

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DIDÁCTICA DE MEDIDA EN MEDIA
TENSIÓN

FRANCIS COBO GARCÍA
WILSON ARLEY MONTOYA URREA

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2017

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DIDÁCTICA DE MEDIDA EN MEDIA
TENSIÓN

FRANCIS COBO GARCÍA
WILSON ARLEY MONTOYA URREA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ELÉCTRICA

DOCENTE
JORTÍN VARGAS ORTEGA
MAGISTER

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN

2017

Tabla de Contenidos

Introducción	1
Planteamiento del problema.....	3
Justificación.....	5
Objetivos	8
Objetivo General	8
Objetivos Específicos	8
Marco Teórico	9
3.1 Energía eléctrica	9
3.2 Descripción del sistema de energía eléctrica	11
3.2.1 Generación	12
3.2.2 Transporte	12
3.2.3 Distribución	16
3.3. Subestaciones de energía eléctrica	17
3.3.1 Principales equipos de una subestación eléctrica	17
3.3.2 Criterios generales de protección de las subestaciones eléctricas	19
3.3.3 Clasificación de las subestaciones eléctricas	20
3.3.3.1 De acuerdo con su función	20
3.3.3.2 De acuerdo con su nivel de tensión	21
3.3.3.3 De acuerdo con el tipo de aislamiento	21
3.3.3.4 De acuerdo con su instalación	22
3.4 Subestaciones compactas en media tensión	22

3.4.1 Celdas o módulos de una subestación compacta	25
3.4.2 Tipos de arreglo más comunes en subestaciones compactas.....	26
3.4.3 Celda de medida en media tensión	27
3.4.3.1 Características de instalación	29
3.4.3.2 Grado de protección	30
3.4.3.3 Requisitos para la Medida Semidirecta e Indirecta	30
3.4.4 Transformadores de Medida	31
3.4.4.1 Conexiones y Cableado	31
3.4.4.2 Transformadores	32
3.4.5 Medidores	32
3.4.5.1 Selección de medidores de energía	34
3.4.5.2 Selección de transformadores de medida	37
Metodología	42
Análisis y Resultados	49
Conclusiones	65
Bibliografía.....	67
Cibergrafía.....	69
Apendice.....	70

Lista de figuras

Figura 1. Datos energéticos en Colombia. Tomada de blogs.iadb.org	10
Figura 2. Sistema de generación eléctrica. Tomada de www.ecured.com	12
Figura 3. Sistema de transporte de energía eléctrica. Tomada de www.blogs.iadb.org	14
Figura 4. Vista electromecánica de una subestación de potencia. Tomada de www.sectorelectricidad.com	18
Figura 5. Vista de elementos de un cuarto de control. Tomada de www.sieneg.com.pe	19
Figura 6. Vista de Subestación compacta en media tensión. Tomada de www.ectricol.com	24
Figura 7. Arreglos de subestaciones. Tomada de www.sieneg.com.pe	27
Figura 8. Plano diseño de celda de medida indirecta. Tomada Norma EPM (RA8-012)....	39
Figura 9. Transformadores de tensión y de corriente. Tomada de la Norma EPM (RA8-012).	39
Figura 10. Vista frontal y lateral celda de medida en media tensión. Tomada de la Norma EPM (RA8-012).	40
Figura 11. Cableado de señales de tensión y corriente. Tomada de la Norma EPM (RA8-012).	40
Figura 12. Celda de Medida en Media Tensión de la Subestación Eléctrica Didáctica de la Institución Educativa Pascual Bravo .Tomada del propio proyecto.....	50
Figura 13. Diseño definitivo de la Subestación Eléctrica Didáctica. Tomado del diseño realizado y suministrado por la IUPB.	51
Figura 14. Plano prototipo celda de medida en media tensión.....	54

Figura 15. Medidor ACE6000.Tomado del propio proyecto.	55
Figura 16. Bornera de prueba. Tomado del propio proyecto.	57
Figura 17. Diagrama de conexión del medidor (medida indirecta). Tomada de la Norma EPM (RA8-030).....	58
Figura 18. Breaker de 50 amperes marca Chint. Tomado del propio proyecto.	59
Figura 19. Transformador de tensión de 400 a 110 voltios de 50 VA. Tomado del propio proyecto.	59
Figura 20. Transformador de corriente. Tomado del propio proyecto.....	60
Figura 21. Cables calibre #12 y #14. Tomada del propio proyecto.	62
Figura 22. Señales de prevención y restricción. Tomada de la Norma EPM (RA8-014)..	63

Lista de tablas

Tabla 1. Distancias mínimas entre las partes energizadas. Tomada de la Norma EPM RA8-(030)	28
Tabla 2. Selección de los medidores de energía. Tomada de la Norma EPM RA8-(030)	70
Tabla 3. Características del medidor. Tomada de la Norma EPM RA8-(030).....	71

Resumen

En este trabajo se diseñó y construyó con base a las Normas que regulan el sector eléctrico una Celda de Medida en Media Tensión Didáctica para la Subestación Didáctica del Laboratorio de Eléctrica de la Institución Universitaria Pascual Bravo. Además, se incluyeron los cálculos y las medidas correspondientes a la construcción de cada una de las partes de la Celda y una serie de pruebas efectuadas bajo diversas condiciones.

Con la construcción de esta Celda la Institución Universitaria Pascual Bravo contará con una herramienta de carácter didáctico mediante la cual podrá brindar a los estudiantes ambientes adecuados para la práctica y el aprendizaje, y a sus docentes les facilitará el proceso de enseñanza, ya que con la Celda de Media Tensión Didáctica podrán realizar diferentes conexiones simulando una tensión de 13.2 kv en media tensión.

Para poder medir la carga o consumo de energía eléctrica de 13.2 kv se utilizan medidores de energía multifuncional o multigrano. Los medidores necesitan señales de corriente y tensión para poder medir la energía, pero hay equipos construidos para soportar dicha tensión por lo que para poder medirla se utilizan transformadores de corrientes y tensión, los cuales, como su nombre lo indica, transforman grandes corrientes y tensiones a corrientes y tensiones más pequeñas que pueden ser llevadas y conectadas al medidor a fin de realizar una medida correcta del sistema.

A esto se llama medida indirecta en media tensión. Este sistema y proceso es el que se puede comprobar y observar con la Celda de Media Tensión Didáctica de la Institución.

También, el Laboratorio de Eléctrica de la Institución Universitaria Pascual Bravo se complementará, con lo cual facilitará su labor a la comunidad educativa con la realización de experimentación, conocimientos y prácticas de diversos fenómenos eléctricos y el comportamiento de estos en el campo eléctrico.

Para el diseño y construcción de la Celda de Medida de Media Tensión la primera actividad que se realizó fue la recopilación de información técnica sobre celdas de medida, así como de los diferentes elementos y materiales necesarios para su construcción.

A partir de estos criterios preliminares se procedió a la adquisición de los materiales y su envío a una empresa certificada en construcción de cofres eléctricos- Allí realizaron el corte con las medidas según el diseño realizado por los estudiantes.

Luego con el diseño y los materiales que se adquirieron, se procedió al ensamble de la Celda de Medida en Media Tensión y la realización de pruebas de comprobación del correcto funcionamiento de los equipos: También, se verificó que el equipo didáctico cumpliera con parámetros de seguridad y control a fin de no poner en riesgo la integridad física de estudiantes y docentes durante la ejecución de sus prácticas.

Igualmente, se realizaron prácticas con la Celda de Medida en Media Tensión, mediante las cuales los estudiantes aprendieron cómo es el funcionamiento de los diferentes equipos de una Celda de Medida y en qué forma deben ir conexiónados para un correcto funcionamiento.

Por último, como en Media Tensión se miden diferentes parámetros denominados potencias eléctricas se tuvieron como referencia teórica y práctica del funcionamiento de la medida eléctrica en media tensión.

Introducción

Las instituciones universitarias tienen como misión formar profesionales idóneos e íntegros, y para lograrlo se apoyan y emplean herramientas que les permiten llegar a la excelencia académica, siendo algunas de estas herramientas los modelos pedagógicos dinámicos y las prácticas en los laboratorios.

Crear al interior de las instituciones de educación superior laboratorios de práctica es un poderoso instrumento de enseñanza. La Universidad Nacional de Colombia, fundadora de la carrera de Ingeniería Eléctrica en 1961 y precursora en la creación de los laboratorios para la enseñanza y prueba de equipos eléctricos, actualmente cuenta con cinco (5) laboratorios de carácter didáctico en los 15 programas que tiene en el país.

Por su parte, la Universidad Tecnológica de Pereira en la Facultad de Tecnologías en el año 2015 desarrolló un módulo didáctico para la enseñanza de Diseño de Subestaciones Eléctricas y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas durante el año 2016 creó un entorno virtual para la simulación de maniobras eléctricas en Subestaciones como material de apoyo educativo.

Es así, como en la Institución Universitaria Pascual Bravo de Medellín se construye una Subestación Eléctrica Didáctica para dotar el laboratorio de la Facultad con elementos que permitan precisamente tener más herramientas de enseñanza.

Dicha Subestación requiere de una Celda de Medida que simule la medida en media tensión, para que con el conjunto de tableros que la conforman se puedan realizar diferentes conexiones, ver el funcionamiento real de una subestación y poner en práctica los conocimientos adquiridos por los estudiantes en el campo eléctrico.

Así mismo, este elemento didáctico permite a los estudiantes un mejor acercamiento a los procesos de práctica, lograr mejores resultados, relacionar lo visto en el aula con lo encontrado en los laboratorios y, en consecuencia, formar un profesional con conocimientos y experiencia sólida que puede enfrentar con precisión los desafíos del campo laboral.

Este documento contiene la información precisa para el diseño y la construcción de una Celda de Medida Didáctica para la Subestación Didáctica del Laboratorio de Eléctrica de la Institución Universitaria Pascual Bravo, la cual simulará la realidad de una celda de medida en Media Tensión de 13.2 kv.

En él se podrán identificar los equipos utilizados para la construcción de una Celda de Medida, las distancias de seguridad, la manera de conexionado de los sistemas que la conforman y cómo se articula en la Subestación por ser parte de un módulo.

Planeamiento del Problema

La formación de estudiantes de ingeniería eléctrica se fundamenta en la adquisición de conocimientos en las ciencias básicas mediante los cuales se estudian los fenómenos físicos, los comportamientos de la energía eléctrica y se verifican conceptos teóricos y leyes.

Para hacer que la formación académica de los profesionales en ingeniería vaya al ritmo de los avances tecnológicos y se adapte a las nuevas condiciones que imprime la modernidad, es necesario que cada día los procesos formativos innoven las prácticas pedagógicas enfocándolas a formar profesionales más competentes, propiciar la investigación y la experimentación en los estudiantes y hacer el estudio en un ambiente real.

Por eso en la formación de ingenieros electricistas se está implementando en algunas universidades la creación de laboratorios didácticos que facilitan en el proceso de formación, la observación, la representación, la modelación, el diseño y la elaboración de equipos didácticos, con el objetivo de permitir la realización de las prácticas de clase con base en simulaciones de campo real y con equipos adecuados a las enseñanzas impartidas en la institución.

Actualmente, la Institución Universitaria Pascual Bravo de la ciudad de Medellín carece de un módulo didáctico de una Subestación Eléctrica en Media Tensión, lo cual se convierte en una limitación que impide en diversas ocasiones realizar las prácticas programadas por el docente en búsqueda de una mejor adquisición de conocimientos. Esta situación puede afectar los resultados

Finales del proceso de enseñanza y verse reflejado en el desarrollo académico y profesional del estudiante.

Por lo mencionado anteriormente, surge la necesidad de crear una Celda de Medida en Media Tensión para la Subestación Didáctica de la Institución que permita subsanar la carencia existente para que los estudiantes de manera práctica simulen las conexiones realizadas en un medidor de media tensión, sus transformadores de intensidad y tensión para una medida indirecta, y el procedimiento de medida de las potencias eléctricas en la red de energía, entre otros aspectos que conllevan a su utilización aplicada a la realidad.

También se propone con la construcción de este módulo de práctica, dar a los estudiantes la opción de conocer e identificar todos los componentes que hacen parte de una celda de medida en media tensión de una subestación compacta, así como tener contacto directo del manejo de la energía eléctrica y poner en práctica la normatividad y reglamentos que permiten garantizar la seguridad y protección del estudiante y el docente.

Justificación

Debido a la carencia de una Subestación Eléctrica en la que los estudiantes pueden realizar prácticas, pruebas y mediciones, entre otros, este proyecto tiene como propósito diseñar, montar e instalar una Celda de Media Tensión para la Subestación Didáctica de la Institución Universitaria Pascual Bravo, a fin de facilitar a los estudiantes la práctica de las materias de electricidad y ofrecer una nueva herramienta que les permita realizar dichas prácticas cuando por diversas circunstancias no tengan acceso a Subestaciones de Media Tensión.

La posibilidad de que un grupo de estudiantes se traslade a una Subestación para ver su funcionamiento es difícil por razones que van desde los costos de desplazamientos hasta la obtención de los permisos de ingreso a este tipo de infraestructuras que son de propiedad del Estado y/o de operadores privados.

Al contar con estos equipos al interior de la Institución educativa los estudiantes no tendrán la necesidad de trasladarse a otro punto, puesto que allí podrán efectuar pruebas de laboratorio, demostraciones y otras actividades, sin incurrir en gastos adicionales.

La principal preocupación de este proyecto está en el proceso didáctico de enseñanza que se verá beneficiado con la adecuación de estas celdas y, específicamente con la Celda de Medida de Media Tensión en la Institución Universitaria Pascual Bravo de la ciudad de Medellín, ya que puede suplir esa falencia en las prácticas de los estudiantes.

Además, se pondrá en práctica la metodología del “Aprender haciendo”, incentivando al estudio y la demostración, y de contar la institución educativa con este elemento en el laboratorio de eléctrica, ganaría mayor prestigio y relevancia académica en su programa de formación en eléctrica ante la comunidad educativa local y regional.

De esta manera los estudiantes de la Institución Universitaria Pascual Bravo podrán probar, experimentar o desarrollar algunas de las teorías citadas anteriormente, sin moverse de la ciudad ni de la sede de la institución.

Es así como este proyecto consiste en la implementación de una subestación eléctrica didáctica para que los estudiantes de Técnica, Tecnología, Ingeniería Eléctrica y/o carreras afines de la Institución Universitaria Pascual Bravo, les permitirá afianzar los conocimientos teórico-prácticos acerca del ensamble, conexión y puesta en marcha de una subestación eléctrica interior de distribución a escala real.

La subestación está diseñada a partir de la normatividad vigente definida en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050), entre otros, a fin de garantizar siempre la seguridad de la institución y la protección del bienestar físico y mental de cada uno de los estudiantes y docentes que van a interactuar en ella, garantizando que cada uno de los módulos de trabajo y/o estudio de la subestación, al igual que la instalación y conexión de todos los elementos que la conforman, no constituyen riesgo algunos para sus usuarios.

También la aplicación de estas normas permite dejar en alto el buen nombre de la Institución Universitaria Pascual Bravo, ya que los módulos a construir se destacan por su buena presentación y utilización de materiales de excelente calidad.

A nivel académico con esta Subestación Eléctrica Didáctica los educandos obtienen información sobre cada una de las celdas que la conforman, el estado de la celda y sus componentes y les permite proyectar a futuro un plan de trabajo según los resultados obtenidos en cada una de las prácticas.

Finalmente, la ejecución del proyecto sirve también para analizar los parámetros eléctricos y el sistema de protección de la misma, teniendo en cuenta el aprendizaje adquirido en el transcurso de la carrera, e igualmente se pueden determinar las capacidades dieléctricas del aislamiento de cada uno de los componentes de las celdas, se pueden analizar los sistemas de protección contra las sobretensiones y demás variables de cortocircuito que pueden estar presentes en el sistema eléctrico de la subestación de distribución y obtener datos de medida de forma real de cualquier elemento que haya conectado en el compartimiento de carga.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar, construir e instalar una Celda de Medida en Media Tensión para la Subestación Eléctrica Didáctica de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Objetivos Específicos

- Desarrollar una Celda de Medida Didáctica que simulará la medida en Media Tensión.
- Adquirir los componentes y dispositivos necesarios para la correcta implementación de una Celda de Medida en Media Tensión para la Subestación Eléctrica Didáctica de la Institución.
- Ensamblar y adapta la Celda de Media Tensión a las otras celdas que conforman el conjunto de la Subestación Didáctica.

Marco Teórico

Dado que este trabajo se centra en el diseño y la elaboración de una celda de Medida de Media Tensión para la Subestación Eléctrica Didáctica de la Institución Universitaria Pascual Bravo, es necesario para dar inicio profundizar sobre el concepto de energía eléctrica y los mecanismos de generación, transmisión y distribución en Colombia para llegar a nuestro objetivo de estudio.

En la medida en que se entiendan estos conceptos podemos avizorar el alcance e impacto positivo que tiene al interior de un claustro educativo disponer de un instrumento didáctico que replique el funcionamiento de una subestación, tal como las existentes en el Sistema de Trasmisión Nacional, para que sus estudiantes y docentes hagan el ejercicio real de las teorías y conceptos en que se fundamenta el estudio de la ingeniería eléctrica.

3.1 Energía eléctrica

Es una de las formas de energía que en la actualidad se usa en la industria, en los hogares, en el comercio o en los medios de transporte. Se caracteriza por su controlabilidad, su versatilidad y su limpieza (particularmente en el lugar de consumo).

Ésta puede ser generada en grandes cantidades de forma concentrada en determinados lugares y transmitida fiable y económicamente a largas distancias, siendo finalmente adaptada de manera fácil y eficiente sobre todo para iluminación y trabajo mecánico.

La energía se encuentra en dos formas:

Energía primaria: es la ofertada directamente por la naturaleza.

Energía final: es la que ha sufrido procesos de transformación, almacenamiento y distribución y que es finalmente consumida por los usuarios.

En general para expresar datos o presentar balances de energía primaria y energía final se utiliza la unidad “Tonelada equivalente de petróleo” tep, en la cual la conversión de unidades habituales a tep se hace basándose en los poderes caloríficos inferiores de cada uno de los combustibles. Suponiendo un rendimiento de unidad en las transformaciones energéticas, resulta la siguiente relación.

1 tep = 10 elevado a la 7 Kcal, más o menos 11700 kwh.

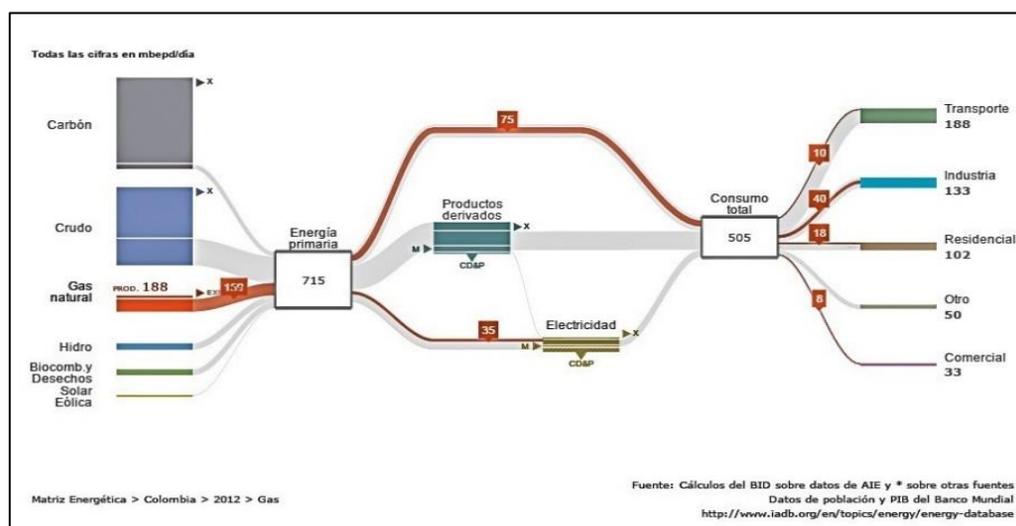


Figura 1. Datos energéticos en Colombia. Tomada de blogs.iadb.org.

La electricidad se obtiene por conversión a partir de las fuentes de energía primaria, es decir del calor liberado en la combustión del carbón del petróleo, del gas natural (combustibles fósiles), o a partir de la fusión de un material nuclear que es convertido primero en energía mecánica de rotación, mediante un ciclo termodinámico.

También, para el caso de las centrales hidroeléctricas, la energía potencial contenida en el agua almacenada en el embalse es convertida en energía mecánica de rotación en las turbinas hidráulicas. En cualquier caso, la energía mecánica obtenida se transforma en energía eléctrica mediante dispositivos electromecánicos denominados generadores.

La energía eléctrica a diferencia del agua o el gas no puede ser almacenada en forma económica de acuerdo con la tecnología disponible (excepto en muy pequeñas cantidades por medio de baterías), de ahí la necesidad de contar con un sistema eficiente de generación, transporte y distribución.

Por lo tanto, este sistema debe ser capaz de ajustar la energía generada a la demanda en todo instante y con valores específicos de tensión y de frecuencia. Por ejemplo, la carga de iluminación oscila en función de las horas del día y en las épocas del año y la carga motriz es más constante, pero sus oscilaciones están determinadas por el proceso productivo en que se utiliza.

3.2 Descripción del sistema de energía eléctrica

Los sistemas de energía eléctrica se estructuran en las siguientes partes o niveles: Generación, transporte y distribución. La interconexión de esos niveles se realiza en las subestaciones eléctricas

y centros de transformación donde, además, se localizan los dispositivos de maniobra, medición y protecciones del sistema.

3.2.1 Generación

La producción de energía eléctrica tiene lugar en las centrales que, dependiendo del tipo de energía primaria utilizada, se pueden clasificar en termoeléctricas (de combustibles fósiles, biomasa, nucleares), hidroeléctricas, eólicas, solares fotovoltaicas o mareomotrices. La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los tres primeros tipos de centrales reseñadas: termoeléctricas, hidroeléctricas y eólicas.

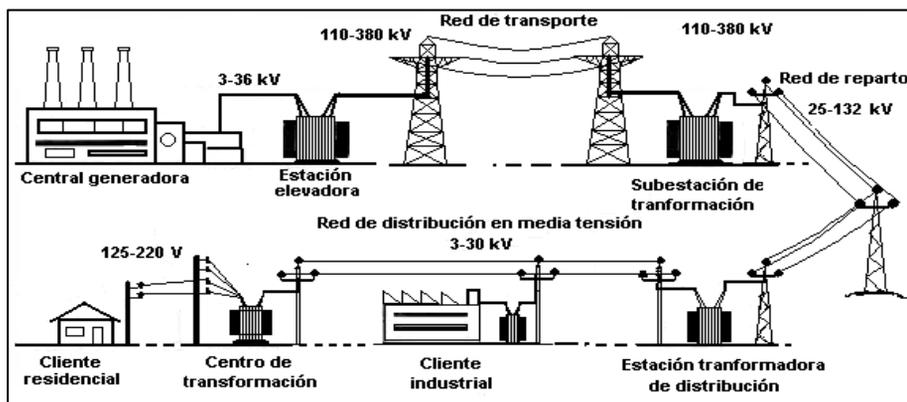


Figura 2. Sistema de generación eléctrica. Tomada de www.ecured.com

3.2.2 Transporte

Al inicio del desarrollo de los sistemas de energía eléctrica entre finales del siglo XIX y a principios del siglo XX, era típica una estructura en la que uno o varios generadores se conectaban

directamente a una instalación de consumo. Esta estructura se sigue empleando en instalaciones independientes alimentadas por un grupo electrógeno.

Sin embargo, en la actualidad por las grandes cantidades de energía que demanda para el consumo diario la sociedad moderna y que permita el funcionamiento de oficinas, infraestructuras, empresas y hogares en general, si se manejara una estructura de este tipo presentaría una fiabilidad crítica, ya que de presentarse una avería en el generador o en la línea que conecta la generación con el consumo, dejaría a este último sin suministro.

De ahí que una forma de reducir fallas y falta de suministro al consumidor final es la creación, por un lado, de una red interconectada conformando un anillo con un número de nodos y de conexión entre ellos, a la que se le une un gran número de generadores y, por otra parte, un gran número de consumidores industriales, residenciales e iluminación.

De esta forma se logra el equilibrio entre la generación y el consumidor final, equilibrio que debe mantenerse en todo momento y puede conseguirse a pesar de la existencia de pequeñas variaciones o perturbaciones en cualquiera de las partes que entran en juego (variación en la generación, pérdida de alguna línea, variación de la demanda, etc).

Para el transporte de la energía eléctrica se utilizan líneas de alta tensión, es decir un medio físico para la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias. Está constituido tanto por el elemento conductor, usualmente cables de cobre o aluminio, como por sus elementos de soporte o

torres de alta tensión. Este sistema es necesario para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas.

Para ello, los niveles de energía eléctrica producidos deben ser transformados y elevado su nivel de tensión. Esto se hace considerando que para un determinado nivel de potencia a transmitir al elevar la tensión se reduce la corriente que circulará y se disminuirán las pérdidas por el ‘Efecto Joule’.

Con este fin se emplazan subestaciones elevadoras y la transformación se efectúa empleando transformadores o autotransformadores. Una red de transmisión emplea usualmente voltajes del orden de 115 kV, 220 kV y 500 kV, denominados alta tensión.

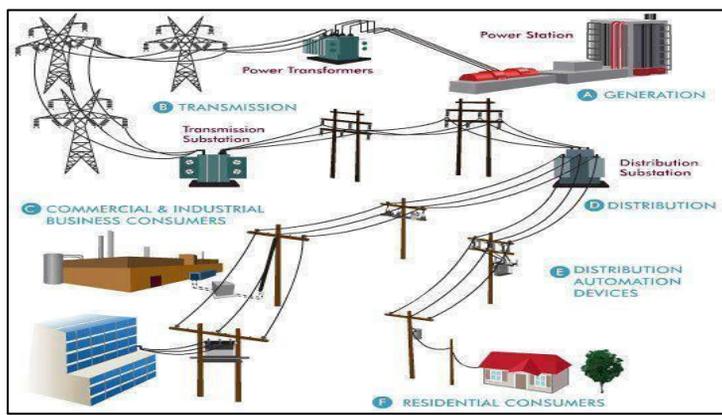


Figura 3. Sistema de transporte de energía eléctrica. Tomada de www.blogs.iadb.org.

Vale la pena señalar que la transmisión y distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional, se realiza a través del Sistema de Transmisión Nacional (STN), de los Sistemas de Transmisión Regionales (STR), y de los Sistemas de Distribución Local (SDL), definidos en la Resolución CREG 097 de 2008.

Sistema de Transmisión Nacional (STN). Es el sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas, equipos de compensación y subestaciones que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV, los transformadores con este nivel de tensión en el lado de baja y los correspondientes módulos de conexión.

Sistema de Transmisión Regional (STR). El Sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por los activos de conexión del operador de red al STN y el conjunto de líneas, equipos y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan en el Nivel de Tensión 4. Los STR pueden estar conformados por los activos de uno o más operadores de red.

Sistema de Distribución Local (SDL). Es el Sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a los Niveles de Tensión 3, 2 y 1 dedicados a la prestación del servicio en un mercado de comercialización.

Estos Niveles de Tensión están definidos en la Resolución CREG 097 de 2008, ya que los sistemas de Transmisión Regional y/o Distribución Local se clasifican por niveles, en función de la tensión nominal de operación, según la siguiente definición:

Nivel 4: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 57,5 kV y menor a 220 kV

Nivel 3: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 30 kV y menor de 57,5 kV

Nivel 2: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 1 kV y menor de 30 kV

Nivel 1: Sistemas con tensión nominal menor a 1 kV

3.2.3 Distribución

En esta parte del sistema se contemplan los tipos de redes de distribución que permiten el suministro desde los operadores hacia los usuarios finales y las subestaciones eléctricas.

Redes de distribución de media tensión o primarias.

Es el conjunto de equipos o elementos que se utilizan para transportar la energía eléctrica desde una subestación de distribución hasta un centro de transformación de media tensión.

Puede pertenecer a una subestación de distribución de menor capacidad MT/MT o una subestación de distribución tipo poste MT/BT.

Se considera una red de distribución primaria cuando los niveles de tensión son de Media Tensión (MT), es decir mayor a 1000 V y menor a 57,5 kV.

Redes de distribución de baja tensión o secundarias.

Es el conjunto de equipos o elementos que se utilizan para transportar la energía eléctrica a tensiones nominales menores o iguales a 1000 V. Este tipo de redes se utiliza para llevar la energía eléctrica desde los transformadores de distribución tipo poste hasta las acometidas de los usuarios finales.

3.3 Subestaciones de energía eléctrica

Una subestación eléctrica es el conjunto situado en un mismo lugar de los equipos, instalaciones y dispositivos eléctricos, cuya operación en conjunto permite la modificación de los parámetros de un sistema eléctrico. Sus funciones principales son transformar, distribuir, controlar y medir la energía de un sistema.

En una subestación eléctrica se puede transformar la energía a niveles adecuados de tensión para su transmisión, distribución y consumo bajo determinados requerimientos de calidad, confiabilidad y eficiencia.

3.3.1 Principales equipos de una subestación eléctrica

La selección adecuada de los equipos y componentes a utilizar en una subestación eléctrica se realiza considerando la compatibilidad, continuidad y flexibilidad que brindan estos a la subestación. El número de componentes y sus características específicas pueden variar dependiendo de la tensión de operación. Los principales componentes que constituyen una subestación eléctrica son:

- **Elementos de patio**

Transformadores de potencial

Interruptores de potencia

Cuchillas de desconexión

Aparta rayos

Equipos de compensación

Transformadores de instrumentos tc's y tp's (transformador de corriente, transformador de tensión)

Estructuras, conductores, y aisladores.

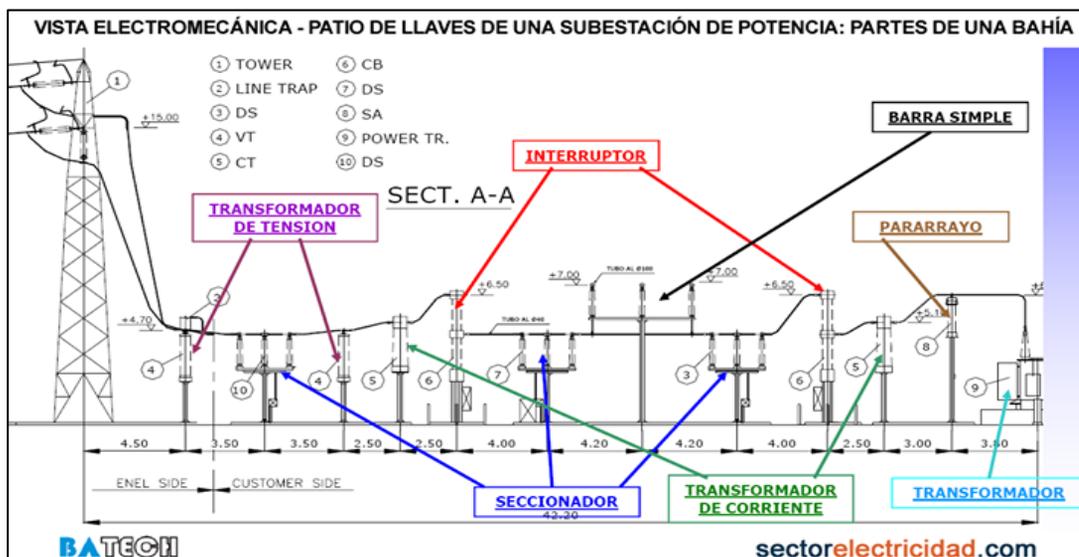


Figura 4. Vista electromecánica de una subestación de potencia. Tomada de www.sectorelectricidad.com

- **Elementos de cuarto de control**

Tableros de control y medición

Señalización

Servicios auxiliares DC (control, baterías, alumbrado de emergencia, interruptores), AC (calefacción, alumbrado, ventilación, aire acondicionado).



Figura 5. Vista de elementos de un cuarto de control. Tomada de www.sieneg.com.pe.

3.3.2 Criterios generales de protección de las subestaciones eléctricas

A fin de garantizar el adecuado y correcto funcionamiento de la subestación eléctrica ésta debe estar dotada de elementos que permitan mantener la operación del sistema. Para ello se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

Confiabilidad. Capacidad del sistema de protección de realizar su función correctamente cuando se le requiera y evitar operación innecesaria o incorrecta durante una falla.

Velocidad. Tiempo mínimo de falla y daño mínimo del equipo, rapidez para despejar las fallas a fin de evitar daño en los equipos.

Selectividad. Manteniendo la continuidad del suministro desconectando una sección mínima del circuito para aislar la falla.

Seguridad. Para que no cauce desenergización del circuito debido a desbalanceo de carga, corrientes, puesta en marcha de carga en frío, armónicos y otras circunstancias de estado estable y transitorio.

Sensitividad. El sistema de protección debe detectar fallas, temporales y permanentes, y diferenciarlas así estén en puntos muy alejados del interruptor principal del circuito.

Economía. Máxima protección a costo mínimo.

Simplicidad. Equipo y circuitería mínima para garantizar la certeza de operación correcta del sistema.

3.3.3 Clasificación de las subestaciones eléctricas

Las subestaciones eléctricas se clasifican de diferentes maneras y pueden ser de distintos tipos según la característica que se analice.

3.3.3.1 De acuerdo con su función:

De maniobra. Las subestaciones de maniobra o de switcheo, son utilizadas solo para realizar operaciones de conexión y desconexión, es decir distribuyen el flujo de energía hacia otros nodos de la red mediante maniobras según los requerimientos y condiciones del sistema.

Subestaciones elevadoras. Este tipo de subestaciones normalmente son utilizadas en centrales de generación y su función principal es elevar las tensiones de salida de las unidades generadoras de un nivel de media tensión a extra alta tensión para transmitir la carga que es generada.

Subestaciones reductoras. Al contrario de las subestaciones elevadoras, estas reducen las tensiones de transmisión a una menor para su distribución.

3.3.3.2 De acuerdo con su nivel de tensión:

Subestaciones de distribución. Son las encargadas de reducir una tensión de transmisión o subtransmisión a una de media tensión. Generalmente, administran una tensión primaria de 115kv y una tensión secundaria que varía entre 13.8 y 34.5 kv.

Subestaciones de transmisión. Este tipo de subestaciones son las encargadas de reducir una tensión de transmisión a una de subtransmisión, en general manejan tensiones primarias de 400 o 230 kv y la tensión secundaria es de 115 kv.

3.3.3.3 De acuerdo con el tipo de aislamiento:

Subestaciones aisladas en aire. Son subestaciones en las cuales el aislamiento está dado por el aire del medio ambiente en que se encuentra. Este tipo de subestaciones son afectadas por las características atmosféricas del sitio donde se ubican, incluyendo presión, temperatura y altitud principalmente.

Subestaciones aisladas en gas sf6. Los elementos que conforman este tipo de subestaciones se encuentran dentro de los módulos herméticamente cerrados, que contienen gas sf6 (hexafluoruro de azufre) a presión y tienen la ventaja de no ser afectada por condiciones atmosféricas, además de permitir su uso en espacios reducidos por su gran compactación.

3.3.3.4 De acuerdo con su instalación:

Subestaciones tipo intemperie. Son subestaciones instaladas en áreas exteriores, diseñadas, especialmente para operar al aire libre bajo las condiciones ambientales del sitio de instalación. Estas características son: precipitación pluvial, contaminación, humedad, viento y nieve, entre otras.

Subestaciones tipo interior. Son subestaciones instaladas en áreas interiores como edificaciones, este tipo de instalación brinda mayor protección contra condiciones atmosféricas, además de brindar la ventaja de ocupar menor espacio.

Las subestaciones de tableros metálicos blindados (metalclad) y las subestaciones aisladas en gas sf6 son las principales subestaciones de este tipo.

3.4 Subestaciones compactas en media tensión

Dado que el presente trabajo tiene como objetivo la construcción de una celda de medida de media tensión para una subestación didáctica y en este aparte se detallan los elementos que integran una subestación (celdas, transformadores, medidores, etc), la normatividad y la regulación vigente que

rigen su construcción merece especial atención el concepto de subestación compacta, puesto que la que se construye en la Institución Universitaria Pascual Bravo corresponde a este modelo.

Una subestación compacta es el conjunto de gabinetes modulares utilizados para instalar los diferentes equipos de medición, protección y mecanismos de control de la subestación y tiene instalados los sistemas de mandos para efectuar las diferentes maniobras de control de una subestación cuando sea necesario en forma manual.

Las subestaciones compactas tienen aplicación en redes de distribución de media tensión de 4.16 kv hasta 38 kv, en corrientes de 400 a 630 A, para operar conjuntamente con transformadores tipo subestación y tableros de distribución.

Cumplen con las siguientes aplicaciones:

- Maniobras de conexión y desconexión de redes de distribución con carga en media tensión.
- Conexión y desconexión de transformadores de distribución.
- Como tableros alimentadores en media tensión de industrias y comercios.

A estas subestaciones también se les conoce como subestaciones unitarias y son muy usadas en instalaciones industriales y comerciales, porque reciben la energía, en el caso de las industrias, de subestaciones primarias para ser distribuida a distintos puntos en las instalaciones.

Generalmente están cerradas completamente por medio de placas metálicas de manera que no tienen partes vivas o energizadas expuestas al contacto con las personas, siendo una de sus ventajas

que las hacen recomendables en instalaciones industriales, comerciales y en grandes edificios donde el valor de la carga es considerable y debido a su diseño modular ofrece estas posibilidades:

- Los módulos se diseñan para su conexión en distintos arreglos y se pueden equipar con distintos tipos de equipos, de protección, medición o equipos mayores como interruptores, fusibles, desconectores, aparta rayos, otros.
- Tienen un tamaño compacto.
- Se pueden instalar en recintos que son de acceso general, con algunas restricciones mínimas.
- Están protegidas contra efectos o agentes externos.



Figura 6. Vista de Subestación compacta en media tensión. Tomada de www.electricon.com.

Las subestaciones unitarias están constituidas por módulos o unidades que tienen básicamente tres componentes:

- Unidad de media tensión
- Unidad del transformador
- Unidad de baja tensión

Y, de acuerdo con las exigencias del servicio o la instalación, puede tener módulos o unidades adicionales con disposiciones según las necesidades específicas.

3.4.1 Celdas o módulos de una subestación compacta

Celda de acometida. Es una celda prevista para recibir el cable de energía de alta tensión o acometida, las líneas de acometida pueden ser aéreas o subterráneas.

Celda de medición. En estas celdas además de encontrarse la acometida como en el caso anterior, se encuentra el equipo de medición de la compañía suministradora con sus respectivos transformadores de medición. La misma se encuentra diseñada con el espacio de acuerdo con las Normas para alojar sin problema los equipos.

Celda de seccionador. En estas celdas se aloja el seccionador de carga tripolar encargado de proteger la instalación y de conectar la energía eléctrica de forma segura.

Celda de acoplamiento a transformador. Como su nombre lo indica esta celda es adecuada para el acoplamiento directo del transformador a la subestación. En su interior contiene todas las conexiones necesarias para la conexión del transformador.

Celda de baja tensión. En esta celda encontramos las instalaciones en baja tensión para ser utilizada por los usuarios finales normalmente a 400 V en trifásica, 230 V en monofásica y 110 V.

3.4.2 Tipos de arreglo más comunes en subestaciones compactas

Subestación receptora o principal. En este tipo de arreglo la celda de medición se encuentra al principio, seguida de la celda del seccionador y luego la celda de acoplamiento del transformador. Este tipo de arreglo es el que con más frecuencia se encuentra en la industria dado que es la subestación principal.

Subestación derivada. En este tipo de arreglo, al principio se encuentra la celda de la acometida, a continuación, se encuentra la celda del seccionador y luego la celda de acoplamiento al transformador.

Este tipo de arreglo de subestación se emplea siempre y cuando ya exista en la industria o en la planta una subestación principal y puede haber varias subestaciones derivadas a lo largo de la planta.

Subestación con medición al centro. En este tipo de arreglo se encuentra la celda de medición al centro con dos cuchillas de paso a cada lado para conectar a dos celdas de seccionador principal y tiene sus respectivas celdas de acoplamiento al transformador.

Este tipo de arreglo se encuentra en plantas industriales que tienen dividida la carga desde la subestación y ésta hace las veces de subestación principal.

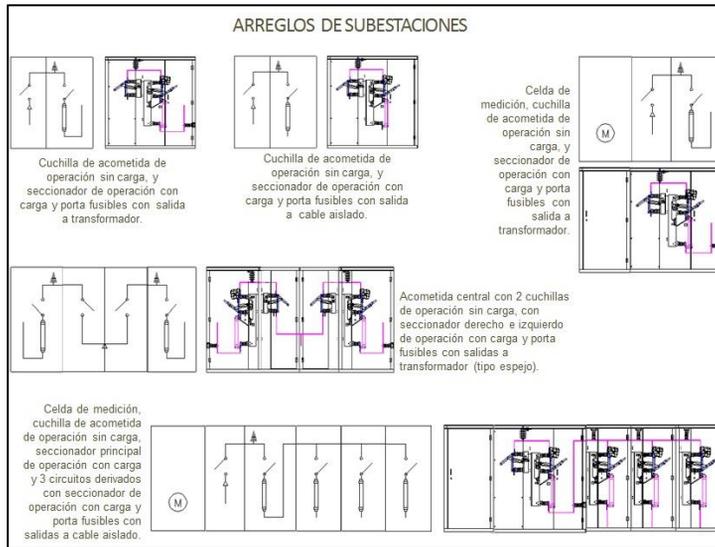


Figura 7. Arreglos de subestaciones. Tomada de www.sieneg.com.pe.

3.4.3 Celda de medida en media tensión

Una Celda se puede definir como una estructura construida para instalarse de manera auto soportada y destinada a encerrar transformadores de potencia, transformadores de corriente, de potencial y equipos de seccionamiento de media tensión, tales como interruptores o seccionadores.

Dado que es una unidad básica para su construcción se deben tener en cuentas unas características constructivas y especificaciones técnicas precisas, por lo cual debe fabricarse en lámina de Acero Colled Rolled, calibre N° 16 como mínimo, con estructura formada por perfiles en lámina o perfiles en ángulo de acero. Se aceptarán otras formas de construcción siempre y cuando se garantice una

buena rigidez mecánica. Las celdas donde se instalen transformadores de potencia, los transformadores de medida, los interruptores o seccionadores de media tensión, deben estar debidamente iluminadas en su frente y en su interior.

Los barrajes y todos los cables al interior de las celdas o los tableros se deberán identificar con el código de colores establecido en la tabla 13 del RETIE. La pintura utilizada para celdas y tableros será de la gama de colores RAL (7032 ó 7042 ó 9001) de acabado mate. Además, deben cumplir con las condiciones y requisitos establecidos en el artículo 17.9.1 del RETIE.

En el interior de las celdas de media tensión se deberá disponer de elementos para el amarre y fijación de los cables. La separación mínima entre las partes energizadas sin aislamiento (conductores o barras) y, entre esas partes y las superficies adyacentes puestas a tierra, no debe ser menor a los valores especificados en la siguiente tabla:

Tabla 1. Distancias mínimas entre las partes energizadas. Tomada de la Norma EPM RA8-(030).

Tensión nominal[kV] (Fase-Fase ó Fase- Tierra según ¹)	Distancia mínima en centímetros ¹			
	Fase a fase		Fase a tierra	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
2,4 - 4,16	11	18	8	15
7.2	14	18	10	15
13.8	19	30	13	18
14.4	23	30	17	18
23	27	38	19	25
34.5	32	38	24	25
46	46	46	33	33

Fuente: Tabla 710-33 de la norma NTC 2050.

Los valores de la tabla son las distancias mínimas entre partes energizadas (no aisladas) y las partes aterrizadas. Estas distancias se deben aumentar si los conductores se mueven por la acción de un medio externo o bajo condiciones de servicio desfavorables (Norma EPM RA8-013).

Las celdas de medida en media tensión no deben tener una altura superior a 2200 mm, ni inferior a 1800 mm. El ancho mínimo permitido cuando los transformadores de medida se instalan horizontalmente deberá ser de 1100 mm y una profundidad mínima de 1200 mm. Si los transformadores de medida se instalan verticalmente, la aceptación quedará sujeta a previa revisión de EPM. La altura máxima para el registro del medidor es de 2000 mm (Norma EPM RA8-012).

Los visores o registros para las celdas de media tensión y tableros de medida semidirecta deberán tener una dimensión mínima de 400mm de alto x 200 mm de ancho y deberán permitir la visualización de la bornera de conexiones que se emplea para separar o intercalar un equipo de medición de control de forma individual con la instalación en servicio. Los visores deberán ser fijados con un empaque de caucho, el cual deberá cumplir con lo descrito en el numeral 3.2.4, de forma tal que no pueda ser retirada por la parte exterior (Norma EPM RA8-012).

3.4.3.1 Características de instalación

Las celdas de medida en media tensión deberán ir ubicadas en un cuarto técnico al que sólo tenga acceso el personal calificado. En cualquier circunstancia, se debe cumplir con las exigencias establecidas en las secciones 110-34 de la Norma NTC 2050 y lo descrito en la Norma EPM RA8-014 y RA8-012, puesto que en ningún caso se instalarán a la intemperie. Así mismo las celdas de

media tensión y los tableros de baja tensión no se podrán ubicar en lugares que se puedan considerar rutas de evacuación de las edificaciones, incluyendo zonas de circulación normal de personas o vehículos.

También, estos se deben fijar al piso o a las paredes con tornillos adecuados para garantizar su firmeza. En caso de que exista la posibilidad que el piso permanezca mojado, se recomienda su instalación sobre un pedestal o un perfil de lámina N° 14, de 8 cm mínimo de altura.

Si son instalados en lugares húmedos, serán a prueba de intemperie y se deberá cumplir con lo exigido en la sección 373 de la Norma NTC 2050 y Norma EPM RA8-013.

3.4.3.2 Grado de protección

Los tableros y celdas de medida instalados en subestaciones y cuartos técnicos deberán contar al menos con un grado de protección IP igual a 4X o su equivalente NEMA, es decir, protegido contra cuerpos sólidos de diámetro o espesor superior a 1mm, para el sitio de instalación (Norma EPM RA8-012).

3.4.3.3 Requisitos para la Medida Semidirecta e Indirecta

Los tableros para medida semidirecta pueden ser empotrados o autosoportados y las celdas para medida indirecta solo se admiten autosoportados y alojadas dentro de un cuarto técnico, ya que no se permiten a la intemperie (Norma EPM RA8-012).

3.4.4 Transformadores de Medida

Los transformadores de medida se deben ubicar en un compartimento independiente del medidor y los bordes de perforación para pasar los cables de señal deben tener empaque de caucho con el fin de evitar su deterioro. Los transformadores de corriente y de potencia en media tensión deberán tener un sistema de fijación adecuado, soportados en una base construida con platinas de 5mm de espesor mínimo y 50mm de ancho, o que tengan refuerzos con este tipo de estructura.

Los transformadores de medida, los medidores y sus equipos de protección se deben ubicar en un mismo tablero. Para el sistema de 44 kV, el equipo de medida se debe ubicar preferiblemente a una distancia inferior a 5000mm del pórtico, en otro caso se deberán realizar los cálculos de la carga asociada a cada transformador de medida, cumpliendo los requisitos establecidos en la Norma EPM RA8-030.

Los transformadores de medida se deben instalar con el espacio suficiente para su correcta operación, revisión y mantenimiento; no pueden quedar en contacto o presionados entre sí, y estar localizados de manera tal que sea de fácil lectura el rótulo de identificación y garantizar el acceso a la bornera de conexiones.

3.4.4.1 Conexiones y Cableado

Los conductores que sirven de conexión entre el secundario del transformador de corriente y el medidor de energía serán mínimo en calibre N° 10 AWG Cu y los conductores que sirven de

conexión entre el secundario del transformador de tensión y el medidor de energía serán mínimo en calibre N° 12 AWG Cu. Para el caso de medida en baja tensión, estos conductores deberán ser conectados al barraje principal, en el mismo compartimento donde se instalen los transformadores de corriente (Norma EPM RA8-012).

3.4.4.2 Transformadores

En cuanto a los transformadores se dividen en:

Transformador de corriente (TC). Transformador 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.

Transformador de tensión o potencial (TT ó TP). Transformador para instrumentos en el cual la tensión secundaria, en 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.

3.4.5 Medidores

De acuerdo con la Norma (RA8-030) los medidores y transformadores de Corriente y Medida se deben seleccionar bajo las siguientes características:

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

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

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

Así mismo los Medidores se clasifican bajo las siguientes definiciones:

Medidor de energía activa. Instrumento destinado a medir la energía activa mediante la integración de la potencia activa con respecto al tiempo.

Medidor de energía prepago. Equipo de medida o dispositivo que permite el control de la entrega y registro del consumo al suscriptor o usuario, de una cantidad de energía eléctrica por la cual paga anticipadamente.

Medidor de energía reactiva. Instrumento destinado a medir la energía reactiva mediante la integración de la potencia reactiva con respecto al tiempo.

Medidor estático muti-funcional. Medidor que incluye funciones adicionales a las metrológicas básicas como: registro de demanda máxima, registro de tiempo de uso, dispositivo de control de tarifa y/o carga, interruptor horario o receptor de telemando centralizado.

Medidor multi-tarifa. Medidor de energía provisto de un número de registros, cada uno de los cuales opera en intervalos de tiempo específicos correspondientes a tarifas diferentes.

Medida indirecta

Para la medición indirecta de energía se utiliza generalmente un medidor estático multifuncional de energía y un juego de transformadores de medida compuesto por Transformadores de Corriente (TCs) y Transformadores de Tensión (TTs). El número de TCs y de TTs se selecciona de acuerdo con lo establecido en el numeral.

En este tipo de medición, la conexión de las señales de corriente proviene de los devanados secundarios de los TCs, y las señales de tensión provienen de los devanados secundarios de los TTs. La conexión al medidor debe realizarse mediante un bloque de pruebas.

3.4.5.1 Selección de medidores de energía

La selección de los medidores de energía para la instalación en el sistema eléctrico de las empresas del Grupo EPM se debe realizar bajo los criterios indicados en las tablas 2 y 3, teniendo en cuenta la capacidad o potencia instalable (Ver tabla 2 en la página 70 y tabla 3 en la página 71).

La selección de los transformadores de corriente y tensión deben cumplir con lo indicado en los siguientes numerales:

- **Transformadores de corriente**

Para la selección de los transformadores de corriente se debe determinar las corrientes primarias y secundarias de acuerdo con la carga de diseño requerida.

- **Transformador de tensión**

Los criterios para la selección de los transformadores de tensión son los siguientes:

Tensión primaria nominal. La tensión primaria nominal de un transformador de tensión debe corresponder a la tensión nominal del sistema eléctrico al cual va a ser conectado; por ello, para su selección, es necesario tener en cuenta los límites de operación del transformador de tensión con respecto a su tensión primaria nominal, y los límites de variación de la tensión de la red permitidos por la regulación, con respecto a su valor nominal en el punto donde el transformador será instalado.

El rango de operación de los transformadores de tensión fabricados bajo la norma NTC 5787 (IEEE C57.13) está comprendido entre el 90% y el 110% de su tensión primaria nominal. Si el transformador se va a instalar en una red eléctrica en la cual la regulación permite una variación de tensión entre el 90% y el 110% de su valor nominal entonces la tensión primaria nominal del transformador debe ser igual a la tensión nominal de la red.

Tensión secundaria nominal. La tensión secundaria nominal del transformador de tensión debe corresponder a los rangos de operación del medidor conectado a éste.

Se recomienda que la tensión secundaria nominal sea seleccionada de tal forma que el factor entre la tensión nominal primaria y secundaria sea un número entero. Cuando esto no sea posible, se debe expresar máximo dos números decimales, utilizando el método común de redondeo para el segundo decimal.

En los transformadores destinados a ser instalados entre fase y tierra en las redes trifásicas en donde la tensión primaria nominal es un número dividido por raíz de 3, la tensión secundaria nominal debe ser un valor dividido por raíz de 3.

Carga nominal. La carga nominal (Burden) del transformador de tensión debe seleccionarse de tal forma que la carga real del circuito secundario (incluyendo los cables de conexión del transformador al medidor) esté comprendida entre el 25% y el 100% de su valor.

Para transformadores de tensión de clase de exactitud 0,1 y 0,2 que tengan una carga nominal menor de 10 VA, puede ser especificado un rango extendido de carga.

El error de tensión (relación) y de desplazamiento de fase no debe exceder los valores dados en la NTC 2207, cuando la carga secundaria es cualquier valor comprendido entre 0 VA y el 100% de la carga nominal a factor de potencia igual a 1.

Corriente primaria nominal

La corriente primaria nominal del transformador de corriente se debe seleccionar de tal forma que el valor de la corriente a plena carga, en el sistema eléctrico al cual está conectado el transformador de corriente esté comprendido entre el 80% de la corriente nominal y la corriente nominal multiplicada por el factor de cargabilidad del TC.

Corriente secundaria nominal

El valor normalizado de corriente secundaria nominal es 5A. Solo en circunstancias especiales se permite instalación de TCs con corriente nominal secundaria de 1A, casos tales como, cuando la distancia entre el transformador de corriente y el medidor es tan grande, que con una corriente secundaria nominal de 5A, sobrepasa el valor de la capacidad de potencia nominal (Burden) comercial del transformador de medida.

Esta condición debe ser justificada en la presentación del proyecto de redes.

Relación de transformación nominal

Relación dada entre las señales de entrada y salida de los transformadores de medida. Ésta se da entre la tensión primaria nominal y la tensión secundaria nominal y entre la corriente primaria nominal y la corriente secundaria nominal.

Carga nominal (Burden)

La carga nominal (Burden) del transformador de corriente debe seleccionarse de tal forma que la carga real del circuito secundario (incluyendo los cables de conexión del transformador al medidor) esté comprendida entre el 25% y el 100% de su valor.

Se permitirá que la carga conectada al transformador de corriente sea inferior al 25% de la carga nominal siempre y cuando se cuente con un informe de calibración de laboratorio que garantice la exactitud del transformador de corriente en dichos valores.

El Burden total del transformador de corriente (VA Total) corresponde a la suma de los siguientes valores:

$$\mathbf{VA\ total = VA\ medidor + VA\ conductor + VA\ devanado}$$

VA medidor: Es la potencia máxima (Burden) del dispositivo de medida. Valor proporcionado por norma de fabricación.

VA conductor: Es la potencia consumida (Burden) debido a la impedancia de los conductores del circuito secundario.

VA devanado: Es la potencia consumida debido a la impedancia de los devanados internos del transformador de corriente. Este valor es tan pequeño que por lo general puede ser despreciado.

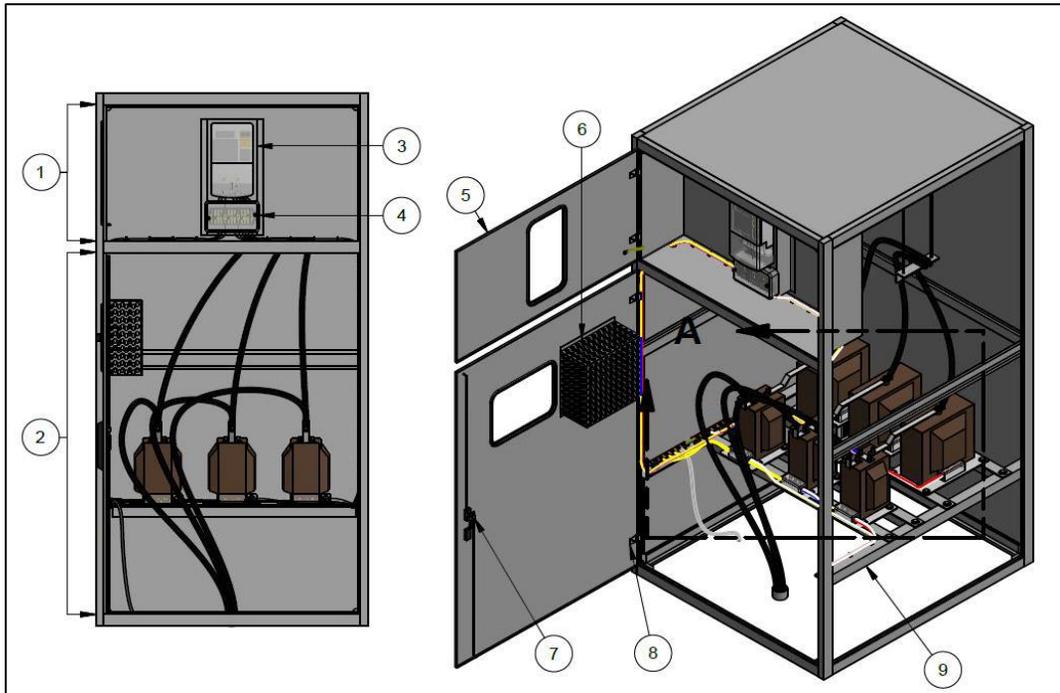


Figura 8. Plano diseño de celda de medida indirecta. Tomada norma EPM (RA8-012).

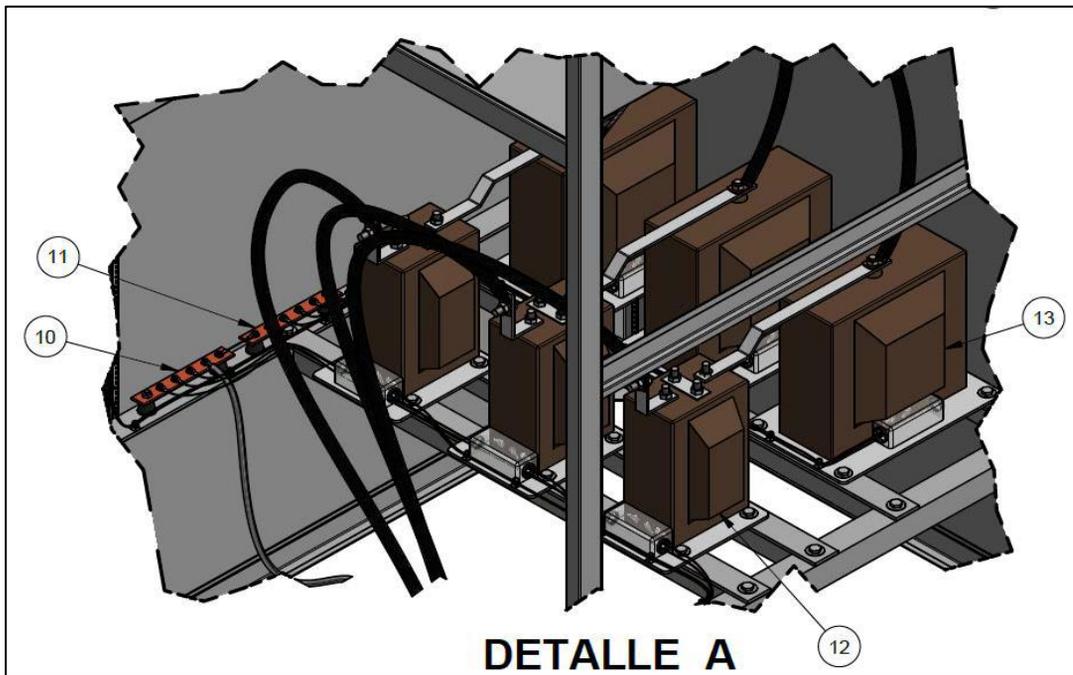


Figura 9. Transformadores de tensión y de corriente. Tomada de la Norma EPM (RA8-012)

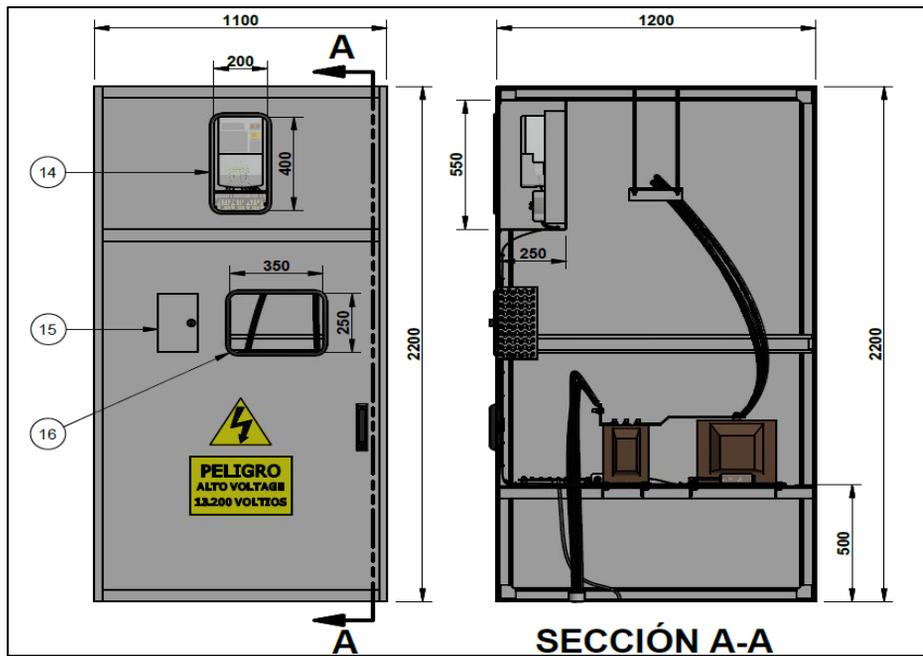


Figura 10. Vista frontal y lateral celda de medida en media tensión. Tomada de la Norma EPM (RA8-012)

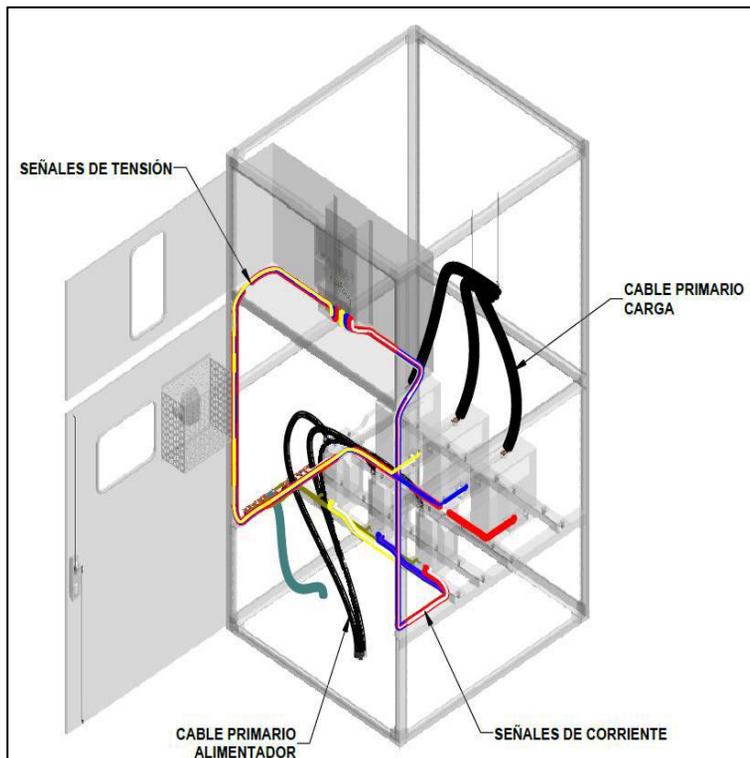


Figura 11. Cableado de señales de tensión y corriente. Tomada de la Norma EPM (RA8-012)

Normas de Referencia

NTC 3475 Electrotecnia. Tableros eléctricos.

NTC 3444 Electrotecnia. Armarios para instalación de medidores de energía eléctrica.

NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano.

UL 50 Enclosures for Electrical Equipment.

UL 67 Panelboards.

RETIE Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

3278 Paneles de maniobra y control de baja tensión.

3279 Grados de protección para encerramientos de equipos eléctricos.

IEC 61439-1 Reglas Generales.

IEC 61439-2 Conjuntos de Potencia.

Metodología

Este proyecto se desarrolló tomando como base el diseño del módulo o celda de medida en media tensión para la Subestación Didáctica de la Institución Universitaria Pascual Bravo. En tal sentido, la institución suministró los planos con que cuenta para la construcción de su subestación y a partir de ellos se estructuró y adquirieron los materiales requeridos para realizar la celda que hace parte de este trabajo y es uno más de los componentes de dicha subestación.

Para la ejecución del diseño se utilizó la herramienta de software AutoCAD, ya que por medio de este programa se realizaron los dibujos con sus respectivas medidas de acuerdo con la norma RA8-012 de Empresas Públicas de Medellín (EPM).

También se utilizaron otros programas como Microsoft y Excel, los cuales facilitaron el desarrollo de todos los componentes del proyecto en cuanto a los planos, los cálculos y las dimensiones presentadas en un diagrama unifilar que es el empleado en diseño eléctrico para representar las conexiones, ubicación de los equipos eléctricos y electromecánicos, el transformador, barrajes, equipos de protección y puestas a tierra.

Para la selección de los equipos de medida requeridos para esta celda, es decir el medidor y los transformadores de tensión y de corriente, se realizaron los cálculos teniendo en cuenta el transformador instalado en la subestación didáctica que es de 10 kv de 220 a 440v. A partir de éste se calculó la corriente primaria de la subestación eléctrica. Cabe anotar que por ser un módulo

didáctico para los estudiantes se manejará dicha tensión, pero toda la celda se representará como una celda de media tensión.

Con los planos, dibujados y aprobados por el grupo, se procedió a realizar un sondeo de precios y a comparar cotizaciones para la construcción del cofre. También en diferentes almacenes se cotizó la lámina de acero cold Rolled calibre BWG 16 y los ángulos para la estructura, que para celdas de media tensión debe ser calibre BWG 14 como mínimo.

Con la lámina ya comprada, después de haber evaluado precios y calidad, se llevaron los planos y los materiales a una fábrica especializada en metalmecánica para la construcción del cofre donde se van a instalar los equipos de medida en media tensión, y luego se trasladó a un taller especializado en pintura para realizar el pintado del cofre de acuerdo con lo establecido en la Norma NTC 2050 y el RETIE.

Para pintar el cofre se utilizó pintura en polvo con poliéster que cumple con las condiciones de adherencia mínimas del 95% descrito en la NTC 811. Esta pintura es horneada y resistente a los rayos ultravioleta. Con un total de capas de recubrimiento de 60 μm .

Para el ensamble y puntos de interconexión de las láminas se utilizaron tornillos electro plateado tropicalizados.

Los equipos de medida se compraron teniendo en cuenta que para la medida en media tensión de la corriente eléctrica se manejan normalmente diferentes magnitudes de tensión e intensidades altas,

por tal motivo para proteger los equipos de las altas tensiones y corrientes primarias se utilizaron transformadores de tensión y de corriente conocidos como TP'S y CT'S.

Este tipo de medida recibe el nombre de Medida Indirecta porque no se pueden conectar los equipos de protección y de medida directamente a la red. Los equipos de medición y protección son alimentados por corriente y tensiones menores, es por eso que se utilizan transformadores para pasar de magnitudes mayores a magnitudes menores que puedan ser empleados finalmente en los equipos de medición y protección, y en nuestro caso se utilizó para un medidor de potencias eléctricas.

El equipo de medida que se empleó teniendo presente que es una medida indirecta fue un medidor de potencias que está en la capacidad de medir potencia activa, reactiva y aparente, entre otras funciones.

Características del equipo de medición y comunicación:

- Led kvar, Led kwh.
- Clase 0.5 NTC 2147, Clase 0.2 NTC 4569, tipo ACE 661B004C.
- $3*[57, 7/ 100 \text{ v} - 3*[277/480 \text{ v}]$.
- 5(10) A, 60 Hz.
- Activa: LED 10.000 Imp/kwh.
- Reactiva: LED 10.000 Imp/ kvar.
- 3 fases, 4 hilos, 3 elementos, 120 volts, conexión estrella.

- Medición Bidireccional.
- Módem interno para comunicación remota a través de línea telefónica de velocidad mínima de 1200 bauds.
- Interface de puerto óptico tipo 2 en la parte frontal del medidor para programar, interrogar y obtener todos los datos del medidor.
- Pantalla que muestre tarifas horarias.
- Dispositivo para el restablecimiento de la demanda.
- Compatible con computadora personal portátil.
- Batería de respaldo para el reloj y la memoria masiva con vida útil mínima de 5 años y capacidad mínima para 30 días continuos o 365 días acumulables.
- Capacidad para colocar el medidor en modo de prueba, ya sea por software o hardware indicando que está operando en este modo.

Los transformadores que se emplearon son transformadores de tensión de 440/110 V y transformadores de corriente de 50/5 A, luego se procedió con la adquisición del resto de elementos, como el acrílico, borneras de conexión, y materiales consumibles como cinta aislante, cinta de papel, números para marquillar, terminales para los cables y el cable para la conexión entre equipos.

El cable utilizado es cable Centelsa calibre números 10,12 y 14 de acuerdo con la Norma RETIE, ASTM.

Para el procedimiento del montaje de la celda de medida y el acople a la subestación didáctica se seleccionaron y se compraron las herramientas y equipos requeridos.

Ellos son:

- Pelacables
- 1 Multímetro
- Destornilladores estrella – pala
- 1 Cortafrío
- 1 Alicata
- 1 Martillo
- 1 Taladro
- brocas
- Lima
- Escuadra
- Pulidora
- Flexómetro
- Bisturí
- Centro punto
- Ponchadora

Con base en los esquemas y cálculos realizados, y con los demás materiales adquiridos, se procedió al montaje de la Celda de Medida de Media Tensión.

Para la realización del montaje de la celda en la subestación didáctica se diligenció permiso de trabajo ante la Institución Universitaria Pascual Bravo y durante la ejecución de la obra se aplicaron normas de seguridad, tales como las cinco (5) reglas de oro:

Regla 1: Apertura con corte visible y efectivo de todas las posibles fuentes de alimentación que penetren en la zona de trabajo.

Regla 2: Bloqueo y señalización de todos los elementos.

Regla 3: Verificación de ausencia de tensión mediante elementos destinados para tal fin.

Regla 4: Puesta a tierra y en corto circuito de todos los circuitos que penetren en la zona de trabajo.

Regla 5: Delimitación de la zona de trabajo (RETIE).

La señalización se realizó indicando peligro y advertencia de prohibido el ingreso al área de trabajo de personal no calificado y se verificó que el personal tuviera sus elementos de seguridad personal, como guantes, botas dieléctricas, casco y ropa ignífuga.

Así se dio paso a la instalación de todos los equipos en la celda y conexas entre equipos, luego se acopló la celda de media tensión a la subestación didáctica teniendo en cuenta las distancias de seguridad y las distancias de diseño.

Las distancias de seguridad son los espacios que se deben conservar en la subestación para que el personal pueda circular y efectuar maniobras sin que exista riesgo de lesiones o pérdida de la vida.

Las distancias de diseño se efectuaron mediante el cálculo de las distancias dieléctricas entre las partes vivas del equipo y entre estas y las estructuras, y entre estas y el suelo, tomando medidas entre fases. Entre fase y tierra, altura del equipo con respecto a tierra, barraje y estructura de la celda.

Tanto la celda de medida como todos los equipos al interior de la misma se unieron a un punto común de tierra o barra equipotencial que a su vez está unida a la red de tierras de toda la subestación.

Para la energización y realización de pruebas de la celda primero que todo se procedió a verificar que la tensión fuera la correcta y la corriente correspondiera a la calculada en los planos.

También se revisaron las conexiones de todos los equipos comprobando que no se encontrara ningún circuito en corto o hubiera una mala conexión, dado que en subestaciones eléctricas después de la instalación de una celda se deben comprobar todas las conexiones contra lo señalado en los planos, este procedimiento recibe el nombre de amarillado.

Posteriormente se energizó la celda y se realizaron las pruebas al medidor empleando un equipo patrón y un analizador de redes. Estos equipos están disponibles en el mercado y para esta labor se adquirieron por medio de alquiler.

El medidor, los transformadores y todos los componentes de la celda de medida en media tensión funcionaron de acuerdo con lo esperado haciendo parte del conjunto de la Subestación Didáctica de la Institución Universitarias Pascual Bravo.

Análisis y Resultados

El interés por el cual se realizó este proyecto nace de la carencia que encuentran en ocasiones los estudiantes de poner en práctica y en un campo real lo aprendido en el aula de clase, puesto que se dificulta en muchas ocasiones la entrada o visita a subestaciones de energía dado que estas pertenecen en su mayoría a las empresas prestadoras del servicio eléctrico públicas o privadas.

Con la instalación de la Celda de Medida en Media Tensión para la Subestación Didáctica de la Institución Universitaria Pascual Bravo se brinda una herramienta para la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en el campo eléctrico.

La instalación de la Celda de Media Tensión contribuyó a la complementación de la Subestación Didáctica y se acopló al módulo para proceder a poner en marcha diferentes pruebas eléctricas y conexiones en los tableros.

Con este proyecto se hace un aporte a la didáctica de la enseñanza de diseño de celdas de media tensión para subestaciones eléctricas logrando un avance significativo porque los estudiantes tienen a su alcance este tipo de herramientas de práctica.

En un aspecto más amplio, la Institución Universitaria Pascual Bravo por tener una Subestación Didáctica se abre paso hacia la creación del Laboratorio de Potencia Eléctrica. Esto contribuye a posicionar a la institución entre las más apetecidas del campo eléctrico, dado que son muy pocas las

que tienen un laboratorio de potencia o alta tensión para el beneficio de sus estudiantes y a la comunidad en general.



Figura 12. Celda de Medida en Media Tensión de la Subestación Eléctrica Didáctica de la Institución Educativa Pascual Bravo. Tomada del propio proyecto.

Es el caso particular de la industria que podrá contratar en el laboratorio de la institución educativa la realización de ensayos eléctricos destructivos y estudios de aislamientos, entre otros.

Con el fin de lograr los objetivos planteados al inicio se presentan los resultados de acuerdo con la construcción de una Celda de Medida en Media Tensión para la Subestación Eléctrica Didáctica de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

De acuerdo con el diseño de la Subestación Eléctrica Didáctica, ella está conformada por cinco (5) celdas que se describen brevemente a continuación:

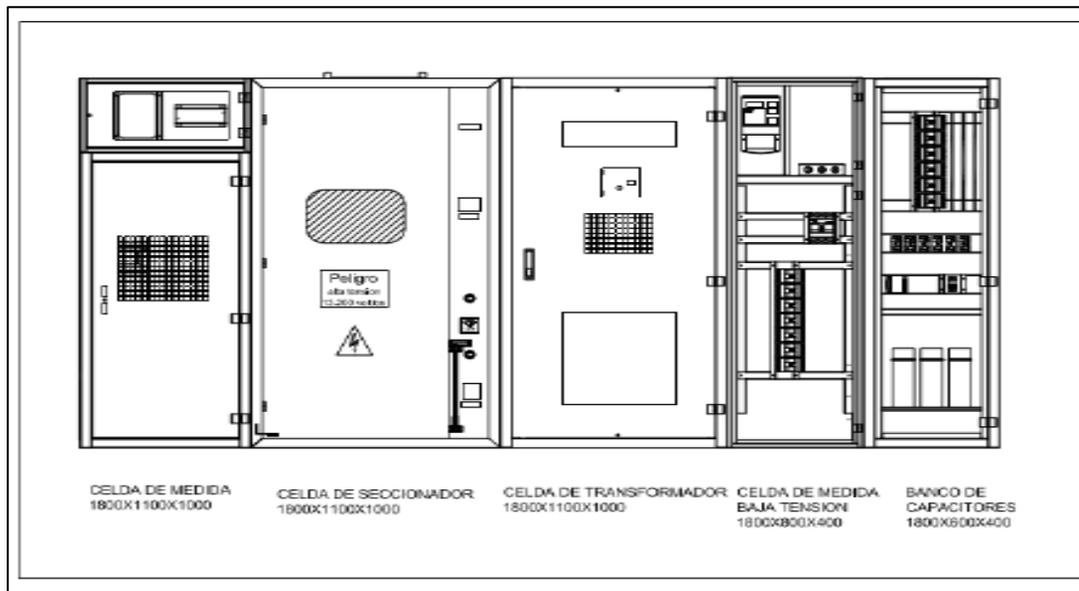


Figura 13. Diseño definitivo de la Subestación Eléctrica Didáctica. Tomado del diseño realizado y suministrado por la IUPB

Celda de medida en Media Tensión:

La Celda de Media Tensión se define como el conjunto en el cual se ubican equipos de maniobra, medida (transformadores de corriente y de tensión, etc.) y, cuando se solicite, equipos de protección

y control, montados en uno o más compartimientos insertos en una estructura metálica externa que cumplen la función de recibir y distribuir la energía eléctrica (EPM-RA8-013, 2010).

Celda de seccionador:

El seccionador es un aparato mecánico de conexión que asegura, en posición abierta, una distancia de seccionamiento que satisface condiciones específicas.

Un seccionador es capaz de abrir y de cerrar un circuito cuando se establece o interrumpe una corriente de valor despreciable, o bien no se produce ningún cambio importante de la tensión entre los bornes de cada uno de los polos del seccionador.

Es capaz también de conducir corrientes en las condiciones normales del circuito, y de soportar corrientes por un tiempo específico en condiciones anormales como las de un cortocircuito.

Celda de transformador:

Esta celda alberga un transformador de potencia de 10 KVA, el cual permite aumentar o disminuir la tensión en el sistema eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia.

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética.

Para este caso en especial, el voltaje de entrada es a 440 voltios y se obtiene un voltaje de salida de 220 voltios con una corriente máxima de 40 Amperios.

Celda de medida en baja tensión:

En esta celda encontramos las instalaciones en baja tensión para ser utilizada por los usuarios finales normalmente a 400 V en trifásica, 230 V en monofásica y 110 Voltios.

Celda de medida

Teniendo en cuenta que la Celda de medida en Media Tensión es el enfoque principal de este proyecto de grado, se implementa el gabinete de medida tipo envolvente para instalación en subestaciones compactas interiores fabricada en lámina collar Rolled calibre 16 con frente muerto en el mismo material y visores en policarbonato.

Especificaciones técnicas

- Construcción auto soportada según norma EPM.
- Estructura de celda construida en calibre BWG 14 (2.11mm) lámina de acero cold rolled.
- Bandejas o tapas calibre BWG 16 (1.65mm).
- Frente muerto calibre BWG 16 (1.65mm) con visores en acrílico transparente.
- IP: 4X
- Color Rall 7032

- Voltaje 440/110 voltios
- Corriente Max 100 A
- Totalizador marca chint 50A
- Transformadores de tensión de 440/110 v
- Transformadores de corriente de 50/5 A
- Contador multifuncional ACE 6000

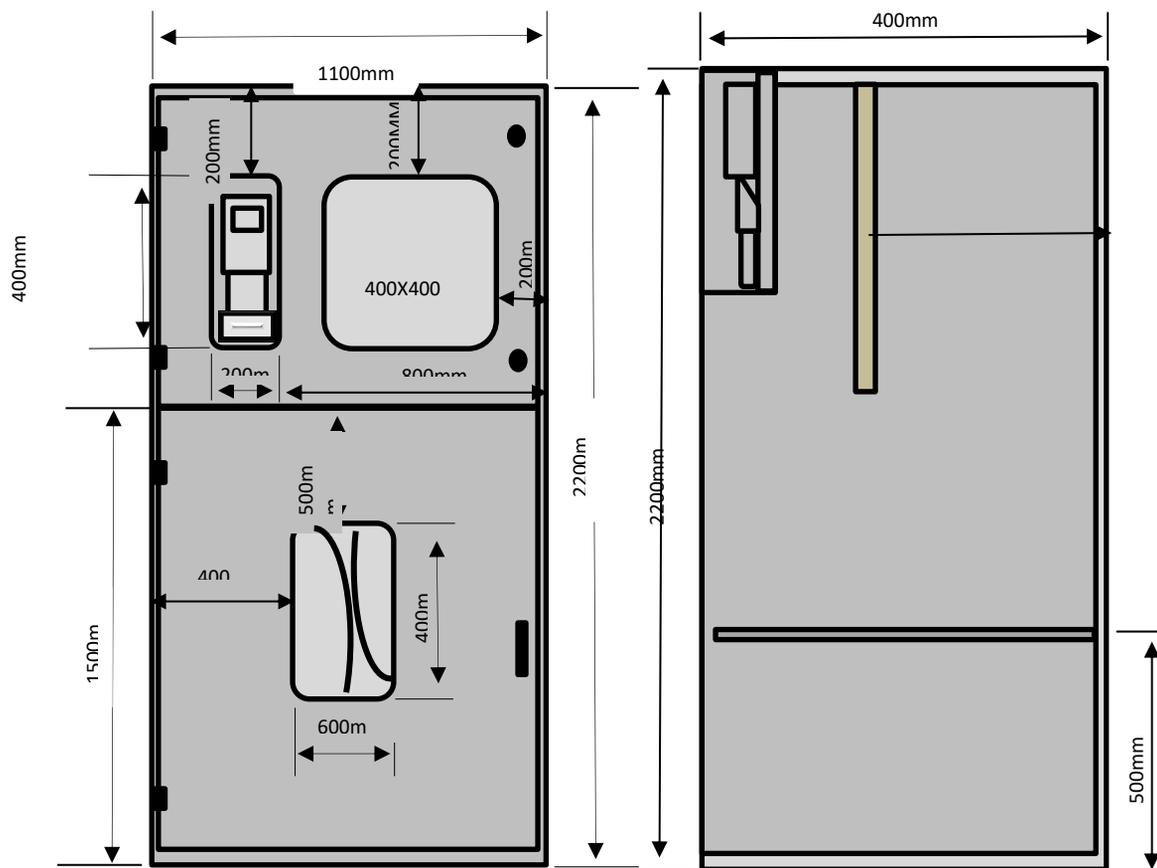


Figura 14. Plano prototipo celda de medida en media tensión.

Esta celda de medida cuenta con los siguientes equipos y conexiones distribuidas de la siguiente manera:

Equipo de Medida:

En el módulo se utilizó un medidor ACE6000 que integra en un solo equipo todas las funciones de medida, tarificación y registro requeridas para la medida en clientes comerciales e industriales. El mismo modelo de contador es adecuado para la medida en consumidores a tarifa y cualificados. El ACE6000 es un contador diseñado para hacer frente a las condiciones ambientales más adversas.



Figura 15. Medidor ACE6000. Tomado del propio proyecto.

Modo reposo. Los datos básicos de facturación se presentan en el visualizador en modo cíclico (dirección del registrador y del punto de medida, fecha, hora, energía activa y reactiva y tarifas en curso).

Modo lectura. Se presenta toda la información ordenada en menús, mediante el uso del pulsador de visualización.

Características principales:

- Medida Energía activa (bidireccional) y reactiva (4 cuadrantes).
- Tarifado Calendario con 3 contratos.
- 1 contrato: Tarifas de acceso de terceros a la red.
- 2 contrato: Acuerdo entre comercializadora y cliente o clientes de mercado regulado.
- 3 contrato: Facturación de generadores en régimen especial o un segundo contrato entre comercializadora y cliente.
- Disponibilidad de 3 contratos de tarifación (3 en curso y 3 latentes).
- Tarifación de energía, demanda máxima y excesos de potencia.
- Hasta 12 temporadas anuales.
- Hasta 10 perfiles diarios.
- Hasta 49 días festivos y 10 días especiales.
- Cambios de tarifa gestionados por reloj interno.
- El reloj se sincroniza por la frecuencia de la red o bien mediante el reloj de cuarzo incorporado conforme a CEI 61038.

Los medidores de energía digitales que se utilizan para medir el consumo eléctrico como en el caso del instalado en la celda de medida en media tensión efectuado en la instalación, ofrecen datos a tiempo real y permiten aprovechar al máximo las tarifas con discriminación horaria.

El antiguo indicador de números cambia a una pequeña pantalla que informa del consumo y el disco giratorio es reemplazado por un pequeño led rojo que se enciende durante un instante cada vez que se supera una determinada cantidad de energía.

Bornera de pruebas

El bloque de pruebas es el equipo donde se conectaron los cables de los transformadores de tensión y de corriente por la parte de abajo y por la parte de arriba se conectaron los cables que van hacia el medidor.

Se utiliza este equipo para que cuando por parte de la empresa de energía o comercializadora se necesite realizar un trabajo tanto en el medidor o en los transformadores y puedan aislar una de las dos partes.



Figura 16. Bornera de prueba. Tomado del propio proyecto.

Medida Indirecta. Diagrama de conexión de equipos de medida con 3 TCs y 3 TTs. Medidor conexión simétrica, programado para 3F – 4H. Aplica para instalaciones nuevas (NORMA RA8-030 EPM).

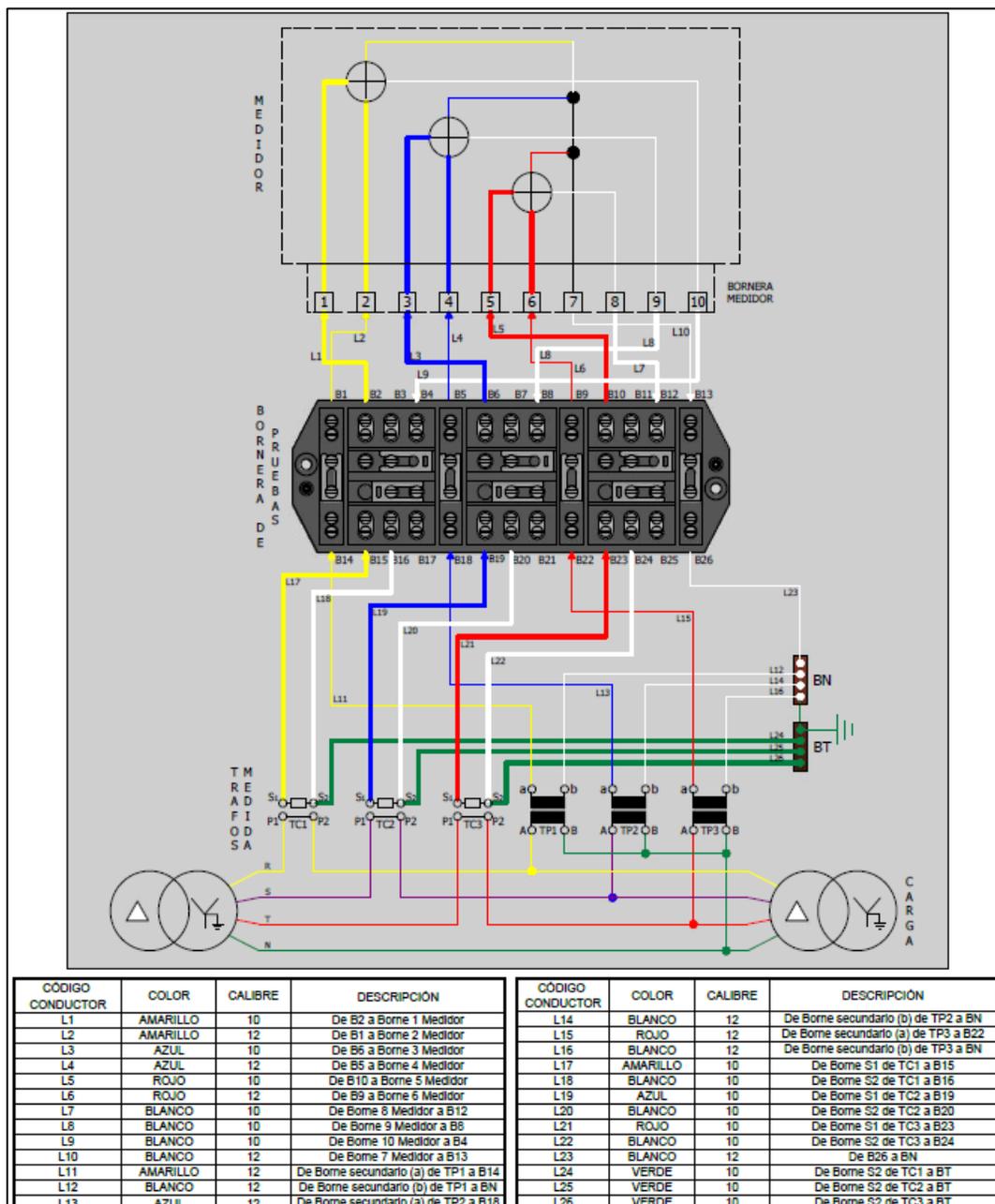


Figura 17. Diagrama de conexión del medidor (medida indirecta). Tomada de la Norma EPM (RA8-030).

Breaker y barraje de entrada de acometida

Conformado por un barraje cuya capacidad es para 100 amperes y cuenta con una protección principal de un breaker de 50 amperes marca CHINT NM1-125S x 3300 In 50A.



Figura 18. Breaker de 50 amperes marca Chint. Tomado del propio proyecto.

Transformadores de tensión

Como ya lo habíamos comentado se está tomando una medida en media tensión donde las tensiones y corrientes son elevadas y para poder reducir dichas tensiones a parámetros medibles se utilizaron en este proyecto tres (3) transformadores de 400 a 110 voltios de 50 VA.



Figura 19. Transformador de tensión de 400 a 110 voltios de 50 VA. Tomado del propio proyecto.

Transformador de corriente

Para la selección de los transformadores de corriente se deben determinar las corrientes primarias y secundarias de acuerdo con la carga de diseño. Su función es tomar la corriente principal del circuito y reducirla a una corriente medible por el medidor.

En este caso son transformadores tipo ventana toroidales de 50 A 5 amperes de 30 VA, en los cuales por su centro pasan los cables o barraje que llevan la corriente primaria, y por sus bornes de conexión P1 y P2, salen las conexiones al medidor que llevan una corriente menor.

Clase de exactitud

Las clases de exactitud normalizadas para los transformadores de corriente para medición son 0.1–0.2 – 0.2S – 0.5 – 0.5S – 1



Figura 20. Transformador de corriente. Tomado del propio proyecto.

Para el Factor de Multiplicación (FM tc's, FM pt's) de los transformadores de corriente y/o tensión se dejó indicado de forma visible en la parte frontal del medidor, el FM es el factor por el cual se multiplican los datos de energía almacenados en el medidor, con el objetivo de expresar el valor de energía real en datos primarios.

El Factor de Multiplicación de la medida (FM) se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula tomada de la norma RA8-030 de EPM:

$$FM(tc's) = I_{np} / I_{ns}$$

$$FM(pt's) = V_{np} / V_{ns}$$

$$FM(\text{medida}) = FM(tc's) * FM(pt's)$$

Donde:

FM(tc's) = Factor de multiplicación para transformadores de corriente

FM(pt's) = Factor de multiplicación para transformadores de tensión

FM(medida) = Factor de multiplicación de la medida

V(pn) = voltaje nominal primario del transformador de tensión

V(ns) = voltaje nominal secundario del transformador de tensión

I(np) = corriente nominal primaria del transformador de corriente

I(ns) = corriente nominal secundaria del transformador de corriente

Cables

Los cables que se utilizaron fueron cable calibre #12 y #14 marca Centelsa y Cresmar.



Figura 21. Cables calibre #12 y #14. Tomada del propio proyecto.

Medidas de seguridad y protección personal

En aspectos de seguridad y protección para una Celda es importante tener en cuenta los principales peligros a que se exponen en una instalación eléctrica el personal debido a descargas eléctricas, incendio o explosión.

Es importante señalar que en los lugares donde quede instalada la subestación eléctrica no deben usarse como sitio de paso habitual del personal. Por lo anteriormente referido se deben aplicar siempre las 5 reglas de oro cuando se vaya a intervenir la subestación y se deben usar los elementos de protección personal, ropa de algodón, guantes, casco y gafas.

Al ingresar a la subestación el personal debe quitarse elementos como joyas, cinturones de hebillas grandes y metálicas, y demás elementos que sean conductores de electricidad a fin de evitar un accidente. Cuando se vaya a realizar una práctica como mínimo deben estar presentes dos personas.

También se deben realizar revisiones periódicas a los equipos de maniobra y protección personal como son las pérticas y guantes de media tensión.

Marcación y señalización

En la entrada al local de la subestación deberá colocarse un aviso con la siguiente leyenda: “Prohibido el acceso de Personal NO calificado, ni autorizado”, que deje clara la restricción de ingreso para personas que no estén calificadas en esta materia.

Se usará una placa de acuerdo con lo establecido en el RETIE, artículo 11.



Figura 22. Señales de prevención y restricción. Tomada de la norma EPM (RA8-014).

Cuando se trate de subestaciones de media tensión, se colocará además un aviso de peligro por riesgo eléctrico, para ello se empleará una placa de acuerdo con lo establecido en el RETIE, artículo 11 (RA8-014).

Conclusiones

Se realizó el diseño y la construcción de la celda de medida en media tensión como modulo didáctico para la subestación didáctica de la Institución Universitaria Pascual Bravo de acuerdo con las normas vigentes y los diseños de toda la subestación.

Se realizó el montaje de la Celda de medida en Media Tensión y el ensamble a la subestación didáctica.

Se entrega a la Institución Universitaria Pascual Bravo el módulo de una Celda de Medida en Media Tensión para la Subestación Didáctica del laboratorio de Eléctrica funcionando correctamente como herramienta para la aplicación de conocimientos en el campo eléctrico y áreas afines.

Se verá reflejado el mejoramiento de los procesos de enseñanza con la adecuación de una celda de medida generando grandes oportunidades de aprendizaje a los estudiantes de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

La facilidad que proporciona el poder conocer e interactuar con una celda de medida en media tensión dentro de las instalaciones de la Institución Universitaria debido a que muchos estudiantes no tienen la posibilidad de conocer o estar dentro de una subestación en el momento de su aprendizaje.

La visualización de los diferentes procesos y conexiones que se pueden realizar en la celda de media tensión en el laboratorio de eléctrica de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Con la realización de este proyecto se generó una gran satisfacción al brindar una herramienta didáctica que generará aprendizajes significativos a las siguientes generaciones de estudiantes y el posicionamiento de la institución educativa como una de las pocas que cuenta con estas herramientas para sus estudiantes.

Bibliografía

CASTRO, M. A. (2015). Desarrollo de un módulo didáctico para la enseñanza de diseño de subestaciones eléctricas. (Trabajo de grado) Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Tecnologías.

BARRERO, F. (2004). Sistemas de energía eléctrica. Madrid España, Primera edición: Thonson.

TAFOLLA RAMIREZ, R. (2014). Consideraciones generales para optimizar el diseño electromecánico de subestaciones de transmisión. México D.F: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de México.

RAMIREZ C, S. (2003). Protección de sistemas eléctricos. (Trabajo de grado) Manizales. Universidad Nacional de Colombia.

HARPER, E. (2005). Elementos de diseño de subestaciones. México D.F: Segunda edición. Limusa.

GRAINGER JOHN J. STEVENSON JR. WILLIAM. (1996) Análisis de Sistemas de Potencia. México D. F: Primera edición. Mc Graw Hill.

ORTIZ W; RIVERA J; URREGO M. (2017). Desarrollo de un módulo de enseñanza para medición en baja tensión en subestaciones eléctricas. (Trabajo de grado) Medellín: Facultad de Ingeniería Eléctrica, Institución Universitaria Pascual Bravo.

Cibergrafía

<http://www.xm.com.co>

RA8-013. Celdas de media tensión y tableros de baja tensión. Medellín (Diciembre de 2010).

www.epm.com.co.

RA8-014. Disposiciones generales para los locales de subestaciones tipo interior. (Septiembre de 2011). www.epm.com.co.

RA8-030. Selección y conexión de medidores de energía y transformadores de medida. (Septiembre de 2011). www.epm.com.co.

Red de transporte de energía eléctrica, (marzo del 2013).

<https://www.ecured.cu>.

<https://www.quiminet.com>.

[https://es.wikipedia.org/wiki/ transmisión de energía eléctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/transmisi3n_de_energ3a_el3ctrica), consultado 12/09/2010

CREG 025, Niveles de tensión en Colombia, Comisión de Regulación de Energía y Gas (1995).

www.creg.com.co

Apéndice

Tabla 2. Selección de los medidores de energía.

Tipo de medición	Tipo de servicio	Nivel de tensión		Capacidad Instalada (CI) en kVA	Descripción del medidor ¹⁾			
		KELIE	CUEG		Medidor	Energía ²⁾	Clase ⁴⁾	
							Estático	
Directa	Monofásico bifilar	BT	1	$CI \leq X^3)$	Monofásico bifilar	Activa	1 Activa	
						Activa y Reactiva	1 Activa 2 Reactiva	
	Monofásico trifilar	BI	1	$CI \leq X^3)$	Monofásico trifilar ó Bifásico trifilar	Activa	1 Activa	
						Activa y Reactiva	1 Activa 2 Reactiva	
	Bifásico trifilar	BT	1	$CI \leq X^3)$	Bifásico trifilar	Activa	1 Activa	
						Activa y Reactiva	1 Activa 2 Reactiva	
	Trifásico tetrafilar	BT	1	$CI \leq X^3)$	Trifásico tetrafilar	Activa	1 Activa	
						Activa y Reactiva	1 Activa 2 Reactiva	
Semi-directa	Monofásico trifilar	BT	1	$X^3) < CI < 100$	Monofásico trifilar ó Trifásico trifilar	Activa y Reactiva	1 Activa 2 Reactiva	
						Trifásico tetrafilar	BT	1
	$\geq 100^6)$	Trifásico tetrafilar	Activa y Reactiva	0,5S Activa 2 Reactiva				
Indirecta	Trifásico trifilar	MT	2 y 3	$100 \leq CI < 30\ 000$	Trifásico trifilar ⁵⁾ ó Trifásico tetrafilar	Activa y Reactiva	0,5S Activa 2 Reactiva	
								AT y EAT
		MT	2 y 3		$CI \geq 30\ 000$	Trifásico trifilar ⁵⁾ ó Trifásico tetrafilar	Activa y Reactiva	0,2S Activa 2 Reactiva
	Trifásico tetrafilar	MT, AT y EAT	2, 3 y 4	$100 \leq CI < 30\ 000$		Trifásico tetrafilar	Activa y Reactiva	0,5S Activa 2 Reactiva
								$CI \geq 30\ 000$

- 1) En la medición de energía eléctrica en plantas de generación y en puntos de conexión del Sistema de Transmisión Nacional STN o capacidad instalada mayor o igual que 1 MVA, se requiere la instalación de un medidor principal y uno de respaldo; ambos medidores (principal y de respaldo) deberán cumplir los criterios de selección indicados en la Tabla 1.
- 2) Se debe instalar medidor de energía reactiva en los sistemas de medición semidirecta e indirecta. Para los sistemas de medición directa la instalación del medidor de energía reactiva se puede realizar en aquellos casos en los que sea considerado necesario con base en lo establecido por el ente regulador, ver numeral 6.4.8 en este documento.
- 3) X corresponde al valor de la potencia aparente en kVA obtenida considerando la tensión nominal del sistema eléctrico en el punto de conexión del medidor y la corriente máxima de los medidores de conexión directa disponibles para instalación.
- 4) Los índices de clase especificados corresponden a valores máximos; es decir, que se pueden instalar medidores con índices de clase de menor valor a lo exigido, por ejemplo, donde se especifica un índice de clase 2 se puede instalar un medidor clase 1 o 0,5.
- 5) Para puntos de conexión en el nivel de media tensión (MT) en las cuales la suma vectorial de las corrientes de las tres fases es igual a cero (por ejemplo, cuando el primario del transformador de potencia es una delta).
- 6) Cuando se tienen varios sistemas de medición en el secundario del transformador de distribución o de potencia al cual está asociado el punto de medición, la medición individual de cada sistema de medición con capacidad instalada mayor o igual a 100 kVA también puede realizarse en forma Semidirecta.

Tabla 3. Características del medidor.

Tipo de medición	Medidor de energía	Características del medidor								
		No. F	No. H	No. E	Vr (V) ¹⁾	Fr (Hz)	Ib (A) Medidor estático	In ²⁾ (A)	Imáx ³⁾ (A)	CM (%) Medidor estático
Directa	Activa, monofásico bifilar	1	2	1	120	60	≤ 10	-	≥ 60	≥ 600
	Activa, monofásico trifilar	1	3	1½	240					
	Activa, bifásico trifilar	2	3	2	2 x 120/208					
	Reactiva y/o activa, trifásico tetrafililar	3	4	3	3 x 120/208					
Semi-directa	Activa, monofásico trifilar	1	3	1½	240		-	5	≥ 6	≥ 120
	Activa y/o reactiva, trifásico trifilar	3	3	2	3 x 120					
	Activa y/o reactiva, trifásico tetrafililar	3	4	3	3 x 120/208					
Indirecta	Activa y/o reactiva, trifásico trifilar	3	3	2	3 x 120		3 x 69,2/120			
	Activa y/o reactiva, trifásico tetrafililar	3	4	3						

CONVENCIONES

No. F	Número de fases	No. H	Número de hilos	No. E: Número de elementos
Vr	Tensión de referencia	Fr	Frecuencia de referencia	Ib: Corriente básica
In	Corriente nominal	Imáx	Corriente máxima	
CM	Cargabilidad del medidor			

1) Las tensiones de referencia indicadas en la Tabla 5 corresponden a las requeridas para medidores a conectar en un sistema con tensiones entre líneas de 208 V o 240 V y tensiones línea a neutro de 120 V. En general la tensión de referencia del medidor debe corresponder a la tensión nominal del sistema eléctrico en el punto de conexión del medidor. También se permite la instalación de medidores multi-rango de tensión, siempre y cuando la tensión nominal del sistema eléctrico, en el punto de conexión del medidor esté dentro de los rangos de tensiones para los cuales se garantiza la exactitud del medidor.

Cuando el sistema de medición incluye transformadores de tensión (t.t.), la tensión de referencia del medidor se debe seleccionar con base en la tensión secundaria de los t.t. asociados a éste, de tal forma que el rango de tensiones para los cuales se garantiza la exactitud del medidor incluya la tensión secundaria de los t.t.

2) Cuando el sistema de medición incluye transformadores de corriente (t.c.) y éstos han sido seleccionados con corriente nominal de 1 A, la corriente nominal del medidor debe ser de 1 A.

3) Para medición directa, la corriente máxima del medidor debe ser superior a la corriente a plena carga en el punto de conexión. Para las mediciones semi-directas e indirectas la corriente máxima del medidor debe ser mayor o igual al valor resultante de multiplicar la corriente nominal del t.c. por su factor de sobrecarga.