



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

**PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA PARA VERIFICACIÓN DE MEDIDORES
DE ENERGÍA EN EL SECTOR ELÉCTRICO REGULADO DE GUATEMALA**

Eder Fernando Osorio García

Asesorado por el Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA PARA VERIFICACIÓN DE MEDIDORES
DE ENERGÍA EN EL SECTOR ELÉCTRICO REGULADO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDER FERNANDO OSORIO GARCÍA

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Bayron Armando Cuyan Culajay |
| EXAMINADOR | Ing. Jorge Gilberto González Padilla |
| EXAMINADOR | Ing. Otto Fernando Andrino González |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA PARA VERIFICACIÓN DE MEDIDORES DE ENERGÍA EN EL SECTOR ELÉCTRICO REGULADO DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 12 de noviembre de 2012

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eder Fernando Osorio García', written over a horizontal line. The signature is stylized with loops and flourishes.

Eder Fernando Osorio García

Guatemala, 18 de abril de 2013

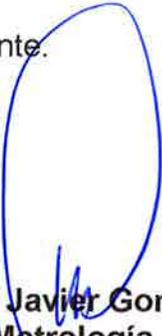
Ingeniero
Romeo Neftalí López Orozco
Coordinador del área de Electrotecnia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Romeo

De acuerdo a la dirección hecha por la Dirección de la Escuela, me permito hacer de su conocimiento que he tenido a bien asesorar el trabajo de graduación titulado **“PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA PARA VERIFICACIÓN DE MEDIDORES DE ENERGÍA EN EL SECTOR ELÉCTRICO REGULADO DE GUATEMALA”** desarrollado por el estudiante **Eder Fernando Osorio García**, encontrándolo satisfactorio, por lo que resuelvo dar mi aprobación al mismo, remitiéndole a la Coordinación para el trámite pertinente.

Agradeciendo su atención a la presente.

Atentamente,



Ing. Francisco Javier González López
Jefe, Sección Metrología Eléctrica, CII
Colegiado 2364
Asesor



Ref. EIME 49.2013

Guatemala, 03 de JUNIO 2013.

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

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA PARA VERIFICACIÓN DE
MEDIDORES DE ENERGÍA EN EL SECTOR ELÉCTRICO
REGULADO DE GUATEMALA, del estudiante Eder Fernando
Osorio García que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Romeo Nefalí López Orozco
Coordinador Área Electrotécnica



sro



REF. EIME 49. 2013.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; EDER FERNANDO OSORIO GARCÍA titulado: PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA PARA VERIFICACIÓN DE MEDIDORES DE ENERGÍA EN EL SECTOR ELÉCTRICO REGULADO DE GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 18 DE JULIO 2,013.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA PARA VERIFICACIÓN DE MEDIDORES DE ENERGÍA EN EL SECTOR ELÉCTRICO REGULADO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Eder Fernando Osorio García**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 16 de agosto de 2013



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

El Señor mi Dios

De quien procede toda buena dádiva y todo don perfecto, al Gran Pastor de las ovejas y al Espíritu Santo de la promesa. A Él sea la gloria y el imperio por los siglos de los siglos.

Mi padre

Luis Fernando Osorio Oliva, quien a lo largo de mi carrera me motivara a seguir adelante a pesar de las adversidades, no negándome su apoyo en ningún momento.

Mi madre

Olga Esperanza García de Osorio, quien me ha guiado a través de toda mi vida y en mi carrera, de acuerdo a la verdad y a la luz, quien nunca me dejara solo.

Mi hermana

Jennifer Fabiola Osorio, por ser tan paciente a lo largo de mi carrera y de mi vida, siendo una gran alegría para mí.

A todos los lectores

Que la gracia del Señor Jesucristo, el amor de Dios el Padre y la comunión del Espíritu Santo sean con todos vosotros. Amén.

AGRADECIMIENTOS A:

El Señor mi Dios

Quien me reveló la Verdad, que me ha hecho libre y andar por el Camino hacia el Padre. Sin Él nada de lo que es hoy sería posible. A Él sea toda gloria.

Mis padres

Luis Fernando Osorio y Olga Esperanza de Osorio, por nunca haberme negado su apoyo incondicional para culminar mis estudios, apoyándome cuando más lo necesité.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser el centro de formación, para que un sueño más fuera completado

La Facultad de Ingeniería

Lugar donde formara mi carrera y aprendiera lo necesario para servir a mi país.

Catedráticos de la Facultad de Ingeniería

Por ser quienes compartieran su conocimiento y experiencia adquirida, muchos de ellos sin interés.

Ing. Francisco González

Quien me asesorara a lo largo de este informe y brindara su apoyo y conocimientos para completar también esta carrera.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | XI |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XV |
| GLOSARIO | XVII |
| RESUMEN..... | XIX |
| OBJETIVOS..... | XXI |
| INTRODUCCIÓN..... | XXIII |
| | |
| 1. CONCEPTOS DE METROLOGÍA Y EL SUBSECTOR ELÉCTRICO EN GUATEMALA | 1 |
| 1.1. Mediciones y el proceso de medición..... | 1 |
| 1.2. Factores que intervienen en el proceso de las mediciones | 3 |
| 1.2.1. Repetibilidad..... | 3 |
| 1.3. Reproducibilidad..... | 4 |
| 1.4. Incertidumbre..... | 4 |
| 1.5. Errores dados en los medidores de energía eléctrica | 6 |
| 1.5.1. Determinación del error en la verificación de medidores..... | 7 |
| 1.5.2. Error en los medidores de inducción | 8 |
| 1.5.3. Error en los medidores digitales | 8 |
| 1.5.4. Verificación por contraste contra medidor patrón analógico (de inducción)..... | 9 |
| 1.5.5. Verificación por contraste contra medidor patrón electrónico | 11 |
| 1.5.6. Otras fuentes de error en los medidores de energía eléctrica | 11 |

| | | | |
|------|----------|---|----|
| | 1.5.6.1. | Error por fase faltante..... | 11 |
| | 1.5.6.2. | Error por carga desequilibrada | 13 |
| | 1.5.6.3. | Error por distorsión armónica | 15 |
| | 1.5.6.4. | Error por magnitudes de influencia..... | 17 |
| | 1.5.6.5. | Error por auto calentamiento | 17 |
| 1.6. | | Subsector Eléctrico de Guatemala | 18 |
| | 1.6.1. | Principales instituciones del Sector Eléctrico de Guatemala..... | 18 |
| | 1.6.2. | Sector Regulado..... | 20 |
| | 1.6.3. | Sistema final de distribución..... | 22 |
| 1.7. | | La tarifa eléctrica..... | 24 |
| | 1.7.1. | Pliegos tarifarios..... | 27 |
| | 1.7.2. | El ajuste tarifario..... | 27 |
| 2. | | PATRONES DE MEDICIÓN | 29 |
| | 2.1. | Tipos de patrones | 31 |
| | | 2.1.1. Patrones de referencia | 31 |
| | | 2.1.2. Patrones internacionales | 31 |
| | | 2.1.3. Patrones nacionales | 31 |
| | | 2.1.4. Patrones de transferencia | 32 |
| | | 2.1.5. Patrones primarios | 32 |
| | | 2.1.6. Patrones secundarios..... | 32 |
| | | 2.1.7. Patrones de trabajo | 33 |
| | 2.2. | Trazabilidad..... | 33 |
| | 2.3. | Partes que conforman la cadena de trazabilidad | 34 |
| | | 2.3.1. Cadena ininterrumpida de calibraciones y comparaciones | 35 |
| | | 2.3.2. Incertidumbre de las medidas | 35 |
| | | 2.3.3. Documentación en el proceso | 35 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.3.4. | Competencia técnica | 35 |
| 2.3.5. | Referencia a las unidades del Sistema Internacional | 36 |
| 2.3.6. | Intervalo de tiempo entre calibraciones | 36 |
| 2.4. | Errores de los instrumentos, y procedimiento general para su calibración..... | 37 |
| 2.4.1. | Error de cero..... | 39 |
| 2.4.2. | Error de multiplicación | 40 |
| 2.4.3. | Error de angularidad..... | 41 |
| 2.4.4. | Error de paralelaje | 43 |
| 2.4.5. | Error de interpolación | 43 |
| 2.5. | Cuidado y conservación de patrones | 44 |
| 2.5.1. | Instrucciones básicas de seguridad y conservación de equipos patrón..... | 44 |
| 2.6. | Patrones para verificación de medidores de energía eléctrica | 46 |
| 2.6.1. | Equipo patrón de verificación PTS 3.3..... | 46 |
| 2.6.1.1. | Características más importantes del patrón | 47 |
| 2.6.1.2. | Ventajas..... | 48 |
| 2.6.1.3. | Funciones del equipo..... | 48 |
| 2.6.1.4. | Aplicaciones..... | 50 |
| 2.6.1.5. | Datos técnicos más importantes del equipo utilizado en la verificación de medidores MTE PTS 3.3 | 50 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3. | ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA..... | 53 |
| 3.1. | Relación entre el número de revoluciones del disco giratorio y la energía en el tiempo | 58 |
| 3.2. | Constante del disco..... | 58 |
| 3.3. | La condición de 90° en el disco del medidor..... | 59 |
| 3.4. | Partes de un medidor de energía | 62 |
| 3.4.1. | Partes del sistema motor..... | 63 |
| 3.4.2. | Rotor y cojinetes del medidor de inducción | 66 |
| 3.4.3. | Imán de frenado | 68 |
| 3.4.4. | Mecanismo registrador..... | 70 |
| 3.5. | Tipos de medidores de energía eléctrica | 74 |
| 3.6. | Tipos y agrupación de los medidores de energía eléctrica | 75 |
| 3.6.1. | Medidor de energía activa monofásico..... | 76 |
| 3.6.2. | Medidor de energía activa trifásico..... | 77 |
| 3.6.2.1. | Medidores de energía activa trifásicos de tres sistemas motor | 77 |
| 3.6.3. | Medidor de energía reactiva monofásico..... | 79 |
| 3.6.4. | Medidores de energía reactiva trifásicos..... | 80 |
| 3.6.5. | Medidores de energía aparente | 82 |
| 3.6.6. | Medidores de energía aparente trifásicos | 82 |
| 3.6.7. | Medidores especiales..... | 84 |
| 3.6.7.1. | Medidores de doble tarifa monofásicos y trifásicos | 85 |
| 3.7. | Otras clasificaciones para medidores de energía eléctrica | 88 |
| 3.7.1. | Por su forma de construcción..... | 88 |
| 3.7.1.1. | Medidores totalmente electromecánicos | 88 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 3.7.1.2. | Medidores electromecánicos con mecanismo registrador electrónico | 88 |
| 3.7.1.3. | Medidores con emisión de impulsos.... | 89 |
| 3.7.1.4. | Medidores totalmente electrónicos | 90 |
| 3.7.1.5. | Modos de operación | 91 |
| 3.7.1.6. | Ventajas..... | 91 |
| 3.7.1.7. | Desventajas | 92 |
| 3.7.2. | Medidores de demanda | 92 |
| 3.7.3. | Medidores multitarifa | 92 |
| 3.7.4. | De acuerdo a la energía que miden..... | 93 |
| 3.7.4.1. | Medidores de energía activa..... | 93 |
| 3.7.4.2. | Medidores de energía reactiva | 93 |
| 3.7.5. | De acuerdo a su conexión a la red de suministro ... | 94 |
| 3.7.5.1. | Medidor monofásico de dos hilos | 94 |
| 3.7.5.2. | Medidor monofásico de tres hilos | 94 |
| 3.7.5.3. | Medidor de dos fases-tres hilos | 94 |
| 3.7.5.4. | Medidor trifásico de tres hilos | 95 |
| 3.7.5.5. | Medidor trifásico de cuatro hilos | 95 |
| 3.7.6. | De acuerdo a la exactitud | 95 |
| 3.7.6.1. | Medidores clase 0,5..... | 96 |
| 3.7.6.2. | Medidores clase 1..... | 96 |
| 3.7.6.3. | Medidores clase 2..... | 96 |
| 4. | TEORÍA DE LA VERIFICACIÓN DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y MÉTODOS DE VERIFICACIÓN | 97 |
| 4.1. | Verificación por medio de potencia por tiempo..... | 98 |
| 4.1.1. | Método de rotor | 98 |
| 4.1.2. | Método del numerador..... | 99 |
| 4.1.3. | Método de carga ficticia | 101 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.1.4. | Método sincrónico | 103 |
| 4.2. | Verificación por medio de medidor patrón..... | 105 |
| 4.2.1. | Método individual | 105 |
| 4.2.2. | Verificación en masa | 106 |
| 5. | PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA..... | 107 |
| 5.1. | Generalidades..... | 107 |
| 5.1.1. | Fundamento legal..... | 107 |
| 5.1.2. | Campo de aplicación..... | 108 |
| 5.1.3. | Objetivo de la Norma Técnica | 109 |
| 5.1.4. | Alcance de la Norma Técnica..... | 109 |
| 5.1.5. | Definiciones..... | 110 |
| 5.2. | Suministro del servicio y sistema de medición | 112 |
| 5.2.1. | Sistema de medida..... | 112 |
| 5.2.2. | Mantenimiento de los equipos y sistemas de medición..... | 113 |
| 5.2.3. | Revisión del sistema de medición | 113 |
| 5.2.4. | Equipo de verificación | 113 |
| 5.2.5. | Impedimento para alterar los sistemas o equipos de medición | 113 |
| 5.2.6. | Quejas y uso ilícito del equipo..... | 114 |
| 5.3. | Requisitos y acondicionamiento de laboratorios de medición y verificación | 114 |
| 5.3.1. | Existencia única del laboratorio de medición y verificación | 114 |
| 5.3.2. | Formación y composición del laboratorio de medición..... | 115 |
| 5.3.3. | Establecimiento de condiciones, para realización de pruebas y verificación..... | 115 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.3.4. | Utilización del laboratorio de medición y verificación..... | 115 |
| 5.4. | Verificación y certificados sobre equipos de medición | 116 |
| 5.4.1. | Requisitos para adquirir instrumentos o sistemas de medición | 116 |
| 5.4.2. | Forma y certificación de los equipos o sistemas de medición | 116 |
| 5.4.3. | Sello de garantía sobre calibración..... | 116 |
| 5.4.4. | Sobre el retiro del sello de garantía | 117 |
| 5.5. | Equipos en el laboratorio de medición y verificación | 117 |
| 5.5.1. | Sobre el equipo de medición y verificación..... | 117 |
| 5.5.2. | Sobre el mantenimiento de los equipos de medida..... | 117 |
| 5.5.3. | Etiqueta de seguridad para los equipos de medición y verificación..... | 118 |
| 5.5.4. | Problemas y mantenimiento a equipos de verificación y medición..... | 118 |
| 5.5.5. | Cambio y sustitución de piezas o parte de los equipos de medición y verificación | 118 |
| 5.5.6. | Pruebas y verificaciones técnicas de la Autoridad Reguladora | 119 |
| 5.5.7. | Término para auditorías técnicas..... | 119 |
| 5.6. | Control sobre equipos y sistemas de medición y verificación | 119 |
| 5.6.1. | Control sobre los medidores y equipos de medición | 119 |
| 5.6.2. | Estructura para el contenido de características en los medidores y equipos de medición | 120 |
| 5.6.3. | Acceso por parte de la Autoridad Reguladora | 121 |
| 5.6.4. | Formato para la elaboración de la base de datos | 121 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 5.6.5. | Medidores en uso y mal funcionamiento | 121 |
| 5.7. | Pruebas y verificación de medidores nuevos | 122 |
| 5.7.1. | Muestreo y evaluación estadística | 122 |
| 5.7.1.1. | Cuando el lote de medidores sea menor a cinco mil unidades..... | 122 |
| 5.7.1.2. | Cuando el lote de medidores sea mayor a cinco mil unidades..... | 123 |
| 5.7.2. | Pruebas mínimas a realizar a medidores o sistemas de medición | 124 |
| 5.7.2.1. | Prueba de vacío | 125 |
| 5.7.2.2. | Prueba de variación de carga o corriente | 125 |
| 5.7.2.3. | Prueba de corriente de arranque..... | 126 |
| 5.7.2.4. | Prueba de variación de frecuencia | 127 |
| 5.8. | Pruebas a medidores en uso | 128 |
| 5.8.1. | Periodicidad del muestreo estadístico..... | 128 |
| 5.8.2. | Muestreo y evaluación estadística | 128 |
| 5.8.3. | Cuando el lote de medidores sea menor a cinco mil unidades | 129 |
| 5.8.4. | Cuando el lote de medidores sea mayor a cinco mil unidades | 130 |
| 5.8.5. | Actividades de las empresas participantes y acciones a tomar | 131 |
| 5.8.6. | Etiquetas de garantía | 131 |
| 5.8.7. | Libertad de verificación | 131 |
| 5.9. | Proceso de medición y verificación a los medidores o sistemas de medición y disposiciones finales | 132 |

| | | |
|-----------------------|---|-----|
| 5.9.1. | Procedimiento general a seguir para realizar la verificación de los sistemas de medición o medidores..... | 132 |
| 5.9.2. | Intervención de la Autoridad Reguladora..... | 133 |
| CONCLUSIONES | | 137 |
| RECOMENDACIONES | | 139 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 141 |
| ANEXO | | 143 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Valor verdadero de una medición | 5 |
| 2. | El medidor de inducción, relojes y disco giratorio | 10 |
| 3. | Sistema con fase faltante y sistema con asimetría de fases | 12 |
| 4. | Sistema desbalanceado en estrella | 14 |
| 5. | Sistema desbalanceado en delta | 14 |
| 6. | Efecto en el voltaje por la conmutación de capacitores..... | 16 |
| 7. | Instituciones principales del sector eléctrico en guatemala..... | 19 |
| 8. | Sector eléctrico de guatemala..... | 20 |
| 9. | Mercado de energía | 21 |
| 10. | Empresas distribuidoras en guatemala | 23 |
| 11. | Ejemplo de facturación (la tarifa eléctrica) | 25 |
| 12. | Cadena de costos en el suministro de energía eléctrica..... | 25 |
| 13. | Composición de la tarifa residencial en guatemala | 26 |
| 14. | Clases de patrones y su nivel de importancia..... | 30 |
| 15. | Proceso de trazabilidad..... | 34 |
| 16. | Relación de calibración del equipo de medida | 37 |
| 17. | Relación medida real-lectura en un instrumento no calibrado..... | 38 |
| 18. | Error de cero en la calibración de instrumentos de medida | 39 |
| 19. | Error de multiplicación en la calibración de instrumentos de medida..... | 40 |
| 20. | Error de angularidad en la calibración de instrumentos de medida..... | 41 |

| | | |
|-----|--|----|
| 21. | Corrección de angularidad..... | 42 |
| 22. | Equipo patrón de verificación pts 3.3 c..... | 46 |
| 23. | Diagrama de bloques del patrón pts 3.3..... | 47 |
| 24. | Flujo de datos en el patrón pts 3.3..... | 49 |
| 25. | Equipo de ensayo pts 3.3, descrito en la sección 2.6.1.5..... | 52 |
| 26. | Principio de construcción del sistema motriz del medidor de energía..... | 56 |
| 27. | Campos magnéticos en el disco giratorio del medidor de energía e imán de frenado en medidores de inducción..... | 57 |
| 28. | Variación de los ángulos φ y Ψ en la condición de 90° | 60 |
| 29. | Variación de los ángulos φ y Ψ en la condición de 90° | 61 |
| 30. | Variación de los ángulos φ y Ψ en la condición de 90° | 61 |
| 31. | Electroimanes de tensión e intensidad contruidos por separado..... | 63 |
| 32. | Electroimanes de tensión e intensidad contruidos en una sola pieza, forma 1..... | 64 |
| 33. | Electroimanes de tensión e intensidad contruidos en una sola pieza, forma 2..... | 65 |
| 34. | Disco de aluminio, montado sobre el eje vertical rotor, construido de una delgada chapa..... | 67 |
| 35. | Partes del disco rotor del medidor de energía..... | 68 |
| 36. | Imán de frenado para medidores de energía eléctrica..... | 70 |
| 37. | Engranajes del mecanismo registrador y partes que lo componen..... | 71 |
| 38. | Engranajes conductores y conducidos, en el mecanismo registrador del medidor de energía..... | 72 |
| 39. | Medidor de energía monofásico, construido según normativa internacional..... | 72 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 40. | Perspectiva del principio de construcción del medidor monofásico de energía activa | 76 |
| 41. | Medidor trifásico con rotor de dos discos..... | 78 |
| 42. | Rotación de vectores de flujo en medidores monofásicos de energía activa y reactiva | 80 |
| 43. | Desfase cíclico de tensiones en un sistema trifásico | 81 |
| 44. | Diagrama vectorial del medidor de energía aparente | 84 |
| 45. | Esquema de funcionamiento del mecanismo contador de doble tarifa para contadores de tarifa baja conectada..... | 86 |
| 46. | Diagrama de conexiones en el método de carga ficticia | 102 |
| 47. | Diagrama de conexiones en el método de carga ficticia..... | 102 |
| 48. | Esquema de conexiones utilizado en laboratorios de verificación de medidores de energía, método de carga ficticia..... | 103 |
| 49. | Conexiones y disposición de medidores, método sincrónico | 104 |
| 50. | Conexión del medidor en prueba con el medidor patrón..... | 105 |
| 51. | Modelo, certificado de verificación de medidores de energía | 134 |
| 52. | Continuación. Modelo, certificado de verificación de medidores de energía | 135 |
| 53. | Continuación. Modelo, certificado de verificación de medidores de energía | 136 |

TABLAS

| | | |
|------|--|----|
| I. | Empresas distribuidoras en Guatemala por región | 23 |
| II. | Tipos de tarifas..... | 28 |
| III. | Partes del medidor de energía mostrado en la figura 39 | 73 |
| IV. | Variación del factor de potencia | 83 |

| | | |
|-------|---|-----|
| V. | Partes del mecanismo contador de doble tarifa para contadores de tarifa baja conectada..... | 87 |
| VI. | Valores de potencia utilizados en la verificación de medidores | 99 |
| VII. | Errores máximos permisibles en la variación de corriente..... | 125 |
| VIII. | Corriente de arranque..... | 126 |
| IX. | Corriente máxima de arranque | 127 |
| X. | Error permisible en la prueba de variación de frecuencia | 127 |
| XI. | Procedimiento para verificar medidores de energía..... | 132 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-------------|---|
| K_n | Constante del disco |
| A | Constante del medidor de energía eléctrica |
| E | Energía |
| Ep | Energía eléctrica activa |
| Es | Energía eléctrica aparente |
| Eq | Energía eléctrica reactiva |
| f | frecuencia |
| F.p. | Factor de potencia |
| F | Fuerza |
| Hz | Hertz |
| H | Hora |
| Z | Impedancia de las bobinas del medidor |
| I | Intensidad (corriente) |
| J | Julio |
| kW | Kilovatio (mil vatios) |
| kWh | Kilovatio hora |
| δ | Letra griega delta representa error de medición |
| φ | Letra griega fi que representa un ángulo |
| Ψ | Letra griega psi que representa un ángulo |
| Σ | Letra griega sigma, representando una sumatoria |
| \bar{x} | Media aritmética |
| μ | Media geométrica |
| MW | Megavatio |

| | |
|----------------------------|-----------------------------|
| Ω | Ohm (resistencia) |
| % | Porcentaje |
| P | Potencia activa |
| S | Potencia aparente |
| Q | Potencia reactiva |
| t | Tiempo (en segundos) |
| σ | Varianza |
| W | Vatio (vatio, potencia) |
| VA | Voltamperios |
| VAr | Voltamperios reactivos |
| VArh | Voltamperios reactivos hora |
| V | Voltio (voltaje) |

GLOSARIO

| | |
|-----------------------------|---|
| Calibración | Es el conjunto de operaciones llevadas a cabo con la finalidad de establecer, en condiciones predeterminadas, la relación entre los valores de una magnitud mostrados por un instrumento y los valores correspondientes de la misma magnitud realizados por patrones. |
| Empresa participante | Se entiende por empresa participante, a toda empresa comercializadora o distribuidora que opere dentro del país y esté regida por la normativa aplicada por la Autoridad Reguladora. |
| Equipo/Medidor | Equipo individual o grupo de equipos (contadores de energía, transformadores de instrumento y otros) que en conjunto son utilizados para la medición y registro de la energía y potencia requerida en una instalación eléctrica. |
| Incertidumbre | Es un parámetro directamente relacionado con la medición, el cual caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser atribuidos al mensurando. |

| | |
|---------------------------|---|
| Mensurando | Es el objeto de medición, sobre el que se centra la atención y utilización de los instrumentos de medida, es la magnitud o valor que se desea conocer, es decir, la magnitud física a medir. |
| Observador | Es el personal encargado de estar presente en el proceso de las mediciones y toma de datos desde los instrumentos de medida. Es quien anota los valores tomados y registrados por los instrumentos, el encargado de llevar dicho control. |
| Usuario/consumidor | Persona física o jurídica que aprovecha la energía eléctrica en un determinado inmueble, una vez haya establecido su relación comercial con la empresa distribuidora o comercializadora. |
| Valor verdadero | Es el valor que expresa de manera ideal las características de la medición, es decir, el valor que se obtendría en una medición sin errores o perfecta en el mensurando. |

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se proponen los aspectos bajo los cuales se debiera analizar a los medidores de energía eléctrica en Guatemala.

En el primer capítulo se tratan los conceptos básicos de metrología, los procesos de medición que se utilizan comúnmente y los factores que pueden afectar dichos procesos, en los medidores de energía eléctrica. Finalmente se toman puntos del subsector eléctrico de Guatemala, sus instituciones y aspectos concernientes a facturación eléctrica y pliegos tarifarios.

El segundo capítulo se centra en la descripción de patrones de medida, aspectos de trazabilidad y de errores en los instrumentos de medida, cuidados generales para patrones y presentación del patrón PTS 3.3, aquí utilizado.

En los capítulos tercero y cuarto se tratan específicamente de los tipos de medidores de energía eléctrica, partes que los conforman y sus diferentes clasificaciones, teoría general sobre la verificación de los mismos y finalmente los diferentes métodos para su verificación.

En el capítulo final se presenta la propuesta para verificación de medidores de energía eléctrica, los fundamentos y alcance de la norma, uso del equipo de medición y verificación y las distintas pruebas a realizar a los medidores junto al proceso que deben seguir. Cuenta con las técnicas de muestreo para diferente número de medidores a evaluar y el formato propuesto para el certificado de verificación.

OBJETIVOS

General

Elaborar una propuesta de norma técnica, mediante la cual, se evalúen medidores de energía en el Sector Eléctrico Regulado de Guatemala.

Específicos

1. Proponer una norma ante la CNEE para evaluación de medidores de energía, ante la problemática de la compra-venta de energía eléctrica en el Sector Eléctrico Regulado de Guatemala.
2. Presentar la teoría sobre patrones de medición y sus diversas clasificaciones, así como los aspectos que conlleva la cadena de trazabilidad y la clasificación de distintos tipos de errores en los medidores.
3. Dar a conocer los aspectos constructivos de los medidores de energía eléctrica, sus variaciones, características y forma de funcionamiento, así como sus distintas clasificaciones.
4. Exponer diversas formas y métodos utilizados en la verificación de medidores de energía eléctrica, así como sus debidos procedimientos.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de normas en todos los aspectos que las incluyan se hace con la finalidad de establecer parámetros que aseguren la confiabilidad en los procedimientos y resultados finales en determinados procesos.

Aquí, se presenta una propuesta de norma técnica, con la finalidad de mantener un correcto y adecuado uso de los medidores de energía eléctrica, empleados por las empresas participantes.

La propuesta se extiende a todas las empresas participantes del comercio de la energía en el Sector Eléctrico Regulado de Guatemala, garantizando con los procedimientos descritos que los equipos medidores que se encuentren instalados y aquellos que se pretendan instalar tengan un correcto funcionamiento y se pueda prestar un adecuado servicio a todos los usuarios.

La normativa propuesta contiene los procedimientos y acciones a tomar en el caso de que usuarios del servicio tengan problemas o descontentos con la tarifa del servicio eléctrico cuando se desconfe del equipo de medición instalado.

También contiene las garantías que debe presentar el laboratorio de medición y verificación de los medidores. Todo lo anterior con el objeto de prestar un mejor y más eficiente servicio, y que las relaciones de compra-venta de la energía sean más claras y confiables.

1. CONCEPTOS DE METROLOGÍA Y EL SUBSECTOR ELÉCTRICO EN GUATEMALA

La metrología es la ciencia que estudia las medidas y formas de medición; generalmente, trata del estudio y aplicación de los medios propios y necesarios para la medida de magnitudes, tales como: longitudes, ángulos, masas, tiempos, velocidades, potencias, temperaturas, intensidades de corriente, etc.

Desde hace mucho la metrología como tal ha pasado por diferentes etapas; desde el uso del cuerpo humano mismo para relaciones de medida, las reglas y formas de medir derivadas del mismo y los primeros patrones, hasta hoy en día.

En el proceso de medición en si incluyendo los instrumentos empleados y calibrados de manera periódica, con la finalidad de servir a los fines deseados en el ámbito que se deseen utilizar, ya sean estos industriales o de investigación científica.

1.1. Mediciones y el proceso de medición

Se debe conocer primeramente que medir es determinar una cantidad en base a su comparación con otra cantidad. No puede también una medición ser entendida completamente bajo un proceso de recopilación de datos sino que debe ser insertada de forma adecuada a en el sistema de toma de decisiones y procesos a seguir.

Los procesos de medición en sí son innumerables debido a la variedad de los mismos, en cuanto a formas de medición, relaciones entre quienes realizan la medición y los resultados mismos obtenidos, aun así, todos culminan con la obtención de un resultado, el cual es afectado por varios y distintos tipos de errores que se dan por la interacción entre el equipo de medida, el observador y el sistema que se esté estudiando.

El proceso de medición es en sí el conjunto de operaciones descritas de forma clara y específica, que son utilizadas en la realización de mediciones particulares y que están de acuerdo a un método de medición previamente determinado.

El proceso de medición es registrado en un documento que contiene un nivel suficiente y aceptable de detalles, que permitirá a un operador realizar la medición o mediciones necesitadas sin utilizar alguna información adicional.

El objetivo principal de una medición es determinar el valor de lo que se desea medir, es decir de la magnitud específica a medir, el mensurando. Aunque al realizar una medición intervendrán varios factores que la harán variar y determinarán su resultado, entre los cuales están los siguientes:

- El lugar y ambiente donde se realizará la medición
- Los instrumentos utilizados para realizar la medición
- El observador
- El proceso de medición
- El objeto de la medición
- El método de cálculo utilizado para realizar la medición

1.2. Factores que intervienen en el proceso de las mediciones

Dentro del proceso de medición, se encuentran diversos factores que afectan de una o de otra forma a las medidas tomadas, siendo estos los siguientes.

1.2.1. Repetibilidad

Al repetir una medición, cuando ésta es realizada bajo las mismas condiciones que la medición previa, se dice que posee condiciones de repetibilidad.

Al cumplir condiciones de repetibilidad se dice que no se alterará en la medición siguiente ningún factor que intervino en la medición actual, es decir que no se cambiará ninguno de los parámetros actuales. Ambas mediciones se mantuvieron sin cambio ante las presentes condiciones:

- El objeto de medición (mensurando)
- El observador
- El lugar y ambiente donde se realizó la medición
- El instrumento utilizado en la medición
- La repetición de la medición fue hecha en un tiempo muy corto entre ambas.

La repetibilidad, en los resultados obtenidos como producto de las mediciones, es quien caracteriza el acuerdo más cercano entre los resultados de mediciones sucesivas llevadas a cabo en condiciones de repetibilidad, la que puede ser expresada de forma cuantitativa si se da en términos y características de la dispersión de resultados.

1.3. Reproducibilidad

Al repetir una medición, y cuando ésta no es realizada bajo las mismas condiciones que la medición previa se dice que posee condiciones de reproducibilidad, es decir, que se variarán algunas de las condiciones de la medición anterior.

Para que una expresión de reproducibilidad sea válida es necesario que se especifiquen las condiciones que variaron entre las mediciones realizadas, dichas condiciones pueden incluir:

- El observador de la medición
- El instrumento utilizado en la medición
- El patrón de referencia tomado
- Las condiciones de lugar y ambiente de la medición
- El tiempo tomado en las mediciones
- Las condiciones de uso

1.4. Incertidumbre

La incertidumbre de una medida, es definida como el parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores y que son atribuidos a un mensurando, en base a la información utilizada.

En el enfoque clásico se debe buscar un valor verdadero de la magnitud medida, por lo que se define un intervalo en el que debería encontrarse dicho valor. En la actualidad, a la incertidumbre se le atribuye un intervalo de valores donde se supone que está el mensurando.

De forma gráfica, lo anterior se puede expresar como sigue:

Figura 1. **Valor verdadero de una medición**



Fuente: elaboración propia.

Donde:

M_{med} es el intervalo donde se asume que está el mensurando

Δ_m es el valor de la incertidumbre de medida.

Aquí M_{med} se encuentra en algún punto del intervalo, por ello el resultado de una medida hecha se escribe siempre de la siguiente forma:

$$M = M_{med} \pm \Delta M$$

A veces es necesario y útil comparar los errores de una medida (error total) con el valor de la medición misma, para ello se define la incertidumbre relativa de la medición, como se muestra a continuación:

$$\delta = \frac{\Delta M}{M_{med}}$$

En cuando a distinciones, para poder diferenciar la incertidumbre ΔM de la incertidumbre relativa, la incertidumbre ΔM se denomina incertidumbre absoluta.

La incertidumbre relativa es muy útil para la redacción de conclusiones parciales y comentar en los resultados de las mediciones. Para expresar el resultado de una medida, de una manera final o en conclusión, es necesario utilizar la incertidumbre absoluta.

Por otro lado, la incertidumbre expresada en forma relativa está dada de forma adimensional, ya que se expresa en tanto por ciento, mientras la absoluta, tiene las mismas unidades de medida que el mensurando.

1.5. Errores dados en los medidores de energía eléctrica

Los errores encontrados en los medidores de energía eléctrica son definidos de acuerdo a la clase a la que pertenezca; el Índice de clase, es el indicador del error en porcentaje del medidor.

También, el error (como indicación) es el valor dado como diferencia, es decir: energía indicada menos energía verdaderamente utilizada.

En forma porcentual se puede definir como sigue:

$$Error \% = \frac{\textit{energía indicada} - \textit{energía verdaderamente utilizada}}{\textit{energía verdaderamente utilizada}} \times 100$$

Como el valor verdadero no puede ser determinado nunca, para lo anterior se toma un valor que se considere como aproximado a dicho valor, con una exactitud que pueda tener trazabilidad a los patrones de referencia.

Se puede entonces deducir que el valor verdadero de la medición realizada se encuentra en un intervalo, que se expresa como sigue:

$$M_{real} \in M_{med} - \Delta M, M_{med} + \Delta M$$

Donde:

M_{med} es el intervalo donde se asume que está el mensurando

Δ_m es el valor de la incertidumbre de medida.

1.5.1. Determinación del error en la verificación de medidores

El procedimiento para encontrar el error al contrastar medidores de energía eléctrica contra un equipo patrón no considerará en primera instancia los errores internos de los equipos involucrados. Por lo anterior, la determinación del error se realiza de la siguiente manera:

Se determina el error al relacionar la energía contabilizada por el medidor que es sometido a verificación o contraste con respecto al valor que se considera como verdadero, que es el valor medido por el sistema patrón y que es corregido por todos los factores de error considerados, definiéndose como sigue:

$$\text{error \%} = \frac{\text{Energía contabilizada} - \text{Energía verdadera}}{\text{Energía verdadera}} * 100$$

En el análisis básico no se tomarán en cuenta los transformadores de medida ni el error intrínseco del medidor patrón. Contabilizándose entonces de la siguiente manera:

1.5.2. Error en los medidores de inducción

Se mide el número de revoluciones N del disco rotor, se computa una cantidad entera para el medidor a verificar por medio de contraste y una cantidad entera y fracción para el medidor patrón.

La relación dada entre el número de revoluciones del disco y la energía viene dada por la constante del disco del medidor y esta puede ser expresada de dos maneras:

- La constante C en revoluciones del disco/kWh o
- La constante K en kWh/revoluciones del disco

La constante está indicada en la placa de datos del medidor, que generalmente es la placa frontal y normalmente está dada como C. En el caso del patrón a utilizar se define en éste, una constante para cada nivel de precisión del equipo. La energía estaría dada entonces por:

$$\text{Energía kWh} = \text{revoluciones del disco} / \text{Constante (revoluciones/kWh)}$$

1.5.3. Error en los medidores digitales

Se mide el número de pulsos que emite el conversor del medidor patrón y el número de revoluciones N representado por los pulsos emitidos por el medidor en verificación o contraste.

La constante básica K del medidor viene expresada en Wh/pulso. Las energías a calcular para cada medidor se dan como sigue:

$$Energía = Pulsos * \frac{kWh}{pulso} \times 10^{-3} * \frac{kWh}{W} \quad kWh$$

Equipo patrón

$$Energía = \frac{revoluciones\ del\ disco}{Constante} \frac{revoluciones}{kWh} \quad kWh$$

Medidor a verificar

Donde el 10^{-3} se da por la correspondencia que debe haber entre los kWh/pulso y los pulsos emitidos por el medidor.

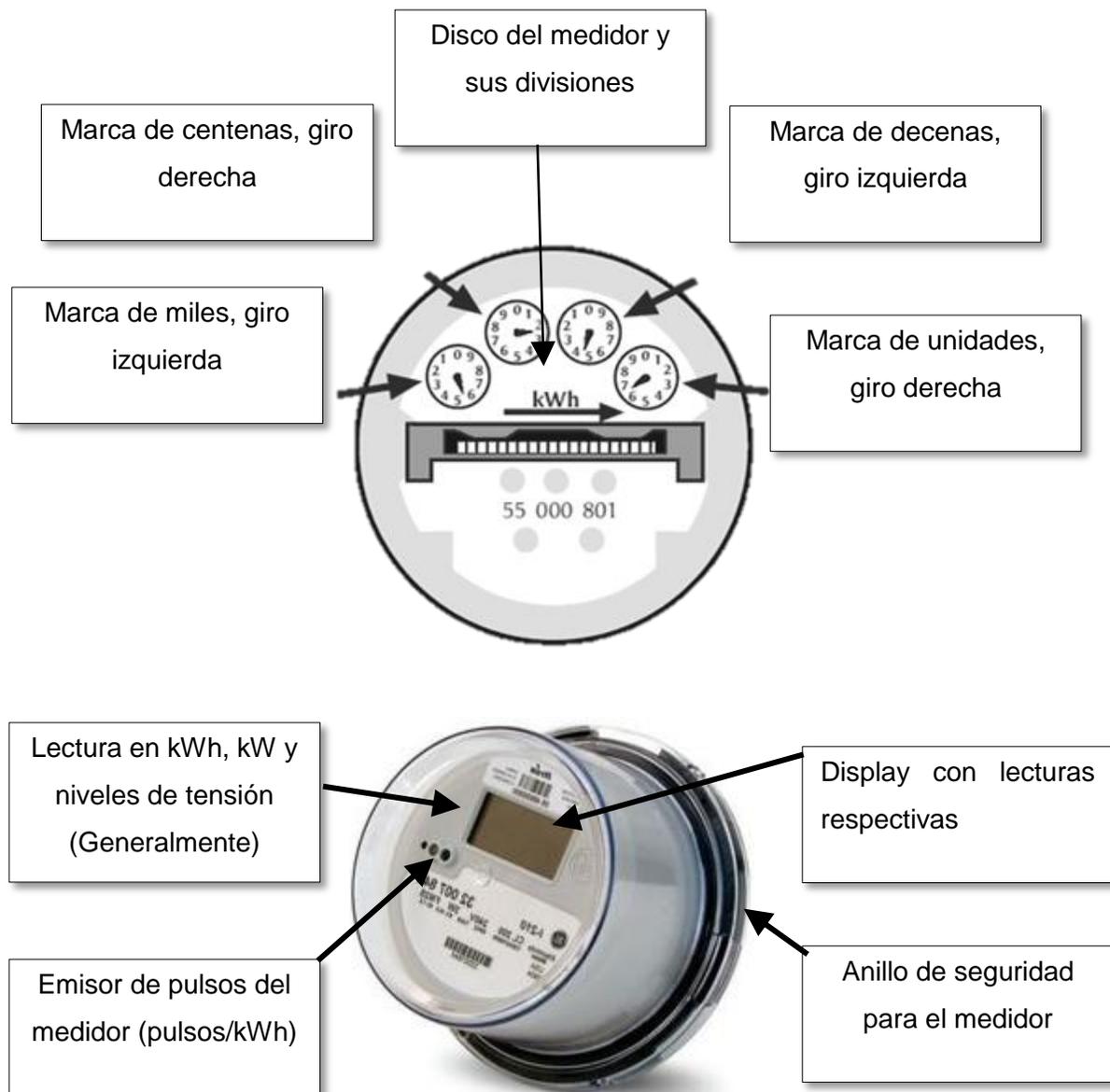
1.5.4. Verificación por contraste contra medidor patrón analógico (de inducción)

Tomando en consideración la ecuación para encontrar la energía en un medidor de inducción y reemplazándola en la ecuación general de error se tiene el error de acuerdo a un medidor patrón de inducción, siendo esta la siguiente:

$$error\% = \frac{Vueltas\ del\ contador\ a\ verificar * Constante\ del\ medidor\ patrón}{Vueltas\ dadas\ por\ el\ patrón * Constante\ del\ medidor\ a\ verificar} * 100$$

Nota: El número de vueltas dadas por el medidor a verificar se contabilizan por el paso de una marca de color negro ubicada en el borde del disco del rotor, mientras que el número de vueltas y fracción dadas por el medidor patrón se da porque la lectura se realiza sobre una escala circular dividida en 100 partes, computándose además las vueltas en relojes adicionales.

Figura 2. **El medidor de inducción de 4 relojes versus medidor digital**



Fuente: elaboración propia, con Word 2010.

1.5.5. Verificación por contraste contra medidor patrón electrónico

Tomando en consideración la ecuación para encontrar la energía en un medidor electrónico y reemplazándola en la ecuación general de error se tiene el error de acuerdo a un medidor patrón electrónico, siendo esta la siguiente:

$$error(\%) = \frac{1000 * \text{Número de vueltas del medidor en verificación}}{\text{Pulsos del medidor patrón} * \frac{K_h}{\text{patrón}} * \frac{K_h}{\text{medidor en contraste}}} * 100$$

1.5.6. Otras fuentes de error en los medidores de energía eléctrica

Entre las fuentes de error que pueden afectar el correcto funcionamiento de los medidores de energía se encuentran:

1.5.6.1. Error por fase faltante

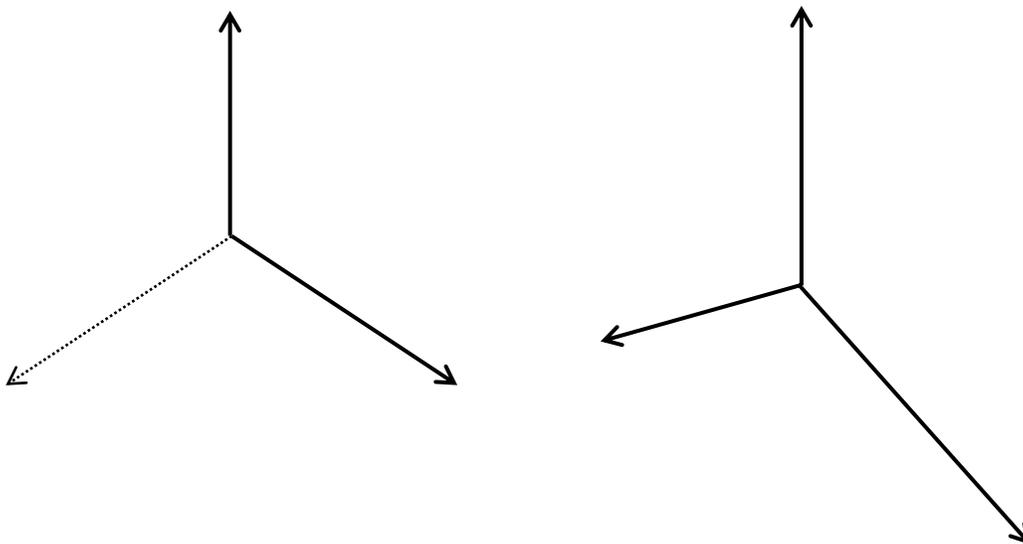
Se da como consecuencia de la pérdida de uno de los conductores que alimentan al medidor o cuando por alguna causa, éste deja de suministrar tensión y/o corriente al mismo.

El error del medidor de energía debe encontrarse dentro del máximo error permisible, de acuerdo a las especificaciones acordadas.

Esto se puede evaluar por varios métodos, ya que si existe la pérdida de alguna fase, el valor del voltaje en la misma será cero voltios, pudiendo ser detectadas por dispositivos de evaluación de tensiones mínimas.

También se puede detectar en base a la asimetría de las fases del sistema eléctrico el cálculo de la diferencia entre las tensiones mayor y menor del sistema. En ambos casos midiendo el valor eficaz de las tensiones en las líneas de suministro.

Figura 3. **Sistema con fase faltante y sistema con asimetría de fases**



Fuente: elaboración propia.

1.5.6.2. Error por carga desequilibrada

Surge cuando el sistema al que suministra el servicio (medida) utiliza de forma desequilibrada la carga conectada al mismo, es decir, que una de las fases del sistema al que sirve está más o menos cargada en comparación a la otra u otras en el caso de ser un medidor trifásico.

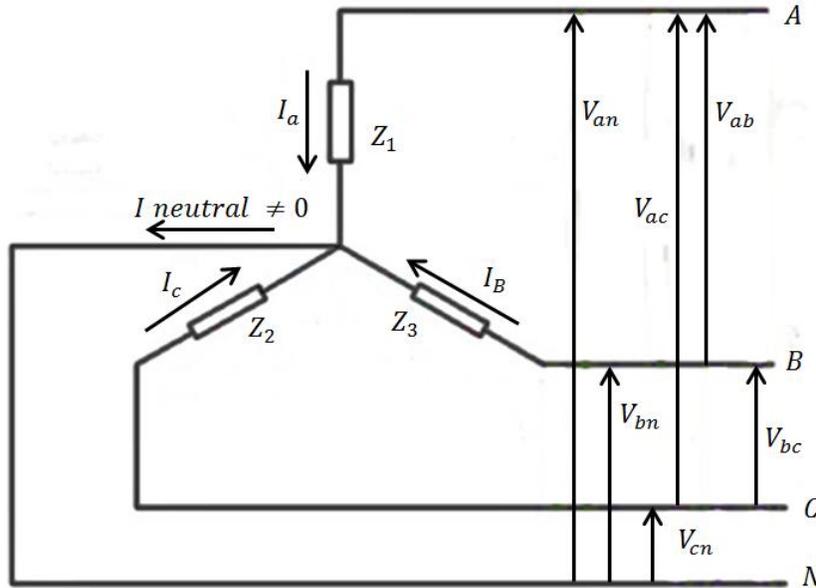
El error del medidor debe estar dentro del máximo error permisible aun cuando una de las corrientes de fase sea cero.

En los sistemas eléctricos no es frecuente que las cargas tengan las mismas impedancias por cada fase del sistema al que se conecten, por lo que en ciertas fases va a circular una corriente mayor o menor que en las otras, esto es un sistema desequilibrado.

Por lo anterior se encuentran sistemas con cargas desiguales conectadas en estrella o en delta y al tener este tipo de sistemas circulará una intensidad por el hilo neutral del sistema, cuya corriente será la suma vectorial de las otras intensidades de fase.

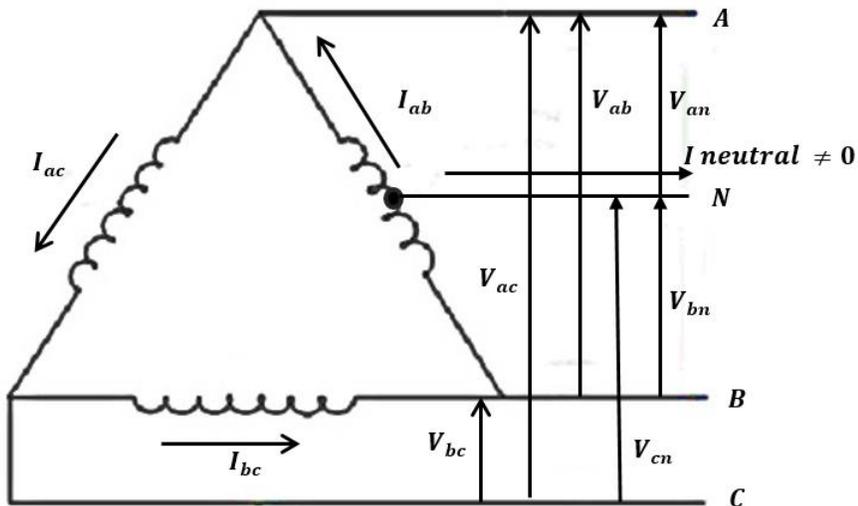
Es importante que los sistemas eléctricos en general puedan estar lo más balanceados que sea posible, con la finalidad de hacer más eficiente el sistema eléctrico y evitar posibles problemas que puedan surgir por tener un sistema con distintas cargas en cada fase y del desbalance de las mismas.

Figura 4. **Sistema desbalanceado en estrella**



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Sistema desbalanceado en delta**



Fuente: elaboración propia, con Word 2010.

Según el análisis anterior, en el sistema en estrella por ejemplo, éste no está balanceado por lo que el hilo neutral tendrá una corriente distinta de cero, en estos sistemas los voltajes de línea y de fase no se ven afectados por la carga desequilibrada.

También, las corrientes en las líneas de suministro tendrán valores distintos, lo que hace que la circulación de corriente por el neutral sea más significativa mientras más desbalanceado esté el sistema.

1.5.6.3. Error por distorsión armónica

El error por distorsión armónica se da cuando hay variaciones en la forma de onda en el sistema al que está conectado, dependiendo del tipo de carga que éste suministre y su complejidad, así será la distorsión en la forma sinusoidal de la onda de tensión o corriente alterna.

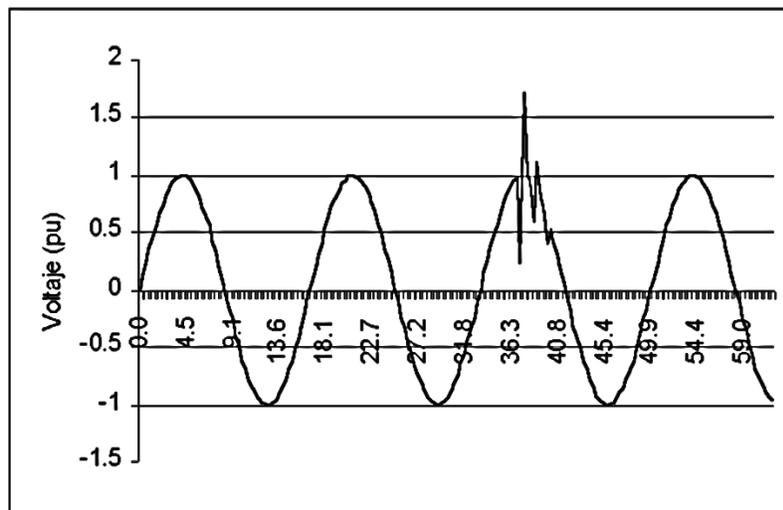
Por lo anterior, el error del medidor deberá estar dentro de los límites permisibles, cuando la distorsión armónica de la tensión o corriente esté por debajo de las especificaciones acordadas.

Se da como consecuencia de que el voltaje o la corriente de un sistema eléctrico presentan deformaciones con respecto a la forma de onda senoidal, y se tiene entonces una señal distorsionada.

La distorsión armónica se da como consecuencia de diversos factores, entre los que se pueden mencionar los fenómenos transitorios y las condiciones permanentes, según se cita a continuación.

- Fenómenos transitorios: son producidos como consecuencia de fallas aparentes al sistema eléctrico, como el arranque de motores, efectos de tormentas eléctricas, corrientes de falla o conmutación de capacitores. Lo anterior se puede dar en instalaciones con bancos de condensadores presentando fenómenos oscilatorios por diversas irregularidades en la forma de onda de la corriente y por la interacción de los condensadores con los inductores del sistema.
- Condiciones de estado permanente: son las corrientes armónicas que se encuentran en estado estable o permanente en los sistemas eléctricos, y que pueden ser causadas por algunos equipos como motores de corriente continua accionados por tiristores, fuentes ininterrumpidas UPS, computadoras, hornos de arco, equipos de soldadura, transformadores sobreexcitados, entre otros.

Figura 6. **Efecto en el voltaje por la conmutación de capacitores**



Fuente: TELLEZ, Eugenio. Programa de ahorro de energía, p.1.

1.5.6.4. Error por magnitudes de influencia

Las magnitudes de influencia son aquellas que no constituyen el mensurando y que afectan realmente las medidas realizadas por los equipos, pudiendo ser ellas temperatura, humedad o salinidad, dependiendo de la ubicación del medidor.

Por lo anterior el equipo de medida no debe superar los límites para cada clase de exactitud del medidor, previamente acordada.

1.5.6.5. Error por auto calentamiento

Al someter al medidor a la corriente nominal, éste tendrá una variación en su funcionamiento debido a que los parámetros de funcionamiento no serán los mismos y a que habrá una componente de calentamiento dada por I^2R .

La componente de auto calentamiento se da como consecuencia de la circulación de la corriente por los conductores y partes que constituyen al medidor, cuando éstos están por encima de determinados valores el efecto *joule* es mayor y los límites térmicos tenderán a incrementarse mientras más elevada sea la demanda del medidor en cuanto a energía y potencia suministrada.

Ya que se estará utilizando la máxima corriente, el medidor tenderá al calentamiento, mismo que debe permanecer en los límites permisibles, acordados por los fabricantes.

1.6. Subsector Eléctrico de Guatemala

Entre los años 1996 y 1998, el sector energético de Guatemala luego de algunos años en debate es reformado, con el objetivo de proveer un nuevo marco institucional y regulatorio basado en inversiones privadas, creación de competencia en algunos segmentos y una regulación de las actividades del monopolio, que aseguraran una oferta de energía eléctrica disponible, confiable y económica.

El marco regulatorio fue establecido por la Ley General de Electricidad y su reglamento.

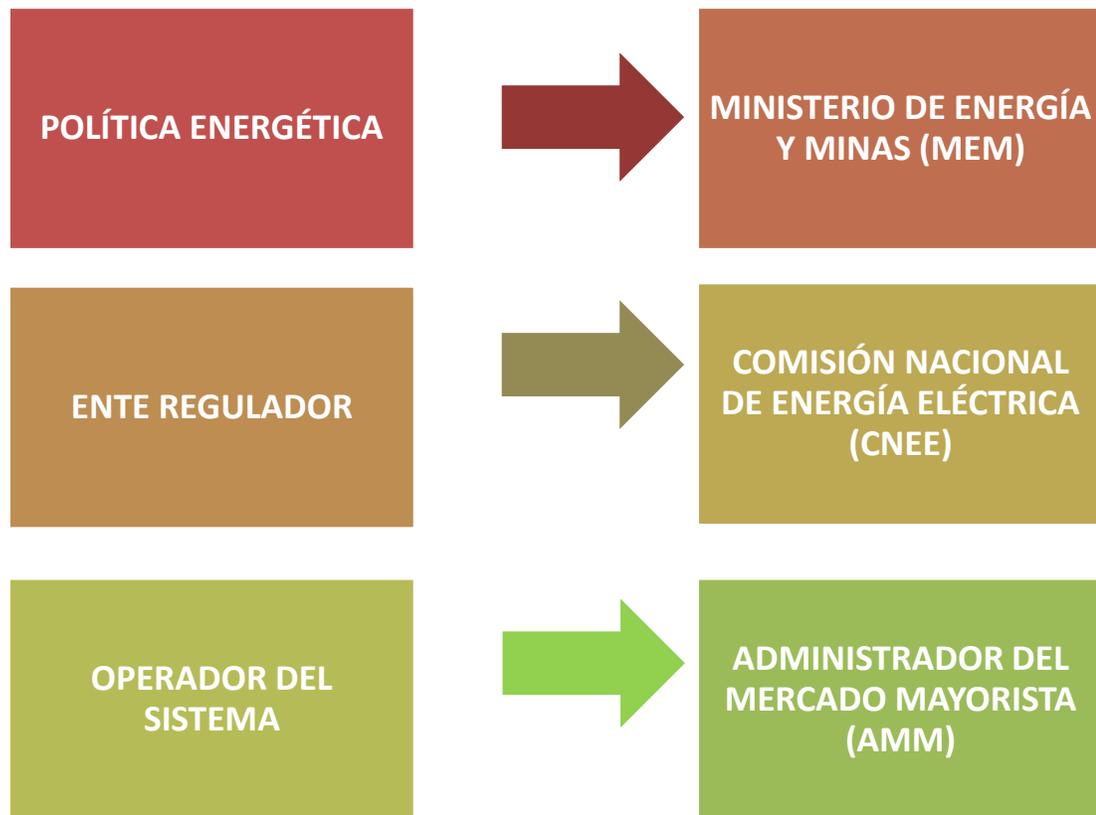
1.6.1. Principales instituciones del Sector Eléctrico de Guatemala

La Ley General de Electricidad fue la encargada de crear las principales instituciones del Sector Eléctrico de Guatemala como sigue:

- Administrador del Mercado Mayorista (AMM), que es el ente encargado de operar y administrar el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), como ente regulador.

El Ministerio de Energía y Minas continúa a cargo de la política energética y de los lineamientos generales.

Figura 7. **Instituciones principales del Sector Eléctrico en Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

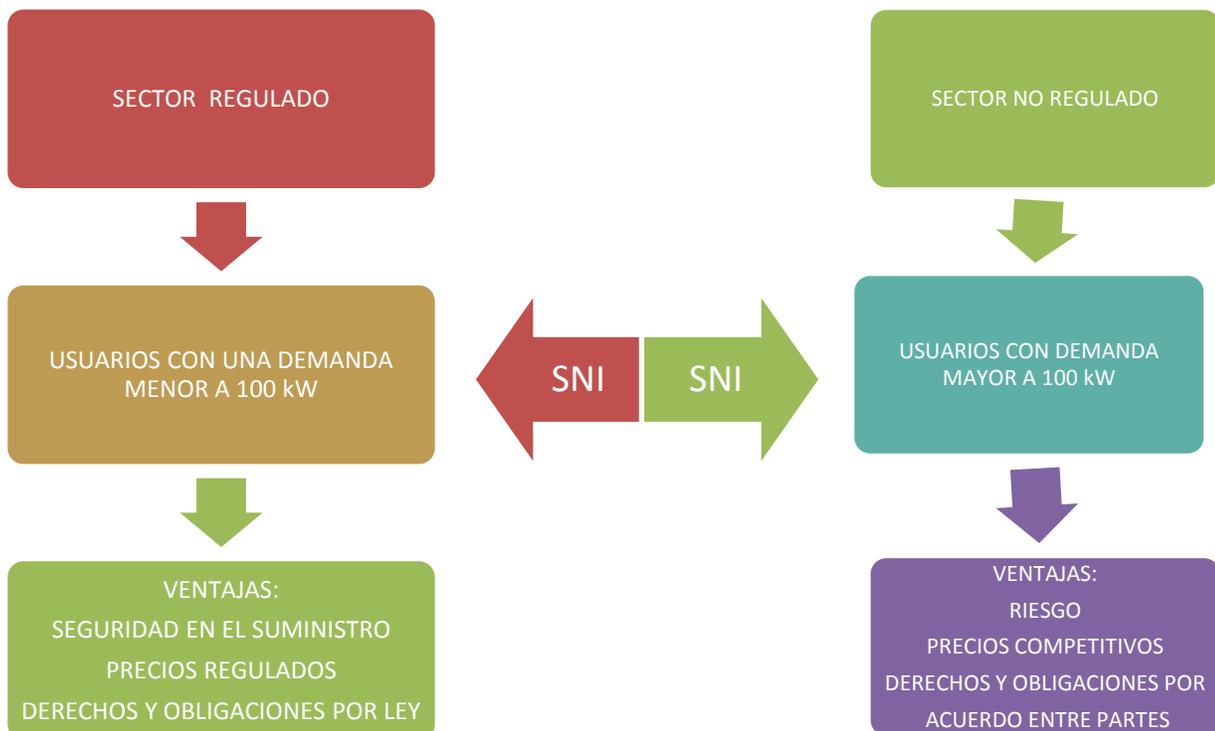
La Ley General de Electricidad establece que el mercado de energía está constituido por dos sectores: el Sector Regulado y el Sector No Regulado (Mercado Mayorista).

1.6.2. Sector Regulado

Se subdivide en dos partes: la oferta y la demanda, como sigue: Por la oferta se encuentran las distribuidoras, previamente autorizadas que tienen definida la zona de autorización y el área obligatoria de servicio (franja no mayor a 200 metros luego de sus instalaciones según la Ley General de Electricidad).

Por el lado de la demanda según la figura 8, se encuentran todos los usuarios del servicio con una demanda de potencia menor a los 100 kW, y que se encuentren dentro del área obligatoria de servicio de la empresa distribuidora.

Figura 8. Sector Eléctrico de Guatemala

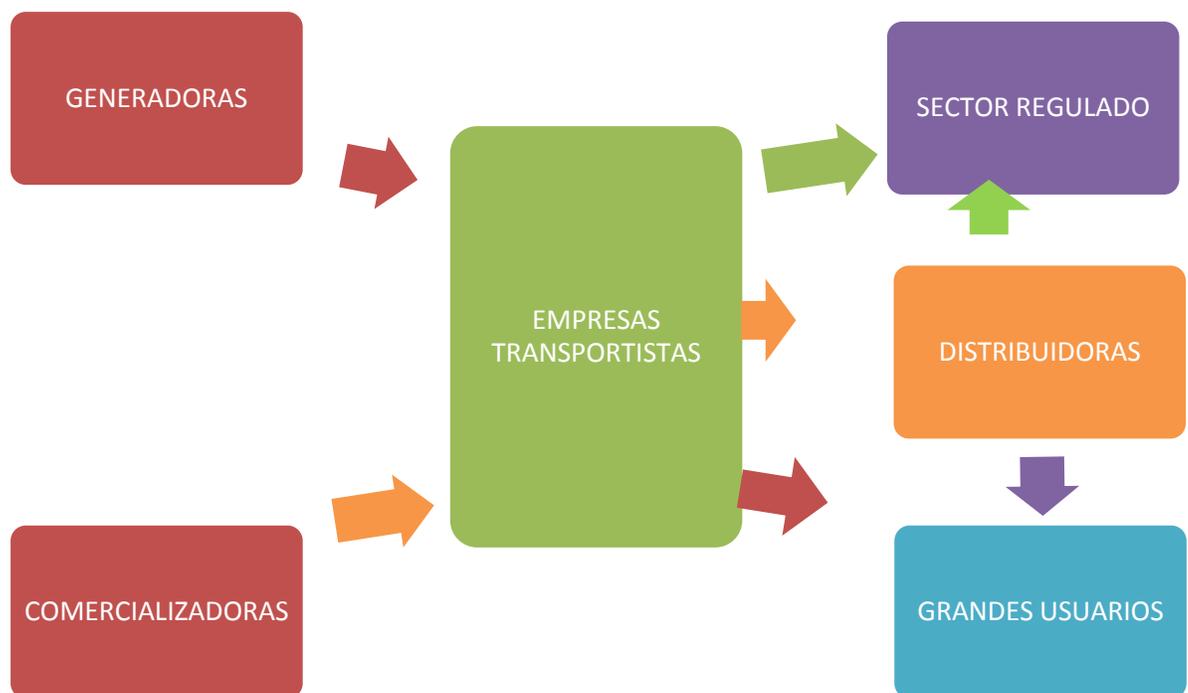


Fuente: elaboración propia.

El mercado de energía de Guatemala está comprendido por las entidades mostradas en la figura 9; se puede dividir en 3 secciones principales: Generación, Transporte y Utilización de la energía, como sigue:

- Todos los usuarios con las características indicadas forman parte del área de mercado del distribuidor.
- Todos los interesados en el servicio de energía eléctrica que se encuentren dentro del área obligatoria de servicio del distribuidor, tienen derecho a recibir el suministro por parte del mismo. Si el interesado no se encuentra dentro de los límites de suministro, este deberá llegar al límite de dicha área utilizando líneas propias o de terceros.

Figura 9. **Mercado de energía**



Fuente: elaboración propia.

1.6.3. Sistema final de distribución

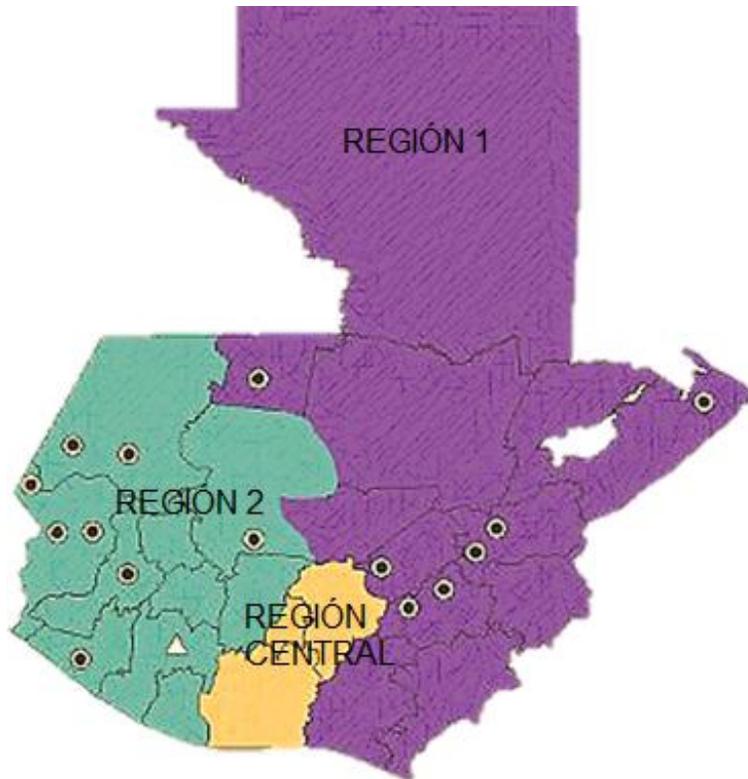
Este sistema está compuesto por la infraestructura de distribución, que operen por debajo de los 34,5 kV.

La operación de los principales componentes del sistema de distribución se coordina por medio del Administrador del Mercado Mayorista (AMM) y es ejecutada por las empresas distribuidoras.

Las principales empresas distribuidoras en Guatemala, son mostradas en la figura 10 como sigue:

- Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A., que presta el servicio en los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla.
- Energuate: prestando el servicio en el interior del país, lo que antes se hacía por medio de DEOCSA-DEORSA. Energuate está encargada del suministro de energía eléctrica en el occidente y oriente de Guatemala.
- Empresas Eléctricas Municipales: siendo empresas públicas en determinadas regiones del interior del país.
- Empresas de Distribución Privada.

Figura 10. **Empresas distribuidoras en Guatemala**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, Guía del Subsector Eléctrico y de las Energías Renovables, Guatemala, marzo 2012, p. 12.

Tabla I. **Empresas distribuidoras en Guatemala por región**

| | |
|---|---------------------------------|
|  | Región 1: Oriente ENERGUATE |
|  | Región 2: Occidente ENERGUATE |
|  | Región Central EEGSA |
|  | Empresas Eléctricas Municipales |
|  | Empresa Privada de Distribución |

Fuente: elaboración propia.

1.7. La tarifa eléctrica

Aproximadamente el 65% del costo de la tarifa de electricidad corresponde al costo de la generación (potencia y energía).

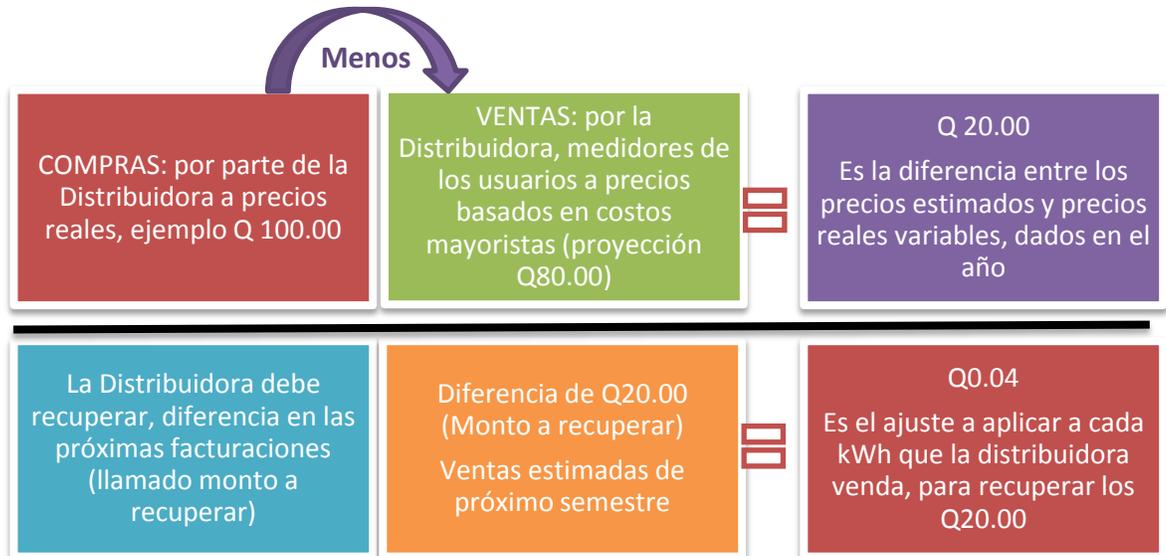
De acuerdo a la ley, y para garantizar el servicio a los usuarios, las distribuidoras están obligadas a celebrar contratos con empresas generadoras, de forma que puedan satisfacer las necesidades de sus respectivos clientes.

Según el artículo 87 de la Ley General de Electricidad, dentro de los primeros 15 días del mes el distribuidor debe entregar a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica los comprobantes de pago por los costos que el mes anterior se dieron.

Además de lo anterior, se deberá entregar también el detalle de las ventas hechas a sus usuarios, con lo que la Comisión Nacional de Energía Eléctrica calcula la diferencia entre los costos obtenidos y los ingresos tenidos.

La diferencia total se denomina Monto a Recuperar, el mismo que deberá ser devuelto a los usuarios el siguiente trimestre de facturación. Un ejemplo de ello se muestra en la figura 11 con un monto de compras de ejemplo de Q 100.00 y una venta de Q 80.00.

Figura 11. **Ejemplo de facturación (la tarifa eléctrica)**

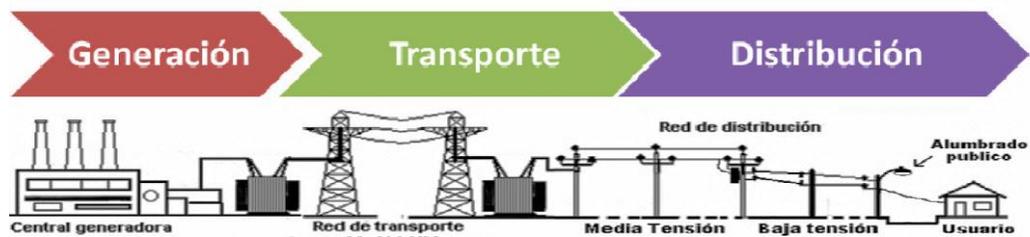


Fuente: Revista no.1 CNEE, marzo 2010.

Las tarifas de energía eléctrica en Guatemala son calculadas tomando en cuenta todos los costos que representan la generación, el transporte y la distribución de la misma a todos los usuarios.

En Guatemala se ha separado la cadena de costos, siendo estos el de Generación, Transporte y Distribución, expresado en la siguiente imagen.

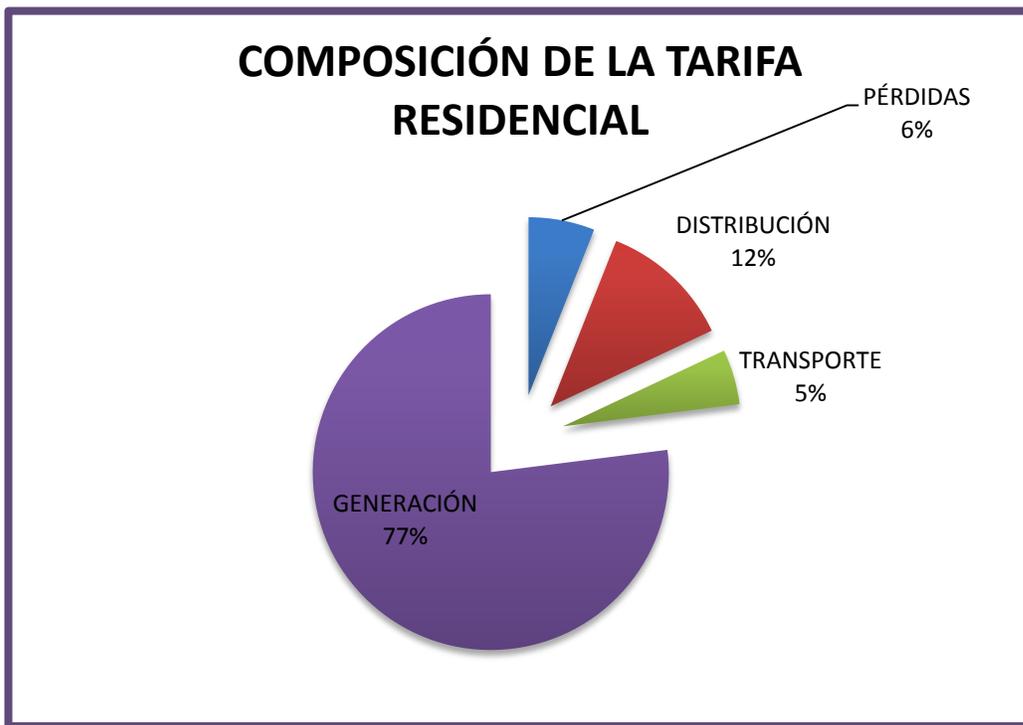
Figura 12. **Cadena de costos en el suministro de energía eléctrica**



Fuente: CNEE, Tarifas de la electricidad.

De acuerdo a los roles de cada parte en la actividad comercial de la energía eléctrica, los costos en la tarifa residencial de Guatemala, está compuesta como se muestra en la figura 13.

Figura 13. **Composición de la tarifa residencial en Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

Cada una de las actividades ya mencionadas tiene un costo, que es incluido en la tarifa de energía eléctrica y una metodología específica para realizar su cálculo, que se encuentra en la Ley General de Electricidad y su Reglamento.

1.7.1. Pliegos tarifarios

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica realiza una estructura con un conjunto de tarifas que buscan promover la igualdad de tratamiento a los consumidores y la eficiencia económica del sector y que en ningún caso sea permitido trasladar costo de una categoría tarifaria a otra.

Las tarifas se calculan como la suma de todas las compras del distribuidor y del Valor Agregado de Distribución, esos costos son asignados en función de las características de consumo de energía eléctrica cada categoría tarifaria.

Actualmente existen 11 tarifas distintas que son aplicadas a todas las distribuidoras de Guatemala, en las que deben estar contenidos todos los usuarios que atiende la distribuidora de acuerdo a su forma, cantidad, horario y voltaje en que se les suministre el servicio.

Si un usuario no puede determinar la tarifa que más le convenga, el distribuidor tiene la obligación de asignarle la tarifa que represente el mayor beneficio para el mismo.

1.7.2. El ajuste tarifario

Dado que para la fijación de las tarifas se incluyen costos estimados de suministro, cada tres meses la Comisión Nacional de Energía Eléctrica compara los ingresos obtenidos por la distribuidora con las tarifas estimadas y los costos reales de suministro, la diferencia dada es trasladada a las tarifas del próximo trimestre como ajuste trimestral.

Cuando los ingresos obtenidos son mayores a los costos de suministro, deben ser devueltos a los usuarios por medio de un ajuste en las tarifas del próximo trimestre. Si son mayores será necesario hacer un aumento de la tarifa para recuperar los costos faltantes.

Tabla II. **Tipos de tarifas**

| CATEGORÍA | DESCRIPCIÓN | DEMANDA DE POTENCIA | TIPO DE TARIFA APLICADA |
|------------------|--|--------------------------------------|--|
| A | Usuarios con servicio en Baja Tensión | Menor o igual a once kilovatios (kW) | Baja Tensión Simple (BTS); Baja Tensión Simple Social (BTSS). |
| B | Usuarios con servicio en Baja o Media Tensión * | Mayor de 11 kilovatios (kW) | Baja Tensión con Demanda en Punta (BTDP), Baja Tensión con Demanda fuera de Punta (BTDFP), Baja Tensión Horaria (BTH), Media Tensión con Demanda en Punta (MTDP), Media Tensión con Demanda fuera de Punta (MTDFP), Media Tensión Horaria (MTH). |
| C | Usuarios con servicio en baja o media tensión que cumplan con los requisitos establecidos en la legislación vigente para obtener la calidad de Gran Usuario | | En este caso las condiciones de suministro (potencia y energía) son pactadas con el distribuidor o cualquier otro suministrador (comercializador). No tiene tarifa máxima. Solamente se le define un pago máximo por el uso de la red, denominado Peaje en Función de Transportista |

Fuente: <http://www.cnee.gob.gt/xhtml/usuario/Categorias%20Tarifarias.html>. Consulta: julio de 2013

2. PATRONES DE MEDICIÓN

Un patrón de medida es una representación física de una medición, es el hecho aislado y conocido que sirve como el fundamento para que sea creada una unidad de medida, en el ámbito que sea o se requiera.

Hay muchas unidades que tienen patrones, pero en el sistema métrico sólo son las unidades básicas las que poseen patrones de medida. Los patrones no cambian su valor nunca, ciertamente han ido evolucionando para que no se dependa de una unidad que se encuentra en algún lugar del planeta, sino, para que dependan de una constante en la que el ser humano no pueda tener opción a variarla, o que ésta pierda sus propiedades por el transcurrir del tiempo.

El que existan diversos patrones de medición para una misma magnitud a medir ha creado dificultades en las relaciones internacionales de comercio, en la forma de intercambiar los resultados de las investigaciones científicas.

Cuando se realiza la medición de una variable, se determina para ésta un intervalo, donde la variable medida toma su valor. Dicho intervalo depende de la resolución del equipo de medida que sea utilizado para realizar las mediciones y del mantenimiento y cuidado que se tenga con el equipo de medida para realizar dicha medición.

Una unidad es realizada con referencia a un patrón físico, ya sea éste arbitrario o un fenómeno natural que incluyen constantes físicas y atómicas.

El proceso que lleva a relacionar el resultado de una medición con el valor de un patrón establecido por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones hasta llegar a un patrón primario o internacional, es conocido como trazabilidad.

En forma gráfica se puede apreciar en la figura 14, donde se muestra la importancia de cada tipo de patrón y el nivel de confiabilidad que identifica a cada uno.

Figura 14. **Clases de patrones y su nivel de importancia**



Fuente: elaboración propia.

Aparte de las unidades fundamentales de medida y las unidades derivadas, hay tipos de patrones de medida, y que son clasificados por su función en diversas categorías, dadas a continuación.

2.1. Tipos de patrones

Los patrones de medida son clasificados como sigue:

2.1.1. Patrones de referencia

Los patrones de referencia, son en general, de la más alta calidad metrológica, y que esté disponible en un lugar dado o en una organización determinada. De los patrones de referencia se derivan las mediciones que serán realizadas en el lugar donde se encuentren los laboratorios de referencia.

2.1.2. Patrones internacionales

Los patrones internacionales son definidos por acuerdos internacionales, son los que representan unidades de medida, cuyo valor es de la mayor exactitud permisible, de acuerdo a los avances tecnológicos en producción y medición.

Los patrones internacionales, son evaluados y verificados de manera periódica de acuerdo a mediciones absolutas en términos de las unidades fundamentales.

2.1.3. Patrones nacionales

Son un tipo de patrón que es reconocido de acuerdo a una decisión nacional de determinado país, y que son utilizados para servir como referencia internacional para la asignación de valores a otros patrones, son de la misma magnitud considerada.

El patrón nacional de medida, es establecido mediante la realización física de una unidad de medida, y que se caracteriza por tener la más baja incertidumbre en un país determinado.

2.1.4. Patrones de transferencia

Los patrones de transferencia son los patrones utilizados como intermediarios en la comparación de patrones, desde un nivel de confiabilidad y uso, hasta otro de menor nivel en su jerarquía.

2.1.5. Patrones primarios

Los patrones primarios, son encontrados en los laboratorios de patrones nacionales en distintas partes del mundo. Los patrones primarios representan a las unidades fundamentales y algunas que son mecánicas y eléctricas derivadas.

2.1.6. Patrones secundarios

Los patrones secundarios son los patrones básicos de referencia, y que son utilizados en los laboratorios industriales de mediciones. Son de un rango menor que los patrones primarios, y puede proceder su calibración o proceso de trazabilidad de ellos.

Estos patrones son conservados en la industria particular, que se interesa en ello, y que son verificados localmente de acuerdo a otros patrones de referencia en el área.

La responsabilidad del mantenimiento y calibración de los patrones secundarios se define de acuerdo a los laboratorios industriales.

2.1.7. Patrones de trabajo

Los patrones de trabajo son las herramientas principales en los laboratorios de mediciones, son utilizados en la verificación y calibración de la exactitud y comportamiento de las mediciones realizadas en las aplicaciones de carácter industrial, que conlleven al uso de un patrón de este tipo.

2.2. Trazabilidad

La trazabilidad es la propiedad de un resultado de las mediciones por el cual el resultado de la misma puede ser relacionado a una referencia, por medio de una cadena sin interrupciones y documentada de calibraciones.

Cada una de las calibraciones que forman el proceso de trazabilidad contribuye al establecimiento final de la incertidumbre de medida de un equipo o patrón determinado.

La forma de establecer la trazabilidad es fundamental para que los resultados de las mediciones sean comparables a cualquier tiempo y lugar donde se encuentre, constituyéndose así en una base sólida de apoyo para transacciones comerciales.

Con el proceso de trazabilidad se mantiene una relación entre los resultados de las mediciones y los valores de los patrones definidos dentro de los criterios aceptados internacionalmente.

2.3. Partes que conforman la cadena de trazabilidad

La trazabilidad la forma una cadena ininterrumpida de calibraciones y comparaciones, con la finalidad de disminuir la incertidumbre de los equipos que se utilizarán para las mediciones del mensurando, y que establecerán el criterio final que se aplicará al equipo de medida. Lo conforman varias partes o elementos que se muestran y presentan como sigue:

Figura 15. **Proceso de trazabilidad**



Fuente: elaboración propia.

2.3.1. Cadena ininterrumpida de calibraciones y comparaciones

El proceso de trazabilidad es una cadena ininterrumpida de calibraciones y comparaciones que se relacionan con un patrón, que debe ser el adecuado a las medidas que se realizan en la organización, generalmente es un patrón nacional, internacional o primario.

2.3.2. Incertidumbre de las medidas

La incertidumbre en las mediciones para cada paso de la cadena de trazabilidad, es realizado de manera que sea transferible, y calculado de acuerdo a determinados métodos ya establecidos.

2.3.3. Documentación en el proceso

Cada paso que lleva la cadena ininterrumpida de trazabilidad es realizado según procedimientos reconocidos de calibración, que además han sido documentados, incluyendo también la declaración de resultados del proceso de calibración.

2.3.4. Competencia técnica

Cada uno de los laboratorios que se involucra en realizar uno o más pasos de la cadena de trazabilidad es competente y además capaz de proporcionar evidencia de la competencia técnica que posee, es decir que demuestra que está acreditado y que cumple con determinada normativa.

Con respecto a lo anterior se puede citar la norma ISO/IEC 17025, en su versión más reciente, como ejemplo de la utilización de normativa internacional en la competencia técnica del proceso o cadena de trazabilidad.

Con el uso de normativa en la competencia técnica se respaldan en normativa internacional para avalar las mediciones y la cadena de calibraciones que conlleva a la trazabilidad.

2.3.5. Referencia a las unidades del Sistema Internacional

La cadena de calibraciones y comparaciones que lleva a la trazabilidad de los equipos de medición, finaliza en los patrones primarios que realizan las unidades del Sistema Internacional.

2.3.6. Intervalo de tiempo entre calibraciones

Las calibraciones al equipo de medida son repetidas en intervalos apropiados, según se considere pertinente, de acuerdo a diversos factores.

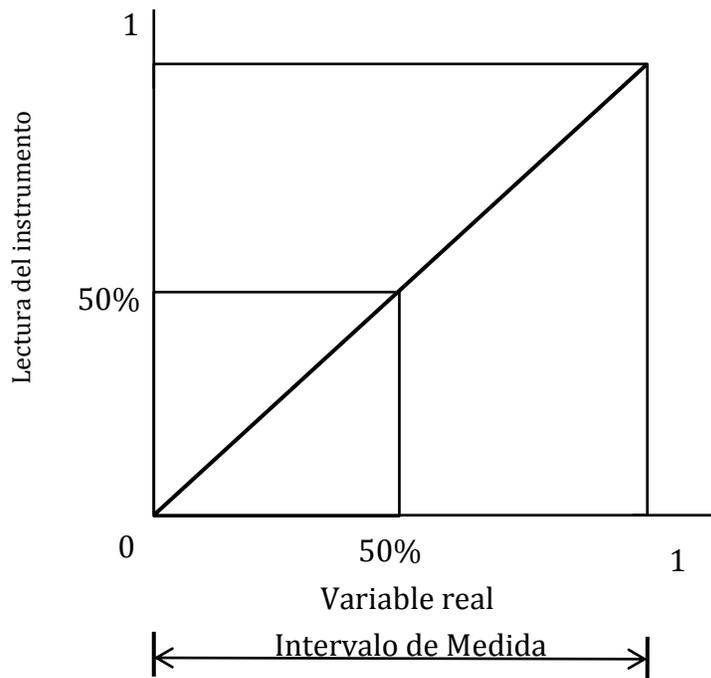
La medida de los intervalos para calibraciones dependen de una serie de variables, como por ejemplo: la incertidumbre requerida, la frecuencia del uso de los equipos de medida, la forma de uso de los mismos, la estabilidad de cada equipo involucrado, etc.

Es recomendado utilizar como referencia, para el establecimiento de intervalos apropiados de calibración, los aspectos determinados de forma internacional y legal, aplicables.

2.4. Errores de los instrumentos, y procedimiento general para su calibración

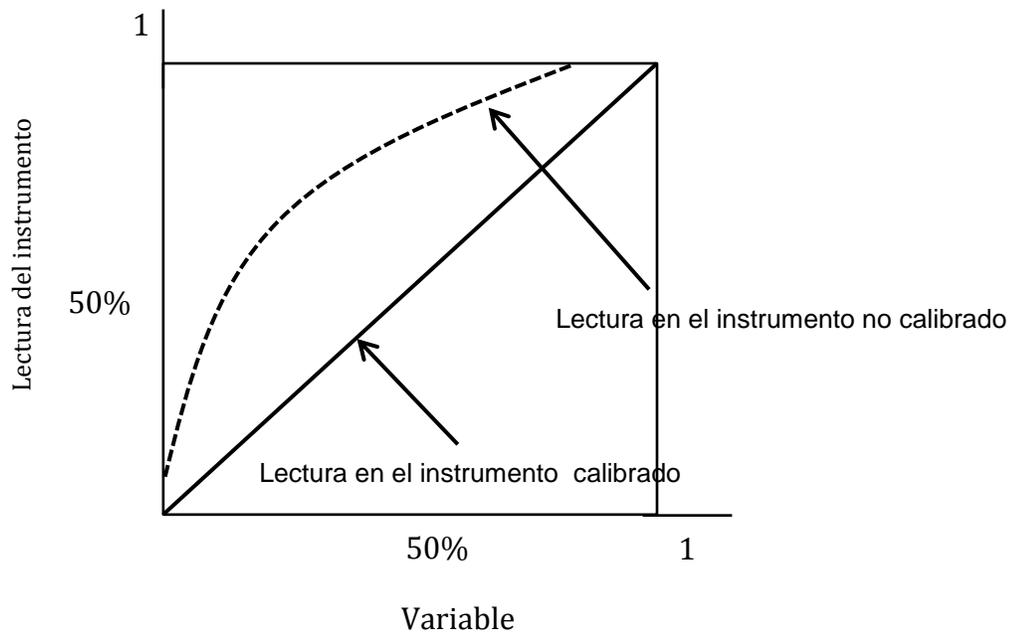
Un instrumento de medida se considera como bien calibrado cuando en todos los puntos de su campo de medida como se aprecia en la figura 16, la diferencia entre el valor real de la variable medida y el resultado indicado, registrado o transmitido, está comprendida entre los límites de incertidumbre, que han sido determinados por la precisión del instrumento de medida.

Figura 16. Relación de calibración del equipo de medida



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Relación medida real-lectura en un instrumento no calibrado**



Fuente: elaboración propia.

Cuando el equipo de medida se encuentra en condiciones de funcionamiento estático, las desviaciones respecto a la relación lineal que se indica, dan espacio a los errores en la calibración, se asume que estas desviaciones no superan la exactitud dada por el fabricante del equipo de medida, ya que en este caso se consideraría al instrumento calibrado, aunque no coincidiera exactamente la curva variable-lectura con la recta ideal de un instrumento de medida funcionando correctamente.

Esta curva puede ser descompuesta en tres, que a su vez son las encargadas de representar los tres tipos de errores que pueden ser hallados en forma aislada o combinada en los instrumentos de medida.

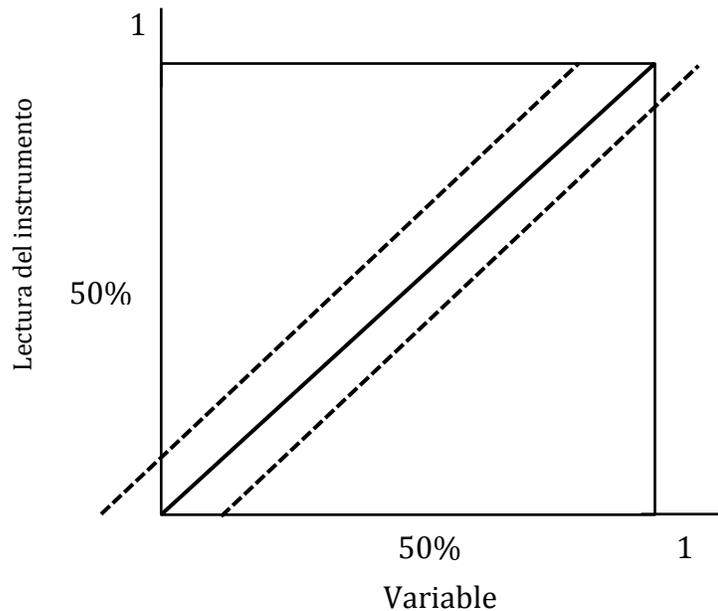
Los errores individuales que, a partir de la curva variable-lectura se pueden dar son los siguientes:

2.4.1. Error de cero

Se da cuando todas las lecturas están desplazadas un mismo valor en cuanto a su relación con la recta representativa del instrumento de medida. Este tipo de error se puede observar en la figura 18, en la que se ve que el desplazamiento puede ser hacia arriba o hacia abajo, es decir, positivo o negativo.

El punto base para la recta representativa del instrumento cambia sin que varíe la inclinación o la forma de la curva del instrumento.

Figura 18. **Error de cero en la calibración de instrumentos de medida**



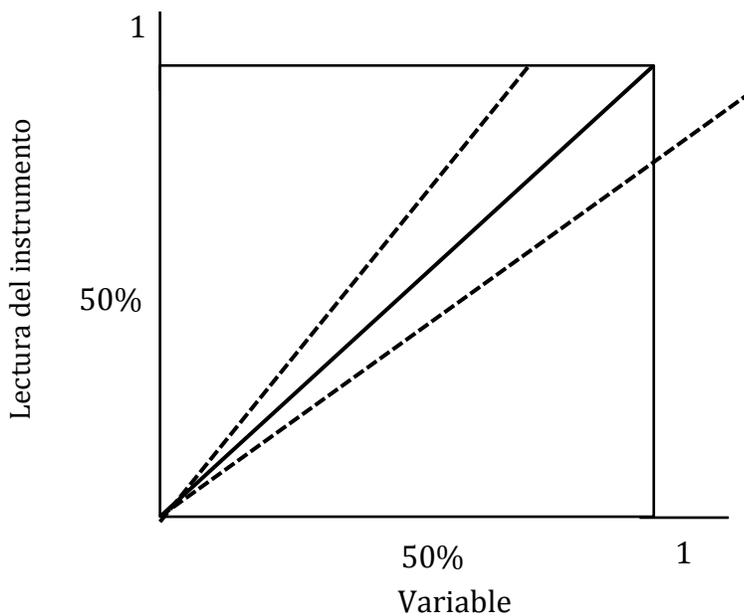
Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Error de multiplicación

En un instrumento de medida con error de multiplicación todas las lecturas aumentan o disminuyen de manera progresiva como se muestra en la figura 19, con relación a la recta representativa de cada uno.

Aquí el punto base no cambia y la desviación progresiva en este tipo de error puede ser positiva o negativa, según se muestra en la figura siguiente.

Figura 19. **Error de multiplicación en la calibración de instrumentos de medida**

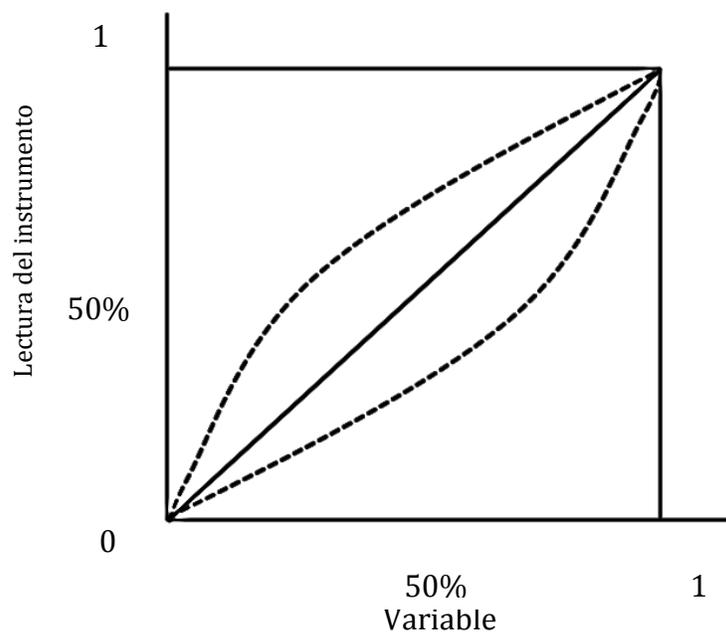


Fuente: elaboración propia.

2.4.3. Error de angularidad

Entre los errores en la calibración se encuentra el de angularidad, donde la curva real coincide con los puntos inicial y final, es decir, 0 y 100% de la recta representativa, pero se aparta de la misma en los puntos restantes. La desviación máxima de la recta representativa contra los valores medidos suele estar en los alrededores de la mitad de la escala.

Figura 20. **Error de angularidad en la calibración de instrumentos de medida**

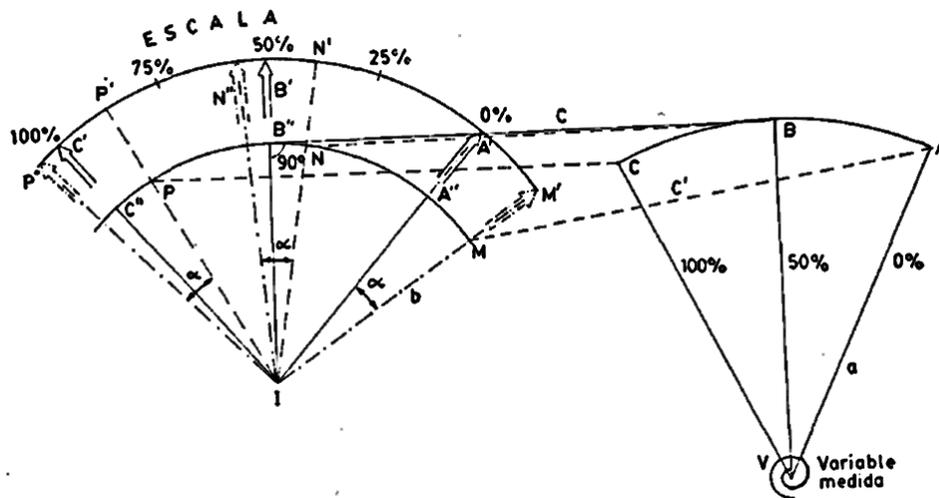


Fuente: elaboración propia.

Los instrumentos de medida pueden ser ajustados para corregir estos errores, aunque hay que hacer notar que algunos instrumentos por su tipo de construcción, no presentan error de angularidad.

La combinación de los tres tipos de errores expuestos anteriormente da lugar a una curva de relación entre la medida real y la lectura del instrumento, tal como fue mostrada.

Figura 21. Corrección de angularidad



Fuente: CREUS, Antonio. Instrumentación Industrial, 6ta edición, p. 606.

Los errores contemplados hasta ahora son referidos a instrumentos representativos y el sistema de calibración ha sido bastante general, si bien, en algunos instrumentos particulares existen otros procedimientos más rápidos, y que están incluidos en el manual de operaciones que extiende el fabricante del equipo.

Otros tipos de errores a considerar y que provienen del lector del instrumento y no del equipo mismo de medición son atribuidos al observador, siendo los siguientes:

2.4.4. Error de paralelaje

Es el error producido cuando el observador realiza la lectura de modo que su línea de observación al índice de la aguja no es perpendicular a la escala del equipo de medida. Este error es de mucha importancia porque depende de la separación entre el índice, la escala y el ángulo de inclinación de la línea de observación.

Para que pueda ser disminuido, algunos instrumentos tienen el sector graduado separado de la escala principal, situado a una distancia muy corta del índice, otros poseen un sector especular, con lo que la línea de observación debe estar a noventa grados de la escala para que puedan coincidir el índice y su imagen.

2.4.5. Error de interpolación

El error de interpolación se da cuando el índice de la aguja no coincide exactamente con la graduación que trae la escala, y el observador redondea las lecturas hechas por exceso o por defecto.

Es evidente que el error de paralelaje no existe en los instrumentos digitales por la forma misma de su construcción, pudiendo ser el más frecuente el de interpolación dependiendo la cantidad de cifras que indique el instrumento y la recopilación de las mismas por parte del observador en sus mediciones.

La calibración de los instrumentos requiere la disposición de patrones y de equipos de comprobación y verificación, encontrados normalmente en los laboratorios de metrología.

2.5. Cuidado y conservación de patrones

Los procedimientos descritos se aplican a todos los instrumentos y equipos de medida considerados como equipos patrón de calibración, en los laboratorios de medida, en el nivel que se encuentren.

Es necesario tomar en cuenta que las recomendaciones dadas a continuación son básicas y no detalles de algún equipo en especial. Para lo anterior, y en el caso de que sea un determinado equipo con cuidados y mantenimiento más allá de lo que aquí se especifica, deberá ser consultado directamente el catálogo del fabricante.

2.5.1. Instrucciones básicas de seguridad y conservación de equipos patrón

Se lista una serie de instrucciones para el cuidado y la conservación de equipos patrón, utilizados en la calibración de instrumentos y/o en la cadena de trazabilidad.

- El equipo patrón y todos sus componentes deben ser limpiados y revisados profundamente en el momento de realizar las respectivas calibraciones.

- Si el equipo de medición es calibrado exteriormente, se deberá proceder de igual manera que en el apartado anterior, se deberá también embalar cuidadosamente cada parte del equipo, con la finalidad de evitar golpes durante el período de transporte.
- Cuando vuelva el equipo de su calibración se realizará una nueva inspección, para poder comprobar el buen estado del equipo y su funcionamiento. Es una inspección visual y de manera superficial para asegurarse de que todo el equipo está en orden y con todas sus partes.
- Cuando se tiene patrones eléctricos, se debe observar que funcionen perfectamente, encendiendo el equipo, los teclados, cables de conexión, etc. En caso de mal funcionamiento se deberá examinar los fusibles, cambiar las pilas o fuentes de alimentación, según fuese necesario.
- Se hará un mantenimiento general al laboratorio de metrología para realizar todo tipo de tareas de mantenimiento, y poner en orden todos los equipos allí encontrados. De ser posible debe hacerse al final de cada semana laboral y/o antes de un período de vacaciones, asegurándose de dejar las instalaciones en orden y protegidas.
- Al llevar el equipo patrón a calibración, debe realizarse siempre una revisión minuciosa del mismo, evaluando cada parte que lo conforma, comprobando su total integridad y que todas sus piezas se encuentren en él.

2.6. Patrones para verificación de medidores de energía eléctrica

Dentro de los patrones para verificación de medidores de energía eléctrica el utilizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería es el patrón PTS 3.3, su descripción se presenta a continuación.

2.6.1. Equipo patrón de verificación PTS 3.3

El patrón de verificación PTS 3.3, se utiliza para el contraste o verificación de medidores de energía eléctrica en base a diversas pruebas y los respectivos errores entre el medidor en contraste y un medidor patrón calibrado como referencia.

El equipo de ensayo portátil PTS 3.3, se compone de una fuente trifásica de tensión e intensidad y por un patrón trifásico de referencia electrónico de clase 0,005%.

Figura 22. Equipo patrón de verificación PTS 3.3 C



Fuente: http://mte.ch/categorie_33.html. Consulta: 12 de marzo de 2013.

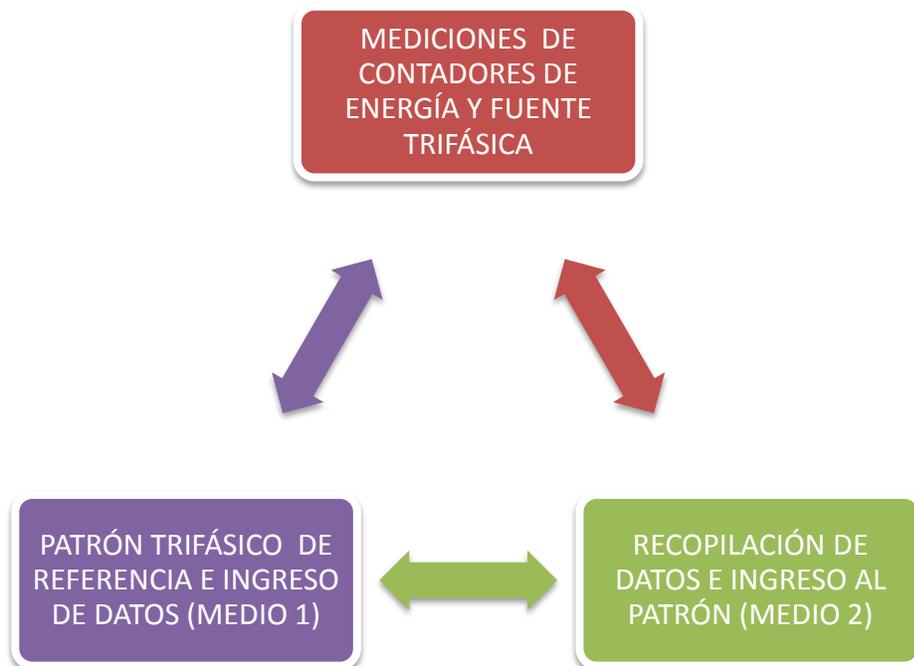
2.6.1.1. Características más importantes del patrón

Las características más importantes del patrón de verificación son:

- Amplio rango de medida
- Alta precisión
- Baja sensibilidad a interferencias externas

Además permite el monitoreo y control de instalaciones de contadores, como el análisis del estado de la red a la que se encuentra conectado el medidor.

Figura 23. Diagrama de bloques del patrón PTS 3.3



Fuente: elaboración propia.

2.6.1.2. Ventajas

Algunas de las ventajas más importantes del patrón de verificación son:

- Fácil verificación de medidores de energía bajo condiciones de carga previamente definidas
- Ensayo automático de puntos de carga definidos previamente, sin necesidad de un computador externo
- Memoria interna para resultados de ensayo y datos
- Presentación de diagramas vectoriales y secuencia de fases, para el análisis de las condiciones de la red
- Fácil uso de la combinación de la fuente y patrón de referencia, así como del ingreso de datos

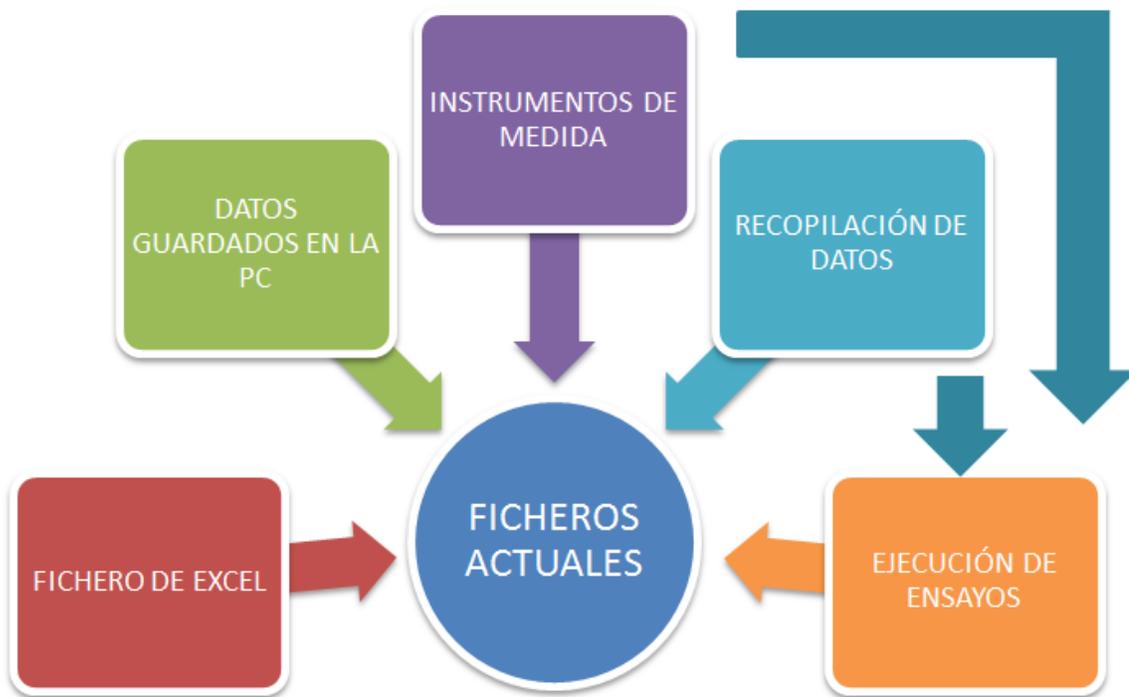
2.6.1.3. Funciones del equipo

Dentro de las funciones del equipo de verificación se pueden citar las siguientes:

- Generación independiente de condiciones de carga, monofásicas y trifásicas, para el ensayo de medidores de energía
- Medida de energía activa, reactiva y aparente en circuitos de 3 o 4 hilos, con cálculo de error integrado y salida de impulsos para energía

- Medida de tensión
- Medida de intensidad directamente o a través de transformadores tipo Pinzas
- Medida de potencia activa, reactiva y aparente por fase y la suma de todas las fases

Figura 24. **Flujo de datos en el patrón PTS 3.3**



Fuente: elaboración propia.

2.6.1.4. Aplicaciones

Las aplicaciones y ventajas del equipo utilizado son variadas, entre ellas se pueden encontrar:

- Ensayo de medidores “in situ”
- Control de las minuterías de los contadores
- Control de las condiciones de cargas de los circuitos
- Ensayo de medidores de energía en el laboratorio

2.6.1.5. Datos técnicos más importantes del equipo utilizado en la verificación de medidores MTE PTS 3.3

Se presenta a continuación el listado de los datos técnicos más importantes del patrón de verificación MTE PTS 3.3.

| | |
|-----------------------------|--|
| Tensión auxiliar: | 88 VACmin... 264 VACmax, 47 ... 63 Hz |
| Consumo de potencia: | 400 VAmáx |
| Dimensiones: | 465 x 365 x 245 mm |
| Peso: | aprox. 18 kg |
| Influencia de la tensión | ≤ 0.005% con 10% variación |
| Auxiliar en los resultados: | |
| Temperatura ambiente: | 0°...+50° |
| Coeficiente de temperatura: | ≤ 0.0025% % / °C 0° C...+40° C ≤ 0.0050% % / °C -10° C...+60° C |
| Rango de frecuencia de | 45...66 Hz |
| Los valores de medida: | |
| Influencia de campos: | ≤ 0.15 % / mT |

Fuente de tensión

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Rango (fase / neutral): | 30 V ... 480 V |
| Potencia (por cada fase): | 50 VA / < 0.8% |
| Resolución: | 0.1 V |
| Precisión: | 0.3 % (45 Hz ... 100 Hz) |
| Estabilidad: | 0.03 % (30 min) / 0.1 % (24 h) |
| Banda ancha: | 30 ... 2'000 Hz (3 dB) |

Fuente de corriente

| | |
|------------------------|--|
| Rango (por cada fase): | 1 mA ... 10A / 100A ... 120 A |
| Potencia/ Distorsión: | 60 VA (por cada fase) / < 0.8% |
| | Salida 120 A: 60 VA a 120 A |
| | Salida 1 A / 10 A: 30 Va a 10 A / 10VA a 1 A |
| Resolución: | 1 mA |
| Precisión: | 0.5 % |
| Estabilidad: | 0.03 % (30 min) / 0.1 % (24 h) |
| Banda ancha: | 30 ... 1'000 Hz (3 dB) |

Ángulo de fase

| | |
|------------------|---------------------------------------|
| Rango de ajuste: | -180.0 ° ... +180.0 ° |
| Resolución: | 0.1 ° (45 ... 100 Hz) / 1 ° (>100 Hz) |

Frecuencia

| | |
|-------------|---------------------|
| Rango: | 45 Hz ... 400 Hz |
| Resolución: | 0.1 Hz (45 >100 Hz) |

Requisitos de seguridad

Protección de aislante EN 61010-1

Certificado CE

Tipo de protección: IP-40

Temperatura de almacén: -20 ... +60°C

Humedad relativa: $\leq 85\%$ a $T_a \leq 21^\circ \text{C}$

Humedad relativa repartida $\leq 95\%$ a $T_a \leq 25^\circ \text{C}$

en 30 días/año:

Figura 25. **Equipo de ensayo PTS 3.3, descrito en la sección 2.6.1.5**



Fuente: http://mte.ch/categorie_33.html. Consulta: 12 de marzo de 2013.

3. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El objetivo de realizar mediciones de energía eléctrica, es el establecimiento de las relaciones compra-venta de energía por parte de las empresas distribuidoras o comercializadoras con los usuarios de la misma, y se realiza mediante medidores o contadores, los cuales son utilizados para calcular el valor de la energía transferida desde el comercializador o distribuidor al consumidor final. También son utilizados para el control de la energía consumida en las redes de transporte o distribución, industrias, grandes usuarios, etc.

Como las relaciones monetarias se basan en las lecturas que realizan los medidores, tanto la producción como la venta y uso de estos medidores están sometidos en todos los países a un riguroso control de los organismos competentes, asegurando así el correcto funcionamiento del equipo y sus mediciones.

La energía utilizada puede ser determinada en base a la tensión de servicio y a la corriente que circula por el mismo, es decir, cuando de una línea se recibe una intensidad de corriente i estando el equipo a un nivel de voltaje v , donde ambos pueden variar en el tiempo: la potencia instantánea es $p = i \times v$, y la energía E utilizada entre los instantes t_i y t_f se puede expresar como sigue:

$$E = \int_{t_i}^{t_f} p \cdot dt = \int_{t_i}^{t_f} v \cdot i \cdot dt$$

Medir la energía suministrada es igual a medir la potencia, realizando simultáneamente un proceso de integración en función del tiempo.

Un medidor de energía es, en realidad un vatímetro giratorio, que consta de un dispositivo integrador que posee un numerador, donde indicará la cantidad de energía o potencia en el tiempo que ha circulado por el mismo, ya que los mismos principios utilizados para medir la construcción de vatímetros son aplicados a la construcción de medidores de energía eléctrica.

Los medidores de energía eléctrica de corriente alterna pueden también ser utilizados para medir por separado varios tipos de energía, que a su vez influyen en la tarifa que envía la entidad distribuidora o comercializadora.

La potencia en corriente alterna puede ser representada en sus tres componentes: activa, reactiva y aparente, por lo que se pueden encontrar también los tres tipos de energía suministrada al lugar donde se instale el medidor de energía como sigue:

$$E_P = \int_{ti}^{tf} v \cdot i \cdot \cos\varphi \cdot dt \quad (Wh)$$

Energía eléctrica activa

$$E_Q = \int_{ti}^{tf} v \cdot i \cdot \sin\varphi \cdot dt \quad (VArh)$$

Energía eléctrica reactiva

$$E_S = \int_{ti}^{tf} v \cdot i \cdot dt \quad (VAh)$$

Energía eléctrica aparente

Donde:

v Es el voltaje del suministro al que se conecta el medidor

i Es la corriente del medidor

t_i, t_f Son los tiempos inicial y final en los que se realizará el cálculo de la energía suministrada por el medidor

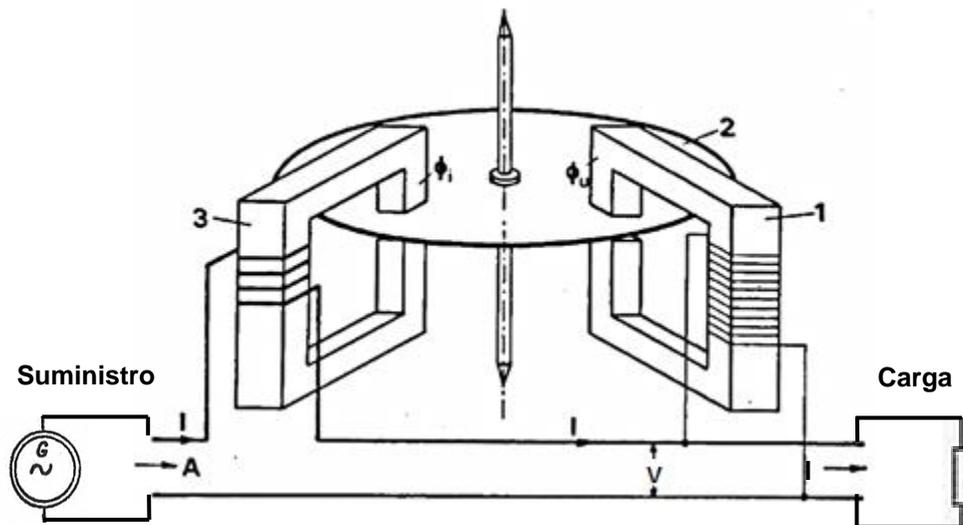
La diferencia que caracteriza a los medidores de energía de los medidores de potencia o vatímetros es que carecen en su parte móvil de un dispositivo que origina un momento antagonista, y que a su vez es proporcional al ángulo de desviación.

En lugar de ello el rotor de un medidor que es de rotación continua como el rotor de un motor eléctrico y es frenado por el campo que origina un imán permanente, lo que origina en el medidor un momento opuesto al momento propulsor del sistema motor y que a su vez es proporcional a la velocidad de rotación del instrumento.

Las partes principales de un medidor de energía son tres, las cuales son básicamente las encargadas de realizar la actividad de medición dentro del instrumento, y son estas:

- El sistema motriz
- El sistema de frenado, que actúa sobre el rotor mismo y
- El integrador-numerador, encargado de traducir las revoluciones hechas por el rotor durante un determinado tiempo a la cantidad total de energía consumida.

Figura 26. **Principio de construcción del sistema motriz del medidor de energía**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 109.

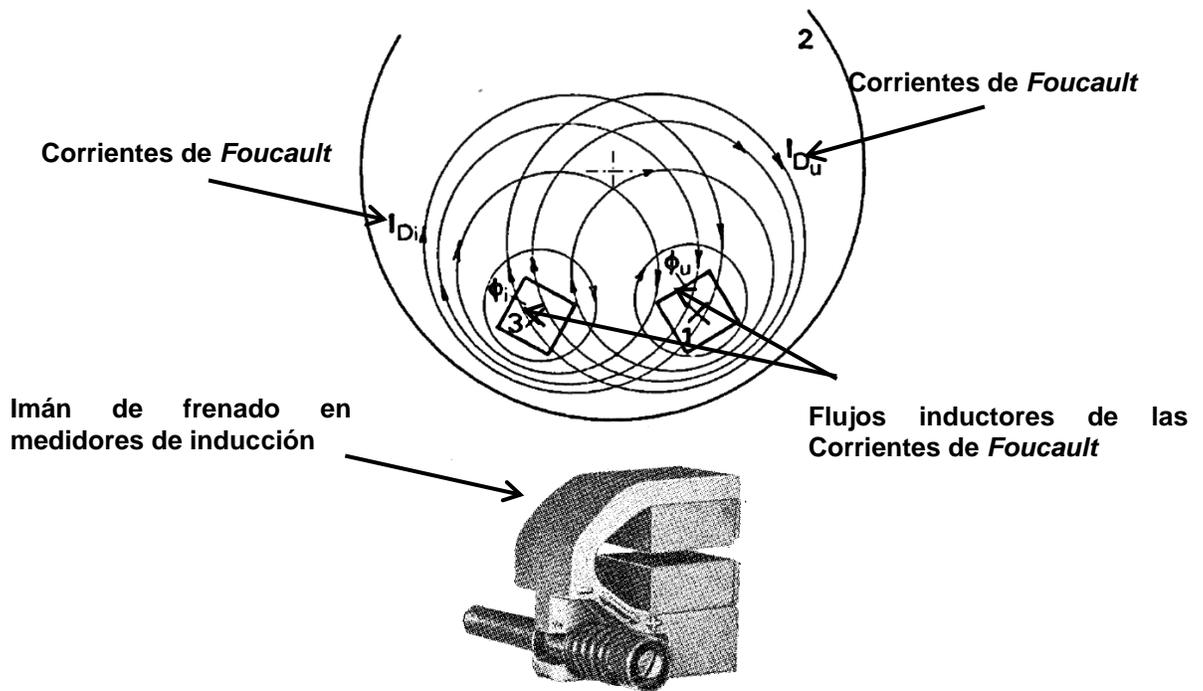
La figura 26 representa de forma esquemática el principio de construcción del sistema motriz del medidor de energía. Consta de los electroimanes 1 y 3 con los arrollamientos respectivos de tensión e intensidad. El arrollamiento de tensión está construido de tal forma que posea una gran inductancia por su gran cantidad de espiras y está conectado a la fuente de tensión v de la red que alimenta el receptor.

Los dos electroimanes abrazan el rotor 2, que es un disco de aluminio montado sobre un eje perpendicular a él. El electroimán 1, que a su vez está conectado a la red, es el encargado de originar el flujo magnético ϕ_u proporcional al nivel de tensión v , y al otro extremo el electroimán 3, por el que circula la corriente de carga del consumidor que origina el flujo magnético ϕ_i proporcional a la corriente de carga.

Ambos flujos inducen en el disco rotatorio las corrientes de *Foucault* señaladas en la figura 27, las que conjuntamente con los flujos en el disco producen un par motor M_m , que es proporcional a la potencia medida por el instrumento.

El sistema de frenado mostrado en la figura 27 consta de un fuerte imán permanente, que está alrededor del disco-rotor del sistema motriz del medidor. Durante el tiempo de rotación del disco, el flujo magnético del imán induce en él corrientes de *Foucault* y se produce un par de frenado que es proporcional a la velocidad periférica del disco-rotor.

Figura 27. Campos magnéticos en el disco giratorio del medidor de energía e imán de frenado en medidores de inducción



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 133.

3.1. Relación entre el número de revoluciones del disco giratorio y la energía en el tiempo

El medidor de energía tiene una funcionalidad particular, mientras no se consume energía solo existe el flujo ϕ_u y el medidor queda estacionado en una posición; cuando se consume energía, aparece también el flujo ϕ_i debido a las corrientes de *Foucault*, señalado en la figura 27 y el medidor entra en movimiento impulsada por el momento motor M_m .

Al principio, el movimiento del disco es lento y el par de frenado M_F es bastante débil. A medida que la velocidad del disco aumenta, también aumenta el par de frenado, hasta que existe el equilibrio entre los dos momentos de torsión en el medidor. Como la forma del imán de frenado y la construcción de su soporte son de una determinada forma, se puede influir sobre la velocidad del disco y obtener así una regulación bastante precisa del número de revoluciones del rotor del medidor en un margen muy amplio.

3.2. Constante del disco

La constante del disco es dependiente de la forma de construcción del sistema motor del medidor de energía y de su mecanismo integrador-numerador, por lo tanto es una cifra característica para cada tipo de medidor o modelo del mismo.

Se denomina constante del medidor y se determina la misma para las condiciones normalizadas del funcionamiento propio de cada aparato medidor, es decir, a una temperatura determinada, en una posición determinada para el medidor, con carga nominal, etc.

El movimiento desde el rotor es transmitido al mecanismo integrador-numerador mediante un sistema de engranajes que se encarga del movimiento de las agujas indicadoras que están en la parte posterior del mismo. Este dispositivo está acoplado al eje del rotor y se encarga de sumar su número de revoluciones.

Como su indicación es proporcional al número de revoluciones dadas por el rotor y éste es proporcional a la energía E , la indicación del numerador es proporcional a la energía consumida.

Finalmente, la relación de transmisión de las ruedas dentadas en el mecanismo integrador del medidor de energía se calcula de tal forma que las indicaciones que éste da en cifras, corresponden de forma directa a las unidades de energía medidas por el instrumento.

3.3. La condición de 90° en el disco del medidor

Esta condición se da ya que sobre el disco del medidor actúan dos momentos: el momento M_1 , producido por la acción recíproca entre el flujo ϕ_v del electroimán de tensión (1), y la corriente inducida en el disco por el flujo ϕ_i del electroimán de intensidad (3) y el momento M_2 , originado por el flujo ϕ_i y la corriente inducida I_{DV} en el disco rotor, a causa del flujo ϕ_v .

La suma de los momentos encontrados en el disco giratorio del medidor de energía, da el momento resultante que hace girar el disco, es decir:

$$M_T = M_1 + M_2$$

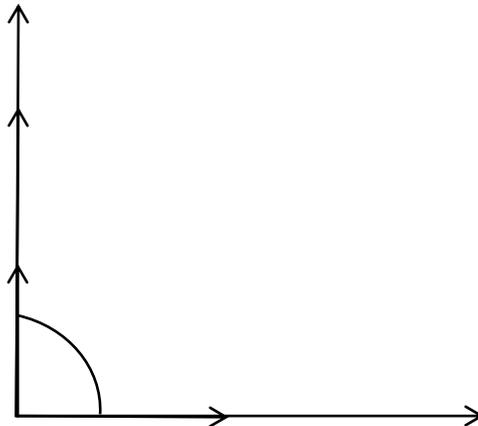
Para que el momento resultante o total M_T sea proporcional a la potencia activa se debe cumplir la siguiente condición en el disco rotor:

$$\Psi = 90^\circ - \varphi$$

Donde Ψ es el ángulo entre los vectores de los flujos ϕ_u y ϕ_i , y φ es el ángulo de desfase entre el vector de tensión V y la intensidad I del consumidor. Por lo tanto se concluye que:

$$\text{sen}\Psi = \cos\varphi$$

Figura 28. **Variación de los ángulos φ y Ψ en la condición de 90°**



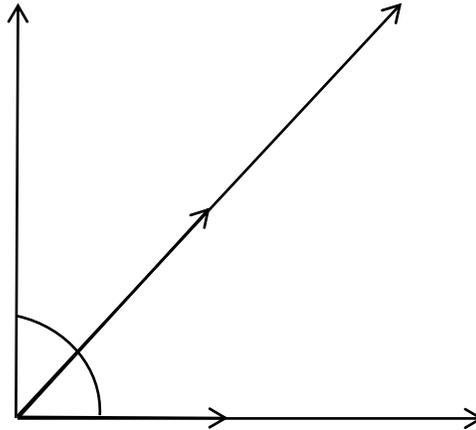
Fuente: elaboración propia.

Donde:

Ψ Es el ángulo de desfase entre los vectores de los flujos ϕ_i y ϕ_u y

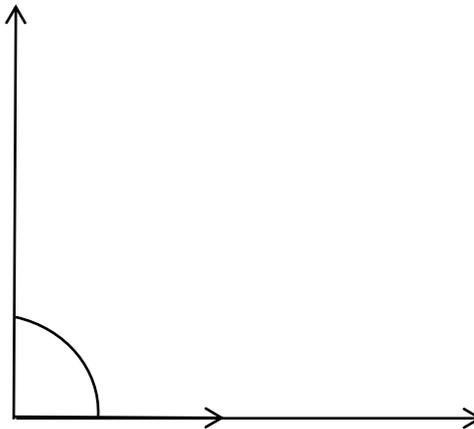
φ Es el ángulo del factor de potencia.

Figura 29. **Variación de los ángulos φ y Ψ en la condición de 90°**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Variación de los ángulos φ y Ψ en la condición de 90°**



Fuente: elaboración propia.

Las variaciones en los ángulos de los flujos en el instrumento medidor hacen que existan diversas condiciones, como las mostradas en las figuras anteriores. Esto sucede cuando la intensidad magnetizante está desfasada 90° con respecto a la tensión V , y para que esto suceda la bobina del electroimán de tensión debe comportarse como una inductancia pura.

3.4. Partes de un medidor de energía

Las partes principales de un medidor de energía se dividen en base a la función que realizan en el sistema, de tal forma que se dividan en 4 fundamentales:

- Partes del sistema motor
- Rotor y cojinetes
- Imán de frenado
- Mecanismo Numerador-integrador

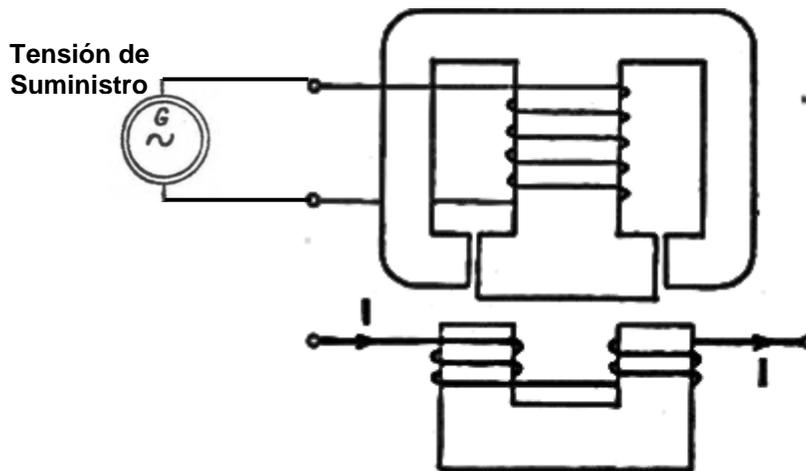
Para que un medidor de energía funcione correctamente es esencial el funcionamiento estable de cada parte del mismo, asegurándose de que el sistema motor junto a sus cojinetes e imán de frenado estén en perfectas condiciones se asegurará que el mecanismo numerador-integrador realice la función de conteo en los márgenes de error permisibles por el fabricante del equipo.

3.4.1. Partes del sistema motor

El estator del sistema está conformado por el núcleo del electroimán de intensidad y por el núcleo del electroimán de tensión, dependiendo de la marca, modelo y fabricante del mismo, estarán contruidos ambos elementos por separado o en una sola pieza.

Los núcleos de los medidores están contruidos de chapas laminadas magnéticas de alta inducción magnética y de permeabilidad constante. En el caso de la permeabilidad constante tiene una gran importancia, ya que condiciona el cumplimiento de que la razón entre el flujo y la intensidad que circularán por el núcleo sea constante en el electroimán de intensidad.

Figura 31. **Electroimanes de tensión e intensidad contruidos por separado**

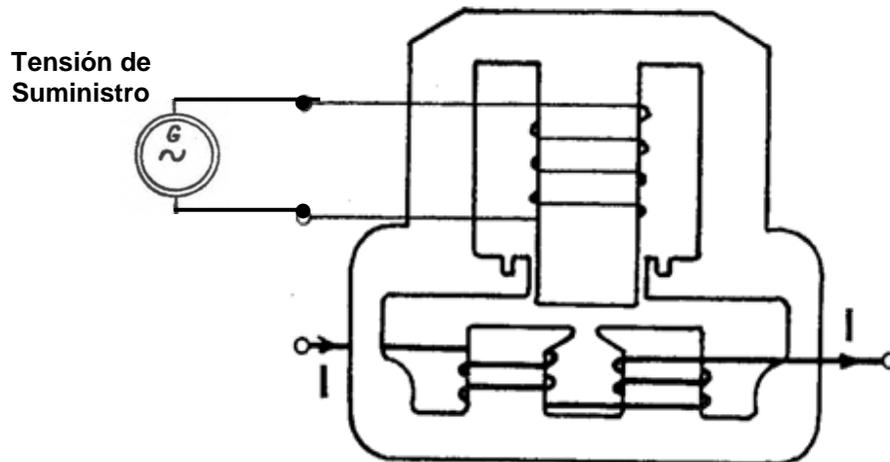


Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 125.

En un núcleo magnético cerrado, la condición de permeabilidad constante se cumple sólo en la parte constante de la curva de histéresis.

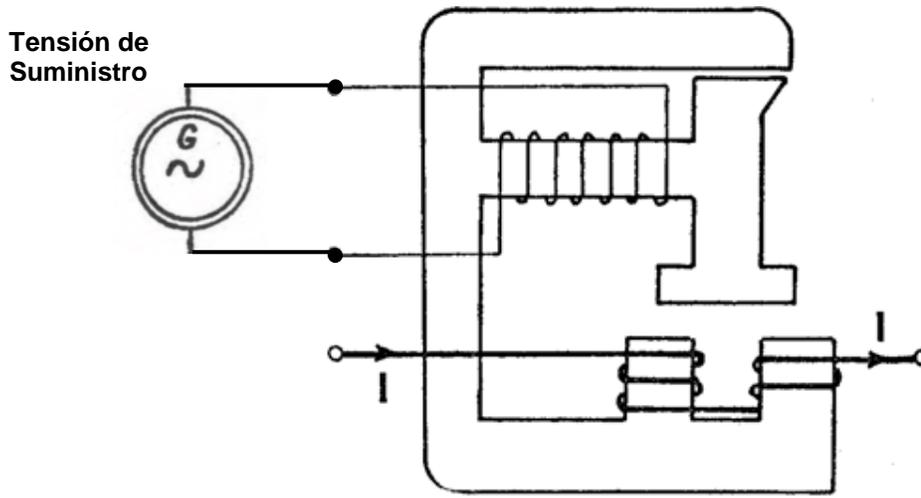
El entrehierro, que es relativamente largo y que contiene el núcleo de los electroimanes del medidor produce un alargamiento de la parte constante de la correspondiente curva de magnetización.

Figura 32. **Electroimanes de tensión e intensidad contruidos en una sola pieza, forma 1**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 126.

Figura 33. **Electroimanes de tensión e intensidad construidos en una sola pieza, forma 2**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 126.

Sobre los núcleos de los electroimanes de tensión y de intensidad están colocadas las bobinas de tensión e intensidad respectivamente.

La bobina de tensión está colocada sobre su núcleo y debe caracterizarse por tener una alta impedancia. También, debido a que la bobina de tensión está conectada siempre a la red, es de mucha importancia que la potencia disipada sea la más baja posible.

Sobre el núcleo del electroimán de intensidad están colocadas las bobinas de intensidad, construido con alambre de cobre esmaltado. La sección transversal del mismo está sobredimensionada con el fin de disipar la potencia en esta bobina.

La bobina disipa alguna potencia, que varia con la marca, modelo y fabricante, además de la corriente nominal del medidor.

3.4.2. Rotor y cojinetes del medidor de inducción

La parte móvil del medidor que se muestra en la figura 34 está compuesta por un disco rotor de aluminio que gira a bajo número de revoluciones por minuto.

La velocidad nominal a la que gira el rotor del medidor es el número de revoluciones por cada minuto del disco giratorio. Cuando se aplica al medidor la tensión nominal del sistema, la intensidad de la corriente nominal y el factor de potencia del consumidor o receptor es uno.

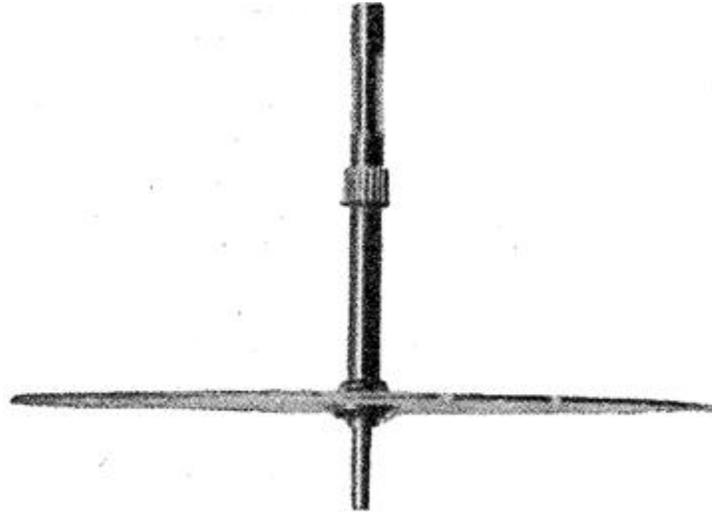
La velocidad de giro del disco rotor es inferior a la velocidad nominal cuando los valores de los parámetros involucrados sean inferiores a los nominales.

El disco de la figura hecho de chapas laminadas de aluminio, es de un espesor menor a 1.5 mm y está fijado sobre el eje del mismo, que es un tornillo sin fin que engrana con el mecanismo numerador del medidor.

En la mayoría de los medidores el disco tiene grabada sobre su circunferencia una escala que se utiliza para facilitar el contraste del medidor en serie.

Al utilizarse medidores polifásicos se utilizan dos o tres discos colocados en el mismo eje giratorio.

Figura 34. **Disco de aluminio, montado sobre el eje vertical rotor, construido de una delgada chapa**



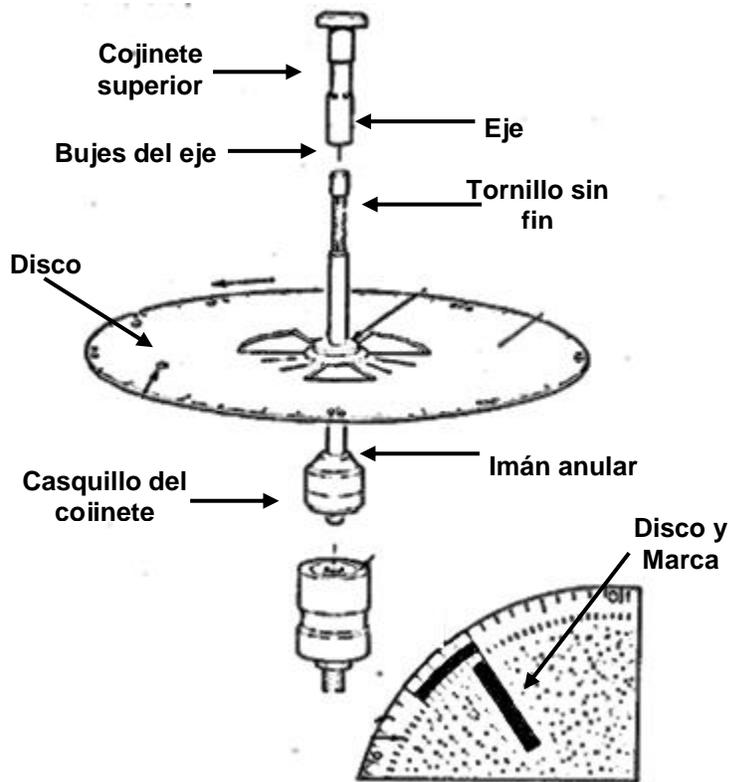
Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 132.

Los momentos creados por el sistema de cada fase se suman, actuando sobre el mismo eje en el que están montados.

En el caso de un aumento momentáneo de la tensión de la red de suministro, el dispositivo de compensación del momento de fricción puede producir que el rotor entre en movimiento, aunque muy lento, a pesar de no circular ninguna carga.

Para poder compensarlo, existen algunos medidores provistos de un dispositivo más que consiste en una lengüeta de alambre o de lámina de hierro, fijada al eje del rotor. Otra lengüeta fijada sobre el núcleo del electroimán de tensión que está excitada por el flujo originado por el bobinado de tensión.

Figura 35. Partes del disco rotor del medidor de energía



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 133.

3.4.3. Imán de frenado

Es una de las cuatro partes más importantes del sistema de ajuste del instrumento de medición. De su posición y estabilidad de su flujo magnético depende el error principal del medidor; por lo anterior es muy importante que cumpla con ciertas características:

- Alta estabilidad magnética
- Muy alta fuerza coercitiva
- Mínima sensibilidad a los cambios de temperatura.

Es necesario tener en cuenta que existirá influencia de los campos magnéticos externos al imán y existentes dentro del sistema medidor. Por lo tanto los núcleos de los imanes de frenado poseen una sección longitudinal en forma de U. Son fabricados de aleaciones de alnico, ya que éste se caracteriza por su alta estabilidad y fuerza coercitiva.

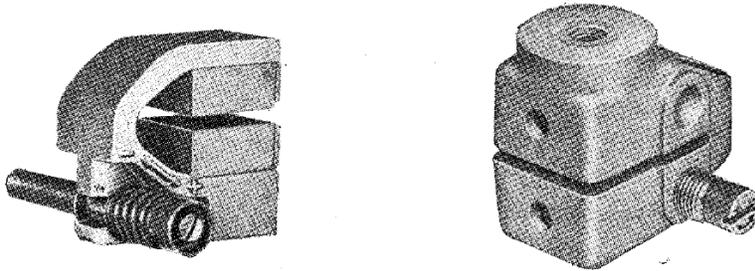
Para poder compensar la influencia de la temperatura, algunos de los fabricantes proveen al imán en su parte frontal de una placa de material magnético ajustable en forma de *shunt*. El *shunt* está construido de una aleación de tal forma que la capacidad de conducción térmica de la misma disminuye con mayor rapidez al aumentar la temperatura del material del imán del medidor.

Por lo anterior la pérdida de flujo del imán de frenado, que se presenta en temperaturas más elevadas, es compensada por el flujo de la placa en forma de *shunt*.

Existen algunos medidores que traen colocada entre el imán de frenado y la bobinad de corriente una pantalla magnética construida de chapas de material de poca remanencia. Esto con la finalidad de proteger al imán contra el flujo magnético que produce la bobina de corriente, especialmente importante en el caso de cortocircuitos o sobrecargas en la red a la que se encuentra conectado el medidor.

Finalmente, la pantalla que posee el medidor impide que entren líneas magnéticas procedientes de la bobina de intensidad al imán de frenado.

Figura 36. **Imán de frenado para medidores de energía eléctrica**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 133.

3.4.4. Mecanismo registrador

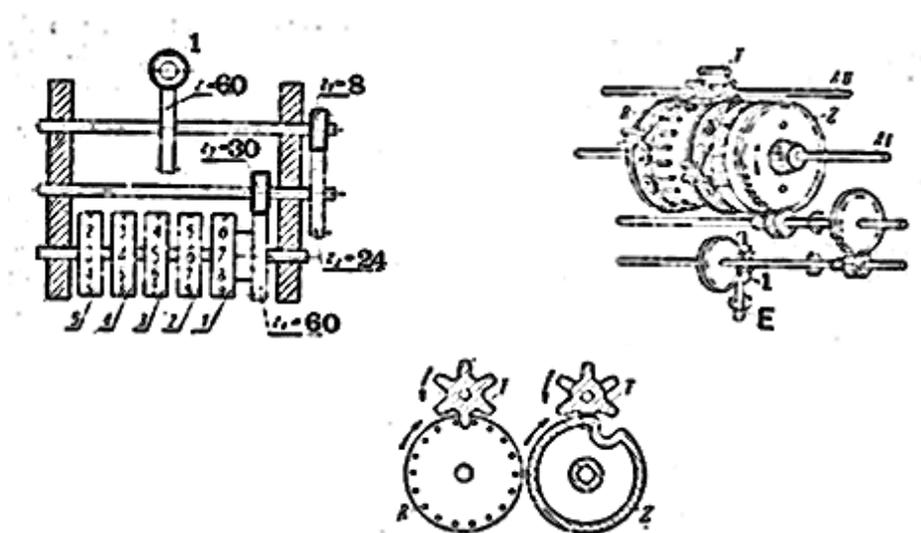
Los medidores de energía están provistos de un dispositivo que se encarga de sumar el número de revoluciones dadas por el disco proporcionalmente a la cantidad de energía suministrada al consumidor, indicando también el número de unidades de energía que han sido suministradas al consumidor.

La constante nominal del medidor de energía se determina en base a la relación de engranajes del dispositivo numerador-integrador, y a ésta se ajusta durante su contraste, el medidor de energía eléctrica.

En base a la construcción del dispositivo numerador y a su lectura, existen dos tipos principales: el primero es denominado numerador de tambor o de disparo, el segundo, el numerador de agujas o de esferas.

En cuanto al numerador de tambor, es de uso principalmente en países que se encargan de fabricar equipos de medición normalizados. El segundo tipo, es utilizado en los países más anglosajones, como por ejemplo: Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, etc.

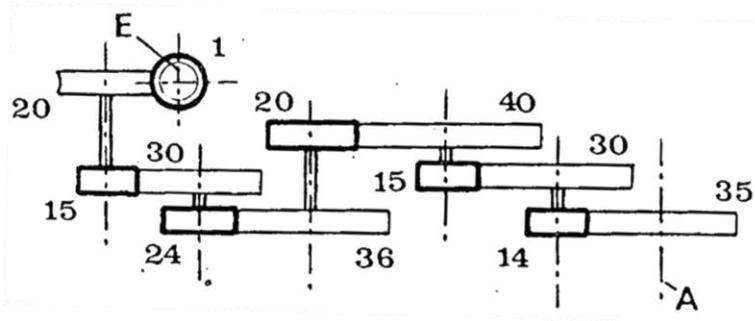
Figura 37. **Engranajes del mecanismo registrador y partes que lo componen**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 140.

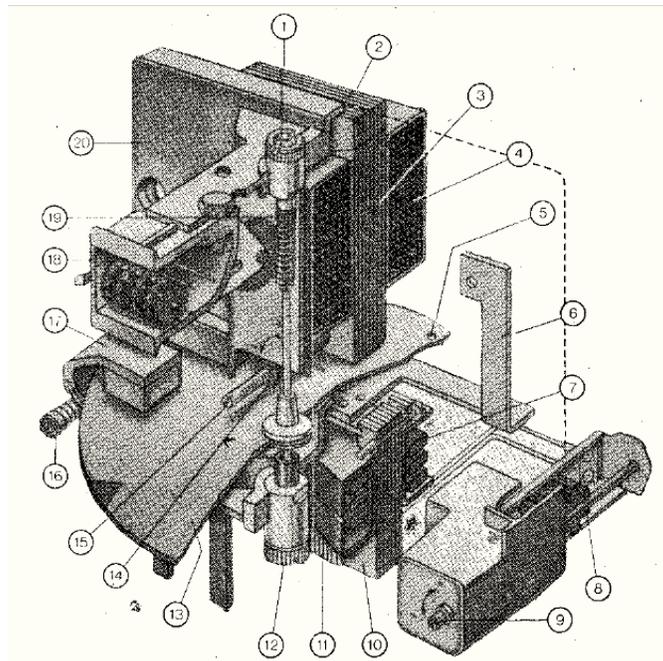
La relación de engranajes del mecanismo numerador determina la constante nominal del medidor de energía, luego del cual está ubicado el mecanismo numerador. Es necesario, para determinar la constante del medidor, realizarlo en base a la relación de engranajes conductores y engranajes conducidos.

Figura 38. **Engranajes conductores y conducidos, en el mecanismo registrador del medidor de energía**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 141.

Figura 39. **Medidor de energía monofásico, construido según normativa internacional**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 143.

Tabla III. **Partes del medidor de energía mostrado en la figura 39**

| |
|---|
| 1. Cojinete superior |
| 2. Núcleo de tensión exterior; |
| 3. Núcleo de tensión interior |
| 4. Bobina de tensión |
| 5. Orificio para el enclavamiento de la marcha libre |
| 6. Área de re acoplamiento |
| 7. Bobina de corriente |
| 8. Resistencia regulable |
| 9. Tornillo de regulación para la compensación de fases |
| 10. Núcleo de corriente |
| 11. Devanado de compensación de desfase |
| 12. Cojinete inferior |
| 13. Rotor |
| 14. Tubo de cobre (carga) |
| 15. Tornillo motriz; tornillo de ajuste del imán |
| 17. Imán de freno |
| 18. Mecanismo contador, casquillo del cojinete superior |
| 20. Soporte del mecanismo de medida. |

Fuente: elaboración propia.

3.5. Tipos de medidores de energía eléctrica

La principal finalidad de las mediciones de energía eléctrica es la comercialización de la misma, desde los participantes generadores en las salidas de sus respectivas centrales hasta los consumidores finales, quienes son los usuarios que mayoritariamente se encuentran en todos los países

. En un inicio, la comercialización se realizaba por medio de la compra-venta de la unidad de energía vigente.

Sin embargo con el paso del tiempo, el desarrollo industrial y su alta producción, fueron necesarias formas más complejas de establecer las distintas tarifas.

Existen varios factores que originaron la creación de muchos tipos de medidores de energía, con el objeto también de obligar al consumidor o usuario del servicio a que ajuste sus instalaciones y sus receptores de energía.

También, los horarios de su funcionamiento, con el objeto de que existan mejores funcionamientos y mayor rendimiento en los mismos.

Entre estos factores se pueden mencionar los siguientes:

- El nivel de carga máxima que puede soportar la central generadora
- La forma de distribución de la carga durante el día
- El rendimiento eléctrico de los usuarios o receptores, así como sus características

3.6. Tipos y agrupación de los medidores de energía eléctrica

En la primera clasificación tomada y en base a normativa internacional, se exponen los siguientes tipos de medidores.

Primer grupo: en base al sistema de la red, a través de la que se utiliza la energía.

- Medidores monofásicos
- Medidores trifásicos para tres y cuatro conductores

Segundo grupo: en base al tipo de receptor, cuyo funcionamiento influye directamente en la tarifa.

- Medidores de energía activa
- Medidores de energía reactiva
- Medidores de energía aparente

En base al programa de carga diaria y a la carga máxima de corta duración.

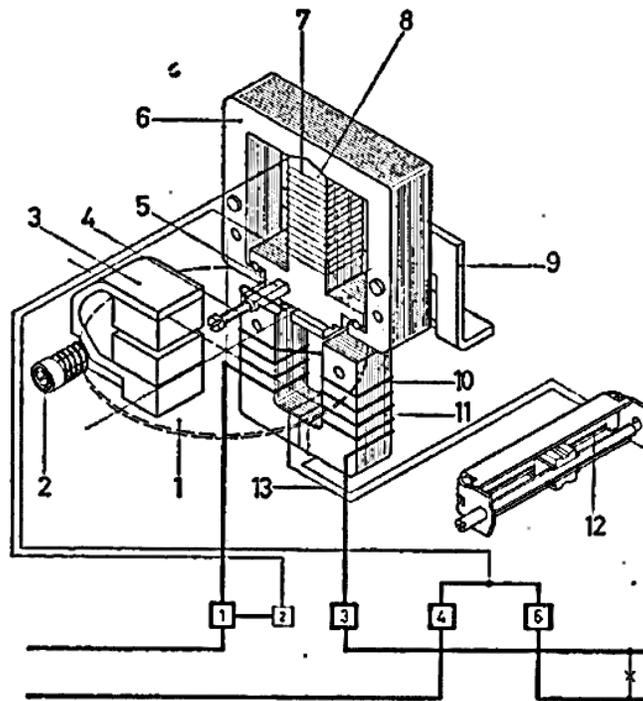
- Medidores de tarifa múltiple
- Medidores de demanda máxima

Los anteriores tipos de medidores, pueden según su modelo, pertenecer a un grupo de medición o a varios. Las descripciones de los modelos anteriores se dan a continuación:

3.6.1. Medidor de energía activa monofásico

La conexión del medidor monofásico de energía activa es vatimétrica, es decir, la bobina de intensidad se encuentra conectada en serie con la red del consumidor y la de tensión está conectada en paralelo con la misma.

Figura 40. **Perspectiva del principio de construcción del medidor monofásico de energía activa**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 150.

3.6.2. Medidor de energía activa trifásico

En la forma más sencilla, se utilizarían dos o tres medidores de energía activa monofásicos para la medición de energía en una red trifásica, aunque su costo sería mucho más elevado que el fabricar un solo medidor que se encargue de todo.

Principalmente es la razón por la que se construyen los medidores trifásicos, en los que se pueden integrar los pares motor de los sistemas monofásicos integrados por medio de un eje común accionando a un solo numerador, que se encarga del conteo de la energía suministrada al usuario del servicio.

Dependiendo del sistema de la red, se utilizan los medidores de dos o tres sistemas motor que se conectan de tal modo que los tres vatímetros en las mediciones de potencia cuando esta cuenta con hilo neutral o los dos utilizados en la red sin hilo neutral, hagan funcionar correctamente al medidor.

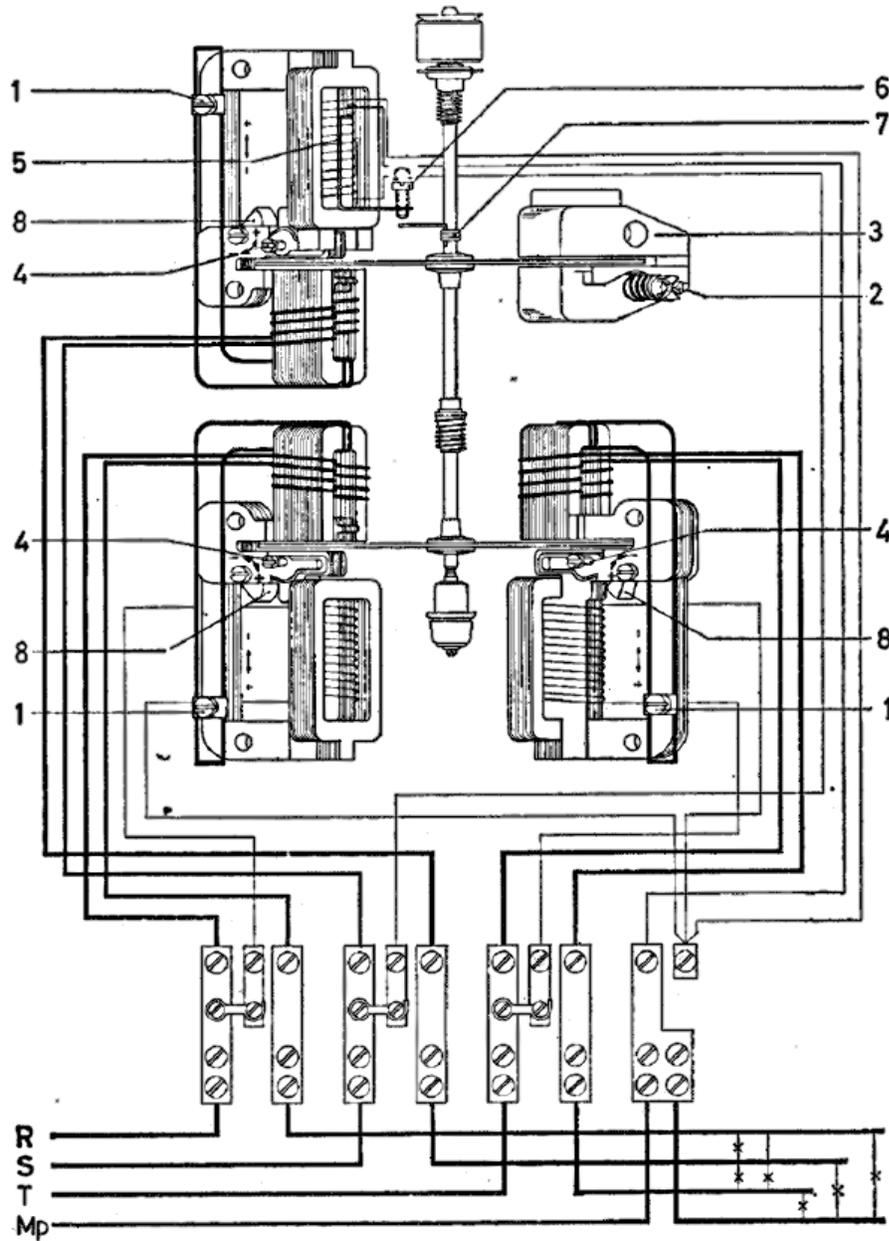
3.6.2.1. Medidores de energía activa trifásicos de tres sistemas motor

Existen tres variantes en la construcción de los medidores trifásicos, en cuanto a los sistemas motor, y son como sigue:

- Medidor con rotor de tres discos, montados sobre el mismo eje, y con un sistema motor aplicado sobre cada disco.
- Medidor con rotor de dos discos; sobre un disco se aplican dos sistemas motor y sobre el otro un sistema motor y el imán de frenado.

- Medidor con rotor de un solo disco, sobre el que se aplican los tres sistemas motor.

Figura 41. **Medidor trifásico con rotor de dos discos**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 155.

3.6.3. Medidor de energía reactiva monofásico

En su construcción se usa el mismo sistema motor utilizado en los medidores de energía activa.

En los medidores de energía reactiva monofásicos los flujos ϕ_i y ϕ_u producidos por la corriente de la red en la bobina de intensidad y por la intensidad I_v en la bobina de tensión respectivamente, están desfasados entre sí un ángulo cercano a 90° .

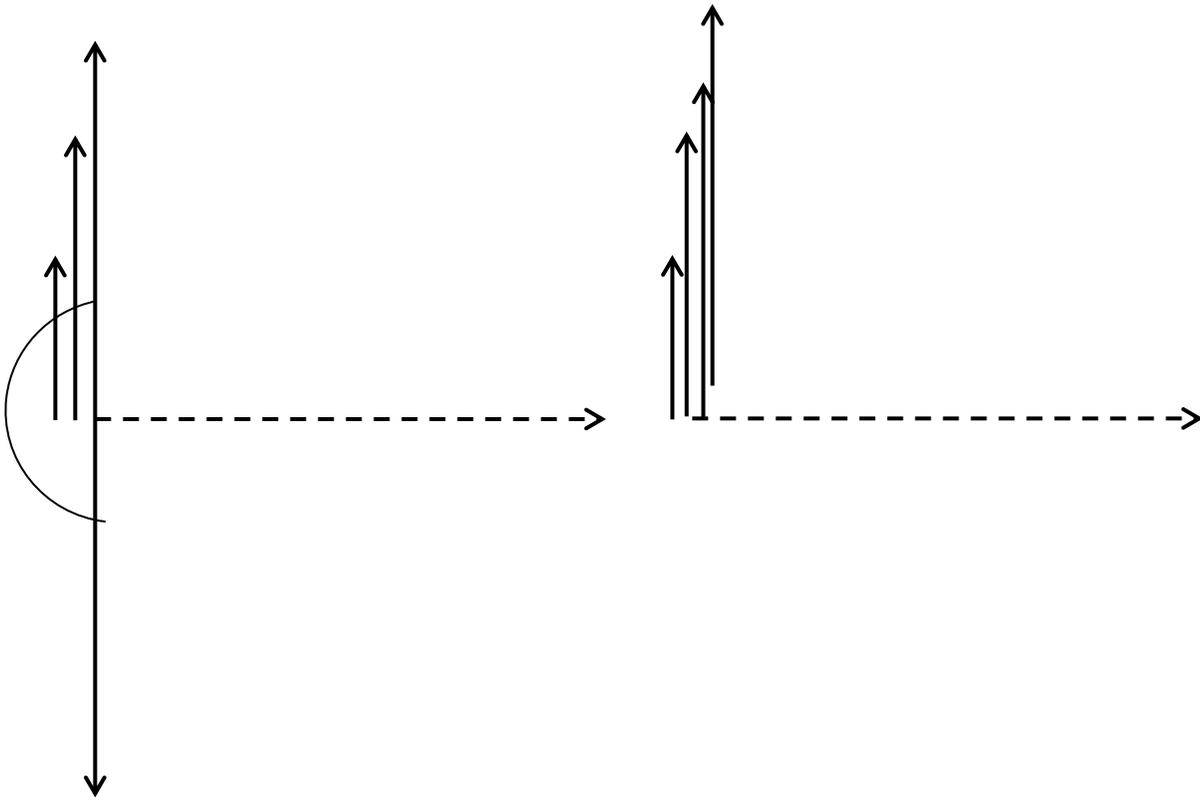
De acuerdo a lo anterior, la cantidad máxima de revoluciones del rotor en un medidor de energía activa debe producirse al igualar el ángulo de desfase a cero grados, cumpliéndose así la condición $\cos\varphi = 0$.

De manera contraria, en el medidor de energía reactiva, la cantidad máxima de revoluciones en el rotor se debe producir cuando el desfase es igual a 90° , cumpliéndose así la condición de $\cos\varphi = 0$.

Lo anterior se puede cumplir desfasando el flujo ϕ_v en otros 90° más, es decir, crear un desfase de 180° , o también colocando el vector I_v de la bobina de tensión en fase con el vector de tensión V .

En este último caso el ángulo Ψ es igual a cero entre ambos vectores, además de que la rotación de los vectores en el medidor monofásico de energía reactiva es semejante al de energía activa con las variantes de los ángulos del flujo ϕ_v y su condición de suma de otros 90° mas. Lo anterior se amplía en la figura 42.

Figura 42. **Rotación de vectores de flujo en medidores monofásicos de energía activa y reactiva**



Fuente: elaboración propia.

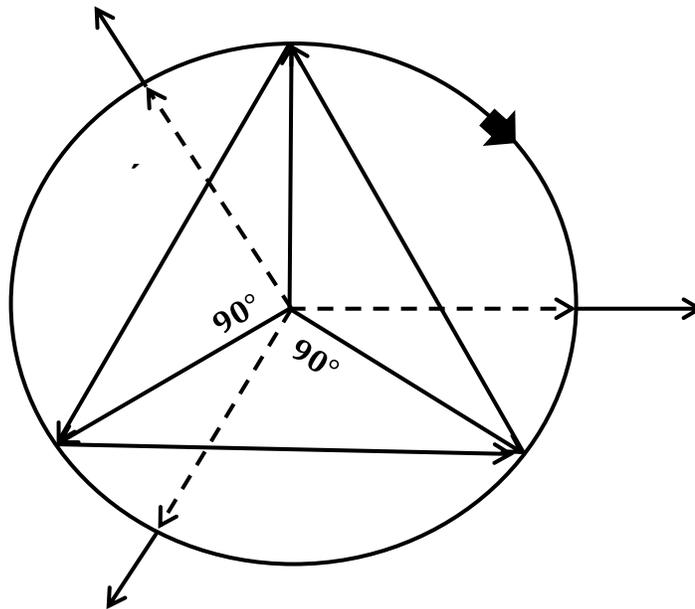
3.6.4. Medidores de energía reactiva trifásicos

En la construcción de los medidores trifásicos de energía reactiva se utiliza el mismo sistema aplicado en la construcción de los medidores trifásicos de energía activa, utilizando dos o tres sistemas motor monofásicos según sea el caso, montados sobre el mismo eje.

Es posible evitar en los medidores trifásicos de energía reactiva las dificultades presentadas cuando se necesita realizar el desplazamiento o rotación de flujos magnéticos, que son indispensables en el medidor monofásico de energía reactiva.

La simplificación se puede lograr en base a las características propias de la red de suministro trifásica, es decir, el desfase cíclico entre los vectores de tensión de todas las fases. En su forma más simplificada, se puede realizar el desfase entre los dos flujos mediante la conexión de la bobina de tensión perteneciente. De la misma forma se hace la conexión en los sistemas motor restantes.

Figura 43. **Desfase cíclico de tensiones en un sistema trifásico**



Fuente: elaboración propia,

Para la medición de energía activa en las instalaciones con sistemas trifásicos de 3 hilos conductores se utilizan medidores de dos sistemas motor, conectados según el principio Aron, es decir, de dos vatímetros, aunque también se pueden construir medidores de energía reactiva en base a dos sistemas motor.

3.6.5. Medidores de energía aparente

Cuando se trata de mediciones de potencia y energía aparentes, estas no representan magnitudes físicas puramente, sino más bien como resultados numéricos. Sin embargo, estos conceptos son utilizados para estimaciones y para el cálculo de la carga de los generadores y transformadores del sistema, la cual está limitada por su máxima intensidad de corriente circulando por ellos.

Por lo anterior, y conociendo el concepto de la variación del factor de potencia, es necesario el que éste se encuentre entre valores cercanos a la unidad, buscando que sea el máximo valor posible. Los medidores de energía aparente están relacionados con elementos que registran en el consumidor o usuario su demanda.

3.6.6. Medidores de energía aparente trifásicos

En la medición de energía aparente se pueden utilizar los medidores de energía activa o algunos de construcción similar, siempre y cuando el factor de potencia se pueda mantener dentro de ciertos límites preestablecidos.

En el diseño de los medidores de energía aparente, estos se fundamentan en que es posible establecer de manera previa un factor de potencia de valor promedio para las condiciones de servicio correspondiente.

Por lo anterior se puede ajustar el desfase interno entre los flujos magnéticos ϕ_v y ϕ_i de tal forma que el máximo momento motor del disco del medidor se obtiene con el ángulo del factor de potencia promedio. El ajuste mencionado tendría validez si el ángulo de desfase oscilara dentro de los límites relativamente pequeños de variación permisibles.

Finalmente, el funcionamiento de un medidor de energía aparente se basa en que el coseno del ángulo que tiende a cero puede ser considerado como casi igual a la unidad y cuando el valor del ángulo varía dentro de un margen relativamente pequeño tampoco variará demasiado el valor del coseno correspondiente. Lo que se puede apreciar mejor como sigue:

Tabla IV. **Variación del factor de potencia**

| Ángulo | 0° | 5° | 10° | 15° | 20° | 25° |
|--------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Coseno | 1 | 0.996 | 0.985 | 0.966 | 0.940 | 0.906 |

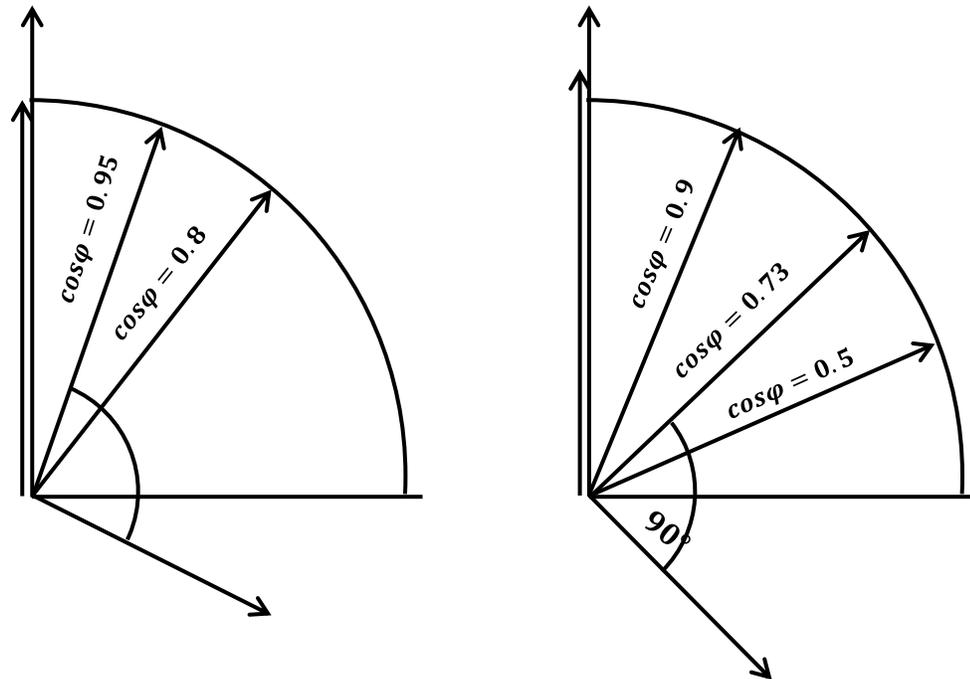
Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se concluye que un medidor de energía activa que puede ser utilizado para la medición de potencia aparente, tendrá sus lecturas en una proporción directa a:

$$E_p = V \cdot I \cdot \cos\phi$$

Y registrará también la energía aparente cuando el ángulo de desfase se aproxime a cero grados, por lo que la utilización de medidores de energía activa o similares puedan ser utilizados en la medición de energía aparente trifásica.

Figura 44. Diagrama vectorial del medidor de energía aparente



Fuente: elaboración propia.

3.6.7. Medidores especiales

Para realizar distintos tipos de medidas en cuanto a potencia y energía se refiere, se ha creado gran variedad de medidores, desde los medidores monofásicos de potencia activa hasta los medidores trifásicos de potencia aparente con lo complejo de su funcionamiento, cada uno según las necesidades de cada usuario o consumidor.

Sin embargo para fines específicos se han creado distintos tipos de medidores, con el objeto de satisfacer las necesidades que puedan tenerse en diversas situaciones, como es el caso de los medidores de registro doble.

Estos, a diferencia de los medidores de registro simple que están formados de un solo numerador y que el usuario paga siempre el mismo precio por la energía consumida, estos cuentan con diversas tarifas dependiendo el período del día en el que sean utilizados, es decir, del período dentro de cada día en el que la energía es consumida.

Lo anterior se da, debido a que las centrales que suministran energía durante ciertos períodos del día para la industria, durante una parte de la noche mayoritariamente la suministran para iluminación. Durante el día también existen periodos durante los cuales la central funciona casi en vacío, variando así el precio de la energía dependiendo el período en el que el precio de la energía suba o baje.

Debido a estos casos es necesaria la utilización de medidores especiales de doble tarifa, tomando en cuenta el período dentro del día en que se utiliza la energía por parte del receptor.

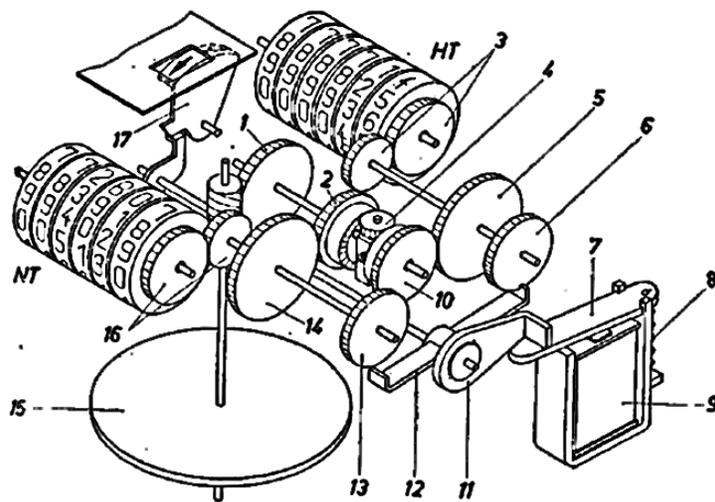
3.6.7.1. Medidores de doble tarifa monofásicos y trifásicos

Se construyen por la variación de tarifas en ciertos períodos del día, estableciendo así distintas tarifas a los consumidores. La conmutación de las tarifas se realiza mediante un relé fijado al soporte de los numeradores, en el cual está energizando su electroimán mediante un reloj exterior de contacto.

Para poder mantener constantes los momentos de fricción originados dentro del mecanismo numerador del medidor de energía, en los engranajes, el relé se acciona mediante un diferencial con ruedas planetarias, de tal forma que funciona de un lado o del otro.

El reloj encargado de accionar el relé de numeradores exterior al medidor, generalmente funciona a cuerda para evitar los efectos de interrupciones en el servicio. El mecanismo que acciona el reloj tiene una reserva de cuerda que se proporciona de forma eléctrica.

Figura 45. **Funcionamiento del mecanismo contador de doble tarifa para contadores de tarifa baja conectada**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 178.

Tabla V. **Partes del mecanismo contador de doble tarifa para
contadores de tarifa baja conectada**

| |
|---|
| 1. Rueda Helicoidal |
| 2. Rueda Principal Izquierda |
| 3. Transmisión Del Mecanismo Contador De Tarifa Alta (HT) |
| 4. Rueda Planetaria |
| 5. Rueda De Transmisión Al Mecanismo Contador De Tarifa Alta (HT) |
| 6. Rueda De Trinquete Del Mecanismo Contador De Tarifa Alta (HT) |
| 7. Armadura Del Conmutador De Tarifa; |
| 8. Resorte De Tracción |
| 9. Disparador De Tarifa |
| 10. Rueda Principal Derecha |
| 11. Palanca De Trinquete |
| 12. Resorte De La Palanca De Trinquete |
| 13. Rueda De Trinquete Del Mecanismo Contador De Tarifa Baja (NT) |
| 14. Rueda De Transmisión Al Mecanismo Contador De Tarifa Baja (NT); |
| 15. Rotor Del Contador |
| 16. Transmisión Del Mecanismo Contador De Tarifa Baja (NT) |
| 17. Colisa |

Fuente: elaboración propia.

3.7. Otras clasificaciones para medidores de energía eléctrica

Además de las clasificación anterior, los medidores de energía eléctrica se pueden clasificar en otras formas distintas a la construcción del mismo, es decir, en base al tipo de energía que miden, la clase de precisión que tienen y la forma de conectarse a la red de suministro, las que pueden ser como sigue:

3.7.1. Por su forma de construcción

Los medidores pueden ser clasificados en tres tipos básicos: medidores electromecánicos, medidores electromecánicos con mecanismo registrador electrónico y medidores totalmente electrónicos.

3.7.1.1. Medidores totalmente electromecánicos

Son los medidores de inducción usualmente encontrados en toda instalación domiciliar o de baja demanda, están compuestos por un conversor electromecánico que actúa sobre un disco giratorio, cuya velocidad de giro es directamente proporcional a la potencia demandada por el usuario o consumidor, provisto además de un dispositivo integrador.

3.7.1.2. Medidores electromecánicos con mecanismo registrador electrónico

Son una variante a los medidores totalmente electromecánicos, ya que en ellos el disco giratorio del medidor de inducción es configurado para que genere un tren de pulsos mediante un captador óptico que registra las marcas grabadas en la cara posterior.

Los pulsos generados son procesados por un sistema digital que calcula y registra valores de energía y de demanda. El medidor y el registrador pueden ser alojados en la misma unidad de medición o en módulos separados.

3.7.1.3. Medidores con emisión de impulsos

Son medidores que al igual que los demás se les utiliza en la medición de energía eléctrica a los que se añade un sensor y un generador de impulsos de forma que a la vez que gira el disco y comunica el movimiento a los integradores, el sensor ya se encuentra colocado sobre el disco de aluminio.

Cuando pasa el disco por debajo de un circuito magnético, el sensor se encarga de detectar el campo y está conectado a un circuito electrónico por el cual se transforma el pequeño campo magnético en oscilaciones de alta frecuencia o impulsos.

También se encuentran medidores por impulsos, llamados ópticos, los cuales consisten en sustituir el circuito magnético por una célula óptica, entonces los impulsos salen al exterior del contador por medio de contactos y son tomados por un sistema que los procesa para realizar la lectura automática.

Este sistema puede estar directamente en el medidor de energía o en la centralización de los medidores. Aquí se procesa la información, determinando el consumo a que equivale en cada momento la frecuencia de los pulsos que han sido emitidos, luego es almacenada toda esta información para enviarla al Centro de Control de Datos en el momento que éste lo requiera.

3.7.1.4. Medidores totalmente electrónicos

Son totalmente opuestos en su construcción a los medidores totalmente electromecánicos, ya que en ellos la medición de energía y el registro de la misma se realizan mediante un proceso análogo-digital utilizando un microprocesador y dispositivos de memoria integrados al medidor.

El medidor electrónico es también conocido como Medidor de Estado Sólido, teniendo una gran diversidad de características que lo hacen más compacto y aplicable a un número mayor de funciones comparado con un medidor electromecánico.

Es un equipo que utiliza componentes electrónicos y un microprocesador, que imita el funcionamiento de un medidor electromecánico de disco. Tienen la capacidad de medir distintas magnitudes eléctricas y guardar un registro de las mismas, tales como:

- Voltaje
- Corriente
- Potencia activa, kWh
- Potencia reactiva, kVAr
- Factor de potencia
- Demanda máxima

Los medidores totalmente electrónicos utilizan una memoria interna que permite el almacenamiento de registros por espacio de hasta 180 días. Además, pueden ser programados para realizar mediciones de energía a cada 60 minutos, 15 minutos o 5 minutos (intervalos comunes y variables).

Además, es posible la comunicación remota con estos medidores mediante teléfonos de línea, celulares, microondas o internet.

3.7.1.5. Modos de operación

Los diversos modos de operación de los medidores electrónicos son los siguientes:

- Normal: Es el funcionamiento en servicio sin alteraciones
- Alterno: Despliega otras magnitudes que no se observan en el primer módulo.
- Test: utilizado para realizar pruebas de verificación del medidor

3.7.1.6. Ventajas

Dentro de algunas ventajas que tienen los medidores totalmente electrónicos se pueden citar:

- Mayor exactitud en las mediciones realizadas
- Habilidad para medir varias magnitudes en un mismo elemento
- Habilitar el sistema para acceder a su información de forma remota

3.7.1.7. Desventajas

Dentro de las desventajas de los medidores electrónicos totalmente se tiene por ejemplo el requerir de equipos de verificación más sofisticados y de mayor exactitud (patrones de verificación y calibración), además de capacitación técnica cuanto a lo siguiente:

- Instalación y Montaje
- Programación
- Pruebas de verificación y calibración

Dentro de los medidores totalmente electrónicos, se encuentran las dos clasificaciones siguientes:

3.7.2. Medidores de demanda

Son equipos de medición de energía eléctrica, que a su vez miden y almacenan la energía total y una única demanda en el período al que sea configurado el equipo, que podría ser de 24 horas, registrando el nivel máximo de demanda dentro del período configurado previamente.

3.7.3. Medidores multitarifa

Son otra variante de los medidores totalmente electrónicos, ya que en éstos se mide y almacena la energía y demanda al igual que en los medidores de demanda, con la variante de que se mide ésta en distintos períodos de tiempo entre las 24 horas del día.

Lo anterior, con la finalidad de poder incluir en las mediciones distintos tipos de tarifas, además de poder registrar también la energía reactiva suministrada, factor de potencia y otros parámetros especiales previamente configurados.

Los medidores totalmente electrónicos son mayoritariamente utilizados en consumidores de mediana potencia y gran potencia, con la finalidad de facilitar las tareas de medición y control sobre la energía y potencia comercializadas en determinados períodos de tiempo, y bajo ciertas circunstancias acordadas previamente entre los participantes.

3.7.4. De acuerdo a la energía que miden

Dentro de la potencia medida, se encuentran tres tipos; la potencia activa, reactiva y aparente. Por lo que los medidores en cuanto a la energía que miden se pueden dividir en:

3.7.4.1. Medidores de energía activa

Son los equipos que se encargan de medir el consumo de energía por parte del usuario en kilovatios-hora (kWh).

3.7.4.2. Medidores de energía reactiva

Son los encargados de registrar y medir el consumo de energía reactiva en kilovoltio amperios-hora reactivos. La energía reactiva es medida mayormente con equipos totalmente electrónicos que se encargan de medir tanto la energía activa como la reactiva.

3.7.5. De acuerdo a su conexión a la red de suministro

En cuanto al tipo de conexión a la red o sistema de suministro, los medidores se pueden clasificar como sigue:

3.7.5.1. Medidor monofásico de dos hilos

Es el medidor utilizado para el registro del consumo en una acometida generalmente domiciliar, que tenga un solo conductor activo o conductor de fase y un conductor no activo o neutral.

3.7.5.2. Medidor monofásico de tres hilos

Es el medidor más utilizado en condiciones normales en servicios de una sola fase, pues registra el consumo de una acometida monofásica de fase partida, en la que se tienen dos conductores activos y un neutral o conductor no activo, ya que presentan una mayor estabilidad a los sistemas de suministro al balancear mejor las cargas desde los usuarios finales.

3.7.5.3. Medidor de dos fases-tres hilos

Es el equipo utilizado para registrar el consumo de energía en una acometida en baja tensión de dos fases y tres hilos, alimentada desde la red de distribución trifásica en baja tensión.

A diferencia del sistema monofásico de tres hilos, este sistema y medidor tienen la capacidad de establecer un desfase entre los conductores activos de suministro y no solamente un nivel mayor de tensión, como en el caso de los sistemas de fase partida.

3.7.5.4. Medidor trifásico de tres hilos

Es el utilizado para el registro de la energía consumida en una acometida de tres fases, es decir, de tres conductores activos desfasados 120° entre sí, sin contar con el hilo neutral o el conductor no activo. Son los utilizados en conexiones flotantes, en las que el hilo neutral no es utilizado en la instalación eléctrica del usuario.

3.7.5.5. Medidor trifásico de cuatro hilos

En este tipo de sistema si se cuenta con el hilo neutral en la instalación además de las tres fases o conductores activos, el medidor registra el consumo de la acometida trifásica en baja tensión de tres fases y cuatro hilos.

3.7.6. De acuerdo a la exactitud

En las operaciones de compra-venta de energía o de compra de la misma, se debe velar por el funcionamiento óptimo de los equipos, en base a su exactitud y precisión, ya que de ello dependen las pérdidas económicas que alguna de las partes pueda tener.

El índice “clase del medidor 0,5, 1 o 2” representa a los límites de error porcentual que son admisibles para todos los valores de corriente, entre el 10% de la corriente nominal y la corriente máxima que puede circular, a un factor de potencia unitario.

De lo anterior los medidores de acuerdo a su exactitud se pueden dividir de la manera siguiente:

3.7.6.1. Medidores clase 0,5

Son medidores utilizados para mediciones en cantidades muy grandes de energía, pudiendo ser generadores o grandes usuarios, siempre y cuando se mantenga un pequeño campo de carga.

La instalación de los medidores clase 0,5 debe ser realizada con extremo cuidado, eliminando o reduciendo al mínimo las magnitudes de influencia que afecten al equipo, tales como campos magnéticos, falta de verticalidad y variación de la temperatura ambiente.

Son usados para medir energía activa suministrada en bloque en un punto frontera, pudiendo ser estas otras empresas participantes o usuarios mayores.

3.7.6.2. Medidores clase 1

Son equipos utilizados en las mediciones de una exactitud menor a los anteriores. Se utilizan en la medición de energía activa y reactiva en grandes consumidores.

3.7.6.3. Medidores clase 2

Son los que mayormente se encuentran en uso, ya que es la clasificación básica. Incluye los medidores monofásicos y trifásicos de energía activa y reactiva. Son utilizados en casas, oficinas, pequeños comercios, negocios, etc.

4. TEORÍA DE LA VERIFICACIÓN DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y MÉTODOS DE VERIFICACIÓN

En las actividades comerciales de compra-venta, en cuanto a energía se refiere es necesario contar con equipos e instrumentos que evalúen el flujo de potencia y energía a través de las distintas partes encontradas, también el contar con instrumentos que no solamente registren sino que sean confiables en cuanto a sus márgenes de error, precisión, exactitud, etc.

Por lo anterior, en toda actividad de compra-venta se incluye un instrumento que a su vez es el encargado de llevar los datos para la evaluación económica en la que las partes interesadas llegan a diversos acuerdos en cuanto a la compra y venta de la misma.

La verificación del medidor de energía eléctrica es el proceso de determinar el grado de exactitud con el que el medidor registra la energía, y en caso necesario el ajustarlo, de tal forma que el error del mismo quede dentro de ciertos límites establecidos en base a la normativa que corresponda.

La primera vez en que el medidor se verifica es en su lugar de producción, luego el comprador (generalmente el productor de la energía a comercializar), realiza el proceso en sus laboratorios encargados de la fiscalización de los medidores que tenga en uso.

En el proceso de verificación se compara la energía indicada por el medidor con una cantidad normalizada de energía previamente calculada, y que puede ser utilizada como un patrón de energía.

Existen dos métodos para la obtención del patrón de energía utilizado para verificar los equipos de medición, el primero utiliza el producto potencia por tiempo y el segundo utiliza un medidor de energía patrón.

Dependiendo de la cantidad de medidores que se deseen verificar así será el método más conveniente que se deba tomar.

4.1. Verificación por medio de potencia por tiempo

Se encuentran diversos métodos para la verificación cuando se evalúan los medidores por su potencia registrada en un intervalo determinado de tiempo, entre los cuales cabe mencionar:

4.1.1. Método de rotor

El método de rotor consiste en medir el tiempo que tarda el mismo en girar un determinado número de vueltas, aplicando una determinada demanda de potencia. Conociendo la constante nominal del medidor y la potencia medida con los instrumentos, se puede calcular el tiempo nominal que debería tardar el disco en realizar las n vueltas.

$$t_n = \frac{n}{P} \cdot \frac{3600 \cdot 1000}{C_n} \quad (s)$$

Tiempo nominal del disco rotor

$$t_n = \frac{t_n - t_m}{t_n} \cdot 100 \quad \%$$

Error relativo en la verificación de medidores de energía eléctrica

Generalmente los valores de potencia utilizados en la verificación de medidores de energía eléctrica son los siguientes:

Tabla VI. **Valores de potencia utilizados en la verificación de medidores**

| | | | | |
|-----------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| P 100% | V_{nom} 100% | $I_{nom} = 100\%$ | $\cos\varphi = 1$ | $\delta\%$ < A |
| P 10% | V_{nom} 100% | $I_{nom} = 10\%$ | $\cos\varphi = 1$ | $\delta\%$ < B |
| P 100% | V_{nom} 100% | $I_{nom} = 100\%$ | $\cos\varphi = 0.5$ | $\delta\%$ < C |

Fuente: elaboración propia.

Al utilizar el método de rotor en el laboratorio se emplean dos fuentes separadas, la primera para el circuito de tensión y la segunda para el circuito de intensidad.

Para el caso de medidores trifásicos, éstos se verifican en las mismas condiciones que los monofásicos, ajustando a cada sistema individualmente, sin embargo para los medidores trifásicos, son los fabricantes quienes recomiendan la forma a seguir ya que existe una gran variedad de formas constructivas.

4.1.2. Método del numerador

Es una variante al método de potencia por tiempo, ya que en éste método se pueden medir varios medidores a la vez (entre 5 y 10). Aquí todos los medidores se conectan a la carga constante de valor nominal.

Antes de iniciar la medición, se deben anotar los numeradores en todos los medidores a prueba y luego, conectar la carga, después se deja funcionar a los medidores durante un tiempo nominal, que previamente ha sido calculado.

El tiempo nominal es calculado de la manera siguiente:

$$t_n = \frac{n}{P} \cdot \frac{3600 \cdot 1000}{10^{n-1}} \quad (s)$$

Donde:

t_n Es el tiempo nominal, previamente calculado,

n es el número de revoluciones a dar el último tambor del numerador centesimal,

P es la potencia aplicada a todos los medidores a prueba

x es el número de cifras después de la coma en el numerador

Luego de transcurrido el tiempo nominal, previamente calculado, la carga se desconecta y se anota el registro de todos los numeradores, siendo el error calculado como sigue:

$$\% = \frac{A_m - A_n}{A_n} \cdot 100$$

Donde A_m es el valor de energía que se obtuvo por la diferencia de las lecturas del numerador después y antes, luego de conectar la carga nominal a los medidores.

4.1.3. Método de carga ficticia

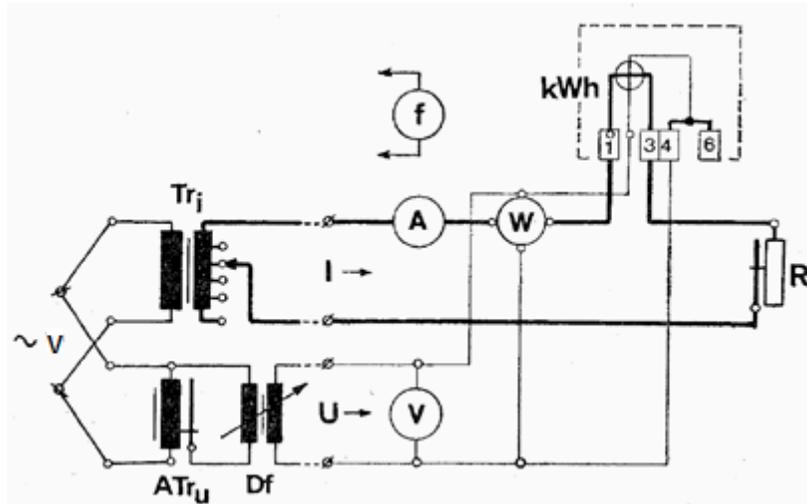
Este método consiste en alimentar del circuito de tensión y el de intensidad por separado. La tensión en valores nominales se aplica a las bobinas de tensión del vatímetro y de los medidores.

Para las bobinas de intensidad que se conectan en serie del vatímetro y de los medidores, que tienen una muy baja impedancia, se utiliza una tensión de alimentación muy reducida.

Para la alimentación de los circuitos de tensión e intensidad separadamente se puede utilizar:

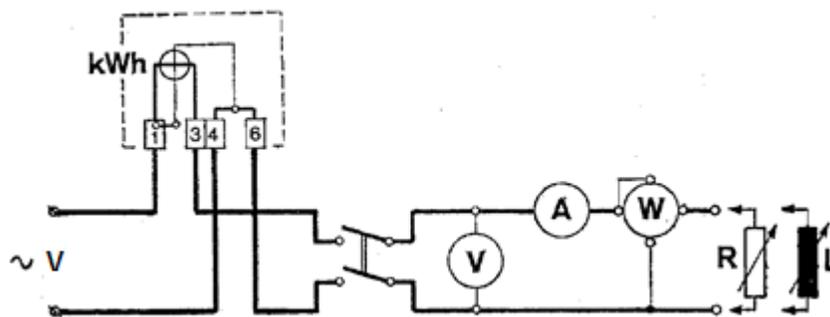
- Dos alternadores acoplados de forma axial y accionados por el mismo motor de velocidad regulable, y por lo tanto de la misma frecuencia. Aquí se consigue el factor de potencia requerido en el circuito vatímetro-medidor, haciendo girar el estator de uno de los alternadores con respecto al otro en el número de grados requeridos.
- Dos transformadores de arrollamientos primarios conectados a la misma red de suministro. Aquí el desfase requerido se obtiene por un defasador intercalado en el circuito de tensión.

Figura 46. Diagrama de conexiones en el método de carga ficticia



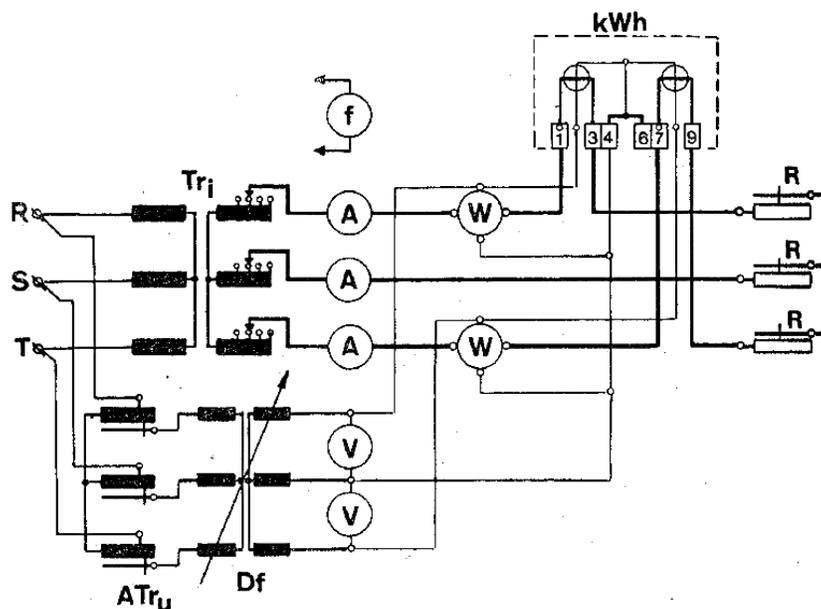
Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 198.

Figura 47. Diagrama de conexiones en el método de carga ficticia



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 199.

Figura 48. **Esquema de conexiones utilizado en laboratorios de verificación de medidores de energía, método de carga ficticia**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 199.

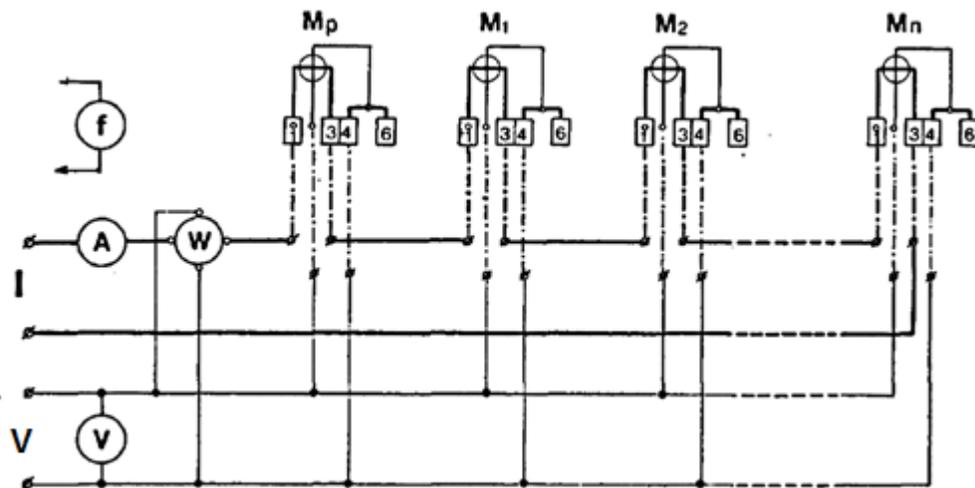
4.1.4. Método sincrónico

Es otra variación del método de rotor. Este método se utiliza cuando se desea verificar varios medidores de la misma marca, modelo y características en serie.

El método está basado en la comparación visual y al mismo tiempo, de las velocidades de todos los discos de los medidores, con la velocidad del rotor de un medidor de la misma marca, tipo y modelo, que previamente ha sido contrastado por un método de precisión y ajuste a un error mínimo.

Este método es bastante utilizado en las industrias y laboratorios de verificación de medidores, ya que permite el contraste de varios medidores a la vez, generalmente hasta 16.

Figura 49. **Conexiones y disposición de medidores, método sincrónico**



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 202.

Todas las bobinas de intensidad están conectadas en serie, es decir, la del vatímetro, la del medidor patrón y todas las de los medidores en contraste.

El circuito de intensidad está alimentado por una fuente de baja tensión, que puede ser un transformador o un alternador especial. Las bobinas de tensión, la del medidor patrón y las de los medidores contrastados están conectadas en paralelo y alimentadas por otra fuente de tensión regulable.

4.2. Verificación por medio de medidor patrón

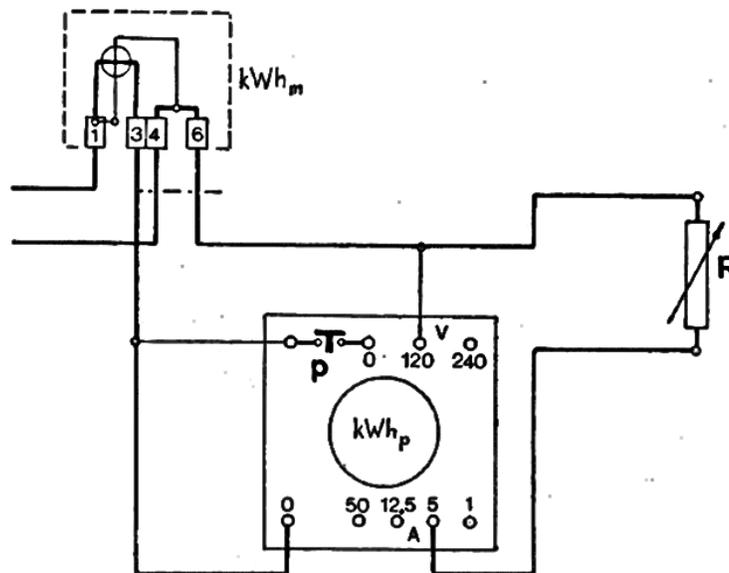
Cuando se desean verificar medidores por medio de patrones, se pueden citar los siguientes procedimientos y formas de verificación a seguir:

4.2.1. Método individual

El medidor patrón es un instrumento utilizado para realizar las verificaciones rápidas de los medidores en el lugar de su instalación. Los medidores patrón se construyen para varios alcances de corriente y de tensión, de tal forma que un mismo patrón se puede usar para la verificación de varios tipos de medidores.

Las escalas pueden ser graduados en kWh, Wh o en revoluciones.

Figura 50. Conexión del medidor en prueba con el medidor patrón



Fuente: KARCZ, Andrés. Fundamentos de metrología eléctrica. p 212.

4.2.2. Verificación en masa

Se da la verificación final en masa de forma simultánea, cuando se trata de grandes cantidades de medidores, especialmente en la industria. No está basada en comparar de desplazamientos de los discos sino en la comparación de los numeradores contra la energía registrada por el medidor patrón.

Como el indicador de la última cifra del numerador debe realizar aproximadamente dos vueltas completas durante cada medición, la prueba es de un tiempo relativamente largo. En cambio, el método tiene la ventaja de permitir la verificación de muchos medidores simultáneamente.

Para la verificación de medidores en masa se les conecta en serie con un patrón y luego se les aplica varias cargas, determinadas previamente o en base a la normativa vigente, durante un tiempo prolongado.

El error porcentual se calcula de la misma forma que el utilizado en los otros métodos, de la forma siguiente:

$$\% = \frac{A_m - A_n}{A_n} \cdot 100$$

Si se utiliza el método de verificación en masa, un medidor de alta precisión es conectado para contrastar los valores registrados de energía.

También se aplican las correspondientes cargas en períodos largos, pudiéndose así verificar grandes cantidades de medidores con muy poco personal.

5. PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA

Con base a la necesidad de establecer parámetros y condiciones mínimas y deseables en el registro de energía eléctrica se presenta la siguiente propuesta de norma técnica para verificación de medidores de energía:

5.1. Generalidades

Dentro de los aspectos generales que la presente propuesta de norma técnica contiene, se presentan los siguientes:

5.1.1. Fundamento legal

La Ley General de Electricidad norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de la energía eléctrica.

El artículo 4 establece la creación de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, entre sus funciones está el velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios y concesionarios, proteger los derechos de los usuarios y prevenir conductas que atenten contra la libre competencia, como también prácticas abusivas o discriminatorias.

El inciso e del artículo 4 establece que la Comisión Nacional de Energía Eléctrica tiene como función Emitir las normas técnicas relativas al Subsector Eléctrico y fiscalizar su cumplimiento en congruencia con prácticas internacionales aceptadas.

El uso de la presente propuesta de norma técnica está orientado al cumplimiento de lo anterior en base a la verificación periódica de los equipos de medición que se adquieran para su uso y también aquellos que se encuentren instalados en el país, aplicándose a todas las empresas participantes del comercio de la energía, en el Sector Eléctrico Regulado de Guatemala.

5.1.2. Campo de aplicación

El campo de aplicación de esta norma establece las condiciones generales y deseables bajo las cuales se regirá y evaluará la calidad de las actividades de medición, control y registro de la energía y potencia en todas las etapas del negocio eléctrico en cuanto a control de las mediciones se refiere.

Esta norma se extiende a todas las empresas distribuidoras y comercializadoras que tengan a su cargo la medición de la potencia y energía por parte de los usuarios o consumidores, que se encuentren en el país o que en un futuro llegasen a establecerse, de conformidad con las leyes competentes.

Bajo ninguna circunstancia las empresas participantes, podrán instalar o hacer uso para efectos de facturación, un sistema o equipo de medición que no cumpla con las condiciones indicadas en la presente Norma Técnica.

Tampoco podrán reinstalar a sus usuarios o consumidores ningún sistema de medición, sin que antes sea verificado por parte del laboratorio que haya dispuesto y avalado la Autoridad Reguladora para el ejercicio de dichas funciones, asegurando con ello el cumplimiento de los términos y condiciones que en la presente Norma están contenidas.

5.1.3. Objetivo de la Norma Técnica

El objetivo de la presente Norma Técnica es definir, establecer y describir las condiciones técnicas bajo las que se desarrollarán las actividades de medición y registro de la energía y potencia eléctrica según los siguientes incisos:

- Condiciones de los equipos de medición y registro antes de ser instalados y durante el ejercicio de las mediciones.
- Evaluación de las características técnicas de los instrumentos y equipos de medición y registro de la energía eléctrica.
- Control estadístico de los equipos de medición y registro de la potencia y energía transferidas, nuevos y en uso.
- Técnicas de medición y verificación de las mediciones.

5.1.4. Alcance de la Norma Técnica

La presente Norma Técnica se extiende a todas las empresas participantes, en Guatemala, ya sean éstas gubernamentales o de la iniciativa privada, que suministren potencia y energía eléctrica en los siguientes casos:

- Cuando el consumidor posee equipos de medición provistos por la empresa comercializadora/distribuidora participante.
- Cuando el consumidor o usuario se encuentre dentro del sector regulado.

- Cuando el equipo de medición sea análogo o digital, sin importar la clasificación del mismo en cuanto a precisión se refiere.

5.1.5. Definiciones

Alta tensión: tensión o voltaje utilizado para el suministro de energía eléctrica, cuyo valor eficaz (rms) es superior a 69 kV.

Autoridad Reguladora: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Concesión: es la autorización que el Estado otorga para operar, explotar y prestar el servicio de generación, transmisión, distribución o comercialización de energía eléctrica.

Consumidor: persona individual o jurídica que establece una relación comercial de compra-venta con alguna empresa comercializadora o distribuidora.

Demanda: valor de la potencia requerida por una instalación eléctrica, elemento de la red o equipo eléctrico en un instante dado.

Demanda Máxima: el valor más alto de la demanda en un periodo dado, por una instalación, equipo, elemento de red o dispositivo eléctrico.

Empresa Eléctrica: persona jurídica concesionaria, que suministra el servicio eléctrico en cualquiera de sus etapas.

Empresa Comercializadora: es la persona individual o jurídica, cuya actividad consiste en comprar y vender bloques de energía eléctrica.

Esta, con carácter de intermediación y sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo.

Empresa Distribuidora: es la persona individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica para su uso final a media y baja tensión.

Empresa Transportista: es la persona individual o jurídica, poseedora de instalaciones destinadas a realizar la actividad de transmisión y transformación de energía eléctrica.

Empresas Participantes: para el propósito de ésta norma, se entiende por Empresa participante, a toda empresa comercializadora o distribuidora que opere dentro del país y esté regida por la normativa aplicada por parte de la Autoridad Reguladora.

Equipo de Medida: grupo de equipos (medidores de energía, transformadores de instrumento y otros) que en conjunto son utilizados para la medición y registro de la energía y potencia requerida en una instalación eléctrica.

Equipos complementarios: transformadores de instrumento que forman parte de un equipo o sistema de medición.

Factor de potencia: relación o razón existente entre la potencia activa y la aparente, en un sistema donde la forma de onda del voltaje es sinusoidal, o retraso de la onda de corriente respecto a la de voltaje en un sistema de ondas sinusoidal.

Norma Técnica: preceptos conformados por un conjunto de especificaciones parámetros e indicadores que definen las condiciones de calidad, confiabilidad, continuidad y prestación óptima con que deben suministrarse los servicios, en cuanto a energía eléctrica se refiere.

Punto de Conexión: lugar físico donde se enlaza la red de una empresa distribuidora o comercializadora, con la instalación eléctrica del usuario o consumidor.

Usuario: Usuario Final: persona física o jurídica que aprovecha la energía eléctrica en un determinado inmueble, una vez haya establecido su relación comercial con la empresa distribuidora o comercializadora.

5.2. Suministro del servicio y sistema de medición

Dentro del suministro del servicio de energía eléctrica junto al sistema de medida, se presenta lo siguiente:

5.2.1. Sistema de medida

Las empresas participantes proveerán e instalarán por su cuenta, los medidores, transformadores de instrumento y demás equipos necesarios para la medición y registro de la energía suministrada y potencia demandada por el consumidor o usuario, de acuerdo con el uso, la cantidad de energía transferida y el nivel de demanda de potencia que el interesado requiera.

5.2.2. Mantenimiento de los equipos y sistemas de medición

Las empresas participantes están en la obligación de mantener en buen estado de funcionamiento a sus equipos y sistemas de medición, utilizando para tal objeto los procedimientos y controles legales que les corresponden.

5.2.3. Revisión del sistema de medición

Dentro de las actividades comerciales que, en cuanto a energía eléctrica se refieren, los usuarios o consumidores del servicio y las empresas eléctricas podrán solicitar a la Autoridad Reguladora o a la entidad competente designada por ésta, la revisión del funcionamiento de su equipo o sistema de medición, previo a cumplir los requisitos que esto conlleve.

5.2.4. Equipo de verificación

Tanto los consumidores como los usuarios y las empresas participantes tendrán acceso al sistema de verificación que la Autoridad Reguladora designe para tal efecto, estableciéndose únicamente un laboratorio para tal efecto, con el fin de garantizar la imparcialidad de los resultados y el acceso libre a la información que se genere.

5.2.5. Impedimento para alterar los sistemas o equipos de medición

Es absolutamente prohibido para las empresas participantes, consumidores, usuarios o cualquier persona física alterar el correcto funcionamiento de los sistemas o equipos de medición de energía eléctrica.

5.2.6. Quejas y uso ilícito del equipo

En el caso de existir duda sobre el correcto funcionamiento del sistema de medición, por quejas dadas de elevado consumo y uso ilícito de la energía, la empresa eléctrica deberá someter el equipo o sistema de medición a las pruebas correspondientes ante la Autoridad Reguladora o la entidad que ésta designe para tal efecto.

Los sistemas o equipos de medición serán sometidos a pruebas ante la Autoridad Reguladora o la entidad competente designada por ésta.

Toda persona individual o jurídica estará en el derecho de solicitar una revisión de su equipo, medidor o sistema de medida ante la entidad que la Autoridad Reguladora designe para tal efecto, siendo el Centro de Investigaciones de Ingeniería el lugar donde se realicen todas las verificaciones y garantías, orientadas a evaluar el buen funcionamiento del equipo de medida.

5.3. Requisitos y acondicionamiento de laboratorios de medición y verificación

Los requisitos para la formación y acondicionamiento de laboratorios son:

5.3.1. Existencia única del laboratorio de medición y verificación

Ni las empresas participantes, ni los consumidores ni los usuarios, ni ninguna entidad que no sea el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, podrán realizar las mediciones, verificación y demás garantías que se establecen en la presente norma.

5.3.2. Formación y composición del laboratorio de medición

El laboratorio de medición instalado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, deberá cumplir con la normativa ANSI, en cuanto a requisitos de acondicionamiento se refiere se propone el uso de la normativa ANSI C12.1, en su versión más reciente, en vigencia.

5.3.3. Establecimiento de condiciones, para realización de pruebas y verificación

El laboratorio de medición instalado y adecuado para el efecto, contará con sistemas aptos que controlen la temperatura, nivel de voltaje y corriente de aislamiento de campos electromagnéticos y demás garantías para que las mediciones y verificación de los instrumentos y equipos de medición se realicen de manera adecuada.

Para lo establecido anteriormente se deberán seguir las condiciones que la normativa ANSI establece.

5.3.4. Utilización del laboratorio de medición y verificación

El laboratorio de medición y verificación será utilizado únicamente para realizar las pruebas y verificaciones de los instrumentos y equipos de medición.

Queda prohibido el uso del laboratorio para realizar actividades ajenas a la medición y verificación de los equipos que sean necesarios.

5.4. Verificación y certificados sobre equipos de medición

En cuanto a certificados de verificación se deberán tomar en cuenta los siguientes puntos:

5.4.1. Requisitos para adquirir instrumentos o sistemas de medición

Las empresas eléctricas podrán adquirir sistemas de medición o instrumentos para realizar la medición de sus consumidores o usuarios, que contengan las características de confiabilidad en los datos registrados.

5.4.2. Forma y certificación de los equipos o sistemas de medición

Todo instrumento o equipo de medición que sea adquirido por las empresas participantes deberán ser certificados. Dichos certificados serán extendidos por la Autoridad Reguladora o la entidad competente que ésta designare para el efecto, asegurando con ello que el equipo o sistema de medición adquirido por la empresa eléctrica cumple con los requisitos, que como mínimo deberán ser los correspondientes a la normativa ANSI.

5.4.3. Sello de garantía sobre calibración

Cada instrumento de medida contará con un sello de garantía que impida el acceso por parte de empresas eléctricas, consumidores o usuarios a los mecanismos del instrumento o equipo de medida, para garantizar el correcto funcionamiento del mismo, habiendo sido ya verificado por la entidad competente, designada por la Autoridad Reguladora.

5.4.4. Sobre el retiro del sello de garantía

Ninguna empresa eléctrica, ni consumidor, usuario o persona individual física, a no ser la Autoridad Reguladora o entidad que ésta designare para tal efecto, podrá retirar el sello de garantía sobre verificación con el que se certifica a todo equipo de medida, aprobado o rechazado por la presente norma.

5.5. Equipos en el laboratorio de medición y verificación

Como parte del proceso de trazabilidad, se tendrán en cuenta los siguientes puntos para los equipos patrón que se vayan a utilizar.

5.5.1. Sobre el equipo de medición y verificación

El equipo destinado a medir y verificar los equipos e instrumentos llegados al laboratorio de medición designado por la Autoridad Reguladora será adquirido en base a normativa ANSI, en vigencia, cumpliendo como mínimo las especificaciones allí contenidas.

5.5.2. Sobre el mantenimiento de los equipos de medida

El laboratorio de medición y verificación como entidad competente designada por la Autoridad Reguladora será encargado de emitir la aprobación o rechazo del equipo de medida, reservándose el dar mantenimiento al equipo rechazado o en mal estado. Esta entidad solamente extenderá la aprobación o rechazo del equipo presentado, previamente evaluado.

5.5.3. Etiqueta de seguridad para los equipos de medición y verificación

Los patrones y equipos de medición y verificación, contarán con una etiqueta de seguridad con la finalidad de que los equipos no sean alterados, manipulados o modificados de ninguna manera por ninguna persona física.

Lo anterior será con el objeto de asegurar junto a las certificaciones de calibración de cada sistema de evaluación el correcto funcionamiento del patrón de verificación de medidores.

5.5.4. Problemas y mantenimiento a equipos de verificación y medición

Cuando sea necesaria la sustitución de una pieza o parte del equipo de verificación, ésta se hará siempre y cuando se garantice que cumpla con las características originales con que el equipo está construido, y se cumplan las condiciones iniciales del mismo y que originalmente poseía.

5.5.5. Cambio y sustitución de piezas o parte de los equipos de medición y verificación

Al realizarse el cambio y/o sustitución de una pieza o parte del equipo de verificación, éste deberá ser evaluado por la Autoridad Reguladora o entidad que ésta designe, garantizando con ello la fiabilidad en los datos obtenidos y la calibración del equipo para seguir operando.

5.5.6. Pruebas y verificaciones técnicas de la Autoridad Reguladora

La Autoridad Reguladora, podrá realizar verificaciones y auditorías técnicas cuando lo considere pertinente a todo equipo de verificación instalado en el laboratorio de medición, para verificar que los equipos allí instalados y contenidos cumplen con las condiciones especificadas en la presente norma técnica.

5.5.7. Término para auditorías técnicas

La Autoridad Reguladora o entidad que ésta designare evaluará los equipos de medición y verificación encontrados en el laboratorio de medición, designado por ésta, cada 2 años, garantizando el cumplimiento de los requisitos mínimos contenidos en la normativa ANSI.

5.6. Control sobre equipos y sistemas de medición y verificación

De acuerdo al programa y control sobre los equipos de medición que sean utilizados se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

5.6.1. Control sobre los medidores y equipos de medición

Las empresas participantes, contarán con una base de datos que contenga todas las características necesarias y datos sobre los medidores y equipos de medición que instalen, cuyas especificaciones mínimas se especifican a continuación:

- Nombre de la empresa participante
- Numeración que identifica al medidor
- Fabricante del equipo de medición
- Año de adquisición
- Número de fases
- Número de hilos
- Revoluciones del disco por kilovatio-hora (kWh)
- Constante de demanda máxima
- Información sobre equipos complementarios

5.6.2. Estructura para el contenido de características en los medidores y equipos de medición

Para la identificación de medidores y equipos de medición, las empresas participantes deberán incluir como mínimo la siguiente información y datos a los medidores:

- Nombre de la empresa participante
- Año de fabricación del medidor o equipo de medición
- Numeración completa que identifica al medidor

En cuanto al servicio al que será sometido el medidor, éste será de la siguiente manera:

- Mo: Medidor monofásico, 3 hilos
- Mod: Medidor monofásico, 3 hilos con demanda
- Mo2: Medidor de 2 fases, 3 hilos

- Mo2d: Medidor de 2 fases, 3 hilos con demanda
- Tr: Medidor trifásico
- Trd: Medidor trifásico con demanda

5.6.3. Acceso por parte de la Autoridad Reguladora

La Autoridad Reguladora en ejercicio de sus facultades, tendrá acceso libre y sin obstáculos a las bases de datos que las empresas participantes hayan creado para el cumplimiento de la presente norma técnica, y las mismas proveerán los medios necesarios para garantizar dicha accesibilidad.

5.6.4. Formato para la elaboración de la base de datos

La Autoridad Reguladora establecerá el formato para el registro de los datos característicos de los medidores y equipos de medición que las empresas eléctricas adquieran.

5.6.5. Medidores en uso y mal funcionamiento

Luego de instalado un medidor, si al ser éste evaluado en el laboratorio de medición y verificación de medidores resulta defectuoso, no se podrán hacer reparaciones al mismo con la finalidad de utilizarlo nuevamente.

El uso de los medidores para la actividad comercial será únicamente dado a lotes nuevos y que sean aprobados en su proceso de evaluación por parte del laboratorio.

5.7. Pruebas y verificación de medidores nuevos

Para la instalación de medidores nuevos, el procedimiento a seguir será de acuerdo a lo establecido a continuación.

5.7.1. Muestreo y evaluación estadística

El procedimiento a seguir para evaluar lotes de medidores, o de equipos de medición nuevos que hayan sido adquiridos por las empresas participantes se llevará a cabo de la siguiente manera:

5.7.1.1. Cuando el lote de medidores sea menor a cinco mil unidades

Se tomará de forma aleatoria una muestra de cuarenta (40) medidores, a los cuales se les realizarán todas las pruebas que sean requeridas y según el equipo de medición y verificación pueda realizar.

De la misma manera, el lote será aceptado o rechazado de acuerdo a lo siguiente:

- Si la muestra tomada del lote contiene como máximo un único medidor que no supera las pruebas hechas, será aceptado todo el lote adquirido.
- Si la muestra tomada del lote contiene cinco (5) o más medidores que no superan las pruebas hechas, el lote será rechazado por completo.

En el caso de que sean dos, tres o hasta cuatro medidores que no superen las pruebas hechas y no cumplan con los requisitos establecidos, se procederá nuevamente a tomar una segunda muestra del lote adquirido, será nuevamente de cuarenta medidores (40), para que en total sea tomada una muestra de ochenta medidores (80), y el lote será aceptado o rechazado de acuerdo a lo siguiente:

- Si de la muestra acumulada a lo más, cuatro medidores (4) no superen las pruebas hechas, será aceptado todo el lote adquirido.
- Si de la muestra acumulada cinco o más medidores no superan las pruebas hechas, el lote será rechazado por completo.

5.7.1.2. Cuando el lote de medidores sea mayor a cinco mil unidades

Se tomará de forma aleatoria una muestra de ochenta (80) medidores, a los cuales se les realizarán todas las pruebas que sean requeridas, y según el equipo de medición y verificación pueda realizar.

De la misma manera, el lote será aceptado o rechazado de acuerdo a lo siguiente:

- Si la muestra tomada del lote contiene como máximo dos medidores (2) que no supera las pruebas hechas, será aceptado todo el lote adquirido.
- Si la muestra tomada del lote contiene ocho (8) o más medidores que no superan las pruebas hechas, el lote será rechazado por completo.

En el caso de que sean desde tres (3) hasta siete (7) medidores que no superen las pruebas hechas y no cumplan con los requisitos establecidos, se procederá nuevamente a tomar una segunda muestra del lote adquirido, será nuevamente de ochenta medidores (80), para que en total sea tomada una muestra de ciento sesenta medidores (160).

El lote será aceptado o rechazado de acuerdo a lo siguiente:

- Si de la muestra acumulada a lo más, ocho medidores (8) no superen las pruebas hechas, será aceptado todo el lote adquirido.
- Si de la muestra acumulada nueve o más medidores no superan las pruebas hechas, el lote será rechazado por completo.

5.7.2. Pruebas mínimas a realizar a medidores o sistemas de medición

Las pruebas mínimas a realizar a los medidores o equipos de medición electromecánicos o electrónicos nuevos serán las siguientes:

- Prueba de vacío
- Prueba de variación de carga y factor de potencia
- Prueba de corriente de arranque
- Prueba de variación de frecuencia

5.7.2.1. Prueba de vacío

Se recomienda para el ensayo de vacío que la marca del disco del rotor se encuentre ubicada al frente del contador, o en la posición de referencia del sensor óptico.

Para la realización de la prueba de vacío se le aplican al medidor frecuencia industrial (60 Hz.) y tensiones del 80%, 100% y 110% de su valor nominal. El contador o medidor de energía no deberá completar una vuelta durante el tiempo de prueba estipulado.

5.7.2.2. Prueba de variación de carga o corriente

Para esta prueba se aplica tensión nominal y frecuencia industrial, variándose la corriente y el factor de potencia según lo indicado en la tabla siguiente.

Tabla VII. Errores máximos permisibles en la variación de corriente

| Corriente | Factor De Potencia | Límites De Error En Porcentajes | | |
|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------|---------|---------|
| | | Clase 0.5 | Clase 1 | Clase 2 |
| 5% De La Inom | 1 | ± 1.0 | ± 1.5 | ± 2.5 |
| Desde 10% De La Inom Hasta La Inom | 1 | ± 0.5 | ± 1.0 | ± 2.0 |
| 10% De La Inom | 0.5 Inductivo | ± 1.3 | ± 1.5 | ± 2.5 |
| | 0.8 Capacitivo | ± 1.3 | ± 1.5 | |
| Desde 20% De La Inom Hasta La Inom | 0.5 Inductivo | ± 0.8 | ± 1.0 | ± 2.0 |
| | 0.8 Capacitivo | ± 0.6 | ± 1.0 | |

Fuente: elaboración propia.

Nota: para la prueba de variación de corriente, la misma se hará en el orden siguiente: 10%, 20%, 50% y 100% Inom. Mientras, que el segundo orden será como sigue: 20%, 50%, y 100% Inom.

5.7.2.3. Prueba de corriente de arranque

Para realizar esta prueba se aplica al medidor tensión y frecuencia en sus valores nominales y a factor de potencia unitario se aumenta la corriente de forma gradual hasta que la marca del disco rotor inicie su movimiento, una vez hecho lo anterior se debe esperar hasta que sea completada una vuelta.

El contador bajo ensayo deberá arrancar y continuar su marcha de acuerdo a los niveles establecidos en las tablas de corriente de arranque y corriente máxima de arranque. La fijación de los niveles de corriente a variar serán de acuerdo a la clase de medidor que sea, será de acuerdo a los datos como sigue.

Tabla VIII. **Corriente de arranque**

| Clase Del Medidor | Corriente De Arranque |
|-------------------|-----------------------|
| 0.5 | 0.30% |
| 1 | 0.40% |
| 2 | 0.80% |

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Corriente máxima de arranque**

| Clase Del Medidor | Corriente Máxima De Arranque |
|-------------------|------------------------------|
| 0.5 | 0.30% |
| 1 | 0.60% |
| 2 | 1.00% |

Fuente: elaboración propia.

5.7.2.4. Prueba de variación de frecuencia

Para esta prueba se aplica tensión nominal al equipo a ensayar, manteniendo el voltaje nominal se hace variar la frecuencia para valores del 95%, 100% y 105% de su valor nominal, el error no deberá ser mayor al indicado junto con los valores de corriente y factor de potencia en la siguiente tabla.

Tabla X. **Error permisible en la prueba de variación de frecuencia**

| Variación De La Frecuencia | Valor De Corriente | Factor De Potencia | Variación Máxima Del Porcentaje De Error | | |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--|---------|---------|
| | | | Clase 0.5 | Clase 1 | Clase 2 |
| ± 5 De La Fnominal | 10% I Nominal | 1 | ± 0.7 % | ± 1.0 % | ± 1.5 % |
| | 50% Inominal | 1 | ± 0.6% | ± 0.6 % | ± 1.3 % |
| | | 0.5 Inductivo | ± 0.8 % | ± 1.0 % | ± 1.5 % |

Fuente: elaboración propia.

Nota: para los casos en general, la condición de referencia corresponde al error porcentual que se obtiene al someter al equipo al 100% de su frecuencia nominal y a cada valor de corriente y factor de potencia indicados.

5.8. Pruebas a medidores en uso

Cuando se trate de medidores que se encuentren ya instalados, el procedimiento y muestreo a seguir será el siguiente:

5.8.1. Periodicidad del muestreo estadístico.

Las empresas participantes deberán evaluar de forma aleatoria los medidores en uso y por ellas instalados en un periodo de tiempo específico, llevando para ello los medidores y equipos de medición al laboratorio de medición y verificación. Los períodos de tiempo serán los siguientes:

- Para medidores monofásicos el período de tiempo será de cinco años (5)
- Para medidores monofásicos con demanda el período de tiempo será de tres años (3)
- Para medidores trifásicos con demanda el período de tiempo será de tres años (3)

5.8.2. Muestreo y evaluación estadística

El procedimiento a seguir para evaluar lotes de medidores, o de equipos de medición instalados y en uso, que hayan sido adquiridos por las empresas participantes se llevará a cabo por el año en el que fueron instalados de la siguiente manera:

5.8.3. Cuando el lote de medidores sea menor a cinco mil unidades

Se tomará de forma aleatoria una muestra de cuarenta (40) medidores, a los cuales se les realizarán todas las pruebas que sean requeridas, y según el equipo de medición y verificación pueda realizar. De la misma manera, el lote instalado en ese año será, y aceptado o rechazado de acuerdo a lo siguiente:

- Si la muestra tomada del lote contiene como máximo un único medidor que no supera las pruebas hechas, será aceptado todo el lote adquirido.
- Si la muestra tomada del lote contiene cinco (5) o más medidores que no superan las pruebas hechas, el lote será rechazado por completo.

En el caso de que sean dos, tres o hasta cuatro medidores que no superen las pruebas hechas y no cumplan con los requisitos establecidos, se procederá nuevamente a tomar una segunda muestra del lote adquirido, será nuevamente de cuarenta medidores (40), para que en total sea tomada una muestra de ochenta medidores (80), y el lote será aceptado o rechazado de acuerdo a lo siguiente:

- Si de la muestra acumulada a lo más, cuatro medidores (4) no superen las pruebas hechas, será aceptado todo el lote adquirido.
- Si de la muestra acumulada cinco o más medidores no superan las pruebas hechas, el lote instalado ese año será rechazado por completo.

5.8.4. Cuando el lote de medidores sea mayor a cinco mil unidades

Se tomará de forma aleatoria una muestra de ochenta (80) medidores, a los cuales se les realizarán todas las pruebas que sean requeridas, y según el equipo de medición y verificación pueda realizar. De la misma manera, el lote será aceptado o rechazado de acuerdo a lo siguiente:

- Si la muestra tomada del lote contiene como máximo dos medidores (2) que no superan las pruebas hechas, será aceptado todo el lote adquirido.
- Si la muestra tomada del lote contiene ocho (8) o más medidores que no superan las pruebas hechas, el lote será rechazado por completo.

En el caso de que sean desde tres (3) hasta siete (7) medidores que no superen las pruebas hechas y no cumplan con los requisitos establecidos, se procederá nuevamente a tomar una segunda muestra del lote adquirido, será nuevamente de ochenta medidores (80), para que en total sea tomada una muestra de ciento sesenta medidores (160), y el lote será aceptado o rechazado de acuerdo a lo siguiente:

- Si de la muestra acumulada a lo más, ocho medidores (8) no superen las pruebas hechas, será aceptado todo el lote adquirido.
- Si de la muestra acumulada nueve o más medidores no superan las pruebas hechas, el lote instalado ese año será rechazado por completo.

5.8.5. Actividades de las empresas participantes y acciones a tomar

En todos los casos anteriores cuando el lote sea rechazado, las empresas participantes realizarán las sustituciones y cambios necesarios para mantener el correcto funcionamiento y control de las mediciones.

5.8.6. Etiquetas de garantía

Para efectos de verificación y dentro del laboratorio designado para ello, todo medidor al que se le haya retirado la etiqueta de garantía instalada, ya sea por haberle realizado las pruebas en el laboratorio de acuerdo a lo estipulado, deberá ser sellado nuevamente, previa verificación del correcto funcionamiento del mismo por la Autoridad Reguladora o la entidad que ésta designare para el efecto.

5.8.7. Libertad de verificación

La Autoridad Reguladora o entidad que esta designe, coordinadamente con las empresas participantes al considerarlo pertinente podrán llevar a cabo las pruebas y verificación de los sistemas de medición.

Dichas pruebas serán realizadas en el laboratorio de medición y con el equipo de verificación necesario, de acuerdo a la normativa ANSI C12.1 más reciente en vigencia.

5.9. Proceso de medición y verificación a los medidores o sistemas de medición y disposiciones finales

Dentro de las disposiciones finales en cuanto a verificación de sistemas de medición se presentan las siguientes:

5.9.1. Procedimiento general a seguir para realizar la verificación de los sistemas de medición o medidores

El procedimiento a seguir para realizar la verificación o contraste de medidores de energía eléctrica será el siguiente:

Tabla XI. Procedimiento para verificar medidores de energía

| | |
|--|--|
| Realizar las conexiones de tensión, corriente y la cabeza lectora entre el patrón y el medidor a ensayar | |
| Encender la alimentación del patrón | |
| Cambiar los ingresos básicos que deba en el submenú instalación para obtener: | |
| Medida | On, a utilizar entradas de corrientes continuas |
| Fuente | On |
| Modo de conexión | Ingresar número de hilos según equipo a conectar |
| Conexión de corrientes (i Max): | 120 A |
| Seleccionar la función ensayo de contadores y cambiar los ingresos para: | |
| Tolerancia Emim, Emax | ±2% |
| Modo de medida | Según equipo a verificar |
| Seleccionar el submenú "para" para definir los ingresos del ensayo del medidor y definir una medida de error individual: | |
| Constante c | Ingresar cantidad de impulsos/kWh |
| Imp.: | 1 |

Continuación de la tabla XI

| N: | 1 |
|--|---|
| Volver al menú ensayo de contadores a través de la tecla de la pantalla variable con la puerta | |
| Ajustar la fuente | |
| Seleccionar el punto de carga individual (0.01). Presionar la tecla x y después 0 para seleccionar este punto: | |
| Ajuste de voltaje: | Según equipo a verificar |
| Ajuste de corriente: | Según equipo a verificar |
| Ajuste de ángulo de desfase: | Según equipo a verificar |
| Ajuste de frecuencia: | Según equipo a verificar (60 Hz en Guatemala) |
| Presionar la tecla "Start" | Inicio del proceso de verificación |

Fuente: Manual de instrucciones PTS 3.3, versión 4.

5.9.2. Intervención de la Autoridad Reguladora

La Autoridad Reguladora estará anuente a cualquier conflicto en materia de interpretación de la presente norma técnica, para atender a empresas participantes, personas individuales o jurídicas, y se podrá recurrir a la misma, quien resolverá sobre el tema o punto para aclarar.

Figura 51. Modelo, certificado de verificación de medidores de energía

| |
|---|
|  |
| CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN |
| Centro De Investigaciones De Ingeniería Laboratorio De Metrología Facultad De Ingeniería USAC Edificio T-5, Ciudad Universitaria Zona 12 |
| Datos Generales: |
| Certificado De Verificación No: _____ Solicitud No: _____ |
| Motivo De La Verificación: _____ _____ |
| Información Del Solicitante: |
| Solicitante: _____ |
| Nombre Del Solicitante: _____ |
| Dirección Del Solicitante: _____ |
| Empresa Suministradora: _____ |
| Datos Del Equipo De Medición: |
| Marca del medidor _____ Fabricante _____ |
| Forma de adquirir datos _____ Tipo de medidor _____ |
| Constante del disco _____ No. De hilos _____ |
| Clase del medidor (Análogo / Digital) _____ |
| Clase del medidor (De acuerdo a su precisión) _____ |
| Numeración del medidor _____ Lectura al ingreso _____ |
| Frecuencia _____ No. De Fases _____ Voltaje _____ |

Fuente: elaboración propia.

Figura 52. Continuación. Modelo, certificado de verificación de medidores de energía



Datos Del Momento En Que Se Realizaron Las Pruebas:

| |
|--------------------------------------|
| Fecha Y Hora: _____ |
| Condiciones De Temperatura: _____ |
| Operador: _____ |
| Jefe Del Laboratorio: _____ |

Resultados de la verificación:

Observaciones:

Medidor/equipo de medición aprobado **Medidor/equipo de medición rechazado**

Operador Jefe de laboratorio

Dirección CII

Fuente: elaboración propia.

Figura 53.

Continuación. Modelo, certificado de verificación de medidores de energía



Datos y Resultados De La Verificación Del Medidor:

| Datos Generales: | Fase 1: | Fase 2: | Fase 3: | Total: |
|----------------------------|----------|-----------------------------|----------|--------|
| Voltaje Y: | | | | |
| Voltaje V: | | | | |
| Corriente: | | | | |
| Potencia Activa: | | | | |
| Potencia Reactiva: | | | | |
| Potencia Aparente: | | | | |
| Factor de Potencia: | | | | |
| Factor de Reactiva: | | | | |
| Angulo de Fase: | | | | |
| | | | | |
| Frecuencia: | | | | |
| Rotación de Vectores: | | | | |
| | | | | |
| Voltaje del Transformador: | | Transformador de Corriente: | | |
| Vp: | | Ip: | | |
| Vs: | | Is: | | |
| Vp/Vs: | | Ip/Is: | | |
| | | | | |
| | Canal 1: | Canal 2: | Canal 3: | |
| | | | | |
| Constantes del Medidor: | | | | |
| Límites de Error: | | | | |
| Error: | | | | |
| N/T: | | | | |
| Es: | | | | |
| En: | | | | |
| | | | | |

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Las actividades comerciales en el ámbito de la energía eléctrica son hechas con base a datos registrados por medidores.
2. Todo medidor es susceptible a entregar datos erróneos por diversos factores y que se pretende evaluar con base en patrones establecidos en la normativa presentada.
3. El objetivo primordial es mantener un control individual y estadístico del funcionamiento de los medidores instalados en el país, buscando que en las relaciones comerciales en que participan estos puedan tener mediciones exactas, no afectando a ninguna de las partes.
4. La normativa propuesta se extiende a todo usuario del servicio de energía eléctrica en Guatemala, que se encuentre dentro del Sector Regulado.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario establecer las condiciones necesarias para la instalación de equipos de verificación, de tal forma que se asegure la trazabilidad y se busquen las mejores condiciones para el funcionamiento posterior de los equipos de medición.
2. Se debe velar en todo momento por las garantías que aseguren que los usuarios del servicio de energía eléctrica tengan equipos medidores adecuados.
3. Toda relación comercial con las empresas participantes del comercio de energía eléctrica debe hacerse con medidores que cumplan con los requisitos mínimos para su uso e instalación.
4. Con la normativa propuesta se debe garantizar para las partes involucradas en el negocio que los datos registrados por los equipos de medición son correctos.
5. Los usuarios finales deben a quienes que se presta mayor atención en la aplicación de la presente norma, brindándoles las garantías y facilidades necesarias para los posibles problemas y dudas que puedan surgir.

BIBLIOGRAFÍA

1. American National Standards Institute. *American National Standard Code For Electricity Metering C12.1*. USA: ANSI, 2008. 108 p.
2. Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. *Uso, Funcionamiento y Control de Contadores de Energía Eléctrica (AR-DTCON)*. San José, Costa Rica: Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. 2001. 19 p.
3. Centro Español de Metrología. *Procedimiento EL-005 para la calibración de medidores de energía eléctrica*. España: CEM, 2001. 38 p.
4. CREUS SOLÉ, Antonio. *Instrumentación industrial*. 6a ed. Barcelona, España: Alfaomega, 1999. 750 p.
5. KARCZ ANDRES, *Fundamentos de metrología eléctrica*. México: Marcombo boixareu, 1975. 263 p. Tom. 3.
6. MTE. *Manual de ensayo portátil y manual de instrucciones*, versión 4. 12 ed. USA: 2003. 79 p.
7. Norma Venezolana. *Contadores de energía eléctrica activa de inducción monofásicos y polifásicos clase 0,5 1 y 2*. Venezuela: 1996. 35 p.

ANEXO

Para la elaboración de la norma técnica presentada fue utilizada normativa internacional, siendo ella perteneciente a la normativa ANSI. La mayoritariamente utilizada ha sido la norma ANSI C12.1, versión 2008.

La normativa internacional mencionada, en cuanto a condiciones del laboratorio y equipos de normalización, presenta varios requerimientos y recomendaciones al realizar la verificación, las que a continuación se mencionan.

NOTA: Los incisos siguientes, y todo su contenido han sido tomados de la norma internacional *American National Standard Code For Electricity Metering C12.1*, versión 2008 capítulo 3.

1. LABORATORIOS DE MEDICIÓN

El laboratorio de medición tiene dos funciones básicas:

- El mantenimiento de los patrones de calibración, cuyos valores son trazables a patrones internacionales.
- La asignación de valores de calibración (factores de corrección) a patrones de trabajo.

2. CONDICIONES DEL LABORATORIO

En un laboratorio de medición, es esencial que las condiciones ambientales tales como temperatura y humedad, se mantengan en valores dentro de los límites adecuados para las mediciones realizadas en el laboratorio.

Todos los factores ambientales que podrían inferir en las mediciones deben mantenerse también en determinados límites, tales como la contaminación atmosférica, perturbaciones mecánicas, interferencias eléctricas y magnéticas, y el ruido.

Debe también ser considerado que los niveles anteriores y las técnicas de medición junto a sus resultados no se vean afectados.

2.1. Temperatura y humedad

La temperatura ambiente del laboratorio será de 23 grados Celsius, con tolerancias que dependen de los efectos de la temperatura en los estándares utilizados y el equipo bajo prueba.

Esta temperatura se mantiene constante no sólo durante un procedimiento de prueba o calibración, sino también para un período anterior suficiente para asegurar la eficaz temperatura de equilibrio en el equipo de prueba y en el dispositivo que está siendo probado. La humedad relativa no deberá ser superior al 80% sin condensación.

2.2. Fuentes de alimentación del laboratorio

Las fuentes de alimentación de corriente alterna utilizadas en el laboratorio para la calibración de los instrumentos, medidores, o para la medición de corriente, tensión o potencia, deben ser estrechamente reguladas, ya que las fluctuaciones en el valor que se está tenga, pueden afectar a la precisión de la calibración o medición.

Las alimentaciones de corriente alterna deberán estar prácticamente libres de distorsión de la forma de onda, la relación de fase de servicios combinados de corriente y tensión deben ser capaces de tener una regulación fina.

2.3. Patrones del laboratorio

Los patrones del laboratorio son los medidores convencionales que se utilizan para verificar la exactitud de los patrones de trabajo. Los patrones en el laboratorio son los patrones básicos de referencia y las normas de transporte.

2.4. Patrones básicos de referencia

Los patrones básicos de referencia son los estándares con los que se mantiene la exactitud de todos los medidores en el laboratorio. Idealmente, los patrones básicos de referencia de un laboratorio deben mantenerse en grupos de tres o más unidades individuales separadas, que pueden ser fácilmente intercomparados.

El mínimo de patrones para que un cambio sea detectado y localizado por intercomparación es de tres.

2.5. Verificación periódica de patrones de referencia

Los medidores utilizados como patrones de referencia deben ser intercomparados en intervalos de tiempo apropiados.

2.6. Historial de rendimiento

Los registros e historiales deben mantenerse en el desempeño de cada patrón. Cuando el registro muestra una variación excesiva en las pruebas, el patrón debe ser sometido a una investigación especial para determinar la causa de la variación. Si no puede ser determinada la causa y corregida, el uso del patrón debe ser discontinuado.

2.7. Requisitos de funcionamiento para los medidores patrón

En el caso de los medidores patrón, estos contarán con las siguientes características:

2.7.1. Prueba de voltaje

La tensión de prueba se mantendrá constante a $\pm 1.0\%$

2.7.2. Prueba de corriente

La corriente de prueba se mantendrá constante a $\pm 1.0\%$

2.7.3. Prueba de ángulo de fase

El ángulo de fase de prueba se mantendrá constante a $\pm 2^\circ$

2.7.4. Prueba de frecuencia

La frecuencia de prueba se mantendrá constante a $\pm 0.2\%$

2.7.5. Distorsión de forma de onda

La distorsión armónica total (THD) de la tensión aplicada y la corriente no deberá exceder de 2.0%

2.7.6. Temperatura ambiente

La temperatura ambiente deberá ser de 23 grados Celsius, con tolerancias que dependen de los efectos de la temperatura sobre los patrones utilizados en los aparatos bajo prueba.

2.7.7. Campos magnéticos externos

Los fuertes campos magnéticos pueden afectar el desempeño de los medidores convencionales. Se debe tener cuidado para evitar poner los medidores de proximidad a los transformadores energizados y bucles de cables de prueba.

2.8. Pruebas de exactitud para los patrones portátiles y de referencia

Dentro de las pruebas de exactitud para los patrones, éstos deberán acreditar las siguientes:

2.8.1. Aislamiento

El aislamiento entre partes conductoras de corriente de circuitos separados y entre partes conductoras y otras partes metálicas deberán ser capaces de soportar la aplicación de un voltaje sinusoidal de 2.3 kV, 60 Hz durante 1 minuto con la corriente de fuga no excediendo de 0,005 A por circuito.

2.8.1.1. Condiciones de referencia

Las condiciones de referencia que deben existir en el laboratorio de mediciones y verificación deben ser las siguientes:

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| Voltaje | 120v |
| Corriente | 5.0 A |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Factor De Potencia | Unitario Y 0.5 En Retraso |
| Temperatura | 23 Grados Celsius |

Fuente: Norma ANSI C12.1-2008.

2.8.1.2. Requisitos de funcionamiento

En estos puntos de referencia, el error, después de la aplicación de los valores de calibración del equipo portátil y patrones de referencia, no deberá exceder de los valores indicados a continuación:

| Equipo Patrón | Error Porcentual | |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------|
| | f.p. a 1.00 | f.p. a 0.5 |
| Patrón Portátil | 0.10% | 0.20% |
| Patrón De Referencia | 0.01% | 0.10% |

Fuente: Norma ANSI C12.1-2008.