



MÓDULO PORTATIL DE MEDIDA SEMIDIRECTA PARA ANÁLISIS DE CARGAS DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

JOSE WILKAR ZAPATA AGUIRRE

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Manizales, Colombia
2020

MÓDULO PORTATIL DE MEDIDA SEMIDIRECTA PARA ANÁLISIS DE CARGAS DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

JOSE WILKAR ZAPATA AGUIRRE

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Director:

Ingeniero. Alfonso German Garzón Huertas

Línea de Investigación:

Calidad de Energía.

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Manizales, Colombia

2020

A mi esposa

Lucero, por brindarme el amor que todo lo puede, su apoyo incondicional y hacer de mi un mejor hombre.

A mis padres

María Cristina y José William por ser tan amorosos; y enseñarme la tenacidad y el carácter para salir de las adversidades.

Agradecimientos

A Dios, por mostrarme el camino y la verdad para guiar mi vida.

A mi familia y amigos por su paciencia y comprensión por el tiempo que les deje de dedicar en estos años de formación profesional.

A los docentes de la Universidad Antonio Nariño, sede Manizales, por sus valiosos aportes durante todo el desarrollo de mi carrera.

Resumen

Desde hace algún tiempo el mundo nos obliga a prepararnos para los avances tecnológicos con un sentido de conservación y cuidado de los recursos naturales y de la forma como hacemos las cosas. El problema está en la falta de algunos conocimientos que nos permitan analizar el comportamiento de la energía en el aspecto de la medida, por ello el objetivo principal de realizar el diseño de un módulo de medida semidirecta es que los estudiantes de ingeniería puedan acceder a este conocimiento didáctica y analíticamente.

Teniendo en cuenta lo anterior es importante resaltar que el estudiante aprenderá a analizar e identificar tanto como conocer las normas que se aplican al proceso de medida eléctrica por medio de algunos talleres teórico prácticos, de análisis de fasoriales y casos de fraudes en conexiones de energía eléctrica.

La realización del proyecto la dividiremos en tres partes, el diseño del módulo, la elaboración de las prácticas de laboratorio y la implementación del módulo, las dos primeras las realiza el estudiante que presentara este proyecto y la tercera otros.

La metodología para alcanzar los objetivos propuestos, parte de una investigación y revisión bibliográfica complementada con la experiencia del estudiante que realiza el proyecto en labores reales de formación laboral, es decir, dada la necesidad práctica y su adaptación al entorno de los sistemas de medida se propone una solución apoyada en documentación (normativa nacional e internacional, fabricantes, universitaria).

Palabras clave: análisis, calidad, código de medida, gestión de la energía, normas técnicas, practicas.

Abstract

For some time now, the world has forced us to prepare for technological advances with a sense of conservation and care for natural resources and the way we do things. The problem lies in the lack of some knowledge that allows us to analyze the behavior of energy in the measurement aspect, therefore the main objective of designing a semi-direct measurement module is that engineering students can access this knowledge didactically and analytically.

Taking into account the above, it is important to highlight that the student will learn to analyze and identify as well as know the standards that apply to the electrical measurement process through some theoretical-practical workshops, phasor analysis and cases of fraud in electrical power connections.

The realization of the project will be divided into three parts, the design of the module, the elaboration of the laboratory practices and the implementation of the module, the first two are carried out by the student who will present this project and the third others.

The methodology to achieve the proposed objectives, part of a research and bibliographic review complemented with the experience of the student who carries out the project in real work training tasks, that is, given the practical need and its adaptation to the environment of measurement systems proposes a solution supported by documentation (national and international regulations, manufacturers, university).

Keywords: analysis, quality, measurement code, energy management, technical standards, practices.

Contenido

	Pág.
Agradecimientos	VII
Resumen	VIII
Abstract.....	IX
Lista de figuras.....	XII
Lista de tablas	XIV
Definiciones	XV
Introducción	1
1. Objetivos.....	3
2. Generalidades	4
3. Medición y Perdidas de Energía Eléctrica	22
4. Diseño y proyección para la construcción del Módulo Portátil de Medida Semidirecta.....	41
5. Conclusiones y recomendaciones.....	48
A. Anexo: Diagramas.....	59
B. Anexo: Características Técnicas Equipos.....	65
Bibliografía	69

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Marcación de los terminales TC.....	10
Figura 2-2: Límites del error de tensión y del desplazamiento de fase.....	11
Figura 2-3: Marcación terminales transformador de tensión.....	11
Figura 2-4: Selección de los medidores de energía.....	12
Figura 2-5: Relación de transformación de T.C. para medición semidirecta.....	12
Figura 2-6: Relación de transformación de TC para mediciones indirectas.....	13
Figura 2-7: Sistema de Gestión de la energía.....	14
Figura 2-8: Representación en el plano de un vector.....	15
Figura 2-9: Suma de Vectores.....	15
Figura 2-10: Componentes de un Vector resta.....	16
Figura 2-11: Componentes de un Vector Suma.....	16
Figura 2-12: Multiplicación de Vectores.....	17
Figura 2-13: Fasorial de Tensión.....	17
Figura 2-14: Tipo de Cargas.....	18
Figura 2-15: Representación en plano Potencia Aparente.....	18
Figura 2-16: Dirección Flujo de Carga.....	19
Figura 2-17: Cuadrante Potencias Transado.....	19
Figura 2-18: Carga Netamente Resistiva.....	20
Figura 2-19: Carga Netamente Resistiva Invertiendo la Corriente 180°.....	20
Figura 2-20: Carga Netamente Inductiva.....	20
Figura 2-21: Carga Netamente Inductiva con Corriente invertida 180°.....	21
Figura 2-22: Carga Netamente Capacitiva.....	21
Figura 2-23: Carga Netamente Capacitiva con Corriente invertida 180°.....	21
Figura 3-1: Ejemplo Medida directa.....	22
Figura 3-2: Ejemplo Medida Semidirecta.....	23
Figura 3-3: Ejemplo Medida Indirecta.....	24
Figura 3-4: Ejemplo Medidor Electromecánico.....	25
Figura 3-5: Ejemplo Medidor Electrónico.....	26
Figura 3-6: Conexión Medidores Simétrica y Asimétrica.....	26
Figura 3-7: Esquema Medidor Monofásico Bifilar.....	27
Figura 3-8: Esquema Medidor Trifilar TND.....	27
Figura 3-9: Esquema Medidor Bifásico Trifilar TNI [14].....	28
Figura 3-10: Esquema Medidor Trifásico Tetrafilar.....	28
Figura 3-11: Medida Centralizada.....	29

Figura 3-12: Esquema General Medida Centralizada.	30
Figura 3-13: Medida Descentralizada.	30
Figura 3-14: Instalación Macromedidor.....	33
Figura 3-15: Red de Distribución BT.....	33
Figura 3-16: Plano de circuito BT clientes.	34
Figura 3-17: Formulas Tiempo Potencia.....	35
Figura 3-18: Cable Concéntrico.....	35
Figura 3-19: Selección de acometidas según medidor.	36
Figura 3-20: Traslado medidor a poste control perdidas.....	36
Figura 3-21: Ejemplo Medida Semidirecta.....	38
Figura 3-22: Grafico Red abierta desnuda-Red trenzada semiaislada.....	39
Figura 4-1: Modulo Portátil de Medida.....	42
Figura 4-2: Diagrama conexión medidor 3 elementos.....	42
Figura 4-3: Diagrama conexión medidor 2 elementos.....	43
Figura 4-4: Diagrama Unifilar.....	43
Figura 4-5: Imágenes Elementos del módulo.	45
Figura 5-1: Conexión Sonda Óptica.....	50
Figura 5-2: Conexión a tres elementos.....	51
Figura 5-3: Conexión tres elementos señal TC invertida.	52
Figura 5-4: Conexión dos medidores 3 elementos.....	53
Figura 5-5: Conexión 2 medidores 3 elementos señal tensión invertida.	54
Figura 5-6: Conexión 1 medidor dos elementos.	55
Figura 5-7: Conexión 1 medidor dos elementos señal TC invertida.	56
Figura 5-8: Conexión medidor con sumatoria de corrientes.....	57
Figura A-1: Conexión Semidirecta medidor trifásico asimétrico 3 TCs.	59
Figura A-2: Diagrama Conexión con medidor contraste.	60
Figura A-3: Diagrama Conexión medidor dos elementos.	61
Figura A-4: Diagrama Conexión Medidor dos elementos con sumatoria.	62
Figura A-5: Diagrama Conexión Medidor Dos Elementos.....	63
Figura A-6: Diagrama Conexión dos medidores dos elementos con sumatoria.....	64
Figura B-1: Datos Técnicos Medidor AC6000.....	65
Figura B-2: Partes Medidor AC6000.....	66
Figura B-3: Datos Técnicos TCs.....	66
Figura B-4: Dimensiones TCs	67
Figura B-5: Datos Técnicos Bornera Pruebas.	67
Figura B-6: Datos Técnicos Sonda Óptica.....	68

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Requisitos de exactitud para medidores y transformadores.....	6
Tabla 2-2: Desfase máximo permitido para el reloj interno.	7
Tabla 2-3: Frecuencia de mantenimiento del sistema de medición.....	7
Tabla 2-4: Plazos entre la calibración y la puesta en servicio.	8
Tabla 2-5: Plazos para realizar procedimientos.	8

Definiciones

ACE Pilot: es una aplicación de soporte basada en Windows™ diseñada para ser utilizada con los medidores eléctricos Itron DMLS como, por ejemplo:

ACE4000 – Gama de medidores residenciales. ACE6000 y SL7000 – Gama de medidores comerciales e industriales [23].

AGPE: Auto generador a pequeña escala, que tiene una potencia instalada pequeña.

ASIC: Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales, dependencia encargada del registro de fronteras su liquidación, cobro y facturación [4].

APN: punto de acceso para un modem GPRS, se configura como dispositivo móvil, para así acceder desde un computador vía internet con su respectiva dirección IP.

Auto generador: Cliente o usuario que genera su propia energía eléctrica, puede ser de propiedad o arrendada.

Calibración: realizar mediante patrones estandarizados una operación que permita una relación entre los valores y sus incertidumbres de medición; para utilizar esta información como resultado.

Capacidad nominal: definen el funcionamiento de un equipo eléctrico de acuerdo al criterio del diseñador. Es el elemento limitador.

Capacidad de salida nominal TC (burden): valor de la potencia aparente (voltamperios) que el TC suministra al circuito secundario, a la corriente secundaria nominal.

Capacidad de salida nominal TP (burden): valor de la potencia aparente (voltamperios) que un TP suministra al circuito secundario con la tensión secundaria nominal.

Certificación: expedición escrita de un organismo certificador con su respectivo sello de conformidad.

Comandos AT: Estándar de comunicación con sintaxis muy simple utilizado para la conexión entre un módem y un módulo cualquiera de comunicación.

Comercialización de energía eléctrica: compra y venta de energía eléctrica en el mercado mayorista de energía.

Demanda: “es la carga promedio solicitada a la fuente de suministro en el punto de recepción durante un intervalo de tiempo” [17].

Demanda máxima: “es la potencia eléctrica máxima que se presenta en un sistema o instalación durante un período de tiempo específico, expresada en kilovatios [kW]” [17].

Frontera comercial: “punto de medición asociado al punto de conexión entre agentes y usuarios conectados al Sistema de Transmisión Nacional o a los Sistemas de Transmisión Regional o a los Sistemas de Distribución Local o entre diferentes niveles de tensión de un mismo OR. Cada agente en el sistema puede tener una o más fronteras comerciales” [4].

GPRS: (General Packet Radio Service) red de telecomunicaciones que permite transmitir datos por medio de paquetes.

Medidores clase 0.2 y 0.2S: “este índice de clase significa que el límite de error porcentual admisible para todos los valores de corriente entre el 10% nominal y la corriente máxima con un factor de potencia igual a uno deberá ubicarse entre $\pm 0.2\%$ ” [17].

Medidores clase 0.5 y 0.5S: “este índice de clase significa que el límite de error porcentual admisible para todos los valores de corriente entre el 10% nominal y la corriente máxima con un factor de potencia igual a uno deberá ubicarse entre $\pm 0.5\%$ ” [17].

Medidores clase 1.0: “este índice de clase significa que el límite de error porcentual admisible para todos los valores de corriente entre el 10% nominal y la corriente máxima con un factor de potencia igual a uno deberá ubicarse entre $\pm 1.0\%$ ” [17].

Medidores clase 2.0: “este índice de clase significa que el límite de error porcentual admisible para todos los valores de corriente entre el 10% nominal y la corriente máxima con un factor de potencia igual a uno deberá ubicarse entre $\pm 2.0\%$ ” [17].

Modem: (de las palabras modulador-demodulador): es un elemento de hardware que ejecuta la conversión de señales digitales a una señal análoga, y de modo inverso para la transmisión y recepción de datos [22].

Operador de Red de STR's y/o SDL's (OR): “empresa de servicios públicos encargada de la planeación, de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional o un Sistema de Distribución Local” [4].

Prime Read: Es una aplicación Multiprotocolo y Medios de Comunicación.

- ✓ Multi-Protocolo: soporta más de 90 modelos de medidores.
- ✓ Multi-Medios de Comunicación: soportamos los medios de comunicación más importantes y difundidos del mercado [22].

RS-232: es un estándar serial de transmisión de datos funcionales de procedimientos

Transformador de tensión, TP o TT: Transformador para medida que permite disminuir la tensión a un valor medible.

Transformador de corriente, TC: Transformador de medida que permite registrar los valores de corriente de tal modo que estos sean cuantificables.

Introducción

El trabajo de grado que presento a continuación propone el diseño y la implementación de un bien de uso didáctico para fortalecer los conocimientos adquiridos en la asignatura Electrotecnia y medidas, electrónica y programación, instalaciones eléctricas y control; del programa de Ingeniería Electromecánica y Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial de la Universidad Antonio Nariño sede Manizales. De esta manera, el objetivo general del proyecto es diseñar y dejar las bases para la implementación de un módulo portátil de medida semidirecta para el análisis de cargas de una instalación eléctrica para familiarizar al estudiante con el entorno de calidad de energía, pérdidas eléctricas y análisis matemáticos de posibles fallas en conexiones de medidores a nivel residencial, industrial y comercial mediante diversidad de prácticas como: conexión de un medidor trifásico a tres elementos, conexión de dos medidores trifásicos a tres elementos, conexión de un medidor trifásico a dos elementos, conexión de un medidor trifásico a dos elementos con sumatoria de corrientes, conexión del módulo a las bajantes secundarias del transformador de la subestación eléctrica de la universidad para funcionar como analizador de redes, conexión del módulo a tablero didáctico que tiene motor trifásico, entre otras que se podrán realizar con respecto a conexiones erradas en los sistemas de medida.

Por otra parte, el tipo de prácticas realizables en el módulo portátil de medida semidirecta se encuentra limitado por el uso de 3 transformadores de corriente de núcleo abierto de 100/5, no se podrá superar una corriente de 100 amperios.

La metodología usada para alcanzar el objetivo propuesto, parte de una investigación y revisión bibliográfica complementada con la experiencia del estudiante que realiza el proyecto en labores reales de formación laboral y equipos similares, es decir, dada la necesidad práctica y su adaptación al entorno de los sistemas de medida se propone una solución apoyada en documentación (normativa nacional e internacional, fabricantes, universitaria) y elaboración de prácticas para mejorar la calidad de la energía y experiencias de empresas del sector eléctrico en recuperación e identificación de pérdidas de energía.

Las etapas de: investigación, documentación, diseño, forma de implementación y pruebas son necesarias para la realización de este trabajo de grado, y estarán contempladas en los diferentes capítulos de este documento.

Planteamiento del problema

Uno de los retos importantes para el ingeniero electromecánico, es lograr crear elementos o sistemas que puedan hacer converger lo técnico con lo ambiental, también saber utilizar los diferentes instrumentos y métodos sencillos para aplicar medidas en las instalaciones eléctricas, entender que con elementos simples se pueden solucionar problemas que afectan el medio ambiente y todos los procesos implicados en la cadena de energía, como son: la generación, la transformación y la distribución.

Actualmente, la Universidad Antonio Nariño, sede Manizales, no cuenta con un módulo portátil de medida semidirecta para análisis de cargas, que les pudiera permitir a los alumnos el análisis de las cargas e interpretar los diferentes tipos de medida que existen, utilizar el medidor como analizador de redes, análisis de casos de pérdidas de energía en el medidor y sus elementos, interacción con el software propietario de las marcas más conocidas y la configuración del medidor.

Los cambios tecnológicos exigen reforzar los temas de innovación en las prácticas de laboratorio y el no contar con un módulo portátil de medida semidirecta para análisis de cargas en una instalación eléctrica representa una desventaja para que los estudiantes fomenten su capacidad de innovación y análisis de la calidad de energía en los sistemas eléctricos, que permitan la generación de valor agregado integral y organizadamente por medio del conocimiento de tecnologías amigables con el medio ambiente.

El módulo portátil de medida semidirecta para análisis de cargas, es de fácil manejo para los alumnos y este va a permitir incursionar en el manejo de software de medidores y el análisis de posibles fallas en medidores y sus elementos, gracias a las practicas que se pueden realizar.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Diseñar un módulo portátil de medida semidirecta para análisis de cargas para el desarrollo de prácticas de laboratorio.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar los planos de un módulo de medida semidirecta para análisis de cargas.
- Aprender a configurar el medidor en diferentes conexiones.
- Diseñar las guías de laboratorio que permitan analizar el comportamiento de las cargas eléctricas y los gráficos de los fasoriales en diferentes casos de conexiones con posibles fraudes.

2. Generalidades

2.1 Estado del Arte

El ser humano a través de su historia siempre quiso transformar su vida y su entorno, utilizando los medios que la naturaleza y sus pocos conocimientos le brindaron; es así como gracias a los avances logrados en energía eléctrica, en electrónica y en mecánica pudo suplir muchas necesidades. Pero con el paso del tiempo su control, monitoreo y medida fue necesario, para evitar riesgos a las personas, pérdidas y conservar los recursos naturales, que son en su mayoría no renovables. La eficiencia energética aprovecha estos recursos al máximo optimizando maquinaria y procesos; haciendo un cambio en la mentalidad de los profesionales y sus costumbres.

La mejora de la eficiencia energética es un tema de fundamental importancia para el comercio, la industria y los gobiernos. El uso racional de la energía, requiere de mucha inversión, pero más que nada de un cambio de actitud que nos asegure el abastecimiento de energía por muchos más años.

Es importante la medición en la optimización de todo proceso. Sólo si podemos medir lo podremos controlar, monitorear, mejorar y administrar. No es posible el ahorro, la disminución y el buen uso de la energía si no tenemos una fuente confiable de información. Un sistema útil de monitoreo y medición indica dónde se está gastando, como y de qué manera; que aplicación y con qué oportunidades reales de ahorro se cuentan.

De igual manera la sustitución de equipos ineficientes y obsoletos por sistemas modernos participan en la eficiencia energética de los centros de datos y medición.

Para la mayoría de los usuarios y clientes del sector eléctrico el costo de la energía eléctrica se ha convertido en un gasto muy significativo de sus recursos monetarios. Actualmente, es una necesidad la reducción de estos en la producción y operación de las empresas.

Los proyectos que busquen soluciones a los problemas energéticos deben tener un diagnóstico inicial, análisis de la situación actual, una planificación, indicadores de

desempeño y unos planes de acción; teniendo la visión de que traerá beneficios tangibles al desarrollo global de la empresa y el usuario final.

Por otra parte, el crecimiento de un país, aumenta las emisiones de contaminantes por uso de la energía y su forma de generación, convirtiéndose en una preocupación común para los gobiernos y el sector privado. Ya ser sustentable es muy difícil debido a la falta de estrategias para un uso eficiente de la energía. Es mejor hacer más con menos.

Del mismo modo en el mercado actual existen analizadores de redes y medidores que cuentan con múltiples registros eléctricos, facturación, calidad de energía, fasoriales, que permiten determinar pérdidas y mala distribución de las redes eléctricas, y nos muestren la información histórica y en tiempo real.

Para los célebres de la medición:

“Lo que no se puede medir, hazlo medible” – Galileo

“Lo que no se mide, no se puede controlar” – De Marco

“...y lo que no se controla, no se puede administrar” – W.E. Deming

“Lo que distingue a las ciencias del conocimiento empírico es el método: información es poder” – Francis Bacon

Finalmente, el análisis de la información que entrega un medidor debe indicar:

- Que gasta más energía (iluminación, procesos, pérdidas técnicas) [4].
- Perfiles de carga y gráficas de demanda vs tiempo [4].
- Factor de potencia, niveles de armónicos [4].
- Consumo de energía por horas [4].
- Si el sistema eléctrico está entregando o recibiendo energía [4].
- Si el medidor o sus elementos fueron vulnerados [4].
- Si la conexión física de sus elementos (medidor; transformadores) están bien conectados [4].
- Cantidad de compensación [4].

2.2 Normatividad

- **CREG 156 y 157:2011**

Reglamento que contiene el conjunto de disposiciones que regulan los derechos y obligaciones de los agentes que realizan la actividad de Comercialización de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional y las empresas de servicios públicos, usuarios y las normas para su registro.

- **CREG 038:2014**

Conocido como código de medida el cual establece las condiciones técnicas y procedimientos que se aplican a: los intercambios comerciales en el Sistema Interconectado Nacional, SIN, los intercambios con otros países, las transacciones entre agentes y las relaciones entre agentes y usuarios.

“Busca definir las características técnicas que deben cumplir los sistemas de medición para que el registro de los flujos de energía se realice bajo condiciones que permitan determinar adecuadamente las transacciones entre los agentes que participan en el Mercado de Energía Mayorista, MEM, y entre estos y los usuarios finales, así como los flujos en los sistemas de transmisión y distribución y establecer los requerimientos que deben cumplir los componentes del sistema de medición en relación con la exactitud, certificación de conformidad de producto, instalación, pruebas, calibración, operación, mantenimiento y protección del mismo” [4].

Tabla 2-1: Requisitos de exactitud para medidores y transformadores.

Tipo de puntos de medición	Índice de clase para medidores de energía activa	Índice de clase para medidores de energía reactiva	Clase de exactitud para transformadores de corriente	Clase de exactitud para transformadores de tensión
1	0,2 S	2	0,2 S	0,2
2 y 3	0,5 S	2	0,5 S	0,5
4	1	2	0,5	0,5
5	1 ó 2	2 ó 3	--	--

Fuente: CREG 038:2014 código de medida.

Elementos como el Medidor de energía activa o reactiva, los transformadores de corriente y los de tensión, el cableado, los gabinetes y las borneras de prueba deben tener certificación de conformidad de producto emitido por el ONAC.

Tabla 2-2: Desfase máximo permitido para el reloj interno.

Tipo de Punto de Medición	Máximo desfase permitido (segundos)
1 y 2	30
3, 4 y 5	60

Fuente: CREG 038:2014 código de medida.

“La transmisión de los datos entre el medidor y el Centro de Gestión de Medidas y entre este último y el ASIC deben sujetarse a los requerimientos mínimos de seguridad e integridad” [4].

Tabla 2-3: Frecuencia de mantenimiento del sistema de medición.

Tipo de Punto de Medición	Frecuencia [años]
1	2
2 y 3	4
4 y 5	10

Fuente: CREG 038:2014 código de medida.

“El procedimiento de mantenimiento debe ser establecido por el representante de la frontera, de tal forma que permita garantizar que los sistemas de medición mantienen sus características metrológicas y permiten obtener mediciones confiables de las transferencias y consumos de energía activa y reactiva. El procedimiento debe ser publicado en la página web del representante de la frontera y suministrado a los usuarios cuando así lo soliciten” [4].

“Dentro del procedimiento de mantenimiento, debe incluirse la realización de la calibración de los medidores del sistema de medición” [4].

“Los transformadores de tensión y de corriente deben ser sometidos a pruebas de rutina de acuerdo con el procedimiento y frecuencia que para tal fin establezca el Consejo Nacional de Operación” [4].

“En la hoja de vida del sistema de medición de las fronteras comerciales, debe reposar las características técnicas de los elementos de los sistemas, las actas de las verificaciones, registro de las calibraciones, mantenimientos, sellos instalados y demás intervenciones realizadas” [4].

Tabla 2-4: Plazos entre la calibración y la puesta en servicio.

Elemento	Plazo (Meses)
Medidor electromecánico de energía activa o reactiva	6
Medidor estático de energía activa o reactiva	12
Transformador de tensión	18
Transformador de corriente	18

Fuente: CREG 038:2014 código de medida.

▪ **CREG 015:2018**

Resolución del ministerio de minas y energía que establece las fórmulas tarifarias y la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en los 4 niveles de tensión.

Estos cargos por uso son calculados mensualmente basados en la calidad del servicio, la duración de las indisponibilidades.

Tabla 2-5: Plazos para realizar procedimientos.

Actividad	Responsable	Plazo (h)
Ingreso de reporte de eventos	Agente	12
Validación y publicación de listado de inconsistencias	CND	36
Solicitud de modificación de información	Agente	60
Respuesta a solicitudes de modificación	CND	72

Fuente: CREG 015:2018 remuneración distribución energía.

- **CREG 030:2018**

Resolución del ministerio de minas y energía para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional y aplica a las conexiones de gran escala mayores a 1 MW y menores o iguales 5 MW.

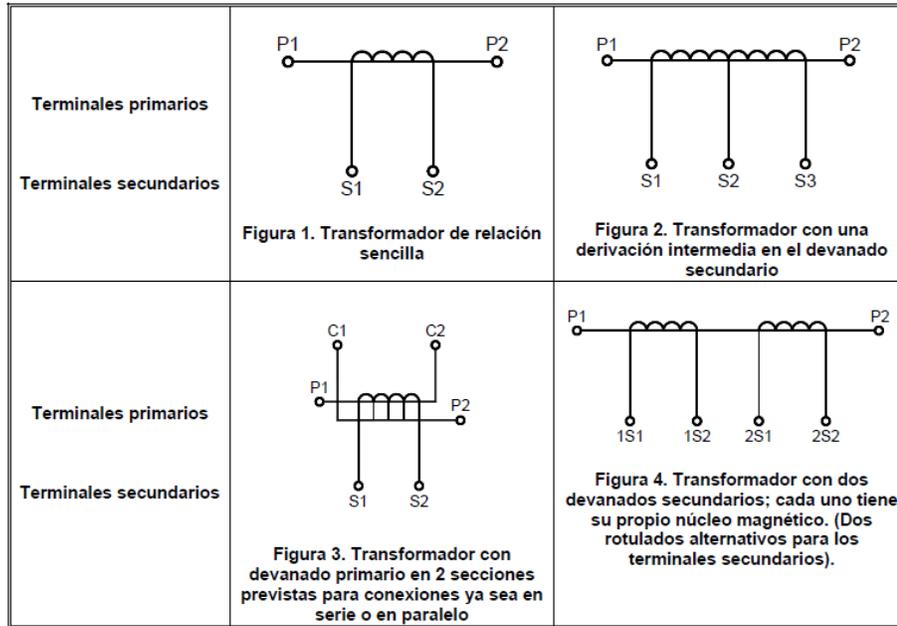
“Para la integración de los generadores distribuidos y autogeneración de pequeña escala al SIN, la cantidad de energía anual exportada por GD y AGPE debe superar el 4% de la demanda comercial nacional del año anterior, la CREG revisa y modifica las condiciones de conexión y remuneración de las exportaciones de energía [5].

El primer paso consiste en el diligenciamiento del formato de conexión, cuyo objetivo es conocer el propósito del cliente que se conectará al sistema del OR, el tipo de generación a instalar y la información técnica que le permita al OR evaluar las condiciones de integración a la red y cuantificar el impacto que dicho sistema podría causar al SDE” [5].

- **NTC 2205:2004**

Norma Técnica para los transformadores de corriente para uso como instrumento de medida eléctrica.

- Transformador para instrumentos: está previsto para alimentar instrumentos de medición, medidores, relés y otros aparatos similares [12].
- Transformador de corriente para instrumentos: en el cual la corriente secundaria, en condiciones normales de uso, es substancialmente proporcional a la corriente primaria y cuya diferencia de fase es aproximadamente cero para una dirección apropiada de las conexiones [12].

Figura 2-1: Marcación de los terminales TC.

Fuente: NTC 2205:2004 transformadores de corriente.

▪ NTC 2207:2004

Norma técnica para los transformadores de tensión inductivos usados en medida eléctrica y dispositivos de protección.

- “Transformador para instrumentos: transformador previsto para alimentar instrumentos de medición, medidores, relés y otros aparatos similares” [13].
- “Transformador de tensión: transformador para instrumentos en el cual la tensión secundaria en las condiciones normales de uso, es substancialmente proporcional a la tensión primaria y cuya diferencia de fase es aproximadamente cero, para un sentido apropiado de las conexiones” [13].
- “Transformador de tensión no puesto a tierra: transformador de tensión en el que todas las partes del devanado primario, incluidos los terminales, están aisladas con relación a tierra y a un nivel que corresponde a su nivel de aislamiento nominal” [13].

- “Transformador de tensión puesto a tierra: transformador de tensión monofásico destinado a tener uno de los extremos de su devanado primario conectado directamente a tierra, o transformador de tensión trifásico destinado a tener el punto neutro de sus devanados primarios conectado directamente a tierra” [13].

“Todos los transformadores pueden servir para medida, pero algunos, además, pueden servir para aplicaciones de protección”.

Figura 2-2: Límites del error de tensión y del desplazamiento de fase.

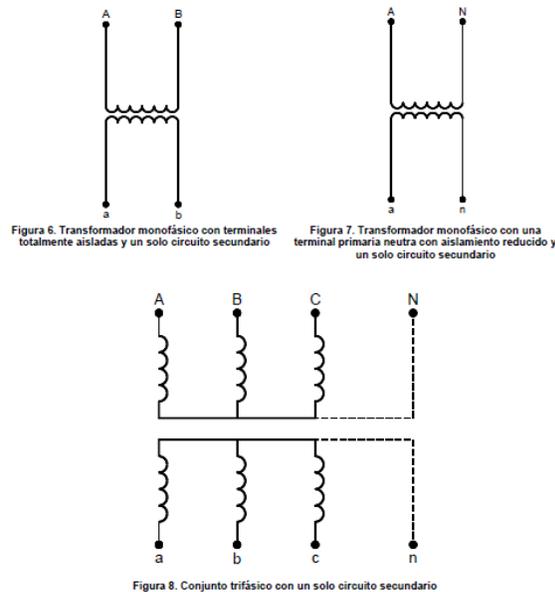
Clase de exactitud	Error de tensión (relación) en porcentaje ±	Desplazamiento de fase ±	
		Minutos	Centirradiaes
0,1	0,1	5	0,15
0,2	0,2	10	0,3
0,5	0,5	20	0,6
1,0	1,0	40	1,2
3,0	3,0	Sin especificar	Sin especificar

NOTA Al efectuar el pedido de transformadores con dos devanados secundarios separados y debido a su interdependencia, el usuario deberá especificar dos gamas de potencia, una para cada devanado, correspondiendo al límite superior de cada una de estas gamas de potencia un valor normal de la potencia de salida. Cada uno de los devanados deberá satisfacer sus propias especificaciones de exactitud en toda su gama de potencia mientras que al mismo tiempo el otro devanado suministra una potencia de cualquier valor comprendido entre cero y el límite superior de su gama de potencia. Para verificar la conformidad con esta especificación, basta con realizar las pruebas sólo en los valores extremos. Si no se especifican las gamas de potencia, se considera que estas son del 25 % al 100 % de la potencia nominal para cada devanado.

Si uno de los devanados no está sometido a carga más que ocasionalmente durante tiempos cortos o si se utiliza sólo como devanado de tensión residual se puede despreciar su efecto sobre el otro devanado.

Fuente: NTC 2207:2004 Transformadores de tensión.

Figura 2-3: Marcación terminales transformador de tensión.



Fuente: NTC 2207:2004 Transformadores de tensión.

▪ **NTC 5019:2007**

“El propósito de esta norma es establecer las características adecuadas de los equipos utilizados para medición de energía eléctrica (medidores, transformadores para instrumentos de medida, equipos auxiliares de medida, etc.). Las características de estos equipos están definidas en función de las características propias de la instalación eléctrica en el punto de conexión y de las características propias de la carga a medir” [14].

Figura 2-4: Selección de los medidores de energía.

Tipo de medición	Tipo de servicio	Capacidad instalada (CI) en kVA	Descripción del medidor ⁽¹⁾⁽²⁾				
			Medidor	Energía ⁽³⁾	Clasificación ⁽⁴⁾	Clase ⁽⁵⁾	
						Electromecánico	Estático ⁽⁶⁾
Directa	Monofásico bifilar	≤ 12	Monofásico bifilar	Activa	Básico	2	1
	Monofásico trifilar	≤ 24	Monofásico trifilar ó Bifásico trifilar	Activa	Básico	2	1
				Activa y Reactiva	Multienergía	--	1 2
	Bifásico trifilar	≤ 24	Bifásico trifilar	Activa	Básico	2	1
Activa y Reactiva				Multienergía	--	1 2	
Trifásico tetrafilar	≤ 36	Trifásico tetrafilar	Activa	Básico	2	1	
			Activa y Reactiva	Multienergía	--	1 2	
Semi-directa	Monofásico trifilar	> 24	Monofásico trifilar ó Trifásico trifilar	Activa y Reactiva	Multifunción	--	1 2
	Trifásico tetrafilar	> 36	Trifásico tetrafilar	Activa y Reactiva	Multifunción	--	1 ó 0,5S ⁽¹⁰⁾ 2
Indirecta	Trifásico trifilar	>112.5	Trifásico trifilar ⁽⁷⁾ ó Trifásico tetrafilar ⁽⁸⁾	Activa y Reactiva	Multifunción	--	0,5S 2
			Trifásico tetrafilar ⁽⁹⁾	Activa y Reactiva	Multifunción	--	0,2S 2

Fuente: NTC 5019:2007 Características equipos de medida.

Figura 2-5: Relación de transformación de T.C. para medición semidirecta.

Circuitos a 3 x 120/208 V		Circuitos a 3 x 127/220 V		Circuitos a 3 x 254/440 V		Circuitos a 120/240 V	
Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c	Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c	Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c	Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c
28 A 43	100/5	30 A 45	100/5	60 A 91	100/5	19 A 28	100/5
44 A 65	150/5	48 A 68	150/5	92 A 137	150/5	29 A 43	150/5
66 A 86	200/5	69 A 91	200/5	138 A 183	200/5	44 A 57	200/5
87 A 129	300/5	92 A 137	300/5	184 A 274	300/5	58 A 86	300/5
130 A 162	400/5	138 A 182	400/5	275 A 365	400/5	87 A 108	400/5
163 A 194	500/5	183 A 228	500/5	366 A 457	500/5	109 A 129	500/5
195 A 259	600/5	229 A 274	600/5	458 A 548	600/5	130 A 172	600/5
260 A 324	800/5	275 A 365	800/5	549 A 731	800/5	173 A 216	800/5
325 A 389	1 000/5	366 A 457	1 000/5	732 A 914	1000/5	217 A 259	1 000/5
390 A 467	1 200/5	458 A 548	1 200/5	915 A 1097	1200/5	260 A 311	1 200/5
468 A 648	1 600/5	549 A 731	1 600/5	1 098 A 1463	1600/5	312 A 438	1 600/5

Fuente: NTC 5019:2007 Características equipos de medida.

Figura 2-6: Relación de transformación de TC para mediciones indirectas.

Circuitos a 11,4 kV		Circuitos a 13,2 kV		Circuitos a 34,5 kV	
Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c	Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c	Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c
79 a 118	5/5	91 a 137	5/5	239 a 358	5/5
158 a 237	10/5	183 a 274	10/5	478 a 717	10/5
238 a 355	15/5	275 a 411	15/5	718 a 1 075	15/5
356 a 473	20/5	412 a 503	20/5	1 076 a 1 314	20/5
474 a 592	25/5	504 a 617	25/5	1 315 a 1 613	25/5
593 a 710	30/5	618 a 823	30/5	1 614 a 2 151	30/5
711 a 947	40/5	824 a 1 029	40/5	2 152 a 2 689	40/5
948 a 1 184	50/5	1 030 a 1 234	50/5	2 690 a 3 226	50/5
1 185 a 1 421	60/5	1 235 a 1 554	60/5	3 227 a 4 063	60/5
1 422 a 1 829	75/5	1 555 a 1 829	75/5	4 064 a 4 780	75/5
1 830 a 2 369	100/5	1 830 a 2 743	100/5	4 781 a 7 170	100/5
2 370 a 3 554	150/5	2 744 a 4 115	150/5	7 171 a 10 756	150/5
3 555 a 4 739	200/5	4 116 a 5 144	200/5	10 757 a 13 445	200/5

NOTA Para las Tablas 4 y Tabla 5, los rangos de capacidad instalada han sido definidos considerando un Factor de Cargabilidad del t.c. del 120 %. Para el caso de rangos de carga no contemplados en la Tabla 4 (por ejemplo 119 kVA a 157 kVA para circuitos a 11,4 kV puede especificarse un t.c. con Factor de cargabilidad del 150 % o del 200 % según sea el valor de la carga, o utilizarse un t.c. de relación 7,5/5 A.

Fuente: NTC 5019:2007 Características equipos de medida.

▪ ISO 50001:2011

“El propósito de esta norma es determinar los requisitos para la gestión de la energía en una organización, es de aplicación en todo tipo de empresas independientemente de su tamaño o actividad” [7].

El objetivo principal de esta Norma es integrar la Gestión de la energía en todos sus aspectos, dentro de una organización con el sistema de Gestión de la Empresa, abarcando desde la compra de energía y materias primas hasta las medidas a adoptar en la empresa para promover el ahorro energético [7].

Como todas las Normas ISO de reciente creación, promueven además la integración de la Gestión de la Energía con los demás sistemas de gestión existentes, ya sean de gestión de Calidad (ISO 9001) como sistemas de gestión medioambiental ISO 14001 u otros [7].

Por otro lado, la sistematización de los procesos de gestión de la energía, instaurados por el SGEN (Sistema de Gestión de la Energía) la Norma ISO 50001 nos garantiza eficiencia de las medidas adoptadas, con los paradigmas comunes de las normas ISO: Responsabilidad de la dirección, comunicación y participación

de todos las partes de la empresa, planificación de objetivos, puesta en marcha de los planes y finalmente con la revisión y mejora continua del sistema [7].

Figura 2-7: Sistema de Gestión de la energía.



Fuente: ISO 50001 Gestión energía.

Con la implantación de esta norma, cualquier empresa será capaz de adoptar los procesos para comprender su consumo de energía de base y así emprender acciones, planes y objetivos de eficiencia energética logrando la reducción de consumos [7].

Esta norma pone en marcha un método sistemático para la gestión de proyectos de eficiencia energética dentro de una empresa, permitiéndonos establecer correctamente las prioridades, coordinando la aplicación de cualquier solución encaminada a la reducción del consumo de energía [7].

Las medidas a aplicar pueden ser de carácter técnico, tales como: optimización de tensión, variadores de velocidad para motores eléctricos, iluminación de bajo consumo, modernización de sistemas de calefacción y/o aire acondicionado.

Aparte de las medidas tecnológicas se requieren otros cambios como son:

- Fomentar y potenciar el uso eficiente de la energía por su personal [7].
- Incluir todos los aspectos de la organización, identificando realmente las necesidades reales de cada empresa [7].

- Fomenta la comunicación y sensibilización, promoviendo el cambio de cultura en el uso de la energía [7].

2.3 Principios Matemáticos

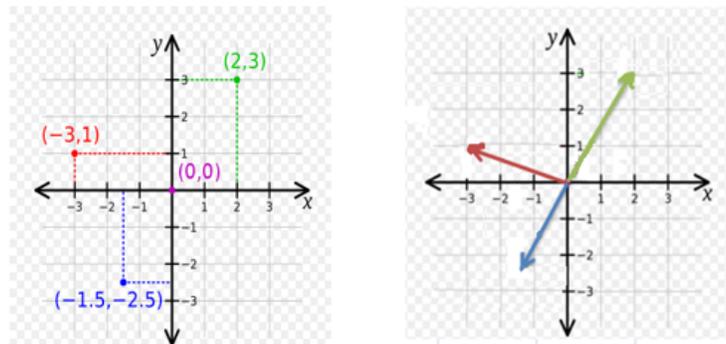
▪ Escalares y Algebra Vectorial

- **Suma y resta de vectores:**

Números escalares: son magnitudes físicas como presión, la masa, la energía, el volumen, la temperatura, entre otros; que se pueden definir por un número y sus unidades de medida.

Los vectores: son magnitudes como la velocidad, la aceleración, el desplazamiento entre otros, no se pueden definir solo con un número ya que tienen dirección, sentido y valor.

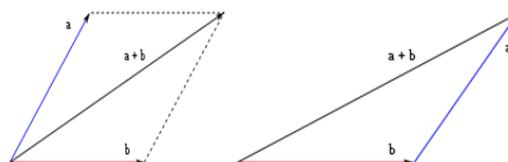
Figura 2-8: Representación en el plano de un vector.



Fuente: [El Autor].

Suma de Vectores: Para sumar dos vectores gráficamente, se colocan los vectores de tal manera que el extremo final de uno coincida con el extremo origen del otro vector.

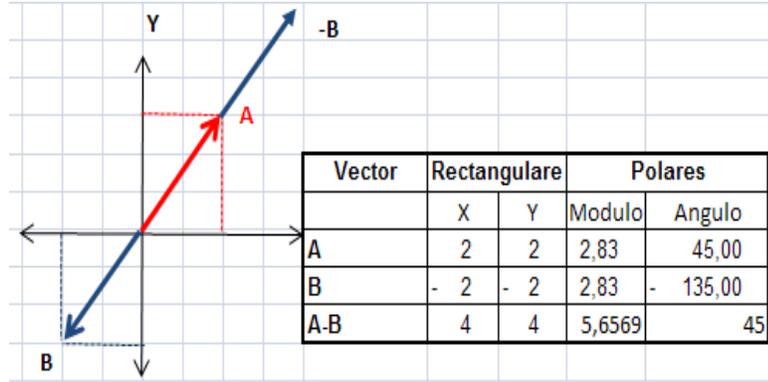
Figura 2-9: Suma de Vectores.



Fuente: [El Autor].

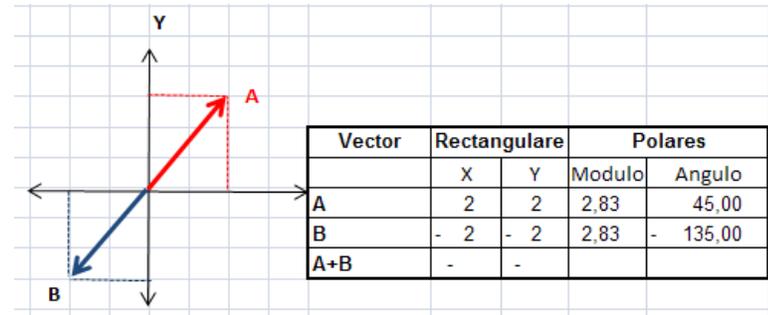
También se pueden descomponer en sus componentes rectangulares y se pueden restar en cada una de sus componentes.

Figura 2-10: Componentes de un Vector resta.



Fuente: [El Autor].

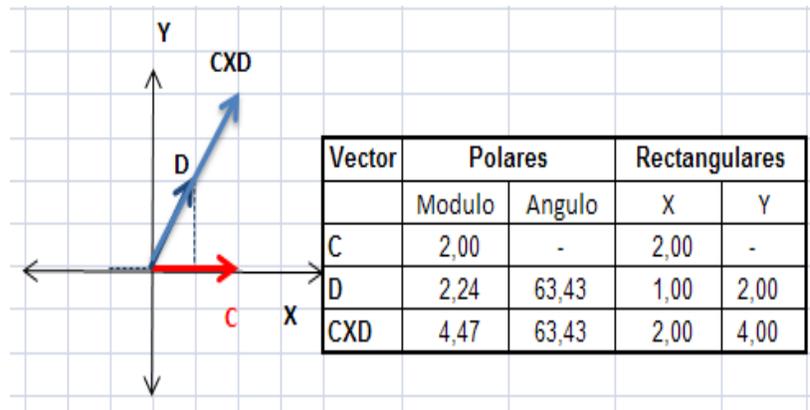
Figura 2-11: Componentes de un Vector Suma.



Fuente: [El Autor].

- Multiplicación:** Se multiplican sus módulos y se suman sus ángulos. Es importante notar como el vector resultante está en fase con el segundo vector, importante cuando veamos la potencia en energía eléctrica. La multiplicación se hace fase por fase y toma como referencia al voltaje de la carga.

Figura 2-12: Multiplicación de Vectores.

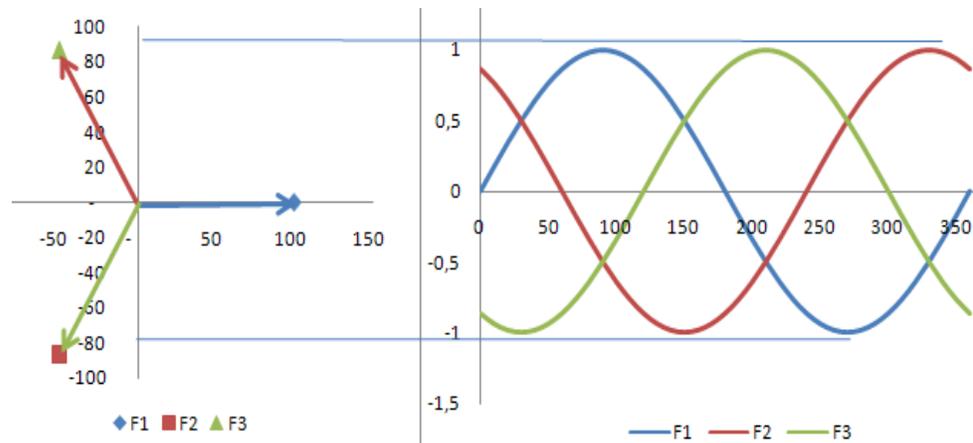


Fuente: [El Autor].

▪ **Vectores en Potencia**

- **Tensión:** El sistema colombiano es un sistema trifásico de 60 Hertz de características senoidal, donde desde los generadores de energía, las tensiones dadas en voltios tienen una diferencia angular entre ellas de 120°.

Figura 2-13: Fasorial de Tensión.



Fuente: [El Autor].

- **Corriente:** absorbida por una carga, es directamente proporcional a la tensión a la que está conectada la carga, e inversamente proporcional a la impedancia de la carga y se da de acuerdo a la ley de OMH, donde:

▪ Tipo de cargas y su representación en el plano

Las cargas pueden ser resistivas, inductivas y/o capacitivas.

Figura 2-14: Tipo de Cargas.

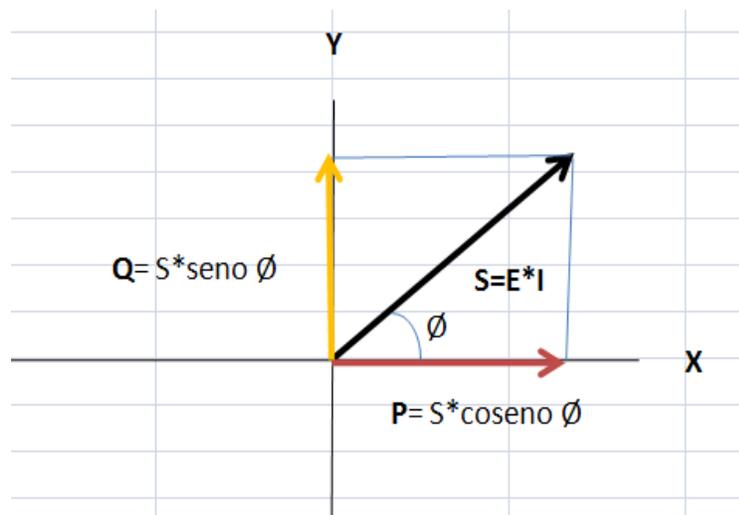


Fuente: [El Autor].

▪ Potencia Aparente

En términos prácticos es la potencia de diseño de las fuentes de energía, sus unidades son los Voltio Amperios, por la ley de Watt es el producto entre la tensión y la corriente consumida por una carga.

Figura 2-15: Representación en plano Potencia Aparente.

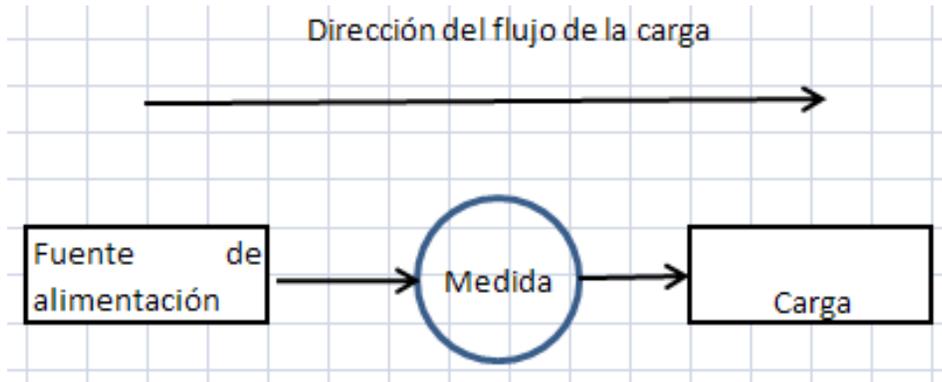


Fuente: [El Autor].

▪ **Cuadrantes de Potencia**

La energía eléctrica vista desde el punto de la medida y de un cliente, puede ser recibiendo o entregando con respecto al sistema de potencia.

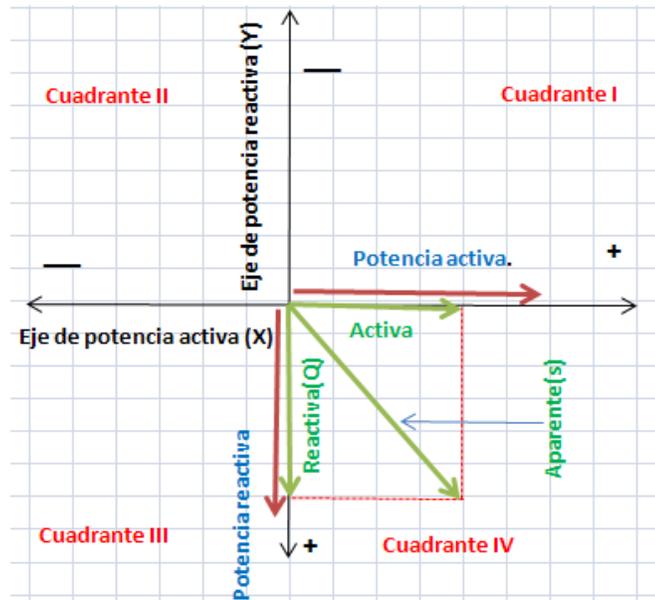
Figura 2-16: Dirección Flujo de Carga.



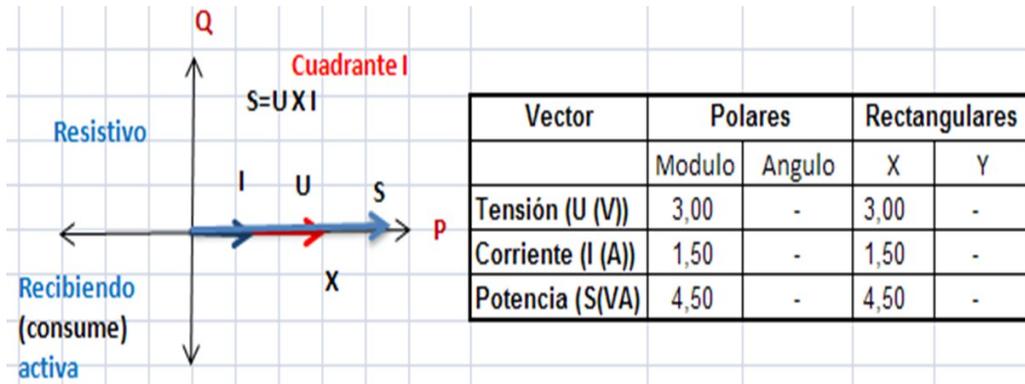
Fuente: [El Autor].

La potencia transada con un cliente puede estar en uno o varios de los siguientes cuadrantes de energía.

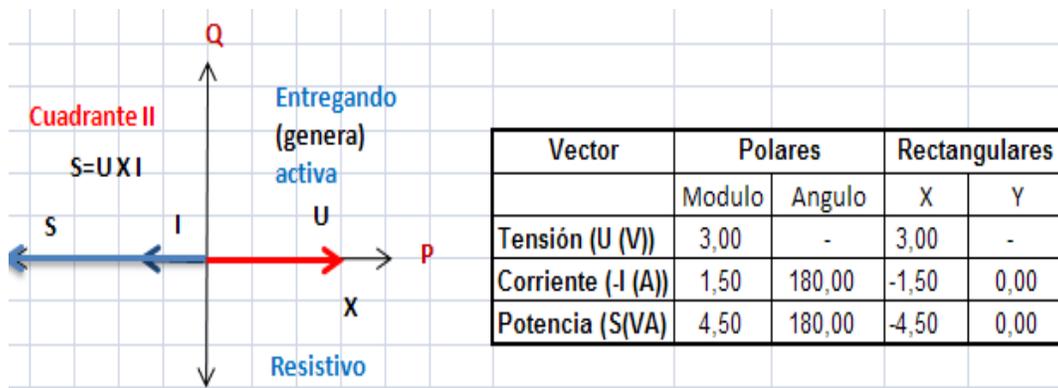
Figura 2-17: Cuadrante Potencias Transado.



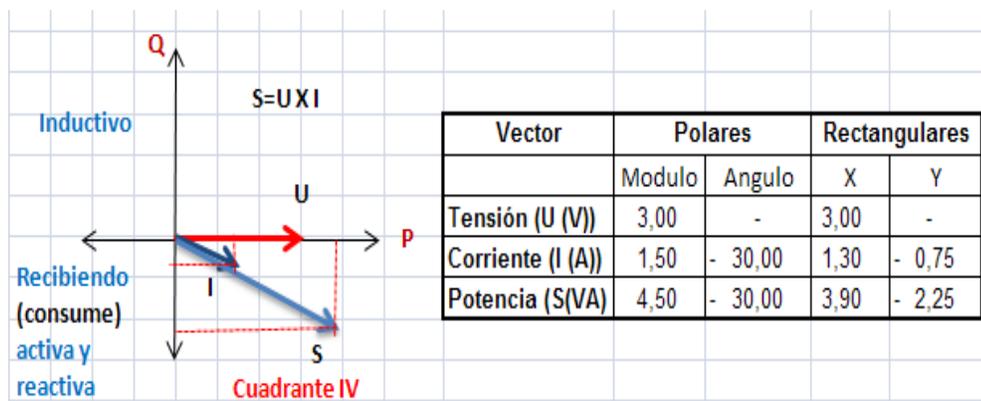
Fuente: [El Autor].

Figura 2-18: Carga Netamente Resistiva.

Fuente: [El Autor].

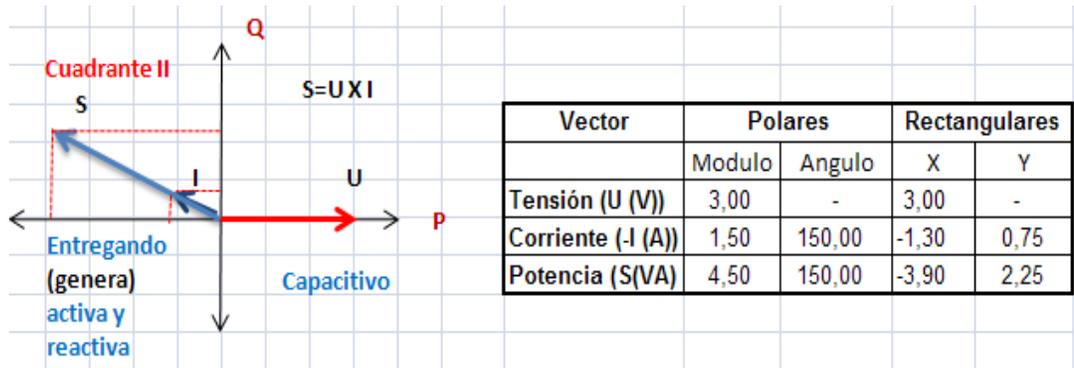
Figura 2-19: Carga Netamente Resistiva Invirtiendo la Corriente 180°.

Fuente: [El Autor].

Figura 2-20: Carga Netamente Inductiva.

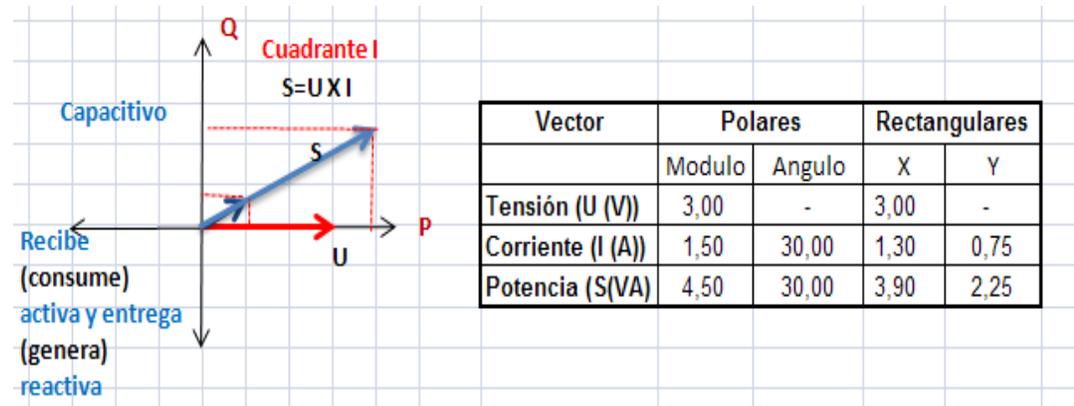
Fuente: [El Autor].

Figura 2-21: Carga Netamente Inductiva con Corriente invertida 180°.



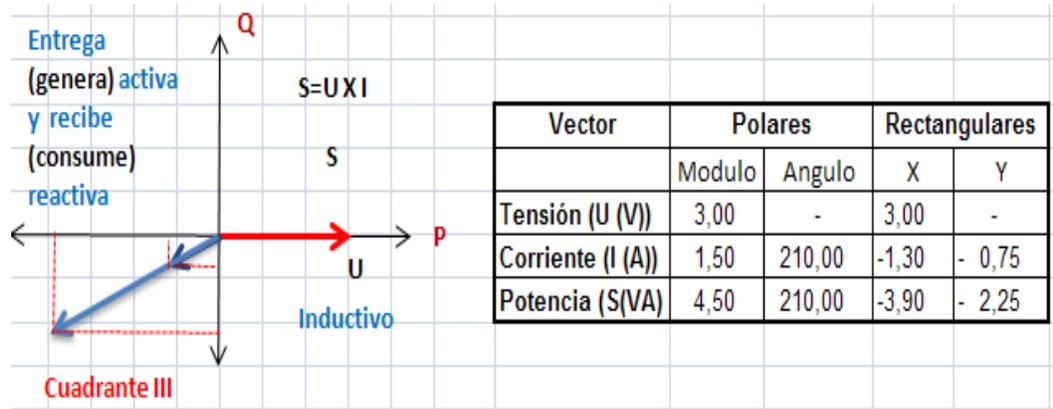
Fuente: [El Autor].

Figura 2-22: Carga Netamente Capacitiva.



Fuente: [El Autor].

Figura 2-23: Carga Netamente Capacitiva con Corriente invertida 180°.



Fuente: [El Autor].

3. Medición y Perdidas de Energía Eléctrica

3.1 Medición de Energía Eléctrica.

- **Que es medir y como se hace**

“Medir es comparar una magnitud con otra, la cual es tomada de manera arbitraria como referencia, la cual se denominada patrón o unidad, y expresar cuántas veces la contiene”. “Al resultado de medir lo llamamos Medida”.

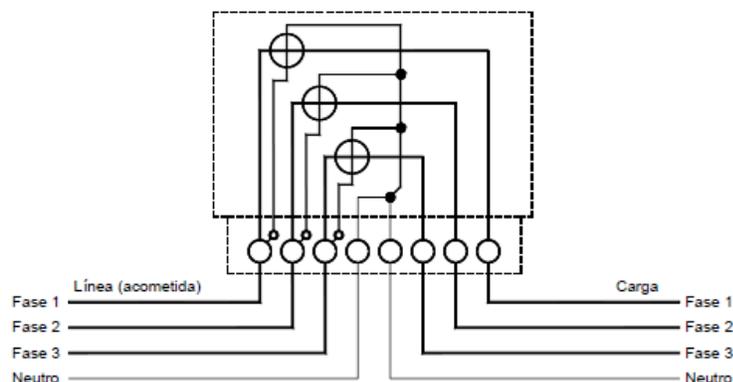
Cuando medimos la energía eléctrica cuantificamos el consumo de un usuario o cliente.

Para medir es necesario censos de cargas o con medidores, los primeros son engorrosos e inexactos; pero al instalar medidores lo hace exacto y técnico.

- **Tipos de medición de energía eléctrica según su conexión.**

Medida Directa: los conductores de la acometida se conectan directamente al medidor de energía la corriente de la carga es censada totalmente por las bobinas de corriente. La corriente de la carga no puede ser superior a 100 amperios.

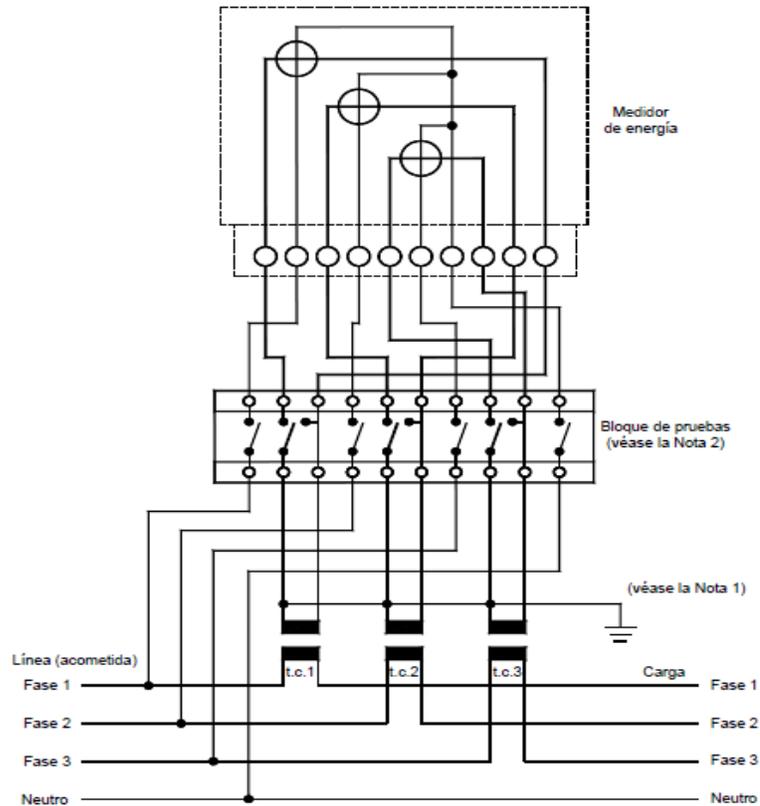
Figura 3-1: Ejemplo Medida directa.



Fuente: NTC 5019:2007 Características equipos de medida.

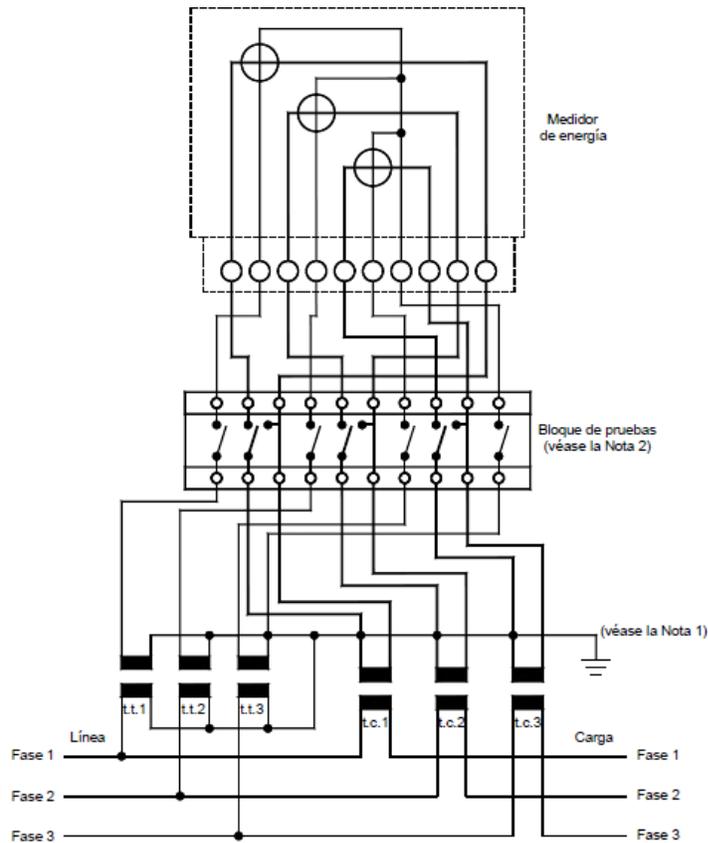
Medida Semidirecta: como la corriente es superior a 100 amperios se debe tomar de una manera no directa utilizando TCs para registrar sus señales, sin embargo, las señales de tensión se toman directamente de las líneas de alimentación. La energía consumida se cuantifica multiplicando la lectura por la división de la relación de los TCs.

Figura 3-2: Ejemplo Medida Semidirecta.



Fuente: NTC 5019:2007 Características equipos de medida.

Medida Indirecta: es necesario la utilización de transformadores de tensión y de corriente para reducir los valores a tensiones y corrientes medibles y para saber su consumo debemos multiplicar por la relación de transformación tanto de los TP's como de los TCs.

Figura 3-3: Ejemplo Medida Indirecta.

Fuente: NTC 5019:2007 Características equipos de medida.

- **Tipo de Medidores de energía eléctrica según la energía que miden.**

Medidor de energía activa: registra la cantidad de energía consumida por un usuario en kilowatts hora kWh.

Medidor de energía reactiva: registran el consumo de energía reactiva de un cliente o usuario en kilo vares hora kVarh.

- **Tipo de Medidores de energía eléctrica según la tecnología empleada.**

Medidores de inducción o electromecánicos: son medidores muy mecánicos con poca electrónica en su construcción cuentan con una bobina de tensión y una de corriente, unos cojinetes y un disco giratorio que mueve un reloj ciclo métrico para y tiene un imán que actúa como freno.

Figura 3-4: Ejemplo Medidor Electromecánico.



Fuente: [El Autor].

Medidores electrónicos: medidor con componentes electrónicos, que permite ser programado, conexiones de telemedida es bidireccional mide en ambos sentidos, registra tanto energía activa como reactiva, muestra valores de potencia, voltaje, corriente y factor de potencia además visualizar fasoriales.

Figura 3-5: Ejemplo Medidor Electrónico.

Fuente: http://www.boiero.com.ar/catalogo/26_ace-sl7000

Tipo de Medidores de energía eléctrica según el tipo de conexión.

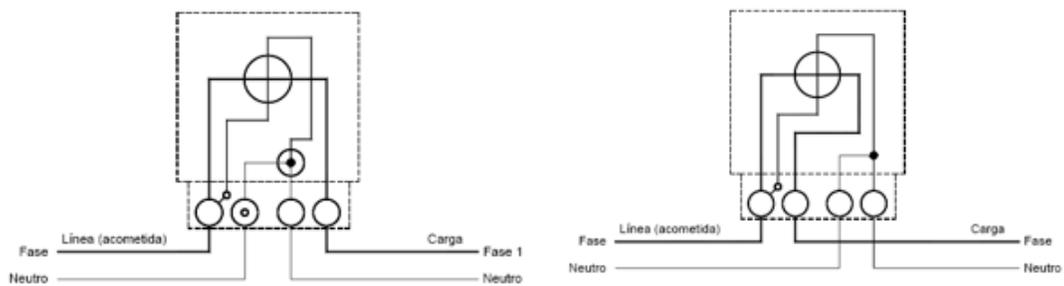
Figura 3-6: Conexión Medidores Simétrica y Asimétrica.

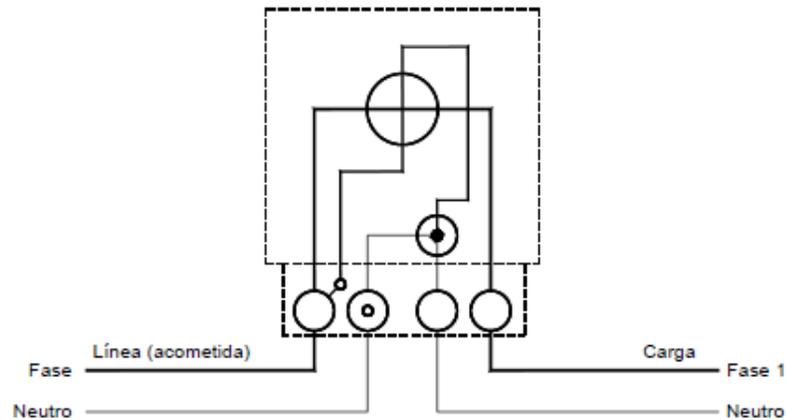
Figura 1. Esquema de conexiones, medidor monofásico bifilar para medición directa, conexión simétrica

Figura 2. Esquema de conexiones, medidor monofásico bifilar para medición directa, conexión asimétrica

Fuente: NTC 5019:2007 Características equipos de medida.

Medidor monofásico bifilar: medidor conectado a una acometida de dos líneas una fase y un neutro, es utilizado en usuarios con carga o consumo bajo. Se puede instalar en una red proveniente de un transformador trifásico o monofásico.

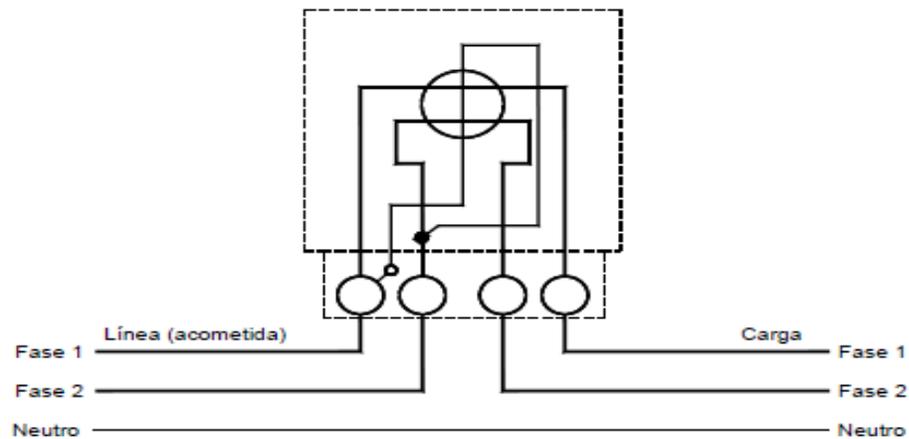
Figura 3-7: Esquema Medidor Monofásico Bifilar.



Fuente: NTC 5019:2007 Características equipos de medida.

Medidor monofásico trifilar (TND): medidor conectado a una acometida de tres líneas dos fases y un neutro, el neutro no entra a las borneras del medidor por eso es neutro directo. Se puede instalar en una red proveniente de un transformador monofásico en uno trifásico genera una mala medida.

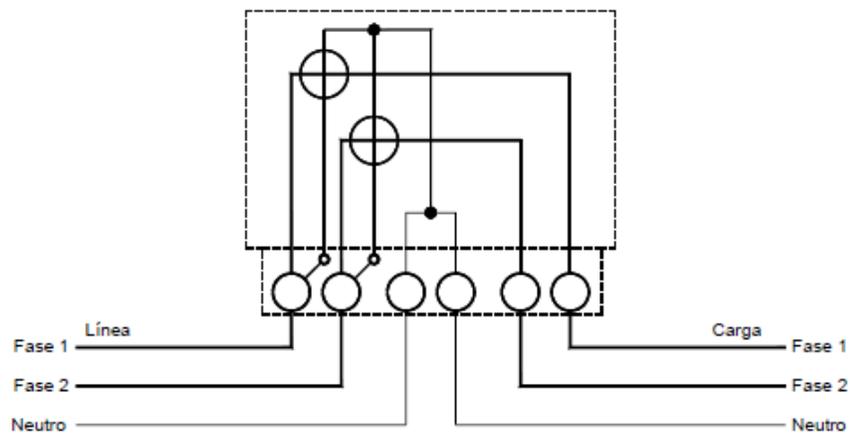
Figura 3-8: Esquema Medidor Trifilar TND.



Fuente: NTC 5019:2007 Características equipos de medida.

Medidor bifásico trifilar (TNI): medidor conectado a una acometida de tres líneas dos fases y un neutro, el neutro entra a las borneras del medidor. Se puede instalar en una red proveniente de un transformador monofásico y trifásico.

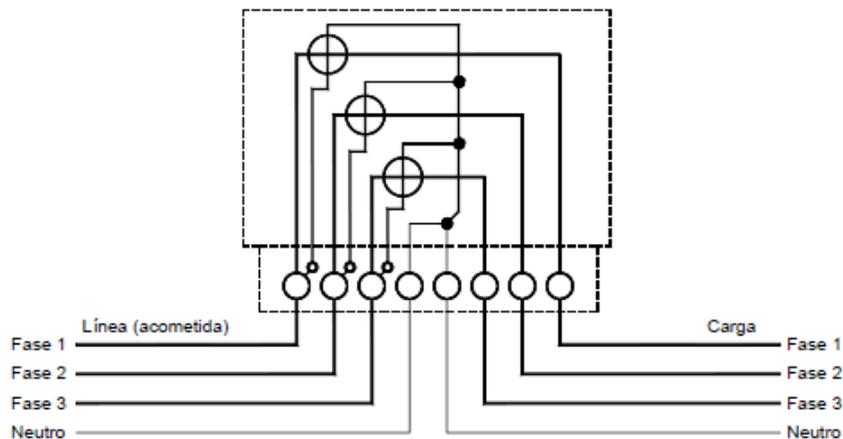
Figura 3-9: Esquema Medidor Bifásico Trifilar TNI [14].



Fuente: NTC 5019:2007 Características equipos de medida.

Medidor trifásico tetrafilar: medidor conectado a una acometida de cuatro líneas tres fases y un neutro, el neutro entra a las borneras del medidor. Se puede instalar en una red proveniente de un transformador trifásico.

Figura 3-10: Esquema Medidor Trifásico Tetrafilar.



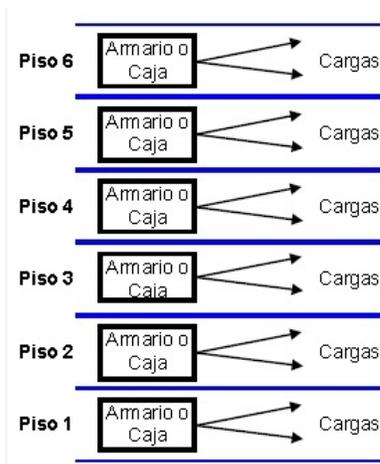
Fuente: NTC 5019:2007 Características equipos de medida.

▪ Medida Centralizada.

La medida centralizada es una adaptación local del término internacional conocido como AMR (Automated Meter Reading) o Lectura Automática Remota en el cual es utilizado en otros países del mundo para los sistemas que ejecutan la recolección automática de los consumos, el diagnóstico, y el estado de los datos no solo para la medición de energía eléctrica, sino también para otros servicios como el consumo de agua y gas [15].

Esta tecnología ayuda a reducir el costo de enviar personal periódicamente al sitio físico donde se encuentran los medidores para realizar las lecturas y los cortes del servicio. Otra ventaja del sistema es que el proceso de facturación está basado en consumo en tiempo real en vez de utilizar estimados basados en consumos previos o previsivos. Toda esta información recolectada junto con su análisis puede ayudar tanto a las empresas como a los clientes a tener un mejor control del uso y producción de la energía eléctrica, el uso del gas o el consumo de agua [15].

Figura 3-11: Medida Centralizada.

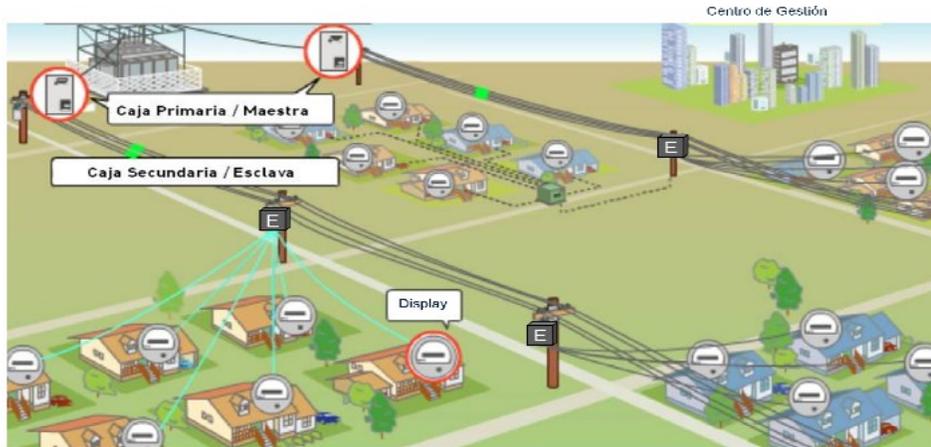


Fuente: <https://ikinormas.micodensa.com>

Entre las principales tecnologías en las que se basan el AMR se encuentran las inalámbricas, las cableadas y la combinación de ambas. Entre las tecnologías inalámbricas se encuentra las de tecnologías RF portátiles (walkby), las de redes RF móviles (drive by), las redes RF fijas, y las de telefonía celular GSM. Por otro lado, las tecnologías cableadas se instalan las basadas en redes telefónicas de

servicio público, las de cableado Ethernet, los de protocolos seriales (RS485, RS232) o por transmisión en líneas de transmisión (PLC: Power Line Carrier) [16].

Figura 3-12: Esquema General Medida Centralizada.

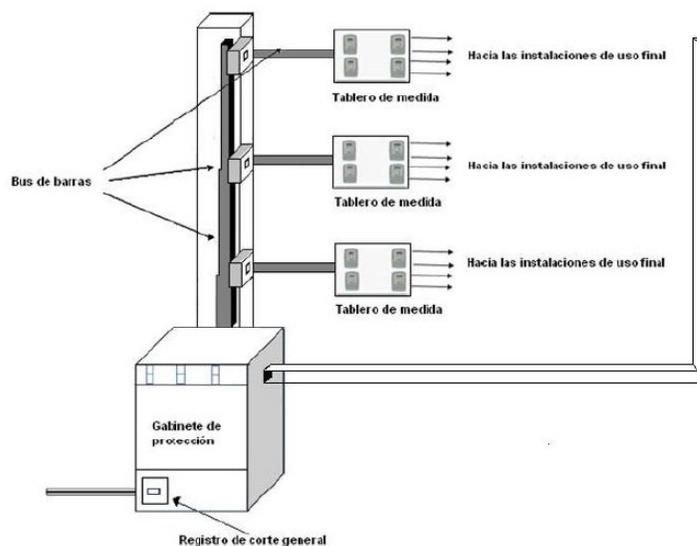


Fuente: <http://www.vega.com.co>

■ Medida Descentralizada.

Sistema de medida con varios tableros de medidores distribuidos en una propiedad o edificación conectados por medio de barrajes blindados (Electrobarrajes) para evitar conexiones fraudulentas.

Figura 3-13: Medida Descentralizada.



Fuente: Central Hidroeléctrica de Caldas (Chec) Norma de medida.

3.2 Pérdidas de Energía Eléctrica

Para la ley colombiana alterar un sistema de medida o aparato de energía eléctrica, agua, gas natural, o señal de telecomunicaciones, generando un perjuicio ajeno, tendrá prisión de dieciséis a setenta y dos meses y multas de uno punto treinta y tres a ciento cincuenta SMLMV.

Dada la naturaleza misma de la energía eléctrica como producto intangible, no almacenable e insustituible en el corto plazo, es necesario conocer que ocurre cuando un comercializador evidencia pérdidas al percatarse que la energía de entrada que fue comprada al mercado mayorista no es totalmente facturada.

La diferencia entre la energía recibida y la energía facturada tiene implícito dos tipos de pérdidas: Técnicas y no técnicas.

- **Las pérdidas Técnicas:** están relacionadas con aspectos constructivos y operativos de un sistema eléctrico, por ejemplo, los conductores, el núcleo de un transformador o el devanado de un motor entre otros.
- **Las pérdidas No Técnicas:** están relacionadas con malos manejos administrativos de las empresas prestadoras de servicios y el mal control de sus instalaciones: errores en la medición, facturaciones inadecuadas basadas en promedio, robo de energía y fraude o manipulación.

La CREG luego de conocer la importancia de discriminar entre pérdidas técnicas y no técnicas por el predominio de estas últimas, decide realizar estudios complejos para su identificación y clasificación. Con respecto a las pérdidas técnicas la comisión reconoce que estas están asociadas a la configuración de las redes del sistema de transmisión regional (STR) y los sistemas de distribuidor local (SDL) que se encuentran especialmente adaptadas a las concentraciones particulares de la demanda del mercado atendido. Es por eso que la totalidad de estas pérdidas no pueden ser asumidas por el distribuidor y el comercializador y parte de ellas deben ser reconocidas y trasladadas a la tarifa de los usuarios en proporciones justas que estipule la CREG por el solo hecho de adaptar las redes al requerimiento del cliente. De igual manera, la asignación de responsabilidades en las pérdidas no técnicas también se distribuye entre los usuarios, los comercializadores y los distribuidores en proporciones que estipulen la CREG teniendo en cuenta que el origen

de estas pérdidas tiene altas connotaciones de la problemática social y económica del mercado atendido. El cálculo de estas proporciones como producto de un complejo estudio, tienen en cuenta variables económicas, sociales y técnicas que se presenten en el momento de hacer el estudio y que queda sujeto a constantes actualizaciones [20].

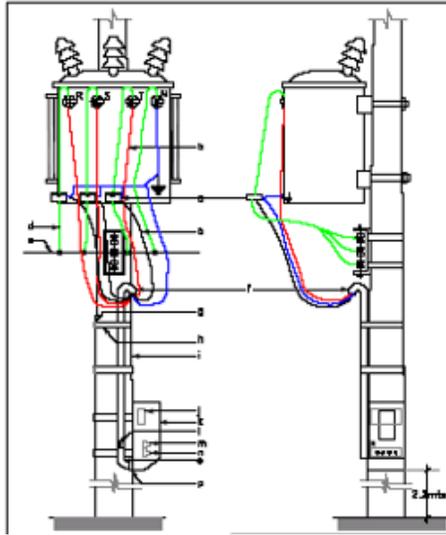
Todo sistema de distribución de energía, tratándose de una configuración urbana o rural, tiene un grado de vulnerabilidad inherente, lo que propicia el fenómeno de las pérdidas no técnicas o robo de energía eléctrica, que se materializa con el acceso no autorizado de clientes y/o usuarios a las redes de uso general o al sistema de medida; es decir, el acceso a los circuitos de media tensión, transformadores de distribución o de potencia, cajas de distribución, redes de distribución y al sistema de medida de los clientes (acometida, medidor y caja del medidor). Las razones que impulsan el acceso ilegal a estos equipos, son de diversa índole, tales como culturales, políticas, económicas y sociales, entre otras [21].

Las actividades realizadas para la reducción de pérdidas tanto de carácter técnico como no técnico, reúne acciones técnicas, administrativas, sociales y comerciales. Algunos ejemplos son:

- **Macromedición o Integración:** El programa de Macromedición es la etapa inicial de todas las acciones de control pérdidas, con lo cual se pretende obtener la información necesaria sobre los circuitos de distribución del sistema de energía.

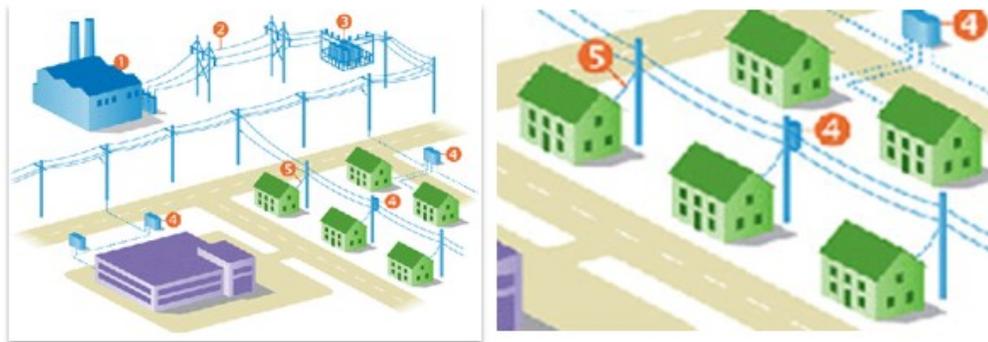
El Macromedidor: Es un medidor asociado a un transformador de distribución con conexión directa o semidirecta a los bornes secundarios del mismo. Con el fin de servir de instrumento para realizar balances de energía; relacionando la energía que entrega el transformador de distribución con la consumida por las cargas conectadas a él.

El Macromedidor y sus elementos asociados son parte integrante de la Red de Distribución, su mantenimiento y/o reparación son responsabilidad del OR.

Figura 3-14: Instalación Macromedidor.

Fuente: Central Hidroeléctrica de Caldas (Chec) Norma de medida.

Balance de Energía: Es la confrontación de la energía total de salida de un transformador de distribución contra la sumatoria de la energía registrada en todos los equipos (medidores) de los clientes asociados a dicho transformador. Se debe tener en cuenta además en esta sumatoria, lo correspondiente a las cargas de alumbrado público y/o cargas especiales presentes en el circuito.

Figura 3-15: Red de Distribución BT.

Fuente: Central Hidroeléctrica de Caldas (Chec) Norma de medida.

- **Sistema Integrado de información:** base de datos actualizada con la ubicación y dirección correcta de todos los clientes, consumos e históricos.

Figura 3-16: Plano de circuito BT clientes.

Fuente: Central Hidroeléctrica de Caldas (Chec) Norma de medida.

- **Legalización de Usuarios o Clientes:** financiación de clientes morosos, utilización de medidores prepago, instalación de medidores a usuarios que no los tienen.
- **Legalización de Clientes Instalaciones especiales:** las instalaciones especiales son: alumbrado público, amplificadores de redes telemáticas, banco de baterías redes telemáticas, cámaras de seguridad de las alcaldías, conexiones provisionales para eventos; se deben instalar medidores y se cobran como un cliente normal, así los censos de los micromedidores están más cercanos a la medida reflejada mes a mes.
- **Revisión de medidores y acometidas existentes:** verificación en terreno del estado de los medidores haciendo una prueba con equipo patrón o con resistencia para calcular tiempo potencia y cambio de los que están mal conectados o quemados; dentro del procedimiento regulatorio se debe llevar a un laboratorio de medidores acreditado y este es el que determina si se requiere cambio; revisión del estado de la acometida, si está dentro de ducto o empotrada sacarla o cambiarla por un cable con neutro concéntrico anti fraude.

Pruebas al Medidor:

Prueba de integración en terreno, el resultado debe estar entre -10% y +10% para que el medidor este integrando bien.

Figura 3-17: Formulas Tiempo Potencia.

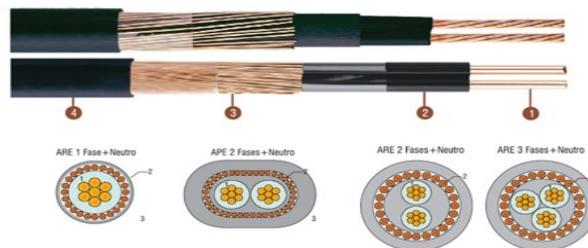
<p>Potencia directa</p> $PD = \frac{\left(\frac{VRS + VST + VTR}{3} \right) \cdot \left(\frac{IR + IS + IT}{3} \right) \cdot \sqrt{3}}{1000}$ <p>Potencia activa</p> $PA = \frac{N^{\circ} \text{ de Vueltas} \cdot 3600}{\frac{Rev}{kwh} \cdot \text{Tiempo}} \cdot \text{Factor de Multiplicacion}$ <p>Potencia reactiva</p> $PR = \frac{N^{\circ} \text{ de Vueltas} \cdot 3600}{\frac{Rev}{kvarh} \cdot \text{Tiempo}} \cdot \text{Factor de Multiplicacion}$ <p>Potencia del medidor</p> $S = \sqrt{[(PA)^2 + ([PR])^2]}$	<p>% de error relativo</p> $\%E = \frac{S - PD}{PD} \cdot 100$ <p>Factor de potencia</p> $FP = \frac{PA (kW)}{S (kVA)}$ <p>SIGLAS</p> <p>FP: Factor de Potencia PA: Potencia Activa PR: Potencia Reactiva PD: Potencia Directa S: Potencia Aparente Kva Rev: Revoluciones</p>
--	---

Fuente: Central Hidroeléctrica de Caldas (Chec) Norma de medida.

Cambio de acometidas:

Recordemos que la acometida es un cable o varios que conectan una red secundaria con el medidor del usuario, puede ser aérea o subterránea.

Figura 3-18: Cable Concéntrico.



Fuente: Central Hidroeléctrica de Caldas (Chec) Norma de medida.

Las acometidas se instalan en cable de neutro concéntrico, para evitar la manipulación del cliente y así poder controlar la interrupción de esta.

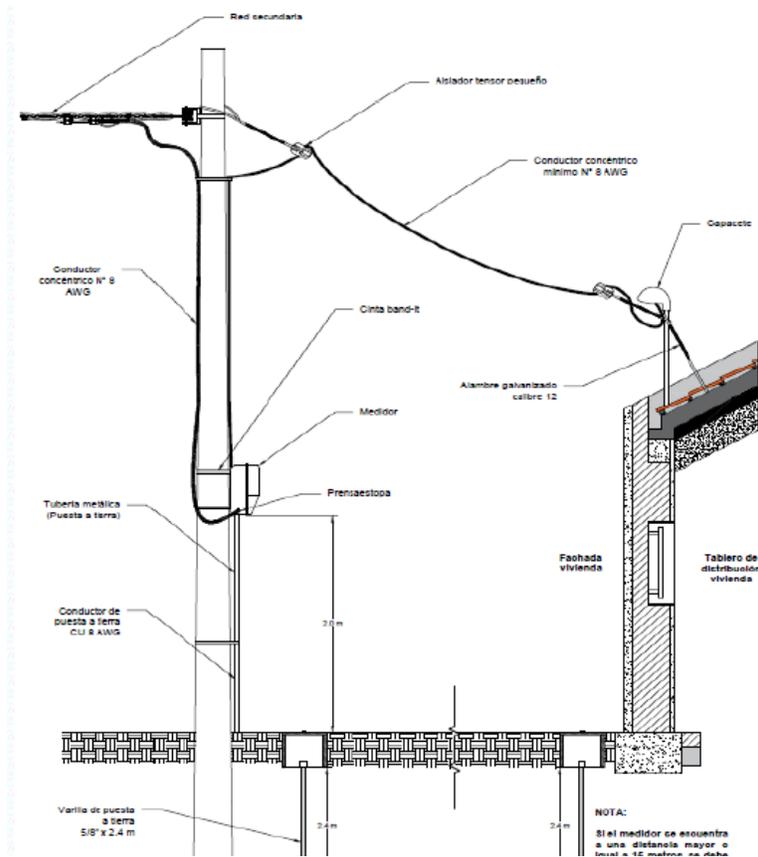
Figura 3-19: Selección de acometidas según medidor.

Sistema de Alimentación	Medidor Ib (I_{max})	Calibre conductor concéntrico AWG
Monofásico bifilar 120 V	Monofásico Bifilar 15(60)	1X8+8 AWG
Monofásico trifilar 120/240 V	Monofásico trifilar 15(60)	2X8+8 AWG
Monofásico trifilar 120/240 V	Monofásico trifilar 10(100)	2X4+4 AWG
Bifásico trifilar 120/208 V	Bifásico trifilar 5(100)	2X4+4 AWG
Trifásico tetrafililar 120/208 V	Trifásico 20(80)	3X6+6 AWG
Trifásico tetrafililar 120/208 V	Trifásico 5(100)	3X4+4 AWG

Fuente: Central Hidroeléctrica de Caldas (Chec) Norma de medida.

Si es el caso el medidor se traslada al poste como parte del control de pérdidas de la empresa prestadora de servicio.

Figura 3-20: Traslado medidor a poste control perdidas.



Fuente: Central Hidroeléctrica de Caldas (Chec) Norma de medida.

- ✓ **Control de pérdidas industriales:** es necesario hacer una planeación para las revisiones y el control de pérdidas a nivel industrial comenzando por un análisis de:

- ✓ Historial de revisiones.
- ✓ Comportamiento habitual de los consumos.
- ✓ Actividad económica.
- ✓ Factor multiplicador.
- ✓ Pérdidas asociadas al nodo si se cuenta con Macromedidor.

Posteriormente se hace un direccionamiento así:

- ✓ Direccionar usuarios que dejaron de funcionar.
- ✓ Direccionar usuarios que cambiaron de actividad económica.
- ✓ Direccionar industrias que ya han sido revisadas varias veces.
- ✓ Direccionamiento con alta dispersión geográfica afectando el rendimiento del grupo.

Una vez determinados los usuarios susceptibles de revisión por parte del grupo técnico de industria, se procede a generar una orden de trabajo para cada usuario.

El porcentaje mayoritario de revisiones de industria se efectúan sobre usuarios con sistemas de medida semidirecta los cuales se caracterizan por la utilización de transformadores de corriente y por presentar las siguientes especificaciones:

Generales:

- ✓ Aislamiento del circuito primario de corriente.
- ✓ Reducción de las magnitudes a medir.
- ✓ Permite la instalación de la medida a distancia de la subestación.

Técnicas:

- ✓ Deben impedir la manipulación de los elementos de medida.
- ✓ Garantizar el correcto funcionamiento.
- ✓ Potencia de los CT's en función de la utilización.

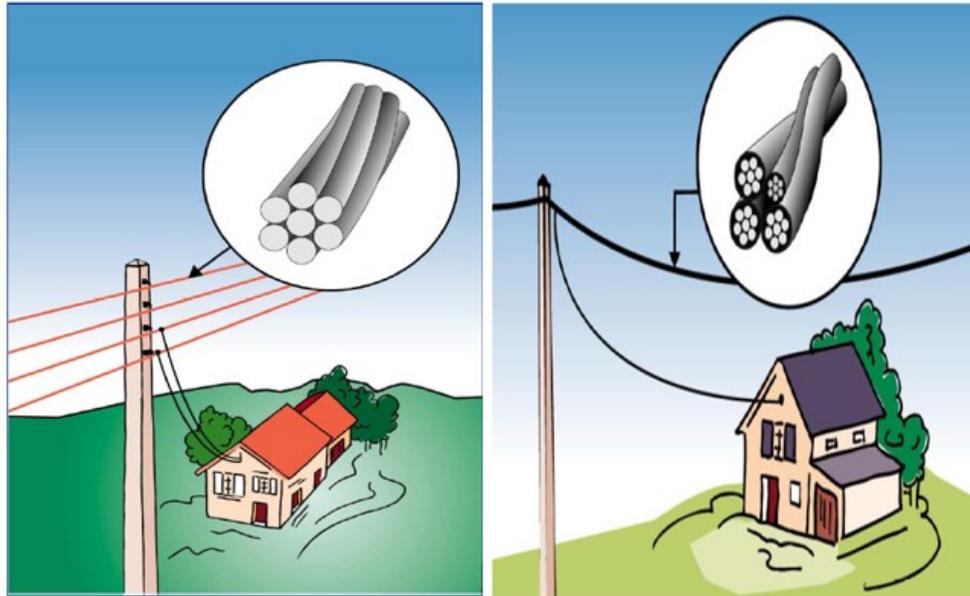
Figura 3-21: Ejemplo Medida Semidirecta.

Fuente: [El Autor].

Pruebas que se realizan en clientes industriales:

- ✓ Verificación de las conexiones.
 - ✓ Prueba de contraste de energía.
 - ✓ Contraste de Potencia Aparente (kVA) suministrada en la red contra potencia Aparente (kVA) registrados.
 - ✓ Contraste de kWh en la red contra kWh registrados en el medidor.
 - ✓ Prueba de relación de transformación de corriente RTC.
 - ✓ Prueba de relación de transformación de potencial RTP.
 - ✓ Prueba de continuidad.
 - ✓ Prueba en el numerador electromecánico.
 - ✓ Verificación con medidor patrón.
 - ✓ Reemplazo de los sellos retirados.
-
- ✓ **Cambio de redes secundarias de BT:** líneas construidas en cable ACSR desnudo con separación 20 cm son vulnerables a conexiones fraudulentas o pueden causar daños a personas o animales u ocasionar cortes por el crecimiento de la vegetación; es necesario el cambio por red trenzada semiaislada.

Figura 3-22: Grafico Red abierta desnuda-Red trenzada semiaislada.



Fuente: [El Autor].

4. Diseño y proyección para la construcción del Módulo Portátil de Medida Semidirecta

4.1 Descripción general del proyecto

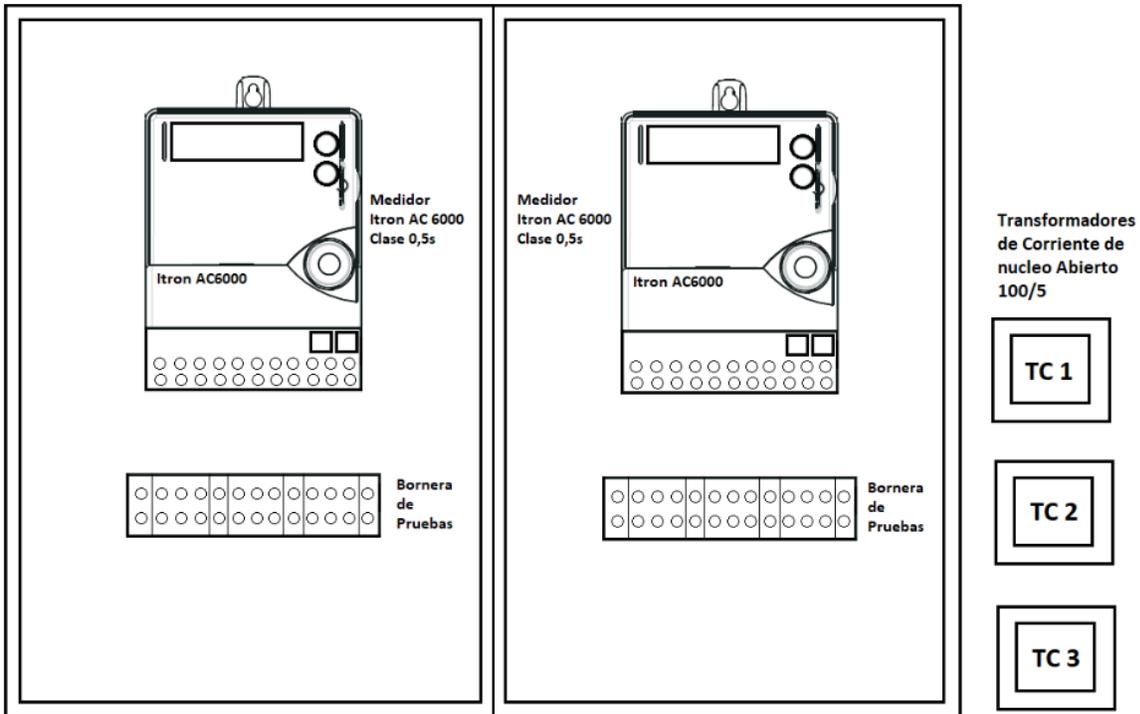
El Módulo portátil de medida semidirecta para análisis de cargas debe asegurar y salvaguardar la integridad física de las personas, en ningún momento este debe representar un riesgo, por lo cual, es recomendable que el soporte de los accesorios y elementos de medida, transformadores y cableado se realice sobre madera o fibra de vidrio.

Por consiguiente, se requiere que el módulo sea flexible, y como mínimo debe permitir realizar las prácticas de: cambio de cableado, invertir conexiones para identificación de posibles fallas del medidor o sus elementos, toma de medidas con la pinza amperimétrica y conexiones de sonda y cable UTP para configuración del medidor y conexión de telecomunicaciones. Los cables eléctricos utilizaran código de colores para su fácil identificación y manipulación.

Respecto a la herramienta necesaria para hacer las practicas se requiere un pela cables, Alicates, destornillador de estrella y de pala, uso de guantes y gafas para la protección de quien haga la práctica; al igual que una pinza amperimétrica para toma de medidas y un computador portátil para descarga de datos del medidor y cambio de configuración.

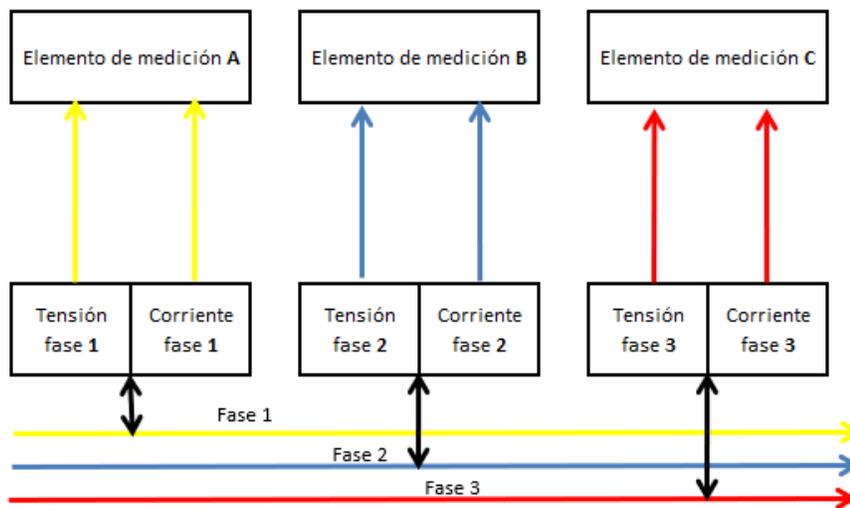
Finalmente, el módulo portátil está conformado por dos medidores trifásicos marca itron ACE 6000 clase 0,5s, 3 transformadores de corriente de núcleo abierto, 2 borneras de pruebas, cableado, pinzas aisladas para conexión de la alimentación. Para hacer este portable se instala en una maleta de madera para su fácil traslado e instalación en los equipos a medir.

Figura 4-1: Modulo Portátil de Medida.



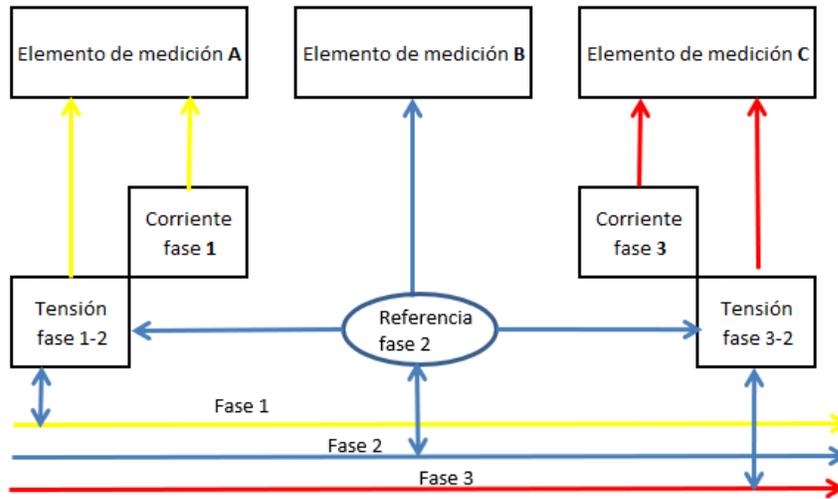
Fuente: El Autor.

Figura 4-2: Diagrama conexión medidor 3 elementos



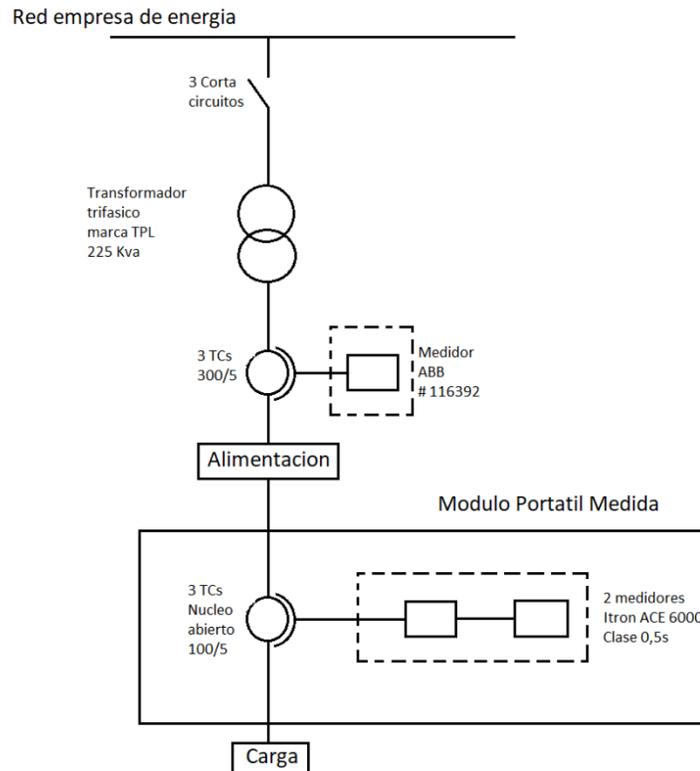
Fuente: El Autor.

Figura 4-3: Diagrama conexión medidor 2 elementos



Fuente: El Autor.

Figura 4-4: Diagrama Unifilar.



Fuente: El Autor.

4.2 Materiales

Para la construcción del El Módulo portátil de medida semidirecta para análisis de cargas en una instalación eléctrica se debe comprar los siguientes elementos por parte de los alumnos que lo vayan a ejecutar ya que la universidad no cuenta con ellos y los recursos provendrán de los estudiantes, a continuación, está el listado de los materiales:

2 medidores de energía ITRON ACE 6000.

2 borneras de Pruebas.

3 transformadores de Corriente núcleo abierto 100/5.

50 metros de cable # 12 AWG Amarillo.

50 metros de cable # 12 AWG Azul.

50 metros de cable # 12 AWG Rojo.

50 metros de cable # 12 AWG Blanco.

50 metros de cable # 12 AWG Verde.

200 terminales cable # 12.

60 metros de cable # 12 tres hilos encauchetado.

2 cables RS232 a RJ45.

2 cables USB 2.0 a RS232 9 pines.

8 terminales aislados tipo caimán.

1 sonda óptica.

½ hoja de madeflex de 15mm.

50 tornillos drywall.

2 bisagras metálicas.

4.3 Elementos Constructivos

Maleta de Madera:

Se deberá construir una maleta de madera de dimensiones ancho 30cmx30cm, alto 50cm y profundidad 30cm; esta maleta estará fraccionada en dos partes de igual tamaño y en cada una ira instalado un medidor y una bornera de pruebas por fracción.

Elementos de Medida:

A continuación, se muestran los elementos que se requieren para la realización el módulo portátil de medida y sus especificaciones técnicas se encuentran en el anexo C.

Figura 4-5: Imágenes Elementos del módulo.

<p style="text-align: center;">Medidor</p> 	<p style="text-align: center;">TC 100/5</p> 	<p style="text-align: center;">Bornera Pruebas</p> 
<p style="text-align: center;">Sonda Optica</p> 	<p style="text-align: center;">Terminales</p> 	<p style="text-align: center;">Cable # 12 AWG</p> 
<p style="text-align: center;">Cable RS232 a RJ45</p> 	<p style="text-align: center;">Cable USB a RS232</p> 	<p style="text-align: center;">Cable 3 hilos Aislado</p> 

Fuente: [El Autor].

4.4 Guía de Uso

Al Abrir la Maleta de madera se encontrará el módulo portátil de medida semidirecta con dos medidores, dos borneras de prueba, tres transformadores de corriente de núcleo abierto, una sonda óptica, 2 cables UTP (Patch Cord) y diferentes grupos de cable por colores para conexiones entre elementos.

Inicialmente no hay conexión alguna entre los componentes ya que estas se harán en las prácticas de laboratorio.

Para hacer las practicas se debe contar con elementos:

Elementos de protección personal: gafas y guantes.

Herramientas de mano: alicate, pinza pela cable, destornillador de pala y destornillador de estrella, cinta aislante y cinta de enmascarar.

Equipos: pinza amperimétrica, computador con software ACE Pilot 4.4 instalado y configurado.

Otros: libreta de apuntes, lapicero y guía de la práctica a realizar.

La conexión del sistema de medida se describe en el Anexo B y mínimo para obtener lectura se debe contar con dos fases y el neutro (conexión en V), para cargas monofásicas el medidor no es adecuado.

La energización del módulo portátil de medida es el último paso, siendo el primero la conexión de todo el cableado eléctrico y la instalación de los TCs.

Dado que las practicas no solo son de cablear y comprobar el funcionamiento del medidor en cada una de sus configuraciones, sino, que requiere toma de datos del medidor estando energizado es recomendable hacerlo con todo el cuidado del caso ya que se encuentran energizados todos sus elementos.

4.5 Precauciones

Antes de realizar cualquier conexión o esquema eléctrico, asegúrese de que el módulo este completamente desconectado y des energizado.

Cuando no se esté haciendo uso de la medida, los TCs deben estar con el secundario (S1 y S2) cortocircuitado, por ningún motivo estos terminales deben quedar abiertos.

Antes de la realización de cualquier esquema tome la precaución de conectar a tierra los equipos que lo requieren, y que esta actividad sea la última a la hora de desmontar la práctica.

Se recomienda hacer seguimiento continuo a la conexión de los elementos del módulo que las conexiones sean las de la práctica a realizar.

Cerciórese de utilizar correctamente los transformadores de corriente verificando conexiones y cierres para evitar que se quemen.

Tenga presente que para hacer estas prácticas se requiere que el o los medidores integren ósea almacenen consumo de energía por un intervalo de 60 min.

Las borneras cortocircuitables son tipo lengüeta, al cerrarlas se dejan en corto circuito los TCs previniendo daños.

Las lengüetas de las borneras son las últimas que se abren para energizar el medidor.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- En el presente trabajo se diseñó y se proyectó la construcción de un módulo portátil para prácticas de laboratorio con sistema de medida semidirecta con el propósito de entregar a la universidad Antonio Nariño sede Manizales un recurso que pueda facilitar al estudiante el desarrollo de conocimientos eléctricos de manera integral a través de la utilización del módulo de medida.
- Ya que el módulo portátil de medida requiere la interacción de los estudiantes que ejecutan la práctica de laboratorio, ellos son los que implementan las conexiones de los cables y la programación e identificación de casos de malas conexiones, pérdidas de energía y análisis de fasoriales; que permitirá que el estudiante se familiarice con dispositivos y elementos utilizados en la actualidad.
- Para la programación y configuración del medidor se requiere la instalación del software del medidor Itron ACE 6000 llamado ACE Pilot 4.4 en un computador y la utilización de una sonda óptica de lectura o cable RS232 a USB-RS232 a RJ45.
- Se elaboraron seis prácticas de laboratorio que permiten el análisis de conexiones correctas e incorrectas de medidores, permitiendo por medio de un análisis matemático y práctico la identificación de pérdidas de energía en los medidores de energía, al igual que otros usos que podría tener el módulo portátil de medida como analizador de redes.

5.2 Recomendaciones

- En la actualidad en la universidad existe un tablero didáctico que tiene espacio y cuenta con un motor, un medidor y 3 transformadores de corriente, este puede ser utilizado para nuevas prácticas que los futuros estudiantes quieran realizar.
- Es importante estar actualizado frente a normas constructivas y de diseño para módulos de medida dado que los avances en la tecnología llevan consigo nuevas necesidades y oportunidades de cambio en protocolos de comunicación, lecturas y medidas en tiempo real, supervisión y nuevos dispositivos de red.
- Para realizar la implementación del módulo portátil de medida es importante que sean dos o más los estudiantes que participen ya que el costo del proyecto es alto.
- A pesar que se elaboraron seis prácticas de laboratorio, con la integración de un modem y una tarjeta simcard al módulo se pueden aumentar el número de prácticas.
- Par la utilización de una carga de un motor asíncrono trifásico como carga se recomienda la utilización de otro motor de DC para su frenado.

5.3 Practicas

Para conectarse al medidor es necesario descargar en el computador el Software ACE Pilot 4.4 de la siguiente página <https://ace-pilot.software.informer.com/4.4/> y seguir los pasos que indica.

Cundo el software ACE Pilot este instalado conectar a un puerto USB la sonda óptica para ser configurada y a otro puerto USB los cables combinados RS232 a USB-RS232 a RJ45.

Figura 5-1: Conexión Sonda Óptica.



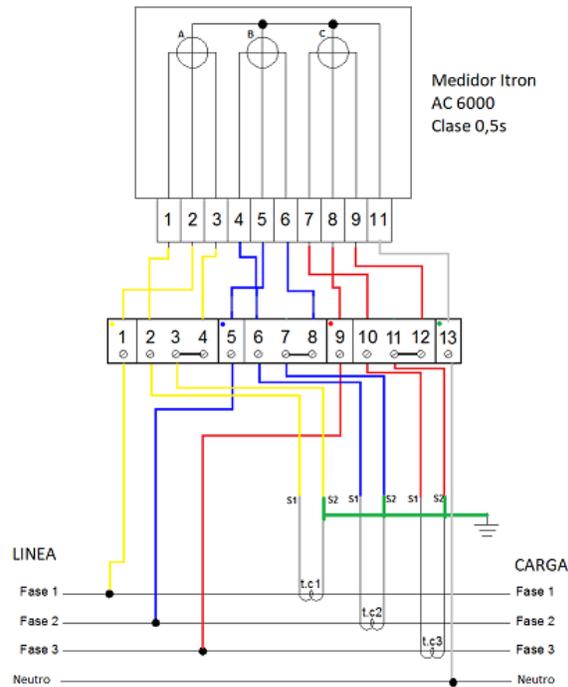
Fuente: [El Autor].

- Practica # 1. Conexión de un medidor a tres elementos.

Inicialmente se debe conectar el medidor 1 a una fuente de energía a 110V con una extensión en los bornes 11 y 2 del medidor.

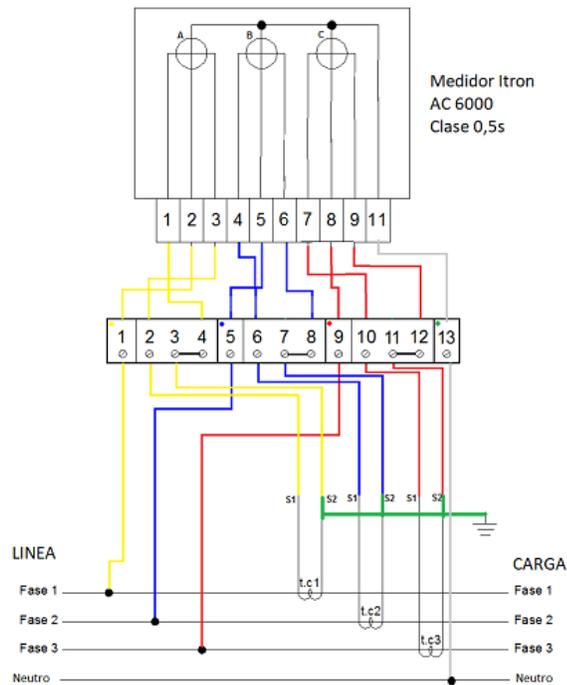
Una vez el medidor este encendido, ilumine el display:

1. Conectar el medidor al computador por medio de la sonda óptica y descargar la configuración.
2. Conectar el medidor al computador por medio del par de cables de conversión USB-RS232-RJ45 y descargar la configuración.
3. Guardar los datos de la configuración en el computador.
4. Desconectar el medidor de la extensión.
5. De acuerdo al siguiente esquema realizar la conexión en el medidor 1. Se requiere una instalación Trifásica.

Figura 5-2: Conexión a tres elementos

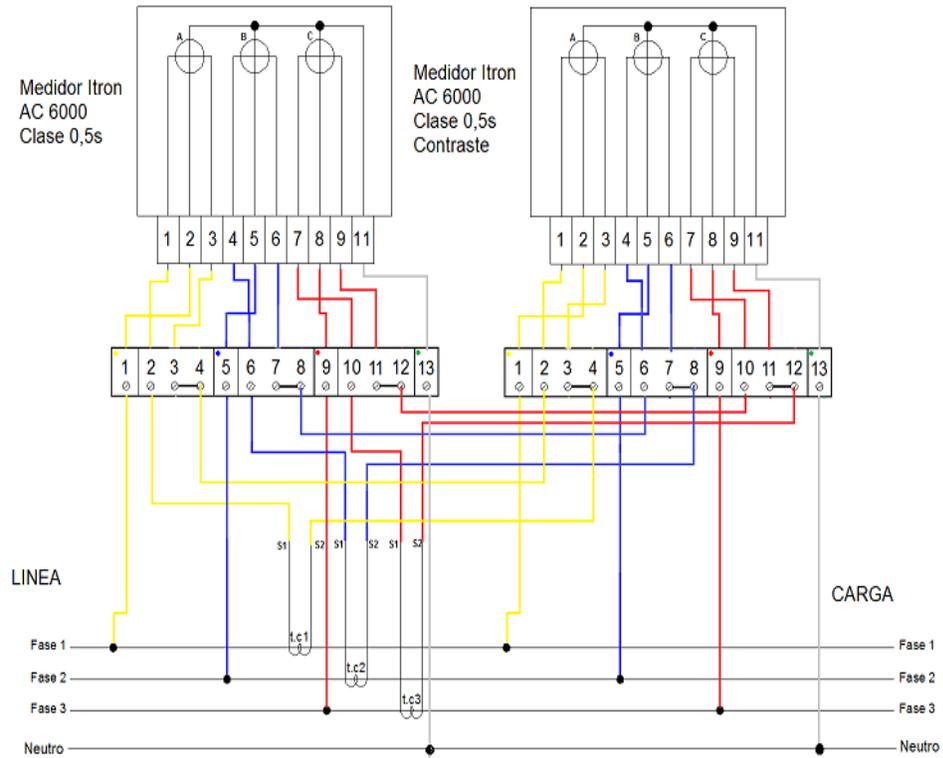
Los Transformadores de corriente son de núcleo abierto se deben ubicar la entrada de la corriente por P1 y la salida por P2.

6. Conectar el medidor al computador por medio de la sonda óptica o por medio del cable USB-RS232-RJ45, descargar la configuración, la lectura inicial y el fasorial.
7. Dejar que el medidor integre por 60 minutos.
8. Después de pasados los 60 min volver a conectarse con el medidor y descargar perfiles de carga, configuración y fasorial.
9. Comparar analíticamente los resultados obtenidos con los principios matemáticos de fasoriales y comportamiento de cargas descritos en el marco teórico.
10. De acuerdo al siguiente esquema realizar la conexión en el medidor 2. Se requiere una instalación Trifásica.

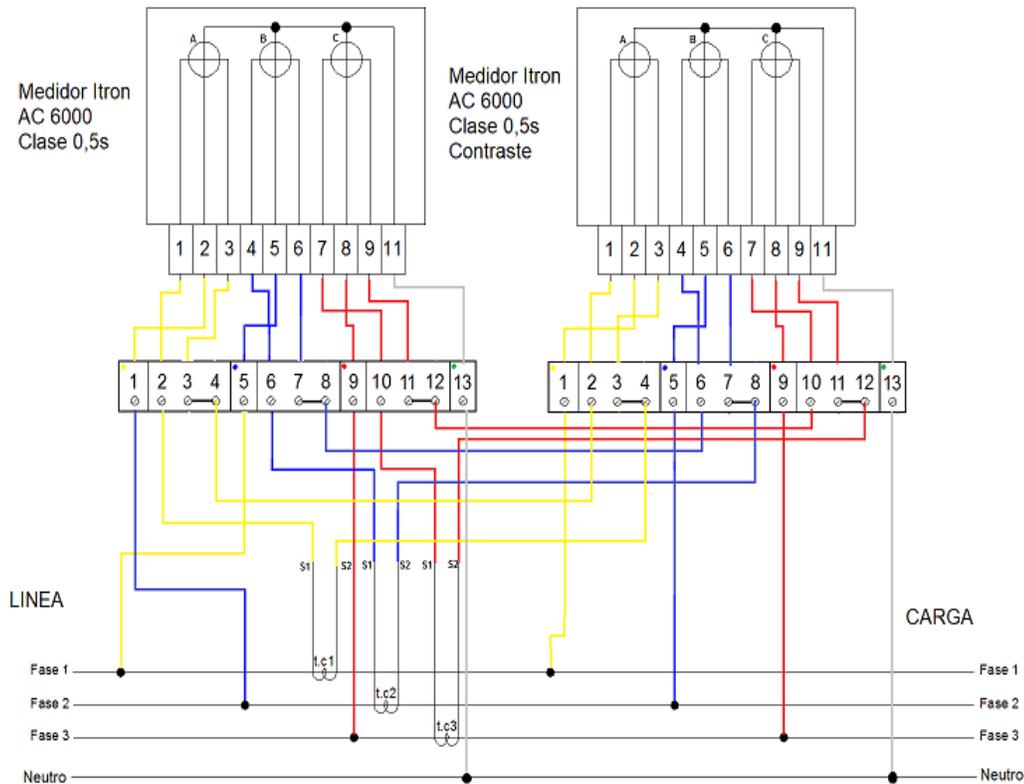
Figura 5-3: Conexión tres elementos señal TC invertida.

11. Conectar el medidor al computador por medio de la sonda óptica o por medio del cable USB-RS232-RJ45, descargar la configuración, la lectura inicial y el fasorial.
12. Dejar que el medidor integre por 60 minutos.
13. Después de pasados los 60 min volver a conectarse con el medidor y descargar perfiles de carga, configuración y fasorial.
14. Comparar analíticamente los resultados obtenidos con los principios matemáticos de fasoriales y comportamiento de cargas descritos en el marco teórico.
15. Comparar analíticamente los resultados de la conexión del medidor 1 con el medidor 2.

- Practica # 2. Conexión de dos medidores a tres elementos.
 1. De acuerdo al siguiente esquema realizar la conexión en el medidor 1 y 2. Se requiere una instalación Trifásica.

Figura 5-4: Conexión dos medidores 3 elementos.

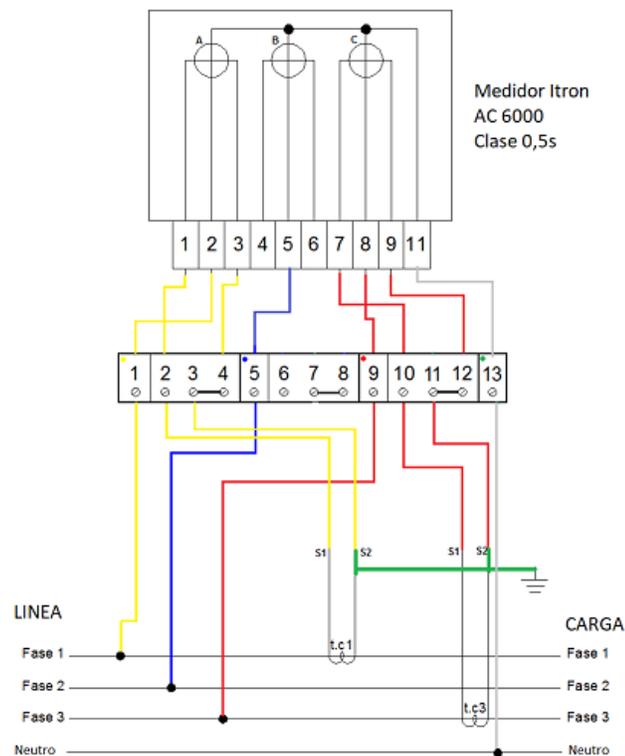
2. Conectar el medidor 1 al computador por medio de la sonda óptica o por medio del cable USB-RS232-RJ45, descargar la configuración, la lectura inicial y el fasorial.
3. Conectar el medidor 2 al computador por medio de la sonda óptica o por medio del cable USB-RS232-RJ45, descargar la configuración, la lectura inicial y el fasorial.
4. Dejar que ambos medidores integren por 60 minutos.
5. Después de pasados los 60 min volver a conectarse con el medidor 1 y luego con el medidor 2 descargar perfiles de carga, configuración y fasorial.
6. Comparar analíticamente los resultados obtenidos con los principios matemáticos de fasoriales y comportamiento de cargas descritos en el marco teórico.
7. De acuerdo al siguiente esquema realizar la conexión. Se requiere una instalación Trifásica.

Figura 5-5: Conexión 2 medidores 3 elementos señal tensión invertida.

8. Conectar el medidor 1 al computador por medio de la sonda óptica o por medio del cable USB-RS232-RJ45, descargar la configuración, la lectura inicial y el fasorial.
 9. Conectar el medidor 2 al computador por medio de la sonda óptica o por medio del cable USB-RS232-RJ45, descargar la configuración, la lectura inicial y el fasorial.
 10. Dejar que ambos medidores integren por 60 minutos.
 11. Después de pasados los 60 min volver a conectarse con el medidor 1 y luego con el medidor 2 descargar perfiles de carga, configuración y fasorial.
 12. Comparar analíticamente los resultados obtenidos con los principios matemáticos de fasoriales y comportamiento de cargas descritos en el marco teórico.
 13. Comparar analíticamente los resultados de la conexión 1 y la conexión 2.
- Practica # 3. Conexión de un medidor a dos elementos.

1. Conectar el medidor al computador por medio de la sonda óptica y descargar la configuración.
2. Conectar el medidor al computador por medio del par de cables de conversión USB-RS232-RJ45 y descargar la configuración.
3. Guardar los datos de la configuración en el computador.
4. Desconectar el medidor de la extensión.
5. De acuerdo al siguiente esquema realizar la conexión en el medidor 1. Se requiere una instalación Trifásica.

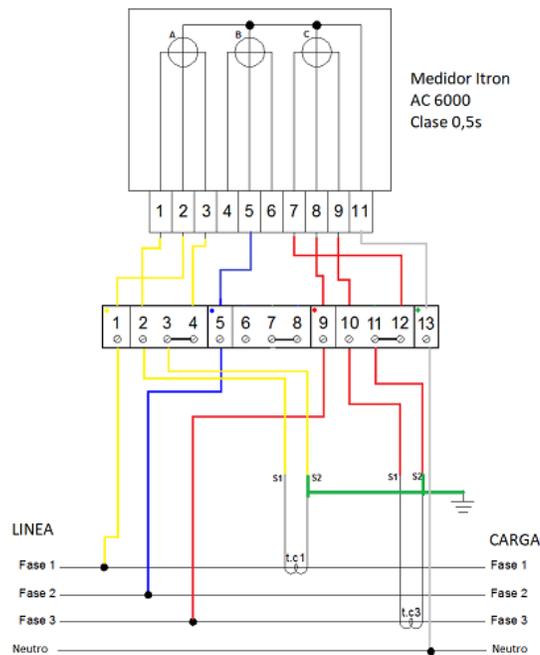
Figura 5-6: Conexión 1 medidor dos elementos.



6. Conectar el medidor al computador por medio de la sonda óptica o por medio del cable USB-RS232-RJ45, descargar la configuración, la lectura inicial y el fasorial.
7. Dejar que el medidor integre por 60 minutos.
8. Después de pasados los 60 min volver a conectarse con el medidor y descargar perfiles de carga, configuración y fasorial.

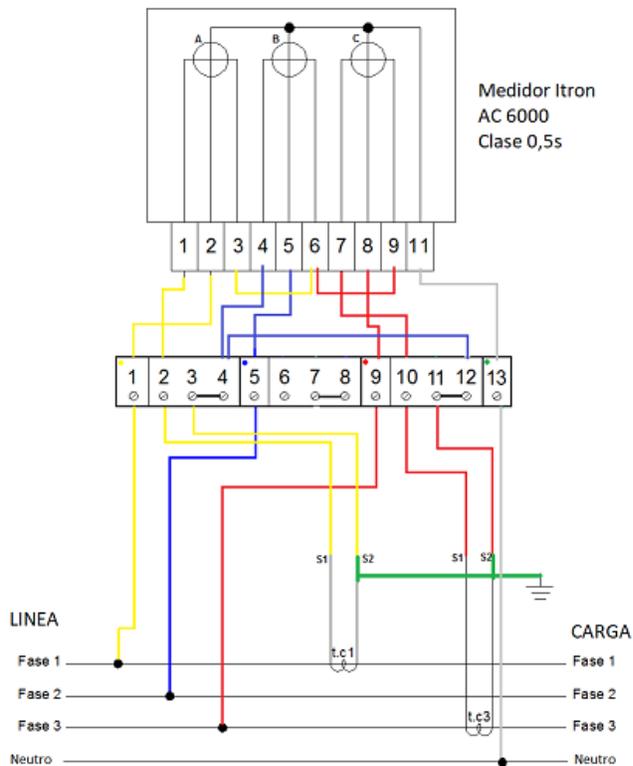
9. Comparar analíticamente los resultados obtenidos con los principios matemáticos de fasoriales y comportamiento de cargas descritos en el marco teórico.
10. Realizar la misma conexión del esquema D-6 en el medidor 2.
11. Conectar el medidor 2 al computador por medio de la sonda óptica o por medio del cable USB-RS232-RJ45, descargar la configuración, la lectura inicial y el fasorial. Cambiar la configuración de 3 fases 4 hilos a 3 fases 3 hilos.
12. Dejar que el medidor integre por 60 minutos.
13. Después de pasados los 60 min volver a conectarse con el medidor y descargar perfiles de carga, configuración y fasorial.
14. Comparar analíticamente los resultados obtenidos con los principios matemáticos de fasoriales y comportamiento de cargas descritos en el marco teórico.
15. Comparar analíticamente los resultados del medidor 1 con los resultados del medidor 2.
16. De acuerdo al siguiente esquema realizar la conexión en el medidor 2.

Figura 5-7: Conexión 1 medidor dos elementos señal TC invertida.



17. Conectar el medidor 2 al computador por medio de la sonda óptica o por medio del cable USB-RS232-RJ45, descargar la configuración, la lectura inicial y el fasorial. Cambiar la configuración de 3 fases 4 hilos a 3 fases 3 hilos.
 18. Dejar que el medidor integre por 60 minutos.
 19. Después de pasados los 60 min volver a conectarse con el medidor y descargar perfiles de carga, configuración y fasorial.
 20. Comparar analíticamente los resultados obtenidos con los principios matemáticos de fasoriales y comportamiento de cargas descritos en el marco teórico.
 21. Comparar analíticamente los resultados del medidor 1 con los resultados del medidor 2.
- Practica # 4. Conexión de un medidor a dos elementos con sumatoria.
 1. De acuerdo al siguiente esquema realizar la conexión en el medidor 1. Se requiere una instalación Trifásica.

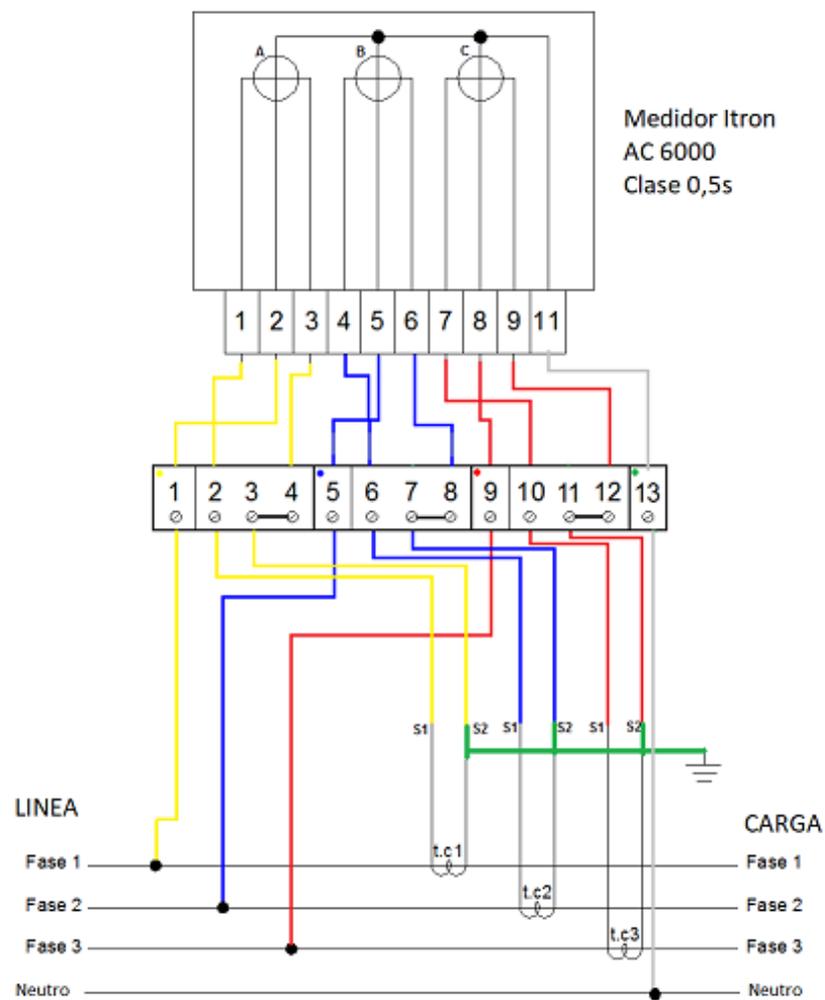
Figura 5-8: Conexión medidor con sumatoria de corrientes.



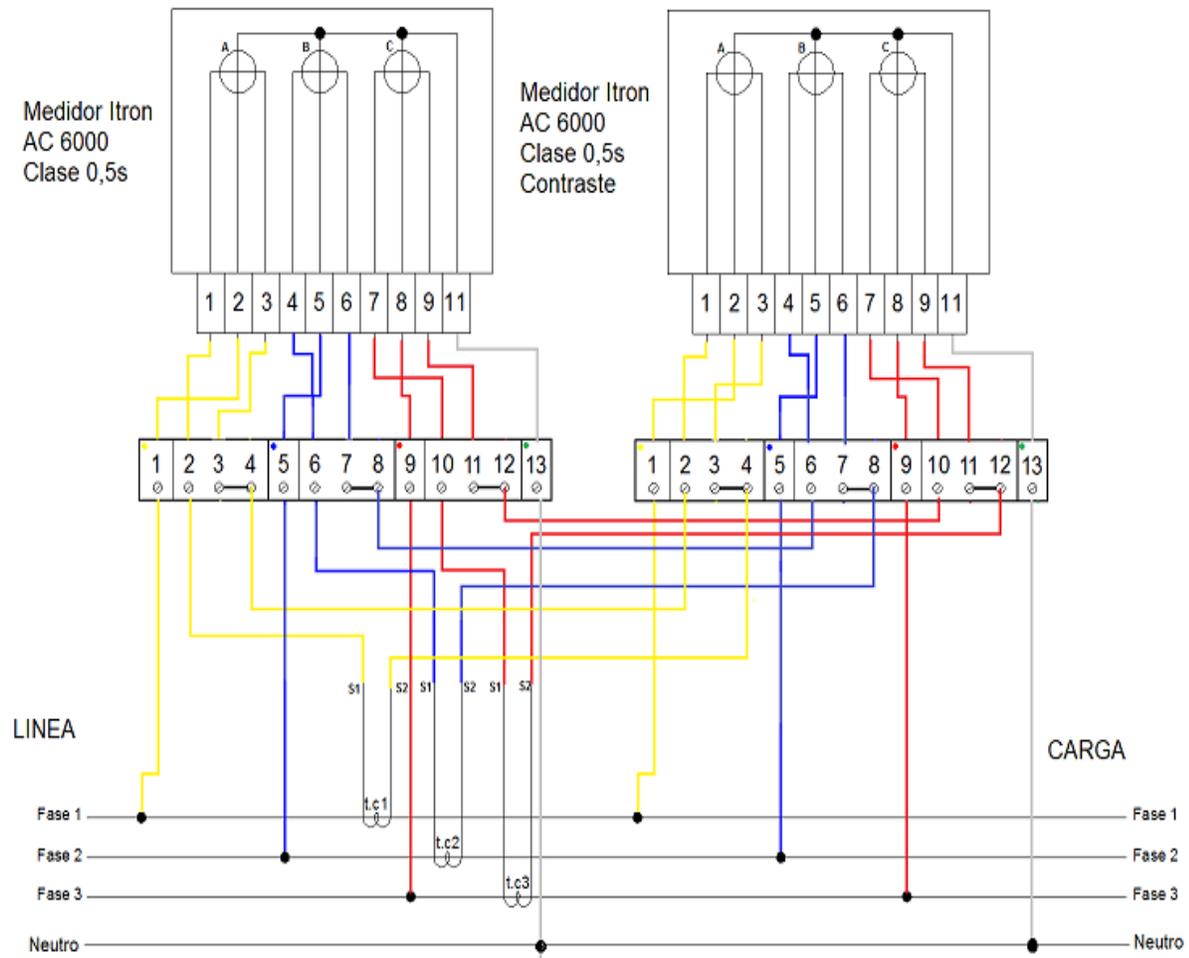
2. Conectar el medidor 1 al computador por medio de la sonda óptica o por medio del cable USB-RS232-RJ45, descargar la configuración, la lectura inicial y el fasorial.
 3. Conectar el medidor 2 al computador por medio de la sonda óptica o por medio del cable USB-RS232-RJ45, descargar la configuración, la lectura inicial y el fasorial.
 4. Dejar que ambos medidores integren por 60 minutos.
 5. Después de pasados los 60 min volver a conectarse con el medidor 1 y luego con el medidor 2 descargar perfiles de carga, configuración y fasorial.
 6. Comparar analíticamente los resultados obtenidos con los principios matemáticos de fasoriales y comportamiento de cargas descritos en el marco teórico.
- Practica # 5. Conexión del módulo al transformador trifásico de la subestación de la universidad Analizador de redes.
 1. Realizar los pasos de la práctica 1 pero dejamos el medidor integrando 8 días.
 2. Tomar los datos de lecturas de los medidores ABB y Macromedidor presentes en la subestación.
 3. Comparamos los resultados con el medidor existente en la subestación marca ABB y el Macromedidor de la empresa CHEC.
 - Practica # 6. Conexión del módulo al tablero didáctico existente.
 1. Realizar los pasos de la práctica # 2.
 2. Tomar los datos de lecturas del medidor Elster del tablero didáctico existente.
 3. Comparamos los resultados del medidor del tablero didáctico y los del módulo de medida.

A. Anexo: Diagramas

Figura A-1: Conexión Semidirecta medidor trifásico asimétrico 3 TCs.

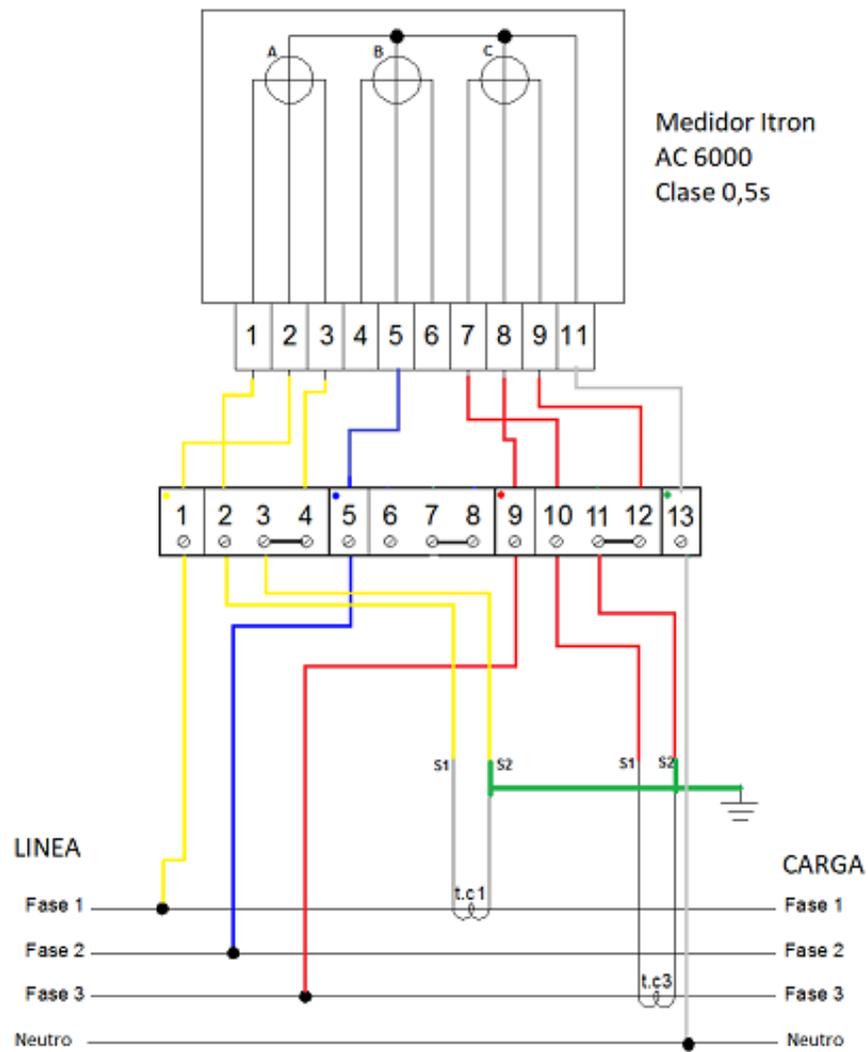


Fuente: [El Autor].

Figura A-2: Diagrama Conexión con medidor contraste.

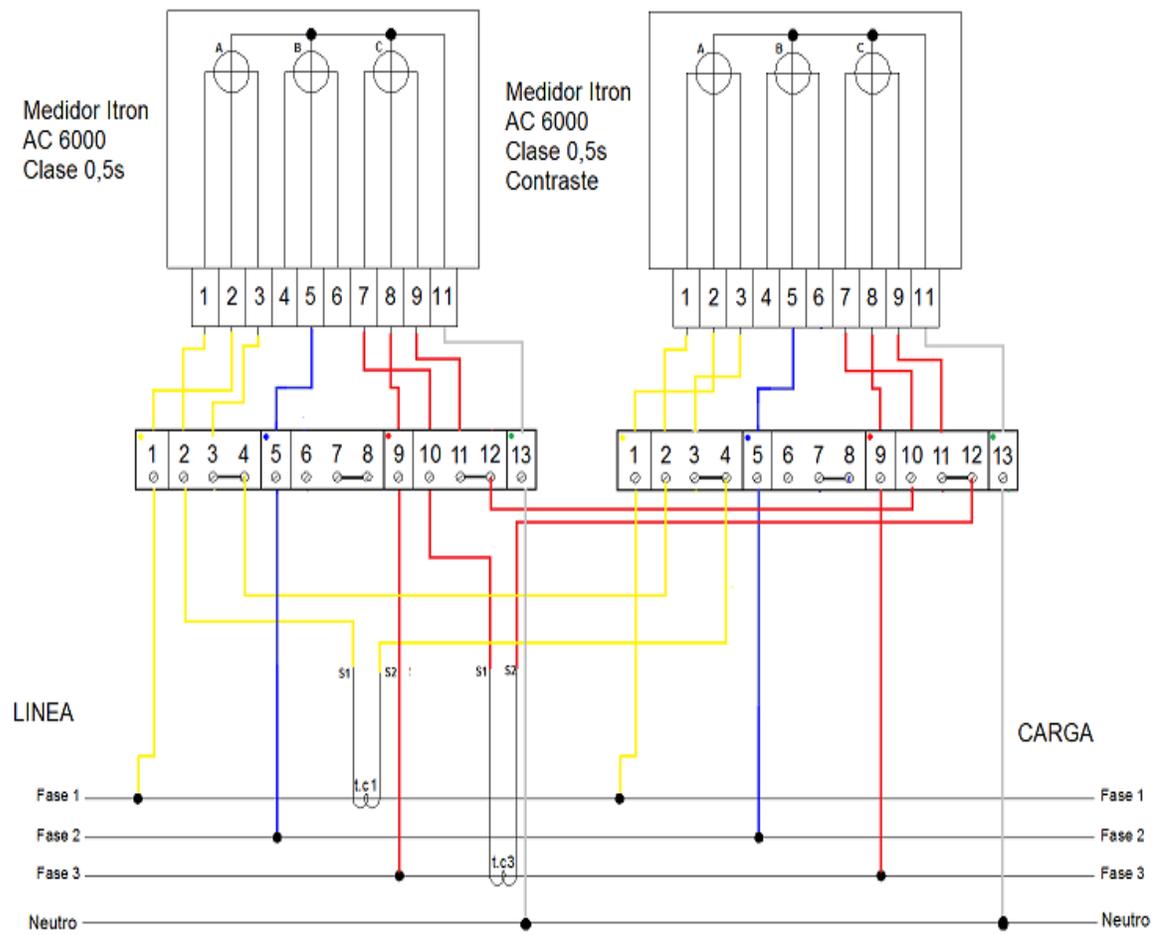
Fuente: [El Autor].

Figura A-3: Diagrama Conexión medidor dos elementos.

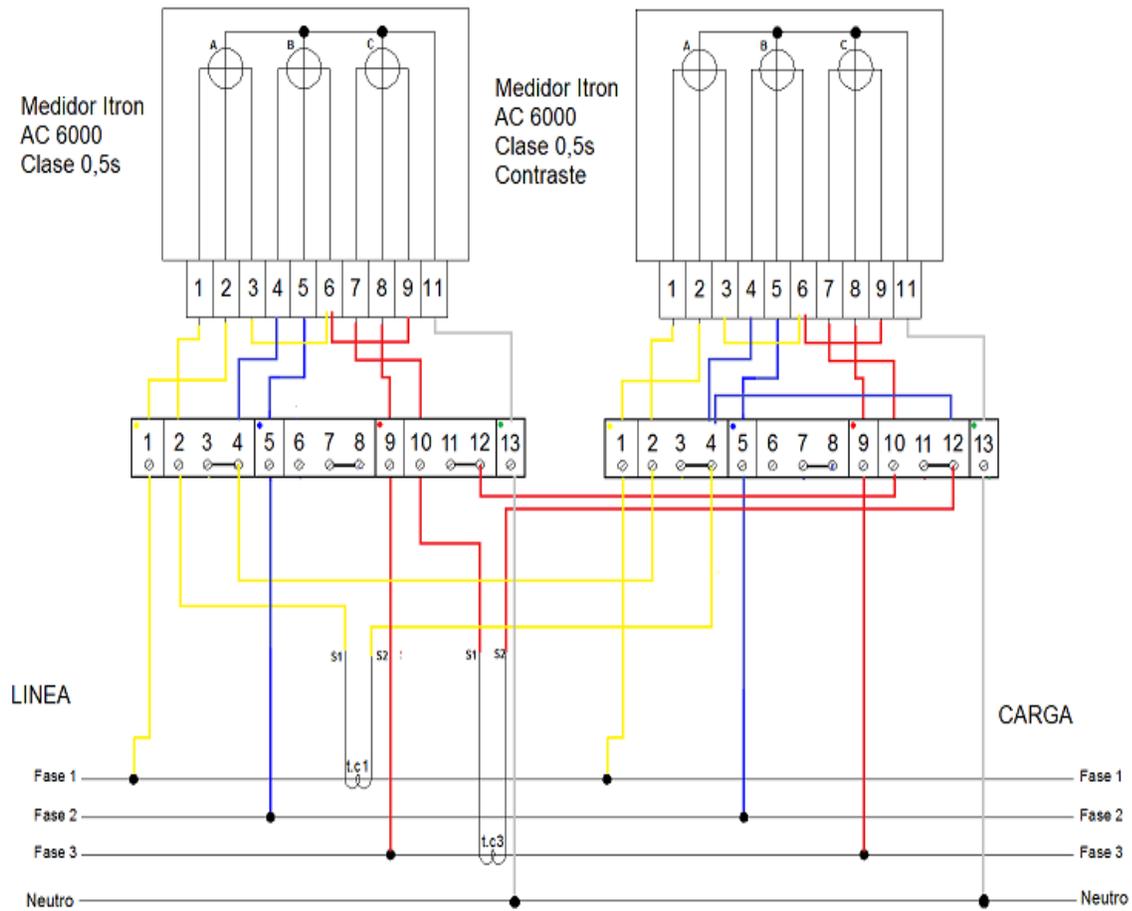


Fuente: [El Autor].

Figura A-5: Diagrama Conexión Medidor Dos Elementos.



Fuente: [El Autor].

Figura A-6: Diagrama Conexión dos medidores dos elementos con sumatoria.

Fuente: [El Autor].

B. Anexo: Características Técnicas Equipos

Medidor Itron AC6000:

Figura B-1: Datos Técnicos Medidor AC6000

Datos Técnicos

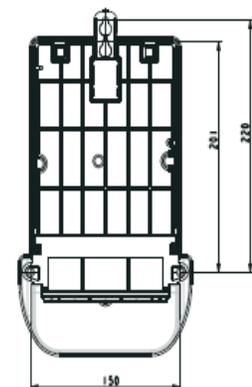
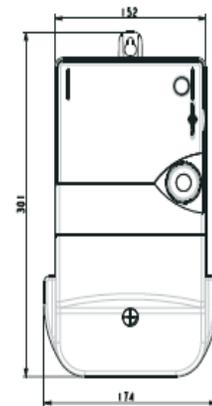
Especificaciones nominales	Tensión:	Auto-rango de 3*57.7/100V hasta 3*240/415V
	Corriente directa:	Ib 5A, I _{max} 100A (bajo condiciones de cableado especial)
	Conexión CT:	Ib 1A, I _{max} 10A
Tipos de red	Conexión directa:	Medidor con cableado de 4 conductores, completamente funcional con conexión de cable de 3 conductores sin neutro.
	Conexión C/t, v/t	Conexiones configurables de 3 y 4 conductores
Exactitud	Conexión directa:	Energía activa clase 1
	Transformador conectado:	Clase de energía activa 0.5S y Clase 1
	Energía reactiva:	Clase 2
Frecuencia	50 / 60 Hz	
Rango de temperatura	desde -40°C hasta +70°C	
Reloj en tiempo real	Copia de seguridad con batería extraíble externa e interna supercapacitor en cumplimiento con IEC 61038	
Estándares	Total cumplimiento con IEC62052-11 e IEC 62053-21/22/23 y los estándares de marcado CE (mecánico, climático, eléctrico, electromecánico, metroológico)	
Comunicaciones	Puerto IR (IEC 62056/21 e IEC 62056/42-46-53-61-62) RS232C o RS485 Protocolo DLMS-Cosem, (IEC 62056/42-46-53-61-62)	

Accesorios

Comunicaciones	Módem telefónico externo
	Cableado para dispositivos de comunicaciones externas
	Dispositivo de lectura IR para conexión a la PC
Configuración/calibración	Software de utilidad AIMS PRO para configuración y lectura
Documentación	Certificado de prueba
	Guía del usuario
	Manual de instalación

Por favor tenga en cuenta que estas especificaciones son válidas sólo con posterior confirmación de Itron.

Dimensiones



Sonda Óptica:

Figura B-6: Datos Técnicos Sonda Óptica



Estándar:	• Norma IEC 62056-21 (antigua IEC1107)
Interfaz:	Óptico infrarrojo
Conector:	Conector USB con USB 2,0 estándar
Máximo B R:	Para 38400bps
Cierre:	La fuerte adhesión magnética cumple con IEC62056-21
Computadora compatibilidad:	Windows 2000, Windows XP Windows Vista Windows 7 Windows 8
Cable: Cable	Cable recto de 2 metros (6,5 pies).
Medio ambiente:	-15 °C ~ 80 °C (5 °F - 176 °F)

Bibliografía

1. Diez Henao, C. M. (2011). Instalaciones Eléctricas. Universidad Nacional de Colombia: CIDET.
2. ICONTEC. Código Eléctrico Colombiano. Norma NTC 2050 Actualización 2002.
3. Ministerio de Minas y Energía, Resolución 18 1294 del 6 de agosto de 2008, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas-RETIE.
4. Ministerio de Minas y Energía, Resolución CREG 038 del 20 de marzo de 2014, Código de Medida.
5. Ministerio de Minas y Energía, Resolución CREG 030 del 26 de febrero de 2018, Solicitud de conexión para Auto generadores a Pequeña Escala (AGPE) y Generación Distribuida (GD).
6. ICONTEC. Equipos de Medición de Energía Eléctrica (c.a.). Requisitos Particulares. Norma Técnica NTC 2147 del 26 de noviembre de 2003.
7. ISO. Gestión de la energía. Norma ISO 50001 de 2011
8. Ministerio de Minas y Energía, Resolución CREG 156 del 17 de noviembre de 2011, Reglamento de Comercialización del servicio público de energía eléctrica.
9. Ministerio de Minas y Energía, Resolución CREG 157 del 17 de noviembre de 2011, Registro de Fronteras comerciales.

10. Ministerio de Minas y Energía, Resolución CREG 015 del 29 de enero de 2018, Remuneración de la actividad de distribución al de Sistema Interconectado Nacional.
11. Ministerio de Minas y Energía, Resolución CREG 033 del 01 de abril de 2019, modifican parcialmente las resoluciones CREG 157 de 2011 y 038 de 2014.
12. ICONTEC. Transformadores de Medida, Transformadores de corriente. Ensayos y Requisitos. Norma Técnica NTC 2205 del 29 de septiembre de 2004.
13. ICONTEC. Transformadores de Medida, Transformadores de Tensión Inductivos. Ensayos y Requisitos. Norma Técnica NTC 2207 del 29 de septiembre de 2004.
14. ICONTEC. Selección de equipos de medición de energía eléctrica. Características de los equipos de medida. Norma Técnica NTC 5019 del 21 de marzo de 2007.
15. Ospina, Edison y Gómez, Wagner (2011). Estado del arte de la medida centralizada de energía eléctrica en la ciudad de Cartagena. Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia.
16. Enel Colombia, Sistema de medida centralizada. <https://ikinormas.micodensa.com>.
17. Chec grupo Epm, Norma de medida. <https://www.chec.com.co/Portals/0/documentos/normasdisenoconstruccion/7.NORMA%20DE%20MEDIDA.pdf>.
18. Vega Energy, Esquema general del sistema de Medida Centralizada. <http://www.vega.com.co>.
19. CODIGO PENAL COLOMBIANO, LEY 599 DE 2000, Capitulo IV Art. 256 Defraudación de fluidos.
20. Ministerio de Minas y Energía, Resolución CREG 172 del 01 de diciembre de 2011, Metodología para la implementación de los Planes de reducción de pérdidas no técnicas en los Sistemas de Distribución Local.

- 21.** Villa Aguirre, German (2011). Anteproyecto Tecnología para el control y reducción de pérdidas de energía EPM. Universidad de Antioquia, Colombia.
- 22.** Ministerio de Minas y Energía, Resolución CREG 070 del 28 de mayo de 1998, Reglamento operación sistema interconectado.