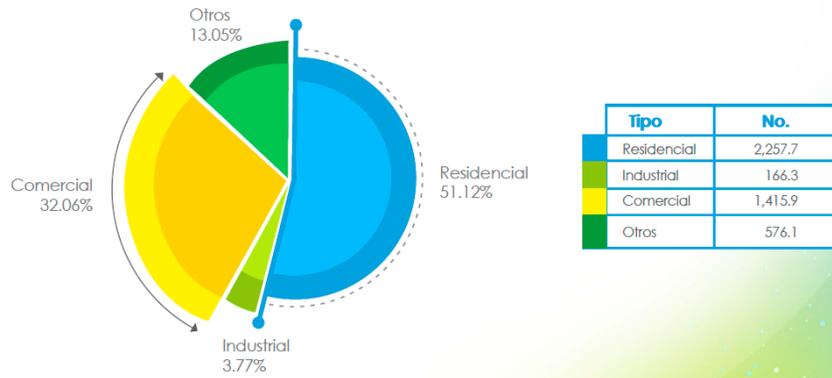
Clasificación de clientes de EEGSA
1,307,950 clientes



Fuente: EEGSA. *Informe Avanzado 2019*. <https://eegsa.com/wp-content/uploads/2020/03/Informe-Avanzado-EEGSA-2019.pdf>. p. 12. Consulta: 3 de agosto de 2019.

Figura 28. Estructura de facturación de la distribuidora

Estructura de la facturación de EEGSA
Q4,416.1 millones



Fuente: EEGSA. *Informe Avanzado 2019*. <https://eegsa.com/wp-content/uploads/2020/03/Informe-Avanzado-EEGSA-2019.pdf>. p. 12. Consulta: 3 de agosto de 2019.

Ya determinado la cantidad de clientes, en la siguiente tabla se presenta el promedio de las pérdidas según forma de medidor, agrupando los de forma 1S con el 2S, los 12S con el 16S y el 9S queda solo por tanto hay tres grupos para fines de cálculo, esto con el apoyo de la tabla, se presenta los cálculos para el valor de las pérdidas en medidores.

Los valores de promedios del resultado de los medidores están en W por lo tanto para encontrar el costo de la pérdida anual, de cada grupo se utilizó la siguiente formula.

$$W * \frac{1}{1\ 000} * 8\ 760h \text{ (horas año)} * \frac{Q}{kWh} \text{ (costo pliego tarifario)} * \text{cantidad de usuarios} = \text{costo anual}$$

Considerando la formula anterior, se presenta las tablas donde se presenta los valores de cada ítem, así como su costo anual.

Tabla XVII. **Costo anual de las pérdidas en medidores por consumo propio, clasificación residencial.**

TIPO RESIDENCIAL		
FORMA DE MEDIDOR	TIPO	VALOR PROMEDIO DE PÉRDIDAS EN W
1S	Electromecánico	5,0067
1S	Electrónico	1,5793
2S	Electromecánico	7,2446
2S	Electrónico	4,0043
Valor promedio grupo (W)		4,458725
Valor promedio grupo (kW)		0,004458725
Horas año		8 760
Q/kWh promedio		1,304604
Costo anual en quetzales		50,95578532
Cantidad usuarios		1 141 984
Costo en pérdida anual (Q)		58 190 691,54
Costo en millones (Q)		58,19

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Tabla XVIII. **Costo anual de las pérdidas en medidores por consumo propio, clasificación comercial**

TIPO COMERCIAL		
FORMA DE MEDIDOR	TIPO	VALOR PROMEDIO DE PÉRDIDAS EN VA
25S	ELECTRÓNICO	4,3529
16S	ELECTRÓNICO	5,5243
Valor promedio grupo (W)		4,9386
Valor promedio grupo (kW)		0,0049386
Horas año		8 760
Q/kWh promedio		1,304604
Costo anual en quetzales		56,43995567
cantidad usuarios		151 948
Costo en pérdida anual (Q)		8 575 938,38
Costo en millones (Q)		8,58

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Tabla XIX. **Costo anual de las pérdidas en medidores por consumo propio clasificación industrial**

TIPO INDUSTRIAL		
FORMA DE MEDIDOR	TIPO	VALOR PROMEDIO DE PÉRDIDAS EN VA
9S	ELECTRÓNICO	2,2888
Valor promedio grupo (W)		2,2888
Valor promedio grupo (kW)		0,0022888
Horas año		8760
Q/kWh promedio		1,304604
Costo anual en quetzales		26,15716408
cantidad usuarios		2810
Costo en pérdida anual (Q)		73501,63
Costo en millones (Q)		0,07

Fuente: elaboración, propia empleando.

4. PROCEDIMIENTO DE HOMOLOGACIÓN DE UN MEDIDOR DE ENERGÍA

La homologación de medidores de energía eléctrica generalmente debe cumplir los estándares internacionales para su uso en sistemas de medición de energía, en este caso se enlistan algunos puntos críticos, para medidores a utilizarse en la red eléctrica de los departamentos de Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez, por tanto esto no es normativa sino una orientación para la persona individual o sociedad que pretenda utilizar un medidor diferente a los que actualmente tienen los diferentes entes de distribución o comercializador de energía eléctrica.

Las áreas donde los medidores podrían utilizarse son: en todos los puntos de medición requerido entre los procesos de generación, transporte, comercialización, así como la distribución a usuarios finales, en los departamentos de Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez, en caso los proveedores de servicio lo acepten, deberán ser medidores de uso exterior e interior, cumpliendo las normas ANSI C12.1. ANSI C12.10 y ANSI C12.20.

4.1. Pruebas requeridas del medidor

Las pruebas comunes para determinar el estado del medidor son las siguientes:

- Frecuencia para funcionamiento, deberá ser de 60 Hz.
- Corriente de arranque o mínima, según la tabla 4 de la norma ANSI C12.1.

- Corriente máxima, que soporte la carga máxima según su placa de características, clase 20, clase 100 y clase 200.
- Ser útil en cajas tipo *socket*, como los descritos en el capítulo 1.
- Bidireccionalidad, en caso de ser electromecánico contar con engranajes unidireccional, consultar con el proveedor de servicio si hace la aceptación de este tipo de medidor, no podrá ser útil en usuarios auto productores, en caso de ser de estado sólido, ser capaz de recibir la programación unidireccional o bidireccional, en caso sea necesario ser utilizado en usuarios auto productores.
- Soportar *flicker* o fluctuaciones del nivel de tensión de la red o las ocasionadas por el tipo de cargas del usuario.
- Despliegue de datos, para los medidores de estado sólido deberá tener una pantalla donde muestre los datos básicos en modo de operación que incluya; kWh(+), kWh(-), kW, kVArh, tener una opción de datos en modo alterno o de mantenimiento donde deberá desplegar datos que incluya: número de serie de fábrica, número de medidor, los niveles de tensión y corrientes según la cantidad de fases que se esté midiendo, datos o variables previstos en su programación, todos los datos desplegados en pantalla deberán ser almacenados en la memoria acumulativa del medidor o contar con memoria masiva para guardar los datos hasta un cierto tiempo hacia atrás, para su interrogación a través de una computadora, si fuese necesario.
- Puerto de comunicación, el medidor deberá tener un sistema de comunicación para su programación, reinicio de datos si fuese requerido,

el puerto deberá ser de comunicación óptico infrarrojo, deberá contar con sistema de seguridad para no ser utilizado por personas ajenas al caso.

4.2. Clase de exactitud

La exactitud de medición del medidor deberá ser del orden del $\pm 0,2$ % para todo medidor de estado sólido, dado que es la exactitud de los medidores de este tipo, utilizados en los departamentos de interés, el cual deberá ser comprobable en base a su hoja de datos (calibración) o sus especificaciones de fábrica (placa de características).

4.3. Resultados de las pruebas del medidor

Los resultados de pruebas de fábrica, se debe validar a través de la calibración de este realizada por un laboratorio acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025, emitiendo el certificado correspondiente.

4.4. Auditoria de fabricación

En caso de que se pretenda utilizar una cantidad mayor de 1 000 medidores deberá ser auditable en los procesos de fabricación, la cantidad se basa en el inciso c del artículo 65¹⁴ de las Normas Técnicas Del Servicio de Distribución.

¹⁴ Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas del servicio de distribución*. p. 38.

5. PÉRDIDAS EN MEDIDORES UTILIZADOS PARA *SMART GRID*

Para el suministro de energía eléctrica hacia los usuarios de una distribuidora, es necesario contar con un medidor para determinar los consumos realizados durante un periodo, entonces la finalidad de estos es registrar los consumos realizados.

Pero debido a que los medidores convencionales no tienen un sistema de comunicación hacia la distribuidora, se hace necesario que una persona pase a ver o tomar las lecturas del medidor para luego ser analizadas, así poder emitir la factura correspondiente.

La idea de la medición inteligente surge debido a que hoy en día los precios de los componentes electrónicos han decaído a tal punto que muchas de las cosas de uso cotidiano cuentan con conexión hacia celulares o directamente hacia la red de Internet, en base a esto se menciona el internet de las cosas, la cual hace ver que todos los dispositivos industriales o de uso doméstico tienen la posibilidad de conectarse a una red de Internet para su uso, administración o su posibilidad de manipular desde lejos sin necesidad de una manipulación local.

Con esto surgen los dispositivos inteligentes, utilizados en una red de energía eléctrica, en caso específico surge el medidor inteligente, el cual es capaz de tener una comunicación utilizando la red de telefonía o un sistema inalámbrico, para su comunicación a un centro de datos para ser interrogado, entregar datos de consumos o comportamiento del sistema eléctrico al cual está conectado, o ser manipulado para una realizar una maniobra de apertura o cierre

de su bobina para conectar o desconectar al cliente del sistema eléctrico, también en él es posible ser manipulado con código local para un sistema prepago.

5.1. Red Smart Grid

Es la integración de los sistemas eléctricos conectados a una red en determinada región, sea este un municipio, departamento, país, o interconexiones entre varios países, pero que la red eléctrica a la que se conectan los sistemas de generación o usuarios debe ser una sola, como sería el caso en el país sería el Sistema Nacional Interconectado, además de la posible conexión entre sistemas eléctricos, lo que destaca es la medición inteligente, debido que si no se pudiera medir, sería un caos el sistema.

En este tipo de sistema se hace necesario utilizar medidores inteligentes, dispositivos que cuenten con medición y comunicación remota hacía un sistema de base de datos, haciendo de la red eléctrica más eficiente y aprovechable para los que integran el sistema, así el usuario final también puede hacer uso eficiente de la energía eléctrica, aprovechando que los medidores que tienen en este sistema son capaces de medir en diferentes horarios. Debido que el precio de la energía varia en diferentes horarios, hacer uso de sistemas renovables para generar energía, lo cual el medidor es capaz de medir. Otra característica de los medidores es que pueden ser de uso prepago, por tanto, tener desconexión y conexión remota.

5.2. Elementos determinantes

En cada medidor suceden dos tipos de pérdidas, en el circuito de voltaje y en el circuito de corriente, sabiendo que en el circuito de corriente solo se basa en la resistividad del material del que está compuesto el metal que sirve de

puede en la caja *socket* del usuario por lo mismo, no se verá afectada si se usará mayor cantidad de tarjetas electrónicas dentro de un medidor, sin embargo, el circuito de voltaje se verá afectado directamente, por cada tarjeta electrónica añadida para mejorar los controles, tanto el sistema de comunicación remota, como los componentes a usarse para apertura o cierre del servicio del usuario final, son factores que demandan más corriente interna del medidor, por tanto hacen que crezcan las pérdidas propias del medidor. Los elementos determinantes en un medidor serán:

- El tipo y tamaño de la pantalla (*display*)
- La cantidad de tarjetas electrónicas
- Sistema de comunicación remota
- Sistema de conexión, desconexión remota (solenoides o servomotor)
- Tipo de conexión monofásico o trifásico

5.3. Consecuencia del uso de medidores inteligentes, respecto a las pérdidas de energía en la red de distribución.

Las pérdidas como se determinó en el capítulo anterior, en los medidores de estado sólido se da según sea la placa o tarjeta electrónica que utilice el medidor, por tanto, entre más inteligente sea un medidor incluirá mayor cantidad de tarjetas electrónicas, provocando mayor pérdida en la red de distribución eléctrica.

Para los sistemas *Smart Grid* (Red eléctrica inteligente), se hace necesario utilizar medidores inteligentes capaces de tener una comunicación remota para la lectura de consumos de energía, la desconexión y conexión remota, también debe incluir un sistema para la interrupción del servicio de energía eléctrica, si así lo determinará el distribuidor o usuario final.

En base al capítulo número cuatro de este documento, se observa que el medidor entre más inteligente sea, se tiene mayor pérdida. En las figuras siguientes se puede observar la cantidad de tarjetas electrónicas que tiene un medidor que puede utilizarse en la red *Smart Grid*.

Figura 29. **Medidor inteligente con su cubierta**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología eléctrica, METRIC.

Figura 30. **Medidor inteligente con sus tarjetas electrónicas**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología eléctrica, METRIC.

Figura 31. **Medidor inteligente con opción de conexión y desconexión remota**



Fuente: Landis+Gyr. *Residential: FOCUS AX Metering Platform E331 FOCUS AXe/AXRe/RXRe E351 FOCUS AXe/AXRe/RXRe-SD.* www.landisgyr.com/webfoo/wp-content/uploads/2014/08/PS_Family-Product-Sheet.pdf. Consulta: 8 de septiembre 2020.

Por tanto, el medidor que se incluya en la red *Smart Grid*, debe ser eficiente para no introducir mayores pérdidas en la red eléctrica, así contribuir con mantener precios justos. El beneficio es para ambas vías, tanto para el distribuidor como para el usuario final, sin embargo, las pérdidas según normativas de la CNEE van incluidas en el VAD.

5.4. Comparación de pérdidas de medidor forma 9S normal y forma 9S inteligente

Debido a que en los pliegos tarifarios de bandas horarias utilizando medidores inteligentes en los departamentos de interés, dio inicio en noviembre

de 2019, no se tenía los medidores inteligentes de todas las formas utilizadas, por lo cual se hace la comparación únicamente con los medidores forma 9S.

5.4.1. Ensayos y resultados de medidores forma 9S para medición inteligente

Para estos casos se consideraron las dos marcas que estaban en el momento, también que son los que actualmente la distribuidora utiliza, haciendo un total de 5 medidores por marca, por lo cual se obtiene 10 medidores de prueba, a los cuales se les aplicó un voltaje de 120 VAC a 2,5 amperios de prueba, de los cuales se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla XX. Resultados pruebas de voltaje forma 9S inteligentes

núm. Prueba	Forma	Marca	Tipo de fabricación	Elemento	Voltaje aplicado (V)	Corriente en amperios	Pérdidas P=VI
1	9S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0,0286	3,4320
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Consumo de los 3 elementos			3,4320
2	9S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0,02857	3,4284
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Consumo de los 3 elementos			3,4284
3	9S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0,02782	3,3384
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Consumo de los 3 elementos			3,3384
4	9S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0,0277	3,3240
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Consumo de los 3 elementos			3,3240

Continuación de la tabla XX.

núm, Prueba	Forma	Marca	Tipo de fabricación	Elemento	Voltaje aplicado (V)	Corriente en amperios	Pérdidas P=VI
5	9S	C	ELECTRÓNICO	A	120	0,0281	3,3720
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Consumo de los 3 elementos			3,3720
6	9S	F	ELECTRÓNICO	A	120	0,03002	3,6024
				B	120	0,028	3,3600
				C	120	0,02915	3,4980
				Consumo de los 3 elementos			10,4604
7	9S	F	ELECTRÓNICO	A	120	0,02235	2,6820
				B	120	0,02502	3,0024
				C	120	0,02615	3,1380
				Consumo de los 3 elementos			8,8224
8	9S	F	ELECTRÓNICO	A	120	0,07465	8,9580
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Consumo de los 3 elementos			8,9580
9	9S	F	ELECTRÓNICO	A	120	0,03155	3,7860
				B	120	0,03082	3,6984
				C	120	0,03257	3,9084
				Consumo de los 3 elementos			11,3928
10	9S	F	ELECTRÓNICO	A	120	0,07375	8,8500
				B	120	0	0,0000
				C	120	0	0,0000
				Consumo de los 3 elementos			8,8500

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Tabla XXI. **Resultados pruebas de corriente forma 9S inteligentes**

Corriente aplicada en amperios (A)	Voltaje en V	Pérdida circuito de corriente	Pérdida total	Promedio de pérdida por marca
2,5	0,0397	0,0993	3,5313	3,6816
2,5	0,0396	0,0990	0,0990	
2,5	0,0362	0,0905	0,0905	
Consumo de los 3 elementos		0,2888	3,7208	
2,5	0,0403	0,1008	3,5292	
2,5	0,0392	0,0980	0,0980	
2,5	0,0376	0,0940	0,0940	
Consumo de los 3 elementos		0,2928	3,7212	
2,5	0,0396	0,0990	3,4374	
2,5	0,0387	0,0968	0,0968	
2,5	0,0412	0,1030	0,1030	
Consumo de los 3 elementos		0,2988	3,6372	
2,5	0,0426	0,1065	3,4305	
2,5	0,0408	0,1020	0,1020	
2,5	0,0435	0,1088	0,1088	
Consumo de los 3 elementos		0,3173	3,6413	
2,5	0,0444	0,1110	3,4830	
2,5	0,0429	0,1073	0,1073	
2,5	0,0389	0,0973	0,0973	
Consumo de los 3 elementos		0,3155	3,6875	
2,5	0,0853	0,2133	3,8157	11,1791
2,5	0,0852	0,2130	3,5730	
2,5	0,0918	0,2295	3,7275	
Consumo de los 3 elementos		0,6558	11,1162	
2,5	0,1103	0,2758	2,9578	
2,5	0,1254	0,3135	3,3159	
2,5	0,1108	0,2770	3,4150	
Consumo de los 3 elementos		0,8663	9,6887	
30,0000	0,0607	1,8210	10,7790	
30,0000	0,0558	1,6740	1,6740	
30,0000	0,0525	1,5750	1,5750	

Continuación de la tabla XXI.

Corriente aplicada en amperios (A)	Voltaje en V	Pérdida circuito de corriente	Pérdida total	Promedio de pérdida por marca
Consumo de los 3 elementos		5,0700	14,0280	
2,5	0,0619	0,1548	3,9408	
2,5	0,0594	0,1485	3,8469	
2,5	0,0639	0,1598	4,0682	
Consumo de los 3 elementos		0,4630	11,8558	
2,5	0,0480	0,1200	8,9700	
2,5	0,0467	0,1168	0,1168	
2,5	0,0480	0,1200	0,1200	
Consumo de los 3 elementos		0,3568	9,2068	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Para estos casos el promedio de las pérdidas queda con un valor de 7,4303 W, para los tres elementos de los medidores, este valor es mayor a los 2,288 W que se obtuvo de la misma forma de medidor visto en el capítulo 3.

CONCLUSIONES

1. Los medidores electromecánicos tienen mayor pérdida que los medidores electrónicos, de la misma forma de configuración.
2. Los medidores electrónicos varían en su consumo propio al cambiar de marca, a pesar de que estén fabricados bajo las mismas normas, varía según la cantidad de elementos que poseen; entre mayor es el número de ellos mayor es el consumo propio.
3. Existen pérdidas presentadas en millones de quetzales, al realizar el análisis de consumo de energía eléctrica en el consumo propio de los medidores. Al comparar una de las formas de medidor convencional versus otro de la misma forma, pero denominado medidor inteligente, se obtuvo un resultado de 3,246 veces mayor el consumo respecto al convencional.
4. Se elaboró el procedimiento de homologación de medidores de energía eléctrica a utilizar en los departamentos de: Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez, realizándolo en base a los procesos que se tiene actualmente en la distribuidora.

RECOMENDACIONES

1. Reducir el número de medidores electromecánicos en el parque de medidores de la distribuidora, proyectando su población a cero, debido al consumo propio de los mismos, comparado con los medidores electrónicos los cuales son de menor consumo.
2. Realizar un estudio en el país de parte del ente regulador para determinar qué medidores no deben ser utilizados en la distribución de la energía eléctrica. Dado que el consumo propio de los medidores varía en marca, esto afecta en las pérdidas, las cuales tienen su peso en el valor agregado de distribución.
3. Realizar un estudio económico sobre los tipos de medidores a utilizar para las tarifas de bandas horarias, dado que requieren mayor consumo propio de energía eléctrica.
4. Realizar y aprobar un procedimiento de homologación de medidores convencionales. Los que se utilicen para las bandas horarias o para el sistema prepago, debido a que las tarifas para ambos casos ya están en vigencia.
5. Dar continuidad al cumplimiento establecido en la NTSD del artículo 64 inciso c, respecto al muestro de precisión del medidor de consumo de energía eléctrica, también determinar nuevos rangos de precisión establecidos en el artículo 65 inciso c, dado que los medidores

electrónicos tienen rangos del 0,2 % de error, en la normativa establece error máximo de 3 %.

6. Realizar un estudio si las tarifas de bandas horarias si conviene a los usuarios de las diferentes distribuidoras en el país, para no aumentar el precio de la energía eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

1. American National Standards Institute. *ANSI C12.1-2008, American national standard for electric meters, code for electricity metering*. Washington D.C.: National Electrical Manufacturers Association, 2008. 97 p.
2. _____. *ANSI C12.20-2002, American national standard for electric meters, code for electricity metering*. Washington D.C.: National Electrical Manufacturers Association, 2002. 28 p.
3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Marco legal del subsector eléctrico de Guatemala, compendio de leyes y reglamentos*. Guatemala: Serviprensa, 2013. 104 p.
4. _____. *Normas técnicas del servicio de distribución*. Guatemala: CNEE, 2003. 114 p.
5. _____. *Pliegos tarifarios*. [en línea]. <<http://www.cnee.gob.gt/calculadora/pliegos.php>>. [Consulta 12 de diciembre 2020].
6. COOPER, William; HELFRICK, Albert. *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*. México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1991. 461 p.

7. Edison Electric Institute. *Handbook for electricity metering*. 10a ed. Estados Unidos: EEI, 2002. 604 p.
8. Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. *Curso de acometidas eléctricas*. Guatemala: INTECAP, 2006. 232 p.
9. Institución responsable. *Informe Avanzado 2019*. Guatemala: EEGSA, 2020. 79 p.
10. ISO. *ISO/IEC17025: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*. 2a ed. Suiza: ISO, 2005. 29 p.
11. Ministerio de Economía: *Comisión Guatemalteca de Normas. COGUANOR NTG ISO/IEC 17025:2017*. [en línea]. <<https://sisoyyomismo.files.wordpress.com/2012/07/coguanor-ngt-17025-2005-version-oficial.pdf>>. [Consulta: 22 de septiembre de 2020].
12. Ministerio de Energía y Minas. *Reglamento de la ley general de electricidad, reformas según acuerdo gubernativo No. 68-2007*. Guatemala: presidente de la República, 1997. 44 p.
13. PIETRO, Pol Bertran. *Thomas Edison: biografía y resumen de sus aportes a la ciencia*. [en línea]. <<https://medicoplus.com/biografias/thomas-edison>>. [Consulta: 15 de marzo de 2020].

14. PRAVEEN VADDA, Sreerama Murthy Seelam. *Smart metering for smart electricity consumption*. [en línea]. <<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:829754/FULLTEXT01.pdf>>. [Consulta: 3 de junio de 2019].
15. RETANA ESQUIVEL, Airons Alejandro. *Verificación de la calibración de contadores de energía eléctrica*. Trabajo de graduación Ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010. 213 p.
16. Smart Energy International. *The history of the electricity meter*. [en línea]. <<https://www.smart-energy.com/features-analysis/the-history-of-the-electricity-meter/>>. [Consulta: 29 de octubre de 2018]

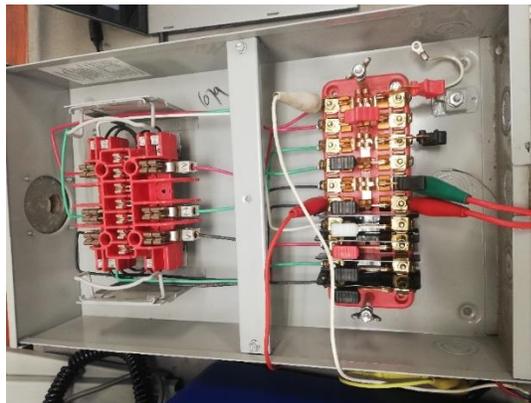
APÉNDICES

Apéndice 1. **Generador de voltaje y corriente**



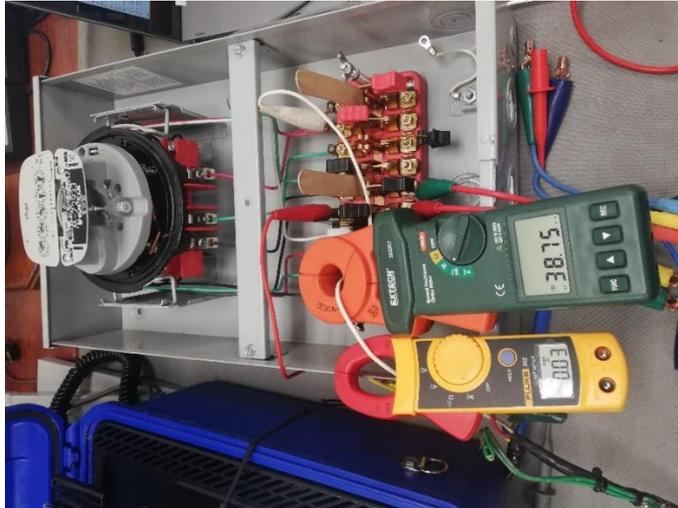
Fuente: elaboración propia, empleando el Laboratorio de metrología, METRIC.

Anexo 2. **Caja de pruebas para medidores de base socket**



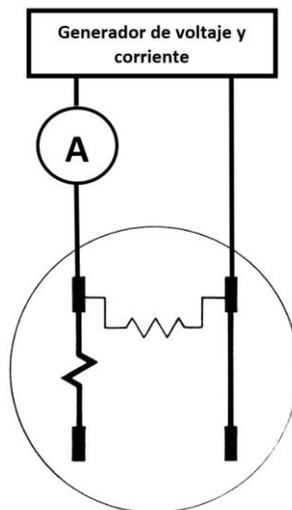
Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

Apéndice 3. **Ejemplo de ensayos realizados**



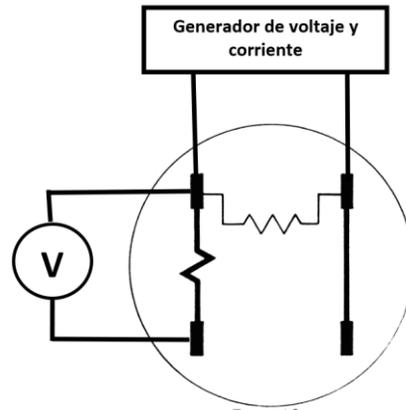
Fuente: elaboración propia, Laboratorio de metrología, METRIC.

Apéndice 4. **Diagrama ejemplo de toma de corriente**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Apéndice 5. **Diagrama ejemplo de toma de voltaje**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Apéndice 6. **Procedimiento utilizado para realizar los ensayos contenidos en este documento**

- Encendido del equipo medidor RW30, espera de treinta minutos previo a utilizarlo con la finalidad de lograr estabilidad en los componentes internos del mismo.
- Configuración del RW30 según características de medidor a ensayar para poder energizarlo correctamente.
- Conexión de la caja de pruebas mostrados en el anexo 2. Esta conexión es fijada según el tipo de configuración de medidor a realizarle los ensayos.
- Se coloca los instrumentos auxiliares de medición de las variables eléctricas de interés, como el ejemplo mostrado en los anexos cuatro y cinco. El medidor se inserta en la caja de pruebas y se comprueba que todo esté conectado correctamente, se energiza según características del medidor, tomando datos de las variables eléctricas de interés, las cuales son anotadas en una computadora. Este proceso se realizó cinco veces por cada medidor para obtener los datos mostrados en capítulos anteriores de este documento.
- Al finalizar el proceso del medidor ensayado, se detiene la energización, seguidamente se procede a retirar el medidor de la caja de pruebas, para ingresar el siguiente, hasta finalizar los ensayos correspondientes.

Fuente: elaboración propia.